



# Sistem pemantauan tanah longsor berdasarkan laju adsorpsi air pada tanah menggunakan sensor kelembapan, kemiringan, dan suhu

## *Landslide monitoring system based on water adsorption rate utilizing humidity, accelerometer, and temperature sensors*

Faisal Budiman<sup>1,2)</sup>, Erwin Susanto<sup>1\*)</sup>, Husneni Mukhtar<sup>1)</sup>, Doan Perdana<sup>3)</sup>, Yulius Anggoro Pamungkas<sup>1)</sup>, Yakobus Yulyanto Kevin<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom  
Jl. Telekomunikasi no. 1, Bandung, Jawa Barat, Indonesia 40257

<sup>2)</sup>Research Center for Internet of Things, Universitas Telkom  
Jl. Telekomunikasi no. 1 Gedung P-204, Bandung, Jawa Barat, Indonesia 40257

<sup>3)</sup>Program Studi Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom  
Jl. Telekomunikasi no. 1, Bandung, Jawa Barat, Indonesia 40257

**Cara sitasi:** F. Budiman, E. Susanto, H. Mukhtar, D. Perdana, Y. A. Pamungkas, and Y. Kevin, "Sistem pemantauan tanah longsor berdasarkan laju adsorpsi air pada tanah menggunakan sensor kelembapan, kemiringan, dan suhu," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 8 no. 4, pp. 255-262, 2020. doi: [10.14710/jtsiskom.2020.13591](https://doi.org/10.14710/jtsiskom.2020.13591), [Online].

**Abstract** – This study examines the application of a landslide disaster monitoring system based on soil activity information that utilizes humidity, temperature, and accelerometer sensors. An artificial highland was built as the research object, and the landslide process was triggered by supplying the system with continuous artificial rainfall. The soil activities were observed through its slope movement, temperature, and moisture content, utilizing an accelerometer, temperature, and humidity sensors both in dry and wet conditions. The system could well observe the soil activities, and the obtained data could be accessed in real-time and online mode on a website. The time delay in sending the data to the server was 2 seconds. Moreover, the characteristics of soil porosity and its relevance to soil saturation level due to water pressure were studied as well. Kinetic study showed that the water adsorption to soil followed the intraparticle diffusion model with a coefficient of determination  $R^2$  0.99043. The system prototype should be used to build the information center of disaster mitigation, particularly in Indonesia.

**Keywords** - landslide; monitoring system; land activity; mitigation; kinetic study

**Abstrak** – Artikel ini mengkaji aplikasi sistem pemantauan bencana tanah longsor berdasarkan informasi aktivitas tanah yang memanfaatkan sensor kelembapan, suhu, dan accelerometer. Sebuah purwarupa dataran tinggi digunakan sebagai objek studi tanah longsor dan perubahan keadaan tanah dipantau dengan memberikan hujan buatan secara kontinyu kepada sistem. Aktivitas tanah dipantau

berdasarkan data kemiringan, suhu, dan juga kelembapan tanah, baik saat keadaan kering maupun basah. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sistem pemantauan dapat merekam aktivitas tanah dengan baik dan informasi tersebut dapat diakses secara online dan real-time melalui sebuah situs web. Estimasi waktu tunda pengiriman data menuju server adalah 2 detik. Karakteristik porositas tanah dan relevansinya terhadap tingkat saturasi tanah karena tekanan air telah dikaji. Hasil studi kinetik menunjukkan bahwa proses adsorpsi air ke tanah mengikuti model kinetik difusi intra partikel, dengan koefisien of determination  $R^2$  sebesar 0,99043. Sistem pemantauan yang dirancang diharapkan menjadi purwarupa awal untuk terbentuknya pusat informasi mitigasi bencana tanah longsor yang dapat diterapkan, khususnya di Indonesia.

**Kata kunci** – tanah longsor; sistem pemantauan; aktivitas tanah; mitigasi; studi kinetik

### I. PENDAHULUAN

Tanah longsor merupakan peristiwa bergesernya tanah atau batu pada daerah berdataran tinggi berlereng yang disebabkan oleh gangguan stabilitas tanah atau lereng batuan penyusun [1]. Pergerakan ini dapat terjadi dalam bentuk longsor translasi, rotasi dan *ground creep* [2]. Hal ini dapat mengakibatkan kerusakan pada fasilitas-fasilitas manusia dan bahkan kematian bagi makhluk hidup [3].

Tanah longsor pada umumnya disebabkan oleh gempa bumi, hujan dalam intensitas besar yang terus-menerus, aktivitas manusia dalam pertambangan, dan kombinasi dari faktor-faktor tersebut [4]. Di Indonesia, tanah longsor termasuk salah satu bencana alam yang sering terjadi [5]. Cara yang paling baik untuk

<sup>\*)</sup>Penulis korespondensi (Erwin Susanto)  
Email: [erwinelektro@telkomuniversity.ac.id](mailto:erwinelektro@telkomuniversity.ac.id)

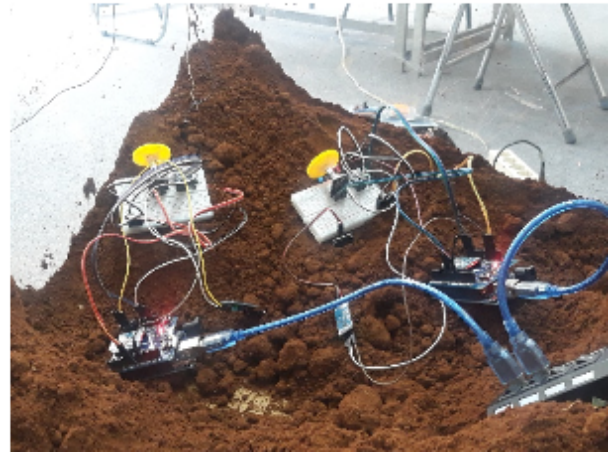
mencegah bencana ini adalah dengan menghindari hidup di dataran tinggi berlereng. Namun, hal tersebut hampir tidak mungkin dilakukan mengingat faktor ekonomi yang ditawarkan di daerah tersebut.

