

Landslide Treatment in the Al-Husainiyyah Junior High School Area using Cantilever-Geofoam Wall

Penanganan Longsor di Lingkungan SMP Al-Husainiyyah dengan Menggunakan Dinding Kantilever-Geofoam

Aswin Lim¹, Ignatius Tommy Pratama*², Budijanto Widjaja³, Helmy Hermawan Tjahjanto⁴, Johannes Adhijoso Tjondro⁵, Obaja Triputera Wijaya⁶, Bobby Minola Ginting⁷, Theresita Herni Setiawan⁸, Yohanes Lim Dwi Adi⁹, Felix Hidayat¹⁰, Patricia Hartieni¹¹, Octavianus William¹², Tabitha Aldrianita¹³, Imam Ahmad Fadhil¹⁴

^{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14}Universitas Katolik Parahyangan

E-mail: aswinlim@unpar.ac.id¹, tommyignatius@unpar.ac.id², widjaja@unpar.ac.id³, helmy.hermawan@unpar.ac.id⁴, tjondro@unpar.ac.id⁵, obaja.wijaya@unpar.ac.id⁶, bobbyminola.g@unpar.ac.id⁷, herni@unpar.ac.id⁸, adi@unpar.ac.id⁹, hidayat@unpar.ac.id¹⁰, patricia.hart@unpar.ac.id¹¹, octavianus.will@gmail.com¹², tabithaaldrianita@gmail.com¹³, imamaheum@gmail.com¹⁴

Abstract

A landslide triggered by heavy rainfall occurred in the SMP Al-Husainiyyah area on April 26th, 2023, damaging the access roads, the existing retaining wall, and the futsal field of SMP Al-Husainiyyah. This incident poses a significant risk to the safety of teachers and students, potentially disrupting school activities that require open areas if the slope is not promptly stabilized. Therefore, this community service project aims to mitigate the landslide in the SMP Al-Husainiyyah vicinity by constructing a cantilever wall utilizing geofoam as a lightweight fill material. The methodology employed in this study included field surveys and numerical analysis. The field survey involved direct observation and soil investigation, comprising boring tests, standard penetration tests (SPT), cone penetration tests (CPT), and topographic surveys, to assess the current conditions at the landslide site. A two-dimensional finite element-based numerical analysis was also conducted to simulate and evaluate slope stability before and after the landslide, and post-repair slope stability. The results indicate that a cantilever wall design with a height of 1.8 meters, supported by Strauss piles, significantly enhances slope stability. The cantilever wall and Strauss piles were designed to withstand lateral earth pressure, external loads, and hydrostatic pressure. Implementing geofoam as a lightweight fill material further reduced additional loads on the slope, thus maintaining its stability. This study offers an effective and efficient solution to address landslide issues and ensure the safety and continuity of school activities at SMP Al-Husainiyyah.

Keywords: *Landslide, Slope Stability, Cantilever Wall, Geofoam*

Abstrak

Tanah longsor yang dipicu oleh hujan deras terjadi di kawasan SMP Al-Husainiyyah pada tanggal 26 April 2023 dan merusak jalan akses di sekitarnya, dinding penahan tanah eksisting, dan lapangan futsal SMP Al-Husainiyyah. Hal ini dapat berdampak pada keselamatan guru dan siswa dalam melaksanakan kegiatan sekolah yang khususnya memerlukan area terbuka apabila lereng tidak segera mendapatkan perbaikan. Oleh karena itu, kegiatan pengabdian masyarakat ini bertujuan untuk mengatasi longsor di lingkungan SMP Al-Husainiyyah melalui konstruksi dinding kantilever dengan geofoam sebagai material timbunan ringan. Metode yang digunakan pada penelitian ini meliputi survei lapangan dan analisis numerik. Survei lapangan berupa observasi langsung dan penyelidikan tanah yang meliputi uji bor, uji penertrasi standar, sondir, dan topografi lapangan dilakukan guna mengetahui kondisi terkini di lokasi longsor. Analisis numerik berbasis metode elemen hingga dua dimensi juga dilakukan untuk menyimulasikan dan mengevaluasi stabilitas lereng sebelum dan setelah tanah longsor terjadi, serta stabilitas lereng setelah dilakukan perbaikan. Hasil studi menunjukkan bahwa desain dinding kantilever dengan tinggi 1,8 m yang didukung oleh tiang Strauss dapat meningkatkan kestabilan lereng secara signifikan. Dinding kantilever dan tiang Strauss ini dirancang untuk menahan beban tekanan lateral tanah, beban luar, dan tekanan air. Implementasi geofoam sebagai material timbunan ringan juga berkontribusi dalam mengurangi beban yang bekerja pada lereng sehingga dapat menjaga stabilitas lereng. Studi ini memberikan solusi efektif dan efisien dalam mengatasi masalah tanah longsor dan memastikan keselamatan dan keberlangsungan kegiatan sekolah di SMP Al-Husainiyyah.

Kata kunci: *Tanah Longsor, Kestabilan Lereng, Dinding Kantilever, Geofoam*

1. PENDAHULUAN

Tanah longsor merupakan fenomena alam mencari kesetimbangan baru yang melibatkan pergerakan massa tanah dan/atau batuan menuruni lereng dengan kecepatan tertentu akibat penurunan kekuatan geser tanah dan/atau peningkatan tegangan geser pada lereng (Apriyono, 2009; Duncan dkk., 2014). Mekanisme penyebab tanah longsor pada umumnya diakibatkan oleh interaksi berbagai faktor yang menyebabkan ketidakstabilan lereng seperti topografi lereng, sifat tanah dan batuan, intensitas hujan, dan kondisi pembebanan (Duncan dkk., 2014; Jeong dkk., 2017). Studi terdahulu mengindikasikan bahwa penyebab umum tanah longsor adalah hujan, khususnya hujan dengan intensitas tinggi dan durasi panjang (Lee dkk., 2009; Muntohar & Liao, 2010; Tohari, 2018; Hakro & Harahap, 2015; Adfy & Marzuki, 2021). Melalui uji laboratorium simulasi kegagalan lereng akibat hujan, Hakro & Harahap (2015) menemukan bahwa tekanan air pori meningkat secara tiba-tiba ketika tanah longsor terjadi. Peningkatan tekanan pori mengakibatkan penurunan tegangan efektif dan kuat geser tanah pada lereng (Chae dkk., 2015; Fang & Esaki, 2012), hingga pada kondisi kuat geser tanah tidak lagi mampu menopang berat sendiri tanah dan beban luar lain yang bekerja pada lereng, termasuk tekanan air pori, tanah longsor terjadi. Perlu diketahui bahwa tekanan air pori tidak hanya mengakibatkan penurunan kuat geser tanah, namun juga mengakibatkan peningkatan tegangan geser pada lereng.

Peningkatan kestabilan lereng dapat dilakukan dengan melakukan perbaikan tanah guna meningkatkan kekuatan tanah dan/atau membangun struktur perkuatan lereng seperti barisan tiang (*pile wall*) dan dinding penahan tanah guna meningkatkan gaya penahan pergerakan tanah (Duncan dkk., 2014; Fauzi dkk., 2019). Fauzi dkk. (2019) menggunakan barisan tiang cerucuk bambu untuk meningkatkan stabilitas lereng di Gresik. Hasil analisis dengan menggunakan metode kesetimbangan batas menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan lereng meningkat dari 1,06 menjadi 1,37. Hasil penelitian Pratama (2021) dengan menggunakan metode kesetimbangan batas dan pendekatan probabilistik dan deterministik juga menunjukkan bahwa penggunaan barisan tiang cerucuk dan tiang pancang pipa baja pada lereng tanah hasil pelapukan batu lempung serpih (*clayshale*) dapat meningkatkan faktor keamanan lereng dari 1 menjadi 1,25 dan menurunkan probabilitas kegagalan lereng dari 39,8% menjadi 0,15%.

