



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**JUDUL**

**PENGEMBANGAN  
JARINGAN INKLINOMETER WAKTU NYATA  
UNTUK MONITORING PERGERAKAN TANAH**

**TESIS**

**DWI HANTO**

1006786770

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM PASCA SARJANA  
PROGRAM STUDI FISIKA INSTRUMENTASI  
DEPOK  
JULI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGEMBANGAN  
JARINGAN INKLINOMETER WAKTU NYATA  
UNTUK MONITORING PERGERAKAN TANAH**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains**

**DWI HANTO**  
1006786770

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM PASCA SARJANA  
PROGRAM STUDI FISIKA INSTRUMENTASI  
DEPOK  
JULI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri, baik yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Dwi Hanto  
NPM : 1006786770  
Tanda tangan : 

Tanggal : 3 Juli 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Dwi Hanto  
NPM : 1006786770  
Program Studi : Fisika Instrumentasi  
Judul Tesis : **Pengembangan Jaringan Inklinometer Waktu Nyata Untuk Monitoring Pergerakan Tanah**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Fisika Instrumentasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Prawito

(  )

Pembimbing : Dr. Bambang Widiyatmoko

(  )

Penguji : Dr. Sastra Kusuma Wijaya

(  )

Penguji : Dr. L.T. Handoko

(  )

Penguji : Prof. Dr. BEF Da Silva

(  )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 3 Juli 2012

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas rahmat dan hidayah Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan tesis ini pada waktunya. Penulisan tesis ini dilaksanakan untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk mendapatkan gelar Magister Sains pada Program Studi Fisika Instrumentasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia. Penulis menyadari, bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari para dosen baik semasa perkuliahan maupun penyusunan tesis, sulit bagi penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Atas dasar hal tersebut, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Dr. Prawito, selaku dosen pembimbing I yang penuh perhatian dan kesabarannya memberikan solusi-solusi dalam penyelesaian tesis ini.
- 2) Dr. Bambang Widiyatmoko selaku pembimbing II sekaligus Kepala Pusat Penelitian Fisika LIPI yang telah banyak memberikan ide dan fasilitas yang ada untuk pengerjaan tesis ini.
- 3) Dewan penguji, atas saran yang diberikan untuk kesempurnaan tesis ini.
- 4) Segenap Dosen S2 Fisika Instrumentasi UI yang telah memberikan ilmu yang telah banyak kepada penulis.
- 5) Segenap Staff Administrasi Program Studi Ilmu Fisika UI, atas pelayanannya.
- 6) Istri dan anakku tercinta Yuliati dan Hassan Syahim, atas perhatian dan semangatnya untuk bisa selalu berbuat terbaik dalam kehidupan
- 7) Segenap teman-teman S2 Fisika UI angkatan 2010 dan Grup penelitian Terahertz Photonics P2F LIPI atas kerjasamanya.
- 8) Segenap Pengelola Beasiswa Kementrian Ristek Tahun 2010, atas hibah dananya untuk perkuliahan dan tesis ini.

Semoga Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa membalas semua kebaikannya, amien.

Depok, 3 Juli 2012

**Penulis**

## HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Dwi Hanto  
NPM : 1006786770  
Program Studi : Fisika Instrumentasi  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis Karya : Tesis

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (Non-Exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya dengan judul:

### **Pengembangan Jaringan Inklinometer Waktu Nyata Untuk Monitoring Pergerakan Tanah**

Beserta perangkat yang ada jika diperlukan. Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data, merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Depok  
Tanggal : 3 Juli 2012

Yang menyatakan,



Dwi Hanto

## ABSTRAK

Nama : Dwi Hanto  
Program Studi : Fisika Instrumentasi  
Judul Tesis : Pengembangan Jaringan Inklinometer Waktu Nyata Untuk  
Monitoring Pergerakan Tanah

Salah satu upaya untuk mengantisipasi ancaman tanah longsor adalah dilakukan monitoring pergerakan tanah. Namun, instrumentasi untuk monitoring pergerakan tanah saat ini belum dapat bekerja secara waktu nyata dan berkesinambungan. Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk pengembangan jaringan inklinometer sebagai monitoring pergerakan tanah secara waktu nyata. Sistem ini dikembangkan dengan menggunakan multi sensor dari tiga aksis MEMS Akselerometer sebagai sensor kemiringan, dan mikrokontroler sebagai pengolah data dan penyedia komunikasi. Mikrokontroler yang digunakan ada dua macam yaitu slave untuk akuisisi data sensor dan master untuk pusat pengontrol aktivitas sistem. Sensor-sensor tersebut dibuat dalam bentuk jaringan dan dapat komunikasi dengan master menggunakan serial RS 485. Untuk menghindari kesalahan data digunakan protokol komunikasi khusus antara slave dan master. Sistem dapat berjalan dengan baik mengukur kemiringan dari tiga buah titik dan dapat diamati secara waktu nyata melalui LCD dan SD Card untuk keperluan riwayat data.

Kata kunci: longsor, inklinometer, waktu nyata, MEMS Akselerometer, RS 485

## ABSTRACT

Name : Dwi Hanto  
Program Study : Instrumentation Physics  
Thesis Title : Development of Real Time Inclinometer Network for  
Ground Movement Monitoring

One effort to anticipate the threat of landslides was done monitoring the ground movement. However, instrumentation to monitoring ground movement this time not yet can be work on real time and continuously. Therefore, was researched for development of inclinometer network for monitoring of ground movement on real time. This system was developed using multi sensors from three axis MEMS Accelerometer as a inclination sensor, and microcontroller as a data processor and provider of communications. Microcontroller was used there are two kinds, three are slave for data acquisition and master as central controller systems. Sensors was created in the network and can be communicate with a master using the serial RS 485. To avoid errors in data, thus systems used special protocol communication between slaves and master. The systems can run properly measure the inclination of three points and can be observed on real time using LCD and SD Card for history data.



## DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Sampul .....	i
Halaman Judul .....	ii
Halaman Pernyataan Orisinalitas .....	iii
Halaman Pengesahan .....	iv
Kata Pengantar .....	v
Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi Karya Ilmiah untuk Kepentingan Akademis .....	vi
Abstrak .....	vii
Abstract .....	viii
Daftar Isi .....	ix
Daftar Tabel .....	xi
Daftar Gambar .....	xii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan Penelitian .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Pergerakan Tanah .....	5
2.2 MEMS Akselerometer .....	7
2.2.1 Penentuan Kemiringan dengan MEMS Akselerometer .....	9
2.3 Jaringan Sensor .....	11
2.4 Antarmuka RS 485 .....	11
2.5 Instrumentasi Sistem Waktu Nyata .....	13
2.5.1 Model system waktu-nyata .....	13
2.5.1 Analisis Kinerja Waktu Nyata .....	14
<b>BAB 3. Metodologi</b> .....	<b>16</b>
3.1 Komponen dan Bahan .....	17
3.2 Perancangan Sistem .....	19
3.2.1 Slave .....	19
3.2.1.1 Validasi Sensor .....	21
3.2.1.2 Algoritma software pada slave .....	22
3.2.2 Master .....	24
3.2.2.1 Algoritma software pada master .....	25
3.2.2.2 Media Penyimpan .....	26
3.3 Pengujian Sistem .....	27
<b>BAB 4. Hasil dan Pembahasan</b> .....	<b>28</b>
4.1 Pengukuran dan Validasi Sensor .....	28
4.2 Pengujian LCD .....	29
4.3 Pengujian Komunikasi RS 485 .....	30
4.4 Pengujian Real Time Clock (RTC) .....	31
4.5 Pengujian Media Penyimpan .....	32
4.6 Pengujian Sistem .....	33

<b>BAB 5. Kesimpulan dan Saran</b> .....	44
5.1 Kesimpulan .....	44
5.2 Saran .....	44
<b>Daftar Pustaka</b> .....	45



## DAFTAR TABEL

No. Tabel	Nama Tabel	Halaman
Tabel 2.1	Derajad kesetabilan tanah .....	6
Tabel 3.1	Pin pada SD Card .....	26
Tabel 3.2	Hubungan Pin SD card dengan Atmega 32 .....	26
Tabel 4.1	Hasil pembacaan parameter sensor.....	28
Tabel 4.2	Tegangan offset dan sensitivitas sensor .....	27
Tabel 4.3	Nilai parameter drift setiap slave .....	40



## DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Nama Gambar	Halaman
Gambar 2.1	Analisa fisis longsor .....	5
Gambar 2.2	Prinsip MEMS Akselerometer .....	7
Gambar 2.3	Akselerometer jenis sensor kapasitif .....	8
Gambar 2.4	Orientasi kemiringan satu sumbu pada Akselerometer .....	9
Gambar 2.5	Orientasi kemiringan Akselerometer tiga sumbu .....	10
Gambar 2.6	RS 485 half dupleks .....	12
Gambar 2.7	RS 485 full dupleks .....	12
Gambar 2.8	Sistem Instrumentasi waktu nyata pada bencana.....	13
Gambar 3.1	Diagram blok jaringan inklinometer waktu nyata .....	16
Gambar 3.2	Tempat komponen slave .....	18
Gambar 3.3	Rangkaian pada slave .....	20
Gambar 3.4	Orientasi akselerasi Accel Board .....	21
Gambar 3.5	Pengukuran kemiringan sensor .....	22
Gambar 3.6	Diagram alir algoritma pada slave .....	23
Gambar 3.7	Rangkaian pada master .....	24
Gambar 3.8	Diagram alir software pada master .....	25
Gambar 4.1	Hasil pengujian tampilan LCD .....	29
Gambar 4.2	Tampilan pesan kesalahan .....	30
Gambar 4.3	Hasil respon slave yang yang tidak ada kesalahan .....	31
Gambar 4.4	Tampilan data yang disimpan SD Card pada MS Excel .....	32
Gambar 4.5	Validasi sensor 1 .....	33
Gambar 4.6	Validasi sensor 2 .....	33
Gambar 4.7	Validasi sensor 3 .....	34
Gambar 4.8	Validasi sensor 4 .....	34
Gambar 4.9	Validasi sensor 5 .....	34
Gambar 4.10	Validasi sensor 6 .....	35
Gambar 4.11	Pengujian integrasi sistem .....	35
Gambar 4.12	Pengaturan tanggal, bulan, dan tahun .....	36
Gambar 4.13	Pengaturan jam, menit, dan detik .....	36
Gambar 4.14	Tampilan system waktu nyata .....	37
Gambar 4.15	Tampilan data dibuka dengan MS Excel .....	38
Gambar 4.16	Kestabilan pada slave 1 .....	39
Gambar 4.17	Kestabilan pada slave 2 .....	39
Gambar 4.18	Kestabilan pada slave 3 .....	39
Gambar 4.19	Ujicoba Jaringan Inklinometer pada bukit buatan .....	41
Gambar 4.20	Grafik kemiringan pada slave 1 .....	42
Gambar 4.21	Grafik kemiringan pada slave 2 .....	42
Gambar 4.22	Grafik kemiringan pada slave 3 .....	42

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Bencana tanah longsor merupakan ancaman yang serius yang dihadapi oleh bangsa Indonesia. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat bahwa bencana tanah longsor menempati peringkat ketiga frekuensi kejadian bencana di seluruh Indonesia yaitu sebesar 13% dalam kurun hampir dua abad terakhir (dibi BNPB, 2011). Bencana inipun juga menimbulkan banyak kerugian yang sangat besar baik dari segi korban jiwa maupun infra struktur yang ada.

Indonesia Siaga Bencana adalah slogan yang harus dicermati oleh seluruh bangsa Indonesia karena dapat disadari bahwa sebagian besar wilayah Negara Indonesia adalah rawan tanah longsor. Siaga Bencana ini diartikan tidak hanya siap menghadapi kalau sudah terjadi bencana, namun lebih dari itu harus dapat memprediksi secara ilmiah kejadian-kejadian alam penyebab bencana tersebut. Tanah longsor misalnya, bila besaran fisis penyebab longsor dapat diukur secara ilmiah maka akan dapat diprediksi secara tepat dan ujungnya peringatan dini terhadap bahaya tersebut dapat dikirim kepada masyarakat sehingga dapat meminimalisir jumlah korban (Laksamana, 2010).

Longsor merupakan kejadian yang kompleks dan tergantung pada banyak faktor. Walaupun demikian beberapa parameter ukurnya dapat diketahui, salah satunya pergerakan tanah pada suatu lereng. Instrument inklinometer merupakan alat yang cukup terkenal pada pengukuran pergerakan tanah. Instrumen tersebut dapat mengidentifikasi kedalaman serta kecepatan pergerakan tanah (Garcia, 2010). Bentuk inklinometer ini seperti pendulum yang bagian luarnya terdapat roda untuk meluncur sedangkan untuk menentukan pergerakan tanah instrumen ini diluncurkan pada pipa yang sudah ditanam sebelumnya. Mudrik et al (2006) telah menggunakan inklinometer tipe ini pada penyelidikan bidang gelincir di Subang dimana alat tersebut mampu menentukan kedalaman dan pergerakan tanah dalam upaya pengalihan jalur kereta api.

Perkembangan nanomaterial juga banyak berdampak pada instrumentasi yang lebih khusus lagi pada sensor yang digunakan pada inklinometer. Para peneliti saat ini cenderung menggunakan Micro-ElectroMechanical Systems (MEMS) akselerometer pada sensor inklinometer. Penggunaan sensor tersebut cukup terkenal karena dimensinya kecil, sensitivitas dan akurasi tinggi, suplai powernya rendah, dan murah (Analog Device, 2007). Pengembangan MEMS akselerometer pada inklinometer didasarkan pada pembacaan kemiringan yang diperoleh dari kondisi statik percepatan gravitasi yang terukur (Miskam, 2009).

Saat ini, ketersediaan MEMS akselerometer tidak terbatas satu sumbu saja, melainkan dua, ataupun tiga sumbu dalam satu chip. Perkembangan ini tidak hanya mengefisienkan ruang tetapi juga memperbaiki resolusinya. Ketika penentuan nilai kemiringan hanya menggunakan satu sumbu resolusi terbatas pada  $1^\circ$  dan sensitivitas tidak seragam. Kemudian berkembang penggunaan kedua sumbu, maka diperoleh resolusi yang lebih baik yaitu kurang dari  $1^\circ$  dengan sensitivitas yang sama. Akan tetapi, permasalahan penggunaan dua sumbu ini belum dapat menentukan kuadran kemiringannya dengan demikian dilakukan menggunakan ketiga sumbu sekaligus maka diperoleh resolusi yang baik juga dapat menentukan kuadran kemiringan (Fisher, 2010).

Penggunaan MEMS akselerometer untuk sensor pada inklinometer pengamatan gerakan tanah cukup ini cukup handal. Sensor ini memiliki kemampuan pembacaan kemiringan pada masing-masing sumbu yang diindikasikan dari tegangan keluarannya. Pembacaan kemiringan pada masing-masing sumbu pun tidak memiliki pengaruh pada sumbu yang berlainan (Hanto, 2010). Dengan demikian MEMS Akselerometer tidak diragukan lagi sebagai pilihan pada sensor inklinometer.

## 1.2 Perumusan Masalah

Pengamatan terhadap pergerakan tanah suatu bukit rawan longsor meliputi area yang cukup luas. Pada satu tempat saja tidak cukup hanya menggunakan satu sensor. Namun, penggunaan banyak sensor tersebut satu sama lain tidak dapat saling berkomunikasi juga akan menyebabkan informasi yang tidak tepat dan mempersulit identifikasi gerakan tanah. Oleh karena itu, antar sensor akan dibuat

jaringan terpusat dengan satu stasiun kontrol. System jaringan antar sensor ini dapat digunakan RS 485 untuk jalur komunikasi dimana memiliki beberapa keunggulan diantaranya: rangkaiannya sederhana, dapat digunakan untuk control baik kirim maupun terima data, jarak komunikasi mencapai 1,2 Km, dan mampu digunakan pada banyak titik komunikasi (Bai, 2010). Beberapa sensor MEMS Akselerometer dijadikan titik slave yang ditempatkan pada pengamatan sedangkan satu buah pusat stasiun digunakan sebagai master yang diletakkan jauh dari daerah longsor sebagai pengontrol kinerja sensor.

