

SISTEM PERINGATAN TANAH LONGSOR PADA JALUR KERETA API

LANDSLIDE WARNING SYSTEM FOR RAILWAY

Abdul Aziz Hartalita¹, Dr. Eng. Ahmad Sugiana, S.Si, M.T.

, Angga Rusdinar, S.T., M.T., Ph.D.³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹azizhartalita@gmail.com, ²sugiana@telkomuniversity.ac.id, ³angga.rusdinar@telkomuniversity.ac.id.

Abstrak

Bencana tanah longsor pada jalur kereta api merupakan suatu kejadian yang sangat tidak diinginkan bagi pengguna transportasi kereta api. Selain itu bencana tanah longsor juga dapat mengakibatkan kerugian yang besar, baik kerugian materil maupun immateril.

Permasalahan di atas dapat diantisipasi dengan adanya sistem peringatan tanah longsor pada jalur kereta api. Sistem ini bekerja secara otomatis ketika terjadi tanah longsor. Pada saat terjadi tanah longsor sensor mendeteksi apakah terjadi longsor yang berbahaya pada jalur kereta api atau tidak, kemudian akan mengirimkan data tanda bahaya tanah longsor ke stasiun pusat dan menampilkan di monitor stasiun.

Pada tugas akhir ini penulis melakukan perancangan dan pembuatan sistem peringatan tanah longsor. Sistem ini aktif ketika sensor *akselerometer* mendeteksi kemiringan diatas ambang batas yang di tentukan. Setiap sensor akan saling berkomunikasi secara *wireless* yang kemudian *microcontroller* mengolah data dan akan langsung dikirim ke stasiun pusat menggunakan *SMS* dan ditampilkan dimonitor pada stasiun tersebut.

Tugas akhir ini bertujuan untuk menghasilkan sistem peringatan tanah longsor untuk mengantisipasi bencana pada jalur kereta api

Kata Kunci : *wireless, akselerometer, SMS, microcontroller*

Abstract

Landslide disasters on the railroad are a very undesirable event for railroad transportation users. In addition, landslides can also cause large losses, both material and immaterial losses.

The above problems can be anticipated by a landslide warning system on the railroad. This system works automatically when landslides occur. In the event of a landslide, the sensor detects whether there is a dangerous landslide on the railway line or not, then it sends the landslide hazard data to the central station and displays it on the station monitor.

In this final project, the author designs and prepares a landslide warning system. This system is active when the accelerometer sensor detects the slope above the specified threshold. Each sensor will communicate with each other using wireless and then microcontroller processes the data and will be sent directly to the central station using GSM and displayed on the monitor at the station.

This final project aims to produce a landslide warning system to anticipate disasters on the railway line

Keywords: *Wireless, Accelerometer, GSM, microcontroller*

1. Pendahuluan

Bencana alam merupakan peristiwa alam yang menyebabkan kerugian di berbagai sudut. Bencana alam ini dapat disebabkan karena murni kejadian alam maupun disebabkan karena adanya ulah manusia. Ada banyak sekali jenis bencana alam di dunia ini seperti gunung meletus, gempa bumi, banjir, tanah longsor, dan lain sebagainya. Bencana-bencana alam tersebut sangat sering melanda di wilayah negara Indonesia. Terutama bencana tanah longsor yang sering terjadi di Indonesia, pada wilayah perbukitan.

Jawa Barat termasuk salah satu daerah yang paling rawan tanah longsor di Indonesia. Selain kondisi alamnya yang rusak, banyaknya gunung api dan posisi Propinsi Jawa Barat yang berada di sekitar tumbukan Lempeng Australia dan Eurasia menjadikan Pulau Jawa sebagai wilayah yang rawan tanah longsor dan gempa bumi. Menurut Direktorat Geologi dan Tata Lingkungan Tahun 2005 diketahui bahwa kawasan rawan longsor di Provinsi Jawa Barat menyebar di sepuluh kabupaten/kota antara lain Bandung, Cianjur, Bogor, Sukabumi, Majalengka, Sumedang, Ciamis, Tasikmalaya, Kuningan dan Purwakarta.(KOMPAS.COM, 2018)

Pada tahun 2018 tanah longsor terjadi di Desa Warung Menteng, kabupaten bogor jawa barat menyebabkan pondasi rel kereta api tergerus. Jalur kereta api ini terputus karena tanahnya amblas yang menyebabkan jalur rel kereta api jurusan Sukabumi-Bogor terputus sepanjang 40 meter sehingga rel kereta menggantung dan operasional kereta dihentikan sementara. (Effendi, 2008) Untuk mengantisipasi kejadian tersebut dapat dilakukan beberapa hal seperti halnya memberikan penyuluhan kepada masyarakat jangan menebang pohon di sekitar lereng dengan memberikan penyuluhan akan membuka

wawasan dan kesadaran dari masyarakat untuk tidak melakukan hal-hal yang dapat memicu terjadinya bencana.

