

SIMULASI PENDETEKSIAN TANAH LONGSOR MENGGUNAKAN SENSOR AKSELEROMETER TIPE MMA 7361 L

Landslides Detection Simulation Using MMA 7361 L Type Accelerometer Sensor

Arizal Dwiantara¹, I Made Budi Suksmadana², Syafaruddin Ch. 3¹

ABSTRAK

Tanah longsor merupakan bencana musiman yang memiliki potensi untuk menimbulkan korban jiwa maupun materi yang cukup besar. Dengan menggunakan sensor akselerometer dapat dibuat sebuah detektor pergerakan tanah yang dapat digunakan untuk mendeteksi terjadinya tanah longsor sehingga timbulnya kerugian akibat tanah longsor dapat diminimalisir.

Proses pengujian dan pengambilan data penelitian dilakukan dengan menggunakan alat simulasi tanah longsor yang dapat mensimulasikan longsor dengan kemiringan lereng hingga 45°. Data yang didapatkan oleh detektor dikirimkan menggunakan modul NRF24L01 secara nirkabel menggunakan frekuensi radio 2,4 GHz dengan jarak maksimal transmisi data sejauh 43 meter.

Percobaan dilakukan dengan menggunakan 2 kondisi kemiringan lereng. dimana pada percobaan dengan kemiringan lereng 30° selisih pembacaan pergerakan tertinggi yang tercatat sebesar 0,77cm sebelum detektor melampaui batas pergerakannya dan pada percobaan dengan kemiringan lereng 40° selisih pembacaan pergerakan tertinggi yang tercatat sebesar 0,96cm sebelum detektor melampaui batas pergerakannya.

Kata Kunci: Tanah Longsor, Deteksi dini, Simulasi, Akselerometer, Nirkabel, Frekuensi Radio

ABSTRACT

Landslide is a seasonal disaster that having potential to inflict massive material and lives casualty. Using accelerometer sensor, a soil movement detector can be made and used to detecting landslides so the damage can be minimize.

Testing and data gathering process on this research is using landslides simulation tools that can simulate landslides with slope tilts up to 45°. Data gathered by detector sends by detector using NRF24L01 wireless module 2,4 GHz radio frequency with maximum transmission distance up to 43 meter.

Experiment carried out using 2 condition of slope tilts. On experiment using slope with 30° degrees tilt, highest difference of movement reading that recorded is 0,77 cm before detector exceeding it movement range and on experiment using slope with 40° degrees tilt, highest difference of movement reading that recorded is 0,96 cm before detector exceeding it movement range.

Keywords: Landslides, Early Warning, Simulation, Accelerometer, Wireless, Radio Frequency

PENDAHULUAN

Bencana alam masih menjadi ancaman yang menakutkan bagi umat manusia. Sampai saat ini masih belum ditemukan cara untuk mencegah secara total terjadinya suatu bencana, khususnya bencana yang melibatkan kekuatan alam. Tidak jarang banyak yang menjadi korban jiwa pada saat bencana alam berlangsung, akibat terlambatnya respon penyelamatan korban pasca bencana. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah sistem yang dapat memberi peringatan secara cepat sehingga proses evakuasi korban dapat segera dilakukan saat

bencana terjadi sehingga angka korban jiwa dapat ditekan.

Pada umumnya bencana tanah longsor didahului oleh pergerakan tanah yang tidak kasat mata dan laju pergerakan tanah tersebut berbeda – beda tergantung lapisan dan kedalamannya. Dengan mengetahui perihal tersebut dapat dirancang sebuah sistem deteksi dini tanah longsor dengan cara membuat suatu alat yang dapat mendeteksi perubahan dan pergerakan tidak kasat mata tanah yang terjadi pada daerah rawan bencana tanah longsor.

¹ Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia
Email : arizal.dwiantara@gmail.com¹, mdbudi@te.ftunram.ac.id², syafaruddin71@yahoo.com³

Proses terjadinya longsor diawali dengan meresapnya air ke dalam tanah sehingga menambah bobot massa tanah. Kemudian air menembus sampai ke lapisan kedap air yang berperan sebagai bidang gelincir, sehingga tanah menjadi licin dan tanah hasil pelapukan di atasnya bergerak mengikuti lereng dan keluar dari lereng.(Martini,2005).

