

## DESAIN DAN PEMBUATAN ALAT UJI KOEFISIEN GESEK BERDASARKAN SUDUT KEMIRINGAN BIDANG LONGSOR

### DESIGN AND CONSTRUCTION OF FRICTION COEFFICIENT MEASURING INSTRUMENT BASED ON SLOPE OF LANDSLIDE PLANE

Muhammad Zuhdi <sup>1\*</sup>, Supriyadi <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pendidikan Fisika, Jurusan PMIPA, FKIP Universitas Mataram

<sup>2</sup>Laboratorium Fisika Dasar Universitas Mataram

\*Email: [mzuhdi@unram.ac.id](mailto:mzuhdi@unram.ac.id)

Diterima: 12 Februari 2019. Disetujui: 20 Agustus 2019. Dipublikasikan: 30 September 2019

---

**Abstrak:** Koefisien gesek suatu benda dapat ditentukan dengan mengukur sudut kemiringan longsor benda tersebut pada suatu bidang. Saat ini belum ada alat ukur untuk menentukan besarnya koefisien gesek suatu material tanah yang didasarkan pada sudut longsor, maka pada penelitian ini dibuat alat uji koefisien gesek statis tersebut. Alat didesain sedemikian rupa agar memiliki ketelitian yang tinggi. Dua buah nivo tabung dipasang secara tegak lurus untuk memastikan bidang unkit benar-benar datar. Alat ini bermanfaat untuk kepentingan pengukuran koefisien gesekan dari suatu material yang didasarkan pada sudut longornya. Alat ini juga bisa digunakan untuk praktikum uji koefisien gesek bagi mahasiswa yang mengambil mata kuliah geofisika di fakultas MIPA dan FKIP Universitas Mataram. Alat yang telah dibuat ini dapat mengukur dengan baik koefisien gesekan suatu material tanah. Pengukuran tinggi unkit dan Panjang bidang miring dengan ketelitian tinggi menghasilkan koefien gesek dengan ketelitian yang tinggi pula. Berdasarkan teori perambatan ralat, maka nilai koefisien gesek yang dihasilkan memiliki ketelitian yang cukup tinggi yaitu sebesar 0,001.

**Kata Kunci :** disain alat ukur, koefisen gesek, sudut kemiringan lereng

---

**Abstract:** The friction coefficient of an object can be determined by measuring the slope angle of the object in a field. Until now, there is no measurement tool to determine the friction coefficient of a soil material based on the landslide angle, so in this study a static friction coefficient testing instrument was made. The tool is designed in such a way as to have high accuracy. The two tube nivo are mounted perpendicularly each other to make sure the lever plane is completely flat. This tool is useful for the purposes of measuring the friction coefficient of a material based on its landslide angle. This tool can also be used laboratory practice for students taking geophysical courses at the faculties of MIPA and FKIP, Universitas Mataram. The tool that has been made can measure the friction coefficient of a soil material fairly good. The measurement of the height of the lever and the length of the inclined plane with high accuracy produce the coefficient of friction with high accuracy as well. Based on the propagation theory of error, the resulting coefficient of friction has a fairly high accuracy of 0.001.

**Keywords :** measuring instrument design, friction coefficient, slope angle

---

#### PENDAHULUAN

Longsor terjadi karena ketidak-stabilan lereng akibat ketidak-setimbangan gaya-gaya yang bekerja pada material yang berada pada lereng. Pada saat terjadinya longsor, resultan gaya pada material lereng memiliki nilai yang tidak sama dengan nol. Hal ini terjadi karena gaya kebawah (searah bidang lereng) lebih besar dari gaya ke atas pada bidang tersebut. Gaya ke atas yang searah bidang ini berlaku sebagai gaya penahan yang disebut dengan gaya gesek.

Nilai gaya gesek sebanding dengan gaya normal dan koefisien gesekan statis. Nilai gaya normal sebanding dengan berat massa material pada lereng. Koefisien gesek antar Partikel penyusun tanah dapat diukur dengan menggunakan koefisien gesek yang didasarkan pada sudut kemiringan longsor material penyusun tanah tersebut. Sudut ini merupakan sudut maksimum (kritis) dari kestabilan tanah.

