Jurnal Fisika
Himpunan Fisika Indonesia
Vol. 10 - No. 2 - Desember 2010

ISSN 0854-3046
Akreditasi: No. 242/Akred-LIPI/P2MBI/05/2010

PEMBUATAN DAN UJI COBA DATA LOGGER BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA32 UNTUK MONITORING PERGESERAN TANAH

Andi Setiono, Prabowo Puranto dan Bambang Widiyatmoko

Bidang Instrumentasi Fisis dan Optoelektronika
Pusat Penelitian Fisika – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (PPF-LIPI)
Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan 15314
E-mail: andisetiono@gmail.com

ABSTRAK

Telah dirancang suatu data logger untuk monitoring pergeseran tanah menggunakan mikrokontroler *Atmega32* dengan *ADC (analog to digital converter)* 12 bit *MCP3204* serta chip *RTC (real time clock)* DS1307 yang memberikan informasi waktu dan tanggal, serta *MMC/SD Card* berkapasitas 2 GB untuk menyimpan hasil perekaman data dalam bentuk file text. Data logger bekerja dengan cara mendeteksi perubahan tegangan keluaran sensor pergeseran tanah. Data logger mampu mendeteksi perubahan tegangan sebesar 1 mV dengan *offset error* 2,3 mV dan standar deviasi sebesar 0,14 mV untuk setiap level tegangan masukan. Uji coba monitoring pergeseran tanah di bukit mini buatan berstruktur-lereng telah dilakukan dengan menghubungkan data logger ke ekstensometer elektronik yang memiliki sensitivitas 105 mV/mm. Sumber daya data logger berasal dari accumulator 12 V, 12 Ah yang terhubung panel surya melalui *solar charge controller*. Dari hasil pengujian di bukit mini menggunakan simulasi hujan buatan dengan *flow* air 0,033 m^3/menit selama 12 jam didapatkan pergeseran tanah sebesar 2,73 cm.

Kata Kunci : Data logger, mikrokontroler Atmega32, pergeseran tanah.

ABSTRACT

A data logger for monitoring land deformation using microcontroller ATmega32, 12 bit ADC MCP3204, DS1307 RTC chip that provides time and date information, as well as MMC / SD Card 2 GB capacity for storing the recording data in the form of text files; has been designed. The data logger works by detecting the changes in the sensor output voltage. The data logger is capable of detecting changes of voltages until 1 mV with 2.3 mV offset error and standard deviation of 0.14 mV for each level of voltage-input. The testing of the data logger was done by measuring land deformation in a simulated-landslide structure. The data logger was connected to an electronics extensometer which has a sensitivity of 105 mV / mm. The power supply for the data logger obtained from a 12 V, 12 Ah accumulator which was connected into the solar panels through the solar charge controller. From the measurement in the hillside of the tested-land using rain-simulation with water flow 0,033 m^3/*min for 12 hours, we obtained land deformation of* 2,73 *cm.*

Keywords: *Data logger, microcontroller ATmega32, land deformation.*

PENDAHULUAN

Indonesia terdiri atas gugusan pulau besar dan kecil dari Sabang sampai Meraoke. Dari kondisi ini disamping memunculkan keindahan, juga menimbulkan berbagai kerawanan seperti tanah

ISSN 0854-3046
Akreditasi: No. 242/Akred-LIPI/P2MBI/05/2010

longsor, gempa bumi; yang memungkinkan diikuti Tsunami karena hampir semua wilayah dikelilingi lautan; banjir dll. Indikasi bahwa telah terjadi gangguan keseimbangan siklus hidrologi di daerah aliran sungai seperti Sub DAS Riam Kanan, adalah akibat dari meningkatnya fenomena kejadian tanah longsor selain karena banjir, kekeringan, dan pencemaran kualitas air [1]. Bencana seperti tanah longsor khususnya, telah banyak terjadi di Indonesia sehingga banyak menelan korban baik harta maupun jiwa. Sebagai contoh, longsor yang terjadi di sebelah utara Gunung Nangklak dimana material longsoran membendung aliran hulu Sungai Cibeureum Gede, mengakibatkan banjir lumpur yang mengubur sebagian rumah-rumah penduduk di lima desa, beberapa jembatan hancur, dan beberapa hektar tanah pertanian rusak [2].

Minimalisasi korban dapat dilakukan bila dapat memprediksi perubahan alam tersebut secara akurat dengan sistem monitoring yang berkelanjutan. Sistem monitoring dapat berupa sistem akuisisi data yang memuat data-data mengenai faktor penyebab bencana. Namun masih ada beberapa permasalahan diantaranya adalah masih mahalnya peralatan untuk mengukur dan menganalisa serta memantau kejadian tersebut dan belum ada peralatan yang dapat dibuat sendiri sehingga tidak banyak dipasang di Indonesia, khususnya di daerah-daerah yang sebenarnya sangat memerlukan peralatan tersebut.