Longsoran (*Slides*) dibagi lagi menjadi dua jenis yaitu longsoran rotasi dan longsoran translasi. Longsoran tanah dengan rotasi bercirikan susunan materialnya tidak banyak berubah dan biasanya terjadi pada lereng dengan kondisi tanah yang homogen.Sedangkan untuk jenis longsoran translasi cenderung terjadi bila tanah yang berbatasan berada pada kedalaman yang relatif dangkal di bawah permukaan lereng dan susunan materialnya banyak berubah.(Ikhsan,2013)

Mikrokontroler merupakan komponen elektronik yang didalamnya terdapat rangkaian mikroprosesor, memori (RAM/ROM) dan I/O. Rangkaian tersebut terdapat dalam level chip atau biasa disebut *single chip* mikrokomputer. Pada mikrokontroler sudah terdapat komponen – komponen mikroprosesor dengan sistem bus internal yang saling berhubungan. Komponen – komponen tersebut adalah RAM, ROM, timer/counter, komponen I/O paralel dan serial serta *interrupt* kontroler.

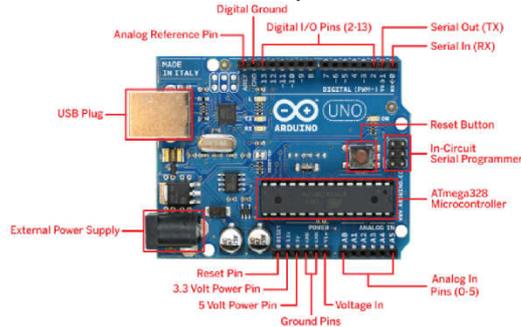
Konfigurasi PinMikrokontroler ATmega 28P dengan kemasan 28-pin DIP (*dual in-linepackage*)dapat di lihatpadaGambar 1.

(PCINT14/RESET) PC6	1	28	PC5 (ADC5/SCL/PCINT13)
(PCINT16/RXD) PD0	2	27	PC4 (ADC4/SDA/PCINT12)
(PCINT17/TXD) PD1	3	26	PC3 (ADC3/PCINT11)
(PCINT18/INT0) PD2	4	25	PC2 (ADC2/PCINT10)
(PCINT19/OC2B/INT1) PD3	5	24	PC1 (ADC1/PCINT9)
(PCINT20/XCK/T0) PD4	6	23	PC0 (ADC0/PCINT8)
VCC	7	22	GND
GND	8	21	AREF
(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6	9	20	AVCC
(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PB7	10	19	PB5 (SCK/PCINT5)
(PCINT21/OC0B/T1) PD5	11	18	PB4 (MISO/PCINT4)
(PCINT22/OC0A/AIN0) PD6	12	17	PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3)
(PCINT23/AIN1) PD7	13	16	PB2 (SS/OC1B/PCINT2)
(PCINT0/CLKO/CP1) PB0	14	15	PB1 (OC1A/PCINT1)

Gambar 1 Konfigurasi Pin Mikrokontroler ATmega328P

Arduino adalah sebuah kit elektronik open source yang digunakan sebagai pengendali mikro yang dapat diprogram. Arduino biasa digunakan untuk membuat suatu prototype piranti karena sifatnya yang

fleksibel dan mudah digunakan baik *software*atau*hardware*-nya.



Gambar 2 Bagian-Bagian dariKitArduino

Akselerometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran (vibrasi), dan mengukur percepatan akibat gravitasi (inklinsi).(Sihombing,2011).

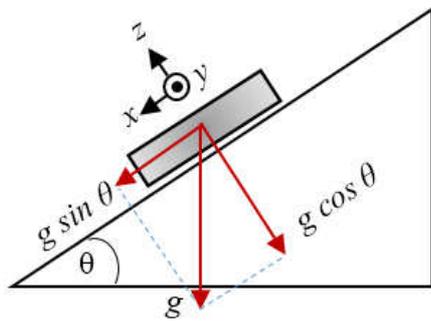
Sensor 3-axis Akselerometer MMA 7361 merupakan sensor percepatan berbasis *capacitive micromachined akselerometer*. Sensor ini dapat "mengindera" percepatan yang dialami sensor pada 3 sumbu (sumbu XYZ).



Gambar 3 Modul Sensor Akselerometer MMA7361L

Pada dasarnya sensor MMA7361 merupakan sensor percepatan, namun dengan beberapa konversi (perhitungan), tegangan keluaran yang merupakan fungsi percepatan dapat dikonversi menjadi fungsi kemiringan. Konversi keluaran sensor MMA7361 yang merupakan fungsi percepatan menjadi fungsi kemiringan dapat dilakukan dengan memanfaatkan percepatan gravitasi. Hal ini dapat terjadi karena ketika kemiringan sensor berubah terhadap arah percepatan gravitasi, percepatan yang dialami sensor pada salah satu sumbu juga berubah.(Pamungkas,2011).