Lucas, dkk., (2014) meneliti longoran dan mendapatkan hasil bahwa semakin besar massa tanah yang mengalami longsor, maka gaya gesek menjadi semakin kecil [1]. Pares dan Aharonov (2015) membuat model longoran dengan asumsi butiran benda tegar yang menggelinding sehingga tidak melibatkan gaya gesek [2]. Johnson dkk., (2016) membuat hipotesa fluidisasi akustik dengan hasil yang menunjukkan keterkaitan antara panjang gelombang getaran dan ukuran bongkah fragmen batuan terhadap *runout* [3]. Yamada ddk (2018), membuat estimasi koefisien gesek dinamis melalui inversi numerik data seismic sintetis. Hasilnya menunjukkan bahwa kecepatan longsor sebanding dengan akar kwadrat perubahan ketinggian pusat massa akibat longsor [4].

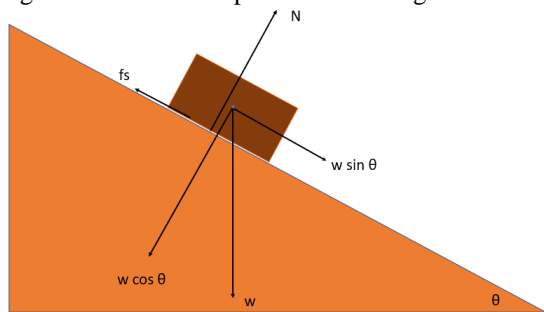
Pada saat ini belum ada alat ukur untuk menentukan besarnya koefisien gesek suatu material tanah yang didasarkan pada sudut longsor. Oleh karena itu dibuatlah alat uji koefisien gesek statis.

Alat ini bermanfaat untuk kepentingan pengukuran longsor koefisien gesekan dari suatu material yang didasarkan pada sudut longornya alat ini juga bisa digunakan untuk praktikum mahasiswa yang mengambil mata kuliah geofisika di fakultas MIPA dan FKIP Universitas Mataram.

### METODE PENELITIAN

Alat ini di rancang sendiri oleh laboran di Laboratorium Fisika Dasar Universitas Mataram dan dibantu oleh dosen pengampu mata kuliah geofisika di FMIPA Unram. Perancangan dan pembuatan alat dilakukan di Laboratorium Fisika Dasar, Universitas Mataram. Alat ini telah di ujicoba sebagai alat uji stabilitas longsor dan sebagai media pembelajaran pada mata kuliah Geologi-Geofisika di FMIPA dan FKIP Universitas Mataram.

Koefisien gesek suatu benda dapat ditentukan dengan mengukur sudut kemiringan longsor benda tersebut pada suatu bidang.



Gambar 1. Sebuah model batuan yang berada pada bidang miring

Gambar 1 menunjukkan komponen-komponen gaya yang bekerja pada benda saat terjadinya longsor. Berat benda  $w$  dapat diuraikan menjadi  $w \sin \theta$  dan  $w \cos \theta$ . Gaya  $w \sin \theta$  adalah gaya searah bidang yang menyebabkan terjadinya longsor. Gaya  $w \cos \theta$  adalah gaya berat yang searah normal bidang. Gaya reaksi dari  $w \cos \theta$  disebut dengan gaya normal.

Gaya gesek  $f_s$  adalah gaya yang menahan material sehingga tidak terjadi longsor. Nilai  $f_s$  sebanding dengan gaya normal dan koefisien gesek yang dapat dituliskan dengan persamaan [5]:

$$f_s = \mu_s N \quad (1)$$

$$f_s = \mu_s w \cos \theta \quad (2)$$

dengan  $f_s$  adalah gaya gesekan static,  $N$  adalah gaya normal dan  $\mu_s$  adalah koefisien gesekan statik dari material penyusun lereng.

Pada kondisi setimbang, nilai  $f_s$  besarnya sama dengan nilai  $w \sin \theta$ . Pada keriringan maksimum, nilai  $f_s$  merupakan nilai terbesar yang menunjukkan nilai koefisien gesek material tersebut, sehingga dapat dituliskan

$$f_s = w \sin \theta \quad (3)$$

$$\mu_s w \cos \theta = w \sin \theta \quad (4)$$

$$\mu_s = \tan \theta \quad (5)$$

Dari persamaan (5) tampak bahwa koefisien gesek tergantung pada sudut kemiringan maksimum saat terjadinya longsor. Semakin besar sudut longsor maka semakin besar pula koefisien gesek statis antar material jenis zat tersebut dan sebaliknya. Benda dengan koefisien gesek kecil akan memiliki sudut longsor yang kecil, sedangkan benda dengan koefisien gesek besar akan memiliki sudut longsor yang besar.

