

# DESAIN SISTEM PERINGATAN DINI ZONA RAWAN LONGSOR DENGAN PENERAPAN SENSOR KELEMBABAN DAN GETARAN PADA TANAH

DESIGN OF EARLY WARNING SISTEM FOR LANDSLIDE BY USING SENSOR OF  
HUMIDITY AND VIBRATION ON THE SOIL

Adi Susilo<sup>1</sup>, Didik R. Santoso<sup>1</sup>, Arief Rachmansyah<sup>2</sup>, Yulvi Zaika<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lab. Geofisika, Jurusan Fisika, Universitas Brawijaya, Malang 65145, Indonesia;

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Brawijaya, Malang 65145, Indonesia

Email: adisusilo@ub.ac.id

## ABSTRAK

Salah satu bentuk upaya mitigasi bencana alam adalah pemasangan peralatan untuk peringatan dini. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem peringatan dini longsor atau gerakan tanah. Untuk keperluan tersebut dirancang perangkat elektronik berupa gabungan sensor getaran dan kandungan air tanah. Sensor getaran dibuat dari accelerometer komersial jenis MMA 7260 QT dengan sensitivitas maksimum 800 mV/g. Sensor kedua dirancang berdasarkan prinsip kapasitif yakni pengukuran luasan tegangan yang dihasilkan dari perubahan kandungan air pada suatu obyek. Model longsor dibuat pada suatu box dari bahan mika, dan material tanah dibuat dari campuran kaolin dan pasir dengan kadar air bervariasi. Tanah dipadatkan dan membentuk lereng dengan kemiringan 75°, 65°, 60° dan 45°. Box yang berisi tanah diletakkan di atas suatu vibrator dengan skala tertentu. Untuk merekam longsor yang terjadi dipasang video camera. Hasil penelitian menunjukkan bahwa makin tinggi kemiringan suatu lapisan tanah (batuan), makin kecil skala getaran dan makin cepat pula waktu yang diperlukan untuk terjadinya longsor dan sebaliknya.

Kata kunci: tanah longsor, sistem sensor, getaran, kemiringan, kaolin dan pasir

## ABSTRACT

One of mitigation effort for natural disaster is installing of early warning system in the high risk zone. The aim of this research is to develop an electronic device based on vibration and water content sensors. Vibration sensor was made of a commercial accelerometer sensor MMA QT 7260. This sensor has four options sensitivity and the maximum sensitivity could reach 800 mV/g. The second sensor is designed based on the principle of capacitive, that work to measure the output voltage resulting from changes in water content.

Landslide model was made in a plexyglass box and made of mixing between kaolinit and volcanic sand with different water content. The soil is compacted and like a escarpment with slope of 75°, 65°, 60°, and 45°. The box is placed on a vibrator, where 1 was the lowest and vice versa. To record the landslide process a video camera was set up. The result show that the higher the slope of the sediment, the lower of the scale of the vibrator and the smaller time to be used in occurring of the landslide, and vice versa

Keyword: landslide, sensors system, vibration, rainfall, slope, kaolin and sand

---

Naskah masuk : 7 Oktober 2011

Naskah diterima : 11 Desember 2011

---

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Longsor adalah salah satu jenis bencana yang sering dijumpai di Indonesia, baik skala kecil maupun besar. Upaya penanggulangan longsor biasanya dilakukan setelah terjadi, meskipun gejala longsor dapat diketahui sebelum kejadian. Tanah longsor atau longoran adalah runtuhnya tanah atau pergerakan tanah atau bebatuan dalam jumlah besar secara tiba-tiba atau berangsur yang umumnya terjadi di daerah lereng yang tidak stabil.

Kerugian akibat tanah longsor yang berlangsung secara tiba-tiba sangat besar. Kerugian ini dapat diminimalisasi apabila potensi tanah longsor dapat diketahui sedini mungkin, sehingga dapat diinformasikan adanya bahaya longsor pada masyarakat sekitar lokasi. Dengan demikian masyarakat mempunyai waktu yang cukup untuk mengambil tindakan yang dianggap perlu.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang suatu sistem sensor beserta perangkat akuisisi datanya untuk peringatan dini tanah longsor. Eksperimen dilakukan pada skala laboratorium dengan mengukur besarnya parameter-parameter yang memicu terjadinya tanah longsor, yaitu; kadar air tanah, dan getaran tanah.