Kondisi di mana percepatan gravitasi yang dialami sensor dapat dijadikan parameter sudut kemiringan dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Ilustrasi Penentuan Sudut kemiringan Menggunakan Percepatan Gravitasi

Gambar 4 tersebut menunjukkan bahwa kemiringan yang dialami sensor (θ) mengakibatkan sumbu-x dan sumbu-z mengalami percepatan, yakni oleh percepatan gravitasi (g), sehingga tegangan keluaran sensor pada sumbu-x dan sumbu-z juga berubah. Dari gambar 4 tersebut menunjukkan bahwa kemiringan yang dialami sensor (θ) mengakibatkan sumbu-x dan sumbu-z mengalami percepatan, yakni oleh percepatan gravitasi (g), sehingga tegangan keluaran sensor pada sumbu-x dan sumbu-z juga berubah. Dari gambar 4 juga dapat dilihat percepatan gravitasi pada sumbu x ($g(x)$) gravitasi pada sumbu z ($g(z)$) sensor terbaca sebesar:

$$g(x) = g \sin \theta \dots\dots\dots (1)$$

$$g(z) = g \cos \theta \dots\dots\dots (2)$$

Dan untuk mencari nilai kemiringan yang dialami sensor (θ) dibutuhkan perbandingan dari pembacaan kedua sumbu pada persamaan (1) dan (2).

$$\tan \theta = \frac{g(x) \sin \theta}{g(z) \cos \theta} \dots\dots\dots (3)$$

$$\theta = \arctan \frac{g(x)}{g(z)} \dots\dots\dots (4)$$

Komunikasi *wireless* merupakan pertukaran informasi antara dua point tanpa hubungan langsung, bisa menggunakan suara, infrared, optic, atau energi frekuensi radio. Sistem *wireless* paling modern mengandalkan RF atau sinyal *microwave*.

Modul *Wireless* nRF24L01 adalah sebuah modul komunikasi jarak jauh yang memanfaatkan pita gelombang RF 2.4GHz ISM (*Industrial, Scientific and Medical*). Modul ini menggunakan antarmuka SPI untuk berkomunikasi.

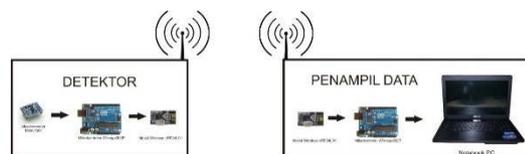
Modul ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Beroperasi pada rentang frekuensi 2,4 Ghz – 2,525 Ghz.

- Output power TX sebesar 11,3 mA pada 0dBm.
- Data rate sebesar 1 Mbps dan 2 Mbps.
- Rentang *supply* tegangan antara 1,9 V sampai 3,6 V.
- Modulasi GSKF.
- Memiliki 126 *channel* RF.
- 1 MHz *non-overlapping channel spacing* pada data rate 1 Mbps.
- 2 MHz *non-overlapping channel spacing* pada data rate 2 Mbps.

METODE PENELITIAN

Sensor akselerometer akan mendeteksi pergerakan dan menghasilkan pembacaan nilai sudut pergerakan. Keluaran pada akselerometer adalah berupa tegangan berbentuk sinyal analog. Sebelum dapat diproses pada mikrokontroler data keluaran akselerometer akan dimasukkan ke dalam ADC (*Analog to Digital Converter*) yang terdapat pada arduino sehingga data tersebut dapat diproses dalam program yang berada dalam mikrokontroler. Data kemudian dikirimkan dengan cara komunikasi *wireless*. Data yang diterima oleh *receiver* akan diproses sehingga menghasilkan data kemiringan dan jarak. Keluaran data yang telah diproses berupa sudut kemiringan dan jarak kemudian ditampilkan pada *display*.

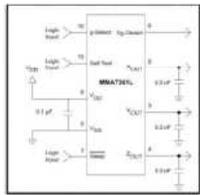


Gambar 5 Blok diagram system

Perancangan sistem pendeteksi gerakan tanah ini menggunakan menggunakan sensor accelerometer MMA7361. Sensor accelerometer MMA7361 digunakan untuk mengukur percepatan suatu benda yang bergerak yang kemudian dikonversi menjadi kecepatan dan jarak. Sensor accelerometer beroperasi pada tegangan 2,2 – 3,6 volt dengan tegangan tipikal sebesar 3,3 volt. Keluaran sensor accelerometer MMA7361 berupa tegangan analog yang merepresentasikan data percepatan dalam satuan gravitasi (g).

