

## SISTEM MONITORING JARAK JAUH GETARAN DAN KADAR AIR TANAH

Tomi Jepriansyah<sup>1</sup>, Redi Ratiandi Yacoub<sup>2</sup>, Neilcy Tjahjamoonsih<sup>3</sup>

[tomijepriansyah1109@gmail.com](mailto:tomijepriansyah1109@gmail.com)<sup>1</sup>, [rediyacoub@ee.untan.ac.id](mailto:rediyacoub@ee.untan.ac.id)<sup>2</sup>,  
[neilcy.mooniarsih@ee.untan.ac.id](mailto:neilcy.mooniarsih@ee.untan.ac.id)<sup>3</sup>

Universitas Tanjungpura Pontianak

### ABSTRAK

Tanah longsor merupakan bencana geologi akibat pergerakan massa tanah atau batuan menuruni lereng setelah kestabilan lereng menurun. Pergerakan tanah menimbulkan perubahan getaran, sedangkan peningkatan kadar air dapat menurunkan kuat geser tanah. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pemantauan jarak jauh getaran dan kadar air tanah berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan komunikasi LoRa dan aplikasi Blynk. Sistem mengintegrasikan mikrokontroler ESP32, sensor inersia MPU6050, sensor getaran SW-420, sensor kadar air tanah resistif, dan modul LoRa RFM95. Pengujian dilakukan secara eksperimental pada prototipe lereng tanah skala laboratorium dengan kondisi tanpa dorongan, dorongan ringan, dorongan sedang, dan dorongan kuat. Nilai rata-rata getaran translasi ( $A_t$ ) meningkat dari  $0,00171 \text{ m/s}^2$  menjadi  $1,6689 \text{ m/s}^2$ , sedangkan nilai rata-rata getaran rotasi ( $G_r$ ) meningkat dari  $0,01923^\circ/\text{s}$  menjadi  $6,1580^\circ/\text{s}$ . Sensor SW-420 tidak menghasilkan pemicu pada kondisi tanpa dorongan dan mencatat 5–11 pemicu pada kondisi dorongan kuat. Sensor resistif mendeteksi peningkatan kadar air tanah relatif dari 0% menjadi 73,40% yang disertai penurunan nilai konverter analog-ke-digital dari 4095 menjadi 1462. Pada kondisi non-line-of-sight, komunikasi LoRa menghasilkan Packet Delivery Ratio (PDR) sebesar 100% hingga jarak 300,78 m, sedangkan pada jarak 350,08 m tidak ada paket yang diterima. Sistem mampu menampilkan seluruh parameter sensor dan komunikasi secara waktu nyata serta memberikan notifikasi Waspada dan Bahaya melalui Blynk. Dengan demikian, prototipe dapat mendukung pemantauan jarak jauh dan pemantauan awal kondisi yang berpotensi mengarah pada tanah longsor.

**Kata Kunci:** Tanah Longsor, Pemantauan Getaran, Kadar Air Tanah, Internet Of Things, Lora, Blynk.

### ABSTRACT

*Landslides are geological disasters caused by the downslope movement of soil or rock masses following a reduction in slope stability. Ground movement produces changes in vibration, whereas increasing soil moisture may reduce soil shear strength. This study develops an Internet of Things (IoT)-based remote monitoring system for ground vibration and soil moisture using LoRa communication and the Blynk application. The system integrates ESP32 microcontrollers, an MPU6050 inertial sensor, an SW-420 vibration sensor, a resistive soil moisture sensor, and RFM95 LoRa modules. Experimental testing was conducted on a laboratory-scale soil-slope prototype under no-push, light-push, moderate-push, and strong-push conditions. The average translational vibration ( $A_t$ ) increased from  $0.00171 \text{ m/s}^2$  to  $1.6689 \text{ m/s}^2$ , while the average rotational vibration ( $G_r$ ) increased from  $0.01923^\circ/\text{s}$  to  $6.1580^\circ/\text{s}$ . The SW-420 produced no trigger under the no-push condition and recorded 5–11 triggers under the strong-push condition. The resistive sensor detected an increase in relative soil moisture from 0% to 73.40%, accompanied by a decrease in the analog-to-digital converter value from 4095 to 1462. Under non-line-of-sight conditions, LoRa achieved a Packet Delivery Ratio (PDR) of 100% at distances up to 300.78 m, whereas no packets were received at 350.08 m. The system displayed all sensor and communication parameters in real time and generated Warning and Danger notifications through Blynk. The prototype can therefore support remote and preliminary monitoring of potential landslide conditions.*

**Keywords:** *Landslide, Ground Vibration, Soil Moisture, Internet Of Things, Lora, Blynk.*

## PENDAHULUAN

Tanah longsor merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di berbagai wilayah Indonesia, termasuk di Provinsi Kalimantan Barat. Bencana ini terjadi ketika massa tanah, batuan, atau material penyusun lereng mengalami pergerakan menuruni lereng akibat menurunnya kestabilan tanah. Penurunan kestabilan lereng dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti meningkatnya kadar air tanah, perubahan sifat mekanik tanah, kemiringan lereng, serta adanya gangguan mekanik berupa getaran. Air hujan yang meresap ke dalam tanah dapat meningkatkan kadar air tanah, menaikkan tekanan air pori, dan menurunkan kekuatan geser tanah, sehingga lereng menjadi lebih rentan mengalami pergerakan [1].

Dampak yang ditimbulkan oleh tanah longsor dapat berupa kerusakan infrastruktur, terganggunya akses transportasi, kerugian ekonomi, hingga ancaman terhadap keselamatan manusia. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa diperlukan sistem pemantauan yang mampu memberikan informasi mengenai perubahan kondisi tanah secara lebih awal, terutama terhadap parameter yang berkaitan dengan potensi longsor, seperti getaran tanah dan kadar air tanah [2].

Data dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Provinsi Kalimantan Barat menunjukkan bahwa tingkat kerawanan tanah longsor di wilayah tersebut masih tergolong tinggi. Tercatat sebanyak 173 desa berada pada kategori rawan tinggi dan 995 desa termasuk dalam kategori rawan sedang. Kondisi ini mengindikasikan perlunya upaya mitigasi yang lebih serius guna menekan risiko dan dampak bencana tanah longsor di Kalimantan Barat [3].

