

**IMPLEMENTASI EKTENSOMETER UNTUK MONITORING PERGESERAN
PERMUKAAN TANAH DI SEKITAR JALUR KERETA API
PADA LOKASI KM 107 PURWAKARTA**

**THE IMPLEMENTATION OF EKSTENSOMETER TO MONITOR THE LANDSLIDE
OF KM 107 RAILROAD PURWAKARTA**

¹Andi Setiono, ²Arif Anwar, dan ³Bambang Widiyatmoko

^{1/3}Pusat Penelitian Fisika LIPI, Kawasan PUSPIPTK Serpong Gd. 442, Tangerang Selatan - Indonesia

²Puslitbang Transportasi Jalan dan Perkeretaapian, Jl. Medan Merdeka Timur No. 5 Jakarta - Indonesia

¹andisetiono@gmail.com/andi.setiono@lipi.go.id

²aantsp@yahoo.com

³widiyatmokobambang@yahoo.com

Diterima: 2 Mei 2016, Direvisi: 9 Mei 2016, Disetujui: 30 Mei 2016

ABSTRACT

The number of railways users are increasing annually. Thus, stakeholder need to improve the transport safety and security system, especially for the anticipation system towards natural disaster. One of common disaster occurred on the railway track is landslide. Many factors are causing landslide, they are unstable soil, rainfall and high level water in the soil. Some of landslide incidents on railway track were caused the train to derail and it became a threat toward the railways user. For this, there is a need of landslide early warning system by implementing ground movement monitoring system on the track which considered landslide-prone. Ekstensometer is one of the tools that can be used to detect soil movement in a region. In this research, ekstensometer was developed using a rotary encoder as its main component. The result of the study showed that infiltration of rainwater into the soil may cause the soil layer easily to slope and unstable. Shifting ground in the location of measurement occurred for between 3,5 mm and 10 mm on heavy rainfall. The research and observation conducted at the railroad track for Cikampek - Padalarang in Km 107+335, Purwakarta region, West Java. The results of the research are expected to be significant information as the basis data in order to prevent any landslide on the railroad infrastructure.

Keywords: *ekstensometer, early warning system, railroad infrastructure, landslide*

ABSTRAK

Pengguna moda transportasi kereta api tercatat meningkat dari tahun ke tahun. Pihak stakeholder perlu meningkatkan sistem keselamatan dan keamanan transportasi, terutama sistem antisipasi terhadap kejadian bencana alam. Salah satu bencana yang cukup sering terjadi pada jalur kereta api adalah tanah longsor. Banyak faktor yang dapat menyebabkan terjadinya tanah longsor, antara lain struktur lapisan tanah yang labil, curah hujan, dan tingginya kadar air di dalam tanah. Beberapa kejadian tanah longsor pada jalur kereta api dapat menyebabkan anjlok dan menjadi suatu ancaman terhadap keamanan dan keselamatan perjalanan kereta api. Oleh karena itu, perlu dilakukan antisipasi terhadap kejadian tanah longsor secara dini, yaitu dengan menerapkan sistem monitoring pergerakan tanah pada jalur yang dianggap rawan longsor. Ekstensometer adalah salah satu piranti yang dapat digunakan untuk mendeteksi pergeseran permukaan tanah pada suatu wilayah. Pada penelitian ini ekstensometer dikembangkan dengan menggunakan rotary encoder sebagai komponen utamanya. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa infiltrasi air hujan kedalam tanah menyebabkan lapisan tanah cenderung mudah bergerak dan labil. Pergeseran permukaan tanah di lokasi pengukuran mencapai 3,5 mm dan 10 mm pada saat terjadi curah hujan tinggi. Penelitian dan pengamatan dilakukan di sekitar rel kereta api jalur Cikampek - Padalarang km 107+335, Kabupaten Purwakarta - Jawa Barat. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi informasi penting untuk melakukan langkah-langkah penanganan dan pencegahan tanah longsor pada prasarana rel kereta api.

Kata Kunci: *ekstensometer, sistem peringatan dini, prasarana jalan kereta api, tanah longsor*

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki struktur geografis yang terdiri dari banyak pegunungan dan struktur morfologi yang berbukit-bukit. Kondisi ini dapat memunculkan kerawanan berupa bencana tanah longsor. Banyak kasus kecelakaan kereta api bukan hanya disebabkan oleh kesalahan manusia (*human error*) atau petugas semata akan tetapi dapat juga diakibatkan oleh sarana dan prasarana yang tidak berfungsi dengan

baik dan rusak. Pada tanggal 4 April 2014, kereta api Malabar jurusan Bandung-Malang terguling di kawasan Ciawi, Kabupaten Tasikmalaya akibat menabrak reruntuhan longsor tanah sebuah bukit yang menutup lintasan rel kereta (www.merdeka.com). Kejadian ini mengakibatkan terputusnya jalur kereta api lintas selatan dan menimbulkan korban jiwa. Oleh karena itu diperlukan langkah antisipasi

