Analisis 3 Dimensi Kestabilan Lereng Akibat Aktivitas Peledakan pada Terowongan

3 Dimensional Analysis for Natural Slope Stability due to Tunnel-Blasting Activities

Fadhilla Akbar[1], Budi Sulistianto[2*], Tri Karian[3]
[1-2] Program Studi Magister Rekayasa Pertambangan, Institut Teknologi Bandung
[3] Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung
Corr Author: [1]fadhil.fakbar@gmail.com, [*2]bst@mining.itb.ac.id, [3]tri_karian@mining.itb.ac.id

ABSTRAK

Aktivitas pemberaian batuan menggunakan peledakan pada penggalian terowongan dapat menghasilkan getaran yang akan berpengaruh terhadap lingkungan. Tidak hanya berpengaruh pada terowongan itu sendiri, tetapi juga pada permukaan di atas terowongan tersebut. Penelitian ini dilakukan untuk mencoba menganalisis kestabilan lereng permukaan akibat aktivitas peledakan dalam terowongan. Analisis ini dibantu dengan perangkat lunak dari Rocscience yaitu Slide3, Slide2, dan RS2 untuk memperoleh nilai faktor keamanan dan nilai perpindahan sekitar lereng pemukiman warga yang berada di atas terowongan. Pengambilan conto batuan dan tanah (pemboran geoteknik) akan diuji di laboratorium untuk memperoleh data geoteknik merupakan kegiatan awal dari penelitian ini. Pemantauan dan pengukuran getaran akibat kegiatan peledakan di Terowongan 11 dilakukan pada jarak 109 m dari titik peledakan. Hasil nilai PVS 1,89 mm/s, PPA longitudinal 0,071 g dan PPD 0,003 mm. Nilai PPA dan PPD tersebut digunakan sebagai masukan dan validasi untuk analisis numerik pada penelitian ini. Pemodelan lereng dibuat mendekati kondisi aktual untuk dianalisis, seperti geometri hingga parameter masukan pada model. Hasil analisis menunjukkan nilai faktor kemanan pada lereng permukaan terowongan sebelum dan ketika dilakukan peledakan adalah sebesar 1,450 dan 1,247 yang dapat dinyatakan stabil. Nilai perpindahan dari hasil analisis numerik juga menunjukkan hasil kurang dari 0,5 cm. Dengan nilai perpindahan tersebut, maka getaran akibat aktivitas peledakan tidak menimbulkan kerusakan pada lereng permukaan di atas terowongan.

Kata-kata kunci*:* kestabilan lereng, analisis 3 dimensi, metode kesetimbangan batas, peledakan, terowongan

ABSTRACT

Tunnel excavation using blasting produces ground vibrations that can give an effect on the environments which are the tunnel itself and the surface above the tunnel. This research was conducted to analyze the stability of the natural slope above the tunnel due to blasting activity. The analysis was carried out using the limit equilibrium method and numerical methods. This analysis is assisted by software from Rocscience: Slide3 and Slide2 to obtain the value of the Safety Factor, and RS2 to obtain the value of displacement around the slopes above the tunnel. Rock and soil sampling (geotechnical core logging) to obtain geotechnical data is the initial activity of this research. It was continued with the vibration monitoring activities due to the blasting of Tunnel excavation with 109 m distances. The monitoring results of PVS were 1.89 mm/s, PPA longitudinal 0.071 g, and PPD 0.003 mm. The value of the PPA and PPD is used for input and validation data for numerical analysis in this study. The models which are analyzed are then made close to actual conditions, both model geometry, and model input parameters. The results of the numerical analysis show that the value of the Safety Factor on the slope of the tunnel surface before-and-when blasting is 1.474 and 1.247 which can be declared stable. The displacement from the numerical analysis also shows results of less than 0.5 centimeters. Based on this result, the vibrations due to blasting activity can be considered not to cause damage to the surface slope above the tunnel.