Pada kondisi lereng yang tidak stabil, pergerakan tanah dapat terjadi secara perlahan maupun tiba-tiba. Pergerakan tersebut dapat menimbulkan gangguan mekanik berupa getaran pada media tanah. Getaran dapat disebabkan oleh perubahan posisi massa tanah, retakan permukaan, pergeseran lapisan tanah, maupun gangguan dari lingkungan sekitar. Oleh karena itu, pemantauan getaran tanah menjadi penting karena perubahan getaran dapat digunakan sebagai salah satu indikator awal adanya perubahan kondisi tanah yang berpotensi menyebabkan ketidakstabilan lereng [4].

Dalam konteks ini, pengembangan sistem komunikasi jarak jauh untuk getaran dan kadar air tanah sangat diperlukan. Teknologi ini akan memungkinkan pengumpulan data secara real-time, analisis yang akurat, serta informasi peringatan dini tanah longsor kepada masyarakat luas. Sistem ini juga dapat membantu dalam mengoordinasikan tindakan mitigasi dan tanggap darurat yang lebih efisien. Selain itu, melalui sistem ini kita dapat dimanfaatkan data untuk memahami pola getaran sebagai indikasi pergerakan tanah dan kadar air tanah untuk memprediksi risiko masa depan, serta merancang strategi mitigasi yang lebih baik. Ini akan mengurangi kerugian dan dampak negatif yang ditimbulkan oleh bencana alam ini [5].

Oleh karena itu, penelitian ini mengimplementasikan sistem monitoring jarak jauh berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan dua mikrokontroler ESP32 dan komunikasi LoRa sebagai media pengiriman data antara node pengirim (TX) dan node penerima (RX). Sistem ini menggunakan sensor MPU6050 sebagai sensor utama untuk memperoleh data percepatan dan kecepatan sudut pada tiga sumbu, sehingga perubahan gerakan atau getaran pada media tanah dapat dipantau. Selain itu, sensor SW-420 digunakan sebagai sensor trigger untuk mendeteksi awal ada atau tidaknya getaran berdasarkan ambang sensitivitas tertentu. Sensor soil moisture resistif digunakan sebagai parameter pendukung untuk memperoleh informasi kadar air tanah. Data hasil pengukuran dikirimkan melalui komunikasi LoRa dari node TX ke node RX, kemudian diteruskan ke aplikasi Blynk pada smartphone untuk menampilkan informasi monitoring serta

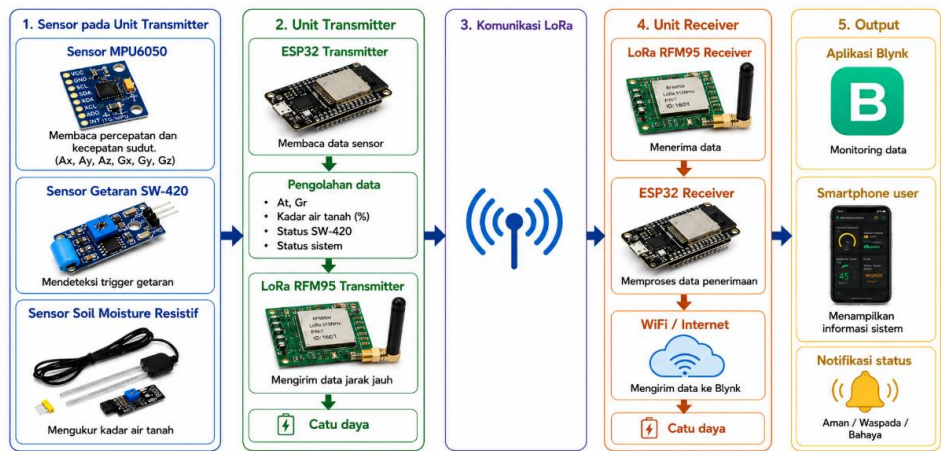
memberikan notifikasi peringatan apabila kondisi sytem mendeteksi melebihi ambang yang ditentukan.

**METODE PENELITIAN**

**1. Rancangan Sistem**

Penelitian menggunakan metode eksperimen pada media tanah berbentuk lereng dalam kotak prototipe skala laboratorium. Sistem dibagi menjadi unit transmitter dan receiver. Unit transmitter membaca MPU6050, SW-420, dan soil moisture resistif, mengolah data, lalu mengirimkan paket melalui LoRa RFM95. Unit receiver menerima paket, membaca RSSI dan SNR, menentukan status, serta mengirimkan seluruh parameter ke Blynk melalui jaringan Wi-Fi. Konfigurasi LoRa menggunakan frekuensi 915 MHz, spreading factor 12, bandwidth 250 kHz, coding rate 4/5, dan interval pengiriman satu detik.

Gambar 1. Blok diagram sistem monitoring getaran dan kadar air tanah.



Tabel 1. Komponen utama sistem.

| Komponen                 | Fungsi utama                                                                 |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| ESP32 transmitter        | Akuisisi, pengolahan, dan pengemasan data sensor.                            |
| MPU6050                  | Membaca percepatan dan kecepatan sudut pada sumbu X, Y, dan Z.               |
| SW-420                   | Mendeteksi trigger getaran dan menghitung jumlah respons digital.            |
| Soil moisture resistif   | Mengukur kadar air tanah relatif berdasarkan nilai ADC.                      |
| LoRa RFM95               | Mengirim dan menerima paket data jarak jauh.                                 |
| ESP32 receiver dan Blynk | Menerima data, menentukan status, menampilkan data, dan mengirim notifikasi. |

**2. Perancangan Perangkat Keras**

Perancangan perangkat keras merupakan tahap penyusunan komponen fisik yang digunakan dalam sistem monitoring jarak jauh getaran dan kadar air tanah. Perangkat keras pada sistem ini dirancang agar dapat membaca data sensor, mengolah data awal, mengirimkan data secara nirkabel, menerima data pada unit penerima, serta menampilkan data hasil monitoring pada aplikasi Blynk melalui smartphone.