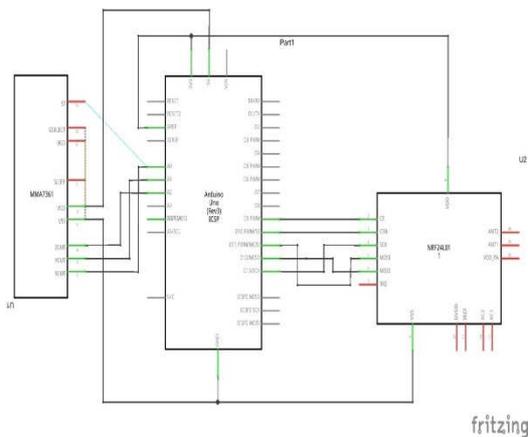
Pemasangan kapasitor sebesar 0.1uF pada catu daya sensor bertujuan untuk meredam noise yang diakibatkan oleh rangkaian lainnya. Sedangkan pemasangan kapasitor 3.3nF pada pin keluaran sensor

bertujuan untuk meminimalkan *clock noise* (dari pergantian rangkaian filter kapasitor). Pin keluaran sensor dalam sistem ini disambungkan ke pin ADC (*Analog to Digital Converter*) pada mikrokontroler.



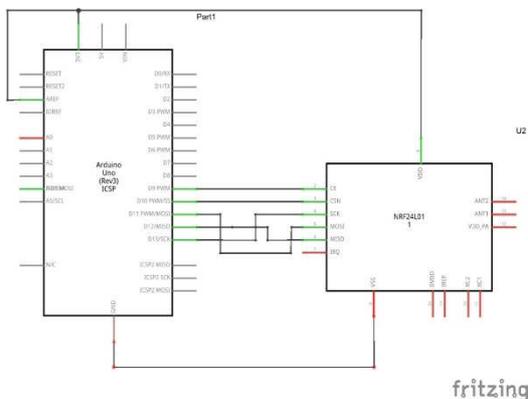
Gambar 6 Skematik Sensor Akselerometer MMA7361

Modul *transmitter* terdiri atas sebuah *board arduino uno*, sensor akselerometer MMA7361L, dan modul *wireless* nRF24L01. Skematik rangkaian dapat dilihat pada gambar 7.



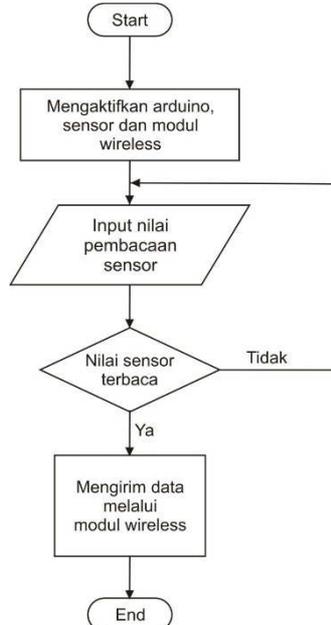
Gambar 7 Skematik rangkaian pada modul transmitter

Modul *receiver* terdiri atas sebuah *board arduino uno*, dan modul *wireless* nRF24L01. Skematik rangkaian dapat dilihat pada gambar 8.

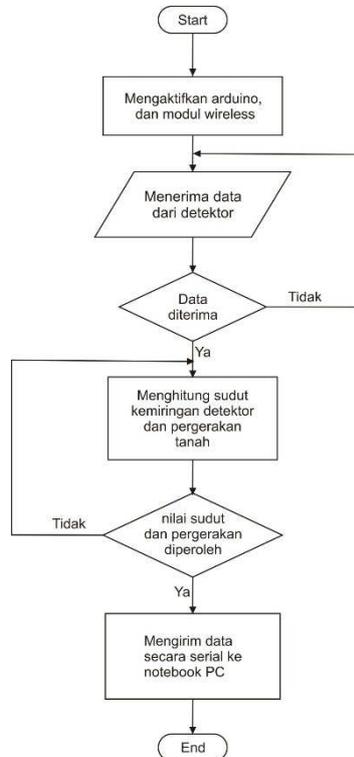


Gambar 8 skematik rangkaian pada modul receiver

Perangkat lunak sistem pendeteksi gerakan tanah terdiri atas program yang ditanamkan pada perangkat pendeteksi gerakan tanah, program yang ditanamkan pada perangkat penerima, dan Antarmuka yang berguna untuk menampilkan data pada *notebook PC*.