Salah satu isu besar dalam menangani bencana ini adalah waktu longsor yang sulit untuk diprediksi. Namun demikian, proses mitigasi masih tetap dapat dilakukan. Jika dapat diimplementasikan dengan efektif, proses evakuasi dapat dilakukan sebelum bencana tanah longsor terjadi.

Penelitian tentang sistem mitigasi tanah longsor telah dilakukan dengan berbagai metode. Salah satunya adalah dengan pemanfaatan sistem informasi geografis [6], [7]. Sistem ini dapat memantau potensi bencana berdasarkan kondisi geografis, namun tidak dapat menunjukkan keadaan riil keadaan tanah secara langsung. Amit dkk. [8] memantau kondisi tanah menggunakan citra satelit. Cara ini memantau kondisi tanah dari bagian atas, sedangkan kondisi tanah bagian dalam cenderung tidak terpantau. Pemanfaatan sinyal *geophone* dalam [9] dan analisis termal dalam [10] juga telah dilakukan, namun metode-metode ini justru mendapatkan masukan data untuk diproses ketika saat terjadi atau sekilas sebelum terjadinya tanah longsor. Ishihara dkk. [11] memprediksi tanah longsor melalui penjadwalan. Metode ini tidak mencakup kejadian longsor yang mungkin terjadi di luar jadwal yang biasanya. Sistem yang dapat mendeteksi perubahan aktivitas tanah secara periodik masih diperlukan karena bencana ini pada dasarnya disebabkan oleh kondisi tanah yang tidak stabil.

Sistem mitigasi bencana tanah longsor juga harus didukung dengan sistem komunikasi yang baik. Penggunaan *Global System for Mobile Communication* (GSM) telah dilakukan dalam [12]. Namun, proses ini mengeluarkan biaya untuk setiap kali pengiriman pesan, sedangkan proses pemantauan selalu berjalan setiap waktu. Dhanagopal dan Muthukumar [13] memanfaatkan *Internet of Things* (IoT) untuk komunikasi sistem kebencanaan, namun belum diimplementasikan secara global. Pennington dkk. [14] memanfaatkan *social media* untuk menyebarkan informasi kebencanaan. Namun, ada potensi kemungkinan adanya berita *hoax*. Sistem komunikasi yang dibutuhkan dalam mitigasi ini harus bersifat *real-time* dan juga dalam jaringan (daring) karena informasi yang cepat dan akurat sangat dibutuhkan untuk memutuskan proses evakuasi.

Di sisi lain, tanah longsor yang disebabkan oleh hujan adalah sebagai akibat dari jenuhnya tanah karena air. Faktor kelembapan, kemiringan dan interaksinya terhadap tanah adalah indikasi adanya perubahan stabilitas tanah [15]. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan purwarupa sistem pemantauan aktivitas tanah menggunakan sensor kelembapan, suhu dan *accelerometer* berbasis IoT. Penelitian ini mengkaji pemantauan aktivitas keadaan tanah dengan dipicu hujan buatan dan karakteristik tanah karena adsorpsi air terkait tanah longsor. Dengan mengkombinasikan faktor-faktor tersebut dengan karakteristik adsorpsi tanah, diharapkan dapat menjadi informasi awal dalam



**Gambar 1.** Penempatan sensor pada desain tanah longsor

memahami karakteristik pergerakan tanah dalam sistem pusat informasi mitigasi bencana tanah longsor yang dapat diterapkan, khususnya di seluruh Indonesia, dengan domain waktu dan area yang lebih luas.

### III. METODE PENELITIAN

Studi tanah longsor dilakukan pada sebuah purwarupa dataran tinggi miring yang diletakkan dalam sebuah kotak berbahan akrilik bersisi 60 cm. Tanah untuk simulasi berasal dari Gunung Nyalindung, Sukabumi, Indonesia. Ilustrasi purwarupa dataran tinggi pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 1. Tanah dibentuk menyerupai lereng dataran tinggi miring dengan sudut elevasi  $40^\circ$  yang menyerupai kemiringan gunung pada umumnya.

Sebagai pemicu perubahan aktivitas tanah, masukan hujan buatan diberikan dengan laju konstan 0,2 L/menit (dikategorikan sebagai hujan intensitas sedang) dan 0,5 L/menit (hujan deras) ke dalam sistem. Data aktivitas tanah diambil berdasarkan besaran kemiringan, suhu, dan kelembapan tanah ketika tanah dalam kondisi kering (tanpa hujan) dan ketika basah (ketika diberi hujan terus-menerus).

Pemantauan informasi keadaan tanah dilakukan menggunakan sensor-sensor seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Sensor-sensor tersebut ditempatkan dalam sistem pada Gambar 1. Sensor tersebut terhubung dengan mikrokontroler Arduino Uno sebagai rangkaian akuisisi data. Diagram *wiring* ketiga sensor dengan mikrokontroler ditunjukkan dalam Gambar 2 dan koneksi pin yang lebih detail ditunjukkan pada Tabel 2.

Proses kalibrasi sensor telah dilakukan sebelum pengujian. Sensor kemiringan dikalibrasi dengan membandingkan hasil bacaan pada sensor dengan membandingkan hasil bacaan kemiringan suatu bandul. Untuk sensor suhu, kalibrasi dilakukan dengan cara membandingkan bacaan pada sensor dengan alat pengukur suhu komersial. Kalibrasi sensor kelembapan dilakukan dengan cara membandingkan bacaan sensor pada kondisi tanah dalam kondisi kering hingga basah.