Keywords: slope stability, 3D analysis, limit equilibrium method, blasting, tunnel

Submitted: 10-03-2022; Revised: 08-01-2023; Accepted: 08-02-2023; Available Online: 14-02-2023
Published by: Mining Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Lambung Mangkurat
This is an open access article under the CCBYND license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
©2023, Geosapta

PENDAHULUAN

Terowongan 11 merupakan salah satu terowongan yang digali oleh PT Kereta Cepat Indonesia China (KCIC) untuk jalur kereta cepat. Terowongan ini terletak di Gunung Bohong, Jawa Barat. Material atau batuan penyusun di Gunung Bohong terdiri dari batuan lemah (silty clay – gravelly clay) hingga keras (andesit). Metode penggalian mekanis dilakukan untuk material atau batuan lemah dan metode peledakan dilakukan untuk memberai batuan keras.

Lokasi penggalian tersebut berada di bawah lereng yang berpemukiman penduduk. Permasalahan yang akan timbul adalah kestabilan lereng tersebut akibat penggalian dengan peledakan. Oleh sebab itu, penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh kegiatan peledakan di Terowongan 11 terhadap kestabilan lereng pemukiman tersebut. Data rancangan peledakan, geologi setempat, hingga pemantauan peledakan akan diolah untuk menghasilkan nilai Faktor Keamanan dan perpindahan pada lereng pemukiman.

Berdasarkan penelitian sebelumnya dilakukan analisis secara 2 dimensi menggunakan nilai prediksi getaran, hasilnya dinilai kurang representatif [1]. Maka perlu dilakukan pemodelan menggunakan nilai getaran aktual secara 2 dimensi (2D) maupun 3 dimensi (3D) supaya lebih representatif dan mendekati kondisi aktual.

http://dx.doi.org/10.20527/jg.v9i1.12912

Pemodelan dan analisis numerik pada penelitian ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak dari Rocscience yaitu Slide2, Slide3, dan RS2.

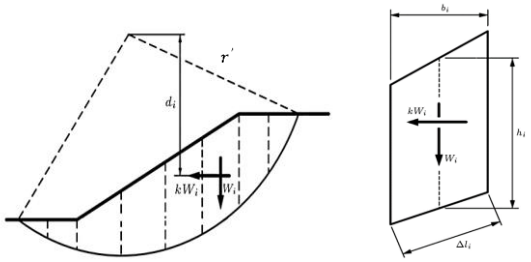
METODOLOGI

Metode Kesetimbangan Batas

Metode Kesetimbangan Batas *(Limit Equilibrium Method)* adalah pendekatan yang paling popular dalam melakukan analisis untuk mengetahui kestabilan suatu lereng. Kondisi kesetimbangan statik akan digunakan pada metode ini. Metode ini tidak mempertimbangkan hubungan tegangan dan regangan pada bidang atau lereng yang akan dianalisis. Massa tanah di atas bidang gelincir dibagi menjadi: sejumlah irisan vertikal. Jumlah sebenarnya dari irisan digunakan tergantung pada geometri lereng dan profil tanah. Pada metode ini, bidang gelincir diasumsikan berbentuk melingkar (circular) dan tidak melingkar (non-circular). Dengan asumsi bidang gelincir berbentuk melingkar, maka perhitungan akan mempertimbangkan kesetimbangan momen pada pusat lingkaran untuk seluruh bagian yang akan menggelincir. Sedangkan, metode yang mengasumsikan bentuk bidang gelincirnya tidak melingkar biasanya hanya mempertimbangkan kesetimbangannya pada masing-masing irisan [2]. Dalam penelitian ini digunakan metode Bishop sebagai metode yang efisien. Pendekatan metode Bishop adalah bidang gelincirnya berbentuk melingkar [3].

Beban Seismik dalam Analisis Kestabilan Lereng

Bishop mengembangkan metode pseudo-statik untuk analisis lereng alami dengan beban seismik. Dalam pendekatan ini, faktor keamanan pada bidang gelincir diperoleh dengan memasukkan gaya horizontal dan vertikal dalam analisis statik. Gaya-gaya ini biasanya dinyatakan sebagai hasil dari koefisien seismik dan berat dari irisan pada bidang gelincir.



Gambar-1. Model Lereng dengan bidang gelincir berbentuk melingkar dan posisi beban (gaya berat dan seismik) dalam masing-masing irisan

Terkait dengan model lereng seperti ditunjukkan pada Gambar-1, bidang gelincir dimodelkan dengan bentuk melingkar. Persamaan metode Bishop yang diusulkan untuk analisis kemantapan lereng adalah sebagai berikut [4].

