

RANCANG BANGUN ALAT MONITORING TANAH LONGSOR PADA DAERAH RAWAN LONGSOR DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR WIRE EXTENSOMETER DAN SENSOR TIPPING BUCKET

Mohammad Mahmud Ibrahim¹⁾ Harianto²⁾ Madha Christian Wibowo³⁾

Program Studi/Jurusan Sistem Komputer
STMIK STIKOM Surabaya

Jl. Raya Kedung Baruk 98 Surabaya, 60298

Email : 1) memet92@gmail.com, 2)Hari@stikom.edu, 3)Madha@stikom.edu

Abstract: Catastrophic landslides are caused by several things, including rainfall causing soil becomes loose and easy to move, so if it occurs in hilly areas, the land will be shifted.

From the authors use a wire extensometer sensors for detecting a shift ground and tipping bucket sensors to detect precipitation. Wire extensometer sensor used to measure the axial displacement between the number of measurement points referrers in the same axis, while the tipping bucket sensor is a sensor that can measure the amount of water based on the volume of water droplets in the bucket. For early warning status is obtained from a combination of rainfall and landslides at specified intervals.

After applying to the two sensors to perform two trials have found that the result of errors on the sensor tipping bucket of 2 ml, which is caused by not successfully perform tipping bucket and 4 ml due to the limited resolution of the tipping bucket. While the result of an error on the sensor wire extensometer obtained a value of 0.319 mm and 0.471 mm due to the sensitivity and resolution of the potentiometer. With these results can be used as a consideration to be applied to the application of early warning against landslides.

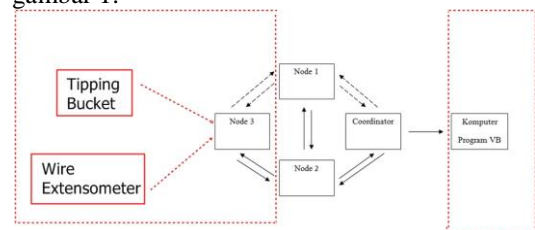
Keyword: Wire extensometer, tipping bucket, landslides, rainfall.

Tanah longsor merupakan bencana yang disebabkan oleh beberapa hal diantaranya adalah curah hujan yang tinggi yang menjadi pemicu terjadinya tanah longsor. Apabila tanah yang terkena hujan maka tanah tersebut akan menjadi gembur dan menjadikannya mudah bergerak, sehingga apabila hal demikian terjadi di perbukitan maka tanah tersebut akan mengalami longsor dan dapat menimpa rumah penduduk yang berada dibawah kaki bukit tersebut. (Gunadi & dkk, 2004)

Untuk menanggulangi banyaknya korban jiwa yang ditimbulkan oleh tanah longsor, maka hal yang dapat dilakukan adalah dengan memberikan sebuah peringatan dini kepada penduduk yang memiliki tempat tinggal berada di kaki bukit dengan cara melakukan pengamatan terhadap pergeseran tanah dan curah hujan pada waktu tertentu, sehingga dengan pengamatan dan pengukuran yang di lakukan diatas kaki bukit nantinya dapat memberikan peringatan dini terhadap bencana tanah longsor.

I. Perencanaan Sistem

Penelitian dilakukan dengan merancang beberapa modul pada setiap node. Berikut pemasangan setiap node ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Pemasangan Node Pada Pemantauan Tanah Longsor

Dari gambar 1 terdapat area berwarna merah, area tersebut adalah bagian yang dikerjakan dalam makalah ini, penelitian ini menggunakan 4 buah *node* dan 1 *personal computer* yang berfungsi sebagai *monitoring* tanah longsor. *Node coordinator* berfungsi untuk

menerima data dari *node* 1, 2, dan 3 sedangkan *node* 1, 2 dan 3 berfungsi untuk mengirimkan nilai respon sensor *wire extensometer* dan *tipping bucket*. *Node coordinator* terdiri dari modul *wireless*, dan modul arduino uno, sedangkan 3 buah *node* lainnya terdiri dari modul *wireless*, modul arduino uno, dan modul sensor *extensometer* dan *tipping bucket*.