Peningkatan kestabilan lereng juga dapat dilakukan dengan menggunakan material timbunan ringan *geofoam*. Penggunaan *geofoam* dapat mengurangi tegangan geser pada tanah, deformasi tanah, dan gaya pendorong pada dinding penahan tanah karena berat material yang ringan, mencapai 1/80 berat material tanah timbunan konvensional (Hidayat & Suhendra, 2011; Gunawan, 2022; Tananda dkk., 2023). Gunawan (2022) menunjukkan bahwa penggantian material tanah timbunan di belakang dinding penahan tanah dengan *geofoam* menurunkan deformasi dinding hingga 95% dan meningkatkan FK kestabilan dinding secara global hingga 1,46 akibat menurunnya gaya pendorong pada dinding. Hasil serupa juga ditampilkan oleh Tananda dkk. (2023). Tananda dkk. (2023) menggunakan barisan tiang pancang persegi 25 cm × 25 cm dan *geofoam* sebagai pengganti material timbunan tanah untuk konstruksi perkuatan lereng di suatu area pembangkit listrik tenaga panas bumi. Berdasarkan hasil analisis numerik berbasis metode elemen hingga, nilai faktor keamanan lereng setelah dilakukan perkuatan adalah 1,6.

Berdasarkan data Infografis Bencana Tahun 2023 oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) dan Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Bandung, tanah longsor menempati urutan ketiga dengan 591 kejadian ditingkat nasional dan 130 kejadian di Kabupaten Bandung. Data ini menunjukkan 22% kejadian tanah longsor terjadi di Kabupaten Bandung yang mengindikasikan Kabupaten Bandung rawan terhadap bencana tanah longsor. Hal ini disebabkan oleh topografi Kabupaten Bandung yang berbukit dan curah hujan yang tinggi. Salah satu kejadian tanah longsor terjadi di lingkungan Sekolah Menengah Pertama (SMP) Al-Husainiyah.



Gambar 1. (a) Foto udara lokasi longsor, (b) kondisi mahkota longsor, dan (c) kondisi kaki lereng

Tanah longsor terjadi di lingkungan SMP Al-Husainiyyah, Kota Bandung pada 26 April 2023, pukul 16.24 WIB saat hujan lebat terjadi. Kunjungan lapangan awal dilakukan pada 9 Mei 2023 untuk mengetahui kondisi terkini di lapangan. Berdasarkan hasil kunjungan lapangan, tanah longsor di lingkungan SMP Al-Husainiyyah terjadi pada lereng curam dengan kemiringan lereng kurang lebih mencapai 45° . Ketinggian lereng yang mengalami longsor diperkirakan mencapai 12,5 m dengan lebar lereng mencapai 15 m serta panjang longsor adalah 15,3 m. Gambar 1 menggambarkan kondisi lereng berdasarkan foto udara, kondisi di sekitar mahkota longsor, dan kondisi di kaki lereng pada saat kunjungan lapangan. Longsor yang terjadi mengakibatkan jalan akses menuju lapangan futsal yang berada di atas lereng tidak dapat digunakan karena kehilangan fondasi dan runtuhnya dinding penahan tanah eksisting. Selain itu, jalan lingkungan dan saluran drainase yang berada di kaki lereng tertutup oleh material longsor yang berupa tanah dan tanaman bambu sehingga menghambat mobilitas warga sekitar dan menutup akses air pada saluran drainase. Sebagai catatan, pada saat kunjungan lapangan, jalan lingkungan di dekat kaki lereng telah dapat diakses kembali. Kemudian, terdapat retakan dengan lebar mencapai 0.5 cm dan panjang 1.5 m pada lantai beton di lapangan futsal SMP Al-Husainiyyah yang mengindikasikan adanya pergerakan tanah. Hal ini mengakibatkan terhambatnya kegiatan belajar mengajar yang khususnya memerlukan area terbuka dan menimbulkan kekhawatiran terhadap potensi terbentuknya longsor baru yang dapat menelan korban jiwa dan berdampak signifikan pada gedung sekolah apabila tidak mendapatkan penanganan segera. Dengan demikian, restorasi lingkungan SMP Al-Husainiyyah yang terdampak longsor diperlukan.

Perlu diketahui bahwa SMP Al-Husainiyyah merupakan sekolah swasta yang dikelola oleh Yayasan Al-Husainiyyah dan berlokasi di dalam permukiman padat penduduk di Kecamatan Cidadap, Kota Bandung. Berdasarkan Data Pokok Pendidikan dari Dinas Pendidikan Kota Bandung dan hasil wawancara dengan pengurus sekolah, SMP Al-Husainiyyah menampung

kurang lebih 95 siswa pada Semester Genap 2023/2024 yang berasal dari lingkungan sekitar sekolah dengan status peserta didik didominasi oleh siswa yatim dan/atau piatu serta siswa dari keluarga kurang mampu.

Dengan mempertimbangkan keterbatasan dan kebutuhan SMP Al-Husainiyyah, maka tujuan kegiatan pengabdian kepada masyarakat (PKM) di lingkungan SMP Al-Husainiyyah adalah memberikan bantuan dalam bentuk kajian penanggulangan longsor dengan luaran utama berupa desain dinding penahan tanah. Kajian ini diharapkan dapat memberikan masukan terhadap metode mitigasi risiko tanah longsor dan pemulihan lingkungan SMP Al-Husainiyyah. Kegiatan PKM ini melibatkan dosen sebagai ahli dibidang teknik sipil dan juga mahasiswa program sarjana dan magister teknik sipil Universitas Katolik Parahyangan (UNPAR) sebagai tenaga pendukung. Selain itu, masyarakat sekitar dan pengurus sekolah juga berperan aktif dalam memberikan masukan dan informasi mengenai kondisi lingkungan dan kemampuan masyarakat dalam melakukan kegiatan konstruksi.

Kegiatan PKM secara umum meliputi survei lapangan, penyelidikan tanah, dan analisis serta desain struktur dinding penahan tanah (DPT) baru. Desain struktur DPT pada makalah ini mengadopsi system dinding kantilever dengan material timbunan inovatif berupa *geofoam* yang telah berhasil digunakan pada beberapa konstruksi sipil (Hidayat & Suhendra, 2011; Tananda dkk., 2023). *Geofoam* memiliki karakteristik berat material yang ringan sehingga mampu mereduksi beban yang diberikan pada tanah. Hidayat & Suhendra (2011) mengemukakan bahwa penggunaan *geofoam* dapat memberikan nilai faktor keamanan lereng yang lebih tinggi dan deformasi yang lebih kecil. Kemudian, dinding penahan tanah kantilever merupakan salah satu tipe dinding gravitasi yang mengadalkan beratnya sendiri untuk menopang beban yang bekerja seperti tekanan tanah, tekanan air, dan beban-beban lain, khususnya beban horizontal (Pratama dkk., 2022). Dinding kantilever digunakan pada kasus ini karena metode konstruksi yang relatif mudah dengan biaya yang relatif terjangkau. Sebagai tambahan, barisan tiang *Strauss* juga digunakan sebagai fondasi DPT dan penahan gerakan tanah pada kasus ini.

2. METODE

Metodologi penelitian dalam kegiatan PKM di lingkungan SMP Al-Husainiyyah difokuskan pada langkah-langkah sistematis untuk merancang solusi penanggulangan tanah longsor. Survei lapangan yang didampingi oleh masyarakat sekitar dan pengurus SMP Al-Husainiyyah pertamata dilakukan untuk mengumpulkan informasi dan mengetahui kondisi lapangan terkini. Keterlibatan masyarakat setempat juga menjadi fokus dalam pengumpulan informasi, melibatkan wawancara dan diskusi untuk memahami persepsi dan pengalaman masyarakat terhadap tanah longsor serta untuk mengetahui kebutuhan masyarakat terkait mitigasi bencana longsor.