Sistem peringatan bencana tanah longsor merupakan langkah yang dapat mengantisipasi kejadian sebelum kecelakaan, sehingga pihak kereta api dapat mengetahui jika terjadi tanah longsor pada jalur kereta api.

Pada tugas akhir ini penulis ingin melakukan perancangan dan pembuatan sistem peringatan tanah longsor di jalur kereta api, sehingga pada saat terjadi bencana tanah longsor sistem dapat memberikan informasi atau pemberitahuan peringatan tanah longsor ke stasiun terdekat dan pusat operasional perjalanan kereta api sehingga dapat mengantisipasi terjadinya kecelakaan pada perjalanan kereta api.

2. Dasar Teori

2.1. Tanah Longsor

Tanah longsor merupakan bentuk erosi dimana pengangkutan atau gerakan masa tanah terjadi pada suatu saat dalam volume yang relatif besar. Peristiwa tanah longsor dikenal sebagai gerakan massa tanah, batuan atau kombinasinya, sering terjadi pada lereng-lereng alam atau buatan dan sebenarnya merupakan fenomena alam yaitu alam mencari keseimbangan baru akibat adanya gangguan atau faktor yang mempengaruhinya dan menyebabkan terjadinya pengurangan kuat geser serta peningkatan tegangan geser tanah. Tanah longsor merupakan suatu peristiwa geologi dimana terjadi pergerakan tanah seperti jatuhnya bebatuan atau gumpalan besar tanah. (Effendi, 2008)

Pergerakan massa tanah merupakan salah satu peristiwa geologi dimana volume tanah atau batuan dalam satu area tertentu mengalami perubahan posisi dari keadaan awalnya. Pergerakan tersebut dapat diakibatkan oleh adanya faktor pemuaiannya massa tanah akibat kadar air yang berlebih, ataupun akibat dari perbedaan jenis dan struktur batuan penyusun tanah sehingga dengan kondisi lereng yang curam dapat memicu terjadinya pergerakan tanah yang cenderung mengarah ke bagian bawah akibat pengaruh gravitasi. Dari beberapa pengamatan yang dilakukan terhadap peristiwa longsor yang terjadi, diperoleh suatu kesimpulan bahwa untuk suatu daerah dengan kondisi kemiringan lereng $>45^\circ$, apabila dalam area dengan kondisi yang labil telah terjadi pergeseran tanah sebesar ± 5 cm, maka dapat dikatakan bahwa area atau wilayah tersebut berpotensi mengalami longsor.

2.2 Wireless Sensor Network

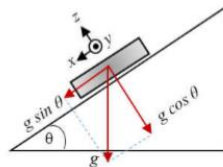
Wireless sensor network terdiri atas sekumpulan sensor (alat pendeteksi) yang tersebar dan memiliki kemampuan untuk melingkupi area atau wilayah geografis tertentu yang disebut sebagai area sensor, dimana pada area sensor itu terdapat banyak sekali parameter – parameter yang dapat dideteksi. Sensor – sensor ini dirancang dengan sedemikian rupa sehingga berkemampuan untuk dapat merasakan (sensing), penghitungan, dan elemen-elemen komunikasi yang memberikan kemampuan kepada administrator untuk mengukur, mengobservasi, dan memberikan reaksi kepada suatu event (kejadian) dan fenomena pada lingkungan tertentu, memproses data hasil dari pengumpulan informasi, serta dapat melakukan komunikasi baik secara horizontal (sesama sensor), maupun vertikal (dengan base station) tanpa menggunakan kabel untuk media transmisinya (*wireless*) (Priatama, 2009). Jika *wireless* sensor network ini dihubungkan ke gateway yang dapat mengakses internet maka *wireless* sensor network ini dapat diakses dan berkolaborasi dengan sistem lain.

