

Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Tanah Longsor Sederhana Berbasis Sensor Soil Moisture dan Sensor Ultrasonik

Ni Luh Desi Ratna Ari Sandi^{1,a)}, Rahadi Wirawan^{2,b)}, Laili Mardiana^{3,c)}, Dian Wijaya Kurniawidi^{4,d)} dan I Wayan Sudiarta^{5,e)}

¹Kelompok Keilmuan Fisika Komputasi dan Instrumentasi, Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram, Indonesia, 83125

²Kelompok Keilmuan Fisika Komputasi dan Instrumentasi, Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram, Indonesia, 83125

³Kelompok Keilmuan Fisika Komputasi dan Instrumentasi, Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram, Indonesia, 83125

⁴Kelompok Keilmuan Fisika Material, Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram, Indonesia, 83125

⁵Kelompok Keilmuan Fisika Komputasi dan Instrumentasi, Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram, Indonesia, 83125

^{a)}desiarisandi537@ymail.com

^{b)}rwirawan@yahoo.co.id (corresponding author)

^{c)}lailimardiana@unram.ac.id

^{d)}dkurniawidi@gmail.com

^{e)}wayan.sudiarta@unram.ac.id

Abstrak

Tanah longsor merupakan salah satu fenomena alam yang dapat menimbulkan kerusakan yang bersifat langsung maupun tidak langsung. Salah satu upaya penanggulangan bencana tanah longsor adalah membangun suatu sistem pendeteksian dini meliputi pembuatan alat pendeteksi dan monitoring pergerakan tanah serta sistem informasi deteksi dini bahaya tanah longsor. Dalam tulisan ini, ditampilkan prototipe alat pendeteksi pergerakan tanah sederhana. Alat ini tersusun atas 4 pegas paralel, sensor ultrasonik SRF08 sebagai alat pendeteksi jarak dan soil moisture sensor FC-28 untuk mengukur kandungan air sebagai parameter pemicu terjadinya pergerakan tanah serta mikrokontroler Atmega328 sebagai pengontrol kerja alat. Prototipe ini telah diujicoba dalam pendeteksian pergerakan sampel pasir untuk ukuran butir 850 μm dan $>850 \mu\text{m}$ dengan massa yang berbeda. Hasil yang diperoleh menunjukkan sensitivitas masing-masing sensor adalah 2 cm/kg untuk sensor ultrasonik dan 5,21 %/ml hingga 8,33 %/ml untuk sensor kandungan air. Untuk potensi pergerakan material pasir dipengaruhi oleh kandungan air dalam pasir dimana pergerakan pasir mencapai titik maksimum pada jarak 54 cm dengan kandungan air 99%.

Kata-kata kunci: Longsor, Deteksi dini, Atmega328, Sensor Ultrasonik, Kandungan air

PENDAHULUAN

Peristiwa tanah longsor merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di beberapa wilayah Indonesia selain bencana banjir. Tanah longsor merupakan suatu peristiwa perpindahan material pembentuk lereng seperti batuan, bahan rombakan, tanah, atau material campuran yang bergerak ke bawah atau keluar lereng yang dapat terjadi secara spontan ataupun perlahan [1]. Peristiwa tanah longsor terjadi akibat terganggunya kestabilan penyusun lereng dan berpotensi besar terjadi ketika atau setelah turun hujan [2,3].

Kerusakan yang ditimbulkan oleh tanah longsor tidak hanya bersifat langsung, seperti rusaknya fasilitas umum, lahan pertanian, timbulnya korban jiwa, namun juga bersifat tidak langsung yaitu dapat melumpuhkan kegiatan pembangunan dan aktivitas ekonomi di daerah sekitar bencana. Bencana tanah longsor secara alami tidak dapat dihindari. Namun kerugian yang ditimbulkannya, seperti jatuhnya korban jiwa dapat diminimalisir dengan cara membangun sistem pendeteksian dini tanah longsor. Sistem pendeteksian ini meliputi alat pendeteksi dan monitoring serta sistem informasi deteksi dini bahaya tanah longsor. Sistem pendeteksi dini umumnya menggunakan sensor ekstensometer [4]. Selain itu, sensor tersebut juga dipadukan dengan sensor hujan, kamera dan termometer untuk *early warning system (EWS)* [5].

Salah satu faktor yang dapat memicu terjadinya longsor tanah adalah kandungan air dalam tanah yang cukup tinggi. Keberadaan air dalam tanah tidak hanya menambah berat material tanah, namun juga mengurangi daya ikat material (gaya penahan) pada bidang gelincir. Untuk mengetahui pengaruh kandungan air dalam tanah yang diakibatkan oleh kontribusi curah hujan diperlukan suatu alat pendeteksi. Pada tulisan ini, dipaparkan suatu prototipe alat pendeteksi longsor material berbasis sensor sensor kelembaban tanah (*soil moisture*) dan sensor ultrasonik. Sensor *soil moisture* berfungsi untuk mengukur kandungan air dalam tanah dan sensor ultrasonik digunakan untuk memonitoring adanya pergerakan tanah yang terjadi. Alat pendeteksi ini telah diujicobakan untuk material pasir dengan massa dan ukuran butir yang berbeda pada skala laboratorium.