Alat didesain sedemikian rupa agar memiliki ketelitian yang tinggi. Dengan ketelitian yang tinggi, sehingga mahasiswa yang menggunakan alat ini akan terbiasa melakukan pengukuran secara ilmiah dengan menerapkan teori perambatan ralat dengan baik dan benar. Salah satu usaha untuk memperbesar ketelitian ialah dengan membuat bidang uji sedemikian rupa sehingga bidang tersebut benar-benar datar. Hal ini dilakukan dengan memasang 2 buah nivo tabung yang dipasang secara tegak lurus untuk mendapatkan bidang yang benar-benar datar.

Untuk mendapatkan bidang yang benar-benar datar dilakukan dengan leveling. Leveling pada nivo tabung dilakukan dengan 3 buah sekrup pemosisi datar yaitu sekrup A, B dan C. Jumlah sekrup sebanyak 3 buah didasarkan pada alasan bahwa 3 buah titik akan selalu berada pada satu bidang datar yang sama.

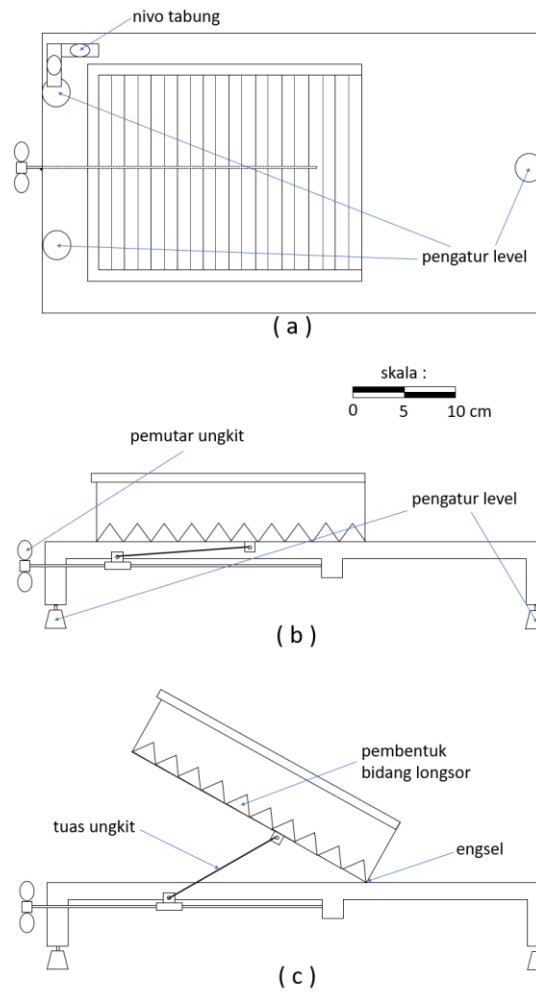
Langkah leveling dimulai dengan memutar sekrup A, atau B, atau keduanya, sedemikian rupa sehingga gelembung pada nivo tabung 1 berada di tengah. Jika hal ini telah berhasil, maka sekrup A dan B tidak boleh diputar lagi. Selanjutnya, untuk mendapatkan leveling pada nivo kedua, sekrup C diputar sedemikian rupa sehingga gelembung pada nivo berada di tengah.

Pembentuk bidang longsor dibuat dengan tujuan untuk memastikan bahwa gesekan terjadi antara material tanah dengan material tanah itu sendiri, bukan material tanah terhadap lantai wadahnya.

Pengukuran sudut dilakukan dengan mengukur ketinggian ( $h$ ) ujung ungit atau jarak mendatar bidang ungit ( $x$ ) dari alat longsor. Pengukuran dilakukan menggunakan penggaris siku dengan ketidak pastian hingga  $\pm 0,5$  mm. Panjang bidang lurus ( $s$ ) dikukur satu kali dengan sangat teliti dan dituliskan pada alat.

Nilai sudut ungit setara dengan invers cosinus jarak mendatar ungit dibagi dengan panjang bidang ungit, sehingga sudut ungit dapat dituliskan dengan persamaan:

$$\theta = \arccos (x/s) \quad (6)$$

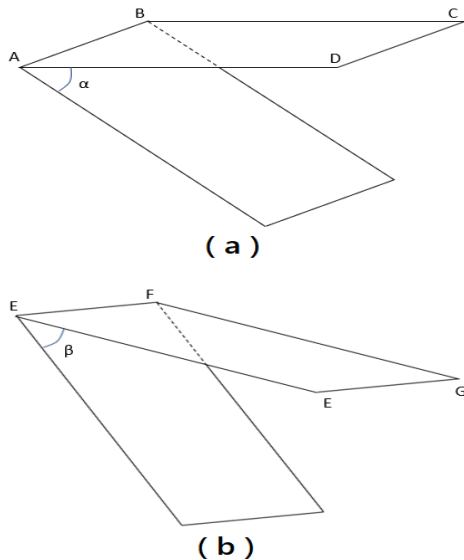


Gambar 2. Desain alat uji koefisien gesek. (a) tampak atas (b) tampak samping posisi datar (c) tampak samping posisi diungkit



Gambar 3. Foto realisasi operasional alat ukur koefisien gesek

Dengan adanya nivo tabung yang terpasang, maka bidang ungit mula-mula berada pada bidang datar. Hal ini mengakibatkan sudut yang terukur adalah merupakan true dip dan bukan merupakan aparent dip [6]. Gambar 4 menunjukkan perbedaan antara aparent dip dengan true dip.