Dalam arsitektur IoT, semua data dari sensor-sensor dikirim ke sebuah server Firebase yang bertindak sebagai platform IoT dan basis data. Data-data tersebut selanjutnya ditampilkan dalam sebuah situs web sebagai data antarmuka, yang dibuat menggunakan aplikasi Visual Studio.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, sistem pemantauan tanah longsor berbasis IoT dirancang sehingga informasi keadaan tanah dapat diakses pada sebuah situs. Contoh hasil pengukuran pemantauan kondisi tanah telah dilakukan selama 5000 detik (83 menit). Perubahan keadaan tanah dipicu dengan memberikan masukan hujan buatan dengan intensitas sedang dan deras pada objek tanah. Pada 900 detik pertama, sistem tidak diberi masukan hujan (kondisi kering) dan diberi masukan hujan buatan secara kontinyu mulai pada detik ke-901. Perubahan kondisi tanah dipantau melalui perubahan kelembapan, suhu dan kemiringan tanah terhadap sumbu x, sumbu y dan sumbu z. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian dengan menggunakan satu node sensor yang diletakkan pada permukaan tanah dan pengujian multi node sensor yang diletakkan pada ketinggian yang berbeda.

#### A. Situs web untuk pemantauan

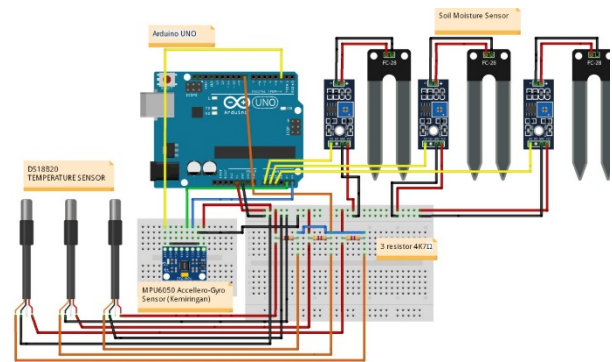
Sistem pemantauan kondisi tanah pada penelitian ini dapat dipantau secara daring dengan mengakses situs web <http://www.landslide-monitoring@accessnetrg.id> (Gambar 3). Data aktivitas tanah dapat dipantau dalam fungsi waktu dan periode waktu pengukuran juga dapat diubah sesuai kebutuhan. Estimasi waktu tunda pengiriman data menuju server adalah  $\pm 2$  detik sehingga masih tergolong dalam informasi yang *real-time*. Dari situs web pemantauan ini, profil aktivitas tanah dapat dilihat langsung melalui grafik pada layar dan dapat dijadikan informasi bagi pihak-pihak terkait untuk melakukan analisis lebih lanjut.

#### B. Pengujian menggunakan satu node sensor

Respons kondisi kemiringan tanah dalam fungsi sudut terhadap sumbu x ditunjukkan dalam Gambar 4. Kemiringan tanah pada saat kondisi kering cenderung konsisten pada  $\sim 3,7^\circ$ . Setelah sistem diberi masukan hujan (menit ke-16), kemiringan tanah mulai terjadi perubahan yang sangat signifikan pada detik ke-901 hingga detik ke-1200, yaitu menjadi  $\sim 2,8^\circ$ . Perubahan signifikan juga terjadi pada detik ke-2500 sampai detik ke-2800 dimana kemiringannya menjadi  $2,5^\circ$ .

Kemiringan tanah pada sumbu y ditunjukkan dalam Gambar 5. Sudut kemiringan berubah secara gradual dari  $\sim 41^\circ$  menjadi  $\sim 38^\circ$  dalam waktu 3000 detik. Sudut pada sumbu y ini kembali naik kembali menjadi  $39^\circ$  sampai pada akhir pengukuran. Saat perubahan kemiringan terjadi, pori pada tanah mulai terimpregnasi oleh air sesuai [16], [17].

Pengukuran kemiringan tanah terhadap sumbu z saat kondisi kering menunjukkan sudut tanah pada  $\sim 175^\circ$



Gambar 2. Diagram wiring purwarupa sistem

Tabel 1. Daftar komponen elektronika yang digunakan

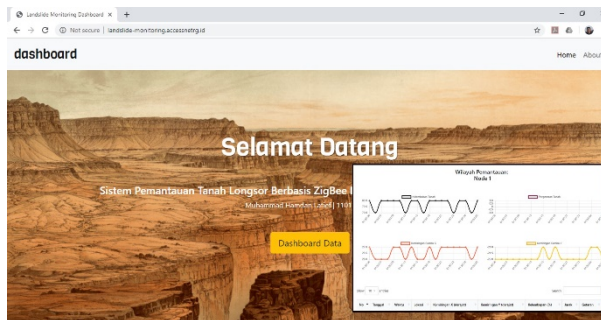
Komponen	Fungsi	Keterangan
YL-69	Sensor kelembapan	- Tegangan sensor: 3.3–5 V - <i>Adjustable</i> Sensor: Analog dan Digital
DS-18B20	Sensor suhu	- <i>Waterproof</i> - Interval pengukuran: -15 °C s/d 125 °C
MPU6050	Sensor kemiringan	- Sensitivitas pengukuran: 250-2000 °/sec
Arduino Uno	Rangkaian pengendali	- Tegangan operasi: 5 V - Jumlah pin I/O digital: 14 - Jumlah pin I/O digital: 6 - Jumlah masukan analog: 6 - Tegangan masukan: 7-12 V

