

PEMBANGUNAN SISTEM PERINGATAN DINI BENCANA LONGSOR DI KAMPUNG JATIRADIO, DESA CILILIN, KECAMATAN CILILIN, KABUPATEN BANDUNG BARAT, PROVINSI JAWA BARAT

THE DEVELOPMENT OF LANDSLIDE EARLY WARNING SYSTEM IN JATIRADIO, CILILIN VILLAGE, CILILIN DISTRICT, WEST BANDUNG REGENCY, WEST JAVA PROVINCE

Prihartanto¹, Riski Fitriani¹, Dominikus Akhadi¹, Dimas Biwas Putra¹, E. Bayu Budiman¹ Jubaidi Rochman¹, Bondan Fiqi Riyalda¹, Puspa Khaerani¹, Akhmad Fakhrus Shomim¹, Syakira Trisnafiah¹

¹Pusat Teknologi Reduksi Risiko Bencana - BPPT
Gedung 820 Teknologi Sistem Kebumihan - BPPT Phone:08159962260
e-mail: prihartanto@bppt.go.id

ABSTRACT

Landslide is a serious disaster that frequently occurs in several places in Indonesia. One effort to reduce victims and economic loss is to increase community preparedness. In 2018 Centre for Disaster Risk Reduction Technology – Agency for The Assessment and Application of Technology (PTRRB – BPPT) has developed a Landslide Early Warning System (LEWS) that was installed at Jatiradio, Cililin Village, Cililin District, West Bandung Regency, West Java Province. The system was consisted of a master module (coordinator), a slave module (node) and a data centre. The data center acts as a control and monitoring center of data and information through SMS gateway application and a website application namely Si-Benar. This developed LEWS had capabilities to detect rainfalls, soil moistures, and land slope changes to measure the acceleration of ground movement and to provide an early warning. The data from the node has been collected by the master module and then sent to the data center. Based on rainfall and piezometric ground water level data from 25 to 28 February 2019, the two parameters were analyzed to determine the performance of the LEWS equipment. The result showed there was a positive/ proportional correlation between rainfalls and the piezometric ground water level.

Keywords: landslide, disaster, early warning system, preparedness, sms gateways

ABSTRAK

Bencana longsor merupakan bencana penting yang seringkali terjadi di beberapa kota di Indonesia. Salah satu upaya untuk mengurangi korban dan kerugian ekonomi adalah dengan meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat. Pada tahun 2018 Pusat Teknologi Reduksi Risiko Bencana–Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (PTRRB – BPPT) telah mengembangkan sistem peringatan dini longsor (LEWS) yang telah terpasang di Kampung Jatiradio, Desa Cililin, Kecamatan Cililin, Kabupaten Bandung Barat. Sistem ini terdiri dari modul induk (*coordinator*), modul anak (*node*) dan pusat data. Data center berfungsi sebagai sistem pengendalian dan monitoring data dan informasi menggunakan aplikasi SMS *gateway* dan aplikasi *website* Si-Benar. LEWS yang dikembangkan ini mampu mendeteksi curah hujan, kelembaban tanah, perubahan kemiringan tanah, mengukur percepatan pergerakan tanah dan memberikan peringatan siaga dini. Data-data tersebut dikirimkan ke data center untuk kemudian dikirimkan ke pusat data. Berdasarkan data curah hujan dan tinggi muka air (TMA) piezometrik pada tanggal 25 sampai dengan 28 Februari 2019, maka dilakukan analisis pada kedua parameter tersebut untuk menjelaskan tentang kinerja peralatan LEWS. Hasil dari analisis tersebut menunjukkan bahwa adanya korelasi positif/sebanding antara curah hujan dan TMA piezometrik.

Kata kunci: longsor, bencana, sistem peringatan dini longsor, kesiapsiagaan, sms *gateways*

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bencana longsor atau sering disebut gerakan tanah adalah merupakan peristiwa geologi yang terjadi karena pergerakan masa batuan atau tanah dengan berbagai tipe dan jenis seperti jatuhnya bebatuan atau gumpalan besar tanah (Faizana, 2014). Longsor dan erosi didefinisikan pula sebagai proses berpindahnya tanah atau batuan dari satu tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah akibat dorongan air, angin, atau gaya gravitasi (Risdiyanto, 2011). Pergerakan tersebut terjadi akibat interaksi pengaruh beberapa kondisi yang meliputi geologi, morfologi, struktur geologi, hidrogeologi dan tata guna lahan (Karnawati, 2005).