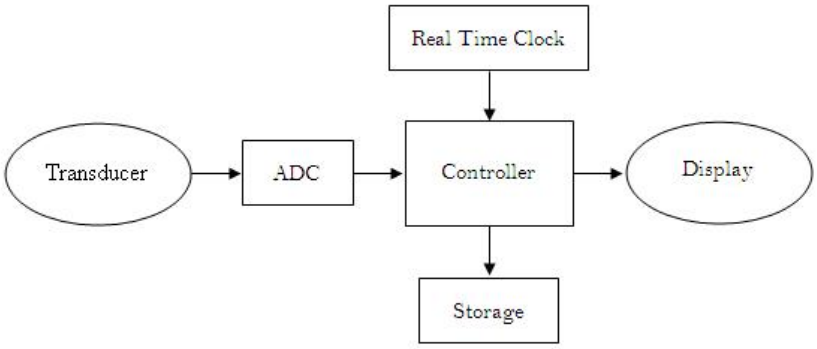
Berkaitan dengan hal tersebut diatas, telah dirancang sistem data akuisisi berupa data logger untuk monitoring pergeseran tanah di Indonesia. Pada dasarnya, data logger adalah perangkat elektronika yang dapat mengambil dan menyimpan data dalam kurun waktu tertentu [3]. Beberapa sensor untuk telaah deteksi dini longsor juga sedang dikembangkan misalnya sensor *strain* pada tanah berbasis *fiber bragg grating* [4], ekstensometer berbasis elektronik dan optik untuk deteksi pergeseran tanah [5] serta inclinometer [6] yang berfungsi untuk mendeteksi perubahan kemiringan tanah akibat pergeseran lereng. Sinyal output dari sensor-sensor tersebut dapat diolah oleh sebuah chip mikrokontroler *ATmega32,* kemudian disimpan dalam memori *SD Card* dalam bentuk file teks. Pengujian data logger dilakukan dengan memberikan tegangan input yang dihasilkan oleh analog output DAQ 14 bit buatan National Instrument. Uji coba semi lapangan dilakukan pada bukit mini buatan berstruktur lereng dengan simulasi hujan buatan.

METODOLOGI

Sistem data logger dirancang untuk akuisisi data pergeseran tanah. Data tersebut dapat diakses secara langsung melalui SD Card yang tertanam di dalam data logger. Sistem ini berbasis teknologi mikrokontroler. Mikrokontroler, atau *single-chip computers*, sangat ideal untuk suatu projek yang membutuhkan intelejensi komputer *(computer intelligence),* tetapi tidak membutuhkan perangkat PC yang berlebihan seperti *disk drive, keyboard,* dan *full-screen display* [7]. Mikrokontroler mudah sekali

ISSN 0854-3046
Akreditasi: No. 242/Akred-LIPI/P2MBI/05/2010

untuk dikomunikasikan dengan perangkat yang lain seperti sensor, motor, switch, keypad, display, memory, bahkan dengan mikrokontroler yang lain. Dalam bahasa yang sederhana, mikrokontroler dapat digambarkan sebagai sistem yang membaca dari (memonitor) input, memproses, dan menulis ke (control) output [8]. Sinyal-sinyal input dari berbagai sensor diatas kemudian masuk ke Analog Digital Converter (ADC). AD Converter bekerja dengan cara membaca sebuah sinyal analog kemudian mengubahnya kedalam angka-angka yang bersesuaian dengan nilai digitalnya yang dapat dibaca oleh mikrokontroler [9]. Blok diagram sistem data logger dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram data logger.

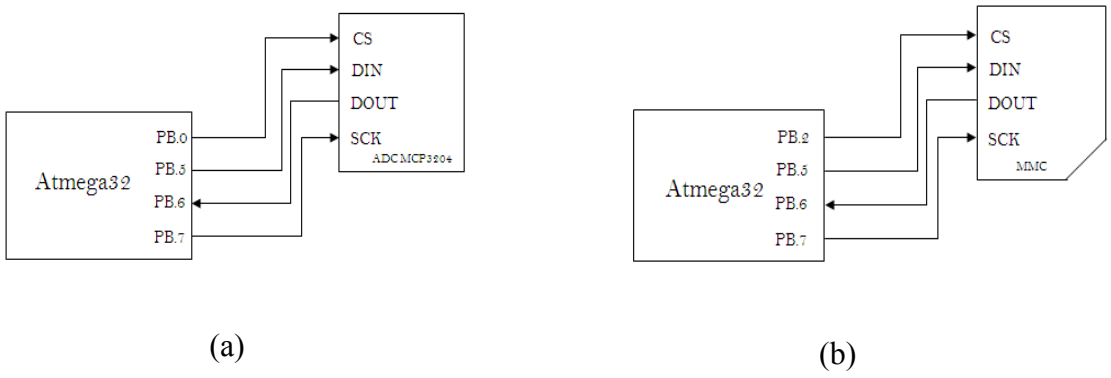
Mikrokontroler Atmega32 memiliki kapasitas memori yang cukup besar yaitu 32 Kbyte, sehingga dapat diprogram secara leluasa dengan menggunakan bahasa pemrograman tingkat tinggi yang membutuhkan memori besar. Komponen lainnya berupa ADC MCP3204 12 bit, Real Time Clock (RTC) DS1307, dan MMC/SD card.