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{c.\Delta li.\cos a_i + \omega_i.\tan\varphi}{\cos a_i + (\sin a_i.\tan\varphi)/FK}\right]}{\sum_{i=1}^{n}\omega_i.\sin a_i + (\sum_{i=1}^{n}k_h.\omega_i.d_i)/r'} \quad (1)$$

Dimana, FK adalah Faktor Keamanan, ω_i adalah berat irisan, Δli adalah luas alas dari irisan, c adalah kohesi, a_i adalah sudut alas irisan, φ adalah sudut gesek dalam, k_h sebagai koefisien horisontal seismik, d_i sebagai jarak vertikal antara titik pusat lingkaran dengan pusat gravitasi irisan, r' adalah jari-jari lingkaran bidang gelincir.

Gambar-2. Lokasi Penelitian dan Titik Pemantauan Getaran Peledakan

Lokasi Penelitian

Lokasi yang diteliti adalah area lereng barat pada jalur Terowongan 11 Kereta Cepat Jakarta Bandung yang berada di Gunung Bohong. Kegiatan peledakan dilakukan di dalam terowongan. Berdasarkan koordinat, jarak lokasi peledakan dengan pemukiman sekitar 120 meter. Berdasarkan hasil pengambilan data dari kegiatan pemboran di lokasi tersebut. Karakteristik material pada terowongan didominasi batuan keras yaitu Andesit dan Breksi, selebihnya batuan lemah seperti *clay*, *gravelly clay*, dan *tuff sandstone*. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar-2.

Karakteristik Massa Batuan

Pemboran geoteknik dilakukan untuk pengambilan conto batuan dan tanah. Conto batuan dan tanah tersebut diuji di laboratorium untuk memperoleh sifat fisik dan sifat mekanik dari material utuh. Hasil uji

http://dx.doi.org/10.20527/jg.v9i1.12912

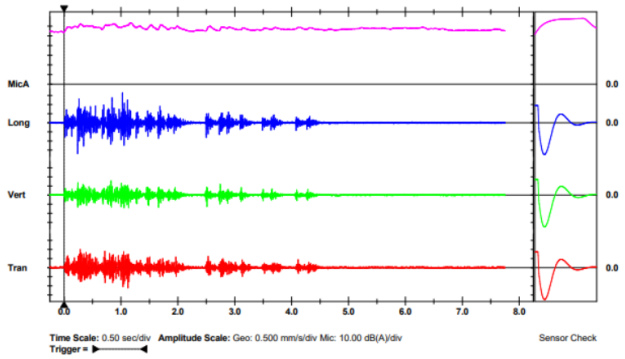
laboratorium kemudian dikonversi ke nilai properti massa batuan. Nilai properti massa batuan yang akan digunakan sebagai masukan pada pemodelan 2D dan 3D untuk analisis kestabilan lereng dapat dilihat pada Tabel-1.

Tabel-1. Karakteristik Massa Batuan

Parameter (Satuan)	***Silty clay***	***Gravelly clay***	***Andesite***
RQD (%)	-	-	70
Densitas (kg/m^3)	1.668	1.668	1.973
Kuat tekan Uniaksial (MPa)	0,08	0,35	37,39
Modulus Young (MPa)	0,09	50	4.924
Nisbah *Poisson*	0,30	0,30	0,21
Kohesi (MPa)	0,05	0,1	12,74
Sudut gesek dalam (°)	7,9	30	32,04
Kuat tarik uniaksial (MPa)	0	0,035	2,57
Modulus bulk (MPa)	4	42	2.885
Modulus geser (MPa)	2	19	2.025

Pemantauan Getaran Peledakan

Pemantauan atau pengukuran getaran peledakan dilakukan menggunakan alat seismograf dari Instatel, yaitu MiniMate Plus. Alat ini memiliki sensor-sensor yang berfungsi menangkap gelombang getaran dan suara. Sensor pada geophone untuk menangkap gelombang getar dari peledakan, sedangkan sensor pada linier-ambience microphone untuk menangkap gelombang suara pada aktivitas peledakan. Kemudian data gelombang-gelombang tersebut ditampilkan dalam bentuk laporan pengukuran dan data gelombang yang lebih detail dari laporan pengukuran dapat diunduh pada perangkat lunak pendukung dari alat seismograf ini.