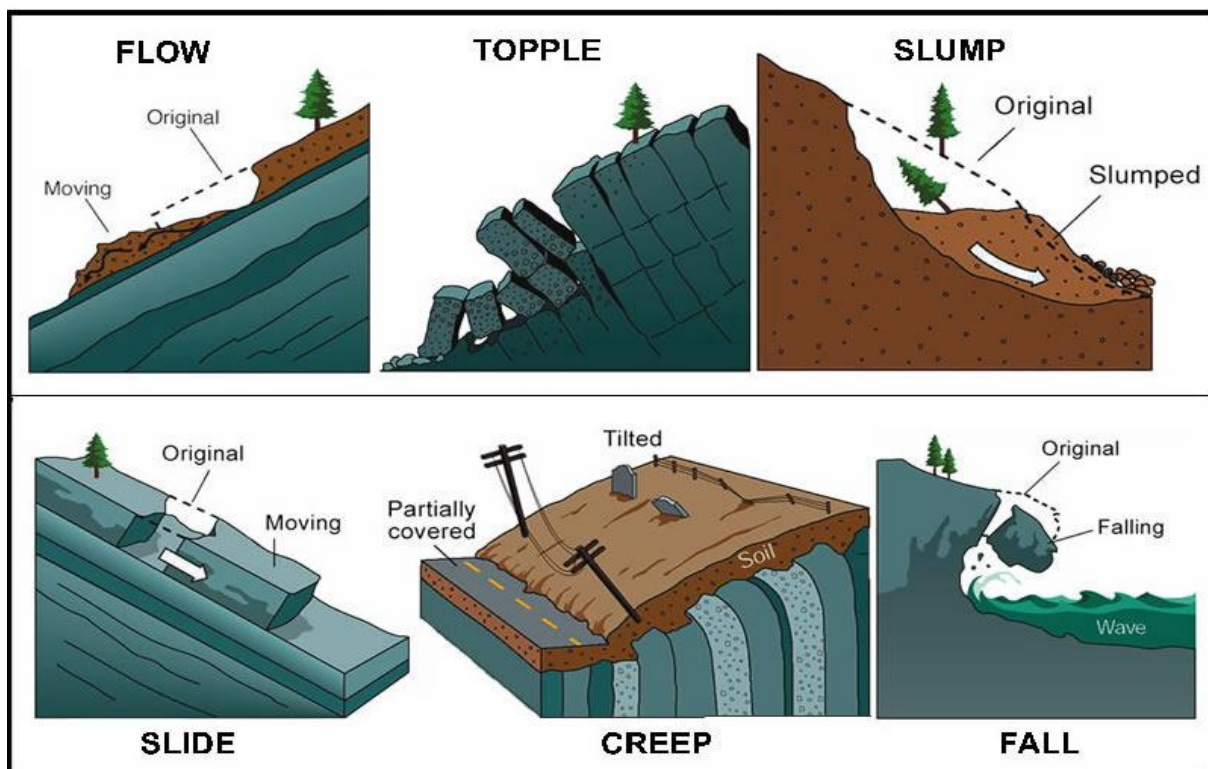
berupa pemantauan pergerakan tanah secara rutin dan berkelanjutan. Pemantauan pergerakan tanah dapat dilakukan dengan memasang sensor pergeseran tanah (ekstensometer) dan sensor kemiringan tanah (inklinometer). Selain itu juga diperlukan informasi intensitas air yang dapat diperkirakan dengan sensor curah hujan. Pada penelitian ini telah dilakukan pemasangan ekstensometer sebagai sistem monitoring pergerakan tanah di area sekitar jalur kereta api. Sistem monitoring pergerakan tanah sangat relevan untuk dipasang di sekitar rel kereta api untuk mengetahui kondisi pergeseran tanah pada suatu jalur kereta api. Implementasi sistem monitoring pergerakan tanah dilakukan di sekitar rel kereta api jalur Cikampek-Padalarang km 107+335 di Purwakarta. Hasil pembacaan sensor pergeseran tanah diharapkan dapat memberikan informasi atau bahan masukan tentang kondisi tanah pada suatu lokasi dalam rangka tindakan penanganan terhadap prasarana jalan kereta api.

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah longsor adalah salah satu bencana geologi yang umumnya dipicu oleh hujan lebat (Tejakusuma, 2007). Tanah longsor juga dapat disebabkan oleh terganggunya stabilitas kemiringan lereng yang memungkinkan memindahkan massa tanah di atasnya (Varnes, D.J, 1984). Pada prinsipnya, tanah longsor terjadi karena berkurangnya gaya penahan pada lapisan tanah. Gaya penahan

umumnya dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah. Sedangkan gaya pendorong dipengaruhi oleh besarnya sudut kemiringan lereng, air, beban serta berat jenis tanah batuan. Disamping itu faktor yang tidak kalah besar perannya terhadap kejadian tanah longsor adalah intensitas curah hujan yang tinggi (Varnes, D.J., 1984). Musim kering yang panjang menyebabkan terjadinya penguapan air di atas permukaan tanah dalam jumlah besar, sehingga mengakibatkan munculnya pori-pori atau rongga-rongga dalam tanah, yang mengakibatkan terjadinya retakan dan rekahan permukaan tanah. Pada waktu turun hujan, air akan menyusup ke bagian tanah yang retak sehingga dengan cepat tanah akan mengembang kembali. Pada awal musim hujan dan intensitas hujan yang tinggi kandungan air pada tanah menjadi jenuh dalam waktu singkat. Hujan lebat yang turun pada awal musim dapat menimbulkan longsor, karena air akan masuk melalui tanah yang merekah kemudian terakumulasi dibagian dasar lereng, sehingga menimbulkan gerakan lateral.