Pemantauan pergerakan tanah merupakan proses yang sangat panjang namun memiliki waktu yang singkat dalam hal memberikan keputusan tingkat bahaya pada suatu bukit. Oleh karena itu, inklinometer perlu dirancang bekerja secara cerdas yang mampu memberikan informasi terkini dan berkesinambungan dari bukit yang diamati. Maka perlu sekali inklinometer tersebut dikembangkan dalam system waktu nyata (Furlani, 2005). Dengan demikian pusat stasiun yang dijadikan master dikembangkan mampu memberikan intruksi kirim dan terima data secara tepat dengan waktu nyata yang disediakan oleh master. Selain itu, master juga dilengkapi dengan fasilitas penyimpanan data lama maupun terbaru serta dapat mengirimkan lagi pada server secara nirkabel.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian pada tesis adalah pengembangan inklinometer waktu nyata berbasis MEMS akselerometer adalah sebagai berikut:

- a) Mengembangkan inklinometer dalam mode waktu nyata sehingga nantinya dapat digunakan untuk mengetahui kondisi terkini daerah yang diamati pergerakan tanahnya.
- b) Mengembangkan inklinometer yang dapat membaca sensor-sensor secara terdistribusi dengan RS 485 untuk memudahkan untuk mengetahui kondisi pergerakan tanah secara menyeluruh.
- c) Mengembangkan system pusat stasiun data yang dapat mengelola system inklinometer sebagai pengamat pergerakan tanah dengan fasilitas: pengumpul data, penyimpanan data, dan penerima sekaligus pengirim intruksi.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Memberikan instrumentasi alternatif dalam penyediaan system peringatan dini terhadap bahaya pergerakan tanah/longsor.
- b) Memberikan informasi secara terkini maupun berkala terhadap daerah bukit yang diamati sehingga tidak menghabiskan waktu dan tenaga yang banyak untuk memperoleh informasi pergerakan tanah.

#### 1.5 Batasan Penelitian

Penelitian pada tesis yang dilakukan ini merupakan pengembangan inklinometer yang disusun secara jaringan inklinometer dalam mode waktu nyata. Pokok penelitian ini adalah pengembangan inklinometer berbasis sensor akselerometer tiga aksis, sensor-sensor tersebut dikonfigurasi dalam jaringan terdistribusi, komunikasi antara sensor dan pusat stasiun data dengan menggunakan RS 485, dan disediakan media penyimpan sebagai analisa secara *offline*.



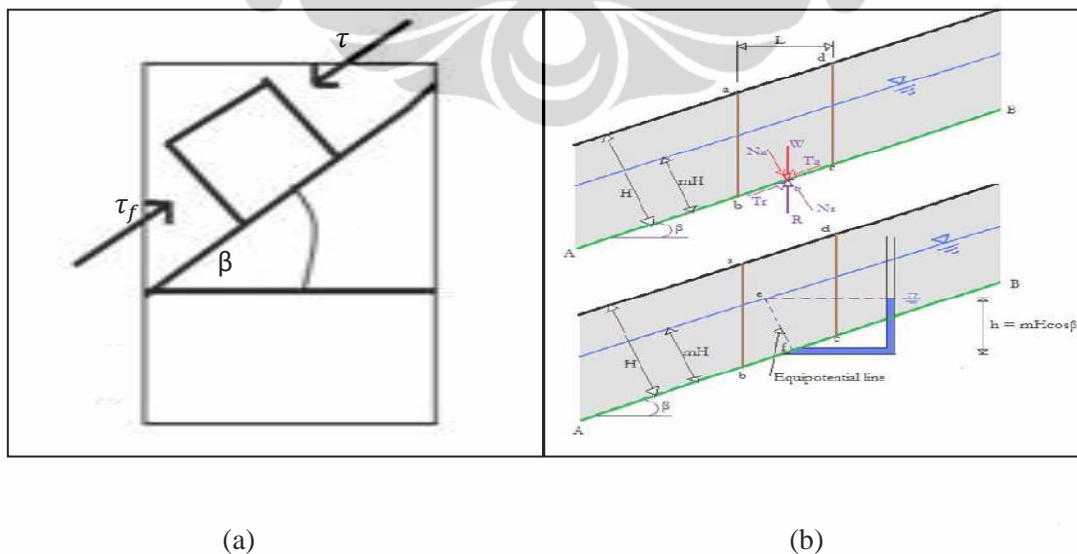
## BAB 2

### TEORI PENUNJANG

#### 2.1 Pergerakan Tanah

Gerakan tanah merupakan terminologi umum dari suatu proses dimana massa suatu material bumi bergerak oleh gravitasi bumi baik lambat atau cepat dari suatu tempat ke tempat yang lain. Menurut Wesley, Hunt, Anderson, dan Richard pada prinsipnya gerakan tanah terjadi sebagai suatu akibat dari terganggunya kesetabilan lereng, yaitu apabila besarnya gaya penggerak tanah yang akan longsor melampaui gaya penahannya (Nur, 2007). Secara sederhana, kestabilan lereng seperti sebuah bidang miring dengan sudut kemiringan  $\beta$  dan gaya penahan atau tekanan geser  $\tau_f$  sedangkan gaya penggeraknya adalah  $\tau$  ditunjukkan seperti pada Gambar 2.1 (a).

Model fisika kesetabilan lereng (Gambar 2.1(b)) dengan menggunakan metode Mohr-Coulomb yaitu dengan menentukan kekuatan geser ( $\tau_f$ ) sepanjang permukaan gelincir. Menurut Prasad (2006) keadaan kestabilan terjadi jika tekanan geser ( $\tau$ ) yang dinyatakan pada fraksi kekuatan geser. Pada saat terjadi kegagalan (gerakan tanah) tegangan geser aktif bergerak sepanjang permukaan ketika kondisi kritis dilampaui.



**Gambar 2.1 Analisa fisis longsor (a) Tipe-tipe longsor dan 2.1 (b) Model fisika kesetabilan tanah**

Untuk mengkategorikan kondisi lereng dikatakan stabil atau tidak dapat dilihat dari nilai faktor keamanannya (SF) yaitu perbandingan antara kekuatan geser dan tekanan geser:

$$SF = \frac{\tau_f}{\tau} \quad (2.1)$$

Dari gambar nilai kekuatan geser ditentukan oleh: kohesi efektif ( $c'$ ), indeks kebasahan ( $m$ ), berat material saat kering ( $\gamma_{dry}$ ), berat material saat saturasi ( $\gamma_{sat}$ ), kedalaman material dari permukaan gelincir ( $H$ ), panjang slope elemen abcd ( $L$ ), sudut lereng ( $\beta$ ), berat material saat basah ( $\gamma_w$ ), sudut friksi internal ( $\phi'$ ) seperti pada persamaan berikut:

$$\tau_f = c + \left( ((1-m)\gamma_{dry} + m\gamma_{sat})H \cos\beta - \gamma_w m H \cos\beta \right) \tan\phi' \quad (2.2)$$

Sedangkan tekanan geser adalah:

$$\tau = \frac{\tau_a}{\text{area of the base}} = \frac{((1-m)\gamma_{dry} + m\gamma_{sat})LH \tan\beta}{L/\cos\beta}$$

$$\tau = ((1-m)\gamma_{dry} + m\gamma_{sat})H \sin\beta \quad (2.3)$$

Sehingga nilai faktor keamanannya (SF) sebagai mana berikut:

$$SF = \frac{c'}{\gamma_e H \sin\beta} + (1 - m) \frac{\gamma_w}{\gamma_e} \frac{\tan\phi'}{\tan\beta} \quad (2.4)$$

Dengan  $\gamma_e$  menyatakan berat efektif material:

$$\gamma_e = (1 - m)\gamma_{dry} + m\gamma_{sat} \quad (2.5)$$

Sedangkan klasifikasi derajat kestabilan lereng dikategorikan sebagai mana tercantum pada Tabel 2.1 (Aboye, 2009):

**Tabel 2.1 Derajat kesetabilan tanah**

Kriteria	Ukuran Kestabilan	Derajat Kerentanan Gerakan Tanah
SF < 1	Tidak stabil	Sangat rentan
1 < SF < 1,25	Kuasi stabil	Rentan
1,25 < SF < 1,5	Moderat stabil	Agak rentan
SF > 1,5	Stabil	Kecil

## 2.2 MEMS Akselerometer

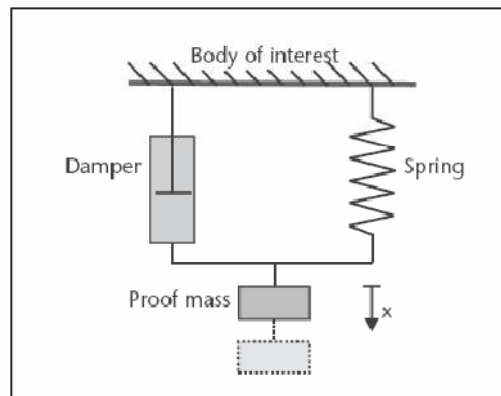
Penggunaan sensor-sensor berbasis sistem mikroelektromekanik (MEMS) berkembang pesat seiring dengan perkembangan teknologi material. Berbagai keperluan dalam gejala fisis digunakan sensor berbasis sistem mikroelektromekanik diantaranya dalam penggunaan sistem kontrol robot, tekanan, akselerasi, otomobil, navigasi, dan alat kesehatan (Jeong' et al, 2009). Di dalam MEMS itu sendiri telah terdapat sistem mikro dari: sensor, rangkaian elektronik sebagai pengkondisi sinyal, dan aktuator sebagai respon.

Pada umumnya MEMS akselerometer terdiri dari sebuah benda yang bermassa yang dinamakan *proof mass* yang ditempelkan pada sistem suspensi mekanika kerangka acuan (Gambar 2.2). Prinsip kerja MEMS Akselerometer ialah jika ada sebuah gaya maka menyebabkan gerakan *proof mass* yang sesuai dengan hukum kedua Newton. Sistem tersebut jika diterangkan secara matematis dalam domain Laplace sebagai berikut:

$$\frac{x(s)}{a(s)} = \frac{1}{s^2 + \frac{b}{m} + s\frac{k}{m}} \quad (2.6)$$

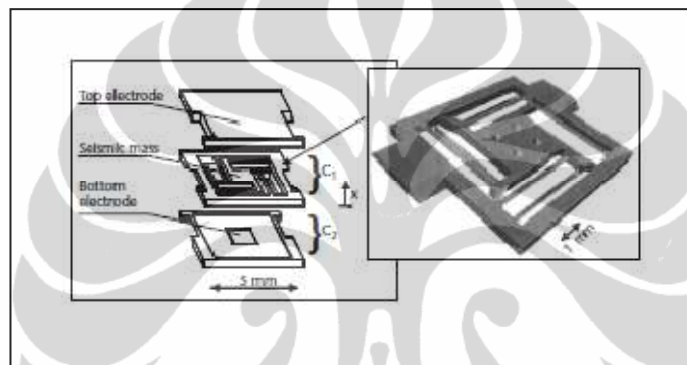
Dimana  $x$  adalah perpindahan dari *proof mass* dari kondisi diam terhadap referensi,  $a$  adalah percepatan yang diukur,  $b$  adalah koefisien redaman,  $m$  adalah massa dari *proof mass*,  $k$  adalah konstanta pegas dari sistem suspensi, dan  $s$  merupakan operator Laplace. MEMS akselerometer ini memiliki sensitivitas mekanik ( $S_m$ ) seperti pada Persamaan 2.7:

$$S_m = \frac{m}{k} \quad (2.7)$$



Gambar 2.2 Prinsip MEMS Akselerometer

Keumuman faktor pada mikromesin akselerometer adalah perpindahan dari *proof mass* harus diukur oleh rangkaian antarmuka dan mengubahnya dalam bentuk sinyal listrik. Beberapa tipe mekanisme dari pembacaan sinyal ini ialah sifat kapasitansi, piezoresistansi, piezoelektrik, dan optik. Ketiga sifat yang pertama adalah mekanisme yang umum digunakan. Karakteristik dan unjuk kerja dari akselerometer benar-benar dipengaruhi oleh pengukuran perpindahan antarmuka, dan sangat dibutuhkan derau kecil, linieritas tinggi, respon dinamik yang baik, dan kecil dalam konsumsi daya.



**Gambar 2.3 Akselerometer jenis sensor kapasitif**

Fungsi transfer elektrik dari MEMS akselerometer berdasarkan dari sifat kapasitansi. Setiap aksis, MEMS Akselerometer terdapat dua buah elektroda atas dan bawah dan diantaranya terdapat *proof mass* atau *seismic mass*, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.3. Apabila jarak antara elektroda dan seismic mass adalah  $d$ , luasan elektroda adalah  $A$ , konstanta dielektrik bahan  $\epsilon$  untuk pergerakan *seismic mass* pada arah  $x$  maka perubahan kapasitans MEMS ditunjukkan pada Persamaan 2.8 (Beeby, 2004).

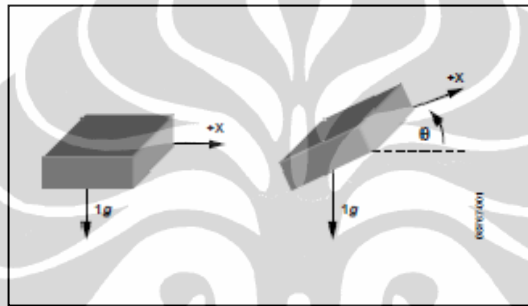
$$\Delta C = \epsilon A \left( \frac{1}{d_0 - x} - \frac{1}{d_0 + x} \right) \xrightarrow{x^2 \ll d_0^2} 2\epsilon A \frac{x}{d_0^2} \quad (2.8)$$

### 2.2.1 Penentuan Kemiringan dengan MEMS Akselerometer

MEMS Akselerometer yang digunakan untuk sensor kemiringan adalah dengan mengukur sudut inklinasi terhadap arah vektor gravitasi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4, dimana objek memiliki kemiringan pada bidang X. besarnya sudut kemiringan tersebut dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\theta = \sin^{-1} \left( \frac{A_x (g)}{1g} \right) \quad (2.9)$$

dengan  $\theta$  = sudut kemiringan arah X,  $A_x$  = percepatan akselerometer pada aksis X,  $1g$  = percepatan gravitasi bumi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ).



**Gambar 2.4 Orientasi kemiringan satu sumbu pada Akselerometer**

Adapun nilai akselerasi  $A_x$  demikian juga dengan  $A_y$ ,  $A_z$  pada Akselerometer tiga aksis dapat diukur dengan menggunakan Persamaan 2.10, 2.11, dan 2.12:

$$A_x = \frac{V_x - V_{offx}}{S_x} \quad (2.10)$$

$$A_y = \frac{V_y - V_{offy}}{S_y} \quad (2.11)$$

$$A_z = \frac{V_z - V_{offz}}{S_z} \quad (2.12)$$

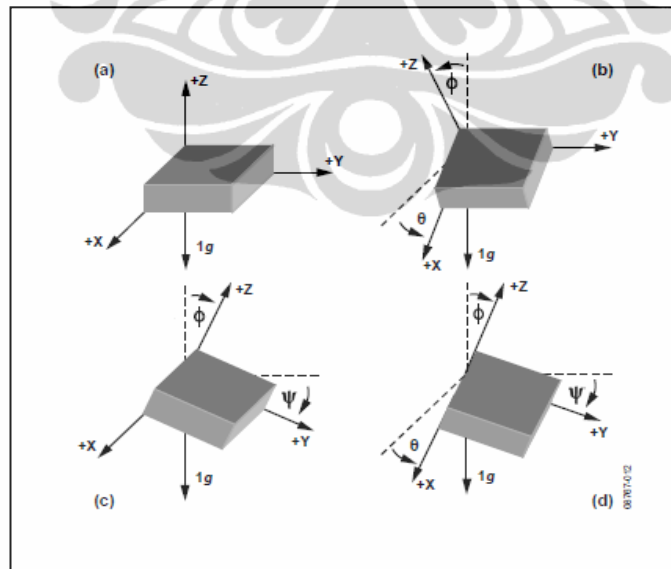
dengan  $V_x$  = tegangan keluaran sumbu X,  $V_y$  = tegangan keluaran sumbu Y  $V_z$  = tegangan keluaran sumbu Z  $V_{off}$  = tegangan offset masing-masing aksis, dan  $S$  = sensitivitas masing-masing sumbu.