Penyelidikan lapangan yang meliputi survei topografi dan penyelidikan tanah kemudian dilakukan untuk memperoleh data topografi lereng dan kondisi geologi di sekitar longsor. Pengukuran topografi menggunakan metode *real-time kinematic* (RTK). Metode RTK merupakan suatu sistem penentuan posisi *real-time* secara differensial menggunakan data fase. Dalam hubungannya untuk memberikan data *real-time*, stasiun referensi harus mengirimkan data fase dan *pseudo-range* kepada pengguna secara *real-time* menggunakan sistem komunikasi data. Gambar 2a menampilkan pengukuran topografi menggunakan metode RTK.

Penyelidikan tanah berupa uji sondir sebanyak empat (4) titik dan uji bor dan penetrasi standar (*standard penetration test*, SPT) sebanyak dua (2) titik juga dilakukan seperti yang ditampilkan pada Gambar 2b,c. Tujuan uji SPT dan sondir adalah untuk mengetahui profil dan kekuatan tanah serta mengambil sampel tanah dari berbagai kedalaman yang kemudian dilakukan pengujian di laboratorium mekanika tanah. Prosedur uji bor dan SPT atau uji bor-SPT mengacu pada SNI 2436:2008 dan SNI 4153:2008, sementara prosedur uji sondir mengacu pada SNI 2827:2008. Secara umum, uji SPT dilakukan dengan mengukur jumlah tumbukan tabung belah (*split spoon sampler*) yang ditumbuk dengan palu jatuh berbobot 63,5 kg dari ketinggian

76,2 cm. Proses ini dilakukan dalam tiga tahap, masing-masing sepanjang 15 cm dan nilai SPT (N_{SPT}) merupakan jumlah total tumbukan yang dibutuhkan untuk menembus kedalaman 30 cm terakhir (15 cm kedua dan ketiga). Uji SPT di lokasi longsor dilakukan pada interval kedalaman 2 m hingga ke kedalaman 20 m. Kemudian, uji sondir dilakukan dengan cara menekan konus (*cone*) yang terpasang di ujung batang ke dalam tanah untuk mengukur tahanan ujung konus (*cone resistance, q_c*) dan gesekan selimut konus (*sleeve friction, f_s*) secara kontinu. Pengukuran tahanan ujung dan gesekan selimut konus dilakukan dengan interval kedalaman 0,2 m hingga menyentuh lapisan tanah keras di mana tahanan ujung mencapai 250 kg/cm² atau lebih kecil/besar sesuai dengan kapasitas alat.

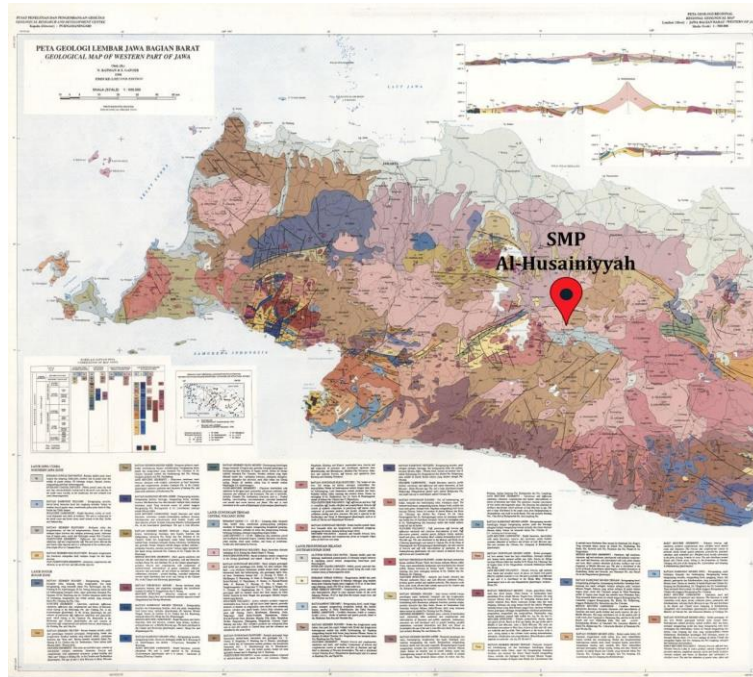


Gambar 2. Pelaksanaan (a) topografi menggunakan metode RTK, (b) uji sondir, dan (c) uji bor-SPT

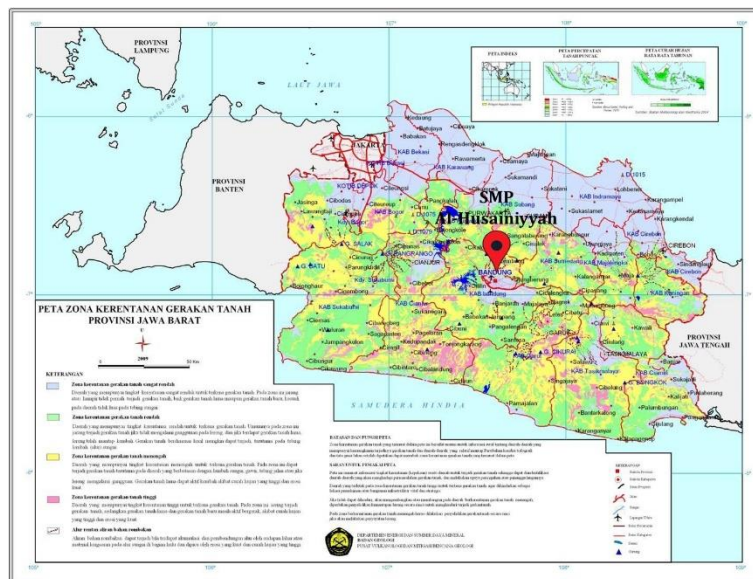
Analisis laboratorium kemudian dilakukan pada sampel-sampel tanah hasil uji bor-SPT untuk menentukan karakteristik fisik dan mekanik tanah, seperti uji kekuatan geser tanah. Sebagai tambahan, data-data lain seperti luas daerah tangkapan air (DTA) dan data hujan juga dikumpulkan sebagai referensi desain saluran air.

Berdasarkan peta geologi lembar Jawa Bagian Barat (Gambar 3) oleh Ratman & Gafoer (1998), lokasi tinjauan termasuk kedalam Formasi Batuan Gunung Api Holosen (Qv). Formasi Batuan Gunung Api Holosen merupakan hasil endapan gunung api aktif terdiri dari perselingan laval, breksi, tufa, serta endapan lahar lepas yang umumnya bersusunan andesit sampai basal, setempat bersusunan dasit, dan berbatu apung. Dengan demikian, masyarakat perlu waspada apabila ditemukan batuan tufa. Batuan tufa memiliki sifat fisik lepas sampai dengan keras hingga keras dalam kondisi kering dan akan menjadi lembek dan gembur dalam kondisi jenuh air sehingga kekuatannya menurun. Tufa mempunyai sifat porositas dan permeabilitas tinggi sehingga batuan ini akan mudah jenuh air. Namun, berdasarkan hasil penyelidikan tanah berupa uji bor pada Bulan Juli 2023, batuan tufa atau tanah residual tufa tidak ditemukan, sehingga batuan tufa tidak diindikasikan sebagai salah satu penyebab longsor di lokasi ini.