Tabel 2. Antarmuka sensor dengan Arduino

Sensor	Pin Sensor	Pin Arduino
YL-69	Vcc 1, 2, 3	Vcc 5 V
	A0, A1, A2	A0, A1, A2
	GND 1, 2, 3	GND
MPU6050	Vcc	Vcc 5 V
	GND, AD0	GND
	SCL	A5
	SDA	A4
	INT	D2
DS-18B20	Vcc 1, 2, 3	Vcc 5 V
	Pin data sensor 1, 2, 3 dihubungkan dengan resistor pull-up 4,7 kΩ	D8
	GND	GND

(Gambar 6). Saat diberi hujan, kemiringan tanah pada sumbu z secara bertahap berubah dan berakhir pada sudut  $\sim 177^\circ$ . Secara umum, hasil-hasil pengukuran kemiringan pada sumbu x, y dan z tersebut menunjukkan bahwa perubahan kemiringan tanah dapat dipantau dengan baik oleh sistem.

Respons sensor suhu terhadap fungsi waktu ditunjukkan dalam Gambar 7. Suhu tanah naik secara bertahap dan cenderung linier ketika hujan buatan diberikan secara terus-menerus kepada tanah. Suhu awal tanah berada pada sekitar  $21,1^\circ\text{C}$  dan memiliki suhu



**Gambar 3.** Pemantauan hasil pengukuran sensor pada sebuah situs web

akhir pada 21,6 °C, yakni pada detik ke-4500. Kenaikan suhu tanah ini dapat disebabkan karena air yang merembes ke bagian tanah yang lebih dalam dan juga sebagai reaksi terhadap suhu udara yang lebih tinggi, khususnya pada permukaan tanah.

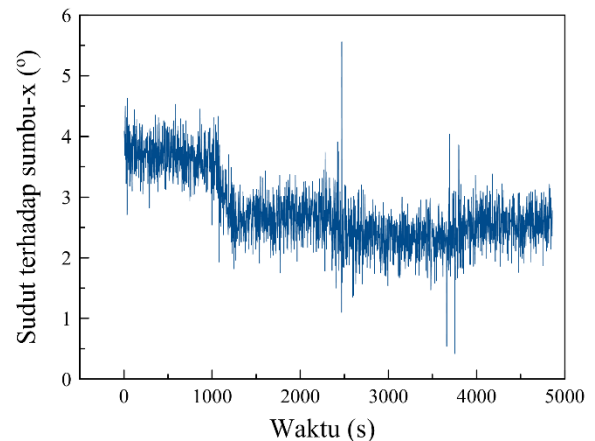
Respons sensor kelembapan dalam fungsi waktu pada permukaan tanah ditunjukkan dalam Gambar 8. Pada kondisi kering, tanah memiliki kelembapan sekitar ~2%. Saat hujan buatan diberikan, kelembapan tanah berubah dengan sangat tajam mencapai ~80% pada interval waktu detik ke-900 sampai dengan detik ke-1400. Pada detik ke-1400 hingga detik ke-2500, kelembapan cenderung fluktuatif. Fluktuasi kelembapan tanah terjadi disebabkan air terserap oleh tanah ke bagian yang lebih dalam secara bertahap karena faktor gravitasi.

Proses penyerapan air ke tanah ini dapat dihubungkan dengan porositas tanah. Porositas tanah pada penelitian ini telah diukur sebesar 41 % dengan membandingkan volume poros dan volume air pada tanah sesuai dengan Persamaan 1 dimana  $P$  menyatakan porositas tanah,  $V(p)$  adalah volume pori dan  $V(s)$  adalah volume solid tanah. Pengukuran porositas tanah dilakukan dengan menyiapkan air dan tanah dengan volume sama dan ditempatkan pada dua beaker berbeda. Beaker berisi air dituangkan ke dalam beaker berisi tanah sampai tanah dipenuhi oleh air. Sisa air yang tidak tertuang menjadi acuan dalam menghitung porositas tanah.

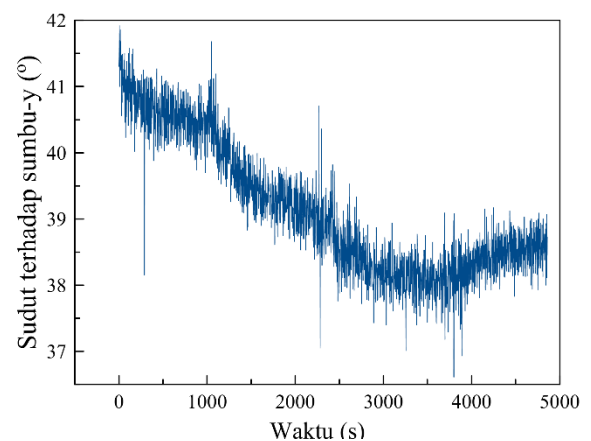
$$P = \frac{V(p)}{V(p) + V(s)} \quad (1)$$

### C. Studi kinetik adsorpsi air pada tanah

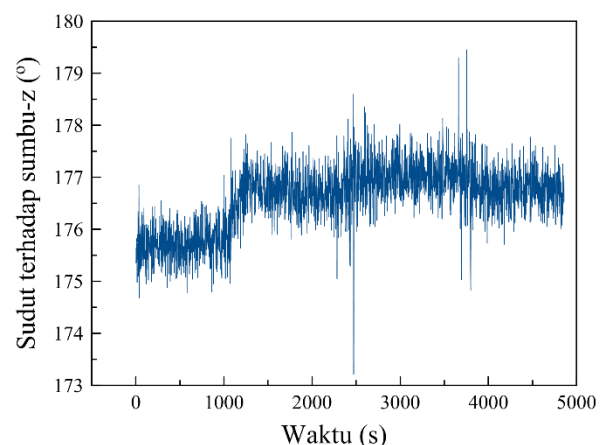
Studi tentang kinetik adsorpsi air pada permukaan tanah dilakukan untuk mengetahui laju adsorpsi dan relevansinya terhadap karakteristik saturasi tanah. Beberapa model kinetik adsorpsi adalah di antaranya pseudo-order-pertama, pseudo-order-kedua, difusi intra partikel, dan model *elovich* [18], [19]. Pada kasus pengujian pada permukaan tanah, difusi intra partikel adalah model yang sesuai untuk menggambarkan kinetik adsorpsi tanah pada kajian ini. Model difusi intra partikel ini menggambarkan proses adsorpsi mengikuti Persamaan 2 dimana  $q_t$  adalah jumlah air yang teradsorpsi dalam mg/g,  $k_{id}$  adalah laju faktor