Beberapa jenis longsor yang sering terjadi dimana biasanya tanah longsor didahului oleh pergeseran lapisan tanah di dalam bukit secara group (bongkahan). Oleh karena itu pokok masalah dalam deteksi tanah longsor adalah diperlukannya sensor pergeseran permukaan dan sensor inklinometer yang termonitor secara terus-menerus.



Sumber: <http://psda-online.blogspot.co.id/2013/01/6-jenis-tanah-longsor.html>

Gambar 1.
Jenis-jenis Longsor.

Lereng gunung yang gundul dan rapuhnya bebatuan serta kondisi tanah yang tidak stabil mengakibatkan penurunan kemampuan tanah untuk menahan air di saat terjadi hujan lebat. Penambangan tanah, batu, atau pasir yang tidak terkendali juga bisa menjadi pemicu bencana ini. Manusia seharusnya tidak menggunduli hutan, menambang tanah atau pasir atau bebatuan dalam jumlah besar yang akan mengganggu kestabilan tanah dan memicu terjadinya longsor.

Gejala terjadinya tanah longsor (<http://psda-online.blogspot.co.id/2013/01/6-jenis-tanah-longsor.html>):

1. Munculnya retakan di lereng-lereng yang arahnya sejajar dengan tebing.
2. Air sumur yang keruh di sekitar lereng.
3. Munculnya air di permukaan tanah pada lokasi yang baru secara tiba-tiba.
4. Rapuhnya tebing dan kerikil mulai berjatuhan.

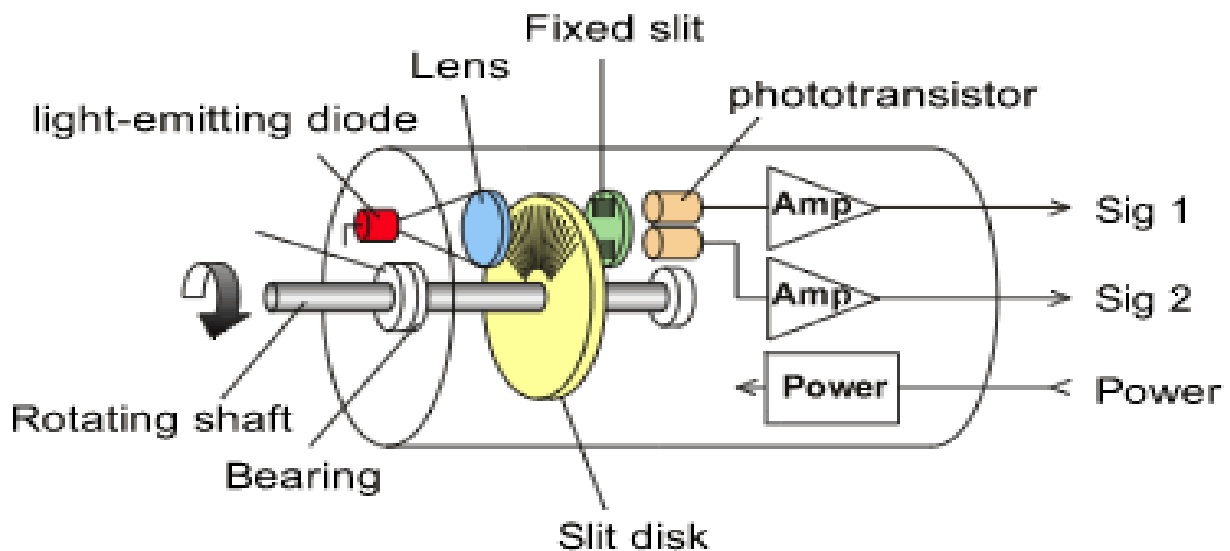
Tindakan untuk mencegah bencana tanah longsor antara lain dengan tidak menebangi hutan, menanam tumbuhan berakar kuat seperti lamtoro, bambu, akar wangi, dan tumbuhan lainnya pada lereng yang gundul, membuat saluran air hujan, membangun tembok penahan di lereng yang terjal, juga mengukur tingkat kekerasan air hujan dan memeriksa keadaan tanah secara rutin dan kontinu.

Tanah longsor dapat dideteksi sejak dini dengan cara mengukur parameter fisis berupa pergeseran permukaan tanah dan kemiringan lereng.

Pengukuran parameter ini dapat diimplementasikan melalui sistem monitoring pergerakan tanah yang berkelanjutan (Dwi Bayuwati, Dkk., 2013). Sistem monitoring pergerakan tanah dapat terdiri dari sensor pergeseran tanah (ekstensometer), sensor kemiringan tanah (inklinometer), sensor curah hujan dan sistem akuisisi dan transmisi data. Sistem ini dapat menjadi sumber informasi untuk melakukan berbagai tindakan antisipasi berkaitan dengan bencana tanah longsor pada suatu wilayah berpenduduk atau wilayah di sekitar sarana transportasi seperti jembatan dan rel kereta api.

METODOLOGI PENELITIAN

Ekstensometer elektronik berfungsi untuk mendeteksi pergeseran permukaan tanah, dan dapat juga diaplikasikan untuk mengetahui pergerakan antar pilar suatu jembatan. Sensor ini menggunakan *rotary encoder* sebagai komponen utamanya. Bagian-bagian *rotary encoder* terdiri dari bagian utama *rotary encoder* adalah *Light Emitting Diode* (LED), piringan yang memiliki lubang dengan jarak sama, dan fototransistor. Piringan diletakkan diantara LED dan fototransistor. Putaran piringan pada *rotary encoder* menyebabkan rambatan cahaya LED terganggu sehingga menimbulkan kondisi gelap terang yang dideteksi oleh fototransistor. Dengan melakukan *counter* keadaan ON atau OFF maka selanjutnya dapat dihitung nilai perputarannya. Gerak rotasi pada *rotary encoder* dapat dikonversi menjadi gerak translasi.