TEORI DAN PERANCANGAN SISTEM PENDETEKSI

Dalam tinjauan mekanika, pergerakan massa yang merepresentasikan terjadinya tanah longsor analog dengan Bergeraknya blok pada suatu bidang miring. Pada keadaan ini, bekerja gaya pendorong yaitu gaya tangensial dari berat massa tanah dan batuan, dan gaya penahan tanah. Jika gaya pendorong pada lereng lebih besar dibandingkan dengan gaya penahan, maka material akan bergerak [6]. Pergerakan material dapat diamati dengan cara mendeteksi posisi material tersebut. Salah cara untuk mendeteksi posisi tersebut adalah memanfaatkan pantulan gelombang ultrasonik. Jarak obyek (x) yang merepresentasikan pergerakan suatu material dihitung menggunakan persamaan berikut [7],

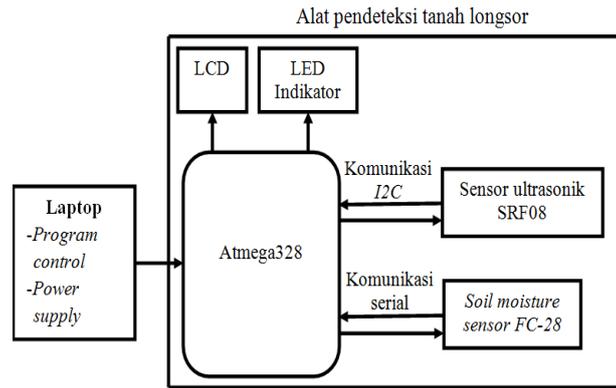
$$x = \frac{v \cdot t_{IN}}{2} \quad (1)$$

dengan v adalah cepat rambat gelombang ultrasonik di udara (344 ms^{-1}) dan t_{IN} merupakan selisih waktu pemancaran dan penerimaan gelombang (s).

Sementara itu, berkurangnya gaya penahan lereng akan memperbesar peluang terjadinya longsor. Adapun faktor yang mempengaruhi berkurangnya gaya penahan lereng adalah kandungan air dalam tanah tersebut yang diakibatkan curah hujan yang tinggi. Kandungan air dalam tanah mengindikasikan jumlah air yang ditahan di dalam tanah setelah kelebihan air dialirkan [8]. Kandungan air ini dapat ditentukan secara langsung melalui pengukuran perbedaan berat tanah (*gravimetric method*) dan perbedaan volume (*volumetric method*). Selain itu, juga dapat ditentukan secara tidak langsung melalui pengukuran sifat-sifat yang berkaitan erat dengan daya hantar listrik (*resistance method*) dan tegangan (*voltage method*) [9].

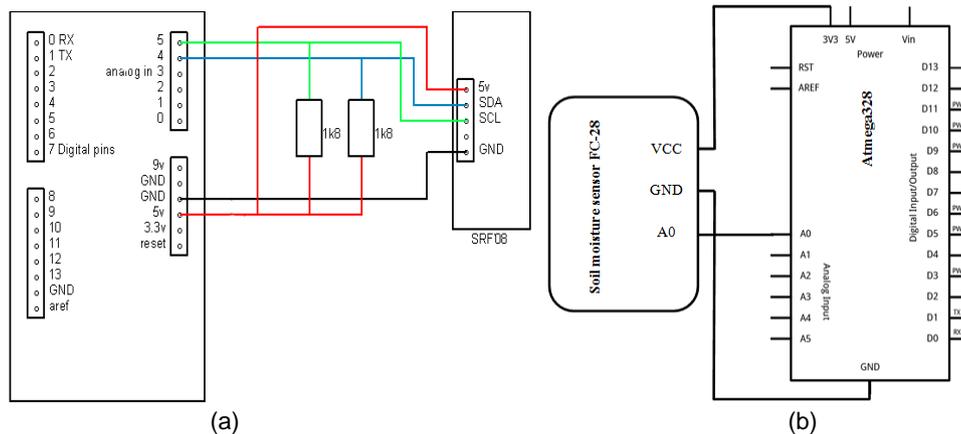
Pengukuran kandungan air dalam tanah berdasarkan daya hantar listrik dapat dilakukan dengan memanfaatkan sensor *soil moisture (sensor FC-28)*. Sensor *FC-28* terdiri dua *probe* yang berfungsi melewatkan arus melalui tanah, kemudian membaca resistansinya untuk mendapatkan nilai kandungan air dalam tanah [10]. Semakin banyak air yang terkandung di dalam tanah akan membuat tanah lebih mudah menghantarkan arus listrik (resistansi kecil), sedangkan tanah yang kering sangat sulit menghantarkan arus listrik (resistansi besar) [11].