2.3. Radio

komunikasi jarak jauh yang menggunakan frekuensi pita gelombang radio 2.4-2.5 GHz ISM (Industrial Scientific and Medical). nRF24L01 memiliki kecepatan sampai 2Mbps dengan pilihan opsi data rate 250 Kbps, 1 Mbps, dan 2 Mbps. Transceiver terdiri dari synthesizer frekuensi terintegrasi, kekuatan amplifier, osilator kristal, demodulator, modulator dan Enhanced ShockBurst™ mesin protokol. output daya, saluran frekuensi, dan setup protokol yang mudah diprogram melalui antarmuka SPI. Konsumsi arus yang digunakan sangat rendah, hanya 9.0mA pada daya output -6dBm dan 12.3mA dalam mode RX. Built-in Power Down dan mode standby membuat penghematan daya dengan mudah realisasi.

2.4 Akselerometer

Pada dasarnya sensor akselerometer merupakan sensor percepatan, namun dengan beberapa konversi (perhitungan), tegangan keluaran yang merupakan fungsi percepatan dapat dikonversi menjadi fungsi kemiringan. Konversi keluaran sensor *akselerometer* 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. Kondisi di mana percepatan gravitasi yang dialami sensor dapat dijadikan parameter sudut kemiringan dapat dilihat pada gambar 1



Gambar 1. Penentuan Sudut Kemiringan

Gambar 1 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 3 terus 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.(Dwinatara, 2016) gambar 4 juga dapat dilihat percepatan gravitasi pada sumbu x ($g(x)$) gravitasi pada sumbu z ($g(z)$) sensor terbaca sebesar:(Dwinatara, 2016)

$$g(x) = g \sin \theta \tag{I-1}$$

$$g(z) = g \cos \theta \tag{I-2}$$

Dan untuk mencari nilai kemiringan yang di alami sensor (θ) dibutuhkan perbandingan dari pembacaan kedua sumbu paa persamaan (2-6) dan (2-7).

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

$$\tan \theta = \arctan \frac{g(x)}{g(z)} \tag{I-4}$$

2.5.Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah computer yang hanya terdiri dari sebuah IC yang bertujuan untuk melakukan satu buah perintah pada sebuah aplikasi. Dalam sebuah mikrokontroller terdapat memori, peripheral masukan/keluaran dan prosesor. Memori digunakan untuk menyimpan variabel-variabel yang digunakan dalam sebuah perintah. Masukan dari sebuah mikrokontroler dapat berupa keypad atau sensor untuk mendapatkan data seperti kelembaban, suhu, ketinggian, dan lainnya. Keluaran dari mikrokontroler dapat berupa LCD, speaker, solenoid, dan lainnya.

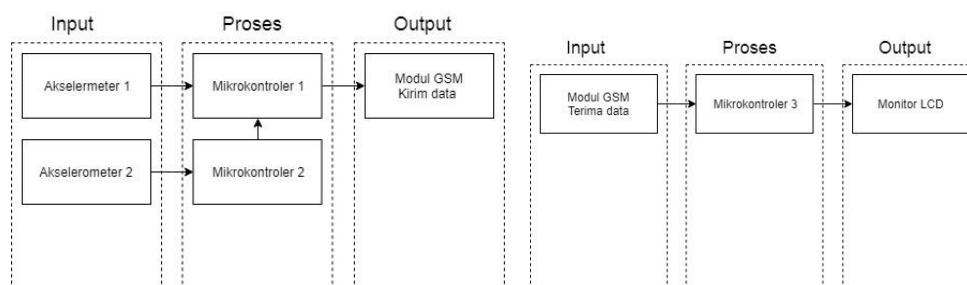
2.6.Modul GSM

Modul GSM adalah peralatan yang didesain supaya dapat digunakan untuk aplikasi komunikasi dari mesin ke mesin atau dari manusia ke mesin. Modul GSM merupakan peralatan yang digunakan sebagai mesin dalam suatu aplikasi. Dalam aplikasi yang dibuat harus terdapat mikrokontroler yang akan mengirimkan perintah kepada modul GSM berupa AT command melalui antarmuka sebagai komponen penghubung. Modul GSM merupakan bagian dari pusat kendali yang berfungsi sebagai transceiver. Modul GSM mempunyai fungsi yang sama dengan sebuah telepon seluler yaitu mampu melakukan fungsi pengiriman dan penerimaan SMS. Dengan adanya sebuah modul GSM maka aplikasi yang dirancang dapat dikendalikan dari jarak jauh dengan menggunakan jaringan GSM sebagai media akses.