Sumber: https://www.onosokki.co.jp/English/hp_e/products/category/encoder2.htm

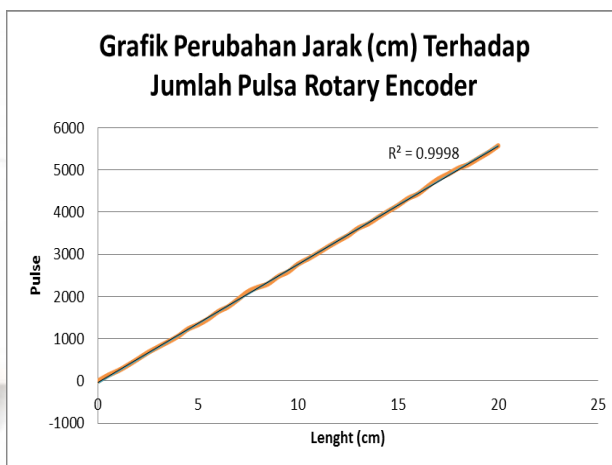
Gambar 2.
Bagian-bagian Rotary Encoder.

Ekstensometer pada penelitian ini dikarakterisasi dengan cara menarik setiap 0,5 mm dan memiliki spesifikasi 2000 *pulse/rotation*. Setiap tarikan akan dihitung berapa jumlah pulsa yang muncul sehingga dapat diketahui tingkat ketelitian sensor tersebut. Sensor ini memiliki keluaran berupa data digital

sehingga memudahkan dalam pengolahan data. Gambar prototipe ekstensometer ini ditunjukkan pada Gambar 3(a). Hasil karakterisasi ekstensometer *rotary encoder* ditunjukkan pada Gambar 3(b). Berdasarkan hasil karakterisasi ditunjukkan bahwa ekstensometer ini memiliki resolusi 0,036 mm.



(a)



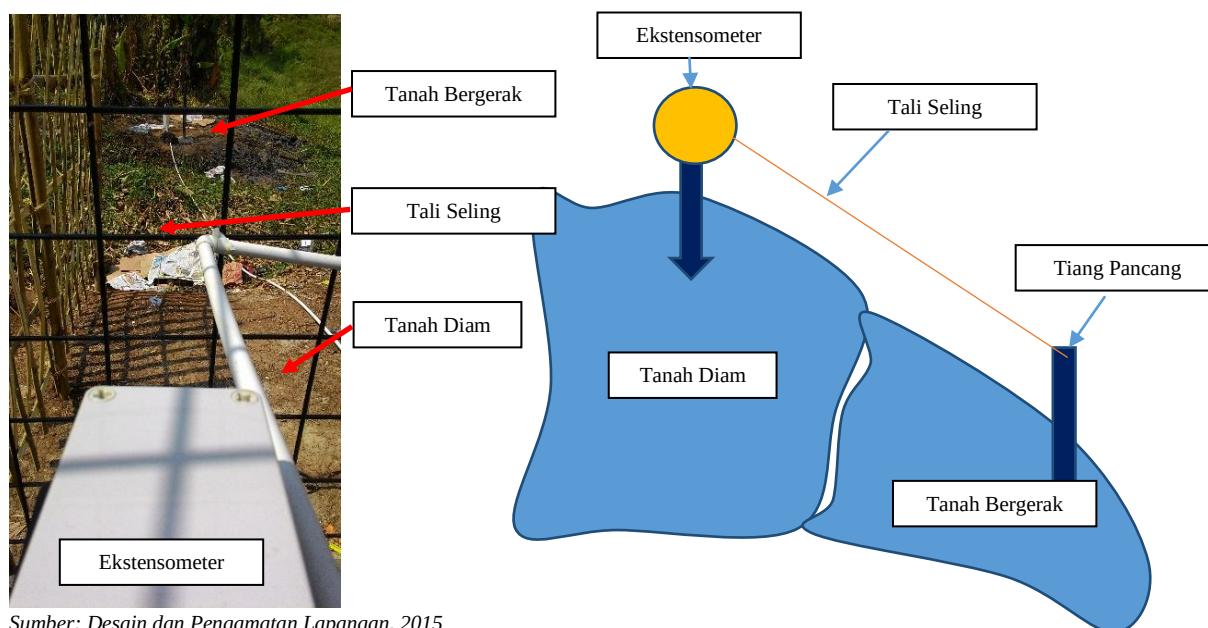
(b)

Sumber: Pengamatan Laboratorium, 2015

Gambar 3.
Foto Ekstensometer (a) dan Hasil Karakterisasi (b).

Cara pemasangan ekstensometer untuk mengukur pergeseran tanah, yaitu dengan menempatkan ekstensometer pada bagian tanah yang tidak bergerak (diam). Sedangkan kawat seling pada ekstensometer diikatkan ke tiang pancang yang

ditanam di bagian tanah bergerak. Apabila ada pergeseran tanah, maka tali seling akan tertarik oleh bongkahan tanah sehingga dapat memutar *rotary encoder* pada ekstensometer.