Bencana longsor di beberapa lokasi seringkali menimbulkan korban jiwa dan kerugian harta benda. Berdasarkan data BNPB, jumlah penduduk Indonesia yang tinggal di daerah bahaya longsor pada tingkat sedang sampai tinggi sebanyak 40,9 juta jiwa (Wardah, 2019). Tiga provinsi yang paling sering terjadi tanah longsor yakni Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Banten. Di Jawa Barat, bahaya longsor tersebar di Kabupaten Bogor, Purwakarta, Bandung, Sumedang, Cianjur, dan Sukabumi. Longsor di Jatiradio, Kecamatan Cililin, Kabupaten Bandung Barat yang terjadi pada tahun 2017 merupakan longsor jenis *sand flowslide* (Tejakusuma, 2017). Meskipun tidak menimbulkan korban jiwa, longsor ini mengakibatkan 123 keluarga mengungsi.

Salah satu upaya untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan dengan meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat terhadap bencana longsor. Salah satu bentuknya berupa pemasangan peralatan untuk peringatan dini (Susilo *et al.*, 2011).

Berbagai desain sistem peringatan dini bencana longsor (*Landslide Early Warning System/LEWS*) telah dibangun oleh berbagai institusi di Indonesia seperti halnya LEWS yang menggabungkan sensor getaran dan kandungan air tanah. Sensor getaran dibuat dari *accelerometer* komersial jenis MMA 7260 QT (Susilo *et al.*, 2011). Sistem peringatan dini longsor menggunakan mikrokontroler ATMEGA8535 (Iswanto *et al.*, 2009) akan memicu sirine pada saat tanah bergeser lebih dari 4 cm dan curah hujan mencapai 100 mm/hari. Sistem peringatan dini longsor dengan mikrokontroler ATMEGA328 menggunakan metode penginderaan berat (Mardhatillah dan Wildian, 2017) akan memberikan sirine bila bahaya pada

pergeseran tanah 4,33 cm. Alat pendeteksi longsor yang dikembangkan oleh LIPI dapat membunyikan sirine 6 jam sebelum terjadi longsor (Mustaqim, 2018). Sistem peringatan dini longsor berbasis perubahan resistivitas tanah dengan menggunakan Arduino MEGA2560 dan WeMos ESP8266 D1-MINI menggunakan sensor hidrologi (*resistivity meter*) (Hilmy *et al.*, 2016). Rancangan sistem peringatan dini longsor menggunakan sensor akselerometer dikembangkan pula untuk membaca perubahan sudut lapisan permukaan tanah (Ichsan *et al.*, 2017).

Pada makalah ini dijelaskan tentang sistem peringatan dini longsor (*Landslide Early Warning System/LEWS*) yang dipasang di Kampung Jatiradio, Desa Cililin, Kecamatan Cililin, Kabupaten Bandung Barat pada tahun 2018.

1.2. Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah menjelaskan tentang detail rancang bangun LEWS yang diterapkan di kawasan berisiko bencana longsor di Kampung Jatiradio, Desa Cililin, Kecamatan Cililin, Kabupaten Bandung Barat. Pemasangan perangkat LEWS tersebut bertujuan untuk meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat di kawasan tersebut terhadap ancaman bencana longsor.

II. METODOLOGI

2.1. Pengumpulan Data

Perangkat LEWS yang terpasang di Kampung Jatiradio, Desa Cililin, Kecamatan Cililin, Kabupaten Bandung Barat telah diuji coba sejak bulan November 2018 sampai dengan Mei 2019 dan telah dapat menghasilkan data pemantauan dari satu modul anak.

Berdasarkan data yang diperoleh tersebut, dilakukan analisis kinerja perangkat LEWS berdasarkan dua parameter utama yaitu curah hujan dan tinggi muka air tanah piezometrik. Analisis dilakukan pada saat terjadi hujan pada tanggal 25 dan 28 Februari 2019.

2.2. Metode

Rancang bangun sistem peringatan dini longsor yang dibangun dijelaskan secara analitik deskriptif pada makalah ini meliputi perangkat keras dan lunak. Perangkat keras berupa modul induk (*coordinator*), modul anak (*node*) berikut sensor-sensor yang digunakan dan pusat data. Sedangkan perangkat lunak

yang dibahas meliputi *sms gateways*, basis data dan aplikasi web Si-Benar.