3. Perancangan sistem

3.1. Desain Sistem

Desain sistem atau perancangan sistem adalah merancang suatu sistem yang baik, yang isinya adalah langkah – langkah operasi pengolahan data pada sistem. Desain ini dirancang sebagai acuan gambaran umum sistem yang mendefinisikan cara kerjacsistem secara singkat dan umum. Perancangan ini terdiri dari diagram blok sistem.

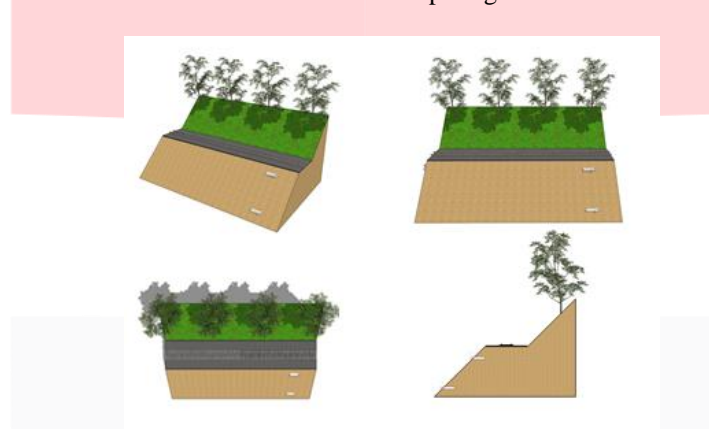


Gambar 2. Diagram Blok Transmitter dan receiver

Pada diagram blok diatas dapat dijelaskan bahwa sistem ini terbagi menjadi dua bagian yaitu sistem transmitter dan sistem receiver. Pada gambar 1 dapat di jelaskan bahwa sistem diberi masukan dari sensor *akselerometer* yang berupa sudut, kemudian data yang diterima diolah menggunakan mikrokontroler, dimana mikrokontroler 1 dan 2 saling bertukar informasi secara *wireless*, kemudian setelah itu mikronkontroler akan membandingkan nilai yang paling dari kedua sensor tersebut yang nantinya akan dikirim menggunakan modul GSM ke stasiun pusat dan dilanjutkan pada gambar 2 bahwa pesan yang d kirimkan akan di terima dengan modul GSM dan di olah kembali pada mikrokontroler 3 dan ditampilkan pada monitor di stasiun pusat.

3.2. Desain Tata Letak

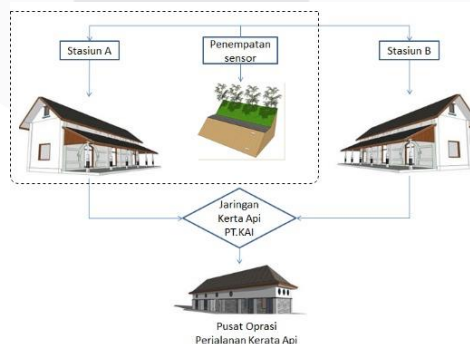
Perancangan tata letak sistem peringatan dini tanah longsor untuk meletakkan rangkain mikronroler, *wireless* sensor network, modul GSM dan sensor *akselerometer* dipermukaan lereng tanah agar dapat berfungsi maksimal jika terjadi pergeseran tanah . Ada dua buah sensor *akselerometer* yang disimpan di lereng tanah rawan, dengan meletakkan dua sensor titik yang rawan longsor tersebut agar ketika terjadi tanah longsor tidak hanya satu sensor saja yang mendeteksi namun terdapat dua buah sensor yang saling berkomunikasi. Peletakan sistem dan alur komunikasi peringatan dini tanah longsor dapat dilihat pada gambar III-4.



Gambar 3. Desain Tata Letak Sensor Dan Alat

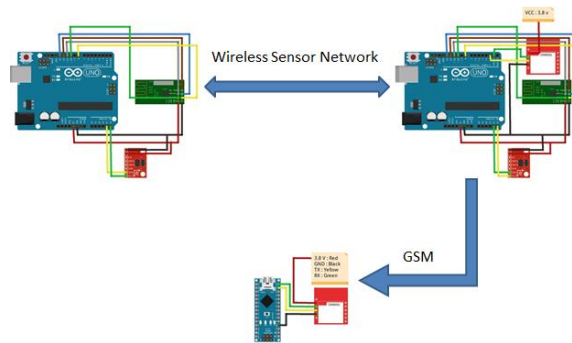
3.2.1. Alur komunikasi

Alur komunikasi dari sistem peringatan tanah longsor ini yaitu terdapat dua buah modul radio serta *akselerometer* dan mikrokontroler yang saling berkomunikasi secara *wireless* dan data dari sensor akan diproses pada mikrokontroler dan kemudian dilanjutkan dengan mengirimkan pesan berupa SMS ke kedua stasiun terdekat dan diteruskan pada bagian jaringan komunikasi kereta api dan informasi dilanjutkan ke bagian pusat oprasi perjalanan kereta api.



