

Perkuatan Lereng Tanah Batuan Breksi Menggunakan Riprap Pada Kaki Tower SUTET 500 KV di Dekat Sungai dengan Pola Aliran Radial

Andrian Juli Fitrianto^{1*}, Nur Cahyo², Rasgianti², Iswan Prahastono², Akiman Nainggolan¹

PT PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan UPDL Bogor, Bogor¹, PT PLN (Persero) Pusat Penelitian dan Pengembangan Ketenagalistrikan, DKI Jakarta²

Koresponden*, Email: andrian.fitrianto@pln.co.id

Info Artikel		Abstract (font: Times New Roman 9 pt, bold)
Diajukan	4 Oktober 2021	<i>Due to changes in river flow during the construction of Cipayung – Ciawi reservoir upstream, a landslide occurred at the transmission tower 500 kV of PLN UPDL Bogor that is located at the riverside. It has a high potential risk to the tower and needs to be prevented from more damage. Limit equilibrium method by Geostudio software was used to analyzed slope stability. Soil parameters based on soil investigation data. riprap will be carried out as a reinforcement. Therefore, it simulated with a dimension of width is 9 m and height as a variable design, namely 1 m, 2 m, 3 m and 4 m. There were two conditions in analysis, normal load with and without earthquake consideration. Slope with earthquake shows instability, SF = 0,796. riprap design of 4 m height improved the stability becomes SF =1,251. Meanwhile, in normal condition, SF increased from 1,788 to 2,298.</i>
Diperbaiki	24 Mei 2022	
Disetujui	24 Mei 2022	

Keywords: landslide, riprap, SUTET 500 kV tower, geostudio, safety factor

Kata kunci: longsor, riprap, tower SUTET 500 kV, geostudio, safety factor

Pembelokan aliran sungai sebagai dampak pembangunan waduk Cipayung-Ciawi menyebabkan kelongsoran pada tower transmisi 500 kV. Studi ini bertujuan membuat simulasi tingkat kestabilan lereng ketika dilakukan perkuatan menggunakan riprap dan bronjong pada kaki tower untuk mencegah terjadinya longsor yang membahayakan tower. Analisa stabilitas lereng dalam penelitian ini menggunakan metoda *limit equilibrium* dengan software Geostudio. Parameter *input* tanah diambil dari data hasil investigasi lapangan. Alternatif perkuatan yang dikaji adalah desain berupa kombinasi riprap dan bronjong. Dimensi riprap dimodelkan dengan lebar 9 m, kemudian divariasikan terhadap tinggi 1 m, 2 m, 3 m, dan 4 m. Analisa ditinjau dari dua kondisi, yaitu pada saat beban normal dan dengan pertimbangan gempa. Simulasi dengan beban gempa menunjukkan kondisi lereng eksisting tidak stabil dengan FS sebesar 0,796. Perkuatan menggunakan riprap dengan ketinggian 4 m dan lebar 9 m serta bronjong dapat meningkatkan stabilitas menjadi 1,251. Sedangkan untuk kondisi tanpa beban gempa, FS meningkat dari 1,788 menjadi 2,298.

1. Pendahuluan

PT PLN (Persero) UPDL Bogor memiliki dua jaringan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET). SUTT 150 kV mempunyai panjang jaringan ±380 m dengan jumlah tower sebanyak 4 buah. Sedangkan SUTET 500 kV mempunyai panjang jaringan ±270 m dengan jumlah tower sebanyak 3 buah. Jaringan SUTT/ SUTET tersebut selama ini digunakan untuk beberapa kegiatan diklat ketenagalistrikan PT PLN (Persero).

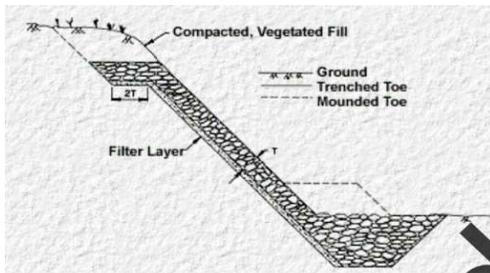
Berubahnya karakteristik arah aliran Sungai Ciliwung akibat pembangunan Proyek Strategis Nasional (PSN) Bendungan Cipayung–Ciawi menyebabkan tanah longsor di beberapa titik lahan PLN UPDL Bogor. Tanah longsor merupakan peristiwa alam dimana terdapat blok masa bergeser ke arah bawah terhadap masa lainnya [1]. Salah satu aset PLN UPDL Bogor yang terdampak adalah 1 buah tower SUTET 500 kV yang saat ini hanya menyisakan jarak sekitar 3,5–5

m ke tebing longsor tanah. Kondisi ini sangat membahayakan bagi keselamatan instalasi tower SUTET 500 kV dan dapat mencederaikan manusia apabila tower SUTET 500 kV tersebut ikut longsor. Oleh karena itu perlu segera dilakukan perkuatan lereng sebagai tindakan pencegahan.