Pembahasan meliputi definisi sistem peringatan dini, alur data dan informasi, kemampuan dan prinsip kerja, desain perangkat keras dan lunak serta analisis kinerja berdasarkan hasil uji coba LEWS dalam periode musim hujan 2019. Analisis kinerja perangkat LEWS dilakukan dengan membandingkan grafik curah hujan dan tinggi muka air tanah piezometrik untuk kemudian dicarikan korelasinya antara kedua parameter tersebut. Untuk mendapatkan korelasi antara kedua parameter di atas, maka dilakukan analisis korelasi antara parameter curah hujan dan tinggi muka air berdasarkan data yang diperoleh dari basis data LEWS pada saat terjadi hujan tanggal 25 dan 28 Februari 2019.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Definisi

Salah satu upaya untuk menurunkan risiko akibat bencana longsor adalah peningkatan kesiapsiagaan masyarakat terhadap ancaman bencana tersebut. Pada dasarnya masyarakat yang tinggal di suatu kawasan rawan longsor memiliki pengetahuan untuk menyelamatkan diri bila terjadi longsor. Pengetahuan yang diturunkan secara turun temurun akan menjadi kearifan lokal masyarakat di kawasan tersebut. Dengan demikian, pembangunan sistem peringatan dini longsor diharapkan dapat melengkapi pengetahuan dan kearifan lokal yang sudah ada di masyarakat, sehingga kesiapsiagaan yang ada di masyarakat semakin meningkat. Dengan adanya peningkatan kesiapsiagaan masyarakat tersebut, diharapkan potensi korban jiwa maupun kerugian harta benda bisa diturunkan. Sistem ini juga akan menjadi perangkat bagi pengelola wilayah untuk mengembangkan kecakapan dalam pengelolaan bencana khususnya longsor.

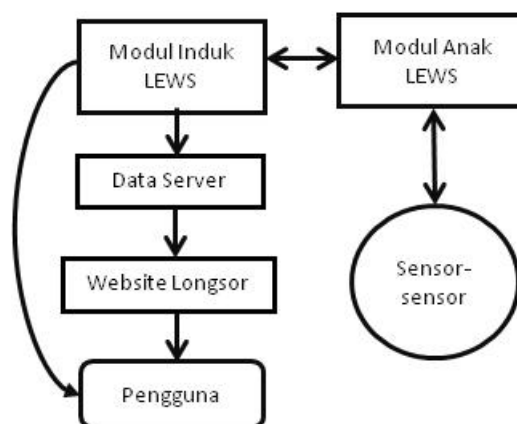
Peringatan dini didefinisikan sebagai “penyediaan informasi yang tepat waktu dan efektif, melalui lembaga yang dapat teridentifikasi, sehingga memungkinkan individu yang terpapar bahaya dapat mengambil tindakan guna menghindari atau mengurangi risiko terhadap mereka dan mempersiapkan untuk respons yang efektif” (UN/ISDR, 2004). Sedangkan menurut UU No. 24 Tahun 2007 (Pasal 46), peringatan dini dilakukan untuk pengambilan tindakan cepat dan tepat dalam rangka mengurangi risiko terkena bencana serta mempersiapkan

tindakan tanggap darurat.

Jadi penekanannya adalah diperlukan kesiapan informasi bencana – khususnya bencana longsor – yang tepat waktu dan efektif, yang dikelola dan melewati institusi yang memang kompeten dan bertanggung jawab, agar masyarakat dapat mengambil tindakan yang dapat mengurangi risiko dirinya dari terkena kerugian yang mungkin ditimbulkan berdasarkan informasi bencana longsor tersebut.

3.2. Alur Data dan Informasi

Alur data dan informasi dari perangkat LEWS dapat diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Data dan Informasi LEWS

Hasil pengukuran sensor-sensor yang terkoneksi dengan modul anak LEWS dan hasil pengukuran kondisi operasional perangkat tersebut akan dikirimkan ke modul induk untuk dianalisis lebih lanjut menjadi informasi kondisi status siaga. Data pengukuran juga dikirimkan ke basis data aplikasi *website* untuk digunakan lebih lanjut oleh pengguna.