**1) Perancangan Unit Transmitter**

Unit transmitter merupakan bagian sistem yang ditempatkan pada lokasi pemantauan. Unit ini berfungsi untuk membaca kondisi getaran dan kadar air tanah menggunakan beberapa sensor. Komponen utama pada unit transmitter terdiri dari

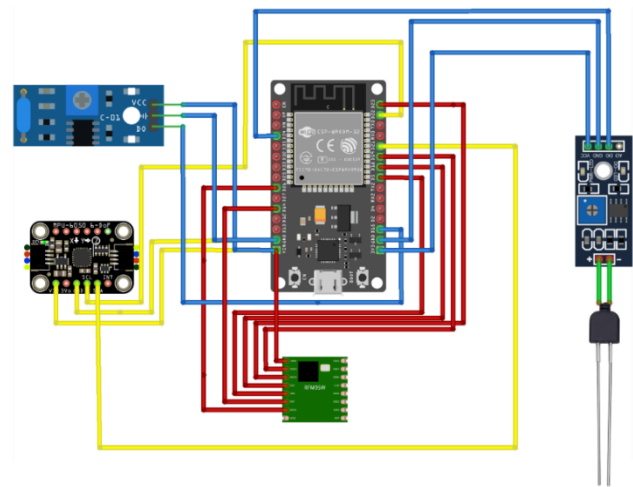
ESP32 transmitter, sensor MPU6050, sensor getaran SW-420, sensor soil moisture, modul LoRa RFM95 transmitter, antena LoRa, kabel jumper, dan catu daya.

ESP32 transmitter digunakan sebagai pusat pengendali pada unit pengirim. Mikrokontroler ini menerima data dari sensor MPU6050 melalui komunikasi I2C, membaca keluaran digital dari sensor SW-420, serta membaca keluaran analog dari sensor soil moisture resistif melalui pin ADC. Data yang diperoleh kemudian diproses untuk menghasilkan nilai getaran translasi, getaran rotasi, kadar air tanah, dan status getaran.

Sensor MPU6050 berfungsi membaca percepatan dan kecepatan sudut pada sumbu X, Y, dan Z. Data percepatan digunakan untuk memperoleh nilai getaran translasi, sedangkan data gyroscope digunakan untuk memperoleh nilai getaran rotasi. Sensor SW-420 digunakan sebagai sensor pendeteksi getaran berbasis trigger digital. Sensor ini akan memberikan keluaran logika ketika mendeteksi adanya getaran pada media uji. Sementara itu, sensor soil moisture digunakan untuk membaca kadar air tanah berdasarkan perubahan nilai resistansi tanah.

Setelah seluruh data sensor diperoleh, ESP32 transmitter mengemas data tersebut menjadi paket data. Paket data kemudian dikirimkan ke unit receiver menggunakan modul LoRa RFM95 transmitter. Penggunaan LoRa pada unit transmitter bertujuan agar data sensor dapat dikirimkan secara jarak jauh tanpa harus bergantung langsung pada jaringan internet di lokasi sensor. Gambar 3.7 menunjukkan skematik transmitter pada sistem monitoring jarak jauh getaran dan kadar air tanah.

Gambar 2. Skematik Transmitter Sistem Monitoring Jarak jauh Getaran dan Kadar Air Tanah



## 2) Koneksi Pin Unit Transmitter

Koneksi pin pada unit transmitter meliputi hubungan antara ESP32 transmitter dengan LoRa RFM95, MPU6050, sensor SW-420, dan sensor soil moisture. Koneksi pin ini disusun agar setiap komponen dapat bekerja sesuai fungsi masing-masing.

Tabel 2 Pinout LoRa RFM95 (Tx) – ESP32 Transmitter

| No | LoRa RFM95 | ESP32 (Transmitter) |
|----|------------|---------------------|
| 1  | GND        | GND                 |
| 2  | VCC        | VIN                 |
| 3  | RST        | D14                 |
| 4  | NSS / CS   | D5                  |
| 5  | MOSI       | D23                 |
| 6  | MISO       | D19                 |
| 7  | SCK        | D18                 |
| 8  | DIO0       | D26                 |

Tabel 3 Pinout MPU 6050 (Tx) – ESP32 Transmitter

| No | MPU 6050 | ESP32 (Transmitter) |
|----|----------|---------------------|
| 1  | VCC      | VIN                 |
| 2  | GND      | GND                 |
| 3  | SCL      | D22                 |
| 4  | SDA      | D21                 |

Tabel 4 Pinout Sensor Getaran SW-420 – ESP32 Transmitter

| No | SW-420              | ESP32 (Transmitter) |
|----|---------------------|---------------------|
| 1  | VCC                 | VIN                 |
| 2  | GND                 | GND                 |
| 3  | DO (Digital Output) | D25                 |

Tabel 5 Pinout Sensor Soil Moisture Resistif – ESP32 Transmitter

| No | YL-69              | ESP32 (Transmitter) |
|----|--------------------|---------------------|
| 1  | VCC                | VIN                 |
| 2  | GND                | GND                 |
| 3  | AO (Analog Output) | D35 (GPIO35/ADC)    |

### 3) Perancangan Unit Receiver

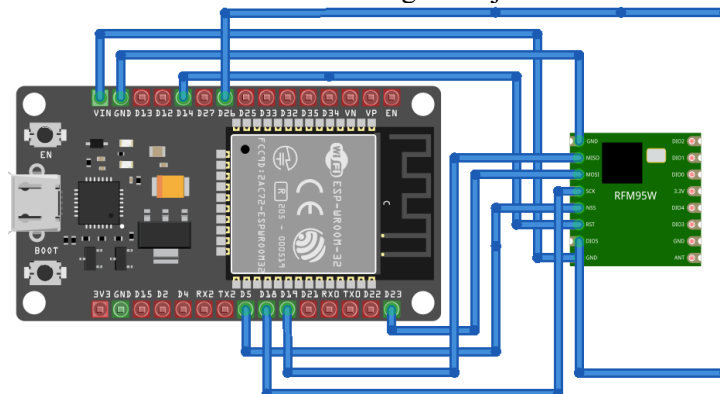
Unit receiver merupakan bagian sistem yang berfungsi untuk menerima data dari unit transmitter. Komponen utama pada unit receiver terdiri dari ESP32 receiver, modul LoRa RFM95 receiver, antena LoRa, koneksi WiFi, dan aplikasi Blynk.