### 1.2. Parameter Tanah Longsor

Tanah longsor mudah terjadi pada tanah kohesif atau berbutir halus dan pada saat jenuh air, karena pada saat tersebut harga kuat geser dan kohesi terendah<sup>1)</sup>. Pada prinsipnya, tanah longsor terjadi bila gaya pendorong pada lereng lebih besar daripada gaya penahan. Keadaan ini dikontrol oleh morfologi (kemiringan lereng), jenis dan kondisi batuan ataupun tanah penyusun lereng, dan kondisi hidrologi atau tata air pada lereng<sup>2,3)</sup>.

Meskipun suatu lereng rentan atau berpotensi longsor, karena kondisi kemiringan lereng, batuan/tanah dan tata airnya, namun lereng tersebut belum akan longsor atau terganggu kestabilannya tanpa dipicu oleh proses pemicu. Pemicu longoran antara lain<sup>4)</sup>:

a). Peningkatan kandungan air dalam tanah, sehingga merenggangkan ikatan antar butir tanah dan akhirnya mendorong butir-butir tanah untuk longsor. Peningkatan kandungan air ini sering disebabkan oleh meresapnya air hujan, air kolam/selokan yang bocor atau air sawah kedalam lereng.

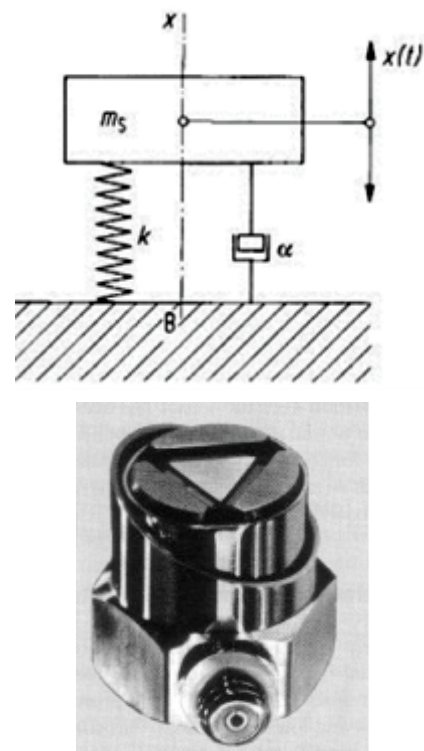
- b). Getaran pada lereng akibat gempa bumi ataupun ledakan, penggalian, getaran alat berat/kendaraan.
- c). Peningkatan beban yang melampaui daya dukung tanah atau kuat geser tanah. Beban yang berlebihan ini dapat berupa beban bangunan.
- d). Pemotongan kaki lereng secara sembarangan yang mengakibatkan lereng kehilangan gaya penyangga.

## II. METODE PENELITIAN

### 2.1. DESAIN SISTEM SENSOR

#### 2.1.1. Sensor Vibrasi

Vibrasi atau getaran mekanik umumnya diukur dengan menggunakan sensor percepatan atau *accelerometer*<sup>5)</sup>. Gambar 1 adalah blok diagram fungsional dari sebuah accelerometer dan contoh pirantinya yang terdapat di pasar komersial.



Gambar 1. Blok diagram fungsional accelerometer dan piranti komersialnya<sup>5)</sup>.

Pada gambar 1 diatas, jika sebuah gaya luar  $F(t)$  bekerja pada sistem tersebut, maka persamaan umumnya dapat dituliskan sebagai:

$$ms \frac{d^2x}{dt^2} + \alpha \frac{dx}{dt} + kx = F(t) \quad (1)$$

Solusi dari persamaan (1) diatas memberikan besaran simpangan  $x(t)$  yang disebabkan oleh adanya gaya luar  $F(t)$ . Dan selanjutnya besarnya kecepatan  $v(t)$  dan percepatan  $a(t)$ , dapat diturunkan, dimana