Salah satu hal penting dalam perancangan data logger ini adalah bagaimana beberapa komponen tersebut diatas dapat dikomunikasikan dengan baik tanpa ada *crash* secara software, agar alur pembacaan dan penyimpanan data dapat bekerja sebagaimana mestinya. Dalam penelitian ini digunakan pemrograman komunikasi serial SPI (Serial Peripheral Interface) untuk memperoleh data digital dari ADC MCP3204 12 bit sekaligus untuk menuliskan data kedalam SD Card, dan pemrograman komunikasi serial I2C (*Inter-Integrated Circuit*) untuk mendapatkan data tentang waktu dari IC Real Time Clock (RTC) DS1307. Dua komunikasi tersebut termasuk dalam komunikasi serial sinkron (*synchronous serial communication*). Komunikasi serial sinkron adalah sebuah sistem komunikasi dimana transmisi clock dikirim ke jalur komunikasi [10]. Sinyal clock tesebut digunakan untuk memicu datangnya bit baru. Dalam komunikasi serial SPI dibutuhkan 4 jalur data yaitu DATA

ISSN 0854-3046
Akreditasi: No. 242/Akred-LIPI/P2MBI/05/2010

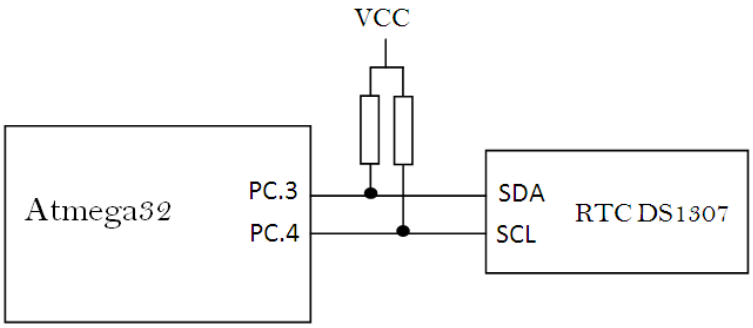
IN, DATA OUT, CLOK, dan CS (Chip Select). SPI mendukung kecepatan transfer data sampai dengan 3 MHz [11]. Jalur SPI adalah antarmuka antara master dan slave.

Ketika terjadi komunikasi dua perangkat, maka satu akan menjadi "master" sedangkan lainnya sebagai "slave". Master memberikan sinyal clock kepada slave. SPI bersifat full duplex, dimana pengiriman dan penerimaan data terjadi secara bersamaan. Konstruksi komunikasi serial SPI untuk ADC dan SD Card masing-masing ditunjukkan pada Gambar 2(a) dan 2(b).



Gambar 2. Blok diagram komunikasi SPI pada ADC dan MMC [12].

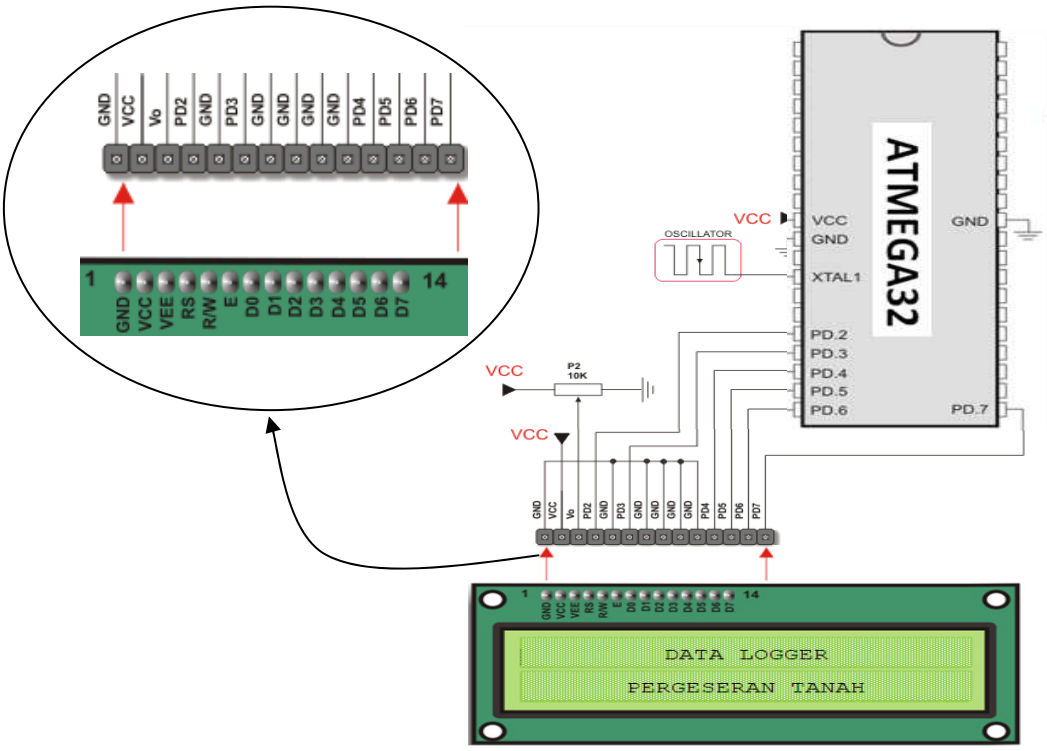
I2C adalah antarmuka dua jalur *bus* yaitu SDA (*Serial DAta Line*) dan SCL (*Serial Clock Line*). Setiap perangkat yang terhubung dialamatkan secara software dengan alamat yang unik. Pada jalur tersebut terdapat komunikasi *master-slave* diantara dua perangkat yang terhubung. Data yang dikirimkan adalah kelipatan 8 bit. Kecepatan transfer sebesar 100 Kbit/s dalam mode standar, 400 Kbit/s dalam mode cepat, dan 3,4 Kbit/s dalam mode kecepatan tinggi [11]. Blok diagram komunikasi I2C ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Blok diagram komunikasi I2C pada RTC [13].