Gambar 4. (a) True dip (b) Apparent dip

Pengungkitan dilakukan secara perlahan menggunakan prinsip dorongan sekrup halus sehingga sudut longsor dapat terukur dengan sangat teliti. Ukuran ulir sekrup yang digunakan untuk pengungkitan ini adalah 1mm/rotasi.

Ketelitian pengukuran tinggi ungit dilakukan hingga orde 1 mm dengan ketidak-pastian (ralat)  $\pm 0,5$  mm. Pengukuran panjang bidang ungit memiliki ketelitian hingga 0.1 mm dengan ralat  $\pm 0,05$  mm.

Dengan ketelitian yang tinggi alat ini dianggap memiliki ketepatan yang cukup bagus sehingga dapat dijadikan sebagai alat yang handal untuk penelitian maupun praktikum mahasiswa yang mengambil mata kuliah geofisika.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Alat ini dapat digunakan sebagai instrumen untuk praktikum mahasiswa geofisika juga dapat digunakan untuk kepentingan penelitian lain. Alat telah diujicoba untuk praktikum mahasiswa yang mengambil mata kuliah geologi-geofisika FKIP Universitas Mataram, pada semester gasal tahun ajaran 2018/2019.

Pada praktikum tersebut, alat ini digunakan untuk mengukur koefisien gesekan dari beberapa sampel tanah yang mengalami longsor akibat gempa Lombok April 2019. Sampel diambil dari beberapa lokasi yang berada di Lombok Utara. Jumlah sampel ada 4, berasal dari 4 lokasi yang berbeda yang kesemuanya masih dalam kecamatan yang sama yaitu Kecamatan Bayan, Kabupaten Lombok Utara.

Hasil uji coba alat ini ditunjukkan pada tabel 1. Pada ini tampak bahwa variable yang diukur adalah proyeksi bidang pada sumbu x dan panjang bidang ungit. Kompetensi yang ditekankan pada praktikum ini adalah, ketelitian pengukuran, pemahaman tentang true dip dan leveling serta kemampuan perhitungan perambatan ralat.

Pengukuran dilakukan pada kondisi kelembaban sesuai dengan kondisi kelembaban ruangan laboratorium. Ketika sampel diambil di lapangan, kelembabannya dijaga dengan memasukkan sampel ke dalam plastik yang kedap air dan disimpan di laboratorium tanpa perlakuan khusus.

Tabel 1. Hasil pengukuran dan perhitungan koefien gesek sampel kering

Nomor Sampel	Jarak x $\pm 0,5$ mm	Panjang (s) $\pm 0,05$ mm	$\Theta$	$\mu_s \pm 0,05$
1	20,69	32,15	49,80	1,14
2	16,59	32,15	59,37	1,60
3	18,31	32,15	55,51	1,39
4	19,75	32,15	52,12	1,23

Kelembaban berpengaruh pada koefisien gesekan suatu material tanah. Air dapat menjadi perekat material penyusun tanah sehingga lereng menjadi lebih stabil.

Banyaknya molekul air pada taraf tertentu dapat memperkuat ikatan antar partikel penyusun tanah. Pada prinsipnya, partikel air dapat menambah gaya kohesi antar partikel tanah karena kecilnya sudut kontak antara partikel air dengan butiran mineral penyusun tanah yang bersifat hidrofil [7].

Pada kondisi kering partikel lebih mudah longsor dibandingkan dengan partikel tanah yang lembab. Hal ini disebabkan hilangnya air yang mempererat ikatan antar partikel penyusun tanah. Dengan demikian keberadaan air dalam jumlah tertentu dapat memperbesar koefisien gesek antar material penyusun tanah.

Akan tetapi jumlah air yang terlalu banyak dapat juga memperkecil koefisien gesek suatu material penyusun tanah. Partikel air dalam jumlah berlebih justru akan membuat tanah berubah menjadi fluida kental yang dapat mengalir sehingga mudah longsor. Molekul air berlimpah dapat membuat partikel tanah mengambang diantara molekul air. Kondisi semacam ini sering disebut dengan likuifaksi.