Perkuatan lereng yang dilakukan adalah berupa riprap, bronjong atau dinding penahan beton yang ditambahkan pada tebing sungai untuk menyerap energi air yang masuk sehingga lereng terlindung dari erosi [2]. Metode riprap dipilih karena di sekitar lokasi Sungai Ciliwung terdapat banyak material batu besar (*boulder*) yang dapat dimanfaatkan. Selain konstruksinya yang tidak rumit jika dibandingkan dengan metode dinding penahan tanah beton, pengerjaan riprap juga cenderung lebih cepat.

Riprap dapat digambarkan sebagai batuan-batuan yang disusun berlapis, ditempatkan dengan tujuan untuk mencegah terjadinya erosi, gerusan, atau pengelupasan struktur atau tanggul. Material selain batuan-batuan juga dapat

disebut sebagai riprap; misalnya puing-puing, pecahan beton, dan beton pracetak bentuk (lempengan, balok, prisma persegi panjang, dan lain-lain) [3]. Selain itu, riprap juga berfungsi untuk melindungi tebing dari gerusan air (*flexible revetment*). Pembuatan riprap harus mengikuti kemiringan bentuk tebing [4]. Tipikal pembuatan riprap seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Tipikal Pemasangan Riprap [3]

Bahasan tentang pekerjaan riprap untuk perkuatan lereng dengan tujuan mencegah longsor dan menjaga kestabilan tanah telah banyak dilakukan di beberapa studi. Sebagai contoh, studi yang dilakukan pada penelitian [5] pada jembatan yang menempatkan riprap di sekeliling pondasi jembatan.

Sementara itu, studi oleh Benjamin Pister [6] menganalisis penggunaan riprap pada *jetty*, *breakwaters*, dan garis pantai. Namun, berdasarkan *review* pada studi-studi sebelumnya belum ada studi riprap yang dilakukan dalam perkuatan lereng dengan studi kasus sistem jaringan transmisi di Indonesia.

Studi ini menggunakan metoda *limit equilibrium* melalui *software* GeoStudio 2018 R2 untuk mengetahui kestabilan lereng tower SUTET 500 kV yang mengalami longsor, sehingga didapatkan angka keamanan lereng sebelum dan sesudah penambahan perkuatan riprap. Diharapkan studi ini dapat berdampak pada kestabilan lereng sehingga tower SUTET 500 kV tidak mengalami kelongsoran dan tetap aman digunakan.

2. Kondisi Eksisting Tanah Tapak Tower SUTET 500 kV

2.1. Aliran Sungai Ciliwung

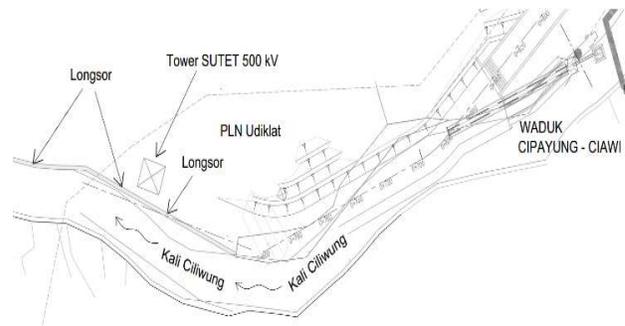
Sungai Ciliwung terletak di Provinsi Jawa Barat dan DKI Jakarta. Bagian hulu DAS Ciliwung seluas 14.860 Ha berada di kabupaten Bogor dan merupakan daerah pegunungan dengan ketinggian 300 mdpl sampai dengan 2.040 mdpl.