ISSN 0854-3046
Akreditasi: No. 242/Akred-LIPI/P2MBI/05/2010

Display LCD 16 x 4 yang terhubung dengan port D mikrokontroler Atmega32 digunakan untuk menampilkan data. Konfigurasi jalur LCD pada port mikrokontroler ditunjukkan pada Gambar 4. Data logger disuplai dengan akumulator 12 V, 12 Ah yang di*charge* menggunakan panel surya. Pengontrolannya dilakukan oleh *solar charge controller*.



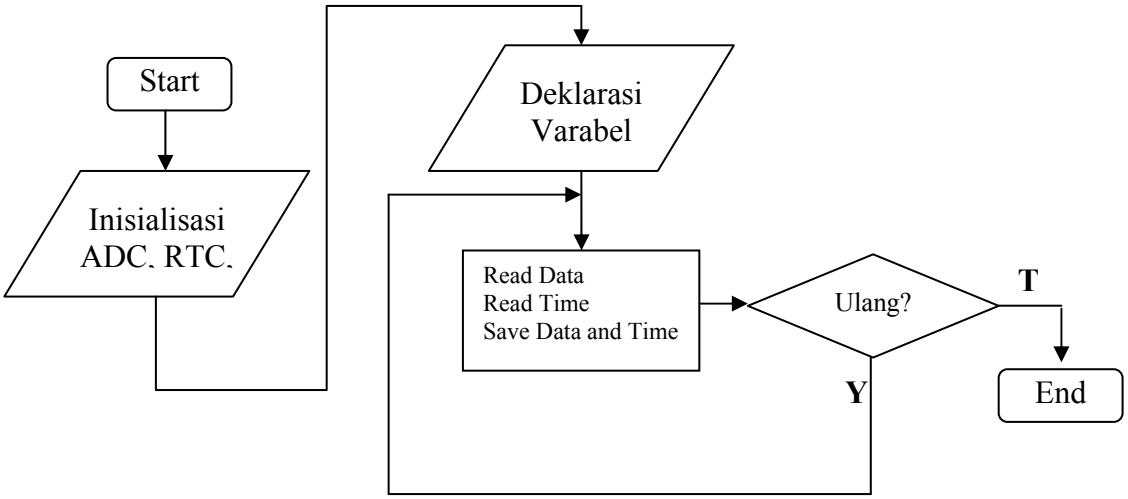
Gambar 4: Konfigurasi jalur LCD pada port mikrokontroler.

Konfigurasi *hardware* data logger tidak akan berjalan tanpa adanya konfigurasi *software*. Pemrograman mikrokontroler yang digunakan berbasis bahasa C. Pemrograman bahasa C termasuk dalam kategori bahasa pemrograman tingkat tinggi yang menjadikan bahasa C ini sebagai perangkat lunak yang ideal untuk berurusan dengan mikrokontroler [14]. Banyak orang yang mengatakan bahwa bahasa C adalah transformasi dari bahasa *assembler*. Pemrograman yang sangat rumit ketika menggunakan assembler menjadi terlihat sederhana dalam bahasa C. Diagram alir pemrograman untuk data logger ini ditunjukkan pada Gambar 5.

Diagram alir menunjukkan bahwa inisialisasi ADC, MMC dan RTC dieksekusi terlebih dahulu kemudian dilakukan deklarasi variable-variabel yang digunakan. Eksekusi program berikutnya adalah pembacaan data digital pada ADC MCP3204 dan pembacaan waktu dari chip RTC DS1307.

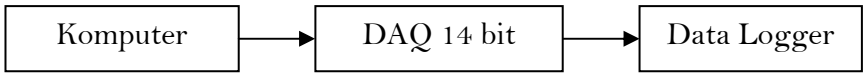
ISSN 0854-3046
Akreditasi: No. 242/Akred-LIPI/P2MBI/05/2010

Hasil pembacaan disimpan dalam SD card dalam file berformat text. Selanjutnya eksekusi program pembacaan data dan penyimpanan data akan terus berulang secara beriringan.



Gambar 5: Diagram alir sistem data logger.

Pengujian data logger ini dilakukan dengan memberikan tegangan input per 1 mV yang dihasilkan oleh *analog output* DAQ 14 bit buatan National Instrument. Blok diagram pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Blok diagram pengujian data logger.

