

PEMANTAUAN PERGERAKAN TANAH PADA JEMBATAN TOL SEMARANG–SOLO (JEMBATAN PENGGARON) MENGUNAKAN *GPS–REAL TIME KINEMATIC*

Monitoring of Landslide at Toll Bridge of Semarang–Solo (Penggaron Bridge) using GPS–Real Time Kinematic

Antonius Alex Harmoko¹ dan Suryo Hespiantoro²

Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Geologi, Mineral dan Batubara

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

Jalan Jenderal Sudirman No. 623 Bandung 40211

Telp. (022) 6076756, Faks. (022) 6035506

E-mail: antonius.a.harmoko@esdm.go.id¹, suryo.hespiantoro@esdm.go.id²

ABSTRAK

Menurut laporan PT Trans Marga Jateng, pada Maret 2011 diidentifikasi adanya perubahan kondisi Jembatan Penggaron yang terletak di ruas jalan tol Semarang–Solo km 20-21. Perubahan tersebut terindikasi karena adanya pergerakan tanah sehingga terjadi erosi dan amblesan di sebelah kiri timur Jembatan Penggaron. Akibat dari pergerakan tanah tersebut timbul rekahan pada *expansion joint* di sisi kanan dan terjadi penurunan tanah. Berdasarkan hal tersebut, dilakukan pemantauan gerakan tanah dengan mempelajari data geologi, kejadian gerakan tanah, geomorfologi, keairan, curah hujan, penggunaan lahan, dan pemasangan patok. Metode yang digunakan berupa patok geser yang diukur menggunakan *Global Position System (GPS)–Real-time Kinematic (RTK)* untuk mendapatkan vektor posisi dengan akurasi tinggi. Hasil Pengukuran menunjukkan bahwa ada beberapa titik pada patok geser yang mengalami adanya perubahan antara 0,7–69 cm pada 6 titik patok geser. Pergeseran secara horizontal menunjukkan arah vektor ke selatan dan tenggara, dan buang. Secara vertikal besar perubahan kenaikan patok berkisar 2–13 cm dan penurunan patok sekitar 0,7–17,5 cm dalam kurun waktu 10 bulan pada Februari dan November 2018.

Kata Kunci: gerakan tanah, *global positioning system*, *real time kinematic*

ABSTRACT

According to a report from PT Trans Marga Jateng in March 2011, there was a change in the condition of the Penggaron Bridge located in the Semarang–Solo toll road Km. 20–21. These changes are indicated due to the Landslide, resulting in erosion and subsidence on the east side of the Penggaron bridge. As a result of the ground movement arises fractures in the expansion joint on the right side and there is a decrease in soil. Based on this, monitoring the movement of the soil by studying geological data, the occurrence of soil movements, geomorphology, water, rainfall, land use and installation of stakes. The method used in the form of a sliding stake measured using the *Global Position System (GPS) - Real-time Kinematic (RTK)* to get the position vector with high accuracy. The results show that there are several points on the sliding stakes which show a change between 0.7–69 cm at 6 points of stakes. Horizontal shift shows the direction of the vector to the south and southeast, and vertically the magnitude of the

change in peg increase ranges from 2–13 cm and and decrease of stakes around 0.7–17.5 cm for 10 months periods from February until November 2018.

Keywords: landslide, global positioning system, real time kinematic

PENDAHULUAN

Gerakan tanah atau sering disebut sebagai tanah longsor (*landslide*) merupakan bencana alam yang sering terjadi di Indonesia yang menelan banyak korban jiwa dan harta. Upaya pencegahan dan mitigasi mutlak diperlukan untuk mengurangi dampak yang ditimbulkannya. Salah satu upaya yang dilakukan adalah memantau gerakan tanah untuk mengidentifikasi suatu daerah terhadap tingkat kemungkinan terjadinya gerakan tanah serta dampak yang akan ditimbulkannya. Secara umum, gerakan tanah yang terjadi biasanya akan meningkat pada musim hujan di kawasan perbukitan dan pegunungan dengan tingkat kemiringan lereng yang cukup besar. Menurut data dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), tercatat rata-rata sekitar 75 kejadian bencana gerakan tanah terjadi di Pulau Jawa/Madura per tahun yang menelan banyak korban jiwa dan harta. Oleh karena itu, proses pemantauan bahaya dan mitigasi bencana gerakan tanah ini sangat penting untuk dilaksanakan secara baik dan berkesinambungan.