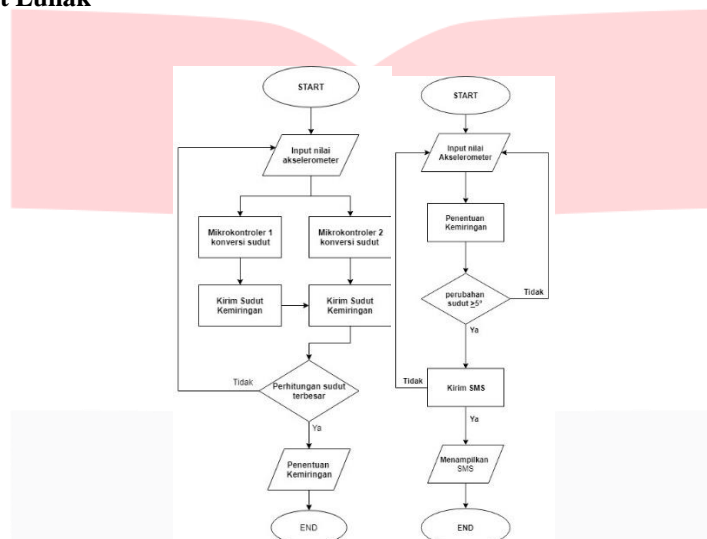
Gambar 4. Alur Komunikasi Sistem

3.3.Desain Perangkat keras



Gambar 5. Perancangan Seluruh Sistem yang Terintegrasi

3.4. Desain Perangkat Lunak



Gambar 6. Flowchart Sistem Tanah longsor

Gambar 6 adalah gambar diagram alir sistem komunikasi tanah longsor yang menunjukkan cara kerja sistem peringatan tersebut. Sistem akan menerima input dari 2 buah sensor *akselerometer* berupa percepatan, kemudian data yang diterima diolah pada mikrokontroler kemudian dikonversi menjadi derajat yang kemudian setiap mikrokontroler saling berkomunikasi secara *wireless*, ketika sensor mendeteksi adanya kemiringan atau pergerakan tanah maka sistem akan mengolah data tersebut dan membandingkan sudut yang paling besar. Apabila sudut lebih dari atau sama dengan lima derajat, sistem akan mengirim *SMS* ke nomor yang sudah ditetapkan, kemudian membaca kembali nilai masukkan dari *akselerometer*. Apabila nilai yang terbaca kurang dari 5 derajat, sistem akan kembali membaca nilai masukkan dari *akselerometer*.

4.Pengujian

4.1 Pengujian Akselerometer ADXL 345

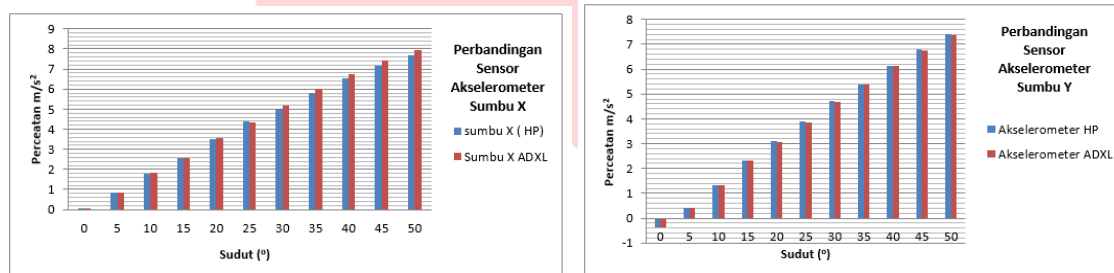
Skema pengujian *akselerometer* ADXL345 yaitu dengan mengambil nilai percepatan dengan perubahan kelipatan sudut sebesar lima derajat. Nilai tersebut dibandingkan dengan nilai *akselerometer* pada *smartphone* android menggunakan aplikasi *Sensors*. Setelah data pembacaan *akselerometer* ADXL345 didapat, dicari nilai selisih dan nilai *error*. Untuk mencari nilai *error* digunakan rumus

$$\%Error = \frac{\text{nilai ADXL345} - \text{nilai akselerometer smartphone}}{\text{nilai akselerometer smartphone}} \times 100\% \tag{I-5}$$