$$v = \frac{dx}{dt} \quad \text{dan} \quad a = \frac{d^2x}{dt^2} \quad (2)$$

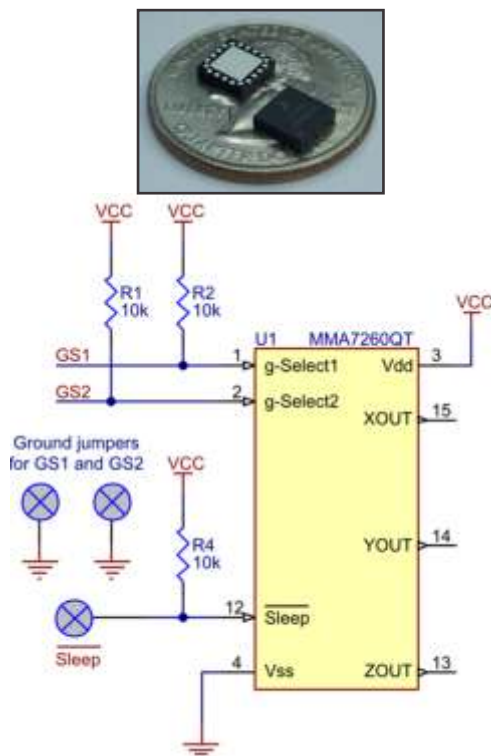
Jika faktor redaman diabaikan dan nilai  $a = 0$ , maka bentuk solusi umumnya, yaitu:

$$x = A \sin(\omega_0 t + \phi) \quad (3)$$

dimana

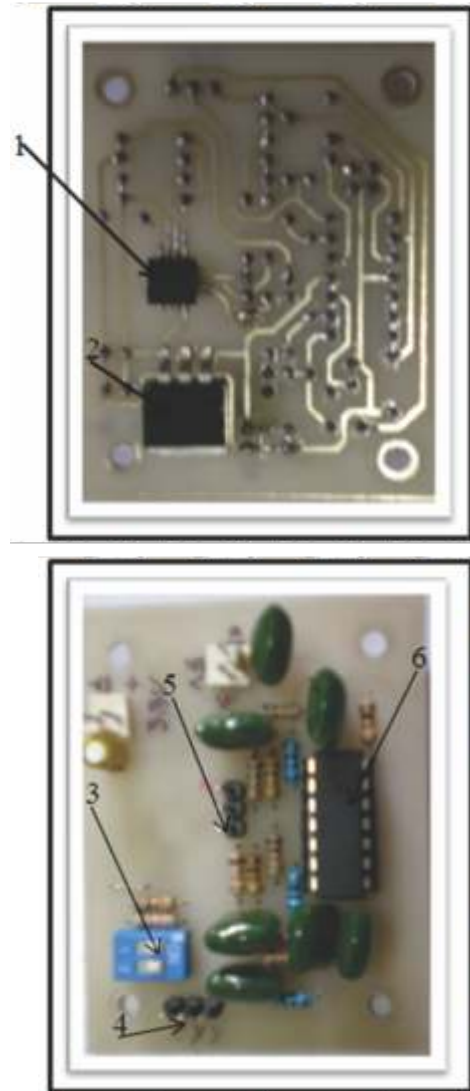
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m_s}} \quad (4)$$

Dalam penelitian ini, sensor vibrasi didesain dari komponen MEMS (*Microelectro Mechanical System*) *accelerometer* tipe MMA7260QT. Piranti ini mempunyai beberapa keunggulan, diantaranya adalah sensitivitasnya dapat dipilih dalam empat mode (1,5g, 2g, 4g, 6g), konsumsi arusnya rendah (500 $\mu$ A, dan 3 $\mu$ A untuk mode sleep), tegangan operasinya rendah (2.2V-3.6V), sensitivitasnya tinggi (800mV/g @ 1.5g), dan harganya murah<sup>6)</sup>. Gambar 2 adalah foto dari piranti accelerometer MMA7260QT.



Gambar 2. Accelerometer MMA7260QT<sup>6)</sup>

Selanjutnya piranti ini dirangkai dengan komponen elektronik yang lain untuk membentuk sebuah sistem sensor vibrasi. Output dari MMA7260QT dimasukkan ke pengondisi sinyal untuk fungsi penguatan dan pereduksi *noise*. Untuk mereduksi *noise* digunakan *Salen Key 2<sup>nd</sup> orde low pass filter*. Foto pada gambar 3 merupakan modul sensor vibrasi yang telah dibuat.