**Gambar 4.** Respons sudut pada sensor kemiringan terhadap sumbu x



**Gambar 5.** Respons sudut pada sensor kemiringan terhadap sumbu y



**Gambar 6.** Respons sudut pada sensor kemiringan terhadap sumbu z

( $mg/g \cdot min^{1/2}$ ) dan  $c$  ( $mg/g$ ) menyatakan ketebalan *boundary layer*.

$$q_t = k_{id}(t)^{0.5} + c \quad (2)$$

Variabel  $q_t$  diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3 dimana  $V$  adalah volume air yang

digunakan ( $L$ ),  $m$  adalah massa tanah ( $g$ ),  $C_o$  dan  $C_t$  berturut-turut adalah konsentrasi kelembapan tanah awal dan saat waktu  $t$  ( $mg/L$ ). Konsentrasi  $C$  diperoleh dengan mengkonversikan data kelembapan ( $RH$ ).  $RH$  didefinisikan sebagai rasio dari tekanan parsial air terhadap tekanan uap air pada suhu  $T$  (suhu ruangan) seperti dinyatakan pada Persamaan 4.

$$q_t = \frac{(C_o - C_t)V}{m} \quad (3)$$

$$RH = \frac{P_{H_2O}}{e(T)} \times 100\% \quad (4)$$

Konsentrasi massa air dapat dihitung dengan mengkombinasikan Persamaan 4, 5 dan 6. Parameter  $X_{H_2O}$  adalah fraksi mol (volume rasio air),  $n_{udara}$  menyatakan densitas udara ( $mol/m^3$ ) dan  $M_{H_2O}$  adalah massa molekul dari air ( $g/mol$ ).

$$X_{H_2O} = \frac{P_{H_2O}}{P} \quad (5)$$

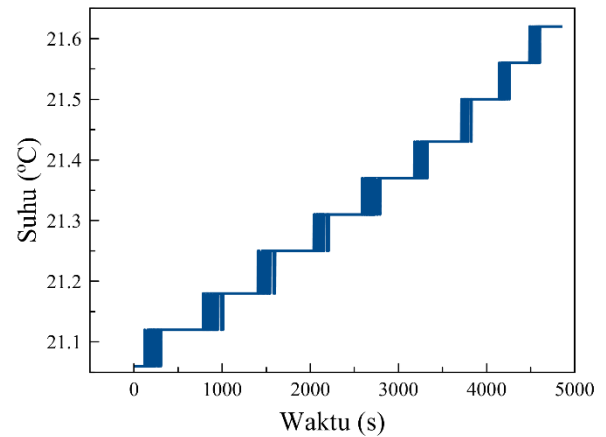
$$C_{H_2O} = X_{H_2O} n_{udara} M_{H_2O} \quad (6)$$

Hasil *fitting* data dari Gambar 8 ke model difusi intra partikel dinyatakan dalam Gambar 9. Nilai  $R^2$  sebesar 0,99043 mengindikasikan bahwa data eksperimen sangat *fit* dengan model difusi intra partikel. Model ini menggambarkan proses adsorpsi zat yang bertahap seperti dalam [20], [21]. Di tahap pertama, perubahan grafik yang sangat signifikan menandakan proses adsorpsi yang spontan. Di tahap kedua terjadi adsorpsi secara gradual yang mengindikasikan proses difusi yang terkontrol. Tahap terakhir menunjukkan terjadi proses adsorpsi yang sangat lambat karena konsentrasi zat yang hampir mencapai saturasi. Model difusi intra partikel pada penelitian ini selaras dengan model adsorpsi zat lain pada tanah [22].

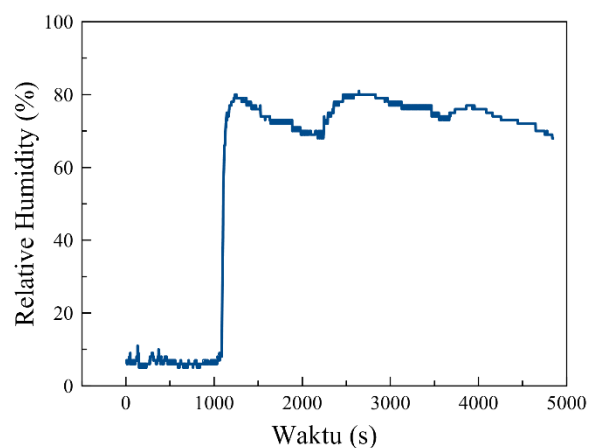
#### D. Pengujian multi node sensor

Desain pengukuran kelembapan pada ketinggian tanah yang berbeda menggunakan ditunjukkan dalam Gambar 10. Subiyanti dkk. [23] menyatakan bahwa tekanan pori pada tanah dapat memicu pergerakan tanah dan tanah bagian paling dasar adalah tanah yang paling tinggi tekanannya. Berdasarkan kajian tersebut, sensor-sensor kelembapan ditempatkan pada daerah S1, S2, dan S3 dengan perbedaan ketinggian sebesar 7 cm, sedangkan ketinggian total S1 hingga ke dasar tanah adalah 25 cm.