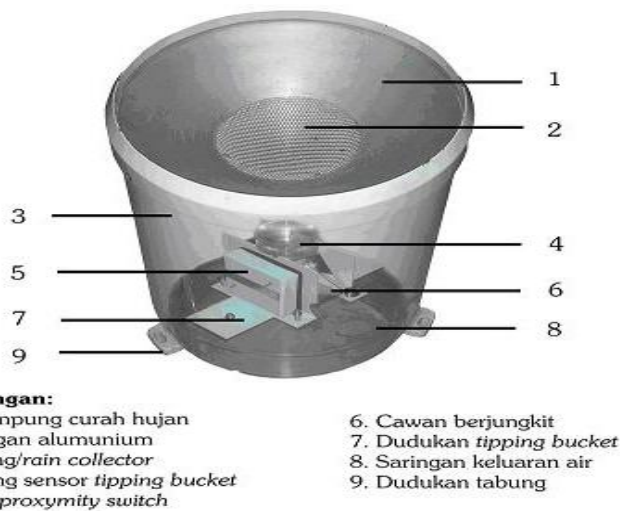


Sumber: Desain dan Pengamatan Lapangan, 2015

Gambar 4.
Skema Pemasangan Ekstensometer.

Hasil pengukuran ekstensometer perlu dikonfirmasi dengan data curah hujan. Hal ini karena infiltrasi air hujan dapat mempengaruhi pergeseran tanah ((Richard M. Iverson, 2000), (Sumio Matsuura, Dkk., 2008), (J.S.M. Fowze, D.T., dkk., 2012) . Curah hujan adalah jumlah air hujan yang turun pada suatu daerah dalam waktu dan luasan tertentu (Sunarno, 2010). Curah hujan dapat diukur dalam waktu harian, bulanan dan tahunan dan diukur menggunakan alat ukur curah hujan, umumnya berbentuk silinder dengan bagian atas terbuka. Alat pengukur curah hujan memiliki diameter penampang 8 inchi yang mengacu pada

standar WMO (*World Metrological Organisation*). Apabila tetesan air hujan sudah memenuhi jumlah spesifikasi takaran air maka cangking sensor akan turun dan dihitung sebagai satu pulsa. Curah hujan diukur berdasarkan rekaman jumlah pulsa yang terjadi. Alat ini dipasang di tempat terbuka, sehingga air hujan akan diterima langsung oleh alat ini. Satuan yang digunakan adalah milimeter (mm) dan ketelitian pembacaannya sampai dengan 0.1 mm. Data intensitas curah hujan digunakan sebagai data pendukung untuk mengetahui korelasi antara pergerakan tanah dengan kadar air di dalam tanah.



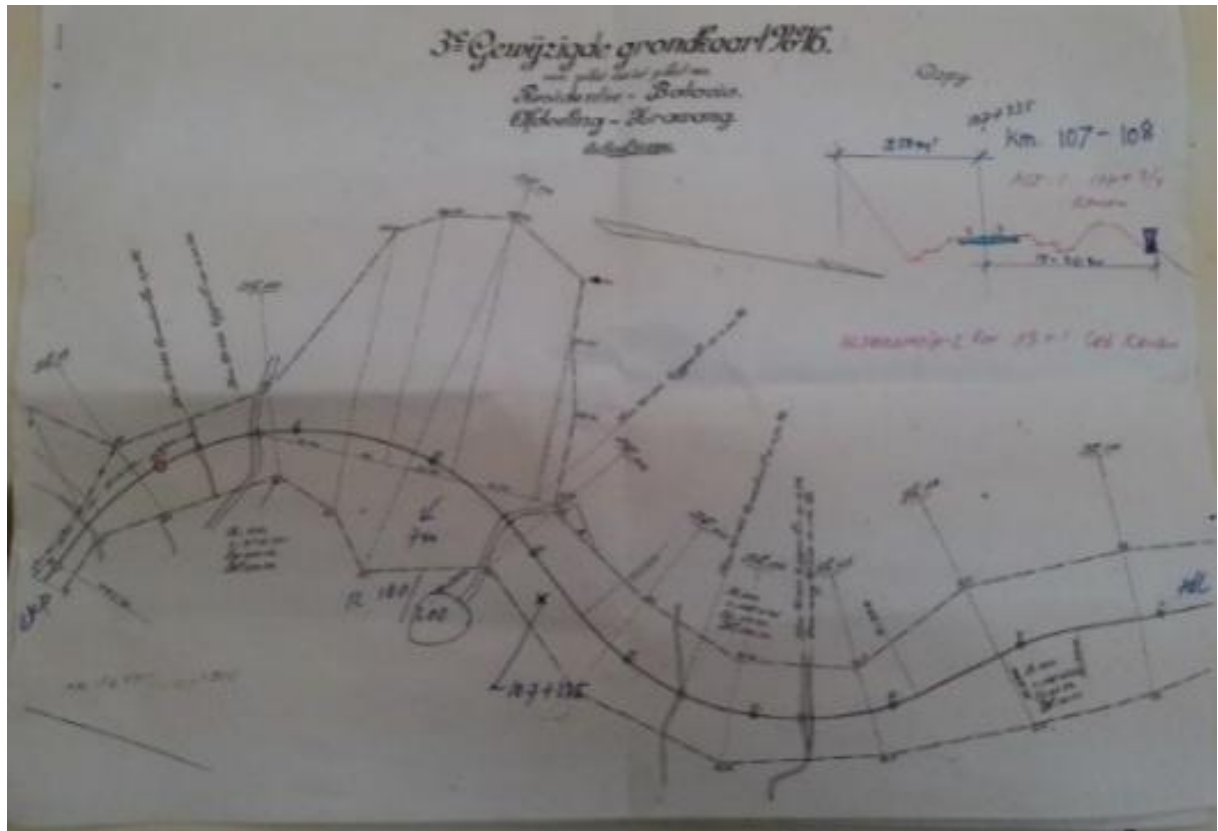
Sumber: <http://rt-net-kapelima.com/curahhujan/index.php> dan Pengamatan Lapangan, 2015