Gambar 3. Hasil pembuatan sensor vibrasi: tampak bawah dan tampak atas

Keterangan Gambar 3:

1. Accelerometer MMA7260QT
2. Regulator 3,3 volt
3. Pemilih sensitivitas g1 dan g2
4. Keluaran sensor sumbu x, y, z setelah difilter
5. Keluaran sensor sumbu x, y, z sebelum difilter
6. 2<sup>nd</sup> orde Low Pass Filter

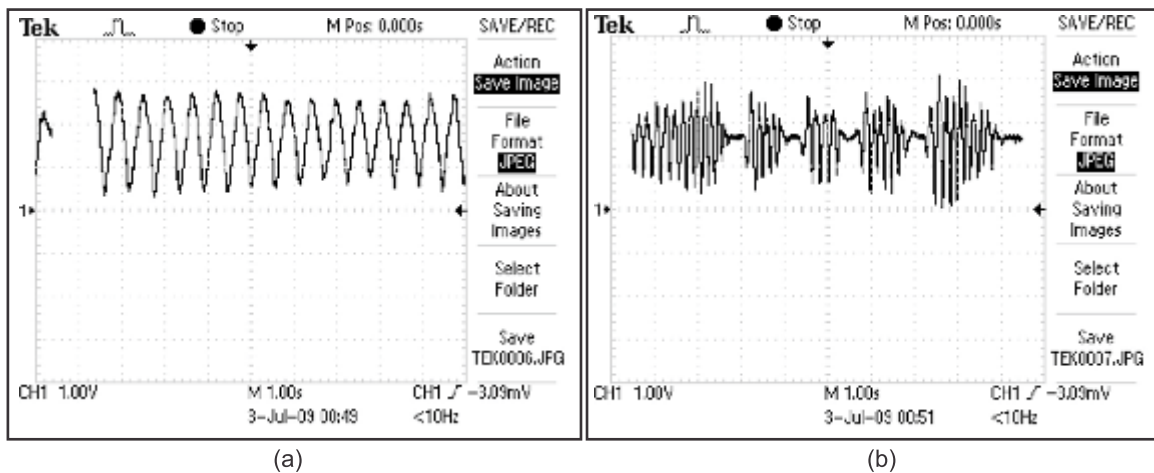
Untuk mengetahui unjuk kerja sensor vibrasi yang telah dibuat, dilakukan pengujian rangkaian sistem sensor dengan menghu-bungkan keluaran sensor ( $X_{out}$ ,  $Y_{out}$ ,  $Z_{out}$ ) dengan osiloskop digital Tektronic tipe TDS1001B. Pengujian dilakukan dengan dua perlakuan. Perlakuan pertama adalah menggerakkan sensor ke atas (+z) dan ke bawah (-z) secara periodik. Sedangkan perlakuan kedua adalah dengan cara meletakkan sensor pada benda uji dan memberikan hentakan pada benda uji tersebut. Hasil pengujian ini diberikan pada gambar 4.

Pada gambar tersebut nilai output sensor membentuk gelombang sinus dengan range tegangan antara 0-3,3 volt untuk perlakuan pertama. Sedangkan pada perlakuan kedua sensor

dapat menangkap vibrasi pada benda uji sesuai dengan baik. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan ini maka dapat disimpulkan bahwa sistem sensor vibrasi hasil rancangan telah dapat berfungsi dengan baik.