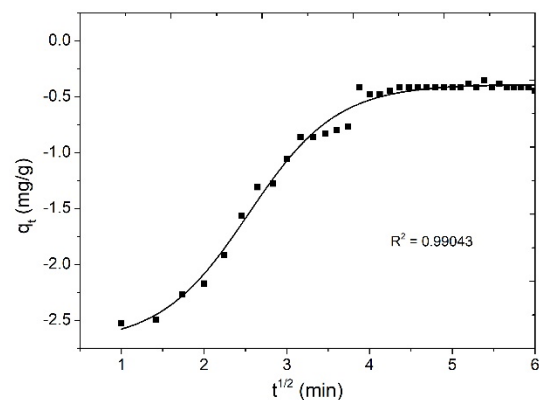
Hasil pengukuran kelembapan tanah dengan multi node sensor dengan intensitas hujan sedang ditunjukkan dalam Gambar 11. Pada S1, kelembapan tanah dapat mencapai 80 %, namun nilainya turun kembali dan fluktuatif seiring pertambahan waktu dan air. Pada titik ini, air pada permukaan tanah mulai terserap ke bagian lebih dalam tanah karena faktor gravitasi. Air yang masuk ke dalam tanah dapat jelas terobservasi dari pengukuran kelembapan pada daerah S2 dimana pada daerah ini



Gambar 7. Respons sensor suhu



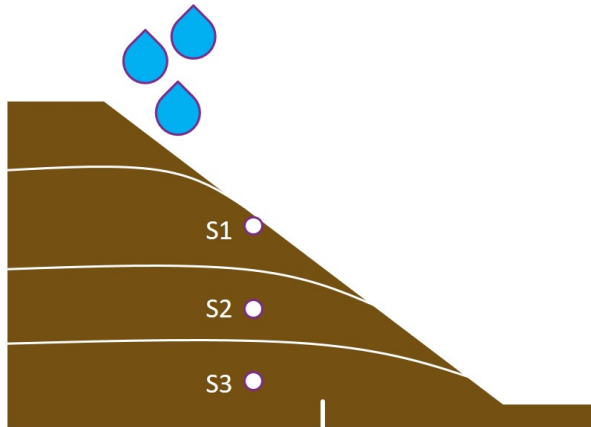
Gambar 8. Respons sensor kelembapan



Gambar 9. Kurva *fitting* studi kinetik adsorpsi menggunakan model difusi intra partikel

kelembapan juga bertambah hingga ~20 %, namun dengan laju yang lebih lambat dibandingkan S1. Pada daerah S2, grafik cenderung fluktuatif. Kelembapan pada daerah S3 secara gradual naik perlahan-lahan dan mencapai kelembapan tertinggi ~15 % dan masih akan meningkat seiring waktu.

Hasil pengukuran kelembapan tanah multi node sensor dengan intensitas hujan deras ditunjukkan dalam Gambar 12. Kelembapan tanah berubah dengan sangat tajam di S1, S2, dan S3, serupa dengan profil

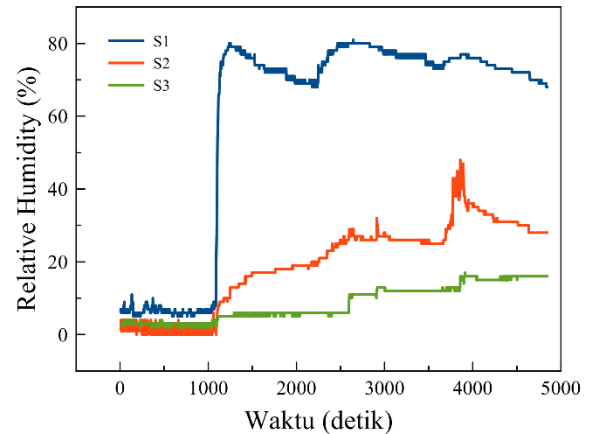


**Gambar 10.** Desain pengukuran dengan multi node sensor

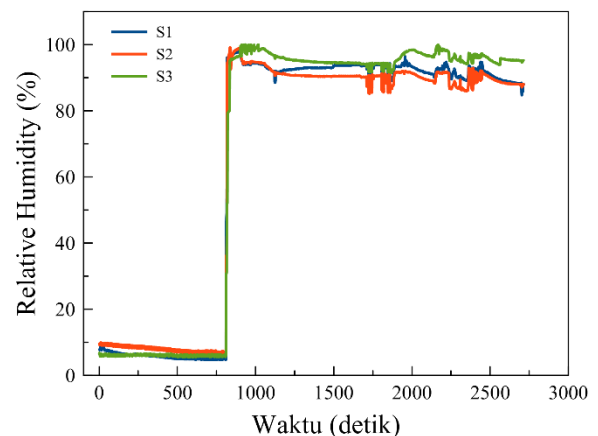
kelembapan di S1 pada pengukuran dengan intensitas hujan sedang. Hal ini mengindikasikan bahwa profil kenaikan kelembapan sama pada setiap lapisan tanah jika debit air terlalu deras. Dalam kajian ini, laju adsorpsi sesuai dengan model difusi intra partikel. Kedua hasil pengukuran pada Gambar 11 dan Gambar 12 menunjukkan bahwa intensitas curah hujan adalah satu faktor yang menentukan laju saturasi tanah.