LoRa RFM95 receiver menerima paket data yang dikirimkan oleh LoRa RFM95 transmitter. Data tersebut kemudian diteruskan ke ESP32 receiver untuk diproses lebih lanjut. ESP32 receiver bertugas memisahkan data berdasarkan parameter yang dikirimkan, seperti data accelerometer, data gyroscope, getaran translasi, getaran rotasi, kadar air tanah, dan status sensor SW-420.

Selain menerima data sensor, ESP32 receiver juga membaca parameter kualitas komunikasi LoRa, yaitu RSSI dan SNR. RSSI digunakan untuk mengetahui kekuatan sinyal yang diterima, sedangkan SNR digunakan untuk mengetahui perbandingan antara sinyal dan noise. Kedua parameter tersebut digunakan untuk menilai kualitas komunikasi antara unit transmitter dan unit receiver.

Setelah data diproses, ESP32 receiver menghubungkan sistem ke jaringan internet melalui WiFi. Data kemudian dikirimkan ke platform Blynk agar dapat ditampilkan pada smartphone. Dengan rancangan ini, pengguna dapat melakukan pemantauan data sensor secara real-time dari jarak jauh. Gambar 3.8 menunjukkan skematik receiver pada sistem monitoring jarak jauh getaran dan kadar air tanah.

Gambar 3 Skematik Receiver Sistem Monitoring Jarak jauh Getaran dan Kadar Air Tanah



### 4) Koneksi Pin Unit Receiver

Koneksi pin pada unit receiver meliputi hubungan antara ESP32 receiver dan LoRa RFM95 receiver. Unit receiver tidak menggunakan sensor, karena fungsinya

adalah menerima data dari unit transmitter dan meneruskannya ke aplikasi Blynk melalui koneksi WiFi.

Tabel 6 Pinout LoRa RFM95 (Rx) – ESP32 Receiver

| No | LoRa RFM95 | ESP32 (Receiver) |
|----|------------|------------------|
| 1  | GND        | GND              |
| 2  | VCC        | VIN              |
| 3  | RST        | D14              |
| 4  | NSS / CS   | D5               |
| 5  | MOSI       | D23              |
| 6  | MISO       | D19              |
| 7  | SCK        | D18              |
| 8  | DIO0       | D26              |

### 3. Kalibrasi dan Pengolahan Data

Kalibrasi MPU6050 dilakukan pada kondisi diam untuk memperoleh offset masing-masing sumbu. Data accelerometer setelah koreksi offset diproses dengan high-pass filter berkonstanta  $\alpha = 0,85$  untuk mengurangi komponen gravitasi dan perubahan berfrekuensi rendah. Data gyroscope cukup dikoreksi terhadap offset. Resultan getaran dihitung menggunakan Persamaan (1) dan (2).

$$At = \sqrt{(Ax^2 + Ay^2 + Az^2)} \tag{1}$$

$$Gr = \sqrt{(Gx^2 + Gy^2 + Gz^2)} \tag{2}$$

Sensor SW-420 dikalibrasi dengan tiga tingkat sensitivitas; sensitivitas sedang dipilih karena stabil tanpa gangguan tetapi tetap merespons ketukan rendah hingga tinggi. Sensor soil moisture dikalibrasi menggunakan dua titik, yaitu ADC 4095 sebagai kondisi kering (0%) dan ADC 509 sebagai kondisi jenuh (100%). Persentase yang dihasilkan merupakan kadar air relatif pada media uji, bukan kadar air volumetrik absolut.

$$\text{Kadar air (\%)} = ((ADC_{\text{kering}} - ADC_{\text{sensor}})/(ADC_{\text{kering}} - ADC_{\text{jenuh}})) \times 100\% \tag{3}$$

Keandalan transmisi dinilai dari jumlah paket yang dikirim dan diterima. Pada setiap jarak, transmitter mengirimkan 10 paket. PDR dihitung menggunakan Persamaan (4), sedangkan packet loss merupakan 100% dikurangi PDR.

$$PDR = (\text{paket diterima}/\text{paket dikirim}) \times 100\% \tag{4}$$

### 4. Skenario Pengujian

MPU6050 diuji pada empat kondisi: tanpa dorongan, dorongan ringan, sedang, dan kuat. Dorongan diberikan menggunakan plat tipis dari arah atas lereng tanpa menyentuh sensor; besar gaya tidak diukur karena penelitian berfokus pada respons sistem. Setiap kondisi MPU6050 diuji 10 kali. SW-420 diuji lima kali pada setiap kondisi dengan pencatatan status dan jumlah trigger. Sensor kadar air diuji melalui empat tahap penyiraman, masing-masing 10 detik, setelah kondisi kering.



Gambar 4. Tata letak sensor pada prototipe lereng tanah.

Pengujian LoRa dilakukan pada jarak aktual 100,49; 150,26; 199,75; 250,57; 300,78; dan 350,08 m di Jalan Parit Demang, Pontianak. Kondisi pengujian bersifat non-line-of-sight karena terdapat pagar, bangunan, dan vegetasi. Antena transmitter dan receiver diposisikan vertikal pada setiap titik. Integrasi IoT diuji dengan membandingkan data transmitter, receiver, dan Blynk, sedangkan notifikasi diuji pada kondisi normal, peningkatan getaran, peningkatan kadar air, serta kombinasi keduanya

## 5. Penentuan Status Sistem

Ambang status ditetapkan secara empiris berdasarkan kalibrasi dan respons prototipe. Nilai ini ditujukan untuk klasifikasi pada media uji dan belum dapat diperlakukan sebagai ambang geoteknik universal. SW-420 digunakan sebagai konfirmasi agar lonjakan At atau Gr sesaat tidak langsung menghasilkan status Bahaya.