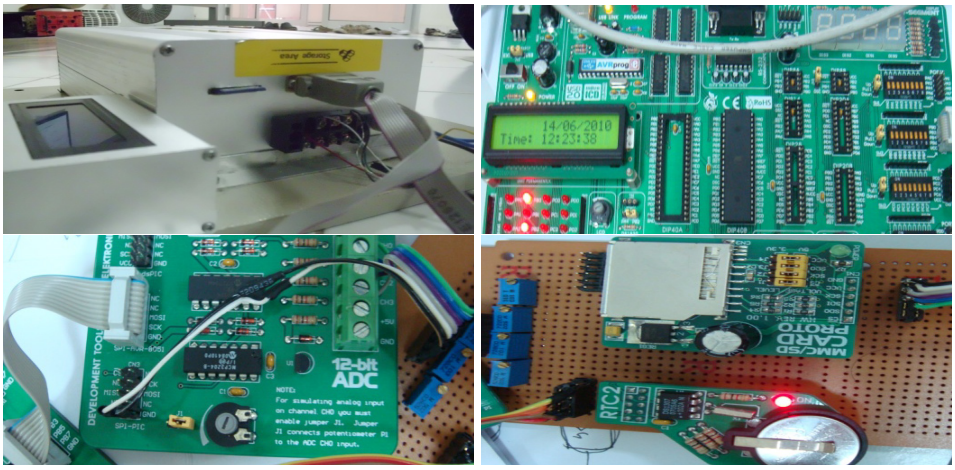
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data logger dalam penelitian ini memiliki prinsip kerja mendeteksi perubahan tegangan output sensor atau tranduser. Foto sistem data logger ditunjukkan pada Gambar 7. Data logger ini menggunakan ADC 12 bit dengan tegangan referensi sebesar 4,096 volt. Sehingga secara teori perubahan 1 mV tegangan input akan menyebabkan perubahan 1 bit ADC. Dengan kata lain perubahan tegangan masukan per 1 mV masih bisa dibedakan.

Seperti yang sudah dijelaskan pada Bab Metodologi sebelumnya, pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan input per 1 mV yang dihasilkan oleh *analog output* DAQ 14 bit buatan National Instrument dengan *range* antara 1000 mV s/d 1063 mV. Berdasarkan grafik pada Gambar 8 dibawah, terlihat bahwa kemiringan grafik m sebesar 1,005. Artinya, grafik tersebut memiliki

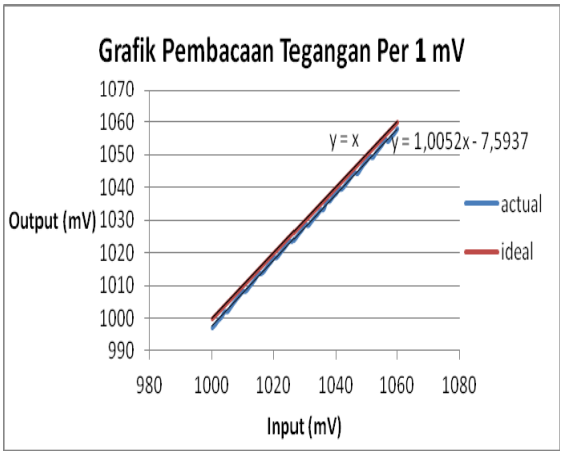
ISSN 0854-3046
Akreditasi: No. 242/Akred-LIPI/P2MBI/05/2010

kelinieran yang baik dimana nilainya mendekati nilai aktual yaitu m=1. Selain itu, dari hasil penelitian didapatkan bahwa nilai *offset error* rata-rata sebesar 2,3 mV.

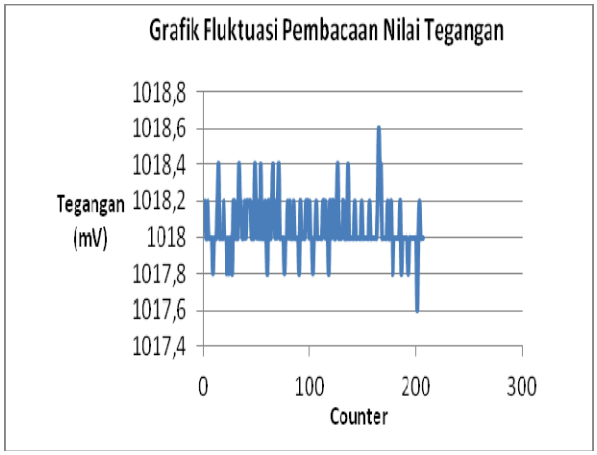


Gambar 7. Foto sistem data logger

Untuk grafik pada Gambar 9, terlihat bahwa dalam pembacaan suatu nilai tegangan input tertentu terdapat adanya fluktuasi. Nilai fluktuasi dapat diperoleh dengan menghitung standar deviasinya. Dari hasil penelitian diperoleh standar deviasi sebesar 0,14 mV. Artinya, data logger ini tidak mampu membedakan perubahan suatu tegangan input sekitar 0,14 mV.



Gambar 8. Grafik pembacaan tegangan per 1 mV oleh data logger.

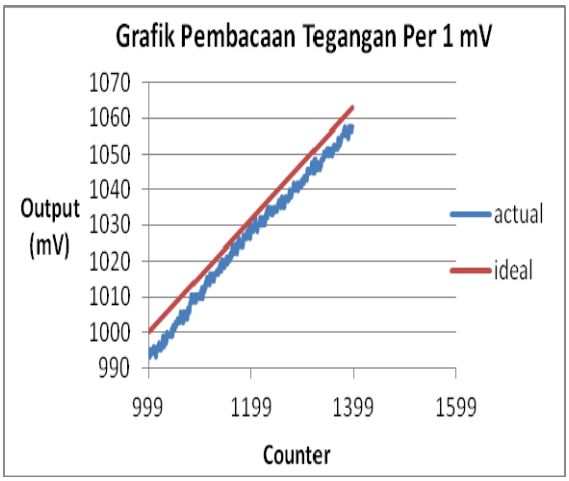


Gambar 9. Grafik fluktuasi pembacaan suatu nilai tegangan oleh data logger.