Salah satu keterbatasan pada penentuan kemiringan dengan satu sumbu adalah kebutuhan ADC beresolusi tinggi dan tidak dapat sanggup mencapai  $360^\circ$ . oleh karena itu, pengembangan dengan menggunakan dua atau tiga sumbu sekaligus Akselerometer untuk menentukan kemiringan (Gambar 2.5). Posisi referensi diambil pada saat sumbu X dan Y pada bidang horizon (0 g) dan sumbu Z orthogonal terhadap horizon (1g). kemiringan  $\theta$  = kemiringan yang dibentuk sumbu X akselerometer dengan horizon,  $\psi$  = kemiringan antara sumbu Y dengan horizon,  $\phi$  = keimiringan antara vector gravitasi dengan sumbu Z akselerometer. Masing-masing sudut kemiringan tersebut dinyatakan dalam persamaan (Fisher, 2010):

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{A_x}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}} \right) \quad (2.13)$$

$$\psi = \tan^{-1} \left( \frac{A_y}{\sqrt{A_x^2 + A_z^2}} \right) \quad (2.14)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{A_x^2 + A_y^2}}{A_z} \right) \quad (2.15)$$



**Gambar 2.5 Orientasi kemiringan Akselerometer tiga sumbu**

### 2.3 Jaringan Sensor

Kebutuhan saat ini adalah suatu instrumentasi yang memiliki kemampuan dan nilai fungsi yang lebih baik. Sensor-sensor yang ada pada sistem diharapkan dapat memberikan informasi parameter-parameter yang diukur atau dapat mengontrol keadaan, sekaligus dapat dikembangkan menjadi sensor cerdas. Sensor-sensor tersebut dapat berkomunikasi secara langsung dengan instrumentasi dan sistem dengan dibangun melalui jaringan sensor. Keuntungan dari jaringan sensor ini adalah meningkatkan kemampuan instrumentasi, mengurangi jumlah perangkat keras, bekerja fleksibel, mudah untuk dipasang dan dipelihara, serta meningkatkan efisiensi energi (Hac, 2003).

Bila suatu daerah dengan luas  $a^2$  terdapat  $N$  sensor yang disebar secara acak, maka model penyebaran sensor seperti pada persamaan berikut:

$$f(x_i, y_i) = \frac{1}{a^2} \left( -\frac{a}{2} \leq x_i, y_i \leq \frac{a}{2} \right) \quad (2.16)$$

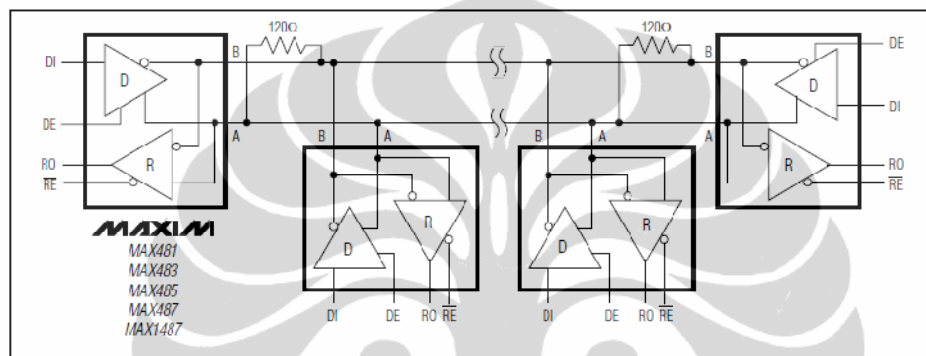
Untuk  $i=1, \dots, N$  dimana  $(x_i, y_i)$  adalah koordinat sensor ke  $i$  dan diasumsikan Lokasi dari sensor identik independent distributed berdistribusi seragam.

### 2.4 Antarmuka RS 485

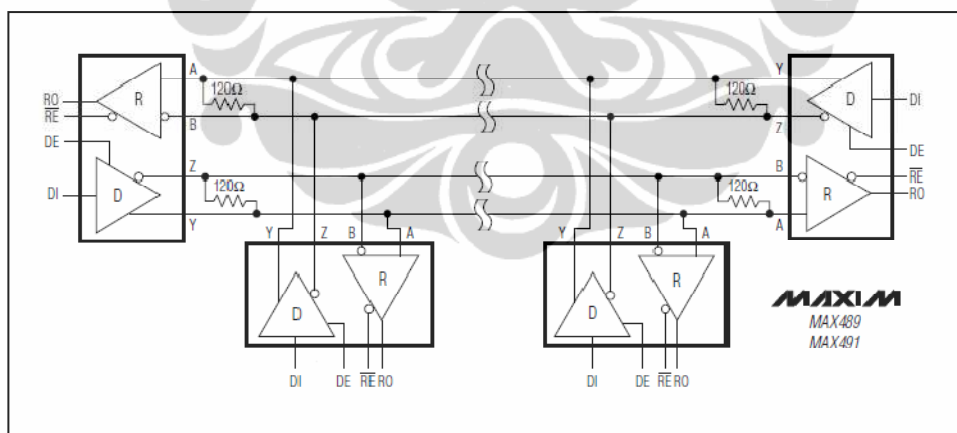
RS 485 adalah teknik komunikasi data serial yang komunikasi data dapat dilakukan pada jarak yang cukup jauh yaitu 1,2 Km dengan rangkaian yang sederhana. Penggunaan RS 485 ini cukup luas dalam bidang instrumentasi akhir-akhir ini karena memiliki berbagai keunggulannya dapat digunakan untuk menghubungkan 32 unit beban sekaligus hanya dengan menggunakan dua buah kabel saja tanpa memerlukan referensi ground yang sama antara unit yang satu dengan unit lainnya. Selain keunggulan di atas, RS 485 memiliki transmisi datanya dalam level TTL dan mudah untuk mengatur dalam kontrol transmisi (Ardiansyah M, 2011).

RS 485 dapat berfungsi secara baik pada mode half duplex (Gambar 2.6) maupun full duplex (Gambar 2.7). Kebanyakan chip yang ada menyediakan untuk sistem komunikasi yang mendukung half duplex. Secara umum, interfacing jaringan half duplex mengijinkan hanya satu titik pada suatu waktu untuk mengirimkan data. Jaringan secara half duplex antara satu dengan yang

lainnya dapat digunakan mikrokontroler dengan mengatur konfigurasi bit pada input dan output pada kontrol kirim/terima pada chip RS 485 pada pin RE dan DE sedangkan A dan B untuk jalur kirim dan terima data. Sedangkan komunikasi full dupleks dapat dilakukan komunikasi secara dua arah secara penuh karena menggunakan empat kabel data, namun kerugiannya menghabiskan kabel yang lebih banyak maka untuk keperluan jaringan jarak jauh banyak digunakan half dupleks (Axelson, 2007).



Gambar 2.6 RS 485 half dupleks



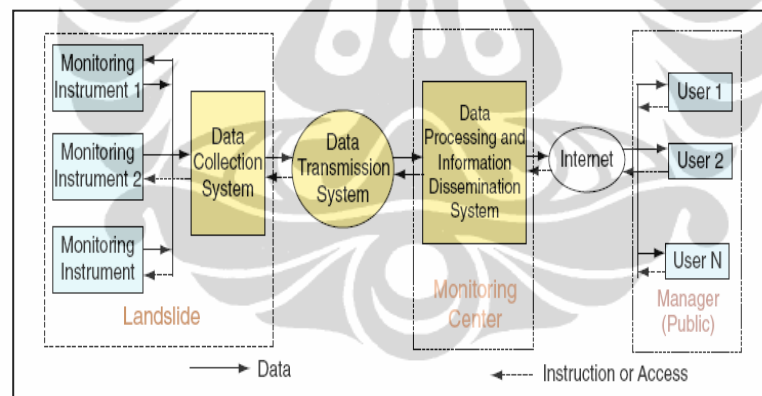
Gambar 2.7 RS 485 full dupleks



## 2.5 Instrumentasi Sistem Waktu Nyata

Keberhasilan dalam upaya mitigasi bencana longsor adalah berkurangnya jumlah korban jiwa dan properti dalam jumlah yang besar. Suatu informasi yang cepat dan akurat disini sangat dibutuhkan oleh masyarakat terutama masyarakat di sekitar daerah rawan longsor. Oleh karena itu monitoring secara waktu nyata perlu secara otomatis dan terus-menerus. Keuntungan monitoring secara waktu nyata diantaranya: dapat diakses oleh masyarakat umum, proses secara otomatis, analisis serta keputusan untuk memberikan peringatan dini dapat dilakukan secara cepat.

Saat ini, alat-alat untuk monitoring kebencanaan dapat mudah dihubungkan dengan instrumentasi data akuisisi yang dapat mengumpulkan dan menyimpan data secara otomatis. Gambar 2.8 menunjukkan sistem monitoring waktu nyata yang tersusun dari satu rangkaian sensor, sistem data akuisisi, sistem data transmisi, stasiun kontrol, serta pemroses dan penyebaran data (Youloun, 2009).



**Gambar 2.8 Sistem instrumentasi waktu nyata pada bencana**

### 2.5.1 Model sistem waktu-nyata

Sistem waktu nyata merupakan sistem computer yang tidak hanya membutuhkan hasil komputasi yang benar tetapi juga harus sesuai dengan batas waktu yang dikehendaki. Sedangkan model sistem waktu nyata secara umum terdiri dari: perangkat keras, sistem operasi waktu nyata, program aplikasi waktu nyata, dan sistem komunikasi. Sistem computer harus dapat bereaksi terhadap rangsangan dari obyek yang dikendalikan dan operator dalam selang waktu yang

sudah ditentukan. Berdasarkan frekuensi kedatangan rangsangan, sistem waktu nyata dibedakan menjadi: periodik (rangsangan muncul secara teratur), aperiodik (rangsangan berulang tetapi tidak teratur), dan sporadik (rangsangan tidak dapat ditentukan kapan terjadinya).

### 2.5.2. Analisis Kinerja Waktu Nyata

Beberapa parameter yang menentukan kinerja suatu sistem waktu nyata, antara lain: waktu tanggapan, pembebanan waktu, dan pembebanan memori. Waktu tanggapan ialah waktu antara diterimanya selaan dan selesainya pemrosesan. Waktu tanggapan ini tergantung pada beberapa faktor antara lain: waktu perubahan suasana, waktu kirim/jadwal, dan latency selaan. Sehingga waktu selaan dapat ditulis sebagai:

$$R_i = L_i + C_s + S_i + A_i \quad (2.17)$$

dengan  $R_i$  adalah waktu tanggapan,  $L_i$  adalah latency selaan,  $C_s$  adalah waktu simpan suasana,  $S_i$  adalah waktu jadwal, dan  $A_i$  adalah waktu proses sebenarnya.

Kebutuhan waktu untuk mengetahui waktu eksekusi dari berbagai modul dan sistem adalah penting. Pembebanan waktu berguna untuk tujuan rancangan dan memilih pendekatan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Selama pengkodean dan pengujian, pemeriksaan pembebanan perlu dilakukan secara hati-hati untuk memfokuskan pada modul yang lambat dan tanggapan yang tidak memadai. Terdapat metode untuk memprediksi eksekusi modul dan pembebanan waktu antara lain: menggunakan *logic analyzer* atau menghitung waktu tiap intruksi.

Sedangkan parameter pembebanan memori saat ini menjadi bukan masalah yang sangat diperhatikan karena dengan harga memori yang semakin murah. Namun akan menjadi sangat diperlukan pada beberapa aplikasi khusus terutama memperhitungkan konsumsi daya, kebutuhan ruang, dan biaya. Pada kebanyakan sistem waktu nyata, memori pada sistem computer atau mikrokontroler sudah terbagi menjadi: memori sistem, memori untuk program, memori untuk data/RAM untuk variable local, dan memori untuk perangkat masukan dan keluaran. Total pembebanan memori adalah jumlah seluruh pembebanan memori untuk program, sistem, dan data, yaitu:

$$M_T = M_P \times P_P + M_R \times P_R + M_S \times P_S \quad (2.18)$$

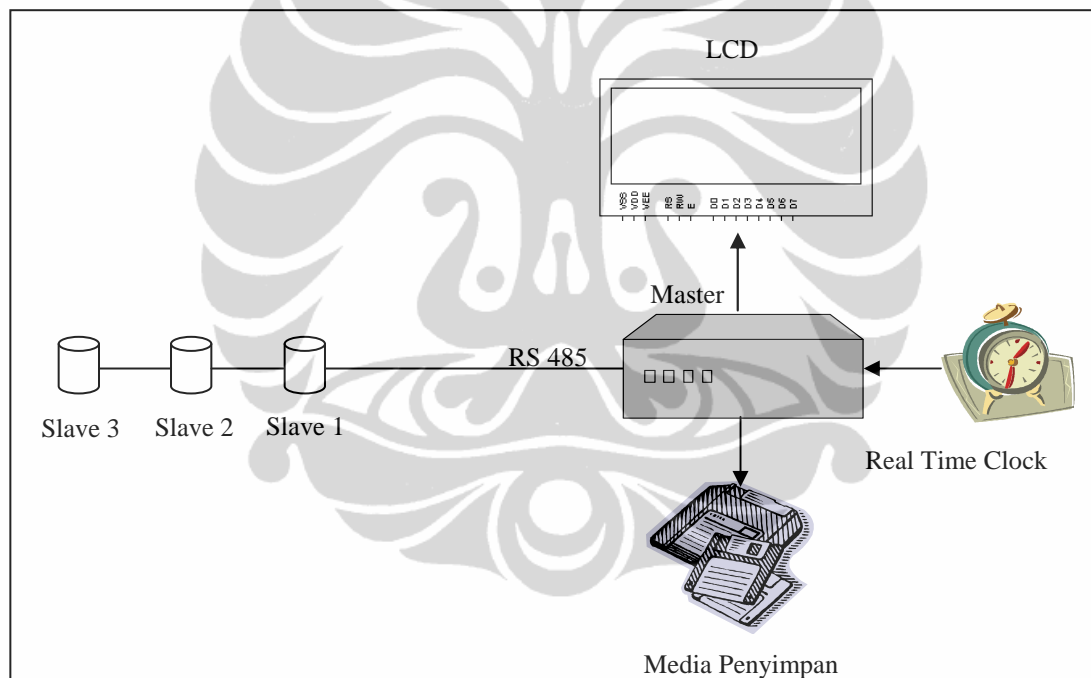
dengan  $M_T$  adalah pembebanan memori total,  $M_P$  adalah pembebanan memori untuk program,  $M_R$  adalah pembebanan memori untuk data/RAM,  $M_S$  adalah pembebanan memori untuk sistem,  $P_P$  adalah prosentase memori yang dilakukan untuk program,  $P_R$  adalah prosentase memori untuk data/RAM, dan  $P_S$  adalah prosentase memori untuk sistem (Sridadi, 2010).



### BAB 3

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian pada tesis ini merupakan penjelasan dari disain sistem jaringan inklinometer waktu nyata. Uraian disain sistem ini terdiri dari: diagram blok alat secara keseluruhan, spesifikasi komponen dan bahan yang dipakai, perancangan modul penyusun baik secara software maupun hardware, pengujian sistem, dan metode pengambilan data. Adapun secara keseluruhan, alat yang dirancang seperti ditunjukkan pada diagram blok pada Gambar 3.1. Sistem tersebut terdiri dari slave, master yang didukung: real time clock (RTC), LCD, dan media penyimpanan.



**Gambar 3.1 Diagram blok jaringan inklinometer waktu nyata**

Pada penelitian ini digunakan slave berjumlah tiga buah. Setiap slave terdapat dua sensor yang berfungsi membaca pergerakan tanah. Slave-slave ini diletakkan pada bukit yang dipantau pergerakan tanah tersusun secara terdistribusi. Adapun master adalah pusat pengendali dari kerja inklinometer waktu nyata diantaranya: inisiatif untuk mengambil dan menerima data dari slave, menghitung nilai kemiringan, menampilkan data pada LCD, dan intruksi untuk

menyimpan data. Master tersebut merupakan stasiun pusat yang dapat ditempatkan jauh dari slave dengan jaringan komunikasi RS 485 yang dipantau sehingga apabila ditempatkan pada perbukitan dapat dipilih pada tempat yang aman.