Output yang dihasilkan oleh modul *extensometer* akan dikirim ke modul arduino uno menggunakan Analog Digital Converter (*ADC*) sedangkan sensor dan *tipping bucket* menggunakan *interrupt*. Data tersebut selanjutnya akan diproses oleh arduino uno, data yang telah diproses arduino uno kemudian dikirim melalui komunikasi serial ke Xbee Series 2. Xbee-S2 akan mengirimkan data menuju *node coordinator* dengan media *wireless* melewati beberapa *node* yang telah diatur sebelumnya.

Penelitian pemantauan tanah longsor ini dikerjakan secara terpisah untuk cara kerja pengiriman dan penerimaan data sensor *extensometer* dan sensor *tipping bucket* tiap *node* menuju *node coordinator* yang dikerjakan pada makalah Wahyu Indra Lesmana.

1. Alat dan Bahan Penelitian

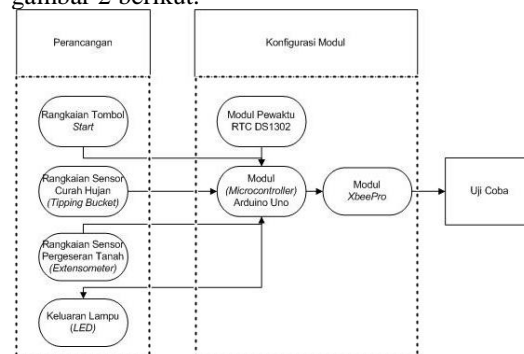
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. *Power supply* digunakan untuk memberi daya pada masing-masing rangkaian.
2. Tanah yang dibentuk menyerupai bukit dan dimasukkan kedalam *aquarium*.
3. *Variable Resistor* (VR) digunakan untuk menentukan *output* pergeseran tanah yang dikalibrasi berdasarkan perbandingan jarak pergeseran dan outputan tegangan yang dikeluarkan.
4. *Reed Switch* digunakan untuk memberikan *output* logika pada sensor curah hujan.
5. LED digunakan sebagai indikator kondisi dan peringatan.
6. Konektor *blackhouse* digunakan untuk menghubungkan atau mengkonfigurasi pin I/O dari modul minimum sistem dengan rangkaian pemantau catu daya, sensor curah hujan dan pergeseran tanah atau modul *wireless* Xbee-Pro.
7. Multimeter digunakan untuk mengukur tegangan yang dihasilkan oleh masing-masing rangkaian.
8. Air yang akan dimasukkan kedalam sensor curah hujan.

9. Bagian elektronik terdapat beberapa rangkaian listrik, diantaranya yaitu: rangkaian *Schmitt trigger* dari IC 74HC14 dan modul RTC DS1302.
10. Peralatan pendukung yang diperlukan untuk merancang perangkat keras adalah tang potong, solder, timah, penyedot timah, dan beberapa mur-baut sesuai keperluan.
11. *Personal computer* digunakan untuk mendesain program Visual Basic.
12. Corong penampang curah hujan dan *tipping bucket* sebagai media ukur jumlah air.
13. Rangkaian roda gigi yang dirangkai menjadi satu dengan potensiometer.

2. Perancangan Perangkat Keras

Langkah-langkah yang dilakukan dalam perancangan perangkat keras ditunjukkan pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Blok Diagram Perancangan Perangkat Keras

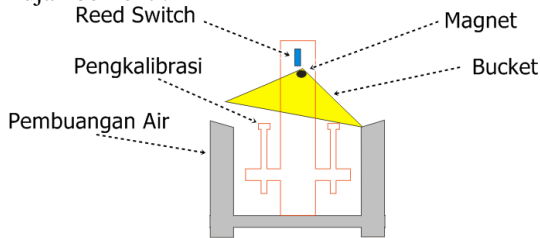
Perancangan perangkat keras dimulai dengan membuat rangkaian sensor curah hujan dan sensor pergeseran tanah. Kedua rangkaian sensor tersebut dibuat berdasarkan teori yang diperoleh dari beberapa sumber seperti jurnal dan referensi dari internet. Langkah selanjutnya adalah konfigurasi modul yaitu menghubungkan beberapa modul dengan dengan modul minimum sistem.