Pada tahap awal dilakukan perancangan dan pembuatan prototipe sistem akuisisi pendeteksian pergeseran tanah dengan blok diagram seperti pada Gambar 1. Alat pendeteksi ini tersusun dari sensor jarak (sensor ultrasonik SRF08), sensor kandungan air (*soil moisture sensor FC-28*), yang dikontrol menggunakan mikrokontroler Atmega328 dengan luaran ditampilkan pada modul *LCD (Liquid Crystal Display)*.



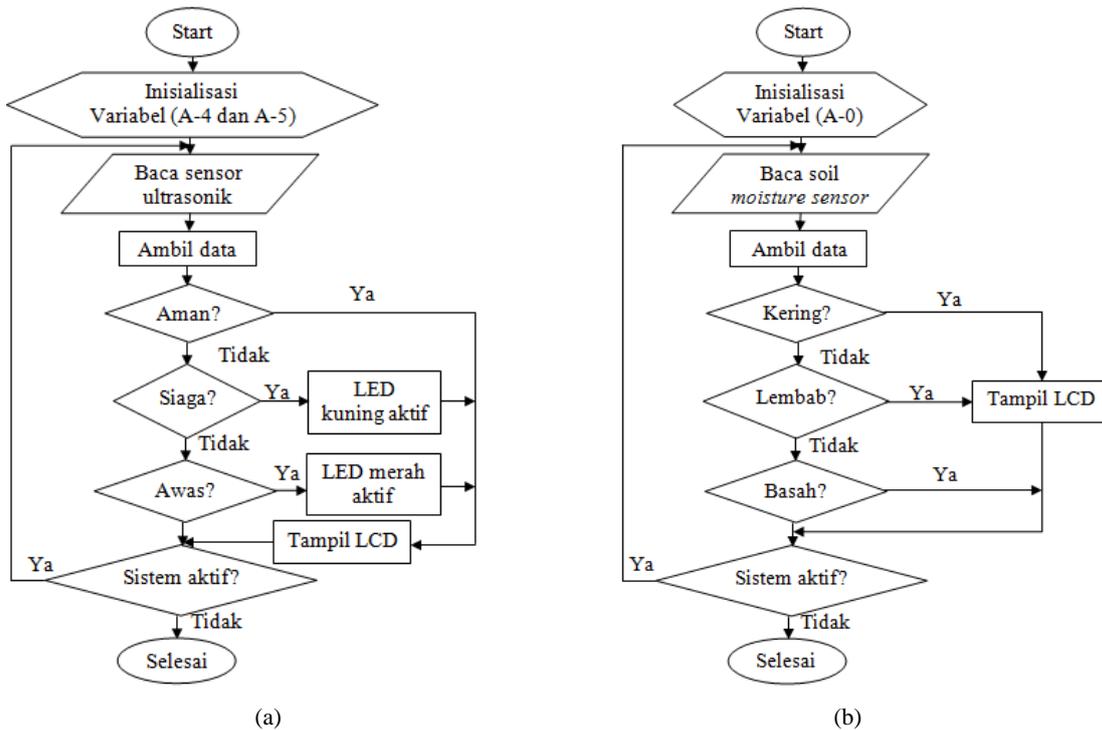
Gambar 1. Skematik rancangan sistem pendeteksi pergeseran tanah.

Perakitan sensor jarak ultrasonik SRF08 pada mikrokontroler Atmega328 dilakukan dengan cara menghubungkan pin sensor dengan pin analog input mikrokontroler Atmega328 (Gambar 2a). Komunikasi sensor ini dengan mikrokontroler dilakukan melalui I2C (*Inter Integrated Circuit*), yaitu suatu sistem komunikasi data serial dengan mengirimkan data secara serial menggunakan jalur data dua arah. Rentang jarak yang dapat dibaca oleh sensor ultrasonik SRF08 adalah 3 cm hingga 6 m [12]. Sementara itu, untuk pendeteksian kandungan air dalam tanah digunakan sensor FC-28. Dalam perangkaiannya, pin sinyal output sensor dihubungkan dengan pin analog input (A0) mikrokontroler Atmega328 (Gambar 2b) dan sumber tegangan yang digunakan untuk sensor ini sebesar 3,3V. Selanjutnya hasil akuisisi data dari sensor ditampilkan melalui modul LCD.



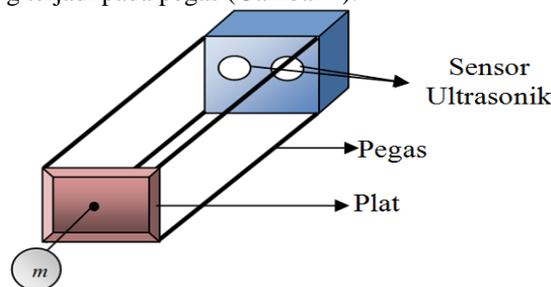
Gambar 2. Skema rangkaian: (a) sensor ultrasonik SRF08, (b) rangkaian sensor FC-28.