Pada master dilengkapi dengan modul RTC digunakan sebagai fungsi penjadwalan kapan data dari slave mulai diambil dan kapan data diterima dari slave itu terjadi. Sedangkan modul LCD merupakan penampil data terkini yang diterima master dari slave yang sedang diakses. Media penyimpan pada master juga disediakan difungsikan untuk penampung data sekaligus sebagai riwayat data yang dapat dijadikan sebagai bahan analisis pemantauan pergerakan tanah dari waktu ke waktu.

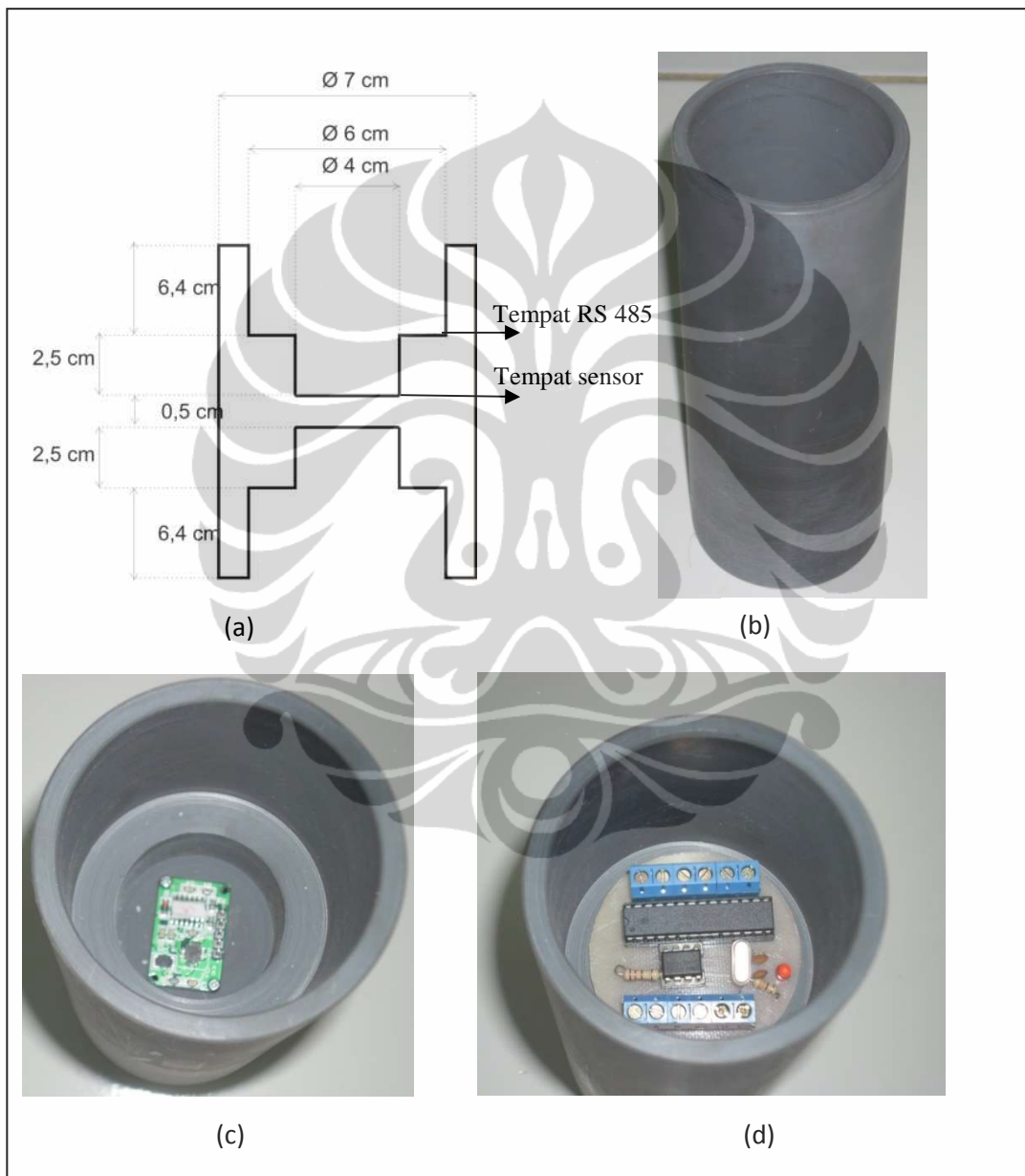
### **3.1 Komponen dan Bahan**

Komponen dan bahan pada perancangan sistem seperti pada rincian berikut ini:

#### **a. Slave**

Setiap slave terdiri dari: Accel board, Atmega 8, MAX 485, dan pipa PVC. Accel board adalah papan evaluasi MEMS akselerometer dari jenis ADXL 335 yang digunakan sebagai sensor pergerakan tanah. Spesifikasi dari board tersebut cukup handal dengan dimensi cukup kecil 28,3 mm x 18,5 mm, memiliki output pada tiga sumbu koordinat, konsumsi daya rendah, dan suplay tegangan 5 V (Mikroelektronika). Adapun Atmega 8 merupakan mikrokontroler yang memiliki 6 channel ADC 10 bit, antarmuka serial, memori internal 8 KB flash memory dan 1 KB RAM (Atmel Corporation, 2011). Sedangkan IC MAX 485 merupakan driver komunikasi serial RS 485 pada mode half duplex dengan kecepatan data hingga 2,5 Mbps (Maxim, 2003).

Adapun bahan PVC yang dimaksud disini adalah bahan yang digunakan sebagai tempat dan pelindung komponen-komponen slave seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Selain untuk tempat slave, PVC juga digunakan dalam bentuk pipa dengan diameter 2 inchi sebagai media untuk penempatan pada tanah yang diamati disusun secara vertical dengan panjang 80 cm.



**Gambar 3.2 Tempat komponen slave, (a) gambar disain (b) Tempat slave tampak samping (c) Penempatan sensor (d) Penempatan Atmega 8 dan MAX 485**

### b. Master

Master terdiri atas: Atmega 32 dan MAX 485. Atmega 32 merupakan mikrokontroler yang memiliki memori program secara terpisah diantaranya 32 KB Flash; 1 KB EEPROM, dan 2 KB SRAM internal dan USART sebagai penyedia komunikasi serial. Selain itu, Atmega 32 juga menyediakan Serial Peripheral Interface (SPI) dan *Inter Intergrate Circuits* (I2C) sehingga dalam fungsi sebagai master ini dapat disediakan untuk komunikasi dengan penyimpanan data dan RTC (Atmel Corporation, 2011).

### c. Penyimpan Data

Pada Master didukung dengan modul penyimpan data tersedia untuk SD/MMC baik dalam format FAT 16 maupun 32. Modul ini menyediakan SPI untuk komunikasi dengan mikrokontroler master. Adapun SD Card yang digunakan sebagai penyimpan disini memiliki kapasitas 4 GB dan format FAT 16.

### d. Real Time Clock (RTC)

RTC yang digunakan adalah DS 1307 dan memiliki jalur komunikasi I2C yang memudahkan komunikasi dengan mikrokontroler master. Fasilitas yang dimiliki diantaranya dapat mengatur penjadwalan otomatis pada satuan tahun, bulan, hari, jam, menit, maupun detik. Untuk pengaturan tahun, bulan, tanggal, dan waktu digunakan keypad 3x4.

### e. Penampil:

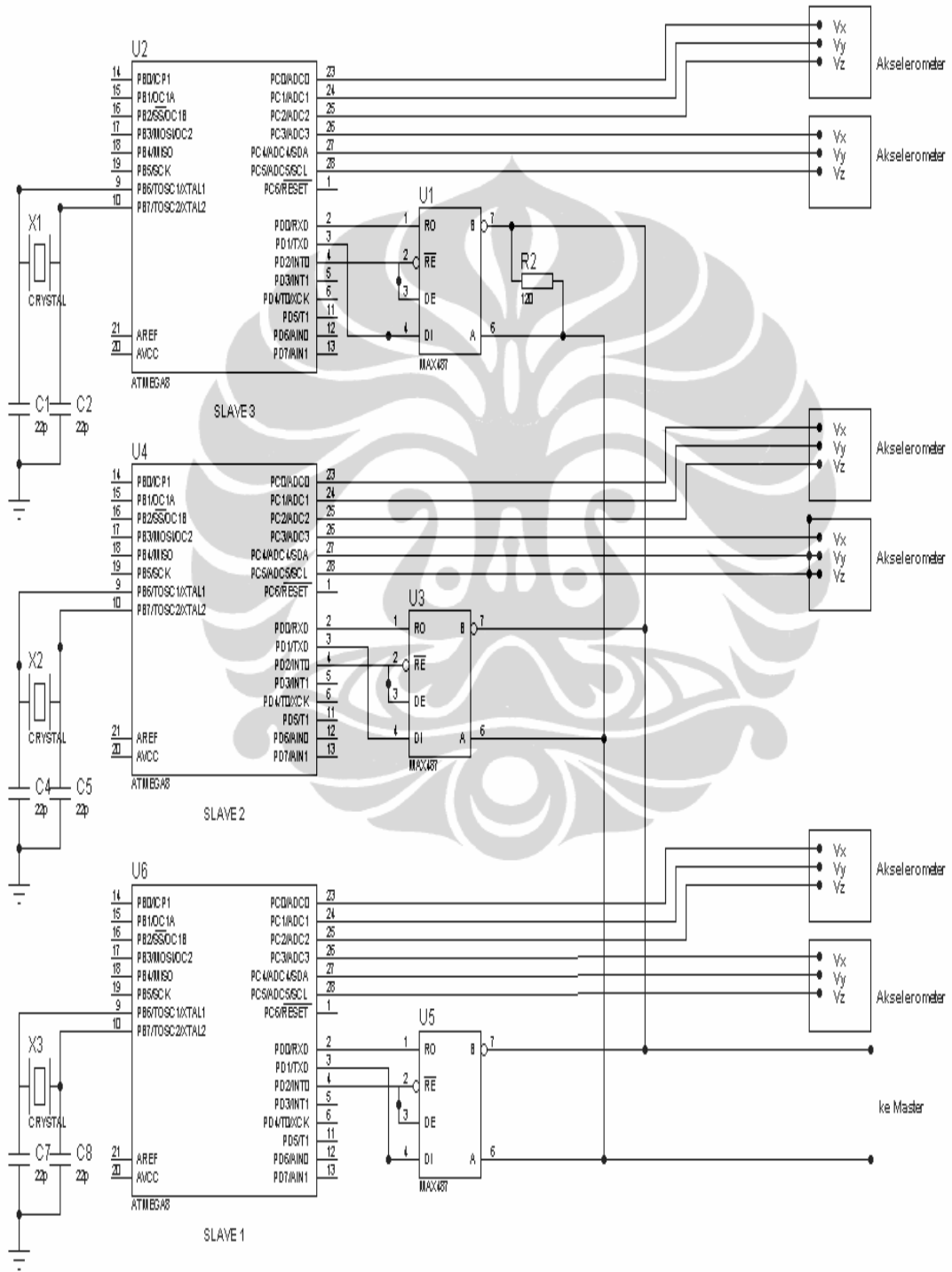
Sebagai penampil data terkini pada inklinometer digunakan LCD 4x20 dengan kontroller HD 44780. LCD ini dapat menampilkan karakter 4 baris dan 20 kolom.

## 3.2 Perancangan Sistem

### 3.2.1 Slave

Secara hardware, slave dirangkai seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3. Setiap slave, keluaran tegangan dari Accel Board yaitu tegangan axis X ( $V_x$ ), tegangan axis Y ( $V_y$ ), dan tegangan axis Z ( $V_z$ ) dihubungkan dengan ketiga channel ADC pada Atmega 8, sedangkan ketiga keluaran dari Accel Board lainnya dihubungkan pada ketiga channel berikutnya sehingga 6 channel ADC bisa menampung keluaran dari 2 buah sensor. Sedangkan koneksi pada IC MAX 485 sebagai berikut: pin RO dengan pin RX pada Atmega 8 dan DI pada MAX 485

dengan pin TX Atmega 8, adapun pin RE dan DE dihubungkan dengan pin PD.2 dan dikontrol secara software oleh mikrokontroler untuk memilih mode kirim atau terima, sedangkan pin A dan B sebagai jalur data yang dihubungkan dengan master dan slave lainnya.



Gambar 3.3 Rangkaian pada slave



### 3.2.1.1 Validasi Sensor

Pembacaan sensor Accel Board yang didalamnya merupakan akselerometer ADXL 335 ini dilakukan dengan mengukur hubungan antara tegangan keluaran pada masing-masing aksis dengan derajat kemiringan. Sebelum digunakan sebagai sensor kemiringan, accel board dikarakterisasi pada tegangan keluaran saat kondisi akselerasi 0 g, 1g, dan -1g pada setiap aksis untuk mengetahui tegangan offset dan sensitivitas. Tegangan offset ( $V_{off}$ ) dan sensitivitas ( $S$ ) sensor dihitung dengan persamaan 3.1 dan 3.2:

$$V_{off} = \frac{V_{1g} + V_{-1g}}{2} \quad (3.1)$$

$$S = \frac{V_{1g} - V_{-1g}}{2g} \quad (3.2)$$

dimana:

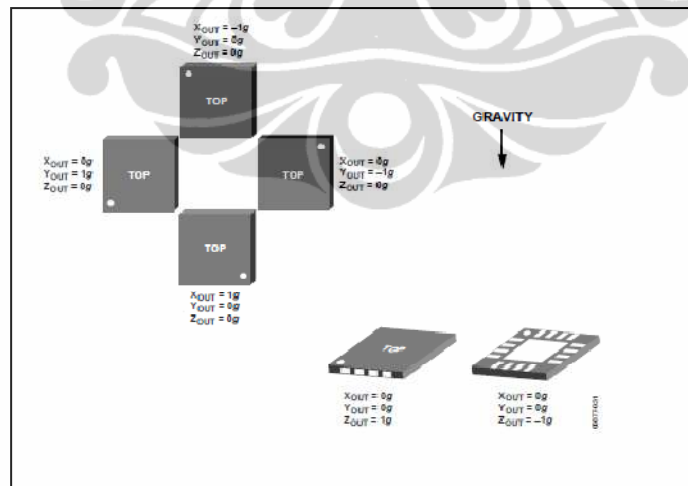
$V_{off}$  = tegangan offset (V)

$S$  = Sensitivitas (V/g)

$V_{1g}$  = tegangan saat percepatan 1g

$V_{-1g}$  = tegangan saat percepatan -1g

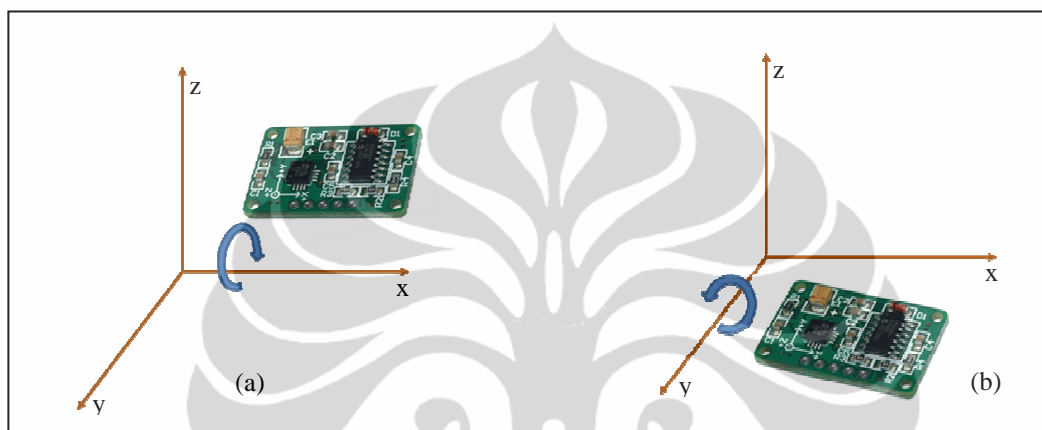
Sedangkan orientasi akselerasi sensor pada kondisi 0 g, 1g, dan -1g ditunjukkan Gambar 3.4 (Analog Device Inc., 2007).