3. Rangkaian Mekanik Sensor Curah Hujan.

Perancangan Sensor curah hujan menggunakan *tipping bucket*, curah hujan akan dicatat berdasarkan per-*tipping*, ketika air memasuki corong yang berada diatas *bucket*, air akan mengalir kebawah dan jatuh pada salah satu bagian dari *bucket* sehingga *bucket* akan penuh, hal ini menyebabkan *bucket* miring ke samping, ketika miring *reed switch* pada tiang penyangga teraliri medan magnet yang berada pada *bucket*,

sehingga switch mengontak dan memberi masukan *toggle* pada *interrupt1* pada *microcontroller*. Disain mekanik sensor curah hujan *tipping bucket* ditunjukkan pada gambar 3.5 dan gambar 3.6 adalah gambar dari sensor curah hujan *tipping bucket* yang digunakan dalam percobaan ini. (Evita dan Mahfudz, 2010)

Sensor bekerja apabila adanya air hujan yang masuk melalui corong, kemudian air terkumpul pada ujung dari corong lalu jatuh pada *bucket*, ketika air memenuhi *bucket* maka *bucket* akan doyong kemudian magnet akan mengontak *reed switch* dan air akan terbuang jatuh ke lubang pembuangan, ketika *reed switch* mengontak, *microcontroller* akan mendapatkan masukan dari *reed switch* sehingga *microcontroller* akan melakukan penjumlahan data, hal ini berulang terus menerus sampai hujan berhenti.



Gambar 3. Disain Mekanik Sensor Curah Hujan *Tipping Bucket*.



Gambar 4. Sensor Curah Hujan *Tipping Bucket* yang Digunakan

Resolusi per *tipping* adalah 0.4467, nilai ini diperoleh dari perhitungan yang diambil dari

bab 2. *Tipping bucket* yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut :

1. Diameter penampang corong 18.5 cm.
 2. *Bucket* diatur dengan resolusi 12 ml per *tipping*.
- . Untuk luas penampang, digunakan rumus luas lingkaran sebagai berikut

$$L = \pi \cdot r^2 \quad (3.1)$$

Diketahui :

L = Luas penampang sensor *tipping bucket*

π = Konstanta dalam perhitungan lingkaran

r = Jari-jari penampang sensor *tipping bucket*

Berikut ini adalah hasil perhitungan dari persamaan luas penampang *tipping bucket*.

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= 3.14 \times 9.25 \text{ cm} \\ &= 3.14 \times 85.5625 \text{ cm} \\ &= 268.66625 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas kemudian dimasukkan kedalam persamaan untuk mencari ketinggian air per *tipping*. Dari data ketinggian air per *tipping* tersebut akan diketahui jumlah ketinggian curah hujan. Berikut ini adalah persamaan untuk mencari ketinggian curah hujan. (Agustian, 2009)

$$\text{Curah Hujan} = V \div L \quad (3.2)$$

Diketahui :

V = Volume air pada *bucket* per *tipping*

L = Luas penampang pada sensor *tipping bucket*

Berikut ini adalah hasil perhitungan dari persamaan mencari ketinggian dari curah hujan.

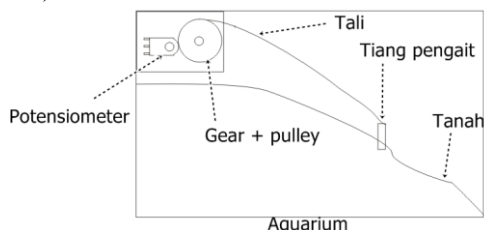
$$\begin{aligned} \text{Curah hujan} &= 12 \text{ ml} \div 268.66625 \text{ cm}^2 \\ &= 12 \text{ cm}^3 \div 268.66625 \text{ cm}^2 \\ &= 0.04466508168 \text{ cm} \\ &= 0.4466508168 \text{ mm} \\ &= 0.4467 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas maka dihasilkan nilai dari curah hujan per *tipping* sebesar 0.4467 mm , nilai tersebut digunakan sebagai masukan untuk melakukan proses penjumlahan pada *microcontroller*.

4. Rangkaian Mekanik Sensor Pergeseran Tanah

Berupa susunan roda gigi yang terhubung dengan potensiometer dan *pulley* yang menempel pada roda gigi utama, *pulley* sebagai poros yang ditarik oleh tali yang terhubung

dengan tanah yang akan diukur. Disain mekanik sensor pergeseran tanah *wire extensometer* beserta pengaplikasiannya ditunjukkan pada gambar 3.8 dan gambar 3.9 adalah gambar dari sensor pergeseran tanah *wire extensometer* yang digunakan dalam percobaan ini. (Savvaidis, 2003)



Gambar 5. Aquarium dan Pengimplementasian *Wire Extensometer*.