Pada Gambar 3 ditampilkan diagram alir sistem kerja alat berdasarkan data sensor kandungan air dalam tanah dan pergeseran tanah yang diakibatkannya. Sensor kandungan air dalam tanah membaca arus listrik yang ada dalam tanah dengan *output analog* (pada port A-0). Hasil pembacaan sensor dimasukkan ke ADC untuk diolah menjadi data digital dan akan diterjemahkan menjadi angka. Angka tersebut akan diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu kering, lembab dan basah. Tanah dikatakan kering apabila mengandung air kurang dari 50%, dikatakan lembab jika mengandung air mulai dari 50% hingga 60%. Sedangkan dikatakan basah jika mengandung air hingga di atas 60%.



Gambar 3. Diagram alir sistem pendeteksi dini bencana tanah longsor:(a) diagram alir kerja sensor ultrasonik SRF08, (b) diagram alir kerja sensor soil moisture FC-28

Sementara itu, untuk sensor jarak akan memberikan informasi adanya pergerakan tanah melalui pendeteksian peregangan yang terjadi pada pegas (Gambar 4).



Gambar 4. Skema sistem mekanik pendeteksi pergeseran tanah

Sensor jarak memberikan keterangan pergerakan tanah (dalam cm). Jika nilai yang dibaca sensor tersebut termasuk ke dalam kategori “Aman” berdasarkan data tabel klasifikasi (Tabel 1) maka nilai tersebut hanya akan ditampilkan pada LCD. Sementara itu, jika tidak dalam kategori “Aman” maka sistem akan mengecek kembali apakah nilai tersebut termasuk ke dalam kategori “Siaga”. Jika benar, maka nilai tersebut akan ditampilkan pada LCD disertai dengan aktifnya lampu LED (*light-emitting diode*) kuning, jika tidak maka nilai tersebut berada dalam kategori “Awat” dan akan ditampilkan pada LCD disertai dengan aktifnya LED merah.

Tabel 1. Klasifikasi data sensor jarak SRF08 [8]

No.	Level jarak	Jarak (cm)
1	Aman	<25
2	Siaga	25 < Jarak ≤ 60
3	Awat	>60

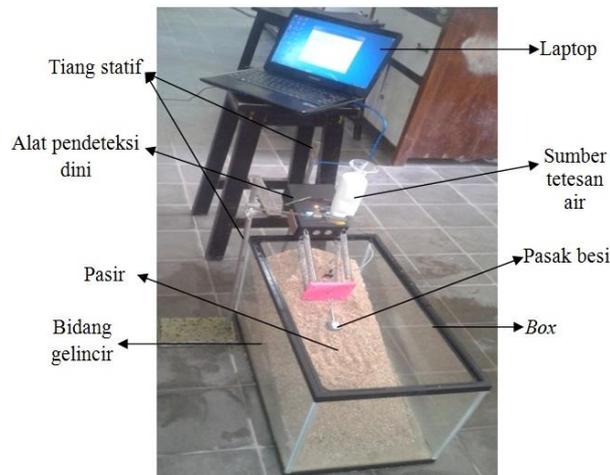
Pada tahap kedua dilakukan ujicoba kerja sensor. Pada tahap ini terbagi menjadi dua bagian yaitu pengujian sensor jarak dan sistem kerja LED indikator. Pengujian dilakukan dengan cara pemberian beban (m) pada alat mekanik (Gambar 4) dengan massa 0,5 kg hingga 3,5 kg dengan rentang 0,5 kg. Selanjutnya, dilakukan pengurangan jumlah beban dengan rentang yang sama pada saat penambahan beban untuk

mengetahui tingkat keakurasian sensor. Untuk pengujian indikator *LED* dilakukan dengan melihat apakah LED aktif sesuai dengan rentang jarak yang telah ditentukan. Untuk mendapatkan nilai ketelitian sensor, maka pengujian dilakukan dengan pembandingan mista. Error relatif sensor dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

$$\% \text{ Error} = \frac{|\text{bacaan sensor} - \text{bacaan mistar}|}{\text{bacaan sensor}} \times 100 \quad (2)$$

Selanjutnya dilakukan pengujian untuk kerja sensor *soil moisture*. Pada tahap ini digunakan dua sampel pasir yang memiliki ukuran butir 850 μm dengan massa 1029,7 gram dan 1846 gram serta dua sampel pasir yang memiliki ukuran butir lebih dari 850 μm dengan massa 1029,7 gram dan 1846 gram. Sebelum sampel pasir digunakan, dilakukan proses pengeringan sampel menggunakan oven selama rentang waktu 20 menit pada suhu 200°C. Penentuan kandungan air dalam tanah, dilakukan dengan cara menancapkan sensor ke dalam sampel pasir pertama yang memiliki ukuran butir 850 μm dan lebih dari 850 μm dengan massa 1029,7 gram. Selanjutnya dilakukan penambahan air sebanyak 1 ml hingga 19 ml dengan rentang 1 ml dan dicatat nilai yang terbaca. Hal yang sama juga dilakukan pada sampel pasir yang memiliki ukuran butir 850 μm dan lebih dari 850 μm dengan massa 1846 gram.