Tabel 7. Ambang status sistem.

| Status  | Kondisi logika                                                                                                                       | Notifikasi  |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Aman    | Kadar air $\leq 70\%$ ; At $\leq 0,15 \text{ m/s}^2$ ; Gr $\leq 0,40^\circ/\text{s}$ ; SW-420 tidak aktif.                           | Tidak aktif |
| Waspada | Kadar air $> 70\%$ , atau At $> 0,15 \text{ m/s}^2$ /Gr $> 0,40^\circ/\text{s}$ disertai SW-420 aktif, tetapi belum memenuhi Bahaya. | Aktif       |
| Bahaya  | At $> 0,30 \text{ m/s}^2$ atau Gr $> 1,00^\circ/\text{s}$ , disertai SW-420 aktif.                                                   | Aktif       |

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Hasil Kalibrasi Sensor

Pada 200 sampel kondisi diam, rata-rata Ax, Ay, dan Az masing-masing sebesar  $-0,00158$ ;  $0,00056$ ; dan  $0,00541 \text{ m/s}^2$ . Rata-rata Gx, Gy, dan Gz sebesar  $0,00294$ ;  $0,00379$ ; dan  $0,00381^\circ/\text{s}$ . Rata-rata At sebesar  $0,01898 \text{ m/s}^2$  dan Gr sebesar  $0,05037^\circ/\text{s}$ , sehingga pembacaan setelah koreksi berada dekat nol dan dapat digunakan sebagai dasar pengujian dinamis. Fluktuasi kecil yang tersisa menunjukkan noise sensor, bukan pergerakan kontinu.

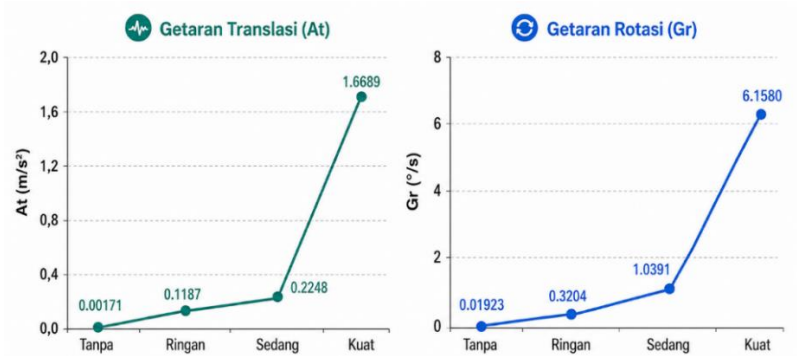
Tabel 8. Ringkasan hasil kalibrasi.

| Sensor        | Hasil kalibrasi                                                                                         | Implikasi                                                      |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| MPU6050       | At rata-rata $0,01898 \text{ m/s}^2$ ; Gr rata-rata $0,05037^\circ/\text{s}$ pada kondisi diam.         | Offset dan filter menekan bias awal; noise residual tetap ada. |
| SW-420        | Sensitivitas sedang: 0 trigger tanpa gangguan; 1, 3, dan 7 trigger pada ketukan rendah, sedang, tinggi. | Mampu membedakan kenaikan intensitas gangguan.                 |
| Soil moisture | ADC kering 4095 dan ADC jenuh 509.                                                                      | Rentang digunakan untuk konversi kadar air relatif 0–100%.     |

### 2. Hasil Pengujian Getaran Translasi dan Rotasi

Tabel 9. Rata-rata respons MPU6050 pada setiap kondisi.

| Kondisi         | At rata-rata ( $\text{m/s}^2$ ) | Gr rata-rata ( $^\circ/\text{s}$ ) |
|-----------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Tanpa dorongan  | 0,00171                         | 0,01923                            |
| Dorongan ringan | 0,1187                          | 0,3204                             |
| Dorongan sedang | 0,2248                          | 1,0391                             |
| Dorongan kuat   | 1,6689                          | 6,1580                             |



Gambar 5. Perubahan rata-rata At dan Gr terhadap tingkat dorongan.

Berdasarkan Tabel 9 dan Gambar 5, nilai rata-rata At dan Gr menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya tingkat dorongan. Nilai At meningkat dari 0,00171 m/s<sup>2</sup> pada kondisi tanpa dorongan menjadi 1,6689 m/s<sup>2</sup> pada dorongan kuat, sedangkan Gr meningkat dari 0,01923°/s menjadi 6,1580°/s. Hasil ini menunjukkan bahwa MPU6050 mampu membedakan respons gerak translasi dan rotasi pada setiap kondisi pengujian.

Peningkatan nilai Gr yang tampak pada dorongan sedang menunjukkan bahwa pergerakan media tanah tidak hanya bersifat linear, tetapi juga melibatkan perubahan orientasi. Variasi data pada dorongan kuat dipengaruhi oleh pemberian gaya secara manual, sehingga hasil pengujian digunakan untuk menilai respons sistem.

### 3. Hasil Pengujian Sensor Getaran SW-420

Tabel 10. Ringkasan respons sensor SW-420.

| Kondisi         | Deteksi aktif      | Rentang/jumlah trigger |
|-----------------|--------------------|------------------------|
| Tanpa dorongan  | 0 dari 5 percobaan | 0                      |
| Dorongan ringan | 1 dari 5 percobaan | 0–1                    |
| Dorongan sedang | 5 dari 5 percobaan | 1–5                    |
| Dorongan kuat   | 5 dari 5 percobaan | 5–11                   |

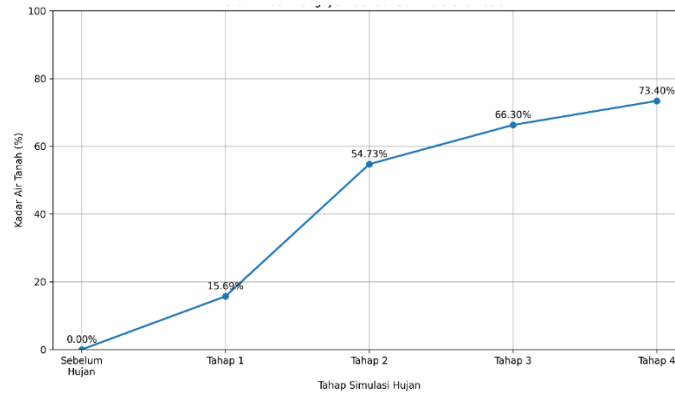
Sensor SW-420 tidak menghasilkan sinyal deteksi pada kondisi tanpa dorongan dan memberikan respons pada seluruh pengujian dorongan sedang serta kuat. Pada dorongan ringan, sensor mendeteksi getaran pada satu dari lima percobaan, yang menunjukkan bahwa respons sensor menyesuaikan dengan tingkat gangguan pada media tanah.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa SW-420 efektif digunakan untuk mendeteksi keberadaan getaran, sedangkan MPU6050 memberikan informasi kuantitatif berupa nilai At dan Gr. Integrasi kedua sensor membuat sistem mampu mendeteksi getaran sekaligus menggambarkan karakteristik gerak translasi dan rotasi secara lebih menyeluruh.