Gambar 9 Diagram alir perancangan kerja sistem pada bagian transmitter.



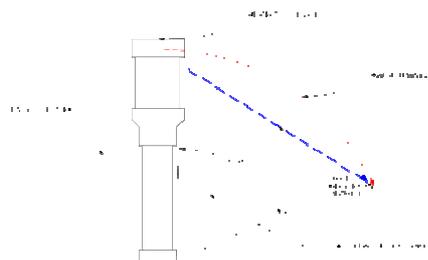
Gambar 10 Diagram alir perancangan kerja sistem pada receiver.

Mengamati hasil pembacaan dari detektor pergerakan tanah diperlukan sebuah antarmuka yang berfungsi sebagai penampil yang berjalan pada sebuah *notebook PC*. Antarmuka atau yang biasa disebut GUI (*Graphic User Interface*) akan membaca hasil pemrosesan data pada mikrokontroler yang terletak pada modul *receiver* dan menampilkannya pada modul *receiver*. Antarmuka ini dibuat menggunakan *software IDE (Integrated Development Environment)* Delphi dengan bahasa pemrograman pascal.



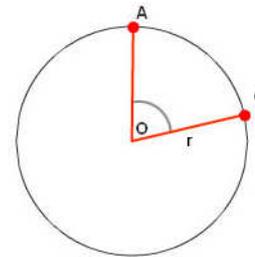
Gambar 11 Rancangan antarmuka *notebook PC*

Selain berfungsi untuk menampilkan hasil pengolahan data dari *receiver*, dalam program antarmuka juga ditanamkan fungsi untuk mengubah besaran perubahan sudut yang terbaca oleh sensor yang diakibatkan oleh pergerakan detector menjadi besaran jarak. Skema pergerakan detector dapat dilihat pada gambar 12 berikut:



Gambar 12 Skema pergerakan detector

Jarak pergerakan sensor dapat dicari menggunakan rumus untuk mencari panjang busur lingkaran seperti yang dimodelkan pada gambar 13 dibawah ini:



Gambar 13 Letak busur lingkaran

Dari gambar 13 diatas dapat dirumuskan sebuah persamaan sederhana untuk menentukan panjang busur dari sebuah lingkaran, yaitu:

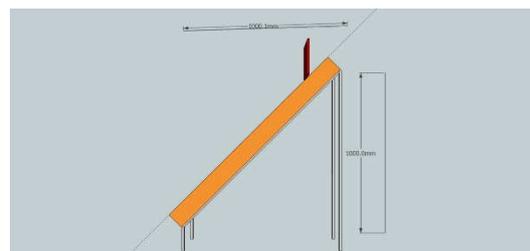
$$\text{busur } AC = \frac{\angle AOC}{360^\circ} \times \text{kl lingkaran} \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{panjang busur } AC = \frac{\angle AOC}{360^\circ} \times 2\pi r \dots\dots\dots(6)$$

Dengan membandingkan gambar 12 dan gambar 13, dapat dilihat bahwa $\angle AOC$ merupakan sudut yang terbentuk akibat pergerakan sensor/detektor dan r (jari-jari lingkaran) adalah tinggi detektor. Hasil dari perbandingan kedua gambar tersebut kemudian dapat digunakan untuk merumuskan jarak pergerakan sensor, yaitu:

$$\text{jarak pergerakan sensor} = \frac{\text{sudut detektor}}{360^\circ} \times 2\pi(\text{tinggi detektor}) \dots\dots\dots(7)$$

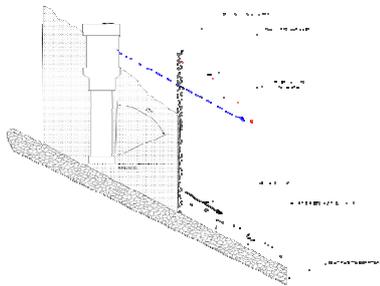
Alat simulasi tanah longsor yang akan digunakan untuk menguji kinerja pendeteksi tanah longsor ini dirancang dengan mengacu pada cara penghitungan tingkat kemiringan lereng. Cara untuk mengetahui tingkat kemiringan dari suatu lereng adalah dengan cara membandingkan jarak horizontal lereng dengan selisih tinggi lereng kemudian dikalikan dengan 100%.