Gambar 4 menampilkan peta zona kerentanan pergerakan tanah Provinsi Jawa Barat yang dikeluarkan oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG). Menurut PVMBG (2009) pada Gambar 4, lokasi tinjauan berada di zona kerentanan pergerakan tanah menengah. Zona dengan kerentanan pergerakan tanah menengah mempunyai tingkat kerentanan menengah untuk terkena gerakan tanah. Pada zona ini dapat terjadi gerakan tanah terutama pada daerah yang berbatasan dengan lembah sungai, gawir, tebing jalan atau jika lereng mengalami gangguan. Gerakan tanah lama dapat aktif kembali akibat curah hujan yang tinggi dan erosi kuat. Dengan demikian, berdasarkan evaluasi kondisi geologi dan topografi lereng pada Gambar 3 dan Gambar 4, analisis kestabilan lereng pasca longsor dan pemberian perkuatan dan/atau perlindungan lereng khususnya pada kondisi hujan diperlukan untuk mengetahui potensi longsor akibat hujan dan/atau gangguan-gangguan lain pada lereng di lingkungan SMP Al-Husainiyah.



Gambar 3. Peta Geologi Lokasi Tinjauan (Ratman & Gafoer, 1998)

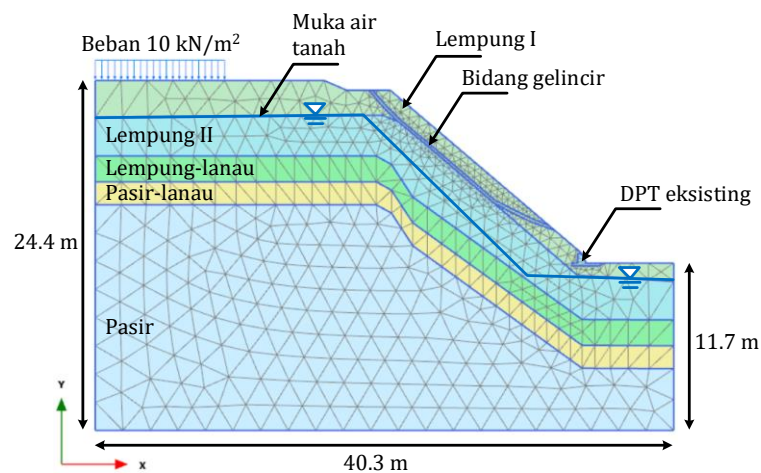


Gambar 4. Peta Zona Kerentanan Pergerakan Tanah Provinsi Jawa Barat [Sumber: PVMBG, 2009]

Analisis struktur dinding penahan tanah (DPT) dan saluran air kemudian dilakukan untuk mendapatkan desain perkuatan lereng dan saluran air baru. Pendekatan dinding kantilever dengan penggunaan material timbunan inovatif berupa *geofoam* dan fondasi tiang *Strauss* menjadi fokus desain pada makalah ini. Langkah ini didukung oleh literatur terkini (Hidayat & Suhendra, 2011; Tananda dkk., 2023) yang menyoroti keunggulan *geofoam* dalam mereduksi beban pada tanah. Dalam menyusun desain DPT dan melakukan analisis kestabilan lereng, analisis numerik berbasis metode elemen hingga dua dimensi, PLAXIS 2D digunakan untuk mengevaluasi kestabilan lereng pasca longsor dan setelah dilakukan perbaikan. Pada analisis numerik, perilaku tegangan dan regangan tanah dimodelkan dengan model Mohr-Coulomb (*linearly elastic-perfectly plastic model*) dengan tipe drainase *Undrained-A* (input kekuatan dan kekakuan tanah dalam kondisi efektif). Tahapan kejadian longsor disimulasikan dengan memperhitungkan faktor hujan serta kenaikan muka air tanah akibat hujan untuk memahami

proses terjadinya longsor. Pada tahapan awal dilakukan analisis kembali pada kondisi lereng sebelum terjadi longsor, kemudian dilanjutkan dengan kondisi pada saat hujan terjadi, pasca longsor, dan saat muka air tanah kembali naik. Sesuai dengan rekomendasi SNI 8460:2017, beban hidup sebesar 10 kN/m^2 juga diberikan di atas lereng untuk mencapai hasil yang lebih konservatif.

Gambar 5 menampilkan geometri model numerik di dalam program PLAXIS 2D. Perlu dicatat bahwa lapisan tanah pada Gambar 5 merupakan lapisan tanah yang disederhanakan. Hal ini bertujuan untuk mengurangi kompleksitas analisis numerik dan kesalahan numerik. Tabel 1 menunjukkan parameter input material yang meliputi berat isi natural (γ), berat isi jenuh (γ_{sat}), kohesi efektif (c'), sudut geser dalam efektif (ϕ'), modulus Young efektif (E'), dan angka Poisson efektif (ν'). Parameter input material diperoleh berdasarkan hasil uji laboratorium dan beberapa korelasi empiris (Das, 2016; Budhu, 2010).



Gambar 5. Geometri model numerik

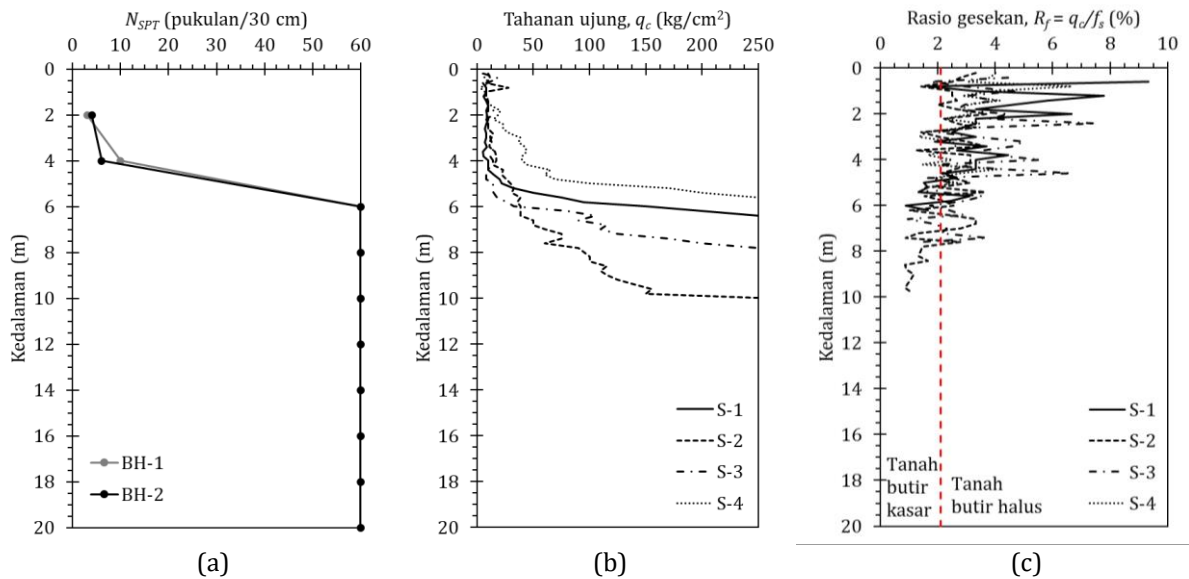
Tabel 1. Parameter input material

Material	γ (kN/m^3)	γ_{sat} (kN/m^3)	c' (kN/m^3)	ϕ' ($^\circ$)	E' (kN/m^2)	ν'
Lempung I	17.5	18.5	30	36	2400	0.3
Lempung II	17.5	18.5	20	31	15000	0.3
Lempung-lanau	18.5	19.5	5	30	18000	0.3
Pasir-lanau	19.0	20.0	6	32	10000	0.3
Pasir	21.0	22.0	1	37	60000	0.3
Bidang gelincir	17.5	18.5	5	28	2400	0.3
DPT eksisting	-	24.0	-	-	2.5×10^7	0.15

Analisis struktur dinding DPT, desain saluran air berdasarkan kemungkinan hujan ekstrim yang dapat terjadi dimasa yang akan datang, dan estimasi biaya konstruksi kemudian dilakukan untuk memastikan keamanan dan keberlanjutan konstruksi DPT. Perencanaan implementasi desain DPT juga dilakukan dengan memperhatikan ketersediaan sumber daya dan keberlanjutan solusi. Selama proses desain, partisipasi aktif masyarakat akan diupayakan untuk memastikan penerimaan dan pemeliharaan solusi yang diusulkan. Selain itu, penyuluhan kepada masyarakat terhadap bahaya longsor juga direncanakan sebagai upaya pencegahan kejadian longsor dimasa mendatang. Terakhir, evaluasi dan pemantauan secara berkala juga direncanakan untuk memastikan keefektifan jangka pendek dan jangka panjang dari solusi penanggulangan tanah longsor yang diimplementasikan di SMP Al-Husainiyah.