Pada tahap berikutnya dilakukan pengujian sistem keseluruhan di laboratorium menggunakan bidang gelincir dengan sudut elevasi 30° dan kandungan air yang berbeda-beda dalam sebuah kotak berukuran 60 cm x 30 cm x 36 cm berbahan akrilik seperti tampak pada Gambar 5. Pada pengujian ini digunakan bidang gelincir berupa plat kaca. Material pasir (pasir putih) yang dimasukkan ke dalam kotak untuk mengisi bidang miring membentuk suatu bukit. Kedua sensor dipasang pada bidang miring tersebut. Selanjutnya bukit dilongsorkan menggunakan hujan buatan yang berupa tetesan air yang berasal dari sebuah tabung dengan kapasitas 300 ml, dimana posisi tabung berada tepat di atas bukit buatan.



Gambar 5. Pengujian alat pendeteksi longsoran material di laboratorium

Proses terjadinya longsoran diukur dengan peralatan yang telah dikembangkan. Kemudian dilakukan langkah yang sama untuk penambahan air hingga 5400 ml dengan rentang 300 ml menggunakan tabung tetesan air. Untuk pengujian pergerakan pasir, digunakan pedoman yang diperlihatkan pada Tabel 2.

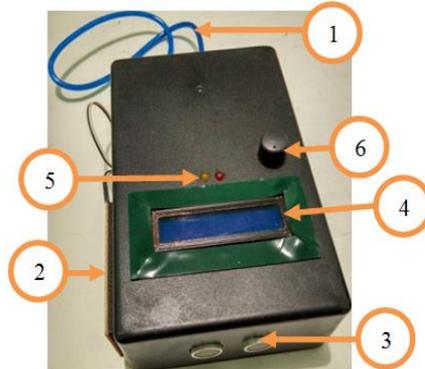
Tabel 2. Pedoman pengujian pergerakan pasir [8]

No.	Level jarak	Jarak (cm)
1	Aman	<39
2	Siaga	39 < Jarak ≤ 140
3	Awas	>140

HASIL PERANCANGAN DAN PENGUJIAN SISTEM

Hasil Perancangan

Adapun hasil perancangan instrumen sistem pendeteksi tanah longsor secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 6 dimana bentuk fisik dari instrumen terdiri dari 1) Kabel USB, 2) *Soil moisture sensor FC-28*, 3) Sensor ultrasonik SRF08, 4) LCD, 5) LED Indikator, dan 6) *Knob* potensiometer.

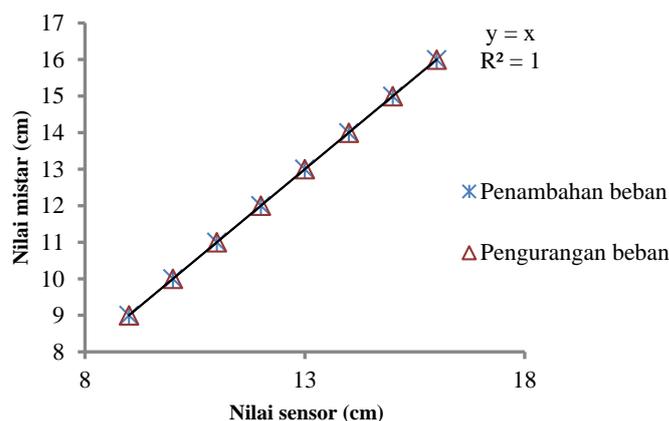


Gambar 6. Hasil perancangan instrumen pendeteksi tanah longsor

Hasil Pengujian Sistem

Pengujian Keakurasian Sensor Ultrasonik SRF08

Berdasarkan hasil pengujian, terlihat bahwa sensor telah mampu menunjukkan perbedaan nilai dalam setiap kondisi yang dilakukan pada saat uji coba. Sensor ultrasonik yang digunakan dapat bekerja dengan tingkat keakurasian yang sangat baik. Begitu pula dengan *LED* indikator telah bekerja sesuai perintah. Hubungan antara berat beban dan simpangan plat terhadap sensor dapat dilihat pada Gambar 7. Hubungan antara nilai sensor dengan nilai mistar dinyatakan dalam persamaan regresi linier $y = x$, dengan koefisien determinasi (R^2) bernilai 1. Hal ini menunjukkan adanya ketepatan antara nilai yang ditunjukkan oleh sensor dan nilai aktual yang ditunjukkan oleh mistar.