### 4. Hasil Pengujian Sensor Soil Moisture Resistif

Tabel 11. Perubahan pembacaan soil moisture selama simulasi hujan.

| Tahap            | ADC  | Kadar air (%) |
|------------------|------|---------------|
| Kering           | 4095 | 0,00          |
| Simulasi hujan 1 | 3532 | 15,69         |
| Simulasi hujan 2 | 2132 | 54,73         |
| Simulasi hujan 3 | 1717 | 66,30         |
| Simulasi hujan 4 | 1462 | 73,40         |



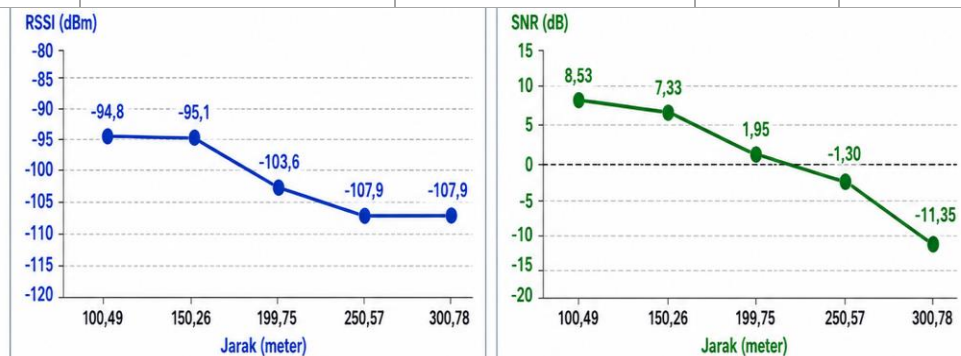
Gambar 6. Grafik Hasil Pengujian Sensor Soil Moisture Resistif.

Nilai ADC menurun ketika air ditambahkan, sedangkan persentase kadar air relatif meningkat hingga 73,40%. Pola berlawanan ini sesuai dengan karakter sensor resistif: meningkatnya kandungan air memperbesar konduktivitas tanah dan menurunkan resistansi antarelektrode probe.

## 5. Hasil Pengujian Komunikasi LoRa RFM95

Tabel 12. Hasil pengujian komunikasi LoRa pada kondisi NLOS.

| Jarak (m) | RSSI rata-rata (dBm) | SNR rata-rata (dB) | PDR (%) | Packet loss (%) |
|-----------|----------------------|--------------------|---------|-----------------|
| 100,49    | -94,8                | 8,53               | 100     | 0               |
| 150,26    | -95,1                | 7,33               | 100     | 0               |
| 199,75    | -103,6               | 1,95               | 100     | 0               |
| 250,57    | -107,9               | -1,30              | 100     | 0               |
| 300,78    | -107,8               | -11,35             | 100     | 0               |
| 350,08    | —                    | —                  | 0       | 100             |



Gambar 7. Hasil Pengujian Komunikasi LoRa RFM95

Bertambahnya jarak menurunkan kualitas sinyal. RSSI berubah dari -94,8 dBm pada 100,49 m menjadi -107,9 dBm pada 300,78 m, sedangkan SNR turun dari 8,53 dB menjadi -11,35 dB. Meskipun SNR telah negatif pada 250,57 dan 300,78 m, LoRa masih berhasil mendekode seluruh paket sehingga PDR tetap 100%. Pada 350,08 m tidak ada paket yang diterima. Kegagalan yang terjadi langsung setelah keberhasilan 100% pada 300,78 m menunjukkan bahwa batas sistem dipengaruhi kombinasi jarak, penghalang, tinggi antena, orientasi, dan link budget, bukan jarak semata. Dengan demikian, 300,78 m merupakan jarak terjauh yang terbukti pada skenario NLOS penelitian ini dan tidak boleh ditafsirkan sebagai jangkauan maksimum LoRa pada semua lingkungan.

## 6. Hasil Pengujian Packet Delivery Ratio dan Packet loss

Tabel 13. Hasil Pengujian Packet Delivery Ratio dan Packet Loss

| No | Jarak  | Paket Dikirim | Paket Diterima | Paket Hilang | PDR (%) | Packet Loss (%) | Keterangan |
|----|--------|---------------|----------------|--------------|---------|-----------------|------------|
| 1  | 100,49 | 10            | 10             | 0            | 100     | 0               | berhasil   |
| 2  | 150,26 | 10            | 10             | 0            | 100     | 0               | berhasil   |
| 3  | 199,75 | 10            | 10             | 0            | 100     | 0               | berhasil   |
| 4  | 250,57 | 10            | 10             | 0            | 100     | 0               | berhasil   |
| 5  | 300,78 | 10            | 10             | 0            | 100     | 0               | Berhasil   |
| 6  | 350,08 | 10            | 0              | 10           | 0`      | 100             | gagal      |

Berdasarkan hasil pengujian, komunikasi LoRa RFM95 mampu mempertahankan PDR sebesar 100% dengan packet loss 0% pada jarak 100,49–300,78 meter. Pada jarak 350,08 meter, tidak ada paket yang berhasil diterima sehingga PDR menurun menjadi 0% dan packet loss meningkat menjadi 100%. Dengan demikian, jarak 300,78 meter merupakan jangkauan terjauh sistem yang masih menunjukkan keberhasilan penerimaan paket secara penuh pada kondisi pengujian.

## 7. Hasil Pengujian Integrasi Sistem IoT dan Blynk

Pengujian integrasi sistem IoT dan Blynk dilakukan untuk mengetahui kesesuaian data yang dikirim oleh unit transmitter, diterima oleh unit receiver, dan ditampilkan pada aplikasi Blynk secara real-time.