Gambar 6. *Extensometer*.

Tali yang berada pada *pulley* memiliki batas maksimal terpanjang sebesar 4.7 cm, kemudian dari ADC *microcontroller* memiliki nilai ukur maksimal sebesar 1023, dengan demikian maka terbentuklah sebuah sekema perhitungan dibawah ini.

$$\text{Pembagi} = \frac{\text{ADC Maksimal}}{\text{Jarak Maksimal}} \quad (3.3)$$

Diketahui :

ADC maksimal = Nilai Maksimal ADC yang dapat diukur *microcontroller* (bit).

Jarak maksimal = Jarak panjang tali maksimal *wire extensometer* (mm).

Pembagi = Nilai untuk membagi data ADC untuk mendapatkan jarak.

Berikut ini adalah hasil perhitungan dari persamaan untuk mendapatkan nilai pembagi data ADC.

$$21.765 = 1023 \div 47$$

Dari perhitungan diatas maka nilai hasil dari ADC (berupa bit) dibagi 21.765 akan menghasilkan nilai jarak dari pergeseran (mm) . Nilai tersebut akan menjadi masukan *microcontroller* dalam menentukan tingkat pergeseran pada tanah.

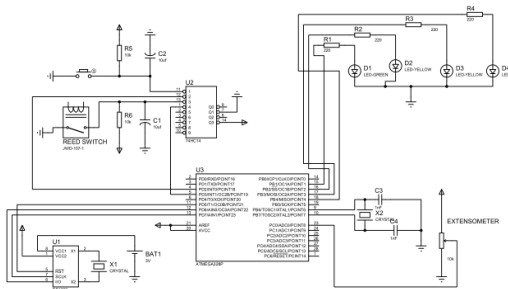
5. Konfigurasi Modul Arduino Uno

Pada *node1* menggunakan minimum sistem Arduino Uno yang terdiri dari *microchip* ATmega328p, rangkaian sensor curah hujan, rangkaian sensor pergeseran tanah, rangkaian tombol *start*, rangkaian lampu *Led* dan Modul RTC DS1302. *Microchip* ATmega328 sendiri mempunyai 13 pin digital, 5 pin analog. Tabel 1 merupakan daftar pin I/O minimum sistem yang digunakan.

Tabel 1. Port yang Digunakan

Pin I/O	Fungsi
Vcc	Power 5v
Gnd	Ground
USB	Sebagai <i>output</i> dari <i>microcontroller</i> ke computer
Analog (0)	Sebagai Pin <i>input</i> ADC dari potensiometer (<i>extensometer</i>)
PIN (2)	Sebagai Pin <i>input interrupt1</i> tombol <i>start</i>
PIN (3)	Sebagai Pin <i>input interrupt2 reed switch</i> (sensor curah hujan)
PIN (5), PIN (6), PIN (7)	Sebagai Pin Ce, sebagai Pin Io, sebagai Pin Clk untuk RTC DS1302
PIN (9), PIN (10) PIN (11), PIN (12)	Sebagai Pin (LED) hijau, sebagai Pin (LED) kuning 1, Sebagai Pin (LED) kuning 2, Sebagai Pin (LED) merah

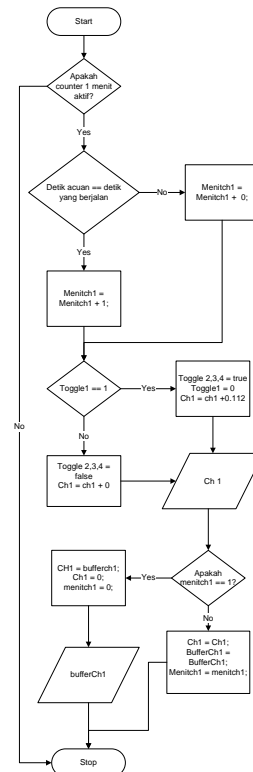
Dari tabel diatas sensor pergeseran tanah (extensometer) berada pada *port* analog (0), tombol *start* terhubung dengan pin(2) karena merupakan eksternal interrupt 0 pada Arduino Uno, sensor curah hujan terhubung dengan pin(3) karena merupakan eksternal interrupt 1 pada Arduino Uno, pin (5)(6)(7) merupakan pin yang terhubung dengan RTC DS1302, sedangkan pin (9)(10)(11)(12) merupakan pin yang terhubung dengan keluaran lampu led. Disain rangkaian elektronik modul Arduino Uno ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Diagram Skematik Minimum Sistem modul Arduino Uno