Karakteristik sungai Ciliwung berarus deras ketika musim penghujan [7]. Aliran sungai Ciliwung melewati sisi Selatan PLN UPDL Bogor yang terlihat seperti pada **Gambar 2**. Pengalihan aliran Sungai Ciliwung selama proses

pembangunan proyek Waduk Cipayung – Ciawi sedikit banyak mempengaruhi karakteristik aliran Sungai, sehingga aliran tersebut menabrak beberapa bidang lahan PLN UPDL Bogor yang menyebabkan adanya longsor tanah di beberapa titik, yaitu di bawah kaki Tower SUTET 500 kV dan sepanjang Gardu Distribusi 20 kV (seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3**). Tingginya curah hujan yang terjadi pada periode Agustus 2020 sampai Februari 2021 juga berdampak pada peningkatan potensi terjadinya longsor tanah di beberapa titik tersebut.



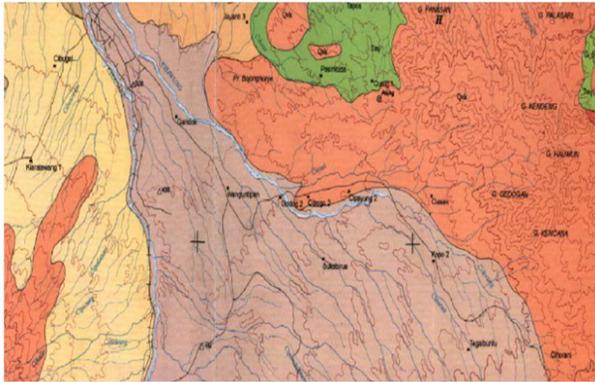
Gambar 2. Aliran Sungai Ciliwung Bersebelahan dengan Instalasi SUTT/ SUTET



Gambar 3. Titik – titik longsor yang terjadi di lahan PLN UPDL Bogor

2.2. Kondisi Tanah Eksisting

Kondisi tanah yang umumnya dipasangkan riprap adalah tanah dengan tepian yang terkikis atau menunjukkan masalah erosi [3]. Menurut Peta Geologi Regional Lembar Bogor (lihat **Gambar 4**), kondisi lokasi UPDL Bogor Cibogo tertutup oleh batuan vulkanik muda akibat erupsi gunung api pada zaman Holosen. Kondisi geologi pada daerah tersebut berupa batuan gunung Pangrangoi dengan komposisi berupa endapan lebih tua, lahar dan lava, *basal andesit*, *oligoklas-andesin*, *labradorit*, *olivin*, *piroksen*, dan *hornblenda*.



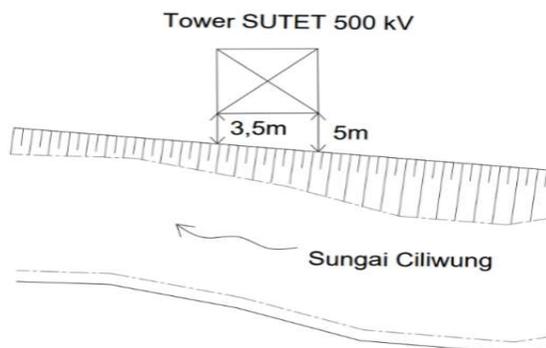
Gambar 4. Peta Geologi Regional Lembar Bogor (Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1998)

2.3. Jarak Tower ke Sungai

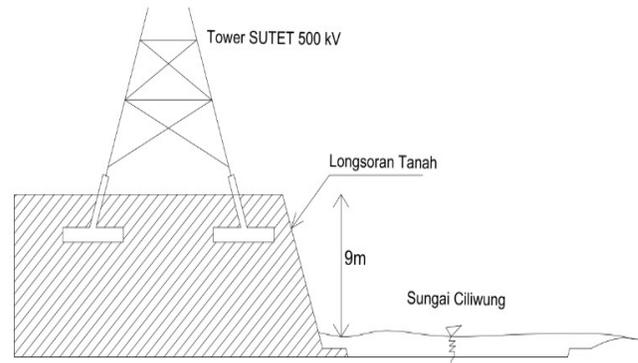
Terdapat satu buah Tower 500 kV yang saat ini sudah didekati oleh aliran Sungai Ciliwung, akibat terjadinya longsor tanah. Hasil pengukuran jarak kaki tower ke tebing Sungai yaitu sekitar 3,5–5 m seperti ditunjukkan pada **Gambar 5**. Sedangkan jarak optimum kaki tower dengan bibir sungai menurut Kepdir PLN No.0520-1.K/DIR/2014 mengenai Buku Pedoman Pengawasan dan Asesmen Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Ekstra Tinggi (SUTT/ SUTET) adalah minimal 40 m [8]. Kondisi tersebut dikhawatirkan dapat mengganggu kestabilan kaki tower SUTET 500 kV sehingga dapat menyebabkan tower roboh.