Tabel 2 menunjukkan koefisien gesekan 4 sampel yang sama dengan tabel 1, akan tetapi pada kondisi lembab. Pelembaban dilakukan dengan menyemprotkan air memakai *water sprayer* dan diaduk menggunakan centong semen. Kuantitas penambahan kelembaban air adalah 20 cc tiap liter sampel kering.

Tabel 2. Hasil pengukuran dan perhitungan koefien gesek untuk sampel lembab

Nomor Sampel	Jarak x ±0,5 mm	Panjang (s) ±0,05 mm	$\Theta$	$\mu_s$ ±0.05
1	9,65	32,15	73,71	3,09
2	5,30	32,15	82,09	5,83
3	8,35	32,15	76,25	3,64
4	6,75	32,15	79,33	4,54

Dengan membandingkan tabel 1 terhadap tabel 2, dapat disimpulkan bahwa koefisien gesek statis pada kondisi lembab lebih besar dari koefisien gesek pada kondisi kering. Hal ini terjadi akibat peningkatan gaya tarik antar partikel sebagai akibat penambahan air.

Dari tabel 1 tampak bahwa mineral dengan nomer sampel 4 memiliki koefisien gesek terbesar yaitu 1,60 sedangkan sampel no 1 memiliki koefisien gesek terkecil dengan nilai 1,14. Dari tabel 2 tampak bahwa pada kondisi lembab, mineral dengan nomer sampel 5 memiliki koefisien gesek terbesar yaitu 5,83 sedangkan sampel no 1 memiliki koefisien gesek terkecil dengan nilai 3,09.

## KESIMPULAN

Alat yang telah dibuat ini dapat mengukur dengan baik koefisien gesekan suatu material tanah didasarkan pada sudut longsor material tersebut. Pengukuran tinggi unkit, Panjang jarak mendatar dan Panjang bidang miring dengan ketelitian tinggi menghasilkan koefien gesek dengan ketelitian yang tinggi pula. Berdasarkan teori perambatan ralat, maka nilai koefisien gesek yang dihasilkan memiliki ketelitian yang cukup tinggi yaitu sebesar 0,05.

Pengungkitan yang dilakukan secara perlahan memungkinkan kita untuk mendapatkan nilai sudut longsor yang paling baik, teliti dan optimal. Penggunaan nivo memungkinkan kita untuk meningkatkan ketelitian dengan ukuran sudut kemiringan yang merupakan nilai true dip.

## Saran

Untuk kepentingan praktikum bagi mahasiswa pada matakuliah geologi dan geofisika, maka perlu dilakukan pengukuran koefisien gesekan beberapa mineral utama pembentuk kerak bumi, pada berbagai kondisi dengan tingkat kelembaban yang berbeda-beda untuk tiap-tiap sampel. Pengukuran koefisien gesekan pada berbagai mineral murni dengan variasi ukuran butir juga bisa dilakukan menggunakan alat ini.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Ibu Dian W. Kurniawidi selaku Ketua Laboratorium Fisika Dasar, FMIPA Universitas Mataram, atas izinnya menggunakan fasilitas laboratorium untuk penelitian ini. Ucapan terimakasih juga kami haturkan kepada

Ibu Januar Srikandijana, Pak Agus Wahid H., Pak Fauzi dan Pak Muh Al Fariz atas koordinasinya dalam uji coba alat ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lucas, A., Mangeney, A., & Ampuero, J. P. (2014). Frictional velocity-weakening in landslides on Earth and on other planetary bodies. *Nature communications*, 5, 3417.
- [2] Perez, S., & Aharonov, E. (2015). Long runout landslides: a solution from granular mechanics. *Frontiers in Physics*, 3, 80.
- [3] Johnson, B. C., Campbell, C. S., & Melosh, H. J. (2016). Reply to comment by Davies and McSaveney on "The reduction of friction in long runout landslides as an emergent phenomenon". *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 121(10), 1721-1723.
- [4] Yamada, M., Mangeney, A., Matsushi, Y., & Matsuzawa, T. (2018). Estimation of dynamic friction and movement history of large landslides. *Landslides*, 15(10), 1963-1974.
- [5] Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Fundamentals of physics*. John Wiley & Sons.
- [6] Billings, M. P., & Billings, M. P. (1972). *Structural geology* (No. 551.1 B5). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- [7] Ludman, A., & Coch, N. K. (1982). *Physical geology*. McGraw-Hill Companies.