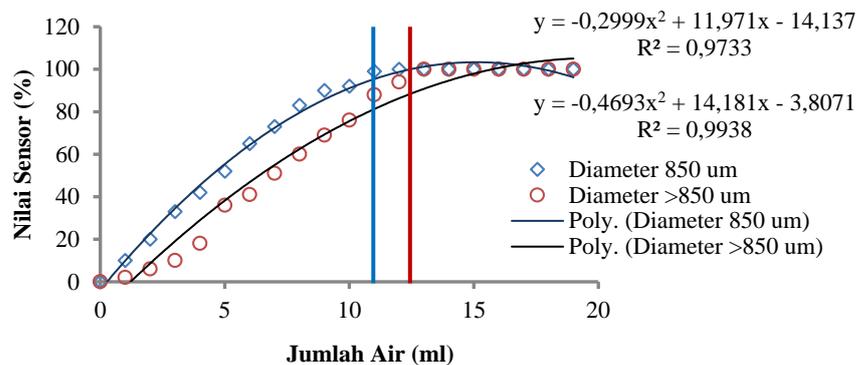
Gambar 7. Grafik hasil pengujian keakurasian sensor ultrasonik SRF08 dengan pembanding mistar

Grafik pada Gambar 11 menunjukkan bahwa semakin besar massa benda yang ditambahkan pada plat maka simpangan plat terhadap sensor akan semakin besar, begitu pula sebaliknya. Hal ini dikarenakan massa dari benda yang digantungkan pada plat lebih besar dibandingkan massa plat. Sehingga, kuat geser dari plat semakin kecil. Jika kuat geser dari plat semakin kecil, maka gaya penahan plat akan semakin kecil pula. Sementara itu, gaya tarik yang diakibatkan oleh benda yang digantungkan pada plat semakin besar. Besarnya gaya tarik yang diakibatkan oleh benda tersebut mengakibatkan plat bergeser menjauhi sensor. Pergeseran plat tersebut menyebabkan waktu yang dibutuhkan sensor untuk memancarkan dan menerima gelombang

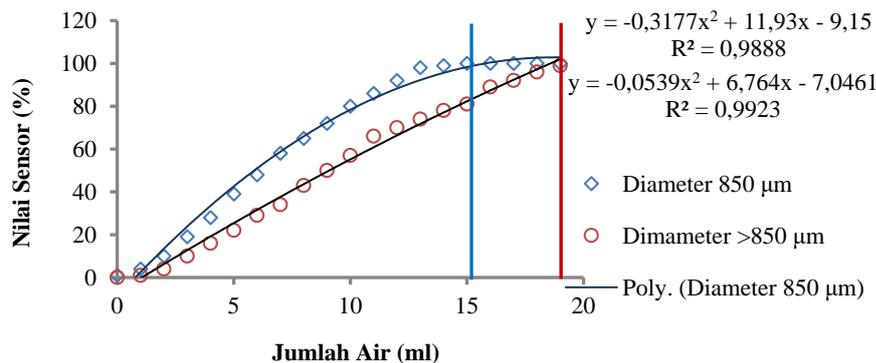
ultrasonik akan semakin besar. Sehingga jarak yang terdeteksi oleh sensor ultrasonik semakin besar. Selain itu, unjuk kerja sensor berdasarkan sensitivitas sensor diperoleh sebesar 2 cm/kg. Setiap penambahan beban sebesar 1 kg, mengakibatkan perubahan jarak atau simpangan plat terhadap sensor sejauh 2 cm.

Pengujian Soil Moisture Sensor FC-28

Hasil pengujian *soil moisture sensor FC-28* menunjukkan bahwa sensor beroperasi dengan baik. Ketika material pasir dalam keadaan kering, sensor menunjukkan persentase kandungan air sebesar 0% hingga 49%, untuk keadaan lembab sebesar 50% hingga 60% dan keadaan basah di atas 60%. Hubungan antara jumlah air dengan persentase kandungan air di dalam pasir dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Grafik hasil pengujian *soil moisture sensor FC-28* pada sampel pasir dengan massa 1029,7 gram

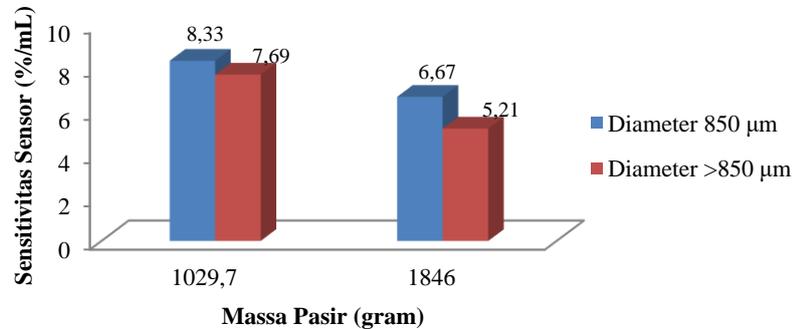


Gambar 9. Grafik hasil pengujian *soil moisture sensor FC-28* pada sampel pasir dengan massa 1846 gram.