Gambar 5.
Bagian-bagian Sensor Curah Hujan dan Foto Sensor Curah Hujan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemasangan prototipe sistem monitoring pergerakan tanah dilaksanakan di jalur kereta api Cikampek-Padalarang Km 107+335, seperti yang ditunjukkan oleh peta jalur kereta api pada Gambar 6. Berdasarkan hasil pengamatan lapangan dan studi oleh pihak PT. KAI ditunjukkan bahwa lapisan tanah di lokasi tersebut mengalami pergerakan yang cukup ekstrim, seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Pergerakan tanah yang ekstrim ini didorong oleh

faktor kandungan air tanah yang tinggi. Hal ini terlihat dari munculnya mata air yang cukup deras di kaki bukit. Langkah-langkah pencegahan tanah longsor telah dilakukan antara lain dengan cara memasang patok-patok penahan dan pemangkasan bukit menggunakan alat berat. Berdasarkan hasil pengamatan ini maka lokasi di sekitar km 107 dinilai sangat memadai sebagai tempat uji coba pemasangan prototipe ekstensometer untuk sistem monitoring pergeseran tanah.



Sumber: Pengamatan Lapangan, 2015

Gambar 6.
Denah Lokasi Pada Jalur Cikampek - Padalarang Km 107 + 335.



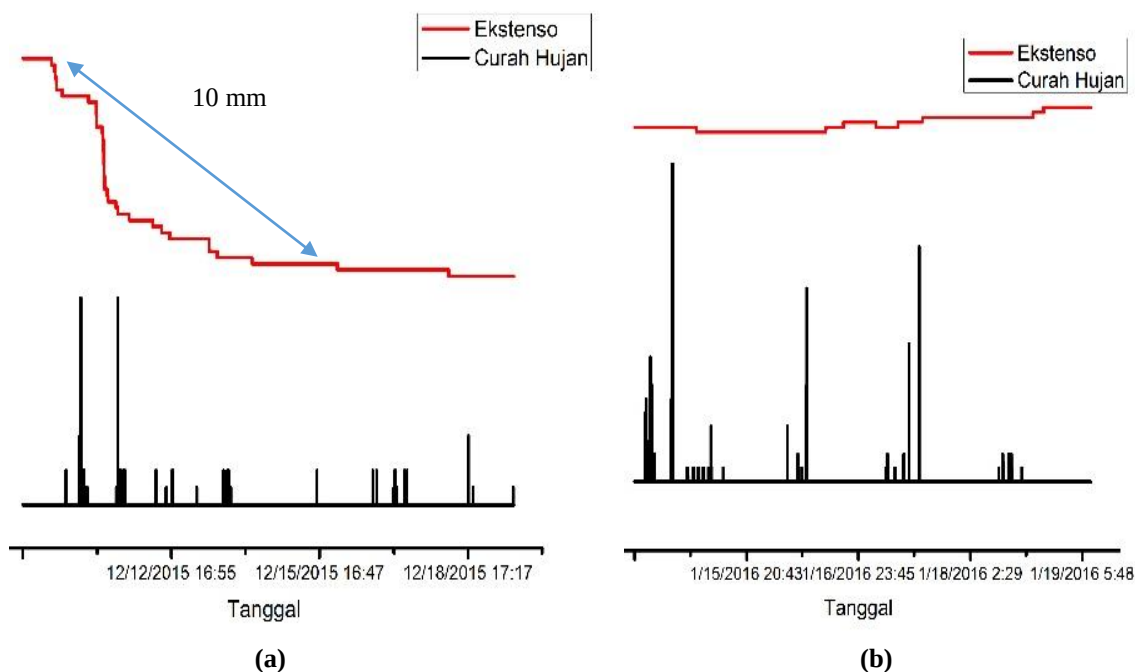
Sumber: Pengamatan Lapangan, 2015

Gambar 7.

Kondisi Permukaan Tanah dan Munculnya Mata Air Deras di Sekitar Rel Kereta Api Km 107.

Hasil pembacaan ekstensometer menunjukkan bahwa dalam kurun waktu periode tanggal 10 - 13 Desember 2015 (a) terdapat pergeseran tanah cukup besar yaitu mencapai 10 mm. Sedangkan dalam periode 15 - 19 Januari 2016 (b), terjadi pergeseran kecil namun berkelanjutan. Berdasarkan kedua data tersebut, ditunjukkan bahwa tingkat curah hujan cenderung mempengaruhi terjadinya pergeseran permukaan tanah. Hal ini karena curah hujan yang tinggi dapat meningkatkan tinggi/level muka air tanah. Pada periode monitoring berikutnya (Februari - April 2016), terjadi permasalahan teknis sehingga