### 2.1.2. Sensor Kelembaban (kandungan air) Tanah

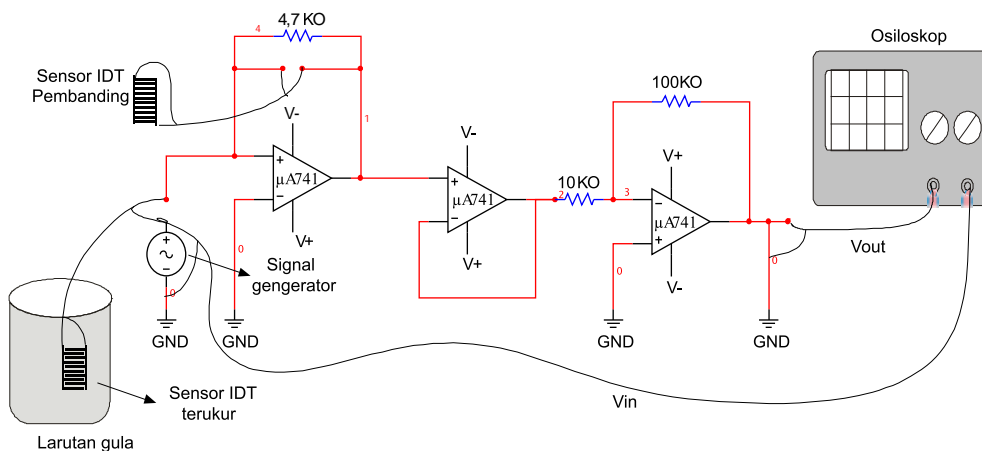
Walaupun telah banyak sensor curah hujan yang ada di pasar komersial, namun untuk keperluan monitoring secara online yang merupakan target akhir dari pekerjaan ini, maka perlu dikembangkan unit sensor curah hujan yang sesuai, simpel dan dapat diinterfacekan dengan sistem akuisisi data yang akan dibuat.



Gambar 4. Keluaran sensor vibrasi.(a) Sensor digerakkan keatas dan ke bawah secara periodik, (b) Sensor diletakkan di atas meja yang diberi hentakan (pukulan).

Untuk maksud tersebut, sistem sensor curah hujan dirancang berdasarkan prinsip sensor

kapasitif yang rangkaian lengkapnya diberikan pada gambar 5.

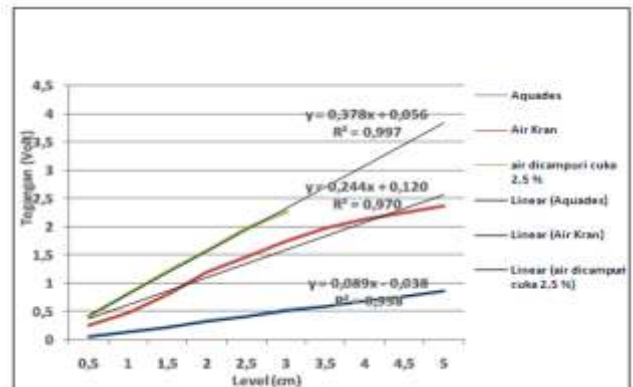


Gambar 5. Rangkaian sistem sensor curah hujan (level air)

Prinsip kerja dari sensor curah hujan adalah dengan pengukuran level air pada daerah ukur, dan dengan software di sistem akuisisi data, besaran ini akan diubah ke dalam bentuk curah hujan ekivalennya. Sensor ini akan menghasilkan tegangan keluaran yang dihasilkan dari perubahan level air berdasarkan prinsip kapasitansi. Elemen utama dari sensor ini adalah *Inter Digital capacitor* (IDC). Output dari elemen IDC adalah kapasitansi yang nilainya ditentukan oleh sedikit banyaknya bagian IDC yang tercelup air. Nilai kapasitansi ini selanjutnya diubah menjadi besaran tegangan listrik ekivalennya dengan menggunakan rangkaian Charge Amplifier<sup>7)</sup>. Sehingga nilai output dari sensor ini merupakan fungsi dari kadar air yang ada dalam objek ukur.

Dalam eksperimen, sensor kapasitif yang digunakan pada setiap kali percobaan jumlahnya sebanyak dua buah. Sensor pertama digunakan sebagai pembandingan (referensi) dan sensor kedua dimasukkan pada objek ukur. Hasil eksperimen