**Gambar 3.4 Orientasi akselerasi Accel Board**

Setelah diperoleh sensitivitas dan tegangan offset masing-masing sensor pada setiap aksis, nilai yang didapat dimasukkan kedalam Persamaan 2.10, 2.11, dan 2.12 pada program master untuk konversi dalam bentuk akselerasi statis, baru

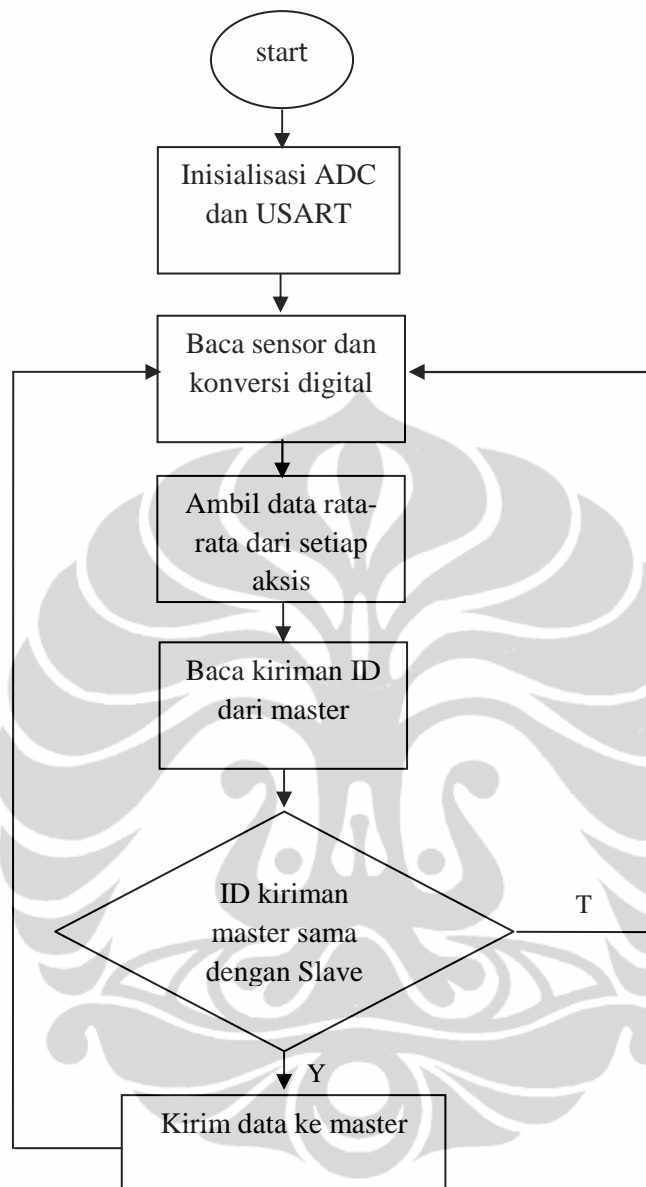
kemudian hasil perhitungan dari Persamaan 2.10, 2.11, dan 2.12 digunakan untuk menentukan kemiringan yang terukur dengan menggunakan Persamaan 2.13 dan 2.14. Adapun validasi nilai kemiringan yang dibaca sensor dilakukan membandingkan dengan digital pass meter yang memiliki ketelitian  $0,1^\circ$  pada rentang  $-40^\circ$  sampai dengan  $40^\circ$ . Validasi sudut kemiringan pada arah X ( $\Theta$ ) ditunjukkan pada Gambar 3.5(a), dan validasi kemiringan pada arah Y ( $\psi$ ) seperti yang ditunjukkan Gambar 3.5(b). Pengukuran tersebut dilakukan pada interval  $5^\circ$ .



**Gambar 3.5 Pengukuran kemiringan sensor, (a) Pengukuran kemiringan arah y (b) Pengukuran sensor arah x**

### 3.2.1.2 Algoritma software pada slave

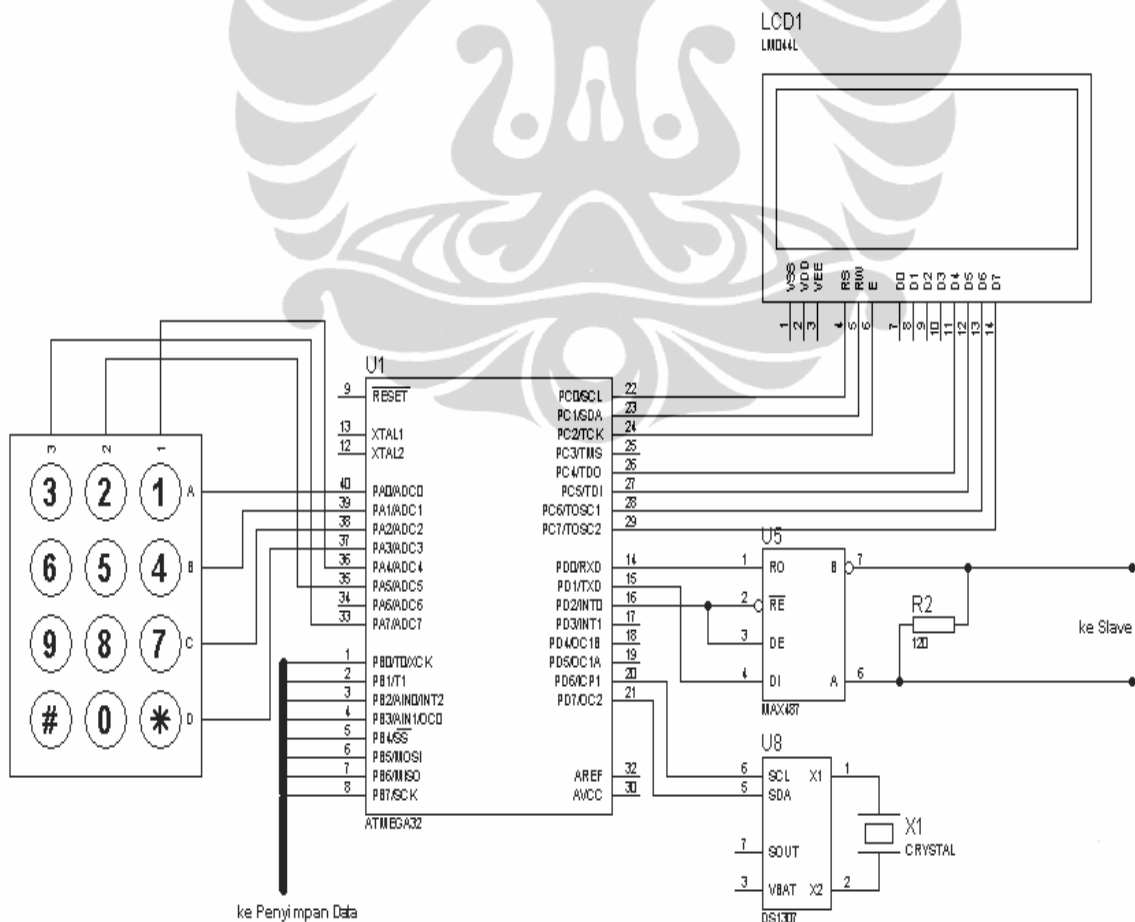
Secara sederhana, algoritma software pada setiap slave seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6. Slave memiliki sifat selalu membaca pergerakan tanah yang dibaca oleh akselerometer melalui konversi digital dengan menggunakan ADC akan tetapi dalam hal menampilkan data bersifat pasif yaitu menunggu permintaan dari master. Slave akan mengirimkan data kepada master jika dan hanya jika alamat yang dikirim oleh master bersesuaian dengan slave itu sendiri, sedangkan jika alamat tidak bersesuaian akan diabaikan atau melakukan rutin sebelumnya. Format paket data yang dikirimkan oleh slave adalah sebagai berikut: [header alamat data1 data2 data 3 data 4 data 5 data 6 checksum]. Header paket data dari slave adalah karakter ':' dan alamat slave dari 1, 2, dan 3 yang bersesuaian dari nama slave. Data 1, 2, dan 3 merupakan data sensor bagian bawah dan data 3, 4, dan 5 data untuk sensor bagian atas. Sedangkan checksum merupakan jumlah dari alamat, data1 sampai dengan data 6.



Gambar 3.6 Diagram alir algoritma pada slave

### 3.2.2 Master

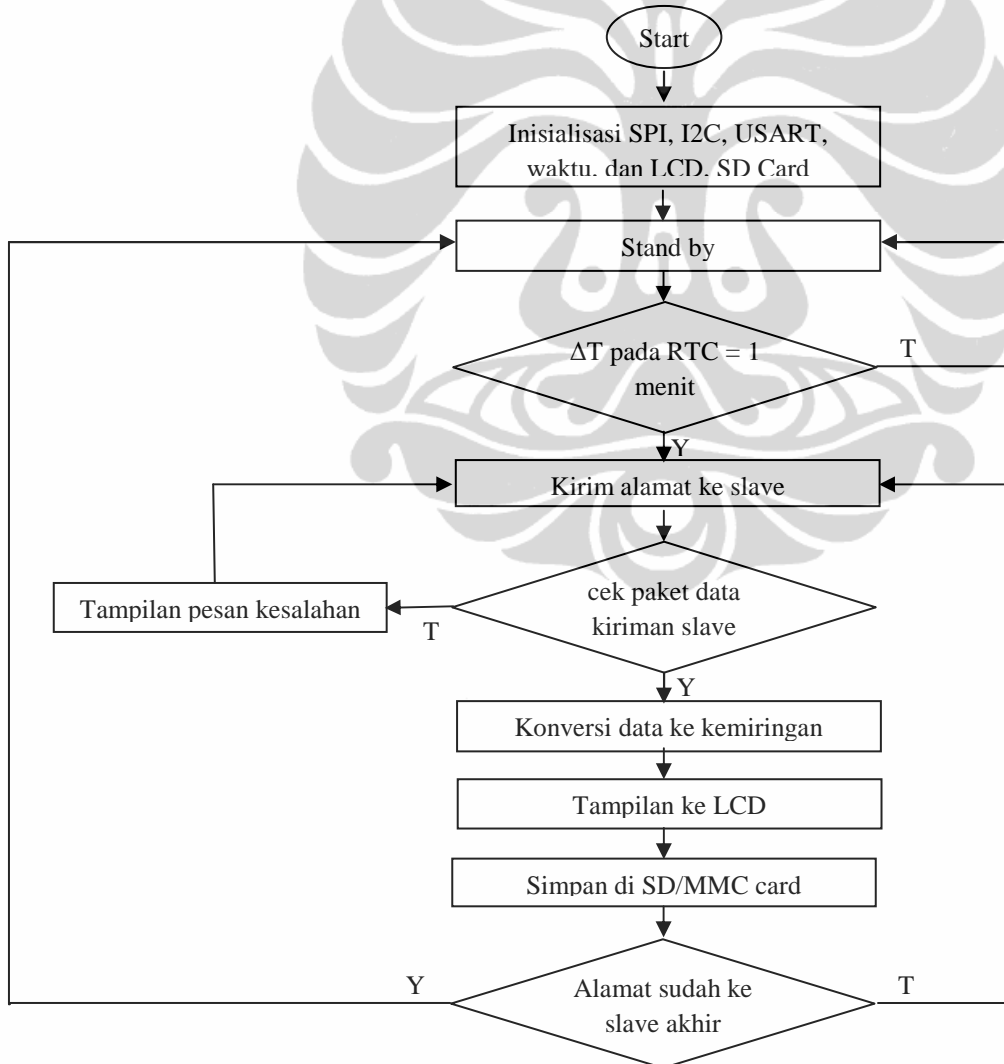
Secara hardware, rangkaian pada master seperti ditunjukkan Gambar 3.7. dimana pusat pengendali aktivitas dilakukan oleh mikrokontroler Atmega 32. IC MAX 485 dihubungkan dengan Atmega 32 sebagaimana berikut: RO dari MAX 485 dengan RX, DI dari MAX 485 dengan TX, Pin RE dan DE dengan PD.2 untuk dikontrol secara software agar bergantian mode kirim atau terima data, sedangkan A dan B merupakan jalur data menuju ke slave. Untuk penjadwalan akses data slave dan untuk mengetahui kapan data diterima oleh master disediakan tambahan rangkaian Real Time Clock (RTC) yang dihubungkan dengan komunikasi I2C pada PD.6 dan PD.7 Atmega 32. Pin output port C dihubungkan dengan LCD sebagai penampil data pergerakan tanah yang diterima dari slave. Pin A untuk input dari keypad 3x4. Sedangkan Port B dihubungkan dengan Media Penyimpan Data.



Gambar 3.7 Rangkaian pada master

### 3.2.2.1 Algoritma software pada master

Algoritma software pada master seperti ditunjukkan pada Gambar 3.8. Master akan mengirimkan perintah ambil data kepada slave dengan ID yang secara sekuensial setelah selang waktu 1 menit yang diambil dari pewaktuan RTC. Master mengirim perintah pada semua slave dengan format protokol seperti berikut: [header alamat]. Setelah mengirim paket data ke semua slave, master menunggu respon berupa paket data dari slave kemudian mengecek paket data yang masuk. Jika paket data benar maka master menampilkan alamat slave dan datanya pada LCD dan disimpan secara historis pada SD Card. Tetapi, jika paket data gagal melewati pengecekan maka master menampilkan pesan kesalahan dan meminta kiriman lagi sebanyak tiga kali.



Gambar 3.8 Diagram alir software pada master

### 3.2.2.2 Media Penyimpan

Pada Bagian master juga dilengkapi media penyimpanan berupa mikro/SD card/MMC. Akses data keluar dan masuk pada media penyimpanan tersebut menggunakan jalur SPI dengan mikrokontroler Atmega 32. Susunan pin pada modul SD card/MMC yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 Sedangkan hubungan antara pin modul SD Card dengan mikrokontroler Atmega 32 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.1 Pin pada SD Card**

Pin	Nama Pin	Keterangan
1	Ground	Referensi ground
2	+ 5V	Power supply 5 V
3	SCL	Serial clock akses FRAM (tidak digunakan)
4	SDA	Serial data akses FRAM (tidak digunakan)
5	CD	Card Detect, logika 0 jika ada kartu
6	WP	Write Protect, logika 0 jika tidak terkunci
7	CSSD	Chip Select, logika 0 jika mengakses SD card
8	MOSI	Jalur SPI masuk ke SD card
9	MISO	Jalur SPI keluar dari SD card
10	SCK	Jalur clock dari mikrokontroler

**Tabel 3.2 Hubungan Pin SD card dengan Atmega 32**

Pin SD Card	Pin Atmega 32
5 CD	PB.2
6 WP	PB.3
7 CSSD	PB.4
8 (MOSI)	PB.5 (MOSI)
9 (MISO)	PB.6 (MISO)
10 (SCK)	PB.7 (SCK)

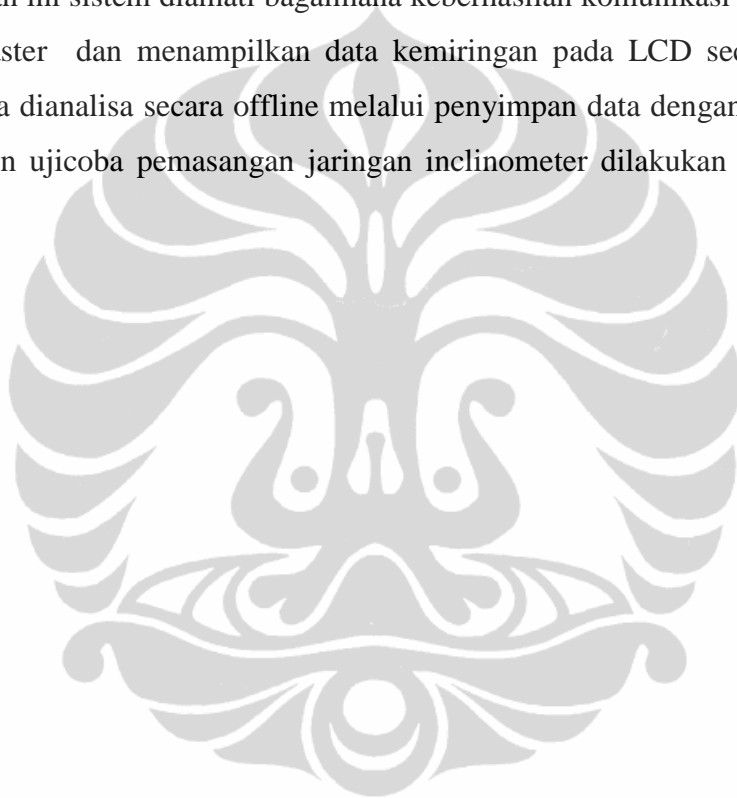
Akses untuk penyimpanan data pada SD card diawali dengan membuat folder dengan nama Data, kemudian nama tesis.csv. Pemilihan ekstensi file .csv agar memudahkan analisa data pemantauan dari waktu ke waktu dengan software pengolah data seperti microsoft excel atau sejenisnya. Setiap kali penulisan data pada file tesis.csv pada SD Card dilakukan:

1. Pembacaan ukuran file yang digunakan untuk mengetahui posisi terakhir alamat isi file.
2. Membuka file tesis.csv kemudian pilih mode tulis file.
3. Menunjuk alamat file yang akan ditulis agar tidak menghapus data dari file sebelumnya

4. Menulis file buffer yang sudah disediakan.
5. Menutup file

### **3.3 Pengujian Sistem**

Pengujian ini merupakan integrasi dari slave dan master menjadi satu kesatuan sistem jaringan inklinometer waktu nyata. Pada pengujian ini ketiga slave dihubungkan dengan master dengan kabel AWG 24 dengan panjang 119 m. Pada pengujian ini sistem diamati bagaimana keberhasilan komunikasi data antara slave dan master dan menampilkan data kemiringan pada LCD secara waktu nyata dan data dianalisa secara offline melalui penyimpan data dengan Microsoft Excel. Adapun ujicoba pemasangan jaringan inclinometer dilakukan pada bukit buatan.



## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penulisan pada bab ditunjukkan hasil dan sekaligus pembahasannya dari pengujian per modul penyusun sampai dengan uji coba sistem jaringan inklinometer waktu nyata pada bukit buatan. Penyajian hasil dan pembahasan ini dimulai dari pengukuran dan validasi sensor, pengujian LCD, pengujian komunikasi RS 485, pengujian SD card, pengujian RTC, dan Pengujian sistem keseluruhan.

#### 4.1 Karakterisasi Sensor

Seperti yang telah dijelaskan pada Bab 3 bahwa pada penelitian ini digunakan dua akselerometer pada setiap slave, maka secara keseluruhan jumlah sensor yang dipakai sebanyak 6 buah. Untuk dapat menyusun persamaan kemiringan pada master, masing-masing sensor dilakukan karakterisasi dengan hasil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1 Hasil pembacaan parameter sensor**

Sensor ke-		1	2	3	4	5	6
Aksis							
Aksis X	$V_{-1g}$ (mV)	1318.7	1348.4	1338.2	1345.9	1364.6	1384.1
	$V_{0g}$ (mV)	1641.6	1675.6	1668.0	1679.9	1712.2	1746.2
	$V_{1g}$ (mV)	1978.0	2007.9	2003.0	2002.8	2047.0	2102.2
Aksis Y	$V_{-1g}$ (mV)	1287.2	1308.5	1322.9	1331.4	1331.4	1357.8
	$V_{0g}$ (mV)	1616.1	1637.4	1657.8	1655.2	1673.9	1712.2
	$V_{1g}$ (mV)	1951.8	1980.7	1995.2	2001.1	2018.1	2086.9
Aksis Z	$V_{-1g}$ (mV)	1293.2	1345.0	1324.6	1361.2	1371.4	1430.0
	$V_{0g}$ (mV)	1610.2	1668.0	1651.0	1684.1	1702.8	1773.3
	$V_{1g}$ (mV)	1935.7	1993.5	1975.0	2012.2	2039.3	2112.4

Hasil karakterisasi sensor seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 tersebut digunakan untuk menentukan sensitivitas dan tegangan offset masing-masing sensor dengan menggunakan persamaan 3.1 dan 3.2. Hasil perhitungan sensitivitas dan tegangan offset masing-masing sensor ditunjukkan pada Tabel 4.2. Nilai-nilai yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 inilah yang akan digunakan untuk persamaan kemiringan pada masing-masing sensor dengan menggunakan Persamaan 2.13 dan 2.14.



**Tabel 4.2 Tegangan offset dan sensitivitas sensor**

Sensor ke-		1	2	3	4	5	6
Aksis X	V <sub>off</sub> (mV)	1648.4	1678.2	1669.3	1674.3	1705.8	1743.2
	S (mV/g)	329.7	329.8	331.0	328.5	341.2	359.1
Aksis Y	V <sub>off</sub> (mV)	1619.5	1644.6	1659.0	1666.3	1674.8	1722.4
	S (mV/g)	332.3	336.1	336.1	324.0	343.3	364.6
Aksis Z	V <sub>off</sub> (mV)	1614.4	1669.3	1650.1	1686.7	1705.3	1771.2
	S (mV/g)	321.2	324.2	325.5	325.5	334.0	341.2

Untuk kemudahan pengolahan dan transmisi data dari sensor ke master, data yang dibaca sensor dikonversi dalam bentuk digital dengan ADC bawaan dari Atmega 8. Secara software, ADC diatur dengan resolusi 10 bit dan tegangan referensi yang diambil dari internal mikrokontroler yaitu 2,56 V karena jangkauan pembacaan sensor yang telah diukur tidak melebihi 2,56 V. Selain memiliki fitur ADC, pemilihan menggunakan Atmega 8 dinilai tepat karena memiliki keuntungan diantaranya: tersedia komunikasi serial USART untuk mendukung komunikasi serial RS 485 serta dimensi yang cukup kecil sehingga dapat dimasukkan pada pipa PVC ukuran 2 inchi.

#### 4.2 Pengujian LCD

LCD karakter merupakan media penampil data pergerakan tanah secara waktu nyata. LCD ini akan menampilkan informasi waktu saat master mengirim perintah kepada slave dan data-data atau pesan kesalahan yang diterima dari slave. Hasil pengujian tampilan LCD karakter ditunjukkan pada Gambar 4.1.

**Gambar 4.1 Hasil pengujian tampilan LCD**

### 4.3 Pengujian Komunikasi RS 485

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah komunikasi antara master ke slave dan slave ke master dapat berjalan secara baik dan tidak ada kesalahan. Pada pengujian ini digunakan satu buah master dan tiga buah slave dengan alamat ID 1, 2, dan 3. Hasil pengujian menunjukkan master mula-mula menginisiasikan meminta data dari slave setelah jeda waktu 1 menit dengan mengirim alamat ID secara sekuensial dari 1, 2, kemudian 3 dan diulang secara terus menerus.

Sebelum menentukan apakah data dari slave untuk diambil, respon data dari slave ini diseleksi sebanyak dua kali yaitu dilihat dari frame header paket data dan checksum yang merupakan jumlah data dari slave dan jumlah data diterima master. Apabila paket data tidak sesuai dengan dua kondisi tersebut master menampilkan pesan kesalahan “Header not found” untuk jenis kesalahan header paket data sedangkan pesan “Checksum Error” jika kesalahan terjadi pada jumlah data seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 (a) dan 4.2 (b). Gambar 4.2, merupakan pengujian dilakukan dengan sengaja memberikan nilai yang salah pada slave. Apabila terjadi kesalahan salah satu dari keduanya, master melakukan pengulangan lagi untuk pemanggilan slave yang terjadi kesalahan sebanyak tiga kali baru kemudian dinyatakan *time out* kemudian dilanjutkan pemanggilan pada slave berikutnya. Pengecekan protokol data ini sangat penting karena untuk memastikan data benar-benar dari slave atau tidak apalagi diaplikasikan dengan menggunakan kabel yang sangat panjang yang memiliki resiko terhadap derau.

```
tes rs 485 header not found.txt - Notepad
File Edit Format View Help
header not found
time out
$1
header not found
$1
header not found
$1
header not found
time out
$2
header not found
$2
header not found
$2
header not found
time out
$3
header not found
$3
```

(a)

```
data ujicoba checksum error.txt - Notepad
File Edit Format View Help
$2
$3
checksum error
$3
checksum error
$3
checksum error
time out
$4
$5
$6
$1
$2
$3
checksum error
$3
checksum error
$3
checksum error
time out
$4
$5
```

(b)

**Gambar 4.2 Tampilan pesan kesalahan (a) Kesalahan pada header paket data (b)kesalahan pada checksum**



dilakukan dengan membandingkan waktu yang dihasilkan oleh RTC dengan waktu standar Indonesia bagian barat dari Pusat penelitian KIM LIPI melalui <http://time.kim.lipi.go.id/> selama 24 jam. Seting awal waktu digunakan input dari keypad pada waktu yang sama, sedangkan hasil pewaktuan dari RTC ditampilkan oleh LCD. Hasil perbandingan waktu antara yang dihasilkan RTC adalah memiliki clock 4 sekon lebih cepat dari waktu standar dalam waktu 24 jam. Dengan demikian angka 4 sekon tersebut nantinya akan menjadi ralat waktu atau bisa digunakan untuk keputusan pengaturan ulang setiap bulan pada alat karena sistem memiliki perbedaan 2 menit lebih cepat.

#### 4.5 Pengujian media penyimpanan

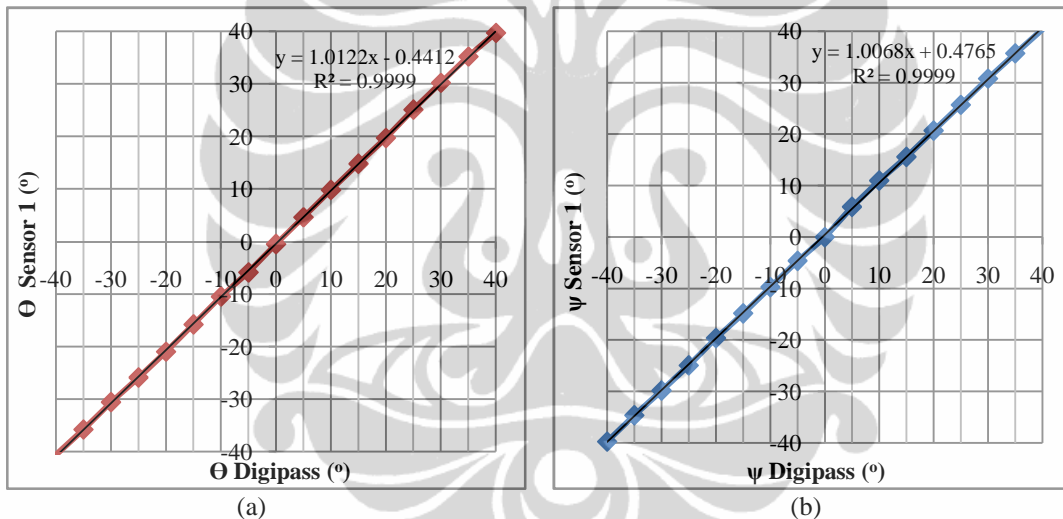
Pengujian pada modul penyimpanan data juga memiliki peran yang vital karena media ini nantinya akan bertugas sebagai riwayat data pergerakan tanah dari waktu ke waktu dengan analisa secara offline. Pada pengujian dibuat tiga buah variabel yaitu tanggal, waktu, dan data. Nilai dari masing-masing variabel tersebut disimpan dalam kolom yang bersesuaian pada file berekstensi .csv seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 dilihat dengan Microsoft Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	Tanggal	Waktu	Data												
1															
2	06/26/05/12	10:01:00	0												
3	06/26/05/12	10:01:01	1												
4	06/26/05/12	10:01:02	2												
5	06/26/05/12	10:01:03	3												
6	06/26/05/12	10:01:05	4												
7	06/26/05/12	10:01:06	5												
8	06/26/05/12	10:01:07	6												
9	06/26/05/12	10:01:08	7												
10	06/26/05/12	10:01:10	8												
11	06/26/05/12	10:01:11	9												
12	06/26/05/12	10:01:12	10												
13	06/26/05/12	10:01:13	11												
14	06/26/05/12	10:01:15	12												
15	06/26/05/12	10:01:16	13												
16	06/26/05/12	10:01:17	14												
17	06/26/05/12	10:01:18	15												
18	06/26/05/12	10:01:20	16												
19	06/26/05/12	10:01:21	17												
20	06/26/05/12	10:01:22	18												
21	06/26/05/12	10:01:23	19												
22	06/26/05/12	10:01:25	20												
23	06/26/05/12	10:01:26	21												
24	06/26/05/12	10:01:27	22												
25	06/26/05/12	10:01:28	23												

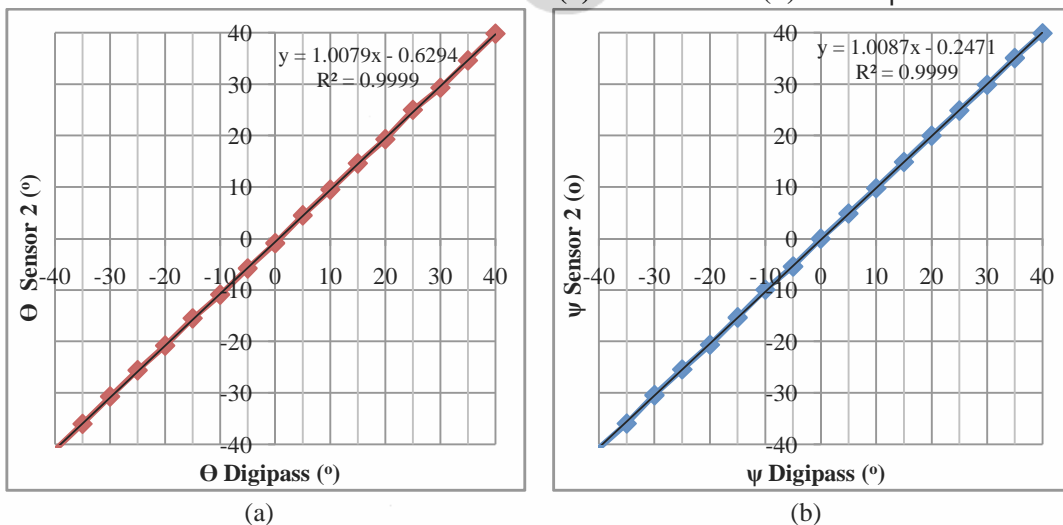
**Gambar 4.4** Tampilan data yang disimpan SD Card pada MS Excel

#### 4.6 Pengujian Sistem

Sebelum dilakukan integrasi sistem, masing-masing sensor divalidasi dibandingkan dengan alat ukur kemiringan yaitu digital pass meter yang memiliki ketelitian  $0,1^\circ$ . Validasi ini dilakukan dengan sensor dihubungkan ke rangkaian slave dengan alamat '1' dan dikirim datanya melalui RS 485 ke master. Slave mengirimkan data mentah yang berupa data ADC, kemudian master menerima, menyeleksi dan mengkonversi data dalam nilai kemiringan. Hasil validasi sensor pada rentang  $-40^\circ$  sampai dengan  $40^\circ$  ditunjukkan pada Gambar 4.5 sampai dengan 4.10. Dari keenam gambar tersebut dapat diamati hasil pembacaan sensor tidak jauh beda penyimpangannya dengan angka yang ditunjukkan digital pass meter karena grafik memiliki koefisien korelasi mendekati angka 1.