3.3. Kemampuan dan Prinsip Kerja LEWS

LEWS yang dibangun di Kampung Jatiradio, Desa Cililin, Kecamatan Cililin, Kabupaten Bandung Barat memiliki kemampuan sebagai berikut:

- Mendeteksi curah hujan yang dapat memicu longsor.
- Mendeteksi kelembaban tanah.
- Mendeteksi perubahan kemiringan tanah.
- Mendeteksi ketinggian muka air tanah.
- Mengukur percepatan pergerakan tanah.
- Mengirimkan data ke stasiun pusat kendali dan menyimpan data di *data logger*.

g. Memberikan sinyal atau sirine bahaya longsor bila melampaui nilai ambang batas yang ditetapkan.

Secara umum, prinsip kerja LEWS yang dikembangkan adalah:

- a. Peralatan pemantau (modul anak/*node*) diletakkan di daerah rawan longsor, perangkat ini bertugas mengirimkan hasil pengukuran parameter-parameter longsor secara *on-line* dan *real time* kepada *server*.
- b. Peralatan pemantau dikonfigurasi dengan alarm (modul induk/koordinator) agar dapat segera mengirim peringatan apabila parameter-parameter longsor yang dipantau telah melampaui batasan-batasan yang telah ditetapkan.
- c. Data di *server* kemudian diolah dengan model longsor atau pergerakan tanah untuk menghasilkan korelasi antara kondisi lahan dengan perubahan cuaca serta terjadinya longsor.
- d. Bila dibutuhkan data dan informasi berupa SMS dapat di-*broadcast* ke pihak-pihak penanggung jawab pengelola bencana longsor dan masyarakat sesuai dengan SOP yang telah ditetapkan.

Mekanisme sistem peringatan dini akan dilakukan apabila sensor telah membaca hasil pengukuran beberapa parameter melampaui nilai ambang batas yang telah ditetapkan berdasarkan hasil penelitian dan *survey* gerakan tanah di suatu kawasan rawan bencana. Perangkat modul anak akan melakukan pemrosesan hasil pengukuran dibandingkan dengan nilai ambang batas yang telah ditetapkan. Apabila nilai ambang batas telah terlampaui, maka instrumen akan mengaktifkan sinyal peringatan dini yang diproses pada modul induk. Informasi yang diperoleh dikirim ke modul perangkat lunak aplikasi untuk akuisisi, pengolahan, penampilan dan *user interface* berbasis *website*.

3.4. Desain LEWS

Desain perangkat keras LEWS yang dibangun terdiri dari modul induk dan modul anak (*node*). Parameter longsor yang diukur antara lain berupa data curah hujan, data kelembaban tanah atau kejenuhan air tanah (dari alat *soil moisture*), data perubahan kemiringan tanah (*inclinometer*), data ketinggian muka air tanah (*ground water level*) dan data percepatan pergerakan tanah (*accelerometer*). Berdasarkan jenis perangkatnya, instrumentasi LEWS secara umum memiliki tiga komponen utama yaitu:

- a. Modul induk (*coordinator*)

Modul induk (*coordinator*) menggunakan mikrokontroler yang melayani komunikasi data dari *node* (anak) serta pengiriman dan komunikasi data dengan *data center*. Di sisi lain di modul ini juga mengukur besaran curah hujan, dan difungsikannya memori untuk perekaman data internal.

Modul induk (*coordinator*) dikendalikan oleh mikrokontroler, dan berkomunikasi dua arah, baik ke modul *node* (anak) maupun ke pusat data. Komunikasi dan kendali untuk menampung informasi dari anak (*node*) digunakan jalur radio dengan modul xbee.

Gambar 2 menunjukkan modul induk LEWS yang telah terpasang di Cililin, Bandung Barat. Mekanisme pengukuran dan telemetri data dari modul induk (*master control/coordinator*) dengan modul anak (*node*) secara umum memiliki kemampuan sebagai berikut:

- Berkomunikasi dengan semua sensor *node /router node* secara simultan.
- Komunikasi data dua arah antara *node* dengan *coordinator* secara langsung atau melalui *router* dengan menggunakan radio modem berbasis protokol standar *API ZigBee*.
- Melakukan akuisisi data dan penyimpanan data periodik di memori lokal (*internal flash* dan eksternal *MMC Card*).
- Melakukan analisis data longsor dan pengambilan keputusan kondisi darurat lokal.
- Melakukan penyimpanan data EWS di lokal memori, pengiriman sms darurat ke pusat data, *update cycle time* di masing-masing sensor *node* dan aktivasi alarm lokal.
- Operasi menggunakan energi matahari dan aki kering.