Tabel 14. Hasil Pengujian Integrasi Sistem IoT dan Blynk

| No | Parameter                      | Data pada Transmitter | Data Diterima Receiver | Data Tampil Blynk | Keterangan |
|----|--------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|------------|
| 1  | Ax                             | 0.0003                | 0.0003                 | 0.0003            | Sesuai     |
| 2  | Ay                             | -0.0016               | -0.0016                | -0.0016           | Sesuai     |
| 3  | Az                             | -0.0014               | -0.0014                | -0.0014           | Sesuai     |
| 4  | Gx                             | 0.0051                | 0.0051                 | 0.0051            | Sesuai     |
| 5  | Gy                             | 0.0084                | 0.0084                 | 0.0084            | Sesuai     |
| 6  | Gz                             | 0.0261                | 0.0261                 | 0.0261            | Sesuai     |
| 7  | At                             | 0.0021                | 0.0021                 | 0.0021            | Sesuai     |
| 8  | Gr                             | 0.0279                | 0.0279                 | 0.0279            | Sesuai     |
| 9  | Status SW-420                  | Tidak Ada Getaran     | Tidak Ada Getaran      | Tidak Ada Getaran | Sesuai     |
| 10 | Jumlah trigger SW-420          | 0                     | 0                      | 0                 | Sesuai     |
| 11 | Nilai ADC <i>soil moisture</i> | 4095                  | 4095                   | 4095              | Sesuai     |
| 12 | Kadar air tanah (%)            | 0                     | 0                      | 0                 | Sesuai     |
| 13 | RSSI                           | -66                   | -66                    | -66               | Sesuai     |
| 14 | SNR                            | 11.75                 | 11.75                  | 11.75             | Sesuai     |
| 15 | Status sistem                  | AMAN                  | AMAN                   | AMAN              | Sesuai     |



Gambar 8. Tampilan Widget Blynk pada Smartphone

tingkat kesesuaian data antara unit transmitter, unit receiver, dan aplikasi Blynk mencapai 100% pada seluruh parameter yang diuji. Parameter tersebut meliputi data sensor MPU6050, status sensor SW-420, jumlah trigger, nilai ADC soil moisture resistif, kadar air tanah, RSSI, SNR, dan status sistem.

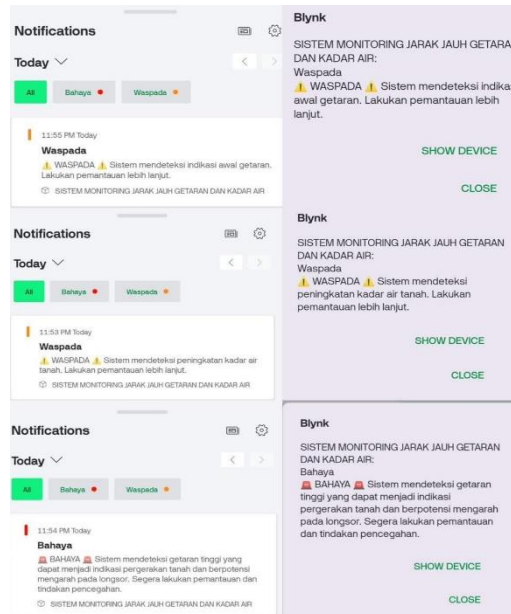
aplikasi Blynk berhasil menampilkan data hasil pembacaan sensor yang diterima oleh unit receiver. Data yang ditampilkan meliputi parameter getaran, kadar air tanah, status SW-420, RSSI, SNR, dan status sistem. Tampilan tersebut digunakan sebagai bukti bahwa data dari unit receiver dapat diteruskan dan ditampilkan pada aplikasi Blynk secara real-time.

## 8. Hasil Pengujian Notifikasi Status Sistem

Notifikasi dikirim oleh receiver menggunakan fungsi Blynk.logEvent() setelah data status sistem diterima dari transmitter melalui komunikasi LoRa. Pada pengujian ini, status sistem diamati berdasarkan kombinasi data kadar air tanah, getaran translasi, getaran rotasi, status sensor SW-420, dan jumlah trigger yang terdeteksi.

Tabel. 15 Hasil Pengujian Notifikasi Status Sistem

| No | Kondisi Pengujian                     | At     | Gr     | Status SW-420      | Kadar Air Tanah (%) | Status Sistem | Notifikasi Blynk |
|----|---------------------------------------|--------|--------|--------------------|---------------------|---------------|------------------|
| 1  | Kondisi normal/tanpa dorongan         | 0.0150 | 0.0780 | Tidak ada getaran  | 15.50               | Aman          | Tidak Aktif      |
| 2  | Getaran meningkat                     | 0.2762 | 0.4873 | Getaran terdeteksi | 47.49               | Waspada       | Aktif            |
| 3  | Kadar air tanah meningkat             | 0.0159 | 0.0776 | Tidak ada getaran  | 73.84               | Waspada       | Aktif            |
| 4  | Getaran dan kadar air tanah meningkat | 0.1734 | 2.7695 | Getaran terdeteksi | 73.98               | Bahaya        | Aktif            |



Gambar 9. Tampilan Notifikasi Status Sistem pada Aplikasi Blynk

Pada kondisi Aman, sistem tidak mengirimkan notifikasi karena nilai At, Gr, kadar air tanah, dan status SW-420 masih berada dalam batas normal. Status Waspada muncul ketika terjadi peningkatan getaran yang terdeteksi oleh MPU6050 dan SW-420, atau ketika kadar air tanah mencapai 73,84% dan melampaui ambang 70%.

Status Bahaya ditampilkan saat nilai Gr mencapai 2,7695°/s dan sensor SW-420 mendeteksi getaran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan notifikasi Waspada dan Bahaya melalui Blynk sesuai dengan kondisi ambang batas yang ditentukan.