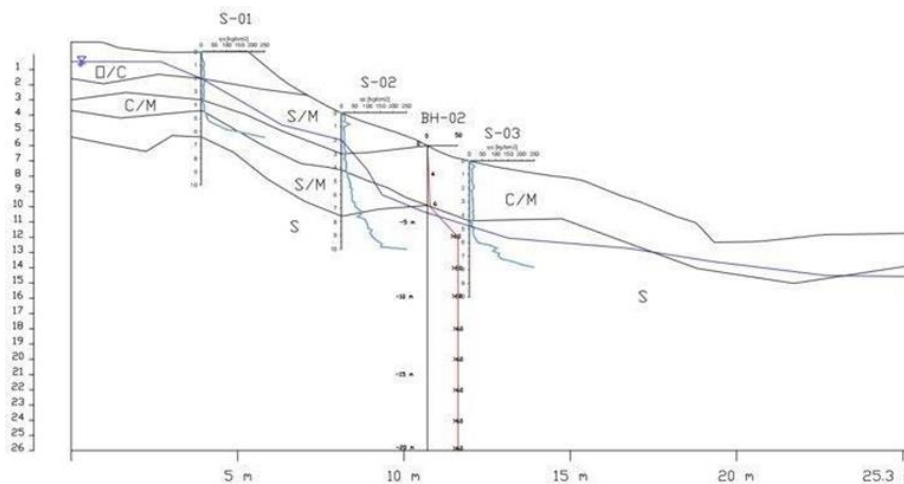
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 6 menampilkan hasil uji SPT berupa profil N_{SPT} terhadap kedalaman dan hasil uji sondir berupa profil q_c dan rasio gesekan (R_f) terhadap kedalaman. Hasil uji SPT pada Gambar 6a menunjukkan bahwa kedalaman tanah keras dengan nilai $N_{SPT} > 60$ pukulan/30 cm dimulai dari kedalaman 6 m. Hasil serupa ditunjukkan oleh hasil uji sondir (Gambar 6b). Gambar 6b mengindikasikan bahwa kedalaman tanah keras ($q_c > 250 \text{ kg/cm}^2$) dimulai dari kedalaman antara 5,6 m hingga 10 m. Secara umum, berdasarkan klasifikasi tanah menurut Schmertmann (1969), jenis tanah pada kedalaman hingga 6 m didominasi oleh tanah butir halus seperti tanah lempung dan lanau dengan konsistensi lunak hingga teguh. Hal ini diindikasikan oleh Gambar 6c di mana nilai R_f rata-rata $> 2.1\%$ pada kedalaman 0 hingga 6 m. Pada kedalaman antara 6 m hingga 10 m, jenis tanah didominasi oleh tanah pasir dengan nilai $R_f < 2.1\%$.



Gambar 6. Profil (a) N_{SPT} , (b) q_c , dan (c) R_f terhadap kedalaman hasil uji SPT dan sondir

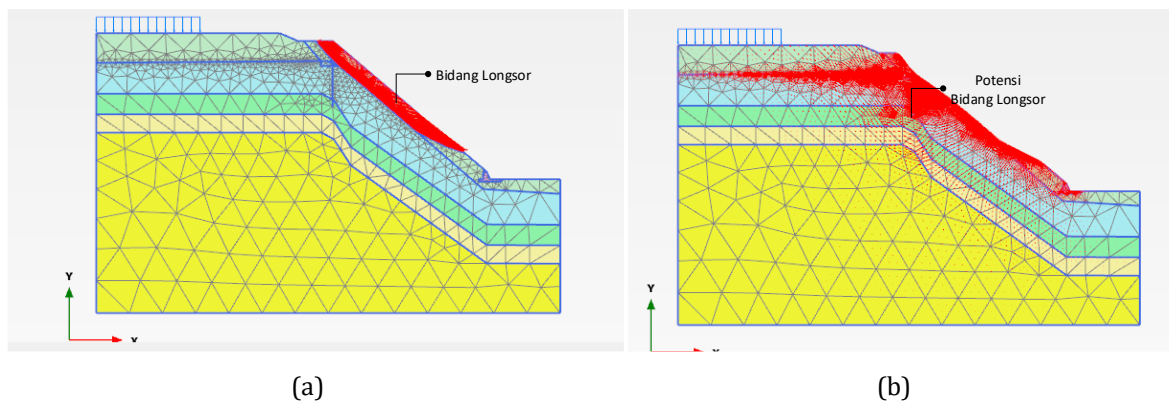
Hasil survei topografi dan uji penyelidikan tanah juga diolah untuk menghasilkan stratifikasi dan parameter tanah yang dapat digunakan dalam pemodelan numerik. Hasil survei topografi mengindikasikan bahwa lereng di lokasi longsor memiliki kemiringan lereng hingga 42° . Kemudian, berdasarkan hasil uji bor-SPT dan interpretasi jenis tanah menggunakan hasil uji sondir oleh Schmertmann (1969) serta hasil survei topografi, profil potongan lereng dan stratifikasi tanah di lokasi tinjauan dapat dilihat pada Gambar 7. Karakter S, M, dan C mengindikasikan tanah pasir (*sand*), lanau (*silt*), dan lempung (*clay*) secara berturut-turut.



Gambar 7. Stratifikasi tanah (skala 1V:2.2H)

Kestabilan suatu lereng umum dinyatakan dengan suatu nilai faktor keamanan (FK), yaitu perbandingan antara gaya-gaya penahan (gaya-gaya yang menahan pergerakan tanah) dengan komponen utama kuat geser tanah dan gaya-gaya pendorong (gaya-gaya yang menyebabkan pergerakan tanah). Persyaratan mendasar stabilitas lereng adalah bahwa kekuatan geser tanah harus lebih besar dari tegangan geser yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan (Duncan dkk., 2014). Mengacu pada ketentuan SNI 8460:2017 (BSN, 2017) tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik, faktor keamanan (FK) syarat untuk kondisi jangka pendek (saat konstruksi), jangka panjang (selama masa layan), dan gempa secara berurutan adalah 1,5, 1,3, dan 1,1. Nilai $FK > 1$ mengindikasikan bahwa lereng dalam kondisi stabil, sementara apabila nilai FK kurang dari atau sama dengan satu (1), lereng berada pada kondisi kritis dan tidak aman.