6. Program Modul Arduino Konfigurasi Sensor Curah Hujan

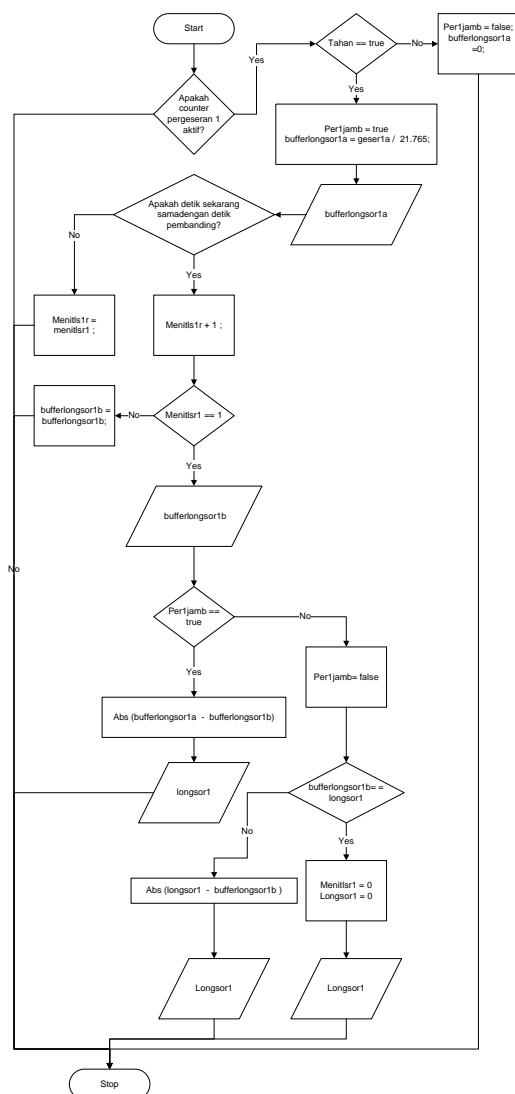
Konfigurasi sensor curah hujan bertujuan untuk mendapatkan nilai suatu curah hujan, yang berdasarkan penghitungan jumlah *toggle interrupt1* yang masuk pada *microcontroller* terhadap interval waktu tertentu. Ketika ada masuk dari *toggle1* maka penghitung akan menghitung hingga waktu 1 menit kemudian berhenti, nilai penjumlahan disimpan dan proses diulang kembali. Pada gambar 8 menunjukkan flowchart alur pengambilan data curah hujan dalam 1 menit.



Gambar 8. Diagram Alir Proses Pengambilan Data Curah Hujan dalam 1 Menit

7. Konfigurasi Sensor Pergeseran Tanah

Pengambilan data dari ADC pertama dilakukan pada saat tombol *start* ditekan, pada saat itu data pada ADC diambil untuk yang pertama kalinya, dan proses berulang setiap 1 menit sekali. Seperti yang ditunjukkan *flowchart* yang ada pada gambar 9.



Gambar 9. Diagram Alir Proses Pengambilan Pergeseran Tanah dalam 1 Menit

8. Konfigurasi Peringatan Dini Terhadap Tanah Longsor

Kriteria *level warning* pada tanah longsor, didapatkan dari mengambil data dari curah hujan dan sensor pergeseran tanah. Yaitu dengan mengambil data dari kedua sensor yang dibandingkan terhadap waktu, dari perbandingan tersebut diperoleh sebuah hasil untuk memenuhi kriteria peringatan dini, dengan asumsi hasil yang dikeluarkan memenuhi kriteria status tertentu, sehingga pada penelitian ini penulis membuat algoritma sebagai berikut. (Kiyoshi & dkk, 2008)