Pengukuran-pengukuran ini masih terbatas dapat dikembangkan lagi dengan pengukuran yang lebih lama dan jumlah sensor yang lebih banyak jika diimplementasikan pada kondisi riil. Dalam hal longsor disebabkan oleh hujan, kondisi ini diperlukan karena besar tekanan tanah disebabkan oleh adanya air akan berbeda pada setiap lapisan tanah. Intensitas curah hujan juga perlu diperhatikan sebagai indikator kadar adsorpsi air yang terjadi pada tanah. Jika pengukuran ini dianalisis lebih lanjut, hasilnya dapat menjadi informasi dasar dalam memprediksi bencana tanah longsor. Analisis kelebihan dan kekurangan beberapa metode yang dapat digunakan dalam memprediksi bencana tanah longsor dinyatakan dalam Tabel 3. Penjabaran kelebihan dan kekurangan adalah A menunjukkan metode memerlukan sistem tambahan, B memerlukan biaya tinggi, C metode yang prediktif, D memerlukan analisis mendalam, dan E metode mencerminkan keadaan tanah.

Untuk implementasi purwarupa pada kondisi dataran tinggi sebenarnya, instalasi sistem dengan multi node sensor dibutuhkan dan perlu ditempatkan pada beberapa ketinggian dataran tinggi dengan beberapa kedalaman tanah, tergantung dari luas area dataran tinggi tersebut. Karena tekanan pada tanah dapat memicu pergerakan setiap lapisan tanah, pemantauan tanah dengan desain seperti ini akan efektif. Pemodelan matematis pergerakan tanah dapat dilakukan dan deteksi dini bahaya gerakan tanah lebih lanjut dapat diprediksi. Karakteristik tanah (kemiringan, jenis tanah, porisitas) perlu dipelajari untuk mengetahui tingkat tekanan pada setiap lapisan tanah dan kapan tanah akan berada pada kondisi saturasi karena air. Tantangan implementasi yang dihadapi adalah lokasi rawan bencana yang terkadang tidak memiliki ketersediaan jaringan internet,



**Gambar 11.** Pengukuran kelembapan tanah pada ketinggian yang berbeda dengan intensitas hujan sedang



**Gambar 12.** Hasil pengukuran kelembapan tanah pada ketinggian yang berbeda dengan intensitas hujan deras

**Tabel 3.** Perbandingan sistem prediksi tanah longsor

Metode	A	B	C	D	E
Sistem informasi geografis [7], [8]	X	X	√	√	X
Citra satelit [9]	X	√	√	X	√
Sinyal <i>geophone</i> [10]	√	X	X	X	√
Analisis termal [11]	√	√	√	√	√
Penjadwalan [12]	X	X	√	X	X
Pemantauan keadaan tanah	√	√	√	√	√

sedangkan sistem pemantauan memerlukan adanya sistem komunikasi yang lancar. Untuk mengatasinya, sistem dapat dikembangkan lebih lanjut menggunakan *low-power-wide area network* (LoRa). Tantangan lainnya adalah diperlukannya sensor dengan durabilitas tinggi yang tahan terhadap perubahan cuaca dan dilengkapi dengan sistem keamanan yang baik, agar tahan lama dan terhindar dari pencurian.