Hasil analisis numerik menunjukkan bahwa pada kondisi awal lereng sebelum terjadi longsoran, lereng memiliki nilai FK sebesar 1,29. Hal ini mengindikasikan lereng pada kondisi awal berada pada kondisi stabil. Namun, pada saat air hujan ataupun limpasan air dari saluran air membasahi lereng, nilai FK berkurang menjadi 1,08 pada saat hujan dan 1,03 pada kondisi setelah hujan selesai. Gambar 8a menggambarkan pola kegagalan lereng pada saat terjadi hujan. Setelah terjadinya longsor, lereng yang berada di lingkungan SMP Al-Husainiyyah mencapai kestabilan alami yang memiliki nilai FK sebesar 1,26 atau dalam kondisi stabil kembali seperti yang ditampilkan pada Gambar 8b. Perlu diketahui bahwa tanah longsor merupakan mekanisme alami lereng dalam mengembalikan kestabilannya kembali. Meskipun lereng berada pada kondisi stabil kembali, kenaikan muka air tanah akibat limpasan air mengakibatkan nilai FK berkurang menjadi 1,09 dan lereng berada pada kondisi rawan longsor kembali. Hasil ini mengindikasikan bahwa manajemen air hujan dan saluran air merupakan faktor penentu kestabilan lereng. Maka, perkuatan dan perlindungan lereng terhadap air diperlukan untuk menjaga kestabilan lereng di lingkungan SMP Al-Husainiyyah. Tabel 2 menampilkan rangkuman nilai FK pada beberapa kondisi tinjauan.



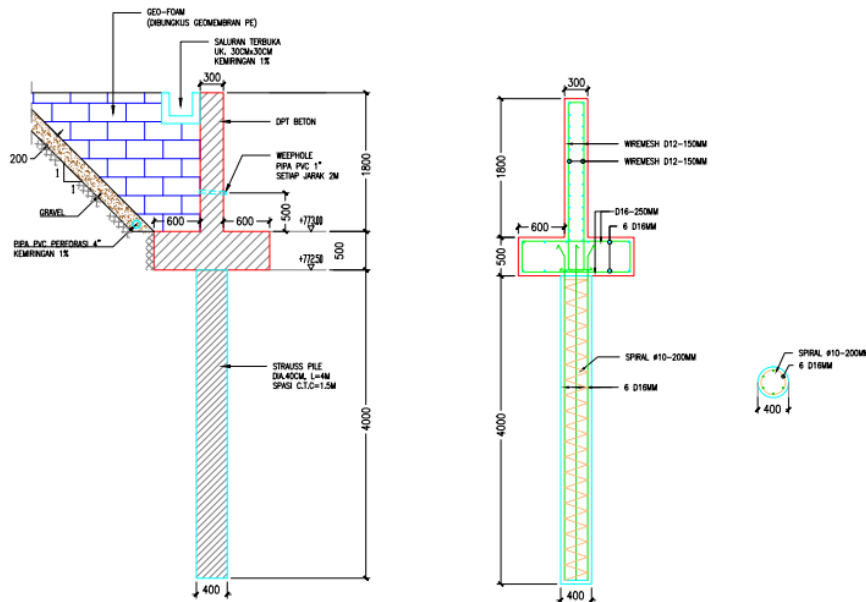
Gambar 8. Estimasi pola kegagalan lereng (a) pada saat kondisi hujan dan (b) setelah terjadi longsor

Tabel 2 Rangkuman nilai faktor keamanan pada beberapa kondisi tinjauan

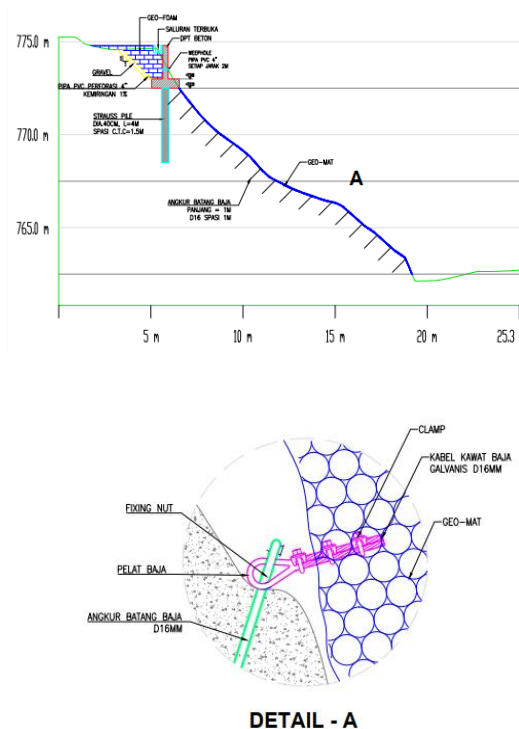
Kondisi	FK	Keterangan
Sebelum longsor	1,29	Stabil
Saat hujan	1,08	Kritis
Pasca hujan	1,03	Kritis
Setelah longsor	1,26	Aman

Dinding kantilever beton dengan fondasi berupa barisan tiang *Strauss* digunakan pada kasus ini sebagai solusi perkuatan dan perbaikan lereng yang terimbas longsoran. Untuk material pengisi, dipilih menggunakan material ringan berupa *geofom* untuk mengurangi beban tekanan tanah maupun beban terhadap lereng (Tananda dkk, 2023). Tinggi dinding yang direncanakan adalah 1,8 m, dengan tebal 0,3 m. Untuk tiang fondasi *Strauss*, direncanakan menggunakan

dimensi 40 cm, dengan panjang 4 m, dan jarak antara fondasi adalah 2,5 m. Guna mencegah akumulasi air di belakang dan dasar dinding direncanakan sistem drainase dengan menggunakan *weep hole* pada bagian dinding kantilever dan drainase kerikil (*gravel drain*) untuk drainase dasar gedung. Gambar 9 menampilkan detail gambar rencana struktur DPT dan fondasi *Strauss*.



Gambar 9. Potongan rencana dinding penahan tanah, fondasi, dan *geofoam*.



Gambar 10. Detail aplikasi geomat pada permukaan lereng

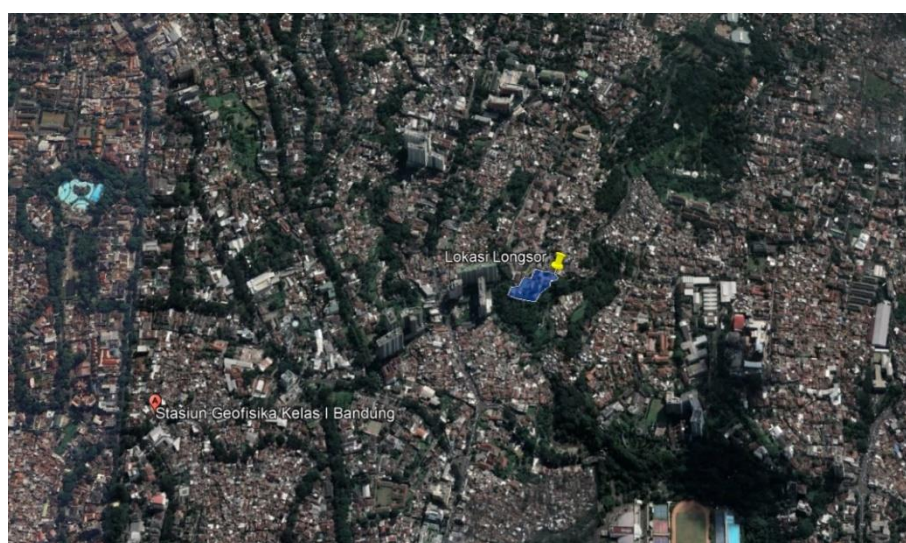
Adapun untuk mencegah erosi permukaan, lapisan permukaan lereng akan dipasang dengan material Geomat, seperti tersaji pada Gambar 10. Setelah dipasang Geomat, maka langkah selanjutnya adalah melakukan *hydroseeding* dan penyiraman supaya lereng kembali menjadi

hijau ditumbuhi tanaman dan rumput, khususnya rumput vetiver. *Hydroseeding* merupakan metode penanaman yang melibatkan penyemprotan campuran air, biji tanaman, mulsa, dan bahan tambahan lainnya (seperti pupuk, agen pengikat tanah, dan bahan pembasah) pada area yang membutuhkan vegetasi. Tanaman dan rumput vetiver berfungsi sebagai proteksi lereng terhadap erosi permukaan dan juga dapat meningkatkan kestabilan lereng (Badhon dkk., 2021; Masi dkk., 2021). Hasil analisis numerik dengan menggunakan PLAXIS 2D oleh Badhon dkk., (2021) mengindikasikan bahwa nilai FK lereng tanah pasiran yang diberi vegetasi rumput vetiver meningkat hingga 20,6%.