Gambar 14 Spesifikasi alat simulasi tanah longsor

Dari spesifikasi yang dapat dilihat pada gambar 14 maka dapat diketahui bahwa alat simulasi tanah longsor ini pada posisi normal memiliki tingkat kecuraman 100% dengan sudut kemiringan 45°. Sudut kemiringan dari alat simulasi tanah longsor ini dapat disesuaikan dengan cara meninggikan bagian bawah dari alat simulasi tersebut sehingga tingkat kemiringan yang diharapkan dapat tercapai.

Cara pengujian dari alat deteksi tanah longsor itu sendiri adalah dengan cara menempatkan tanah dan alat deteksi tanah longsor pada penampung yang terdapat di bagian atas dari alat simulasi tanah longsor seperti yang terlihat pada gambar 15.



Gambar 15 Skema pengujian detektor.

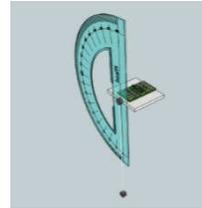
Apabila tanah dan alat deteksi tanah longsor sudah diletakkan pada penampung, kemudian penghalang digerakkan dengan rentang jarak tertentu yang pada penelitian ini telah ditentukan sejauh 3cm. Hasil pembacaan dari detektor kemudian dibandingkan dengan jarak pergerakan yang sesungguhnya untuk mendapatkan nilai selisih dari pengukuran tersebut.

Dalam simulasi ini digunakan material berjenis pasir pantai. Tutupan lahan disimulasikan memiliki dimensi lebar 21 cm dan kedalaman 30 cm. Pengujian dilakukan dalam dua kondisi kemiringan lereng yaitu pada kemiringan lereng 30° dan kemiringan lereng 40°. Dari beberapa parameter tersebut maka penelitian ini menyimulasikan longsor berjenis luncuran tanah (*earth slide*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengujian pengukuran sudut menggunakan sensor akselerometer MMA7361L ini dilakukan dengan cara menggerak-gerakkan sensor secara memutar pada salah satu sumbu untuk mendapatkan pengukuran sudut pada salah satu sumbu. Hasil pengukuran menggunakan sensor akselerometer MMA7361L tersebut kemudian

dibandingkan dengan pengukuran sudut menggunakan alat *klinometer* sederhana.

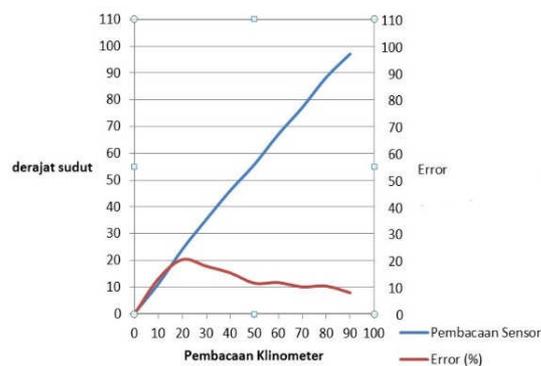


Gambar 16 Ilustrasi perbandingan hasil pembacaan sensor akselerometer dengan pengukuran menggunakan klinometer sederhana

Berikut ini adalah hasil pengukuran sudut pada sumbu X pada sensor akselerometer MMA7361L:

Tabel 1 Hasil pembacaan sudut pada sumbu X sensor akselerometer MMA7361L

Pembacaan Klinometer	Pembacaan Sensor	Error (%)
0°	0,32°	-
10°	11,32°	13,2
20°	24,16°	20,3
30°	35,35°	17,8
40°	46,12°	15,3
50°	55,77°	11,5
60°	67,04°	11,7
70°	77,08°	10,1
80°	88,32°	10,4
90°	97,12°	7,9
Rata-Rata Error		13.33



Gambar 17 Grafik pembacaan sudut pada sumbu X sensor akselerometer MMA7361L

Tabel 1 dan grafik pada gambar 17 diatas dapat diketahui bahwa sensor akselerometer MMA7361L memiliki resolusi pengukuran sudut hingga 0,01 derajat dengan rentang pengukuran 0 – 90 derajat. Dari hasil pengukuran juga diketahui masih terdapat kesalahan dalam pembacaan sudut yang berkisar antara 0 – 20%. Kesalahan pembacaan tersebut bisa disebabkan oleh

terjadinya getaran dan ketidakstabilan gerakan yang dilakukan saat menggerakkan sensor karena sensor akselerometer MMA7361L ini memiliki sifat yang sensitif terhadap getaran.