Secara prinsip, pemantauan gerakan tanah bisa dilakukan dengan cara mengamati perubahan jarak, beda tinggi, sudut, dan koordinat dari titik-titik yang mewakili suatu daerah. Saat ini banyak sekali metode yang bisa dilakukan dalam upaya memantau pergerakan tanah.

Beberapa tahun belakangan ini, pembangunan infrastruktur, khususnya jalan tol di Jawa mengalami peningkatan pesat dalam upaya percepatan pembangunan dan perekonomian. Pembangunan infrastruktur tersebut perlu diikuti pula dengan kajian-kajian detail mengenai geologi untuk mengetahui potensi kerentanan terhadap gerakan tanah yang akan menimbulkan kerugian dan ancaman terhadap pengguna transportasi.

Dalam penelitian ini dilakukan pemantauan jalan tol ruas Semarang–Solo di Km 20–21 di Jembatan Penggarong, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah. Hal ini dilakukan berdasarkan kajian geologi sebelumnya yang ditemukan adanya erosi pada lereng-lereng Bukit Penggarong yang mengakibatkan timbulnya rekahan pada *expansion joint* di sisi kanan jembatan tersebut sebesar sekitar 2 cm (PVMBG, 2018). Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan pemantauan lanjutan untuk mengetahui tingkat besaran pergerakan tanah dan dampaknya terhadap keretakan jalan tol pada ruas jalan tersebut. Pemantauan dilakukan dengan menggunakan metode patok geser dan *Global Positioning System (GPS) Real Time Kinematic (RTK)* untuk memberikan gambaran hubungan keretakan pada Jembatan Penggarong (ruas tol Semarang–Solo) dengan gerakan tanah yang terjadi pada lereng Bukit Penggarong tersebut.

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi pemantauan secara administratif terletak di ruas jalan tol Semarang–Solo Km 20–21, Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah yang secara geografis terletak pada koordinat 110° 25' 11,17" BT dan 007° 7' 8,26" LS (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Sumber: Google Earth)

Peralatan dan Data Pengukuran

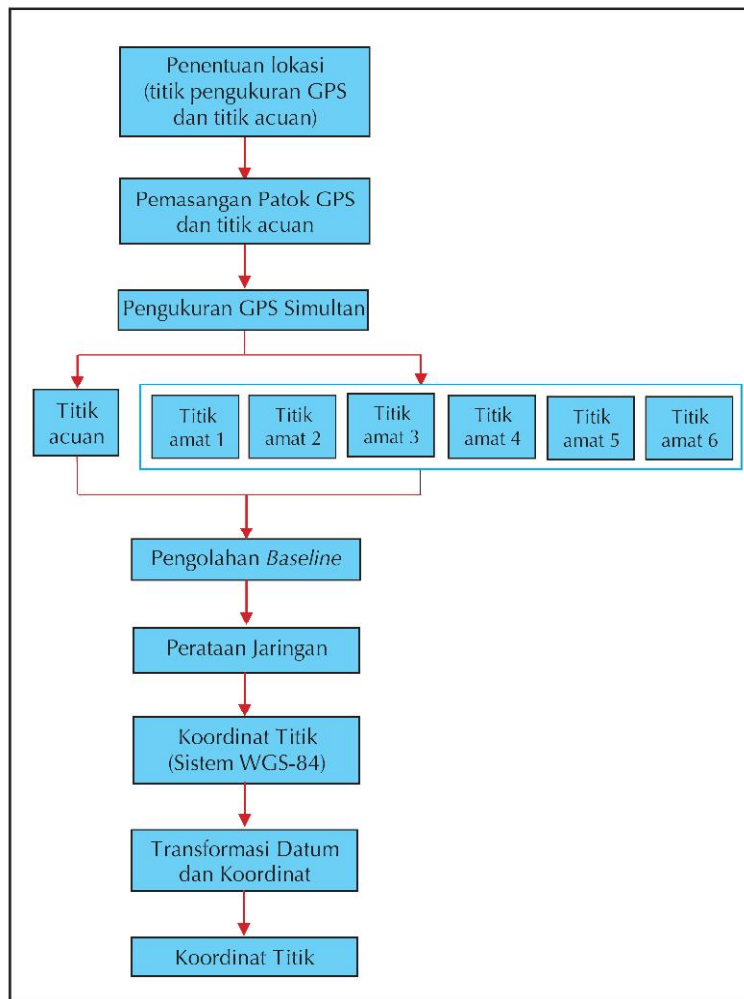
Pada penelitian ini dilakukan pemantauan dengan menggunakan alat ukur GPS tipe Trimble R8 sebanyak tujuh unit yang dipasang pada satu titik acuan (refensi) dan enam titik pengamatan di sekitar Jembatan Penggarong pada jalan tol Semarang–Solo. Data yang diperoleh dari pengukuran berupa data koordinat (XY) dan elevasi (Z) titik patok GPS.