Pada kajian hidrologi ini tidak dilakukan pengukuran apapun, sehingga daerah tangkapan air (DTA) diestimasi dengan menggunakan *Google Earth Engine* ditampilkan pada Gambar 11. Hasil analisis menunjukkan bahwa SMP Al Husainiyyah menerima beban limpasan seluas kurang lebih 0,6 hektar. Perlu diingat bahwa nilai ini hanya sebatas estimasi awal. Pengukuran untuk seluruh kelurahan Hegarmanah diperlukan untuk memperoleh nilai sesungguhnya.

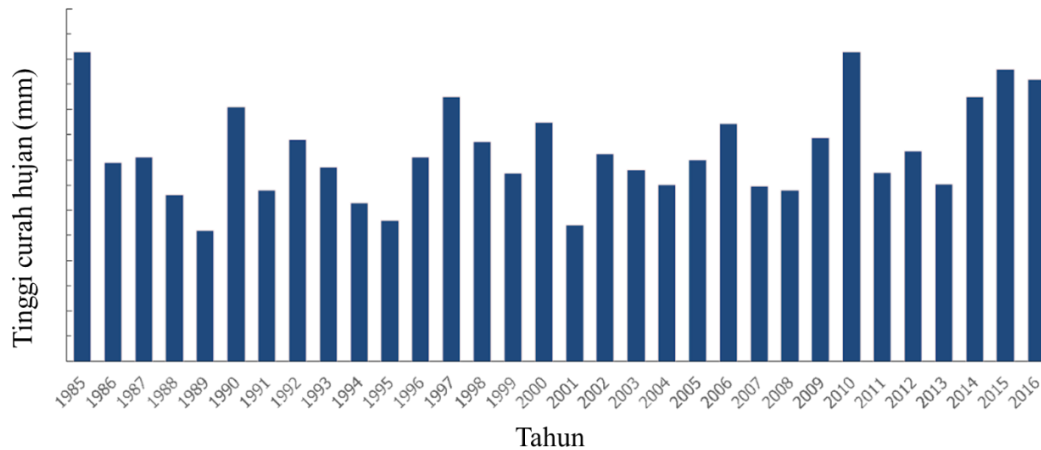


Gambar 11. Daerah tangkapan air SMP Al-Husainiyyah



Gambar 12. Lokasi stasiun klimatologi terhadap SMP Al-Husainiyyah

Data hujan lapangan terdekat dari lokasi studi diperoleh dari stasiun klimatologi yang dikelola oleh Bada Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Bandung, lihat Gambar 12. Data hujan harian maksimum tahunan pada Gambar 13 adalah data hujan dari tahun 1985-2016 dan 1986-2013 untuk data hujan menitan maksimum tahunan.



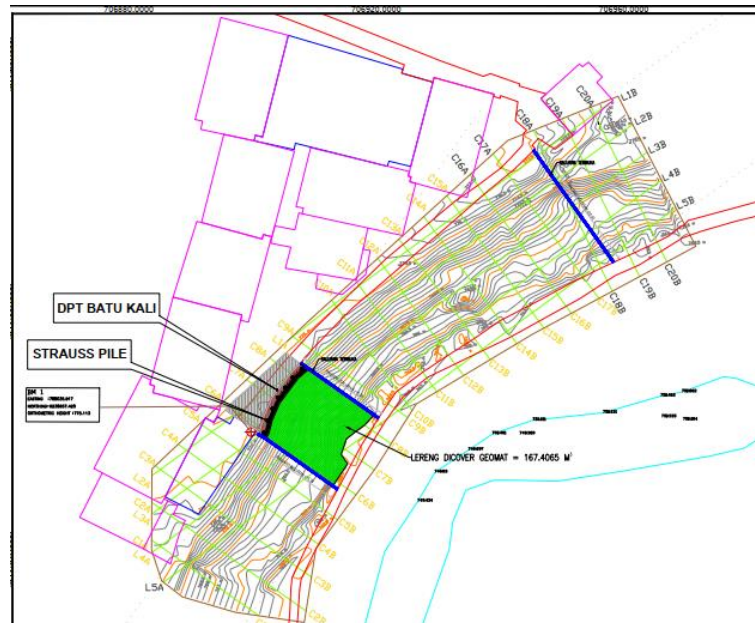
Gambar 13. Data hujan harian maksimum tahunan Stasiun BMKG Bandung

Dimensi saluran didesain berdasarkan kemungkinan hujan ekstrim yang dapat terjadi dimasa yang akan datang. Kemungkinan/probabilitas dari kejadian hujan ekstrim ini juga sering disebut dengan istilah periode ulang/kala ulang. Besarnya sebuah kejadian ekstrim mempunyai hubungan terbalik dengan probabilitas kejadiannya. Dengan bahasa sederhananya, hujan dengan intensitas yang sangat tinggi akan sangat jarang terjadi jika dibandingkan dengan hujan dengan intensitas yang rendah. Berdasarkan ketentuan standar nasional Indonesia (SNI), sistem drainase pada sebuah kawasan permukiman dengan luas <50 hektar harus dapat mengalirkan debit aliran untuk periode ulang 2-10 tahun.

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa dimensi saluran yang dapat digunakan adalah saluran berdimensi 25 cm × 25 cm. Dikarenakan keterbatasan data, maka teradapat beberapa asumsi yang digunakan dalam analisis ini, sebagai berikut:

1. Data hujan harian maksimum yang digunakan dalam analisis ini hanya sampai dengan tahun 2016.
2. Data hujan berdurasi pendek (menitan) yang digunakan dalam analisis ini hanya sampai dengan tahun 2013.
3. SMP Al-Husainiyah tidak menerima beban limpasan tambahan yang dihasilkan dari daerah disebelah hulu. Beban limpasan yang diperhitungkan hanya beban limpasan yang dihasilkan oleh daerah SMP Al-Husainiyah itu sendiri.
4. Waktu konsentrasi dihitung dengan asumsi bahwa SMP Al-Husainiyah merupakan lahan kosong. Hal ini dilakukan dikarenakan layout sistem drainase eksisting tidak tersedia.
5. Material drainase yang didesain adalah menggunakan material beton dengan koefisien kekasaran manning bernilai 0,025.
6. Koefisien limpasan diambil nilai 0,9. Nilai ini diambil berdasarkan observasi sederhana dimana 90% lahan di SMP Al-Husainiyah merupakan lahan tertutup (beton, atap, aspal).

Berdasarkan penjelasan diatas, maka direncanakan juga dua saluran terbuka pada sisi lereng dan 1 saluran pada inlet saluran air hujan ke posisi lereng, seperti tersaji pada Gambar 14.



Gambar 14. Rencana posisi saluran air terbuka.