Pada kedua grafik tersebut, terlihat bahwa pasir dengan massa dan ukuran diameter berbeda memiliki kandungan air yang semakin meningkat seiring dengan peningkatan jumlah air. Hal ini dikarenakan peningkatan jumlah air dalam pasir menyebabkan pasir lebih mudah menghantarkan arus listrik atau nilai konduktivitas material meningkat. Tingginya nilai konduktivitas material (pasir) mengindikasikan tingginya kandungan air dalam pasir tersebut. Selain itu, terlihat pula semakin besar ukuran diameter pasir, semakin kecil nilai kandungan airnya. Hal ini berkaitan erat dengan tekstur suatu material. Tekstur suatu material mengindikasikan kemampuan material tersebut dalam menahan air. Material dengan tekstur yang lebih halus (ukuran diameter butir lebih kecil) memiliki kapasitas menahan air yang lebih besar dibandingkan dengan material dengan tekstur yang lebih kasar (ukuran diameter butir lebih besar). Semakin besar kemampuan material dalam menahan air, maka kandungan air di dalamnya akan semakin meningkat atau sebaliknya. Besarnya ukuran diameter pasir menyebabkan luas penampang tiap-tiap butir pasir semakin besar pula. Jika luas penampang semakin besar dan arus yang mengalir semakin kecil, maka resistivitas yang dihasilkan material tersebut akan semakin besar yang berarti bahwa kandungan air dalam pasir akan semakin berkurang.

Tingkat kinerja sensor dapat diamati pada *range* kerja yang meliputi daerah aktif dan daerah saturasi serta sensitivitas sensor. Rentang daerah aktif dan saturasi sensor ditandai dengan garis lurus pada Gambar 8 dan Gambar 9. Untuk sensitivitas sensor yang ditunjukkan masing-masing hasil pengujian ditampilkan pada Gambar 10. Gambar tersebut menunjukkan bahwa grafik sensitivitas sensor pada massa dan diameter pasir

yang berbeda menunjukkan pola yang sama, dimana untuk massa pasir yang lebih kecil menghasilkan sensitivitas sensor yang lebih tinggi pada diameter pasir yang lebih kecil dibandingkan dengan diameter pasir yang lebih besar. Hal yang serupa juga ditunjukkan untuk massa pasir yang lebih besar, dimana sensitivitas yang menunjukkan besarnya perubahan nilai kandungan air akibat penambahan jumlah air ke dalam pasir sangat dipengaruhi oleh massa dan diameter butir material.

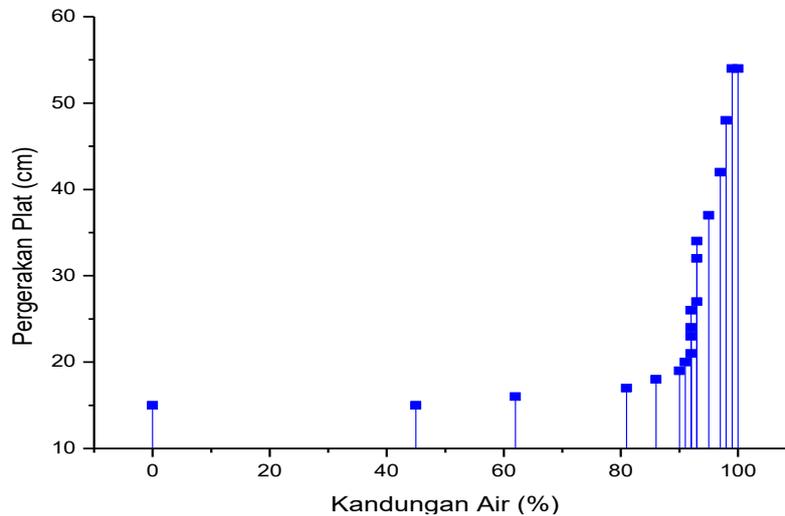


Gambar 10. Grafik tingkat sensitivitas *soil moisture sensor FC-28* pada sampel pasir

Pengujian Sistem Keseluruhan

Sistem pendeteksi tanah longsor bekerja ketika kondisi terjadi hujan atau setelahnya, dimana *sensor soil moisture FC-28* mendeteksi kandungan air dalam pasir. Sementara itu, jika terjadi pergeseran posisi plat menjauhi sensor pada kandungan air tertentu, maka sensor ultrasonik SRF08 akan mendeteksi perubahan jarak plat tersebut dan selanjutnya *LED* indikator akan menyala sesuai dengan *range* jarak yang telah ditentukan.