Warning 1

```
If (curahhujan1menit > 1.5) && (curahhujan2menit > 2)
```

Warning 2

```
if (curahhujan1menit > 2.5) && (curahhujan1menit > 3 - curahhujan2menit) || (warning1 && longsordalam1menit > 2mm)
```

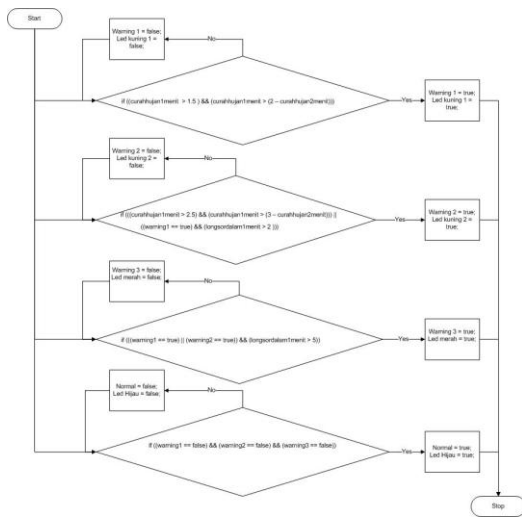
Warning 3

```
if (warning1 || warning2) && (longsordalam1menit > 5mm)
```

Dari algoritma diatas menunjukkan ada tiga kondisi warning yaitu :

1. Warning 1 terjadi apabila curah hujan dalam 1 menit lebih besar dari 1.5 mm dan curah hujan dalam 1 menit lebih besar dari 2 dikurangi curah hujan dalam 2 menit.
2. Warning 2 terjadi apabila curah hujan dalam 1 menit lebih besar dari 2.5 mm dan curah hujan dalam 1 menit lebih besar dari 3 dikurangi curah hujan dalam 2 menit atau kondisi Warning 1 terjadi dan tingkat pergeseran tanah pada *extensometer* 1 dan 2 lebih dari 2 mm permenit.
3. Warning 3 terjadi apabila Warning 1 atau Warning 2 terjadi dan tingkat pergeseran tanah pada *extensometer* 1 dan 2 lebih dari 5 mm permenit.

Flowchart peringatan dini terhadap tanah longsor ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Diagram Alir kriteria warning dan keluaran

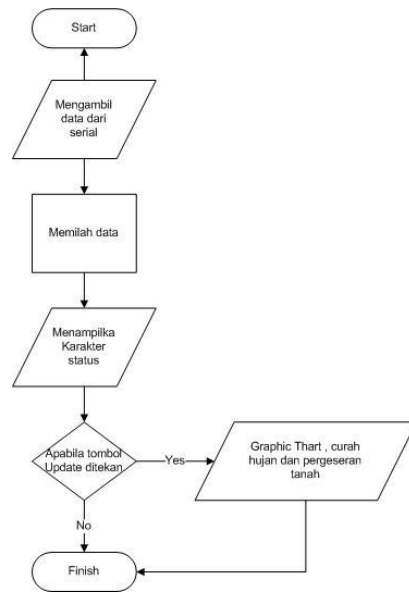
9. Perancangan Program *Monitoring*

Program *monitoring* dirancang untuk menampilkan dan menyimpan data berupa informasi curah hujan dalam waktu tertentu, pergeseran tanah dalam waktu tertentu dan status *warning*. Blok diagram program *monitoring* dapat dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 11. Blok Diagram Program *Monitoring*

Dari gambar 11 dapat dilihat bahwa *input* program *monitoring* berasal dari modul Arduino Uno. Data yang dikirim berupa nilai dari sensor pergeseran tanah dan sensor curah hujan. Data yang berasal dari Arduino Uno dikirim melalui USB yang terhubung dengan *personal computer*. Selanjutnya data akan ditampilkan pada program *visual basic* sebagai antarmuka pengguna. Diagram alir program *monitoring* dapat dilihat pada gambar 12 berikut.



Gambar 12. FlowChart Program *Monitoring*

Pada saat program pertama kali dijalankan yang dilakukan adalah inialisasi, kemudian data diterima lalu dibuffer pada sebuah variable, kemudian data dipilah sesuai dengan *header* dari masing-masing data. Data sensor yang telah dipila selanjutnya akan disimpan pada masing-masing variabel, untuk status akan ditampilkan langsung ke *textbox*.