Proses pengujian kemampuan modul *wireless* nRF24L01 dalam mentransmisikan data dilakukan dalam 2 kondisi yaitu kondisi tanpa halangan dan kondisi terhalang tembok setebal 15cm. Data berupa bilangan "123" dikirim dengan variasi jarak yang berbeda untuk mendapat jarak maksimal pengiriman data.

Tabel 2 Hasil pengiriman data dengan kondisi tanpa halangan

No	Jarak (m)	Data Transmitter	Data Receiver	Keterangan
1	1	123	123	Terkirim
2	5	123	123	Terkirim
3	10	123	123	Terkirim
4	15	123	123	Terkirim
5	20	123	123	Terkirim
6	25	123	123	Terkirim
7	30	123	123	Terkirim
8	35	123	123	Terkirim
9	40	123	123	Terkirim
10	41	123	123	Terkirim
11	42	123	123	Data kadang tidak terkirim
12	43	123	No Radio	Data tidak terkirim

Tabel 2 diatas dapat dilihat bahwa modul *wireless* nRF24L01 dapat mengirimkan data secara sempurna dalam kondisi tanpa halangan hingga jarak 41 meter. Pada jarak 42 meter data terkadang tidak terkirim dan pada jarak 43 meter data tidak terkirim sama sekali.

Tabel 3 Hasil pengiriman data dengan kondisi dengan halangan berupa tembok setebal 15cm

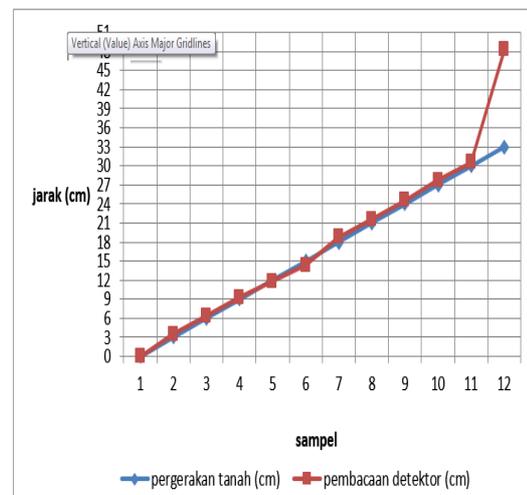
No	Jarak (m)	Data Transmitter	Data Receiver	Keterangan
1	1	123	123	Terkirim
2	2	123	123	Terkirim
3	3	123	123	Terkirim
4	4	123	123	Terkirim
5	5	123	123	Data kadang tidak terkirim
6	6	123	123	Data kadang tidak terkirim
7	7	123	No radio	Data tidak terkirim

Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa apabila terhalang tembok setebal 15cm modul *wireless* nRF24L01 mengalami penurunan kinerja secara signifikan. Pada jarak 5 meter data yang dikirimkan terkadang hilang dan pada jarak 6 meter data yang terkirim semakin sedikit sementara pada jarak 7 meter data tidak terkirim sama sekali.

Pengujian sistem secara terintegrasi (keseluruhan) ini dilakukan dalam 2 kondisi kemiringan lereng (*slope*) yaitu dengan kemiringan 30° dan kemiringan 40°. Hal ini dilakukan untuk mengetahui rentang kemampuan modul detektor untuk mendeteksi pergerakan tanah.

Tabel 4 Hasil pembacaan data pergerakan tanah dengan kondisi kemiringan lereng 30°

No	Pergerakan tanah (cm)	Pembacaan Jarak Pergerakan Detektor (cm)	Selisih Pembacaan (cm)
1	0	0.28	0.28
2	3	3.53	0.53
3	6	6.41	0.41
4	9	9.26	0.26
5	12	11.78	0.22
6	15	14.34	0.66
7	18	18.76	0.76
8	21	21.61	0.61
9	24	24.59	0.59
10	27	27.77	0.77
11	30	30.55	0.55
12	33	48.37	15.37
Rata-rata selisih			1.75