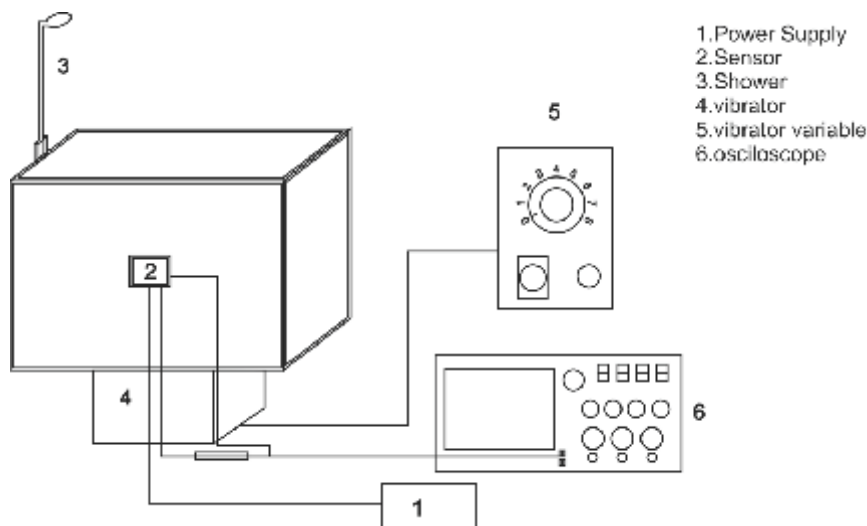
laboratorium pengukuran level air dengan menggunakan sensor ini diberikan pada gambar 6.



Gambar 6. Grafik hubungan tegangan keluaran sensor kapasitif terhadap perubahan level air

## 2.2. Eksperimen Longsoran

Rangkaian percobaan longsoran pada skala laboratorium disajikan pada gambar 7.



Gambar 7. Setup eksperimen laboratorium

Percobaan efek longsoran akibat adanya getaran dilakukan sebagai berikut:

- Box diisi dengan campuran kaolin dan pasir, yang diletakkan di atas pembangkit getaran.
- Pembangkit getaran mempunyai skala mulai dari 1 sampai 7. Skala 1 adalah getaran dengan amplitudo dan frekuensi kecil, sedangkan skala 7 merupakan getaran yang mempunyai amplitudo dan frekuensi besar.
- Sudut kemiringan dari kaolin yang dicampur dengan pasir diatur, menyerupai sudut

kemiringan dari lereng di alam.

- Kedua sensor dipasang pada tanah yang telah dibentuk
- Setelah semua siap, pembangkit getaran dihidupkan, selanjutnya proses terjadinya longsoran diukur dengan peralatan yang telah dikembangkan dan direkam dengan video camera

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kaolin dan pasir dicampur sampai rata dan

dikeringkan. Selanjutnya, material ini diberi air sampai kandungan airnya mencapai 5% yang merupakan campuran standard. Material dimasukkan kedalam box pada box di gambar 8. Sebuah pembangkit getaran yang mempunyai skala 1 sampai 7 digunakan untuk menggoyang material yang ada di dalam box dengan variasi kemiringan yang berbeda-beda. Hasil dari eksperimen/ percobaan ini adalah sebagai berikut:

a) Kaolin dengan kelembaban normal dan sudut kemiringan 75 derajat.

- \* Skala vibrator 3 dan pada detik pertama sudah langsung terjadi longsoran



b) Kaolin dengan kelembaban normal dan sudut kemiringan 65 derajat

- \* Skala vibrator 3 dan pada detik ke30 baru terjadi longsoran secara perlahan lahan



c) Kaolin dengan kelembaban normal dan sudut kemiringan 60 derajat

- \* Skala vibrator 3 dan pada detik ke55 gumpalan jatuh sedikit demi sedikit



d) Kaolin dengan kelembaban normal dan sudut kemiringan 45 derajat

- \* Pada skala 3, tidak terjadi longsoran
- \* Skala vibrator 5 dan pada detik ke10 gumpalan jatuh sedikit demi sedikit.



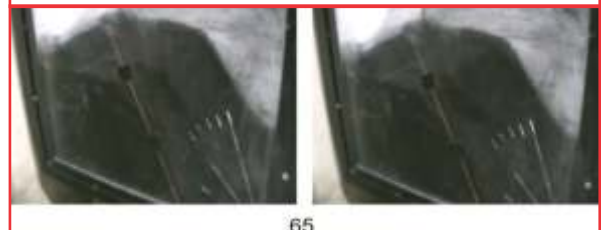
e) Pasir dengan kelembaban sekitar 5% dan sudut kemiringan 75 derajat

- \* Skala vibrator 3 terjadi longsor setelah detik ke-39



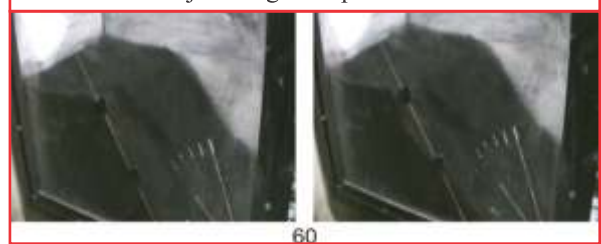
f) Pasir dengan kelembaban sekitar 5% dan sudut kemiringan 65 derajat

- \* Tidak terjadi longsoran pada skala 3
- \* Skala vibrator 4. Terjadi longsor setelah detik ke-7.