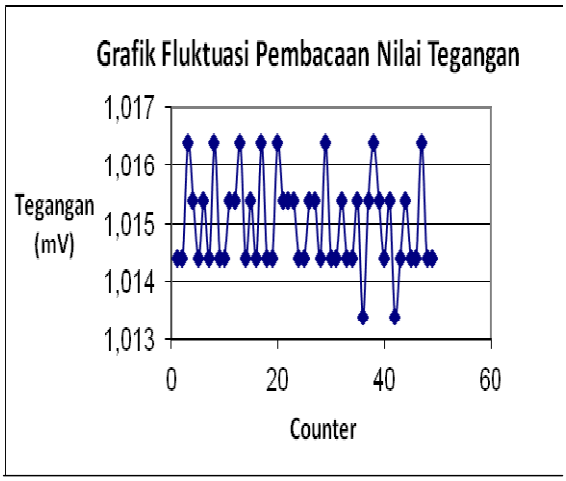
Adapun sebagai perbandingan, digunakan jenis *data acquisition sistem* atau *DAQ* tipe PMD-1208LS 12 bit buatan *Measurement Computing Corporation*. Dengan perlakuan yang sama, DAQ ini

ISSN 0854-3046
Akreditasi: No. 242/Akred-LIPI/P2MBI/05/2010

menghasilkan data yang terangkum dalam grafik pada Gambar 10 dan Gambar 11. *Offset error* dan standar deviasi masing-masing sebesar 5,3 mV dan 0,8 mV.

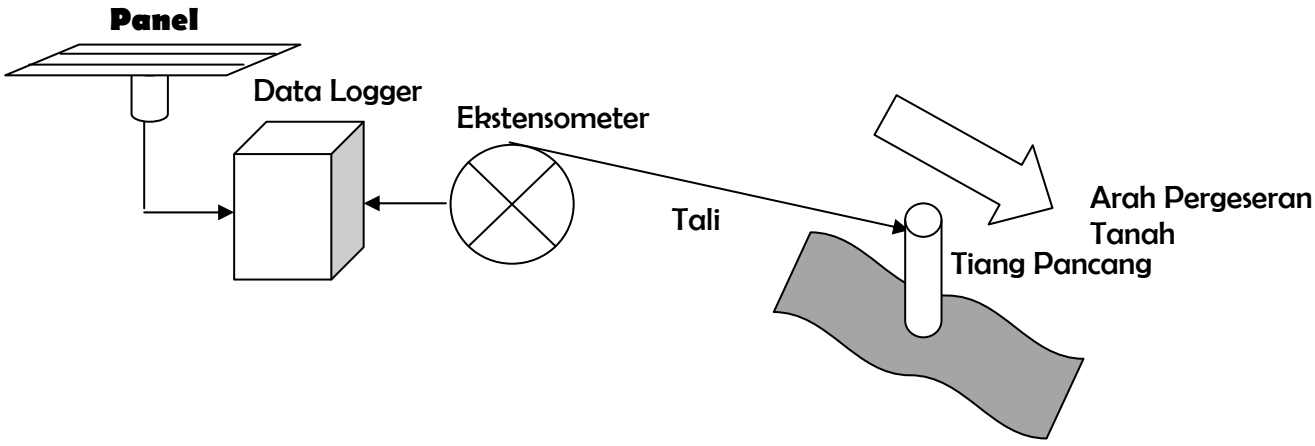


Gbr 10. Grafik pembacaan tegangan per 1 mV oleh PMD-1208LS.



Gbr 11. Grafik fluktuasi pembacaan suatu nilai tegangan oleh PMD-1208LS.

Dalam penelitian ini, fokus dititikberatkan untuk pemantauan terhadap parameter pergeseran tanah. Sehingga perancangan data logger ini ditujukan untuk merekam data pergeseran tanah dari sensor, dalam hal ini ekstensometer elektronik. Skema aplikasinya ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Skema aplikasi data logger untuk pergeseran tanah.

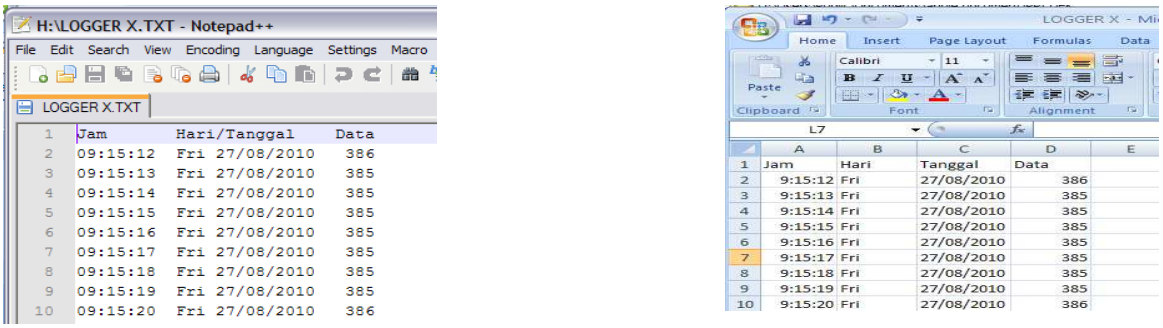
Pada implementasinya di lapangan, ekstensometer elektronik dihubungkan dengan tiang pancang menggunakan tali nilon. Sebelum aplikasi di lapangan, telah dilakukan pengujian semi