Metode Penelitian

Kegiatan pemantauan gerakan tanah untuk upaya meminimalkan dampak buruk akibat gerakan tanah telah banyak dilakukan, antara lain dengan penyelidikan langsung di lapangan, baik secara periodik maupun setelah terjadi bencana. Pemantauan tersebut adalah upaya mencari faktor penyebab bencana dan antisipasi kemungkinan bencana serupa yang mungkin terjadi pada waktu yang akan datang. Dalam penelitian ini, pemantauan dilakukan dengan menggunakan metode *Global Positioning System (GPS)–Real Time Kinematic (RTK)* dengan mengukur pergeseran posisi dari patok yang diukur setelah periode waktu tertentu (Gambar 2).

Survei GPS adalah metode penentuan posisi dari beberapa titik secara teliti (orde ketelitian mm-cm) terhadap satu atau beberapa titik kontrol yang telah diketahui koordinatnya. Metode ini menggunakan data pengamatan fase dari beberapa satelit GPS yang diamati dalam selang waktu tertentu (Abidin, 2006). Prinsip studi gerakan tanah dengan metode survei GPS adalah dengan membandingkan koordinat dari beberapa titik pada daerah rawan *landslide* (gerakan tanah) yang diperoleh dari beberapa survei GPS yang dilakukan dengan selang waktu tertentu. Karakteristik gerakan tanah diperoleh dengan menganalisis pergeseran terhadap perbedaan koordinat dari titik-titik GPS yang diperoleh tersebut.

Untuk mendapatkan nilai perbedaan koordinat yang baik dengan tingkat ketelitian dalam orde beberapa milimeter, survei GPS harus dilakukan dengan *receiver* GPS tipe *Geodetic dual frequency*. Lama pengamatan di setiap titik disesuaikan dengan jarak antartitik pengamatan. Untuk jarak lebih pendek dari 5 km, pengamatan selama 2-3 jam biasanya sudah memadai untuk mencapai tingkat ketelitian beberapa mm.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

GPS Geodetik dual frekuensi (L1 & L2) merupakan salah satu metode yang sangat efektif untuk memantau gerakan tanah. Teknik pemantauan yang dilakukan adalah dengan cara membandingkan koordinat suatu waktu dengan koordinat pada waktu yang lain. Perbedaan koordinat ini menunjukkan arah dan jauh pergerakan tanah di kawasan yang diukur.

Penggunaan GPS untuk memantau gerakan tanah, khususnya jenis rayapan (*creep*) sudah sering diterapkan di beberapa negara. Di Indonesia, pernah dilakukan pemantauan gerakan tanah di daerah Ciloto Puncak Jawa Barat, kawasan Megamendung, dan beberapa kawasan lainnya (Sumaryono, Sulaiman, Triyana, Robiana, & Irawan, 2015).