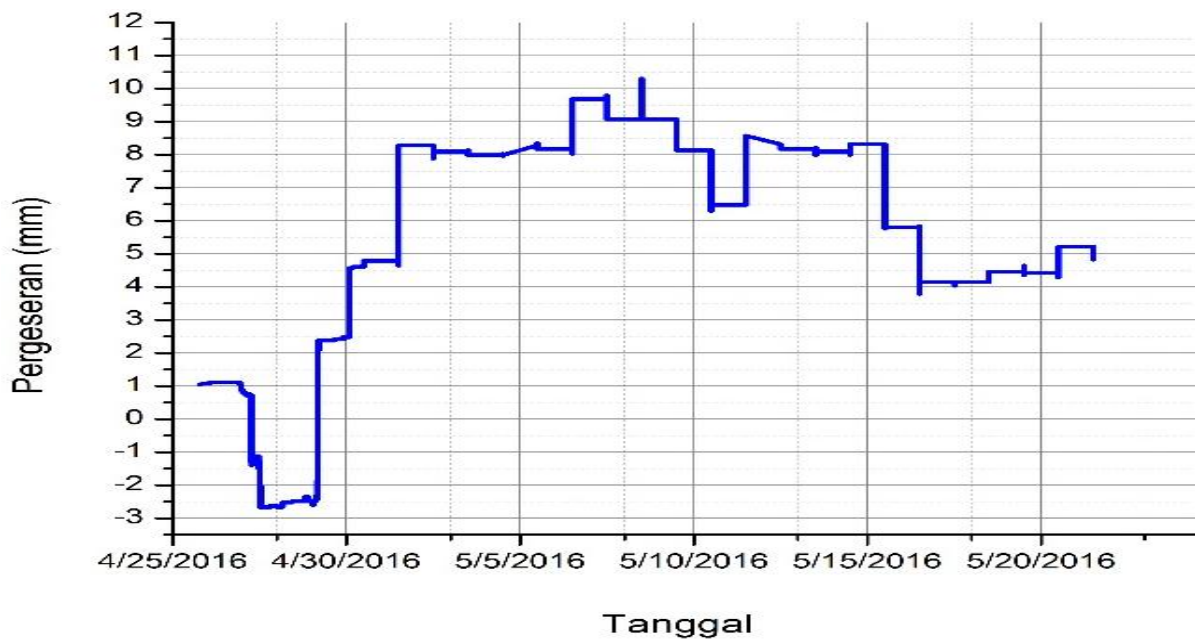
data ekstensometer dan curah hujan tidak dapat ditransmisikan. Data ekstensometer dapat ditransmisikan kembali untuk periode monitoring tanggal 26 April - 22 Mei 2016, yang menunjukkan bahwa dalam kurun waktu sekitar 1 bulan terjadi pergeseran permukaan tanah mencapai 10 mm dan bergeser kearah sebaliknya sebesar 5 mm. Pergeseran tersebut didahului dengan pergeseran yang sifatnya kecil dan bertahap sehingga lapisan tanah di sekitar titik pengukuran dapat disebut sebagai lapisan tanah yang labil.



Sumber: Hasil Analisis Lapangan, 2016

Gambar 8.

Data Ekstensometer dan Curah Hujan Pada Periode Tanggal 9-19 Desember 2015 (a) dan Periode Tanggal 14-19 Januari 2016 (b).

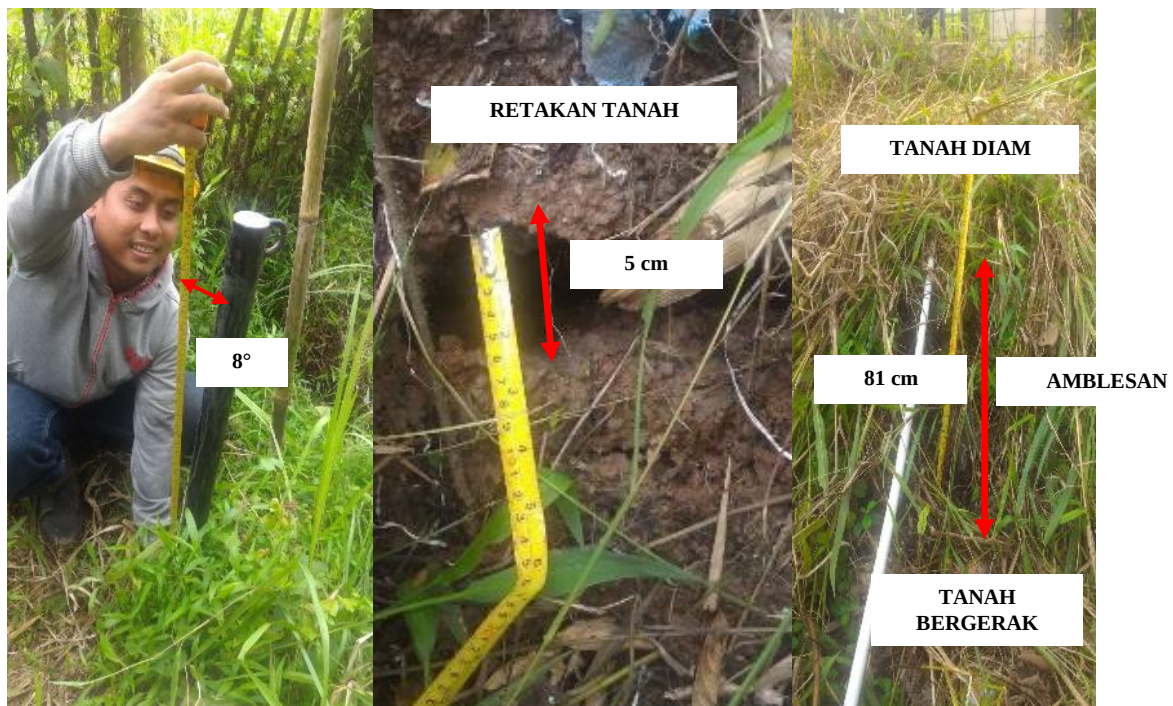


Sumber: Hasil Analisis Lapangan, 2016

Gambar 9.
Data Ekstensometer Pada Periode Tanggal 26 April - 22 Mei 2016.