Setelah data diseleksi, data status akan ditampilkan pada *textbox10* kemudian data curah hujan dan data pergeseran tanah akan disimpan dalam variabel, untuk menampilkan masing-masing data pada masing-masing *textbox* dan *TeeChart* harus dipicu dengan melakukan klik pada *command box* "Update".

II. Hasil dan Pembahasan

1. Hasil Pengujian Sensor Tipping Bucket

Hasil pengujian curah hujan menggunakan sampling sampling volume air sebesar 48 ml, yang ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian sensor curah hujan dengan volume air 48 ml.

Jumlah air yang akan diukur (ml)	Nilai air yang dihasilkan (ml)	Selisih data yang dihasilkan (ml)

48	48	0
48	48	0
48	48	0
48	48	0
48	48	0
48	48	0
48	36	12
48	36	12
48	36	12
48	48	0
48	48	0
48	48	0
48	48	0
48	48	0
48	48	0
48	48	0
48	48	0
48	48	0
48	48	0
48	48	0
48	48	0
48	48	0
48	36	12
48	36	12
48	36	12
48	48	0
48	36	12
48	48	0
48	48	0
48	36	12
48	36	12
48	48	0
48	48	0
48	36	12
48	36	12
48	48	0
48	48	0



Gambar 13. Pengukuran Air pada Volume 48 ml

Untuk menghitung *error* pengukuran jumlah air yang diukur pada sensor *tipping bucket* yang terdapat pada tabel 2 menggunakan persamaan penghitungan dibawah ini.

$$\text{Rata - rata error} = xi - yi$$

(4.1)

$$\text{Rata - rata error} = \frac{\sum \text{Error}}{n}$$

(4.2)

Diketahui :

xi = Data air yang dimasukkan
yi = Data air yang terukur dari sensor
 Σe = Jumlah total *error*
n = Jumlah data

Perhitungan rata-rata *error* tabel 2.

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata error} &= \Sigma e / 30 \\ &= 120 / 30 \\ &= 4 \text{ ml} \end{aligned}$$

2. Hasil Pengujian Sensor Wire Extensometer

Hasil pengujian sensor pergeseran tanah, yaitu dengan inputan jarak.

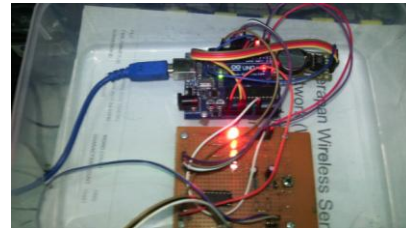
Tabel 3. Hasil Pengujian pergeseran tanah 5 mm

Jarak yang diukur (mm)	Jarak yang dihasilkan (mm)	Selisih data yang dihasilkan (mm)
5	4.55	0.45
5	4.46	0.54
5	4.09	0.91
5	4.41	0.59
5	4.87	0.13
5	4.92	0.08
5	4.46	0.54
5	4.13	0.87
5	4.36	0.64
5	4.73	0.27
5	4.55	0.45
5	4.92	0.08
5	4.63	0.37
5	4.82	0.18
5	4.59	0.41

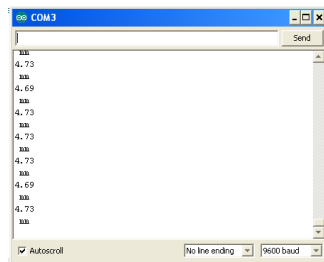
5	4.87	0.13
5	4.04	0.96
5	4.5	0.5
5	4.96	0.04
5	5.38	0.38
5	5.05	0.05
5	4.36	0.64
5	5.01	0.01
5	5.1	0.1
5	4.64	0.36
5	4.82	0.18
5	4.87	0.13
5	4.96	0.04
5	4.64	0.36
5	4.73	0.27



Gambar 15. Tampilan Pada Serial Monitor Pada Saat Keadaan Status “warning3”



Gambar 16. Lampu Led Kuning 1,2 dan Led Merah Menyala Pada Status ”warning3”



Gambar 14. Output Jarak Pada 5 mm pada Serial Monitor

Perhitungan rata-rata *error* tabel 3.