Gambar 2. Modul Induk LEWS

- b. Modul anak (*node*)

Modul anak (*node*) LEWS adalah alat pengukur fenomena longsor yang ditempatkan di daerah yang berpotensi bergerak (longsor). Sensor yang dapat ditempatkan dalam modul

anak ini ada beberapa jenis, diantaranya sensor kelembaban tanah (*soil moisture*) yang mengukur tingkat kejenuhan air di dalam tanah. Selain itu juga terdapat sesor perubahan kemiringan (*tilt meter*). Sensor pergerakan tanah (*accelerometer*) juga sangat penting untuk diketahui kapan tanah akan mulai bergerak. Selain itu dipasang pula sensor *pressure transducer* untuk mengukur tekanan piezometrik air tanah. Penempatan anak (*node*) ini ditempatkan menyebar sesuai dengan keperluan area tanah yang akan dipantau pergerakannya.

Jaringan sensor nirkabel yang menghubungkan modul anak ke modul induk dipasang di beberapa lokasi yang memiliki risiko bencana longsor dengan tujuan untuk mendeteksi lereng yang akan dan mengalami pergerakan. Jaringan sensor nirkabel, diletakkan pada titik-titik yang dicurigai akan timbul bahaya longsor. Identifikasi lokasi-lokasi rawan longsor dilakukan berdasarkan hasil analisis geologi bawah permukaan.



Gambar 3. Modul Anak LEWS

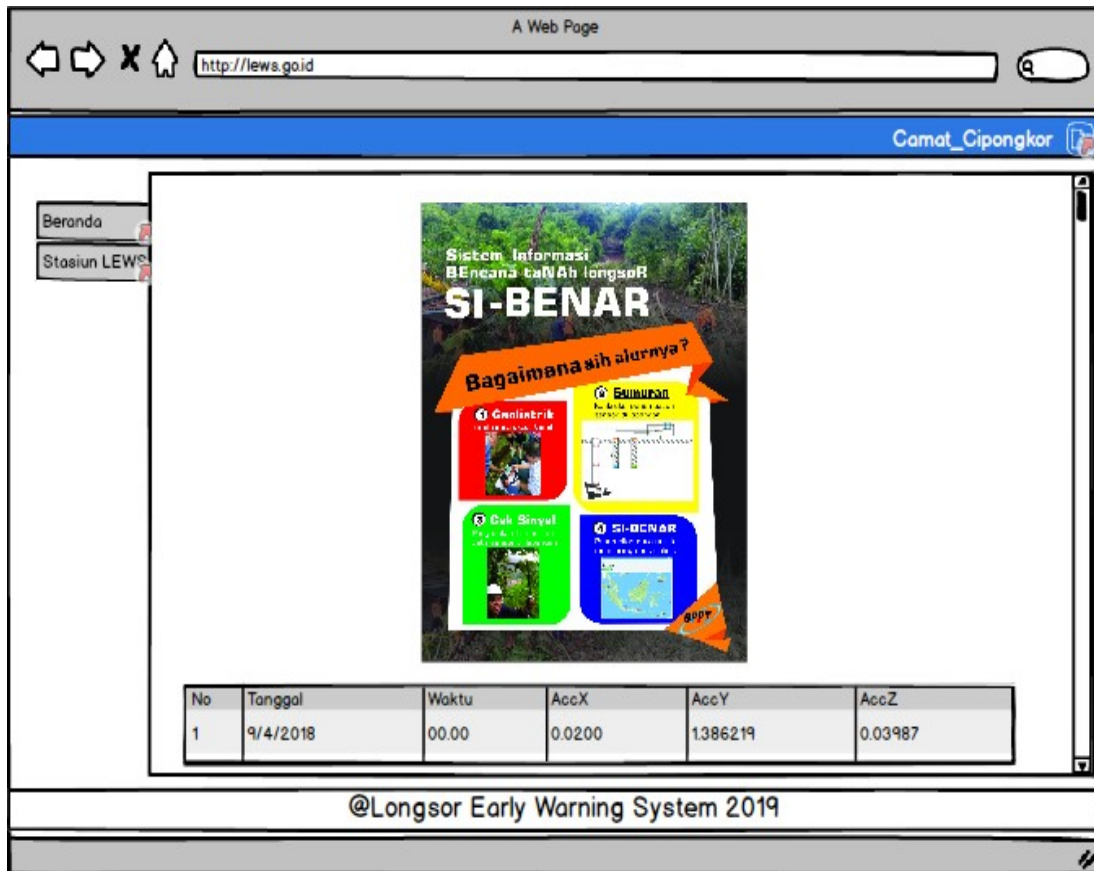
Rangkaian modul anak ini (Gambar 3) adalah modul mandiri yang mengukur fenomena gerakan tanah dimana ditempatkan di daerah yang diprediksi akan terjadi longsor. Modul ini ditempatkan di beberapa tempat dan berkomunikasi dengan metode WSN (*Wireless Sensor Network*) dengan jalur komunikasi radio menggunakan perangkat Xbee. Masing masing modul anak LEWS ini minimal dapat mengukur 4 parameter yang mengindikasikan akan terjadi tanah longsor, yaitu:

- Sensor kelembaban tanah/kejenuhan air (*soil moisture*)
- Sensor perubahan kemiringan (*tilt meter*)
- Sensor pergerakan tanah (*accelerometer*)

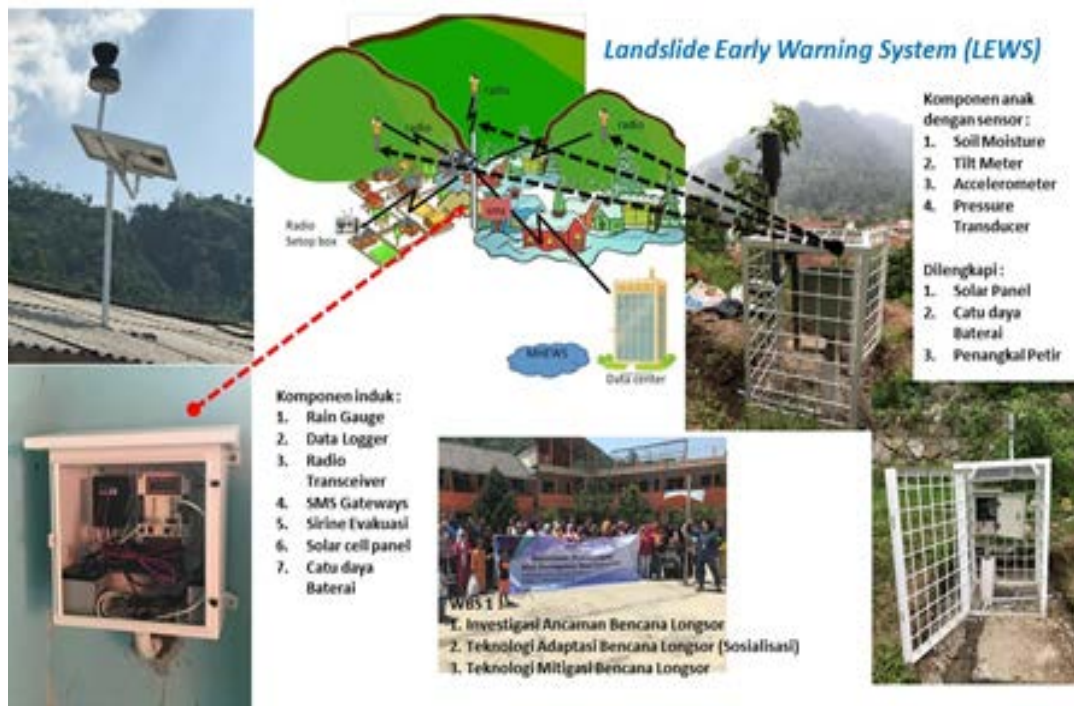
- Sensor ketinggian muka air tanah (*pressure transducer*)

c. *Data center (Server)*

Data center dilengkapi dengan data server, instrument pemantauan, *real time display*, dan sistem peringatan dini. Setiap data sensor yang terekam pada modul anak akan dikirimkan ke *data logger* yang terdapat pada modul induk untuk kemudian diteruskan ke pusat data menggunakan perangkat lunak *sms gateways*. Dari *database* pada pusat data akan dilakukan proses *parser* dengan basis data pada aplikasi *website* Si-BENAR (Gambar 4). Gambar 5 menunjukkan keseluruhan sistem peringatan dini longsor yang dikembangkan.