2.4. Gambar Geometri Lereng

Geometri lereng yang digunakan merupakan hasil pengukuran topografi lereng SUTET 500 kV di lapangan, yaitu diketahui ketinggian lereng sebesar 9 m seperti ditunjukkan pada **Gambar 6**. Sementara itu, sudut kemiringan lereng rata-rata sebesar 60° .



Gambar 5. Pengukuran Jarak Kaki Tower ke Tebing Sungai



Gambar 6. Gambar Potongan Lereng Tower SUTET 500 kV

2.5. Asesmen Tower SUTET 500 kV

Asesmen pada Tower SUTET 500 kV dilaksanakan dengan menilai dan memetakan kondisi lingkungan sekitar tower. Parameternya berupa ancaman terhadap longsor, aliran sungai, tanah dan batuan, dan gangguan eksternal lainnya. Berdasarkan hasil asesmen tersebut dapat diusulkan penanggulangan atau perbaikan lingkungan tower [8]. Kriteria asesmen kondisi lingkungan mengacu pada kriteria Kepdir PLN No.0520-1.K/DIR/2014 (lihat **Tabel 1**). Asesmen ini sudah menjadi acuan internal di PLN sebagai dasar menentukan tingkat kerawanan tower. Untuk kegiatan pemantauan/ pengawasan berdasarkan skor asesmen dapat dilihat pada **Tabel 1**. Sedangkan untuk tindak lanjut perbaikan lingkungan tower dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Berdasarkan hasil asesmen, kondisi eksisting Tower SUTET 500 kV UPDL Bogor masuk kategori kritis. Hal ini dikarenakan jumlah skor asesmen sebesar 121 seperti ditunjukkan pada **Tabel 3**. Tower SUTET 500 kV yang kondisinya kritis perlu segera dilakukan perbaikan maksimal 1 bulan (lihat **Tabel 2**) dengan membuat suatu system perkuatan untuk mencegah longsor, perubahan posisi aliran sungai, pembersihan gangguan eksternal berupa penimbunan sampah dan penanaman rumput sehingga nilai asesmen berkurang menjadi kategori waspada yaitu melakukan perbaikan apabila diperlukan [8].

Tabel 1. Kegiatan Pemantauan/ Pengawasan Berdasarkan Skor Asesmen

Skor	Pemantauan/ Pengawasan
13 – 20	Bulanan
21 – 30	2 mingguan
31 – 50	Mingguan
> 50	Harian

Tabel 2. Tindak Lanjut Perbaikan Berdasarkan Skor Asesmen

Skor	Tindak Lanjut Perbaikan
0 – 12	Aman
13 – 50	Waspada (lakukan perbaikan apabila diperlukan, maksimal 6 bulan)
> 50	Kritis (segera lakukan perbaikan, maksimal 1 bulan)

Tabel 3. Standar Asesmen Keadaan Lingkungan di Sekitar Tower SUTET 500 kV

Komponen	Pemeriksaan	Nilai
Lereng & Tebing	- Ketinggian tebing 5-10 m.	1
	- Sudut kemiringan lereng >60°.	7
	- Jarak kaki tower dengan dasar tebing 1-10 m.	5
Jejak Gangguan	- Jejak longsoran <7 m.	30
	- Terdapat jejak erosi pada radius 7m dari pondasi.	8
Aliran Sungai	- Jarak kaki tower ke bibir Sungai 6-10 m.	13
	- Lebar Sungai >10 m.	13
	- Arus Sungai (sedang)	3
Posisi Sungai	Luar	10
Gangguan Tanah & Batuan	Adanya timbunan Sampah	25
	Batuan campur tanah	5
Vegetasi	Rumput alang – alang	1
Total Skor Asesmen		121

2.6. Parameter Material Tanah

Penyelidikan tanah dilakukan dengan uji *boring* untuk mendapatkan karakteristik sifat tanah setiap lapisan sampai pada kedalaman tanah keras. Parameter yang digunakan dalam studi ini ditentukan berdasarkan data hasil uji laboratorium. Terdapat 15 titik lokasi pengambilan sampel pengujian tanah yang diolah di laboratorium Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum untuk keperluan pembangunan Bendungan Cipayang - Ciawi. Adapun parameter tanah dan batuan pada titik sampling untuk studi ini ditunjukkan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Parameter material yang digunakan dalam analisis