Pemantauan dalam penelitian ini menggunakan patok referensi yang terletak pada daerah stabil dan patok-patok geser yang diletakkan pada daerah bergerak. Patok-patok ini digunakan untuk titik-titik pengukuran pemantauan gerakan tanah pada waktu yang akan datang. Hal ini dilakukan untuk mengetahui laju dan arah gerakan tanah yang dilakukan dengan metode pengamatan permukaan (*surface*) dari pengukuran pergeseran patok-patok geser pada daerah gerakan tanah yang telah dipasang pada lokasi pemantauan (Gambar 4).

Pada pemantauan dengan menggunakan GPS dapat diketahui perubahan posisi patok pengamatan berdasarkan perbedaan hasil pengukuran antara pemantauan ini dan hasil pengukuran pada periode selanjutnya (Gambar 2). Titik acuan (*referensi*) terletak pada daerah stabil yang tidak terpengaruh oleh gerakan tanah. Perbedaan hasil pengukuran akan menunjukkan perbedaan posisi patok yang berarti menunjukkan adanya pergeseran di daerah tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil survei lapangan sebelumnya (PVMBG, 2018) diketahui bahwa erosi terjadi pada lereng-lereng Bukit Penggaron dengan bukti adanya agregat tanah longsoran pada *pier* P-5 hingga *pier* P6. Akibat dari pergerakan tanah tersebut timbul rekahan pada *expansion joint* di sisi kanan sebesar 2 cm. Dampak lanjutan yang terjadi adalah timbulnya pergerakan *pier* P-4 menjadi 6,6 cm dan *pier* P-6 menjadi 8,2 cm.

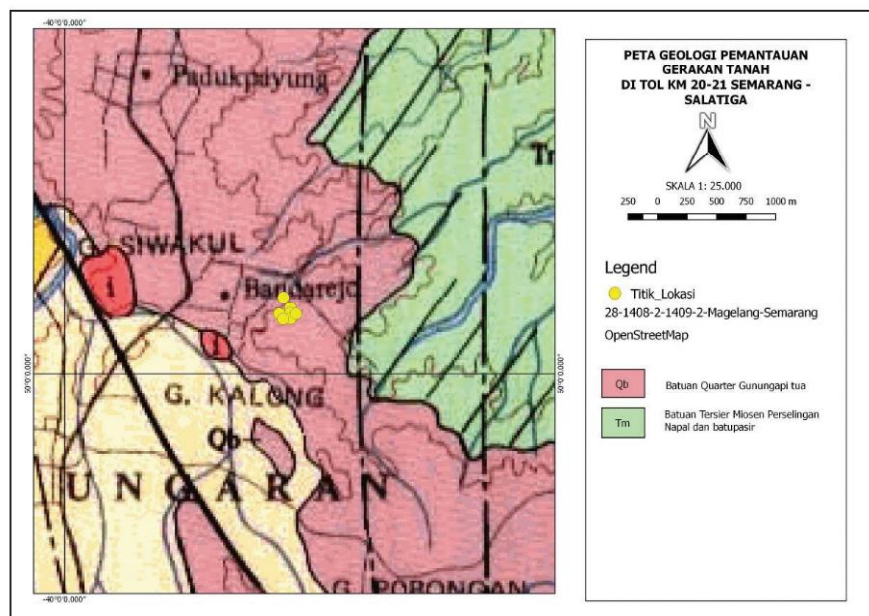
Pemantauan pada 2014 menunjukkan terjadinya kerusakan berupa retakan dan penurunan tanah pada bidang *sliding* di luar ROW dan di bawah *abudment*-1. Hal tersebut terjadi akibat adanya gempa di Kebumen dengan skala 5,5 Skala Richter (SR). Pergerakan tanah masih terjadi pada pemantauan berikutnya yang dilakukan pada 2015.

Pemantauan gerakan tanah dilakukan selama dua periode terhitung mulai 18–23 Mei 2017 dan 23–25 November 2018. Maksud dilakukan pemantauan gerakan tanah adalah untuk mengidentifikasi gerakan tanah dan parameter pendukungnya. Langkah selanjutnya dianalisis dan dievaluasi untuk mengetahui penyebab, mekanisme, dan perkembangan gerakan tanah serta upaya mitigasinya.