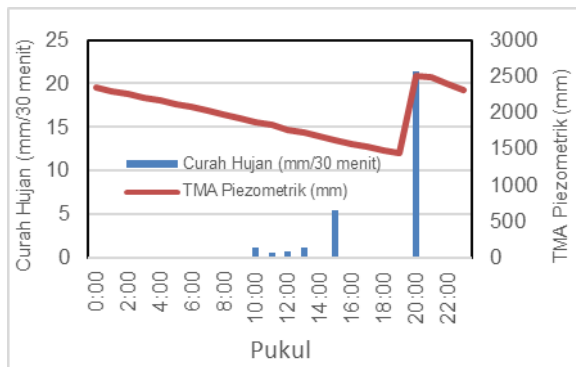
Gambar 4. Halaman Beranda Aplikasi Website Sistem Informasi Bencana Tanah Longsor



Gambar 5. Sistem Peringatan Dini Longsor

3.5. Pengujian Kinerja LEWS

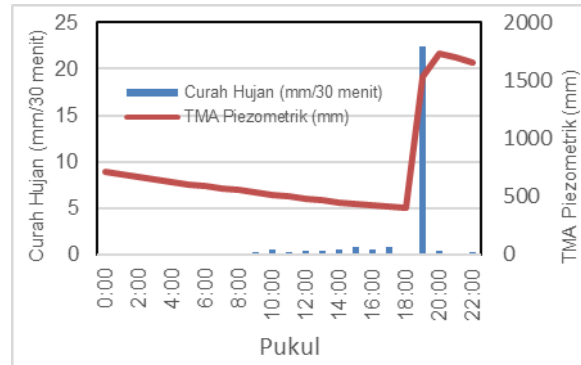
Pengujian kinerja LEWS dilakukan berdasarkan data yang diperoleh dari basis data LEWS pada saat terjadi hujan yaitu pada tanggal 25 dan 28 Februari 2019. Berdasarkan hasil perbandingan data curah hujan dan tinggi muka air piezometrik pada tanggal 25 Februari 2019 diperoleh grafik seperti terlihat di Gambar 6.



Gambar 6. Korelasi Antara Parameter Curah Hujan dan TMA Piezometrik Pada Tanggal 25 Februari 2019

Dari hasil perbandingan data curah hujan dan TMA piezometrik air tanah yang terukur pada tanggal 25 Februari 2019 terlihat adanya korelasi antara kedua parameter tersebut. Pada pukul 20.00 curah hujan mencapai 21,4 mm/30 menit dan mengakibatkan peningkatan TMA Piezometrik hingga mencapai 2.498,7 mm dan selanjutnya mengalami penurunan. Pada tanggal 26 sampai dengan 27 Februari tidak terjadi hujan yang dapat meningkatkan TMA Piezometrik secara signifikan hingga turun menjadi 402,4 mm pada pukul 18.00 tanggal 28 Februari 2019.

Hujan yang terjadi pada pukul 19.00 pada tanggal 28 Februari 2019 dengan curah hujan sebesar 22,4 mm/30 menit mengakibatkan TMA Piezometrik naik kembali menjadi 1.536,6 mm, dan selanjutnya turun kembali setelah hujan berhenti. Gambar 7 menunjukkan korelasi antara curah hujan dan TMA Piezometrik pada tanggal 28 Februari 2019.



Gambar 7. Korelasi Antara Parameter Curah Hujan dan TMA Piezometrik Pada Tanggal 28 Februari 2019

Berdasarkan hasil pengamatan tersebut di atas menunjukkan adanya korelasi yang positif antara hasil pengukuran parameter curah hujan dan TMA piezometrik. Hal ini menunjukkan bahwa sensor-sensor penakar curah hujan dan *pressure transducer* yang terpasang pada modul anak LEWS telah berfungsi dengan baik.

IV. KESIMPULAN

Sistem peringatan dini longsor yang telah terpasang di Kampung Jatiradio, Desa Cililin, Kecamatan Cililin, Kabupaten Bandung Barat terdiri dari modul induk dan anak. Data pengukuran sensor kelembaban tanah, ketinggian muka air tanah, kemiringan tanah dan percepatan pergerakan tanah dikirimkan secara telemetri ke modul induk untuk dianalisis lebih lanjut menjadi informasi kondisi status siaga. Data pengukuran juga dikirimkan ke basis data aplikasi *website* untuk digunakan lebih lanjut oleh pengguna.