Nama Material	Material Model	Berat Jenis (kN/m ³)	Sudut Geser (°)	Kohesi (kPa)
Lereng	Mohr-Coulomb	16,00	13,00	27,00
Riprap	Mohr-Coulomb	16,37	36,90	0
Bronjong	Mohr-Coulomb	13,96	45,00	2,03

Tabel 5. Hubungan nilai SF dan Intensitas Longsor [4]

Nilai SF	Kejadian/ Intensitas Longsor	Kelas Lereng
SF < 1,07	Biasa/ sering terjadi	Labil
1,07 < SF < 1,25	Longsor pernah terjadi	Kritis
SF > 1,25	Longsor jarang terjadi	Stabil

2.7. Beban Tower dan Faktor Gempa

Simulasi pemodelan dilakukan dengan beberapa skenario yaitu kondisi lereng eksisting tanpa beban gempa, kondisi lereng eksisting dengan beban gempa, kondisi lereng yang ditambah perkuatan riprap dan bronjong tanpa beban gempa, dan kondisi lereng ditambah perkuatan riprap dan bronjong dengan beban gempa.

Beban tower SUTET 500 kV yang digunakan pada penelitian ini adalah beban *compression* tower 500 kV tipe BB yaitu $F_z=2.244,77$ kN [9]. Sedangkan koefisien gempa berdasarkan aplikasi Desain Spektra Indonesia [10] pada lokasi PLN UPDL Bogor dengan koordinat Lintang 6,656745 dan Bujur 106,875373 adalah sebesar 0,4916.

3. Metode Penelitian

Penelitian dimulai dengan mengumpulkan data tanah berupa berat, sudut geser dan nilai kohesi tanah. Sedangkan data geometri lereng yaitu ketinggian, sudut kemiringan lereng dan desain trap riprap dan bronjong dilakukan dengan melakukan pengukuran di lapangan yang kemudian dituangkan di dalam gambar teknik.

Analisis kestabilan lereng tower SUTET 500 kV menggunakan *software* GeoStudio R2 2018 untuk mendapatkan nilai *Safety Factor* (SF) lebih dari 1,25. Nilai *Safety Factor* tersebut menunjukkan kondisi lereng stabil dimana jarang terjadi longsor pada lereng seperti ditunjukkan pada **Tabel 5**.

Analisis GeoStudio ini dilakukan pada setiap skenario kondisi tanpa beban gempa dan dengan beban gempa terhadap lereng eksisting. Dari potensi bidang longsoran yang ditemukan, kemudian ditentukan usulan rekayasa yang perlu dilakukan misalnya perkuatan lereng dengan menggunakan riprap. Gambaran detail alur penelitian ditunjukkan pada **Gambar 7**.

4. Hasil dan Pembahasan

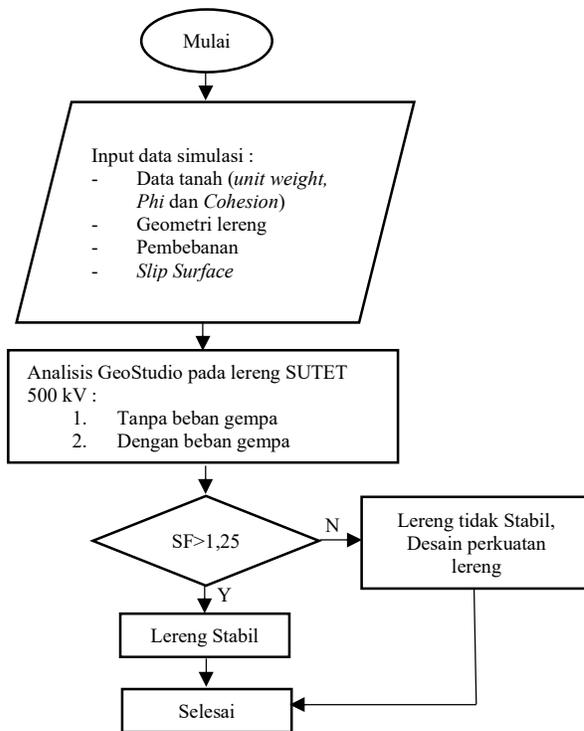
Penentuan bidang longsor (*slip surface*) pada kondisi eksisting dan kondisi perkuatan menggunakan riprap dan bronjong ditunjukkan pada **Gambar 8** dan **Gambar 9**.

Simulasi pembebanan pada lereng eksisting tanpa menambahkan beban gempa, menghasilkan *Safety Factor* sebesar 1,788 (lihat **Gambar 10**). Hal ini menunjukkan bahwa apabila tidak terjadi gempa kondisi lereng masih stabil.