Sudut ^o	Rata-rata X HP (m/s ²)	Rata-rata X ADXL (m/s ²)	Rata-rata Y HP (m/s ²)	Rata-rata Y ADXL (m/s ²)
0	0,026	0,032	-0,37	-0,37
5	0,823	0,832	0,415	0,418
10	1,772	1,816	1,325	1,338
15	2,576	2,542	2,327	2,315
20	3,524	3,538	3	3,076
25	4,395	4,342	3,896	3,848
30	5,036	5,16	4,728	4,694
35	5,822	6,004	5,384	5,369
40	6,512	7	6,128	6,116
45	7,149	7,442	6,794	7
50	7,661	7,96	7,404	7,371

Gambar 7. Hasil Pengambilan Data Akselerometer

Pengambilan data untuk melihat keakurasian data *Akselerometer* pada *smartphone* maupun ADXL345 dilakukan dengan meletakkan kedua sensor tersebut dipermukaan datar, kemudian diambil sampel dengan memiringkan *smartphone* dan ADXL 345 secara bersamaan hingga 50° dan diambil 10 sampel nilai yang berubah-ubah. Pengambilan data di lakukan setiap kelipatan 5 ° sehingga didapatkan rata-rata dari setiap sensor yang kemudian dapat terlihat perbandingannya pada gambar IV-1 dan VI-2.



Gambar 8. Perbandingan Pada Sumbu X dan sumbu Y Akselerometer

Berdasarkan data di atas bahwa perbandingan *akselerometer* ADXL345 dengan *akselerometer* pada *smartphone* memiliki perbedaan yang tidak terlalu besar. Berdasarkan data pada gambar *akselerometer* sumbu x dan , gambar akselero sumbu Y didapatkan nilai simpangan dari *akselerometer* ADXL345 pada sumbu x sebesar 0,077083333m/s², sumbu y sebesar -0,077916667m/s². untuk nilai selisih percepatan pada sumbu x sebesar 0.002 m/s² dengan tingkat keakurasian sebesar 92.3%, pada sumbu y sebesar 0,1377m/s² dengan tingkat keakurasian sebesar 92,21%.

4.2.Pengujian Kemiringan sudut

Setelah melakukan kalibrasi sensor *akselerometer* dengan *smartphone* maka pengujian selanjutnya mengkonversi dalam bentuk derajat dan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Selisih Derajat Sumbu X dan Sumbu Y

Sudut ^o	Adxl 345 sumbu X	selisih	%
5 ^o	6,04 ^o	1,04 ^o	20,8
10 ^o	10,82 ^o	0,82 ^o	8,2
15 ^o	16 ^o	1 ^o	6,666667
20 ^o	20,98 ^o	0,98 ^o	4,9
25 ^o	25,68 ^o	0,68 ^o	2,72
30 ^o	30,38 ^o	0,38 ^o	1,266667
35 ^o	35,33 ^o	0,33 ^o	0,942857
40 ^o	40,58 ^o	0,58 ^o	1,45
45 ^o	44,94 ^o	0,06 ^o	0,133333
50 ^o	49,55 ^o	0,45 ^o	0,9
55 ^o	54,58 ^o	0,42 ^o	0,763636
60 ^o	59,09 ^o	0,91 ^o	1,516667
65 ^o	64,26 ^o	0,74 ^o	1,138462
70 ^o	67,72 ^o	2,28 ^o	3,257143
75 ^o	73,5 ^o	1,5 ^o	2
80 ^o	79,82 ^o	0,18 ^o	0,225
Rata-rata		0,771875 ^o	3,555027 %

Sudut ^o	Adxl 345 sumbu Y	selisih	%
5 ^o	4,97 ^o	0,03 ^o	0,6
10 ^o	9,9 ^o	0,1 ^o	1
15 ^o	14,83 ^o	0,17 ^o	1,133333
20 ^o	19,61 ^o	0,39 ^o	1,95
25 ^o	24,66 ^o	0,34 ^o	1,36
30 ^o	29,87 ^o	0,13 ^o	0,433333
35 ^o	34,81 ^o	0,19 ^o	0,542857
40 ^o	39,4 ^o	0,6 ^o	1,5
45 ^o	44,19 ^o	0,81 ^o	1,8
50 ^o	49,19 ^o	0,81 ^o	1,62
55 ^o	54,86 ^o	0,14 ^o	0,254545
60 ^o	59,56 ^o	0,44 ^o	0,733333
65 ^o	64,24 ^o	0,76 ^o	1,169231
70 ^o	69,46 ^o	0,54 ^o	0,771429
75 ^o	74,75 ^o	0,25 ^o	0,333333
80 ^o	79,34 ^o	0,66 ^o	0,825
Rata-rata		0,3975 ^o	1,00165 %