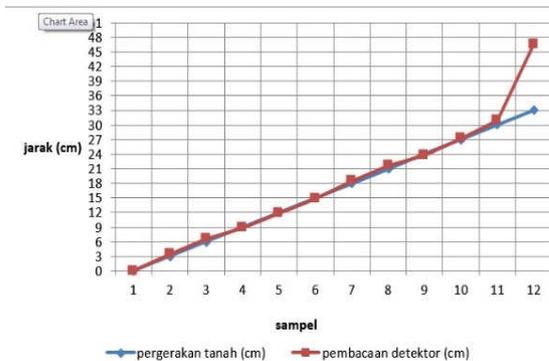


Gambar 18 Grafik pembacaan data pergerakan tanah dengan kondisi kemiringan lereng 30°

Tabel 4 dan Gambar 18 dapat dilihat bahwa detektor mampu melakukan pembacaan pergerakan tanah dengan kemiringan lereng 30° secara cukup akurat dengan selisih pembacaan tidak lebih dari 0.77 cm . Dari Tabel 4 dan Gambar 18 dapat dilihat pula setelah pergerakan sejauh 30cm selisih pembacaan pergerakan meningkat drastis hingga 15,37cm, hal ini disebabkan oleh pergerakan setelah 30cm telah melampaui jangkauan pergerakan dari detektor.

Tabel 5 Hasil pembacaan data pergerakan tanah dengan kondisi kemiringan lereng 40°

No	Pergerakan tanah (cm)	Pembacaan	
		Jarak Pergerakan Detektor (cm)	Selisih (cm)
1	0	0.23	0.23
2	3	3.48	0.48
3	6	6.58	0.58
4	9	8.78	0.22
5	12	11.81	0.19
6	15	14.73	0.27
7	18	18.54	0.54
8	21	21.69	0.69
9	24	23.68	0.32
10	27	27.29	0.29
11	30	30.96	0.96
12	33	46.45	13.45
Rata-rata selisih			1.51



Gambar 18 Grafik pembacaan data pergerakan tanah dengan kondisi kemiringan lereng 40°

Tabel 5 dan Gambar 18 dapat dilihat bahwa detektor mampu melakukan pembacaan pergerakan tanah dengan kemiringan lereng 40° secara cukup akurat dengan selisih pembacaan tidak lebih dari 0.96 cm . Dari Tabel 5 dan Gambar 18 dapat dilihat pula setelah pergerakan sejauh 30cm selisih pembacaan pergerakan meningkat drastis hingga 13,45cm, hal ini disebabkan oleh pergerakan setelah 30cm telah melampaui jangkauan pergerakan dari detektor.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dari simulasi pendeteksian tanah longsor menggunakan sensor akselerometer tipe MMA7361L maka dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya sebagai berikut:

1. Sistem yang telah dibuat dapat digunakan untuk mengukur perubahan sudut dengan resolusi hingga 0.01° dengan rentang pengukuran 0° hingga 90° dan dapat mengukur pergerakan tanah dengan resolusi hingga 0,01cm dengan rentang pengukuran 0 hingga 30 cm..
2. Sistem pendeteksian tanah longsor menggunakan sensor akselerometer tipe MMA7361L dapat melakukan pembacaan jarak secara cukup akurat, dimana pada percobaan dengan kemiringan lereng 30° selisih pembacaan pergerakan tertinggi yang tercatat sebesar 0,77cm sebelum detektor melampaui batas pergerakannya.
3. Pada percobaan dengan kemiringan lereng 40° selisih pembacaan pergerakan tertinggi yang tercatat sebesar 0,96cm sebelum detektor melampaui batas pergerakannya .
4. modul *wireless* nRF24L01 dapat mengirimkan data secara sempurna dalam kondisi tanpa halangan hingga jarak 41 meter. Sedangkan pada saat kondisi *transmitter* dan *receiver* terhalang tembok setebal 15cm kemampuan modul *wireless* nRF24L01 hanya bisa mengirimkan data secara sempurna sejauh 4 meter.

DAFTAR PUSTAKA

- Ikhsan, Muhammad. 2013. *Pengaruh Variasi Durasi Hujan Terhadap Stabilitas Lereng Pada Jalan Raya Sesaut Menggunakan Software Geostudio V.6*. Universitas Mataram.
- Martini. 2005. *Studi Karakteristik Hujan Pemicu Longsoran Pada Ruas Jalan Tawaeli-Toboli Sulawesi Tengah*. MEKTEK.
- Pamungkas, Afief P .2011. *Balancing Robot Beroda Dua Menggunakan Metode Fuzzy Logic Berbasis Mikrokontroler Arduino*. Universitas Dian Nuswantoro.
- Sihombing, Sudirman H. 2011. *Aplikasi Sensor Accelerometer Untuk Menulis Di Udara*. Universitas Diponegoro.