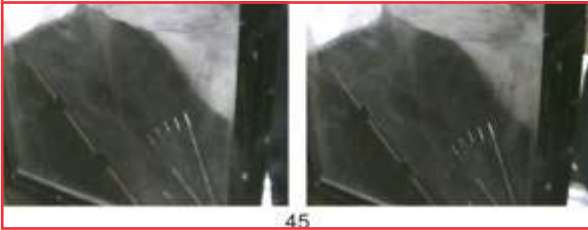
g) Pasir dengan kelembaban sekitar 5% dan sudut kemiringan 60 derajat

- \* Skala vibrator 5. Terjadi longsor setelah detik ke-4.
- \* Tidak terjadi longsoran pada skala 4



h) Pasir dengan kelembaban sekitar 5% dan sudut kemiringan 45 derajat

- \* Skala vibrator 5. Terjadi longsor setelah detik ke 6.
- \* Tidak terjadi longsor pada skala 4



Eksperimen-eksperimen yang telah dilakukan tersebut masih belum menggunakan siraman air dari atas, hanya menggunakan kelembaban normal dari suatu sedimen. Suatu kemiringan dari material, jika diberikan suatu getaran, maka akan mengakibatkan adanya longsor. Dalam penelitian ini, pengaruh adanya kandungan air belum diteliti. Namun dalam kenyataan di alam, longsor sangat berpotensi ketika terjadi hujan.

#### IV. KESIMPULAN

Hasil - hasil eksperimen menunjukkan bahwa:

1. Longsor yang diakibatkan oleh getaran, diperlukan suatu getaran yang cukup besar.
2. Jika getarannya kecil, dan sudut kemiringan kecil, maka kecil kemungkinannya untuk terjadi longsor.

#### V. UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan penelitian ini dibiayai oleh Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional, Sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Desentra-lisasi Penelitian No 526/J10.2/PL/2009, tanggal 5 Maret 2009. Untuk itu kami mengucapkan terima kasih atas kepercayaannya pada kami untuk melakukan kegiatan penelitian ini.

#### VI. DAFTAR PUSTAKA

- 1) Rachmansyah, A. (2006). Pengaruh Kadar Air pada Saat Pemasakan terhadap Kuat Geser Tanah Lempung Kaolin. *Jurnal Teknik, XIV*, 29 - 35
- 2) Hartlen, J., & Viberg, L. (1998). General Report : Evaluation of Landslide Hazard. *Proceeding of International Association of Engineering Geologist Annual Meeting, Athens*
- 3) Susilo, Adi (2009). *Mitigasi Bencana (Studi Kasus Daerah Pemkab Malang Raya)*. Seminar Kelestarian Lingkungan Hidup. Himpunan Mahasiswa Sosiologi, Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Brawijaya Malang.
- 4) Sachan, A. & Penumadu, D. (2007). Effect of Microfabric on Shear Behavior of Kaolin Clay. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 133(3)*, 306-318
- 5) Morris, A. S. (2003). *Measurement & Instrumentation Principles*, Butter-worth-Hinemann, Eseevier, Great Britain.
- 6) Freescale, MMA7260Q XYZ Three-Axis Low g Acceleration Sensor (2009) <http://www.freescale.com/files/sensors/doc/factsheet/MMA7260QFS.pdf>. tanggal akses 13 Juni 2009
- 7) Santoso, D.R. (2010). *Aplikasi Interdigital Capacitor (IDC) sebagai Elemen Sensing untuk Pengukuran Konsentrasi Larutan Gula dalam Air: Studi Eksperimen*, Seminar Nasional Fisika II, Universitas Airlangga.