Pada pengujian diatas hasil dari konversi percepatan ke sudut ternyata tidak terlalu jauh terdapat selisih pada sumbu X dan sumbu Y. Pada sumbu X selisih rata-rata dari sudut sebenarnya sebesar 0,771875^o dan pada sumbu Y sebesar 0,3975^o sehingga dapat di hitung seberapa akurat

sensor adxl 345 pada setiap sumbunya. Pada sumbu X terdapat *error* sebesar 3,5 % dan pada sumbu Y sebesar 1,01 %.

4.3. Pengujian Pengiriman SMS

Pengujian sistem dilakukan dengan cara dimiringkan dan mendapatkan nilai sudut, dan *delay* sistem secara keseluruhan. Tabel 2 merupakan hasil dari pengujian sistem.

Tabel 2. Pengujian Keseluruhan Sistem

no	tanggal	jam	Sudut (derajat)	status	delay pengiriman (detik)		
					awal	peniriman	Pengiriman berikutnya
1	19/08/2018	11:34:55	Roll: 18.31 Pitch: 1.10	SIAGA	5	5	
2	19/08/2018	11:35:10	Roll: 10.66 Pitch: 0.94	NORMAL	4		4
3	19/08/2018	11:35:14	Roll: 1.33 Pitch: 0.94	AMAN	8		8
4	19/08/2018	11:35:23	Roll: 11.02 Pitch: 0.94	NORMAL	12	12	
5	19/08/2018	11:35:27	Roll: 1.79 Pitch: 0.94	AMAN	3		3
6	19/08/2018	11:35:39	Roll: 44.59 Pitch: 2.08	AWAS	11	11	
7	19/08/2018	11:35:42	Roll: 6.06 Pitch: 0.93	NORMAL	3		3
8	19/08/2018	11:35:52	Roll: 33.07 Pitch: 1.10	NORMAL	14	14	
9	19/08/2018	11:36:03	Roll: 33.07 Pitch: 1.12	AWAS	3		3
10	19/08/2018	11:36:06	Roll: 6.15 Pitch: 1.13	NORMAL	10		10
11	19/08/2018	11:36:53	Roll: 7.73 Pitch: 1.10	NORMAL	14	14	
12	19/08/2018	11:36:56	Roll: 1.12	AWAS	3		3
13	19/08/2018	11:37:10	Roll: 33.07 Pitch: 1.13	NORMAL	10		10
14	19/08/2018	11:37:13	Roll: 26.56 Pitch: 0.94	AWAS	16	16	
15	19/08/2018	11:37:23	Roll: 1.56 Pitch: 0.94	AMAN	3		3
16	19/08/2018	11:37:54	Roll: 26.56 Pitch: 0.94	AWAS	16	16	
17	19/08/2018	11:38:15	Roll: 1.56 Pitch: 0.94	AMAN	3		3
18	19/08/2018	11:38:18	Roll: 1.56 Pitch: 0.94	AMAN	3		3
19	19/08/2018	11:38:27	Roll: 1.34 Pitch: 23.40	SIAGA	12	12	
20	19/08/2018	11:38:39	Roll: 1.57 Pitch: 2.85	AMAN	4		4
21	19/08/2018	11:38:43	Roll: 39.13 Pitch: 0.75	AWAS	4		4
22	19/08/2018	11:38:47	Roll: 1.34 Pitch: 0.75	SIAGA	12	12	
23	19/08/2018	11:38:52	Roll: 1.34 Pitch: 0.75	SIAGA	12	12	
24	19/08/2018	11:38:57	Roll: 1.56 Pitch: 17.17	SIAGA	3		3
25	19/08/2018	11:39:00	Roll: 1.34 Pitch: 39.27	AWAS	1		1
26	19/08/2018	11:39:04	Roll: 7.09 Pitch: 0.95	NORMAL	7		7
27	19/08/2018	11:39:11	Roll: 1.57 Pitch: 12.96	NORMAL	14	14	
28	19/08/2018	11:39:27	Roll: 2.01 Pitch: 0.75	AMAN	4		4
29	19/08/2018	11:39:41	Roll: 1.55 Pitch: 48.85	AWAS	13	13	
30	19/08/2018	11:39:45	Roll: 3.53 Pitch: 1.13	AMAN	3		3
31	19/08/2018	11:39:53	Roll: 1.34 Pitch: 15.12	SIAGA	18	18	
32	19/08/2018	11:40:06	Roll: 1.55 Pitch: 15.12	SIAGA	18	18	
33	19/08/2018	11:40:09	Roll: 1.55 Pitch: 6.09	NORMAL	13	13	
34	19/08/2018	11:40:21	Roll: 1.34 Pitch: 15.12	SIAGA	18	18	
35	19/08/2018	11:40:34	Roll: 1.55 Pitch: 6.09	NORMAL	13	13	
36	19/08/2018	11:40:37	Roll: 1.34 Pitch: 15.12	SIAGA	18	18	
37	19/08/2018	11:40:55	Roll: 1.34 Pitch: 0.39	AMAN	2		2
38	19/08/2018	11:40:57	Roll: 9.81 Pitch: 3.98	NORMAL	6		6
39	19/08/2018	11:40:59	Roll: 1.55 Pitch: 7.29	NORMAL	10		10
40	19/08/2018	11:41:05	Roll: 1.55 Pitch: 0.94	AMAN	3		3
41	19/08/2018	11:41:15	Roll: 1.55 Pitch: 0.94	AMAN	3		3
42	19/08/2018	11:41:19	Roll: 1.55 Pitch: 0.94	AMAN	3		3
Rata-rata Delay Pengiriman							
					7,267	10,63636364	5,315789474