## KESIMPULAN

Sistem monitoring jarak jauh berhasil mengintegrasikan MPU6050, SW-420, soil moisture resistif, ESP32, LoRa RFM95, dan Blynk. Respons getaran meningkat seiring tingkat dorongan: At rata-rata berubah dari 0,00171 menjadi 1,6689 m/s<sup>2</sup> dan Gr dari 0,01923 menjadi 6,1580°/s. SW-420 efektif sebagai konfirmasi getaran sedang dan kuat, sedangkan sensor soil moisture menunjukkan kenaikan kadar air relatif dari 0% menjadi 73,40% selama simulasi hujan. Pada pengujian NLOS, LoRa mempertahankan PDR 100% hingga 300,78 m dan gagal pada 350,08 m. Seluruh parameter berhasil ditampilkan pada Blynk dan notifikasi Aman, Waspada, serta Bahaya bekerja sesuai logika yang ditetapkan. Sistem layak sebagai prototipe observasi awal, tetapi validasi lapangan dengan sensor kadar air yang lebih tahan, catu daya mandiri, pengukuran gaya dan perpindahan, serta acuan geoteknik diperlukan sebelum digunakan sebagai sistem peringatan dini operasional.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. B. S. Umbu, "Kalibrasi Sensor Kelembaban Tanah YL-69 untuk Sistem Pengukuran Kelembaban Tanah Berbasis Arduino Uno," *Optika: Jurnal Pendidikan Fisika*, vol. 7, no. 1, pp. 62–71, 2023, doi: 10.37478/optika.v7i1.2691.
- A. F. Lestari, E. Riani, S. F. Nurjihan, dan R. F. Hasani, "Prototype Sistem Pendeteksi Longsor Berbasis Internet of Things," vol. 5, 2024.
- A. Setyawan, J. E. Suseno, R. D. Winesthi, dan S. A. Otaviana, "Peringatan Dini Tanah Longsor Berdasarkan Kelembaban Tanah Secara Jarak Jauh Menggunakan Sensor FC-28 dan NodeMCU," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 18, no. 2, pp. 242–246, 2020, doi:

10.14710/jil.18.2.242-246.

- A. Supriyogo et al., “Pengaruh Kondisi Line of Sight dan Non Line of Sight terhadap Pengiriman Data Menggunakan Teknologi Low Power Wide Area Network,” *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology*, vol. 1, no. 1, p. 1, 2022.
- B. Arham dan A. Wibowo, “Analisis Bencana Longsor akibat Gempa Bumi Cianjur 2022 dengan DInSAR,” *Journal of Regional and Rural Development Planning*, vol. 8, no. 2, pp. 104–115, 2024, doi: 10.29244/jp2wd.2024.8.2.104-115.
- D. Suprihanto et al., “Prototype of the Internet of Things-Based Swallow Building,” vol. 4, no. 1, pp. 131–141, 2023.
- F. R. Ashari, J. Marpaung, F. Imansyah, dan R. R. Yacoub, “Rancang Bangun Alat Monitoring Suhu dan Kelembaban Tanah,” 2020.
- Ferryanto, “BPBD Kalbar Catat 173 Desa di Kalbar Kategori Rawan Tinggi Longsor,” *Tribun Pontianak*, 2023.
- H. Hanifa dan S. Suwardi, “Identifikasi Tingkat Kerawanan Tanah Longsor di Ajibarang Banyumas Menggunakan Metode Skoring,” *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, vol. 10, no. 1, pp. 97–103, 2023, doi: 10.21776/ub.jtsl.2023.010.1.10.
- I. N. Mutiah, Syamsuddin, Lantu, dan Y. D. Triana, “Analisis Potensi Longsor Berdasarkan Parameter Tahanan Jenis dan Kekuatan Tanah,” *Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana*, vol. 6, no. 2, p. 90, 2015.
- L. A. Y. Merbawani, M. Rivai, dan H. Pirngadi, “Sistem Monitoring Profil Kedalaman Tingkat Kelembapan Tanah Berbasis IoT dan LoRa,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 10, no. 2, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v10i2.68613.
- M. F. R. N., Y. Nantan, W. Saputri, dan A. W. S., “Pemodelan Kotak 3D Menggunakan Sensor MPU6050,” pp. 37–40, 2022.
- M. F. Rahman, F. Budiman, dan A. Z. Fuadi, “Sistem Monitoring Keadaan Tanah Berbasis IoT,” *e-Proceeding of Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 1039–1050, 2021.
- N. Surabaya dan J. Timur, “Sistem Pendeteksi Dini Tanah Longsor Menggunakan Sensor Vibration Berbasis Internet of Things,” 2022.
- R. Bangun dan K. Android, “Rancang Bangun Gerbang dengan Menggunakan Kontrol Android via Bluetooth Berbasis Arduino Uno R3,” *Jurnal Pendidikan Sains dan Komputer*, vol. 2, no. 2, pp. 312–316, 2022.
- R. Mega Utama, “Rancang Bangun Alat Deteksi Tanah Longsor Berbasis IoT dengan NodeMCU ESP8266 dan MPU6050,” *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, vol. 6, no. 2, pp. 137–146, 2022, doi: 10.24198/jiif.v6i2.40054.
- R. Rubarkah dan R. Perdhana, “Pemetaan Daerah Rawan Longsor di Kabupaten Sanggau, Provinsi Kalimantan Barat,” 2024.
- R. W. Putra dan H. Suryamen, “Sistem Monitoring Tanah Longsor Berbasis Internet of Things dan Geographic Information System,” *JITCE*, vol. 3, no. 2, pp. 70–77, 2019, doi: 10.25077/jitce.3.02.70-77.2019.
- W. S. D. Aji et al., “Evaluasi Kinerja dan Skalabilitas Platform Blynk untuk Aplikasi Internet of Things,” *ELANG: Journal of Interdisciplinary Research*, vol. 3, no. 1, pp. 46–52, 2025.
- W. T. Saputro, F. Rahman, dan H. M. Jumasa, “Mengukur Kadar Air pada Biji Kopi Mentah dengan Sensor YL-69 dan Capacitive Soil Moisture,” *Sainteks*, vol. 22, no. 1, pp. 29–37, 2025, doi: 10.30595/sainteks.v22i1.23920.
- Y. Kaladewa dan A. Santoso, “Implementasi Sensor Kemiringan Sudut untuk Alat Bantu Gantry Luffing Crane,” vol. 2, pp. 62–69, 2022.