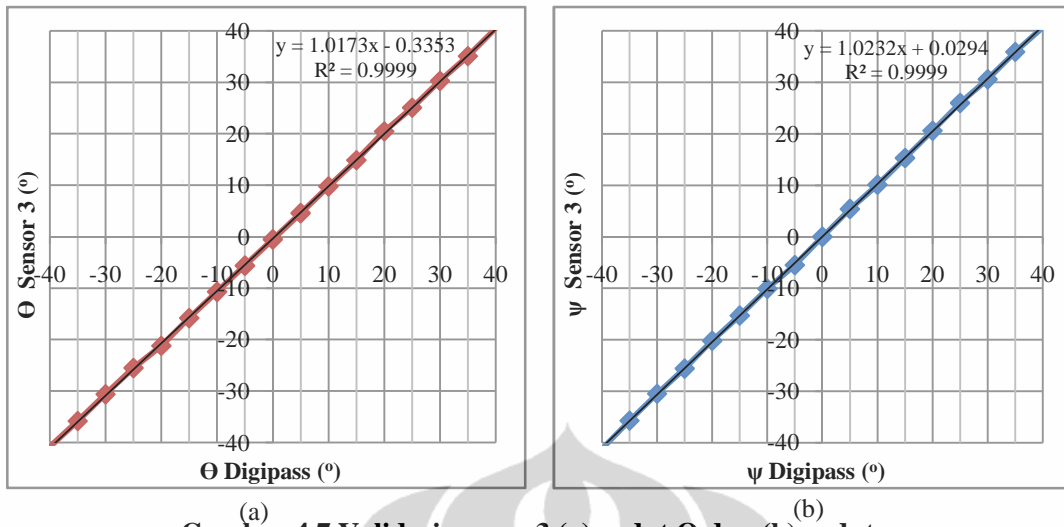


Gambar 4.5 Validasi sensor 1 (a) sudut  $\Theta$  dan (b) sudut  $\psi$

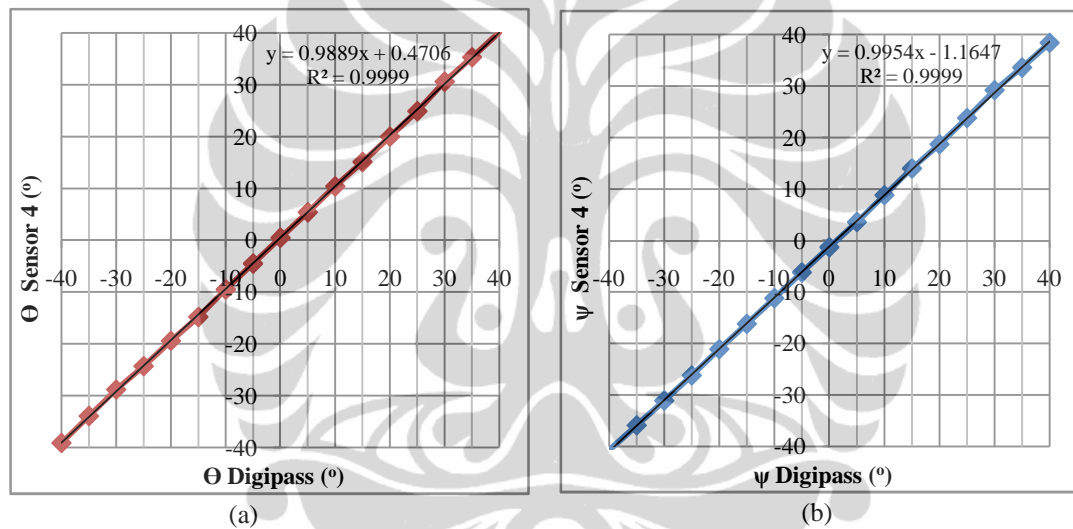


Gambar 4.6 Validasi sensor 2 (a) sudut  $\Theta$  dan (b) sudut  $\psi$

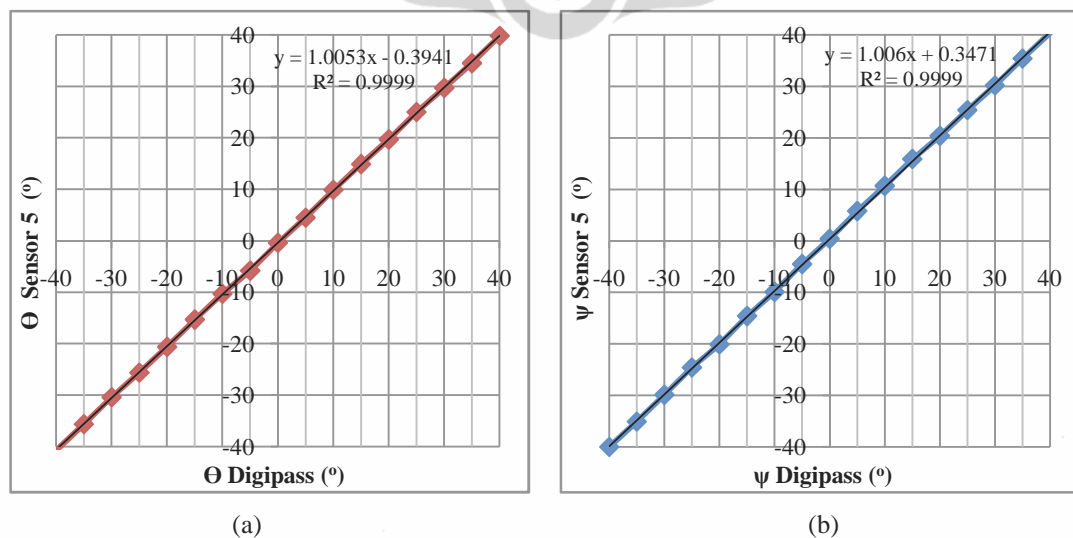




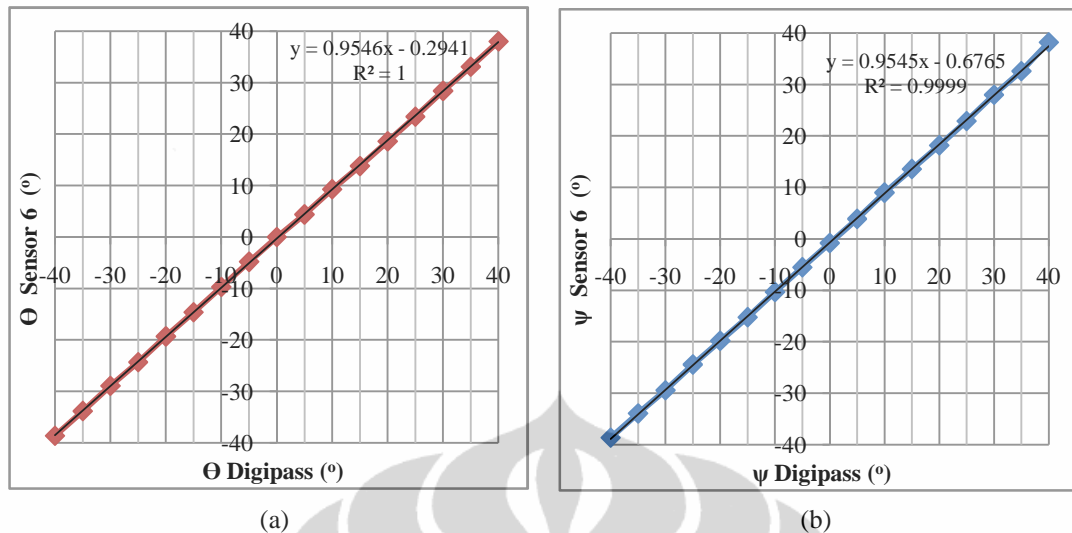
**Gambar 4.7 Validasi sensor 3 (a) sudut  $\Theta$  dan (b) sudut  $\psi$**



**Gambar 4.8 Validasi sensor 4 (a) sudut  $\Theta$  dan (b) sudut  $\psi$**



**Gambar 4.9 Validasi sensor 5 (a) sudut  $\Theta$  dan (b) sudut  $\psi$**



**Gambar 4.10 Validasi sensor 6 (a) sudut  $\Theta$  dan (b) sudut  $\psi$**

Adapun setelah dilakukan validasi, dilakukan pengujian integrasi dari semua modul yang telah diuji sebelumnya secara terpisah menjadi satu kesatuan menjadi sistem jaringan inklinometer waktu nyata. Sistem ini terdapat tiga buah slave yang dihubungkan satu sama lain dengan master dengan menggunakan RS 485. Catu daya seluruh slave disediakan oleh power supply 9 – 12 V yang diregulasikan menjadi level 5 V pada slave 1. Master menampilkan data secara waktu nyata dengan LCD dan menyimpan pada SD card. Pengujian secara integrasi seperti yang telah dijelaskan dapat dilihat seperti pada Gambar 4.11.



**Gambar 4.11 Pengujian integrasi sistem**

Prosedur penggunaan sistem jaringan inklinometer waktu nyata ini diawali dengan pengaturan waktu dimulai dari tanggal, bulan, dan tahun seperti yang ditunjukkan Gambar 4.12 kemudian pengaturan jam, menit, dan detik seperti ditunjukkan pada Gambar 4.13.



**Gambar 4.12 Pengaturan tanggal, bulan, dan tahun**



**Gambar 4.13 Pengaturan jam, menit, dan detik**

Setelah dilakukan pengaturan waktu, sistem menunggu dalam rentang waktu 1 menit. Waktu ini bukan merupakan standart yang harus dilakukan tetapi ini hanya contoh sehingga dalam aplikasinya nanti waktu juga dapat diatur menurut kebutuhan. Pembacaan data mulai dilakukan oleh sistem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.14. Baris pertama pada LCD merupakan informasi waktu mulai data diambil dari slave oleh master, baris kedua sampai dengan keempat merupakan informasi data-data dari slave. Sebagai contoh S1 adalah slave 1, 4.9 adalah kemiringan  $\Theta$  pada sensor 1, 4.5 adalah kemiringan  $\psi$  sensor 1, 4.0 adalah kemiringan  $\Theta$  pada sensor 2, dan 6.0 adalah kemiringan  $\psi$  pada sensor 2.





**Gambar 4.14 Tampilan waktu nyata sistem**

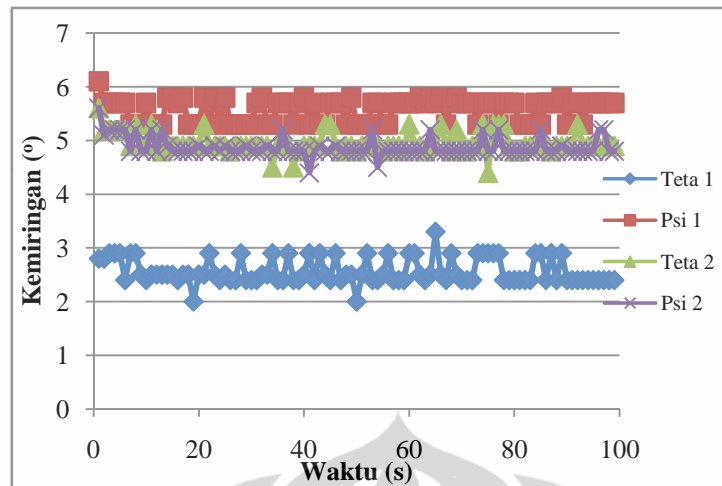
Adapun data yang berhasil disimpan oleh SD card selama pengujian sistem ini dapat dilihat pada Gambar 4.15. Tampilan yang data tersimpan pada SD yang dibuka pada Microsoft Excel adalah tanggal, waktu, alamat slave, data yang terbagi atas teta1, psi1, teta 2, dan psi 2. Nilai kemiringan teta 1 maupun teta 2 ini merupakan nilai kemiringan yang dibaca pada arah gerakan pada aksis X sedangkan psi 1 dan psi 2 adalah kemiringan pada arah gerakan pada aksis Y. Dari Gambar 4.15 setiap variabel tersusun dalam satu kolom, hal ini dapat memudahkan dalam analisa misalkan untuk melihat kondisi slave 1 maka bisa diseleksi pada slave 1, begitu seterusnya dengan slave yang lain.

uji kestabilan 30 juni.xlsx - Microsoft Excel

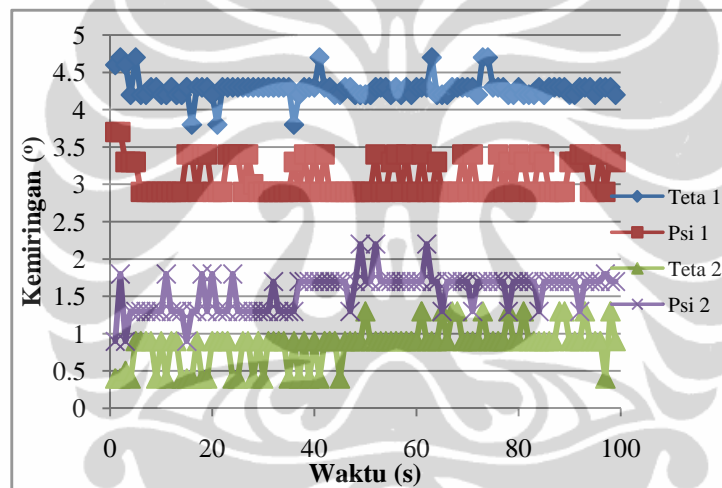
	A	B	C	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Tanggal	Waktu	Slave	teta1	psi1	teta2	psi2								
2	20/06/12	20:01:01	1	2.8	6.1	5.6	5.6								
3	20/06/12	20:01:04	2	4.6	3.7	0.4	0.9								
4	20/06/12	20:01:07	3	2.5	3.8	3	2.2								
5	20/06/12	20:02:00	1	2.8	5.7	5.2	5.1								
6	20/06/12	20:02:03	2	4.7	3.7	0.4	1.8								
7	20/06/12	20:02:06	3	2.5	3.4	3	2.2								
8	20/06/12	20:03:00	1	2.9	5.7	5.2	5.2								
9	20/06/12	20:03:03	2	4.6	3.3	0.5	0.9								
10	20/06/12	20:03:06	3	2.1	3.8	3	1.9								
11	20/06/12	20:04:00	1	2.9	5.7	5.2	5.2								
12	20/06/12	20:04:03	2	4.2	3.3	0.4	1.3								
13	20/06/12	20:04:06	3	2.1	3.8	3.1	2.3								
14	20/06/12	20:05:00	1	2.9	5.7	5.2	5.2								
15	20/06/12	20:05:03	2	4.7	3.3	0.9	1.3								
16	20/06/12	20:05:06	3	1.7	3.8	3.1	1.9								
17	20/06/12	20:06:00	1	2.4	5.7	5.2	5.2								
18	20/06/12	20:06:03	2	4.2	2.9	0.9	1.3								
19	20/06/12	20:06:06	8	2.1	3.4	3.1	1.9								
20	20/06/12	20:07:00	1	2.9	5.3	4.9	4.8								
21	20/06/12	20:07:03	2	4.2	2.9	0.9	1.3								
22	20/06/12	20:07:06	3	1.7	3.4	2.7	1.9								
23	20/06/12	20:08:00	1	2.9	5.3	5.3	5.2								
24	20/06/12	20:08:03	2	4.3	2.9	0.9	1.3								
25	20/06/12	20:08:06	3	2.1	3.4	2.7	1.9								

**Gambar 4.15** tampilan data dibuka dengan MS Excel

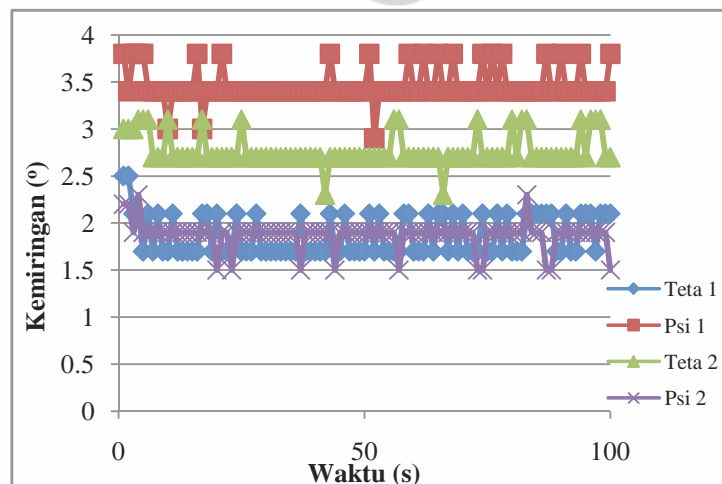
Dari data yang disimpan oleh SD Card tersebut juga dapat diamati kestabilan sistem pada waktu 100 menit yang merupakan salah satu pengujian kelayakan pada instrumentasi terutama yang digunakan dalam monitoring. Grafik drift dari sistem ditunjukkan pada Gambar 4.16 sampai dengan 4.18. Dalam pengujian selama 100 menit tersebut nilai kestabilannya ditunjukkan pada Tabel 4.3.