Morfologi kawasan Jembatan Penggaron pada ruas jalan tol Semarang–Solo Km. 20–21 dan sekitarnya berupa perbukitan bergelombang sedang. GPS 1–6 berada pada area dekat dengan pondasi/tiang jembatan di lereng bagian utara. Secara administrasi, area tersebut terletak di Kabupaten Semarang yang memiliki kemiringan lereng landai-terjal (15° – 70°). Di bawahnya merupakan aliran sungai, daerah pemantauan yang berada pada ketinggian 200–300 meter di atas permukaan laut.

Berdasarkan Peta Geologi Lembar 28-1408-2-1409-2 Magelang-Semarang (R.E. Thaden, dkk, 1975) (Gambar 3), lokasi pemantauan di sekitar Jembatan Penggaron, ruas tol Semarang–Solo, secara umum batuan penyusun di GPS 1–6 yang berada pada lereng bagian utara disusun oleh batuan dari batuan kuarter gunungapi tua.

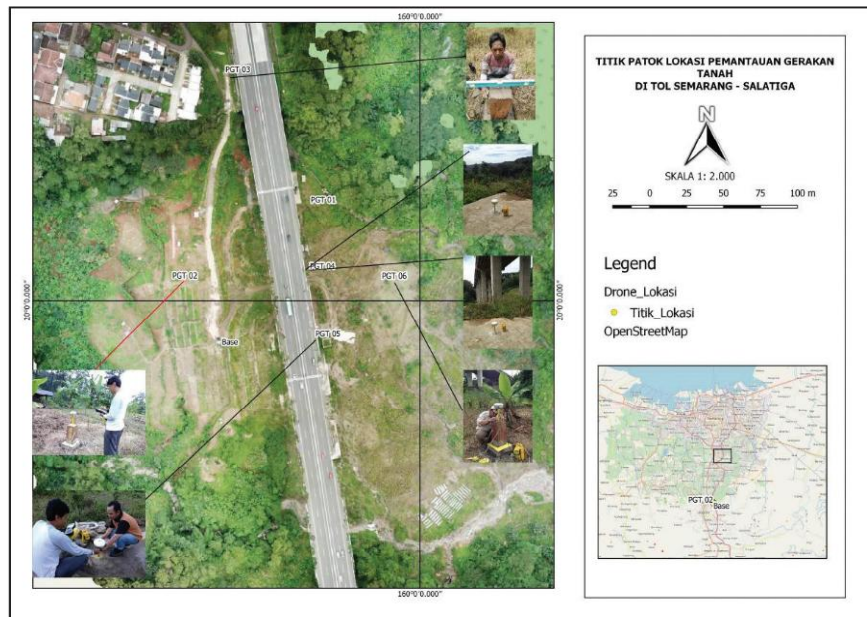
Berdasarkan pengamatan di lokasi pemantauan, batuan dasar penyusun daerah bencana adalah perselingan lempung berwarna abu-abu tebal dan batupasir. Batuan napal dan lempung ini berumur Miosen ditindih oleh batuan kuarter gunungapi yang berada di atasnya. Daerah inilah yang menjadi permasalahannya karena pondasi tiang penopang jalan tol berada pada batuan lempung atau kemungkinan napal tersebut yang belum diketahui ketebalannya. Tanah pelapukan berupa endapan gunungapi berwarna coklat kemerahan dengan ketebalan lebih dari 5 meter.