ISSN 0854-3046
Akreditasi: No. 242/Akred-LIPI/P2MBI/05/2010

lapangan dengan menggunakan bukit buatan berstruktur lereng, berisi tanah yang dilongsorkan dengan "hujan buatan". Hujan buatan berupa aliran air melalui pipa paralon berlubang yang ditempatkan diatas gundukan tanah. Pengujian semi lapangan dilakukan untuk mengetahui ketahanan data logger beserta sistem sumber daya terhadap kondisi cuaca serta untuk menguji respon data logger terhadap pergeseran tanah. Oleh karena itu konstruksi mekanik data logger perlu diperhatikan agar dapat bertahan dalam rentang waktu yang lama selain tahan terhadap perubahan iklim dan cuaca. Foto pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 13.

Gambar 13. Foto pengujian lapangan data logger.

Data pergeseran tanah tersimpan dalam format text yang dapat dikonversi dengan mudah kedalam format excel. Pada Gambar 14 ditunjukkan contoh hasil perekaman data, masing-masing dalam format text dan format excel.



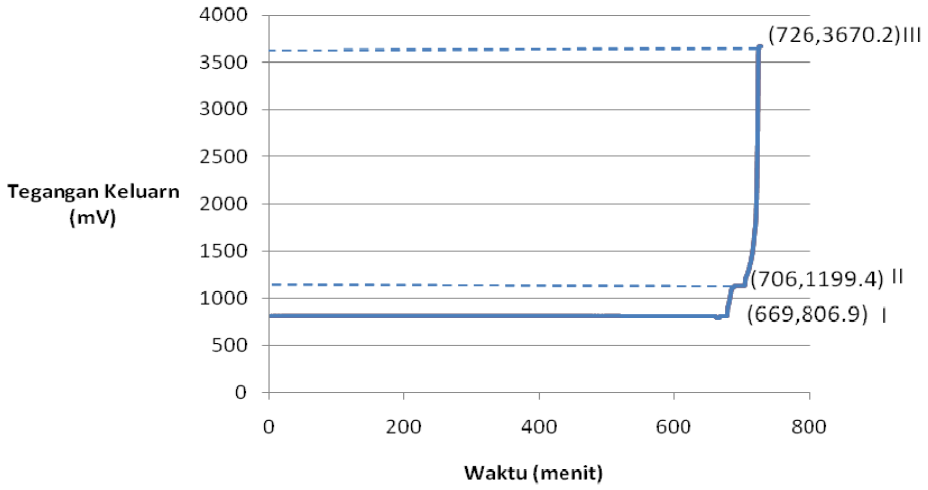
(a) (b)

Gambar 14. Tampilan data dalam format text (a) dan format excel (b).

ISSN 0854-3046
Akreditasi: No. 242/Akred-LIPI/P2MBI/05/2010

Data sebesar 130 KB diperoleh selama 1 jam pengambilan data. Dengan menggunakan *SD Card* berkapasitas 2 GB maka memori tersebut dapat menampung data dalam kurun waktu 20 bulan.

Hasil pengujian semi lapangan menghasilkan grafik pengukuran pergeseran tanah pada bukit mini buatan seperti ditunjukkan pada Gambar 15. Data direkam selama 723 menit (12 jam 05 menit), tanggal 19 s/d 20 Januari 2011. Dalam grafik tersebut ditunjukkan bahwa selama 11 jam tanah masih relatif konstan, artinya belum ada pergeseran tanah yang berarti. Dalam kurun waktu satu jam berikutnya, tanah sengaja dilongsorkan agar terdapat pergeseran tanah. Flow air hujan buatan sebesar 0,033 m^3/menit.



Gambar 15. Grafik pengamatan pergeseran tanah direpresentasikan sebagai perubahan tegangan keluaran.

Dari hasil pengamatan diperoleh grafik yang menunjukkan pergeseran tanah yang ekstrim. Untuk mengetahui seberapa besar pergeseran tanah yang terjadi maka harus mengacu kepada sensitivitas sensor yang digunakan. Penelitian ini menggunakan ekstensometer elektronik yang memiliki sensitivitas sebesar 105 mV/mm. Berdasarkan grafik pada Gambar 15 diatas maka dapat dihitung pergeseran tanah yang terjadi dengan menggunakan Persamaan (1) dibawah ini.

$$\text{Pergeseran tanah} = \frac{Tegangan\ akhir - Tegangan\ awal}{Sensitivitas\ sensor} \qquad (1)$$

$$\text{Pergeseran tanah} = \frac{(3670{,}2 - 806{,}0)\ mV}{105\ mV/mm}$$

$$= 27{,}3\ mm$$

ISSN 0854-3046
Akreditasi: No. 242/Akred-LIPI/P2MBI/05/2010

Dari hasil persamaan diatas didapatkan pergeseran tanah sejauh 27,3 mm atau 2,73 cm. Namun demikian, hal yang lebih penting adalah kecepatan pertambahan pergeserannya dimana parameter tersebut merupakan faktor penting dalam menentukan longsor tidaknya suatu lereng. Berdasarkan grafik pada Gambar 15, dapat diperoleh kecepatan perubahan pergeseran tanah dari keadaan I sampai dengan Keadaan II dan keadaan II sampai dengan keadaan III melalui perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Kecepatan pergeseran tanah } (I\,s.d.\,II) = \frac{((1199{,}4 - 806{,}9)/105)}{(706 - 669)} = 0{,}1\ mm/menit$$

$$\text{Kecepatan pergeseran tanah } (II\,s.d.\,III) = \frac{((3670{,}2 - 1199{,}4)/105)}{(726 - 706)} = 1{,}2\ mm/menit$$