Hasil pengujian pada tanggal 25 sampai dengan 28 Februari 2019 menunjukkan bahwa perangkat tersebut telah dapat melakukan pengukuran curah hujan dan TMA Piezometrik dengan baik.

Hasil pengukuran curah hujan dengan menggunakan penakar curah hujan dan TMA piezometrik yang diukur menggunakan *pressure transducer* pada tanggal tersebut di atas menunjukkan adanya korelasi yang positif antara kedua parameter tersebut.

PERSANTUNAN

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Kepala Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Bandung

Barat, Camat Cililin, Kepala Desa Cililin, Bapak Hamzah Eksa Sukma Kepala Dusun Jatiradio.

Penelitian ini merupakan bagian dari kerjasama penelitian antara PTRRB-BPPT, dan Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Bandung Barat pada tahun 2016 sampai dengan 2019.

DAFTAR PUSTAKA

- Hilmy, D.A., S. Aminah, dan A.S. Sunarya. 2016. Perancangan Sistem Peringatan Dini Tanah Longsor Berbasis Perubahan Resistivitas Tanah dengan Menggunakan ArduinoMEGA 2560 dan WeMos ESP8266 D1-MINI. https://www.researchgate.net/publication/324330491_Perancangan_Sistem_Peringatan_Dini_Tanah_Longsor_Berbasis_Perubahan_Resistivitas_Tanah_dengan_Menggunakan_ArduinoMEGA_2560_dan_WeMos_ESP8266_D1-MINI. [25 September 2019].
- Faizana, F. 2014. Pemetaan Risiko Bencana Tanah Longsor Kota Semarang, *Prodi Teknik Geodesi*. Jurnal Geodesi Undip, 4(1): 223-234
- Ichsan, Fakhrol, Reza, S. Rinaldi, Alex, dan Surapati. 2017. Perancangan Sistem Peringatan Dini Tanah Longsor Berdasarkan Pergeseran Tanah Menggunakan Sensor Accelerometer, Skripsi S1, Fakultas Teknik, Departemen Teknik Elektro, Universitas Bengkulu.
- Iswanto, N.M. Raharja, dan A. Subardono. 2009. Sistem Peringatan Dini Tanah Longsor Berbasis Atmega8535, Prosiding Seminar Nasional Informatika 2009 (semnasIF 2009) ISSN: 1979-2328 UPN "Veteran" Yogyakarta [23 Mei 2009], 1(2): 53-57
- Karnawati, D. 2005. Bencana Alam Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya. Penerbit Fakultas Teknik Geologi UGM. 232hal.
- Mardhatillah, E. dan Wildian. 2017. Rancang Bangun Sistem Peringatan Dini Tanah Longsor Berbasis Mikrokontroler ATmega328 Menggunakan Metode Penginderaan Berat, Jurnal Fisika Unand 6(2)[April 2017]. 55hal
- Mustaqim, A. 2018. LIPI Buat Alat Pendeteksi Longsor, Begini Cara Kerjanya, <https://www.idntimes.com/news/indonesia/akhmadmustaqim/lipi-buat-alat-pendeteksi-longsor-begini-cara-kerjanya-1/full> [3 Sep- mber 2019]
- Risdiyanto, I. 2011. Identifikasi Daerah Rawan Longsor. Institut Pertanian Bogor, 10.13140/RG.2.1.4316.5684.
- Susilo, A., D.R. Santoso, A. Rachmansyah, dan Y. Zaika. 2011. Desain Sistem Peringatan Dini Zona Rawan Longsor dengan Penerapan Sensor Kelembaban dan Getaran pada Tanah. Jurnal Meteorologi dan Geosifika, BMKG, 12(3): 283- 289.
- Tejakusuma, I.G. 2017. Interaksi Faktor yang Mempengaruhi Longsor Jati Radio di Kecamatan Cillin Kabupaten Bandung Barat, Jurnal Sain dan Teknologi Mitigasi Bencana, 12(1): 53-61.
- Wardah, F. 2019. BNPB: 40,9 Juta Warga Indonesia Tinggal di Daerah Rawan Longsor, <https://www.voaindonesia.com/a/bnpb-40-9-juta-warga-indonesia-tinggal-di-daerah-rawan-longsor/4725859.html> [18 September 2019].