4. KESIMPULAN

Makalah ini memaparkan hasil kegiatan pengabdian kepada masyarakat oleh tim dosen dan mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan berupa kajian longsor di lingkungan SMP Al-Husainiyah. Kegiatan pengabdian secara umum meliputi penyelidikan lapangan yang terdiri dari survei topografi dan penyelidikan tanah, dan penelitian meja (*desk study*) seperti desain dinding penahan tanah dan analisis kestabilan lereng dengan pendekatan numerik berbasis metode elemen hingga. Hasil survei lapangan mengindikasikan bahwa penyebab tanah longsor di lingkungan SMP Al-Husainiyah adalah hujan lebat yang terjadi pada 26 April 2023 dan sistem drainase yang tidak mencukupi untuk mengalirkan debit air hujan. Berdasarkan hasil analisis, dinding kantilever dengan tinggi dan lebar total sebesar 1,8 m dan 1,5 m secara berturut-turut yang didukung oleh fondasi tiang *Strauss* dengan panjang 4 m, diameter 0,4 m, and spasi 2,5 m serta menggunakan *geofoam* sebagai material timbunan di belakang dinding mampu mengembalikan fungsi jalan yang tergerus longsor. Penggunaan dinding kantilever dengan *geofoam* terbukti efektif dalam meningkatkan kestabilan lereng di lingkungan SMP Al-Husainiyah. Penggunaan konfigurasi dinding kantilever dengan material timbunan *geofoam* juga mampu mengembalikan fungsi lahan yang hilang atau rusak terdampak tanah longsor. Selain itu, saluran air dengan dimensi minimum 0,25 m × 0,25 m direkomendasikan untuk menampung limpasan air hujan yang diperkirakan terjadi. Pemantauan jangka panjang direkomendasikan untuk memastikan efektivitas solusi ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan dukungan finansial sehingga kegiatan pengabdian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Adfy, D. M., & Marzuki, M. (2021). Analisis kerawanan bencana longsor dari karakteristik hujan, pergerakan tanah dan kemiringan lereng di Kabupaten Agam. *Jurnal Fisika Unand*, 10(1), 8–14. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.1.8-14.2021>

- Apriyono, A. (2009). Analisis penyebab tanah longsor di Kalitlaga Banjarnegara. *Dinamika Rekayasa*, 5(1), 14–18.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2023). Infografis Rangkuman Bencana 2023. Geoportals Data Bencana Indonesia. Retrieved June 9, 2024, from <https://gis.bnpb.go.id/arcgis/apps/sites/#/public/pages/bencana-besar-tahun-2023>
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Bandung. (2023). Infografis Bencana 2023. Retrieved June 9, 2024, from <https://bpbdb.bandungkab.go.id/page/data-kejadian-bencana>
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). Cara uji penetrasi lapangan dengan alat sondir (SNI 2827:2008). Retrieved from <https://pesta.bsn.go.id/produk/detail/8068-sni28272008>
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). Cara uji penetrasi lapangan dengan SPT (SNI 4153:2008). Retrieved from <https://pesta.bsn.go.id/produk/detail/8075-sni41532008>
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). Tata cara pencatatan dan identifikasi hasil pengeboran inti (SNI 2436:2008). Retrieved from <https://pesta.bsn.go.id/produk/detail/7545-sni24362008>
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). Persyaratan perancangan geoteknik (SNI 8460:2017). Retrieved from <https://pesta.bsn.go.id/produk/index?key=SNI+8460%3A2017>
- Badhon, F. F., Islam, M. S., & Islam, M. A. (2021). Contribution of Vetiver root on the improvement of slope stability. *Indian Geotechnical Journal*, 51(4), 829-840. <https://doi.org/10.1007/s40098-021-00557-0>
- Budhu, M. (2010). *Soil Mechanics and Foundations* (3 ed.). John Wiley and Sons, Inc.
- Chae, B. G., Lee, J. H., Park, H. J., & Choi, J. (2015). A method for predicting the factor of safety of an infinite slope based on the depth ratio of the wetting front induced by rainfall infiltration. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(8), 1835–1849. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1835-2015>
- Das, B. M., (2016). *Principles of foundation engineering* (8th ed.). Boston: Cengage Learning.
- Dinas Pendidikan Kota Bandung. (2024). Data Pokok Pendidikan. Bandung, Indonesia: Dinas Pendidikan Kota Bandung. Retrieved 31 January 2024, from <https://simdik.bandung.go.id/npsn/20219191>
- Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T. L. (2014). *Soil strength and slope stability* (2nd Ed.). Hoboken: John Wiley & Sons.
- Fang, W., & Esaki, T. (2012). Rapid assessment of regional superficial landslide under heavy rainfall. *Journal of Central South University*, 19(9), 2663–2673. <https://doi.org/10.1007/s11771-012-1325-6>
- Fauzi, A., Sukobar, S., Wahyudi, D. I., & Moeljono, R. A. T. (2019). Analisa stabilitas lereng dan alternatif penanganannya studi kasus proyek pekerjaan kanal utama row 80 kawasan industri JIPE-Gresik. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 17(2), 59-62. <https://doi.org/10.12962/j2579-891X.v17i2.5447>
- Gunawan, A. (2022). Geofoam: A potential for Indonesia's soil problem III – stabilizing retaining wall. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 998(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/998/1/012010>
- Hakro, M. R., & Harahap, I. S. H. (2015). Laboratory experiments on rainfall-induced flowslide from pore pressure and moisture content measurements. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 3, 1575–1613. <https://doi.org/10.5194/nhessd-3-1575-2015>
- Hidayat, I., & Suhendra, A. (2011). Aplikasi geofoam sebagai material timbunan di atas tanah lunak. *ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications*, 2(1), 106-116. <https://doi.org/10.21512/comtech.v2i1.2722>
- Jeong, S., Lee, K., Kim, J., & Kim, Y. (2017). Analysis of Rainfall-Induced Landslide on Unsaturated Soil Slopes. *Sustainability*, 9(7), 1280. <https://doi.org/10.3390/su9071280>
- Lee, L. M., Gofar, N., & Rahardjo, H. (2009). A simple model for preliminary evaluation of rainfall-induced slope instability. *Engineering Geology*, 108(3–4), 272–285. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.06.011>
- Masi, E. B., Segoni, S., & Tofani, V. (2021). Root reinforcement in slope stability models: a review. *Geosciences*, 11(5), 212. <https://doi.org/10.3390/geosciences11050212>

- Muntohar, A. S., & Liao, H.-J. (2010). Rainfall infiltration: infinite slope model for landslides triggering by rainstorm. *Natural Hazards*, 54(3), 967–984. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9518-5>
- Pratama, I. T. (2021). Studi stabilitas lereng clay shale di Kalimantan dengan menggunakan metode kesetimbangan batas dan pendekatan probabilistik dan deterministik. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, 103–113. <https://doi.org/10.54367/jrkms.v4i2.1366>
- Pratama, I. T., Widjaja, B., & Hutabarat, G. M. (2022). Evaluasi dan desain perbaikan dinding penahan tanah tipe dinding gravitasi di Cikupa, Tangerang, Banten. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, 5(4), 265–274. <https://doi.org/10.24815/jarsp.v5i4.27492>
- Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. (2009). *Peta zona kerentanan Gerakan tanah Provinsi Jawa Barat* [Map]. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Bandung, Jawa Barat, Indonesia.
- Ratman, N., & Gafoer, S. (1998). *Peta geologi lembar Jawa bagian Barat* [Map]. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, Jawa Barat, Indonesia.
- Schmertmann, J. H. (1969). *Dutch friction cone penetration exploration of research area at Field 5, Eglin Air Force Base, Florida*, US Army Waterways Experimental Station, Vicksburg, Mississippi, Contract Report S-69-4, 1969.
- Sjafari, I. (2023). Kawasan Bandung Utara dilanda longsor, 26 April dan 3 Mei 2023. Penyebab dan rekonstruksi menunggu kajian. *Koridor.co.id*. Retrieved June 9, 2024, from <https://koridor.co.id/lingkungan/kawasan-bandung-utara-dilanda-longsor-26-april-dan-3-mei-2023-penyebab-dan-rekonstruksi-menunggu-kajian/>
- Tananda, H., Handoko, A., & Rahardjo, P. P. (2023). The use of lightweight material at road access construction on slope. *Indonesian Geotechnical Journal*, 2(3), 95–108. <https://doi.org/10.56144/igi.v2i3.61>
- Tohari, A. (2018). Study of rainfall-induced landslide: a review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 118, 012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012036>