Namun apabila ditambahkan beban gempa pada lereng eksisting, maka analisis GeoStudio menghasilkan nilai *Safety Factor* yang lebih kecil yaitu 0,796 dimana kondisi menjadi tidak stabil ($SF < 1,25$) seperti ditunjukkan pada **Gambar 11**. Kondisi lereng yang tidak stabil berpotensi menyebabkan terjadinya tanah longsor yang dapat membahayakan tower SUTET sehingga perlu dilakukan perkuatan lereng.

Hasil simulasi pembebanan tanpa beban gempa pada lereng yang diperkuat riprap dan bronjong menunjukkan peningkatan nilai SF dari 1,788 menjadi 2,298 jika dibandingkan dengan SF kondisi eksisting sebelum penambahan riprap (lihat **Gambar 12**).

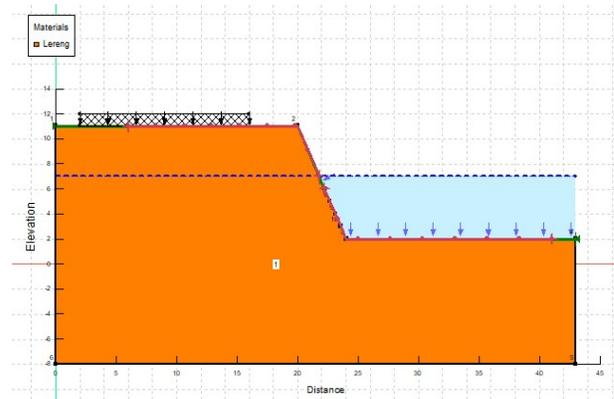
Sementara itu, simulasi pembebanan tanpa beban gempa pada lereng yang diperkuat riprap setinggi 4 m dan lebar 9 m menghasilkan nilai $SF = 1,251$ (lihat **Gambar 13**). Jika dibandingkan dengan hasil simulasi pembebanan dengan beban gempa tanpa riprap, terjadi peningkatan nilai *Safety Factor* SF dari 0,796 dimana kondisi lereng awalnya tidak stabil menjadi 1,251 (kondisi lereng stabil).



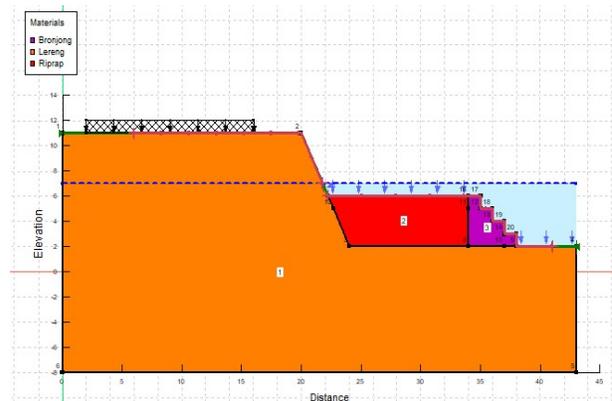
Gambar 7. Flowchart Metode Penelitian

Pada studi sebelumnya menunjukkan bahwa peningkatan nilai *Safety Factor* juga diperoleh ketika penggunaan desain riprap pada stabilisasi kemiringan adaptif untuk remediasi sungai dimana memberikan faktor keamanan jangka pendek sebesar 1,25 [11]. Penggunaan riprap juga memberikan

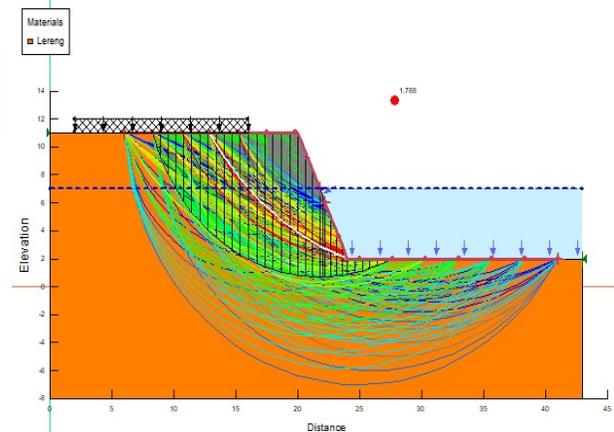
keuntungan yang cukup besar pada stabilitas lereng seperti pada penelitian desain riprap di hilir lereng bendungan [12].