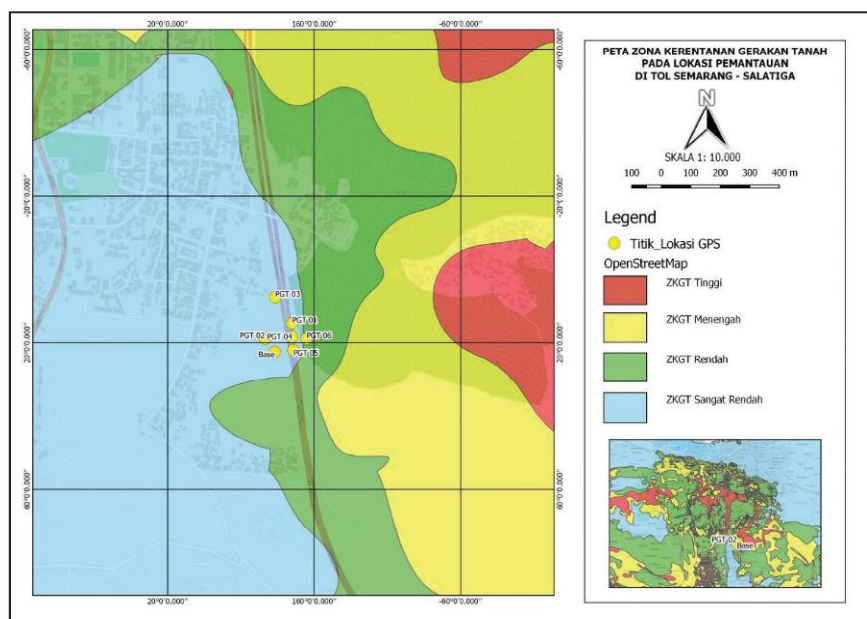
Gambar 3. Peta Geologi Magelang-Semarang (Sumber: Thaden, dkk, 1975)

Tata guna lahan pada lokasi patok geser GPS 2, GPS 3, dan GPS 6 berupa jalan, kebun, dan tegal/ladang. Adapun tata guna lahan pada lokasi patok geser GPS 1, GPS 4, dan GPS 5 berada di fondasi pilar tol. Pada bagian lembah mengalir sungai dengan aliran yang cukup banyak (Gambar 3).

Berdasarkan peta zona kerentanan gerakan tanah jalur jalan tol, lokasi pemantauan, dan sekitarnya termasuk ke dalam Zona Kerentanan Gerakan Tanah rendah-menengah (Gambar 5). Artinya, pada daerah ini dapat terjadi gerakan tanah jika curah hujan di atas normal, terutama pada daerah yang berbatasan dengan lembah sungai, gawir, tebing jalan, atau jika lereng mengalami gangguan dan gerakan tanah lama dapat aktif kembali.



Gambar 4. Lokasi Titik Patok Pemantauan Gerakan Tanah (Sumber: PVMBG, 2018)



Gambar 5. Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah di Lokasi Pemantauan Gerakan Tanah (Sumber: PVMBG, 2018)

Di lokasi pemantauan dijumpai gerakan tanah dengan tipe gerakan lambat berupa retakan dan amblesan pada badan jalan dan lahan kebun yang berada di bagian lembah. Gerakan tanah lainnya berupa longsor dengan dimensi kecil pada dinding lereng yang berbatasan dengan lembah/alur sungai. Pada lokasi patok geser GPS 2, GPS 3, dan GPS 6 berupa gerakan tipe lambat akibat tarikan dari sungai. Adapun pada lokasi patok geser GPS 1, GPS 4, dan GPS 5 berada di fondasi pilar tol terjadi kerusakan pada fondasi akibat adanya longsor di sekitar tubuh fondasi yang terlihat menggantung.

Patok pemantauan yang dipergunakan berupa patok geser yang terbuat dari cor beton yang ditanam pada tanah dengan kedalaman mencapai ± 1 m dan tinggi 10–25 cm. Patok geser sebanyak enam titik dipasang di daerah yang bergerak di kawasan sekitar bawah jembatan tol Km. 20-21 (Jembatan Penggaron). Adapun patok tetap menggunakan patok yang telah dibuat oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) yang tidak berpotensi terjadinya gerakan tanah, tepatnya di pertigaan Jalan Bawen (Jalur Utama Semarang–Ambarawa dan Semarang–Solo) tepatnya di depan terminal bus Bawen.

Untuk pengukuran selanjutnya, titik patok geser diukur koordinat dan elevasinya dengan mengacu pada koordinat dan elevasi lokal dari titik acuan (Tabel 1 dan Tabel 2).