**Gambar 4.16 Kestabilan pada slave 1**



**Gambar 4.17 Kestabilan pada slave 2**



**Gambar 4.18 Kestabilan pada slave 3**

**Tabel 4.3 Nilai parameter drift setiap slave**

<b>ID Slave</b>	<b>Teta1 (°)</b>	<b>Psi 1 (°)</b>	<b>Teta2 (°)</b>	<b>Psi 2 (°)</b>
1	0.24	0.21	0.19	0.17
2	0.15	0.24	0.26	0.25
3	0.21	0.18	0.17	0.14

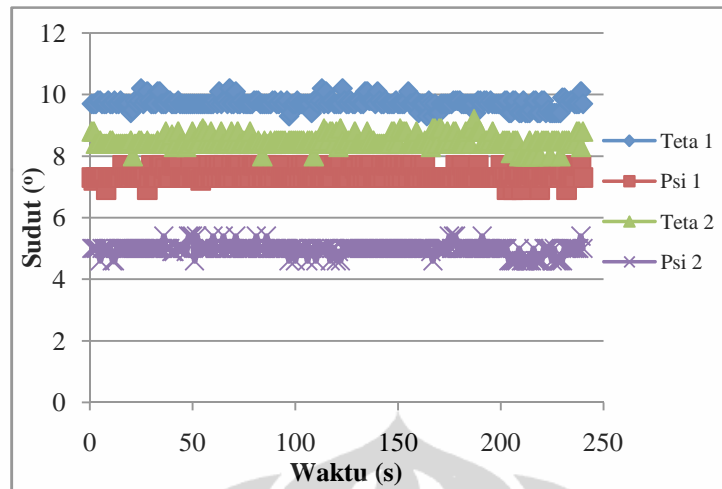
Nilai drift tersebut yang bernilai pada sekitar  $0.2^\circ$  terjadi banyak faktor yang mengakibatkan diantaranya dari pengaruh sumber daya yang digunakan karena sensor akselerometer bersifat rasiometerik dalam konversi nilai kemiringan. Oleh karena itu perlu pembuatan sumber daya yang stabil pada sensor untuk meningkatkan kemampuan alat yang lebih baik terutama inklinometer ini diaplikasikan dalam sistem monitoring pergerakan tanah yang memerlukan waktu yang sangat lama.

Jaringan inklinometer waktu nyata dalam aplikasi monitoring pergerakan tanah ini, bagian slave diletakkan pada bukit yang diindikasikan ada pergerakan tanah sedangkan master dapat diletakkan jauh pada tempat yang lebih aman dengan menghubungkannya kabel AWG melalui komunikasi RS 485. Pada setiap slave dipasang dua buah sensor. Sensor pada bagian bawah diletakkan pada lapisan tanah yang tidak bergerak sedangkan sensor yang atas pada bagian tanah yang mengalami pergerakan. Untuk simulasi, jaringan inklinometer waktu nyata diujicobakan pada bukit buatan yang berada di Pusat Penelitian Fisika LIPI di Serpong seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.19.

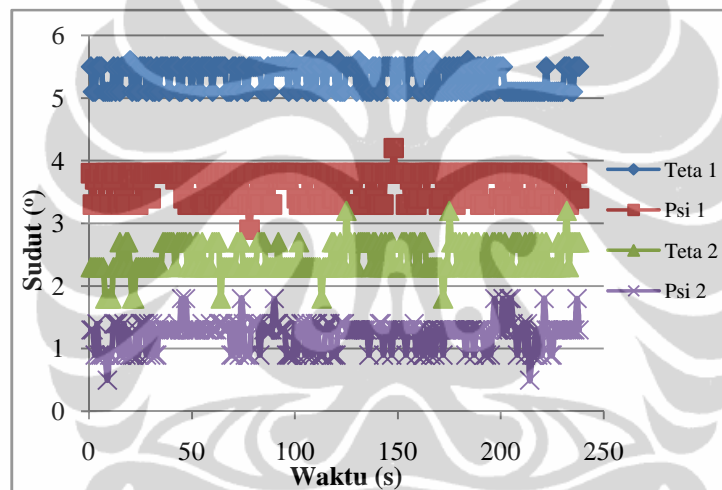


**Gambar 4.19 Ujicoba Jaringan Inklinometer pada bukit buatan**

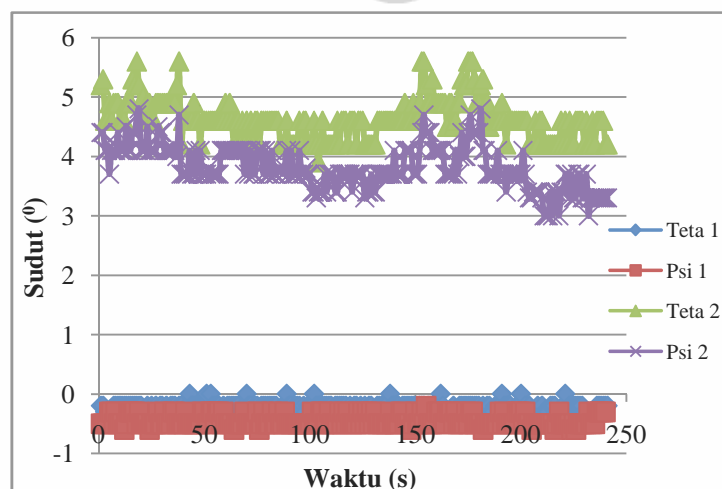
Hasil ujicoba yang dilakukan pada bukit buatan ini dilakukan selama empat jam ditunjukkan pada Gambar 4.20 untuk grafik kemiringan pada slave 1, Gambar 4.21 untuk grafik kemiringan pada slave 2, dan Gambar 4.22 untuk kemiringan pada slave 3. Pada ujicoba ini ketiga slave disusun dalam satu baris dan master ditempatkan terpisah jauh dari bukit dengan kabel sepanjang 119 m. Catu daya untuk sensor diberikan oleh catu daya mandiri yang berasal dari panel surya sedangkan catu daya pada master berasal dari PLN. Dari ketiga grafik kemiringan pada ketiga slave dari waktu ke waktu tidak ada perubahan artinya dalam waktu tersebut belum ada pergerakan tanah karena pada saat pengambilan data kondisi cuaca cerah sehingga pemicu pergerakan tanah belum ada.



Gambar 4.20 Grafik kemiringan pada slave 1



Gambar 4.21 Grafik kemiringan pada slave 2



Gambar 4.22 Grafik kemiringan pada slave 3

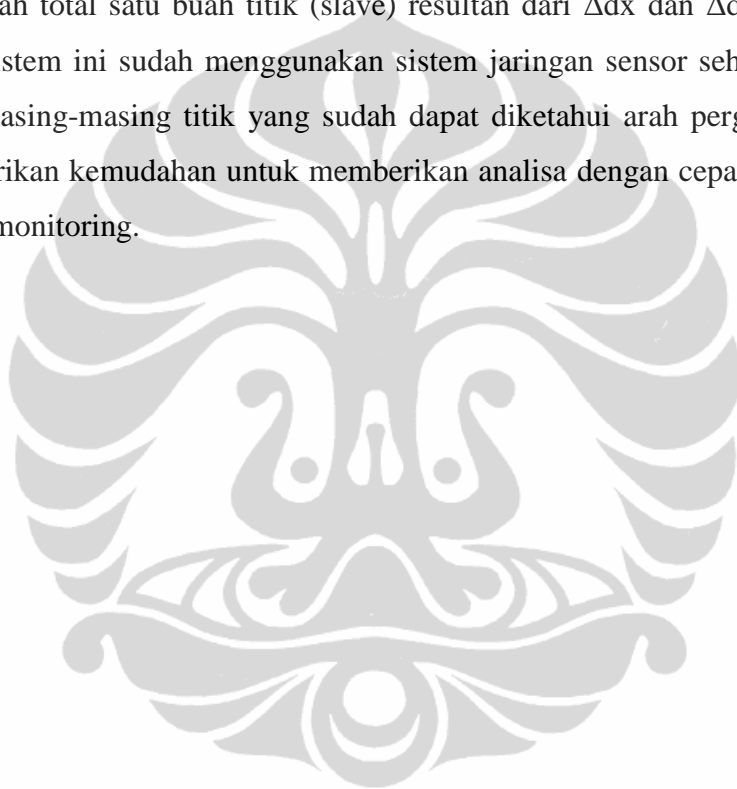


Apabila terjadi pergerakan relative antara lapisan yang bergerak dan tidak bergerak, inklonometer mencatat perbedaan sudut  $\Delta\theta$  pada arah X dan  $\Delta\psi$  pada arah Y. Karena dalam pemasangan jarak antar sensor sudah diseting dengan jarak tertentu yaitu L maka pergerakan tanah dapat dihitung dengan persamaan (Badan Standarisasi Nasional, 2008):

$$\text{Pergerakan arah X: } \Delta d_x = L \sin\Delta\theta \quad (4.1)$$

$$\text{Pergerakan arah Y: } \Delta d_y = L \sin\Delta\psi \quad (4.2)$$

Sedangkan arah total satu buah titik (slave) resultan dari  $\Delta dx$  dan  $\Delta dy$ . Adapun rancangan sistem ini sudah menggunakan sistem jaringan sensor sehingga arah pergerakan masing-masing titik yang sudah dapat diketahui arah pergerakannya dapat memberikan kemudahan untuk memberikan analisa dengan cepat pada area bukit yang dimonitoring.



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Jaringan inklinometer waktu nyata dapat dikembangkan dengan sensor berbasis akselerometer yang dikonfigurasi seperti jaringan yang dihubungkan dengan RS 485. Keuntungan dengan menggunakan sistem ini adalah dapat monitoring secara waktu nyata, pusat stasiun data yaitu master dapat diletakkan jauh dari titik pengamatan, dapat mengukur beberapa titik sekaligus dalam satu area yang diamati, system disediakan penyeleksi data yang sederhana untuk memastikan keaslian data, disediakan media penyimpan sebagai sumber untuk analisa riwayat pergerakan tanah secara *offline*. Dengan hasil ini memberikan harapan kemudahan dalam proses pemantauan tanah longsor.

#### **5.2 Saran**

Kegiatan penelitian ini masih banyak yang dapat dikembangkan agar dapat handal sebagai instrumentasi pemantauan kebencanaan terutama tanah longsor. Dari penulis, ada beberapa saran diantaranya: pembuatan catu daya mandiri yang stabil terutama untuk jaringan sensor untuk mengurangi drift, pembuatan pengkondisi sinyal untuk perbaikan resolusi, pengembangan komunikasi jarak jauh dari pusat stasiun data ke server di laboratorium, memperbaiki tampilan menggunakan LCD grafik untuk melihat data yang lebih komplit dan analisa grafik pergerakan secara waktu nyata, pengembangan analisa secara area yang tidak hanya titik per titik, pengecekan parameter-parameter sistem waktu nyata.



## DAFTAR PUSTAKA

- Aboye, S.A. (2009). *Slope Stability Analysis Using GIS and Numerical Modeling Techniques, Master Dissertation*. Brussel: Vrije Universiteit Brussel.
- Analog Devices. (2007). *ADXL330: Small, Low Power, 3-Axis  $\pm 3g$  iMEMS® Accelerometer*. 20 Juni 2010.  
[http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/ADXL330.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL330.pdf).
- Ardiansyah , M., et al. (2011). Sistem Informasi Bencana Banjir (Akuisisi Data Multiple Sensor), *The 13th Industrial Electronics Seminar 2011 (IES 2011)*, Surabaya: Electronic Engineering Polytechnic Institute of Surabaya (EEPIS). 137-150.
- Atmel Corporation. (2011). *Atmega 8(L) Datasheet*. 20 September 2011.  
<http://www.atmel.com/Images/2486S.pdf>.
- Atmel Corporation. (2011). 8-bit Microcontroller with 32 Kbytes In System Programmable Flash Atmega 32. 8 Mei 2012.  
<http://www.atmel.com/Images/doc2503.pdf>.
- Axelson, J. (2007). *Serial Port Complete: COM Ports, USB Virtual COM Ports, and Ports for Embedded Systems Second Edition*. Madison: Lakeview Research LLC.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *Tata Cara Pemasangan Inklinometer dan Pemantauan Pergerakan Horizontal Tanah SNI 3404:2008*. Jakarta: BSN.
- Bai Li, et al. (2010). Research on the detecting system of distributed nodes based on RS-485 bus. *2010 International Conference on Educational and Network Technology (ICENT 2010)*. IEEE. 422-425.
- Beeby, S., et al. (2004). *MEMS Mechanical Sensor*. US: Artech House.
- Craig, R.F. (1987). *Mekanika Tanah (terjemahan)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- DIBI BNPB. (2011). Frekuensi Kejadian Bencana 1915-2011. 23 September 2011.  
<http://dibi.bnppb.go.id/DesInventar/dashboard.jsp?countrycode=id&continue=y&lang=ID>.
- Fisher, J.C. (2010). *Using an Accelerometer for Inclination Sensing, AN-1057 Application*. 12 September 2011.  
[http://www.analog.com/static/imported-files/application\\_notes/AN-1057.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-1057.pdf).

- Furlani, K. M., Patrick K. M., and Michael A. M. (2005). Evaluation of Wireless Sensor Node for Measuring Slope Inclination in Geotechnical Applications. *22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction ISARC 2005*. 1-8.
- García A., A. Hördt, and M. Fabian. (2010). Landslide Monitoring With High Resolution Tilt Measurements At The Dollendorfer Hardt Landslide Germany. *Geomorphology* 120 (2010). 16–25.
- Hanto, D et al. (2010). Real-time Inklinometer Using MEMS Accelerometer. *Proceeding of International Conference On Physics And Its Application For Environmentally Friendly Technology And Disaster Management*. Solo: Kentingan Physics Forum.
- Jeong', et al. (2009). Novel micro capacitive inklinometer with oblique comb Electrode and suspension spring aligned parallel to {111} Vertical planes of (110) silicon. *IEEE Explore*. 797-800.
- Laksamana, L. (2010). *Garis Garis Besar Penanggulangan Bencana di Jawa Barat*. Disampaikan dalam seminar sub-program kebencanaan dan lingkungan kompetitif. Bandung: LIPI.
- Mikroelektronika. *Manual Additional Accel Board*. 18 April 2012.  
[http://www.mikroe.com/eng/downloads/get/1378/accel\\_manual\\_v101.pdf](http://www.mikroe.com/eng/downloads/get/1378/accel_manual_v101.pdf)
- Maxim Integrated Products. *Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers*,. 20 September 2011.  
<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX1487E-MAX491E.pdf>.
- Miskam, A. (2009). Development of Tilt Measurement Unit Using Micromechanical System Accelerometer. *Jurnal of Applied Sciences* 9 (13) 2451-2456.
- Mudrik R. D. and N. Lubis. (2006). Gerakan Tanah Di Lokasi Kontak Litologi Antara Satuan Batupasir Tufaan Dan Satuan Batulempung Formasi Subang Di Km 112+100 Lintas Ciganea-Sukatani Koridor Jakarta-Bandung Dan Penanggulangannya Dengan Menggunakan Cerucuk Rel Bekas. *Jurnal Geoaplika* 1:3(2006) :119-126.
- Nur, A. M. (2007). Gerakan Tanah di Karangsambung, Penyebab dan Antisipasi Pencegahannya. *Jurnal Teknologi Akademika ISTA*, Vol. 12 No. 1. 22-30.
- Sridadi, B. (2010). *Sistem Waktu Nyata*. Bandung: Informatika.
- Youlong, G. (2009). *Landslide Disaster Mitigation in Three Gorges Reservoir, China*, in book chapter Environmental Science and Engineering from F. Wang, T. Li (eds.). Berlin: C\_Springer-Verlag Berlin Heidelberg.