#### IV. KESIMPULAN

Sistem pemantauan tanah longsong berbasis IoT dengan memanfaatkan informasi aktivitas tanah berupa kelembapan, suhu, dan kemiringan dapat memantau keadaan tanah secara daring dan diakses pada sebuah halaman web. Tanah tertekan oleh air dari masukan hujan buatan jika diberikan secara terus-menerus dan memicu pergeseran tanah. Adsorpsi air terjadi ke tanah bagian dalam dan terjadi secara bertahap pada setiap lapisan tanah. Studi porisitas tanah dan level saturasi tanah akibat tekanan air telah diinvestigasi untuk menunjang prediksi terjadinya tanah longsong karena diberi air secara terus-menerus. Pemodelan adsorpsi air ke tanah menunjukkan bahwa data pengukuran *fit* dengan model difusi intra partikel dengan  $R^2$  bernilai 0,99043.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Pendanaan riset didukung oleh Kementerian Ristek Dikti melalui Hibah INSINAS 2019. Peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Telkom atas dukungan teknis maupun non teknis selama menyelesaikan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Khosiah and A. Ariani, "Tingkat kerawanan tanah longsor di dusun Landungan desa Guntur Macan kecamatan Gunungsari kabupaten Lombok Barat," *Jurnal Ilmiah Mandala Education*, vol. 3, no. 1, pp. 195-200, 2017.
- [2] N. H. Sudibyo and Ridho, "Pendeteksi tanah longsor menggunakan sensor cahaya," *Jurnal Teknologi Informasi Magister*, vol. 1, no. 2, pp. 218-227, 2017.
- [3] D. G. Bayuaji, A. L. Nugraha, and A. Sukmono, "Analisis penentuan zonasi risiko bencana tanah longsor berbasis sistem informasi geografis (studi kasus: kabupaten Banjarnegara)," *Jurnal Geodesi Undip*, vol. 5, no. 1, pp. 326-335, 2016.
- [4] H. W. Kim, "Development of wireless sensor node for landslide detection", in *42th Meeting of the Asia-Pacific Advanced Network*, Hongkong, Hongkong, Aug. 2016, pp.56-60.
- [5] H. Ckhotimah, M. Vonnisa, and A. Budiman, "Pemanfaatan data alos PALSAR untuk etimasi pergerakan tanah kota Padang upaya mitigasi bencana longsor," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 9, no. 1, pp. 93-99, 2020.
- [6] J. Pangaribuan, L. M. Sabri, and G. J. Amarrohman, "Analisis daerah rawan bencana tanah longsor di kabupaten Magelang menggunakan sistem informasi geografis dengan metode standar nasional Indonesia dan analytical hierarchy process," *Jurnal Geodesi Undip*, vol. 8, no. 1, pp. 288-297, 2019.
- [7] F. M. Putra, M., Rusdi, and H. Basri, "penentuan tingkat kerawanan longsor menggunakan sistem informasi geografis berdasarkan parameter curah hujan (studi kasus di kecamatan Tangse)," *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, vol. 4, no. 1, pp. 708-713, 2019. doi: [10.17969/jimfp.v4i1.10205](https://doi.org/10.17969/jimfp.v4i1.10205)
- [8] S. N. K. B. Amit, S. Shiraiishi, T. Inoshita, and Y. Aoki, "Analysis of satellite images for disaster detection," in *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Beijing, China, Jul. 2016, pp. 5189-5192. doi: [10.1109/IGARSS.2016.7730352](https://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7730352)
- [9] V. N. Deekshit, M. V. Ramesh, P. K. Indukala, and G. J. Nair, "Smart geophone sensor network for effective detection of landslide induced geophone signals," in *International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, Melmaruvathur, India, Apr. 2016, pp. 1565-1569. doi: [10.1109/ICCSP.2016.7754422](https://doi.org/10.1109/ICCSP.2016.7754422)
- [10] A. Zin, K. Hawari, and N. Khamisan, "Early detection of spots high water saturation for landslide prediction using thermal imaging analysis," *International Journal of Environmental Science and Development*, vol. 7, no. 1, pp. 41-45, 2016. doi: [10.7763/IJESD.2016.V7.738](https://doi.org/10.7763/IJESD.2016.V7.738)
- [11] S. Ishihara, M. Hashimoto, N. Wakamiya, M. Murata, and Y. Kawamoto, "A group-based scheduling method for landslide detection system with dense wireless sensor network," in *5th International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM)*, Sendai, Japan, Dec. 2018, pp. 1-8. doi: [10.1109/ICT-DM.2018.8636374](https://doi.org/10.1109/ICT-DM.2018.8636374)
- [12] S. B. Shrijan, C. K. Zaware, and M. M. Kale, "GSM based real-time wireless sensor network for landslide detection," *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, vol. 5, no. 2, pp. 350-352, 2015.
- [13] R. Dhanagopal and B. Muthukumar, "A model for low power, high speed and energy efficient early landslide detection system using IoT," in *Wireless Personal Communications*, Springer, 2019, pp. 1-16. doi: [10.1007/s11277-019-06933-7](https://doi.org/10.1007/s11277-019-06933-7)
- [14] C. Pennington, K. Freeborough, C. Dashwood, T. Dijkstra, and K. Lawrie, "The national landslide database of Great Britain: acquisition, communication and the role of social media," *Geomorphology*, vol. 249, pp. 44-51, 2015. doi: [10.1016/j.geomorph.2015.03.013](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.03.013)
- [15] S. Arifin, L. Carolila, and G. Winarso, "Implementasi penginderaan jauh dan SIG untuk inventarisasi daerah rawan bencana longsor (Propinsi Lampung)," *Jurnal Penginderaan Jauh*, vol. 3, no. 1, pp. 77-86, 2006.
- [16] J. K. Torrance, "Chemistry: an essential key to understanding high-sensitivity and quick clays and to addressing landslide risk," in *Landslides in Sensitive Clays*, Springer, Cham, 2017, pp. 35-44. doi: [10.1007/978-3-319-56487-6\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56487-6_3)
- [17] E. Susanto, F. Budiman, D. P. H. Mukhtar, and M. H. Latief, "Slope, humidity and vibration sensors performance for landslide monitoring system," in *IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and*

- Mobile, Bali, Indonesia, Nov. 2019, pp. 139-142. doi: [10.1109/APWiMob48441.2019.8964155](https://doi.org/10.1109/APWiMob48441.2019.8964155)
- [18] L. Largette and R. Pasquier, "A review of the kinetics adsorption models and their application to the adsorption of lead by an activated carbon," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 109, pp. 495-504, 2016. doi: [10.1016/j.cherd.2016.02.006](https://doi.org/10.1016/j.cherd.2016.02.006)
- [19] ] H. Qiu, L. Lv, B. C. Pan, W. M. Zhang, and Q. X. Zhang, "Critical review in adsorption kinetic models," *Journal of Zhejiang University-Science A*, vol. 10, no. 5, pp. 716-724, 2009. doi: [10.1631/jzus.A0820524](https://doi.org/10.1631/jzus.A0820524)
- [20] D. K. Mahmoud, M. A. M. Salleh, W. A. Karim, A. Idris, and. Z. Z. Abidin, "Batch adsorption of basic dye using acid treated kenaf fibre char: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies," *Chemical Engineering Journal*, vol. 181, pp. 449-457, 2012. doi: [10.1016/j.cej.2011.11.116](https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.11.116)
- [21] L. Wei, T. Hong, X. Li, M. Li, Q. Zhang, and T. Chen, "New insights into the adsorption behavior and mechanism of alginate onto struvite crystals," *Chemical Engineering Journal*, vol. 358, pp. 1074-1082, 2019. doi: [10.1016/j.cej.2018.10.110](https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.10.110)
- [22] F. Rees, M. O. Simonnot, and J. L. Morel, "Short-term effects of biochar on soil heavy metal mobility are controlled by intra-particle diffusion and soil pH increase," *European Journal of Soil Science*, vol. 65, no. 1, pp. 149-161, 2014. doi: [10.1111/ejss.12107](https://doi.org/10.1111/ejss.12107)
- [23] H. Subiyanti, A. Rifa'i, and R. Jayadi, "Analisis kelongsoran lereng akibat pengaruh tekanan air pori di saluran induk Kalibawang Kulonprogo," *Semesta Teknika*, vol. 14, no. 1, pp. 15-25, 2015.