Dari tabel IV-7 diketahui bahwa sensor ADXL345 dapat mendeteksi kemiringan dan mengubahnya ke dalam bentuk sudut. Sistem dapat menentukan status dari tanah longsor berdasarkan sudut yang terbaca. Sistem juga dapat mengirimkan peringatan ketika sudut yang terdeteksi lebih dari atau sama dengan lima derajat. Pada awal pengiriman rata-rata *delay* sebesar 10,6 detik.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada sistem peringatan tanah longsor pada jalur kereta api, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Sistem peringatan tanah longsor ini dirancang menggunakan tiga buah mikrokontroler, dua buah sensor *akselerometer* dan dua buah sensor *wireless* untuk saling berkomunikasi anatar sensor. Dimana setiap sensor diletakan di daerah rawan longsor yang dialau jalur kereta api. Pada saat terjadi perubahan atau pergeseran tanah sebesar lima derajat maka sistem peringatan tanah longsor aka mengirimkan informasi ke stasiun terdekat.
2. Dari hasil pembacaan nilai *akselerometer* ADXL345 yang dibandingkan dengan *akselerometer* pada *smartphone* didapatkan tingkat keakurasian pada sumbu x sebesar 95,79%, pada sumbu y sebesar 99,416%, dan Hasil pengujian aslserometer ADXL 345 yang sudah di konversi ke dalam bentuk sudut didapatkan selisih rata-rata sebesar 0,771875⁰ dan terdapat *error* sebesar 3,555027%. dengan ke akurasian sensor sebesar 96,45%.
2. Rata-rata *delay* pengiriman informasi menggunakan *SMS* sebesar 3,61 detik. Jika *SMS* dikirim haya jika sudut yang terbaca lebih besar atau sama dengan lima derajat , rata-rata delay pengiriman awal *SMS* sebesar 10,6 detik.
3. Kedua sensor *akselerometer* mampu berkomunikasi secara *wireless* dengan stabil hingga jarak sampai 280 meter.

Sistem dapat berfungsi dengan algoritma yang diharapkan

DAFTAR REFERENSI

- Dwinatara, A. (2016). Simulasi Pendeteksian Tanah Longsor Menggunakan Sensor *Akselerometer* Tipe Mma7361L. *Universitas Mataram*, 3(2), 105–112.
- Effendi, A. D. (2008). Identifikasi Kejadian Longsor dan Penentuan Faktor-Faktor Utama Penyebabnya di Kecamatan Babakan Madang Kabupaten Bogor. *Institut Pertanian Bogor*.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- KOMPAS.COM. (2018). Longsor di Cijeruk Bogor, Rel KA Sepanjang 40 Meter Menggantung. Retrieved August 23, 2018, from <https://regional.kompas.com/read/2018/02/05/18320001/longsor-di-cijeruk-bogor-rel-ka-sepanjang-40-meter-menggantung>