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata error} &= \Sigma e/30 \\ &= 9.58 / 30 \\ &= 0.319 \text{ mm} \end{aligned}$$

1. Hasil Pengujian Peringatan Dini Terhadap Tanah Longsor

Data yang ditampilkan oleh serial monitor berisi tentang status kondisi yang aktif, curah hujan dan nilai pergeseran tanah. Dari data tersebut dapat diketahui status dan kondisi yang sedang terjadi. Gambar 15 adalah output pada saat “warning3” pada serial monitor dan gambar 16 adalah output Led pada saat “warning3”.

Status	Indikasi	Lampu Led yang aktif
Normal	Data pada serial monitor menampilkan karakter normal, Curah Hujan pada 1 menit bernilai 0 dan pergeseran tanah bernilai 0	Lampu Hijau menyala
Warning 1	Data pada serial monitor menampilkan karakter warning1, Curah Hujan pada 1 menit bernilai 2.13 dan pergeseran tanah bernilai 0	Kuning 1 menyala
Warning 2	Data pada serial monitor menampilkan karakter warning2,	Kuning 1 dan 2 menyala

	Curah Hujan pada 1 menit bernilai 4.48 dan pergeseran tanah bernilai 0.05	
Warning 3	Data pada serial monitor menampilkan karakter warning3, Curah Hujan pada 1 menit bernilai 0 , pergeseran tanah bernilai 45.14 dan status warning 1 dan warning 2 aktif	Kuning 1,2 dan Merah menyala.

KESIMPULAN

1. Sensor curah hujan *tipping bucket* memiliki resolusi 12 ml per-*tipping*, sehingga apabila air yang diukur kurang dari resolusi tersebut air tidak dapat diukur dan air akan tergenang pada *bucket*, *Error* yang berada pada sensor curah hujan disebabkan oleh sifat alamiah dari air, air yang diukur terkadang kurang dari tidak sesuai dengan yang diukur dikarenakan air terkadang terpercik keluar dan ada yang tertinggal di dalam corong *tipping bucket*, yang disebut dengan sifat adhesi pada air. Dari data yang diperoleh dari tabel 2 menunjukkan *err r* sebesar 4 ml, *error* terjadi karena adanya air yang tertinggal dalam corong dan terpercik keluar sewaktu proses menuang air ke dalam corong, sehingga ada *tippingan* terakhir air kurang dari 12 ml dan sensor tidak berhasil melakukan *tipping*, dikarenakan air yang tertampung pada *bucket* kurang dari 12 ml..
2. Sensor pergeseran tanah memiliki jarak maksimal yang dapat diukur yaitu 47mm dan memiliki *error* yang cukup tinggi, dikarenakan potensiometer memiliki respon yang lambat sehingga ketika diputar tidak langsung memberikankeluaran, adan ya *noise* pada potensiometer sehingga data yang diterima bersifat acak, potensiometer yang digunakan memiliki resolusi yang rendah dan tingkat sensitifitas dari

potensiometer yang digunakan rendah. Dari data yang diperoleh dari tabel 3 menunjukkan *error* sebesar 0.319 mm.

3. Peringatan dini terhaap tanah longsor memiliki status yang sekuensial, yang berurut dari normal ke warning1, dari warning1 ke warning2 atau warning3 dan dari warning 2 ke warning3.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustian, A. 2009. Rancang Bangun Miniatur Stasiun Cuaca Berbasis Microcontroller.
- Evita, dan Mahfudz. 2010. Alat Ukur Curah Hujan Tipping-Bucket Sederhana dan Murah Berbasis Mikrokontroler.
- Gunadi, S., Sartohadi J., Hadmoko, D. S., Hardiatmo, H. C., Giyarsih, S. R. 2004. Tingkat Bahaya Longsor di Kecamatan Samigaluh dan Daerah Sekitarnya , Kabupaten Kulonprogo, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Kiyoshi, H., Shrestha, A., Chinnachodteeranun, R., Hung, H.D., Shimamura, H., Fathani, T.F., Karnawati, D., Sassa, K. 2008. Landslide Early Warning System for Rural Community as an Application of Sensor Asia.
- Savvaidis, P.D. 2003. Existing Landslide Monitoring Systems and Techniques.