Tabel 1. Pengukuran # Februari 2018

ID	Easting (meter)	Northing (meter)	Elevation (meter)
pgt1	435975.510	9213148.924	314.955
pgt2	435887.593	9213095.470	321.368
pgt3	435924.004	9213235.856	339.990
pgt4	435982.528	9213107.552	304.047
pgt5	435986.622	9213062.432	301.697
pgt6	436027.487	9213107.890	301.055

Tabel 2. Pengukuran # November 2018

ID	Easting (meter)	Northing (meter)	Elevation (meter)
pgt1	435975.491	9213148.921	314.929
pgt2	435887.594	9213095.463	321.369
pgt3	435924.012	9213235.875	339.948
pgt4	435982.462	9213107.532	304.222
pgt5	435986.643	9213062.418	301.730
pgt6	436028.103	9213107.792	300.921

Berdasarkan data titik pantau/patok geser menunjukkan bahwa ada beberapa titik pada patok geser yang mengalami perubahan antara 0,7–69 cm pada 6 titik patok geser. Pergeseran secara horizontal menunjukkan arah vektor ke selatan dan tenggara. Secara vertikal besar perubahan kenaikan patok berkisar 2-13 cm serta penurunan patok sekitar 0,7–17,5 cm dalam kurun waktu 10 bulan pada Februari dan November 2018 (Tabel 3).

Tabel 3. Pergerakan Titik Pemantauan GPS Geodetik di Jembatan Penggarong Tol Semarang–Solo

ID	Δ Elevation (meter)	Displacement (meter)
pgt1	-0.026	0.019
pgt2	0.001	0.007
pgt3	-0.042	0.021
pgt4	0.175	0.069
pgt5	0.033	0.025
pgt6	-0.134	0.624

KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan dan pengukuran pemantauan di lapangan dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut.

1. Kawasan jalur jalan tol Semarang–Solo Km 20–21 (Jembatan Penggaron) dan sekitarnya masih berpotensi terjadi pergerakan berdasarkan survei geologi dan pengukuran pergeseran patok menggunakan GPS pada area tersebut.
2. Gerakan tanah ini disebabkan oleh sifat fisik tanah pelapukan yang lepas, sarang dan tebal serta litologi lempung pada dasar fondasi pilar yang memungkinkan sebagai bidang gelincir. Kemiringan lereng yang curam-terjal, tanaman (vegetasi) yang berakar kuat dan dalam jarang serta dipicu curah hujan yang tinggi.
3. Hasil Pengukuran menunjukkan bahwa ada beberapa titik pada patok geser yang mengalami adanya perubahan antara 0,7–69 cm pada 6 titik patok geser. Pergeseran secara horizontal menunjukkan arah vektor ke selatan dan tenggara. Secara vertikal besar perubahan kenaikan patok berkisar 2–13 cm dan penurunan patok sekitar 0,7–17,5 cm dalam kurun waktu 10 bulan pada Februari sampai dengan November 2018. Dampak yang terjadi akibat pergeseran tersebut adalah terjadi perenggangan pada sambungan ruas jalan tol Semarang–Solo tepatnya di Jembatan Penggarong yang bisa membahayakan pengguna jalan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. (2006). *Penentuan Posisi Dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Lessing, P., Messina, C. P., & Fonner, R. F. (1983). Landslide Risk Assesment. *Environmental Geology*, Vol. 5, 93-99.
- PVMBG. (2018). *Pemantauan Tol Semarang - Solo Jembatan Penggaron*. Bandung.
- Sumaryono, Sulaiman, C., Triyana, Y. D., Robiana, R., & Irawan, W. (2015). Landslide Investigation and Monitoring at Ciloto, West Java Indonesia, Dalam G. Lolino et al. (eds), *Engineering Geology for Society and Teritory. Springer International Publishing Switzerland*, Vol 2, 1089-1096.
- Thanden, R. E. (1975). *Peta Geologi Lembar Magelang - Semarang, Jawa*. Bandung: Pusat Pengembangan dan Pemetaan Geologi.