Dari perhitungan diatas, terlihat bahwa kecepatan perubahan pergeseran dari keadaan I sampai dengan keadaan II sebesar 0,1 mm/menit. Pada saat ini tanah mulai bergerak dan membentuk rekahan tanah. Sedangkan kecepatan perubahan pergeseran dari keadaan II sampai dengan keadaan III sebesar 1,2 mm/menit. Pada saat inilah terjadi longsor. Dalam implementasinya, data ini dapat digunakan sebagai salah satu referensi antisipasi bencana tanah longsor dengan koordinasi dari badan resmi pengamatan bencana. Dari sini, diharapkan beberapa tindakan pencegahan dapat dilakukan untuk menghindari korban bencana longsor yang lebih banyak.

Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk menambah parameter lain, seperti batas kecepatan pergeseran tanah yang menandakan akan terjadi longsor, parameter curah hujan, kemiringan tanah, tekanan tanah dan lain-lain. Semakin banyak parameter yang memicu terjadinya tanah longsor akan semakin baik. Dengan demikian cita-cita terwujudnya sistem peringatan dini terhadap tanah longsor dapat terealisasi.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dirancang dan dibuat data logger untuk monitoring pergeseran tanah dengan sumber daya berasal dari tenaga matahari yang mengisi accumulator 12 V 12 Ah dari panel sel surya. Data logger ini bekerja dengan cara mendeteksi perubahan tegangan keluaran sensor. Perubahan tegangan terkecil yang masih bisa dideteksi dengan baik adalah sebesar 1 mV dengan *offset error* 2,3 mV dan standar deviasi sebesar 0,14 mV untuk setiap level tegangan masukan. Pada aplikasi untuk monitoring pergeseran tanah, tegangan masukan data logger berasal dari ekstensometer elektronik dengan sensitivitas perubahan tegangan terhadap pergeseran sebesar 105 mV/mm. Dari hasil pengujian di bukit mini buatan menggunakan simulasi hujan buatan dengan *flow* air 0,033 m^3/menit

ISSN 0854-3046
Akreditasi: No. 242/Akred-LIPI/P2MBI/05/2010

selama 12 jam didapatkan pergeseran tanah sebesar 2,73 cm dengan perubahan *slope* 1,2 mm/menit saat terjadi longsor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Group Terahertz Photonics Pusat Penelitian Fisika LIPI yang telah banyak membantu terlaksananya penelitian ini. Penelitian ini didanai oleh Proyek Penelitian Kompetitif-LIPI Tahun 2009-2011.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sismanto. "Analisa Lahan Kritis Sub DAS Riam Kanan DAS Barito Kabupaten Banjar Kalimantan Tengah." J*urnal APLIKASI*, Vol 6, No. 1 (Pebruari 2009): 1-11.
2. Hadisantono, Rudy Dalimin. "Devastating landslides related to the 2002 Papandayan eruption." J*urnal Geologi Indonesia*, Vol. 1, No. 2 (Juni 2006): 83-88.
3. Ibrahim, Dogan. "Microcontroller And SD-Card Based Multichannel Data Logger." (November 2008) : pp. 26-31, www.electronicsworld.co.uk (diakses 30 September 2010).
4. Widiyatmoko, Bambang dkk. "Pengembangan Sensor Strain Tanah Berbasis Fiber Bragg Grating untuk Deteksi Longsor." Prosiding Seminar Nasional Astechnova, Vol. 1 (2009): 41-48.
5. Tresna, Wildan P. dkk. "Pengujian Unjuk Kerja Ekstensometer Optis Dengan Universal Testing Machine (UTM) Sebagai Basis Data Simulasi Tanah Longsor." Modern Electrical Engineering Technology and Its Aplications Seminar (MEETAS), (2010): B20.
6. Hanto, Dwi dkk. "Real Time Inclinometer Using MEMS Accelerometer." Kentingan Physics Forum 5th, (2010): 35.
7. Axelson, Jan. *The Microcontroller Idea Book: Circuits, Programs, & Applications featuring the 8052-BASIC Microcontroller*. Madison: Lakeview Research, 1997.
8. Anonim. *Microcontroller Interfacing Techniques*. Texas: BiPOM Electronics, Inc., 2005.
9. Lovine, Jon. *PIC Microcontroller Project Boo.* New York: McGraw-Hill, 2000.
10. Susnea, I., and Mitescu, M. *Microcontrollers in Practice.* New York: Springer, 2005.
11. Gadre, Dhananjay V. *Programming And Customizing The Avr Microcontroller***.** New York: McGraw-Hill, 2001.
12. -, "Using the 12C Bus." in Robot Electronics, http://www.robot-electronics.co.uk/acatalog/I2C_Tutorial.html (diakses 7 Juni 2010).
13. http://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface_Bus (diakses 7 Juni 2010)
14. Sickle, Ted van. *Programming Microcontrollers in C.* Virginia: LLH Technology Publishing, 2001.