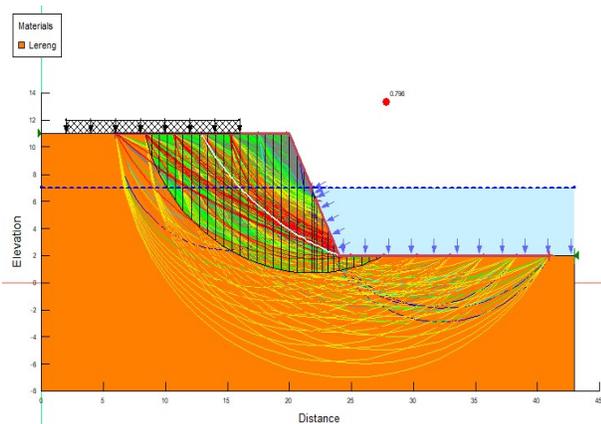
Gambar 8. Geometri lereng eksisting pada GeoStudio



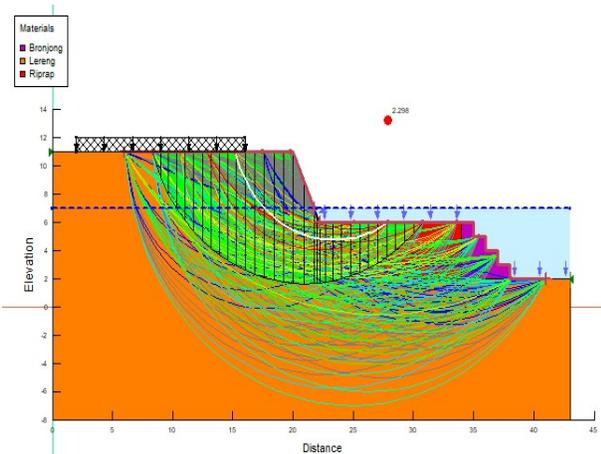
Gambar 9. Geometri lereng kondisi Perkuatan riprap setinggi 4 m dan lebar 9 m pada kaki tower SUTET 500 kV



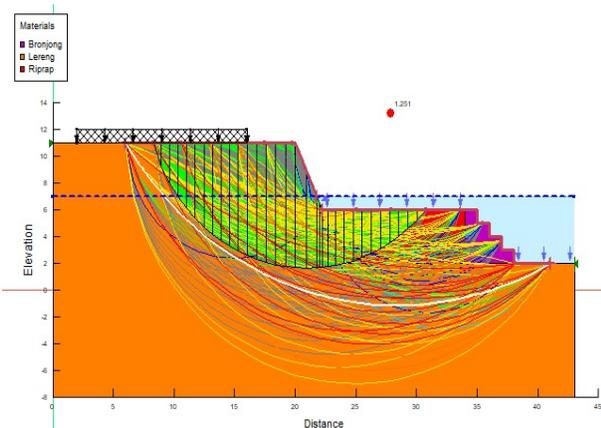
Gambar 10. Pembebanan pada lereng eksisting tanpa beban gempa menghasilkan $SF = 1,788$



Gambar 11. Pembebanan pada lereng eksisting dengan beban gempa menghasilkan $SF=0,796$



Gambar 12. Pembebanan tanpa beban gempa pada lereng yang diperkuat riprap setinggi 4 m menghasilkan $SF = 2,298$



Gambar 13. Pembebanan dengan beban gempa pada lereng yang diperkuat riprap menghasilkan $SF = 1,251$

Selanjutnya desain pemodelan riprap dilakukan dengan mempertimbangkan parameter gempa dimana SF_1 merupakan hasil *safety factor* kondisi tanpa gempa dan SF_2 adalah *safety factor* kondisi dengan gempa. Dimensi lebar riprap yang digunakan adalah 9 m, sedangkan skenario optimasi terkait implementasi di lapangan dianalisis terhadap variabel tinggi, yaitu 1 m, 2 m, 3 m, dan 4 m. Rekapitulasi perolehan *Safety Factor* pada setiap skenario ditunjukkan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil analisis GeoStudio dengan variasi tinggi riprap pada lereng SUTET 500 kV

Dimensi Riprap	SF_1	SF_2	Penilaian
Tinggi 1 m	1,825	0,843	Tidak aman
Tinggi 2 m	1,915	0,969	Tidak aman
Tinggi 3 m	2,071	1,108	Tidak Aman
Tinggi 4 m	2,298	1,251	Aman

Tabel 6 di atas menunjukkan bahwa semakin tinggi dimensi riprap semakin bertambah pula *Safety Factor* yang diperoleh. Berdasarkan studi ini penambahan tinggi riprap yang aman ($SF > 1,25$) terhadap gempa adalah riprap dengan tinggi 4 m. Sedangkan untuk penambahan riprap dengan tinggi 1 m, 2 m dan 3 m masih belum menghasilkan nilai $SF > 1,25$. Berdasarkan analisa tersebut, maka penambahan riprap dengan tinggi 4 m baik untuk diimplementasikan.