Pengujian pada tahap ini dilakukan selama 905,09 detik (15,08 menit) dengan melihat pergerakan plat yang merepresentasikan pergerakan material pasir akibat kandungan air yang berbeda-beda (Gambar 5). Keadaan awal dibuat dengan kandungan air sebesar 0% dan jarak simpangan plat sejauh 15 cm. Data hasil pengujian menghasilkan grafik hubungan antara kandungan air dan pergerakan plat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik hubungan antara kandungan air dalam pasir dan pergerakan plat

Pada grafik di atas, terlihat bahwa semakin tinggi kandungan air dalam pasir maka plat akan bergeser semakin menjauhi alat. Hal ini dikarenakan tingginya kandungan air menyebabkan massa pasir semakin bertambah besar pula. Massa pasir sebanding dengan gaya berat yang dihasilkan, yang berarti bahwa gaya pendorong pada bukit semakin besar. Disisi lain, bidang gelincir dibuat dari bahan kaca yang memiliki kuat geser yang relatif kecil (licin). Kuat geser pada suatu bidang miring (bukit) sebanding dengan gaya penahan pada bidang tersebut. Apabila kandungan air semakin tinggi, maka gaya pendorong pada bukit akan semakin

besar dan gaya penahan pada bukit akan semakin kecil. Pada suatu keadaan tertentu bukit tidak mampu lagi mempertahankan kestabilannya. Keadaan tersebut menyebabkan potensi terjadinya longsor pasir akan semakin besar. Pada Gambar 11 terlihat pula pada rentang kandungan air dari 45%-91% pergeseran plat relatif lambat, sementara pada kandungan air di atas 91% pergeseran plat sangat cepat yaitu pada rentang jarak 21 cm hingga 54 cm. Hal ini disebabkan oleh air dalam jumlah yang sangat besar meresap ke dalam pasir hingga ke lapisan kedap air (bidang gelincir). Apabila air telah sampai pada lapisan kedap air, maka akan semakin memperkecil kuat geser pada bidang tersebut. Sehingga proses terjadinya longsor pasir akan semakin cepat dan material penyusun bukit akan bergerak ke bawah pada jarak yang relatif jauh. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan air pada suatu material memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap pergerakan material tersebut.

KESIMPULAN

Telah dibuat suatu sistem pendeteksi dini tanah longsor yang tersusun atas alat pendeteksi pergerakan tanah yang dibuat dari sensor ultrasonik SRF08 dan *soil moisture sensor FC-28* yang terhubung dengan mikrokontroler Atmega328. Sistem pendeteksi ini memiliki tingkat sensitivitas sebesar 2cm/kg untuk sensor ultrasonik dan 5,21%/ml hingga 8,33%/ml untuk sensitivitas sensor kandungan air.

Pada pengujian pergerakan sampel material pasir, kandungan air memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap pergerakan pasir. Pergerakan pasir mencapai titik maksimum pada jarak 54 cm pada kandungan air sebesar 99% hingga 100%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kami sampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi atas dukungan dana melalui program Hibah Bersaing 2016.

REFERENSI

1. H. C. Hardiyatmo, *Tanah Longsor & Erosi, Kejadian dan Penanganan*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press (2012).
2. S. Paimin dan Irfan Budi Pramono, *Teknik Mitigasi Banjir dan Tanah Longsor*, Bogor: Tropenbos International Indonesia Programme (2009).
3. P. Supriyono, *Seri Pendidikan Pengurangan Risiko Bencana Tanah Longsor*, Yogyakarta: C.V ANDI OFFSET (2014).
4. Lisnawati, S.W. Suciati dan Warsito, *Rancang bangun Sensor Extensometer Elektris sebagai Pendeteksi Pergeseran Permukaan Tanah dan Sistem Akuisisi Data pada Komputer*, Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika **1** (2013).
5. E. Intrieri, G. Gigli, F. Mugnai, R. Fanti, dan N. Casagli, *Design and implementation of a landslide early warning system*, Engineering Geology Journal, 147–148 (2012).
6. B. Saptadi, *Pembuatan Peta Zona Daerah Bahaya Gerakan Tanah Berdasarkan Analisis Kestabilan Lereng dalam Upaya Pengelolaan Lingkungan*, Tesis Ilmu Lingkungan (2004).
7. R. Sulistyowati, H.A. Sujono dan A.K. Mustofa, *Sistem Pendeteksi Banjir Berbasis Sensor Ultrasonik dan Mikrokontroler dengan Media Komunikasi SMS Gateway*, Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III (2015).
8. S.H. Gani, D.T. Musa, dan A. Nismayanti, *Rancang Bangun Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Soil Moisture Sensor Sen0057 Berbasis Mikrokontroler Atmega328p*, Gravitasi **13** (2013).
9. M.H. Pandutama, A.A. Mudjiharjati, Suyono, dan Wustamidin, *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Universitas Jember Press (2003).
10. A. Gaddam, M Al-Hrooby, dan W. F. Esmael, *Designing A Wireless Sensor Network for Monitoring and Predicting Droughts*, Proceedings of the 8th International Conference on Sensing Technology, Liverpool, UK (2014).
11. I. M. Sudana, *Alat Ukur Kadar Air dalam Tanah (Soil Tester) Berbasis Mikrokontroler AT89C51*, Jurnal Teknik Elektro **2** (2010).
12. www.robot-electronics.co.uk/htm/srf08tech.html, *SRF08 Ultra Sonic Range Finder Datasheet*, diakses pada tanggal 22 Februari 2016.