Berdasarkan data-data ekstensometer ditunjukkan bahwa secara umum curah hujan sangat mempengaruhi pergerakan tanah di sekitar lokasi. Tanda-tanda pergerakan tanah sudah terlihat pada awal-awal musim penghujan (Desember - Januari). Mengacu pada data bulan April - Mei 2016, tren pergerakan tanah semakin banyak selama musim penghujan. Data-data ekstensometer ini kemudian dikonfirmasi dengan pengamatan di lapangan. Hasil pengamatan fisik lapangan menunjukkan bahwa terjadi retakan permukaan tanah mencapai

sekitar 5 cm. Selain itu, amblesan diantara tanah diam dan tanah bergerak sudah mencapai 81 cm, yang mana sebelumnya terukur sekitar 20 cm. Selain itu, tiang pancang ekstensometer juga sudah dalam kondisi miring sekitar 8° . Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa deformasi lapisan tanah yang besar diawali dari gerakan-gerakan kecil yang dapat dideteksi sejak dini. Informasi mengenai pergerakan tanah sangat penting diketahui sejak dini agar tindakan-tindakan antisipasi dapat segera dilaksanakan sejak awal.



Sumber: Pengamatan di Lapangan, 2016

Gambar 10.
Kondisi Real Permukaan Tanah di Lokasi Pada Bulan April 2016.

KESIMPULAN

Monitoring pergerakan tanah di sekitar fasilitas jalan kereta api adalah hal yang sangat penting dalam rangka mewujudkan moda transportasi kereta api yang nyaman dan aman. Ekstensometer dengan resolusi 0,036 mm mampu mendeteksi dengan baik pergerakan tanah, khususnya di sekitar jalan kereta api jalur Cikampek-Padalarang KM 107 - Purwakarta. Pemasangan sistem monitoring ini diharapkan mampu memberikan peringatan dini ketika terjadi pergerakan tanah yang terus menerus dan ekstrim. Dengan adanya sistem peringatan dini ini maka diharapkan dapat dilakukan penanganan yang cepat dan tepat untuk meminimalisasi terjadinya gangguan laju dan kecelakaan kereta api.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Litbang Transportasi Jalan dan Perkeretaapian dan Kepala Pusat Penelitian Fisika LIPI yang telah memberikan kesempatan untuk bekerja sama, serta bimbingan dan arahan, sehingga penelitian observasi ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Dwi Bayuwati, Suryadi, Andi Setiono, Tomi Budi Waluyo, Bambang Widiyatmoko. 2013. *Pengembangan Sistem Monitoring Terpadu untuk Deteksi Dini Pergeseran Tanah Secara Real-Time*. Simposium Fisika Nasional XXVI.
- Eli Gozali, Rifki Sadikin, Edi Tanoe. 2016. *Sistem Online Alat Pengukur Curah Hujan*. <http://rt-net-kapelima.com/curahhujan/index.php>. Diakses tanggal 22 September 2016.
- J.S.M. Fowze, D.T. Bergado, S. Soralump, P. Voottipreux, M. Dechasakulsom. 2012. *Rain-Triggered Landslide Hazards and Mitigation Measures in Thailand: From Research to Practice*. Geotextiles and Geomembranes 30 (2012) 50 - 64.
- Merdeka. 2014. *KA Pasundan Anjlok di Tasikmalaya, Enam Gerbong Keluar Lintasan*. www.merdeka.com. Diakses 18 Agustus 2014.
- Onosokki. 2016. Operating principle of Rotary Encoder/ Roller encoder. <https://www.onosokki.co.jp>. Diakses tanggal 25 Januari 2016.
- Pengelolaan Sumber Daya Air. 2016. *6 Jenis Tanah Longsor*. <http://psda-online.blogspot.co.id/2013/01/6-jenis-tanah-longsor.html>. Diakses 26 Januari 2016.
- Richard M. Iverson. 2000. *Landslide Triggering by Rain Infiltration*. Water Resources Research, Vol. 36, No. 7, Pages 1897-1910, July 2000.
- Sumio Matsuura, Shiho Asano, Takashi Okamoto. 2008. *Relationship Between Rain and/or Meltwater, Pore-water Pressure and Displacement of a Reactivated Landslide*. Engineering Geology 101 (2008) 49-59.
- Sunarno. 2010. *Rancang Bangun Sistem Pengukur Curah Hujan Jarak-Jauh Real Time Sebagai Peringatan Banjir Lahar Dingin*. Forum Teknik Vol. 33, No. 3, September 2010 hal: 175-180. ISSN: 0216 – 7565.
- Tejakusuma, G.I. 2007. *Ancaman Bencana Longsor Alami*. Vol. 12 No 2 (2007): 72-75.
- Varnes, D.J. 1984. *Landslide Hazard Zonation: a Review of Principle and Practise*. Paris: UNESCO.