5. Kesimpulan

Simulasi pada kondisi eksisting dengan beban gempa menunjukkan $SF = 0,796$ bahwa kondisi lereng tower tidak stabil sehingga perlu ditambahkan desain perkuatan pada lereng tower SUTET. Berdasarkan hasil analisis, perkuatan riprap pada lereng tower SUTET 500 kV dapat meningkatkan *Safety Factor* (SF) sehingga menghasilkan kondisi lereng tower yang aman dan stabil. Penambahan riprap dengan tinggi 4 m menghasilkan perubahan *Safety Factor* dari kondisi awal $SF=1,788$ menjadi $SF=2,298$ untuk pembebanan tanpa beban gempa dan $SF=0,796$ menjadi 1,251 untuk pembebanan dengan gempa. Sementara itu tinggi riprap minimal yang dibutuhkan adalah 4 m dimana mulai menunjukkan kondisi aman dengan nilai $SF > 1,25$. Semakin tinggi riprap yang dipasang akan meningkatkan *Safety Factor* namun berdampak pada penambahan biaya yang diperlukan. Meskipun hasil simulasi sudah menunjukkan $SF > 1,25$, perlu dilakukan studi lanjutan terkait monitoring efektifitas hasil pengamanan riprap dalam jangka waktu yang panjang, dikarenakan nantinya pola aliran sungai akan berubah akibat beroperasinya Waduk Cipayung – Ciawi.

Daftar Pustaka

- [1] Novi Herawadi Sudiby, Muhammad Ridho, "Pendeteksi Tanah Longsor Menggunakan Sensor Cahaya". Jurnal TIM Darmajaya Vol. 01 No. 02, 218-227. 2015.
- [2] Achmad Jafar, Gufron Ardiansyah, Muhammad Ramadhan, "Tugas Paper Mata Kuliah Teknik Sungai Rangkuman Bab VII dan VIII Buku Dasar-Dasar Teknik Sungai (Oehadijono, 1993)", Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sorong.
- [3] Design of riprap Revetment, HEC 11, Metric Version.
- [4] Bowles, J.E, "Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah", Erlangga, 1989.
- [5] A. C. Parola, "Stability Of riprap At Bridge Piers", Associate Member, ASCE, J. Hydraul. Eng. 1993.
- [6] Benjamin Pister, "Urban Marine Ecology In Southern California: The Ability Of riprap Structures To Serve As Rocky Intertidal Habitat", Paper Mar Biol, 2009.
- [7] Joko Suwarno, Hariadi Kartodihardjo, Bambang Pramudya & Saeful Rachman, "Pengembangan Kebijakan Pengelolaan Berkelanjutan Das Ciliwung Hulu Kabupaten Bogor (Policy Development of Sustainable Watershed Management of Upper Ciliwung, Bogor Regency)", Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan Vol. 8 No. 2, 115 - 131, 2011.
- [8] Tim PLN, "Buku Pedoman Pengawasan dan Asesmen SUTT/SUTET. PT PLN (Persero)", Jakarta, 2014.
- [9] Tim PLN, "Standarisasi Gambar Outline Dan Arrangement Tower Transmisi 2 Sirkit 150 kV / 275 kV / 500 kV dalam Rangka Proyek 35000 MW", Jakarta.
- [10] Direktorat Bina Teknik Permukiman dan Perumahan Direktorat Jenderal Cipta Karya Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, "Desain Spektra Indonesia (rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021)", 2021.
- [11] Michael J. Byle, P.E., D.GE; and Rakam Tamang, P.E., M.ASCE, "Adaptive Slope Stabilization for River Remediation". Tetra Tech, Langhorne, PA, 2020.
- [12] Priska Helene Hiller, "riprap design on the downstream slopes of rockfill dams", NTNU Norwegian University of Science and Technology Faculty of Engineering Department of Civil and Environmental Engineering, 2017.

Halaman ini sengaja dikosongkan