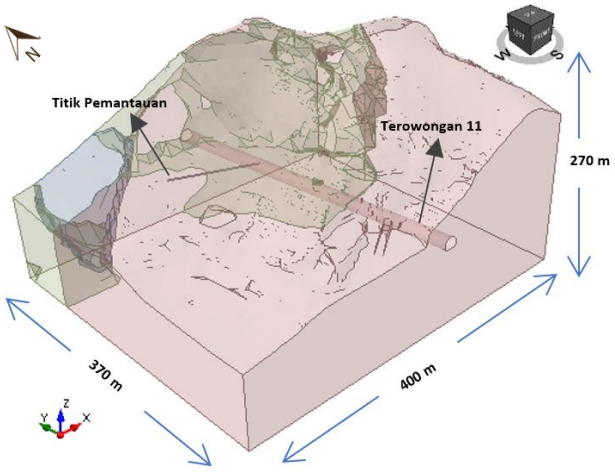
Gambar-3. *Event Report* dari Pengukuran Getaran Peledakan

Peak Particle Acceleration (PPA)

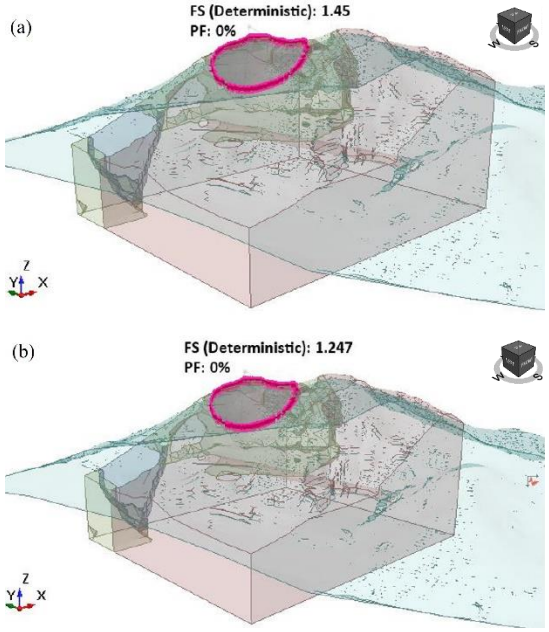
PPA merupakan percepatan maksimum dari pergerakan partikel (satuan= g). Nilai PPA yang digunakan sebagai masukan *seismic loading* atau beban seismik pada model 2D maupun 3D adalah sebesar 0,071 g. Nilai PPA diperoleh dari hasil pengukuran getaran peledakan. Pemantauan getaran peledakan dilakukan pada jarak horizontal 109 meter dari titik peledakan dan tegak lurus dengan trase terowongan (lihat pada Gambar-2).

Pemodelan secara 3 Dimensi

Kondisi lereng dan terowongan 11 dimodelkan secara 3 dimensi (3D) menggunakan bantuan perangkat lunak dari Rocscience yaitu Slide3 dengan metode kesetimbangan batas. Pada Gambar-4. menunjukkan pemodelan dibuat berdasarkan kondisi area ketika peledakan dilaksanakan. Parameter yang dijadikan masukan sistem pemodelan adalah kondisi batas geometri eksternal model (pada Gambar-3), nilai masukan beban seismik (0,071 g), tipe bidang gelincir atau longsor (circular), kondisi muka air tanah (7 meter di bawah permukaan lereng), dan nilai masukan statistik material.



Gambar-4. Batas Geometri Eksternal pada Slide3



Gambar-5. (a) lereng statik (b) lereng pseudo-satatik

HASIL DAN DISKUSI

Pemodelan lereng di sekitar pemukiman warga di Terowongan 11 secara 3D dilakukan dengan 2 kondisi yaitu lereng dengan kondisi statik (tanpa pembebanan seismik) dan lereng dengan kondisi pseudo-statik (diberikan pembebanan seismik). Hasil pemodelan menunjukkan bahwa nilai FK lereng mengalami penurunan sebesar 14%. Nilai FK pada kondisi statik adalah sebesar 1,450 sedangkan nilai FK pada kondisi pseudo-statik adalah sebesar 1,247 seperti yang ditunjukkan pada Gambar-5. Probabilitas kelongsoran masing-masing kondisi pada lereng tersebut menunjukkan angka 0%. Berdasarkan KepMen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah

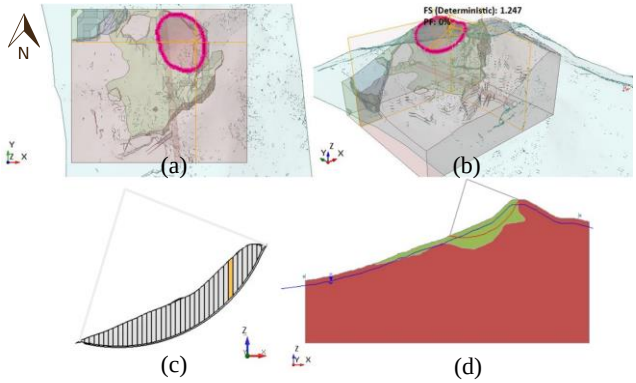
http://dx.doi.org/10.20527/jg.v9i1.12912

Teknik Pertambangan yang Baik, maka lereng ini dapat diterima atau stabil dengan nilai FK lebih besar dari 1,1 dan probabilitas longsor tidak lebih dari 5%.

Berdasarkan hasil pemodelan 3D pada lereng yang diberikan beban seismik, bidang gelincir yang paling kritis berada jauh di atas pemukiman warga. Arah bidang gelincir paling kritis (seperti ditunjuk Gambar-6) adalah barat daya. Mengingat analisis yang lazim dalam kestabilan lereng dilakukan dalam dua dimensi (2D), hasil dari pemodelan 3D ini pun selanjutnya dilakukan analisis 2D. Analisis 2D dilakukan dengan cara memberikan sayatan *(section)* pada bidang gelincir hasil pemodelan 3D (Gambar-6).

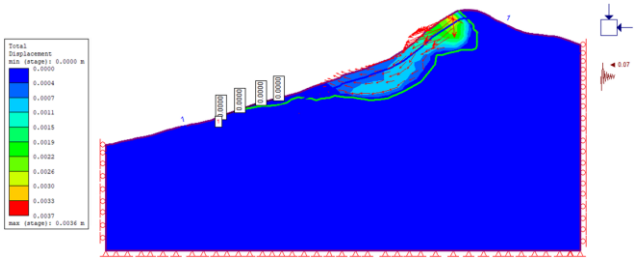
Jika dari hasil sayatan tersebut dilakukan analisis secara 2D (dibantu dengan perangkat lunak Slide2). Maka, nilai FK yang diperoleh adalah 1,160 pada kondisi yang sama (diberikan beban seismik 0,071 g). Nilai FK secara 2D lebih kecil dibandingkan dengan 3D karena pada analisis 2D tidak mempertimbangkan lebar lereng aktual dan kondisi yang searah dengan lebar lereng. Sehingga kondisi lebar lereng pada 2 dimensi dianggap sama dan lebarnya tidak terbatas.

Pada analisis kestabilan lereng ini, selain mencari nilai FK pada lereng juga perlu mencari perpindahan yang mungkin terjadi pada lereng. Hal tersebut akan digunakan untuk menentukan apakah bangunan di pemukiman warga sekitar dapat dinyatakan aman atau terjadi kerusakan.



Gambar-6. (a) Sayatan 3D tampak atas (b) Sayatan 3D (c) Irisan dari Bidang Gelincir (d) Model 2D dari Hasil Sayatan 3D

Untuk mencari nilai perpindahan, dilakukan pemodelan secara 2D menggunakan perangkat lunak RS2 (lihat Gambar-7.). Hasilnya menunjukkan bahwa perpindahan terbesar terjadi di bagian puncak lereng (jauh dengan pemukiman warga) dengan nilai sebesar 0,37 cm, dan pada pemukiman warga tidak terdapat perpindahan. Berdasarkan klasifikasi perpindahan [4], maka lereng ini dapat dinyatakan aman atau tidak mengalami kerusakan dan hanya mengalami efek getaran tanah saja.



Gambar-7. Nilai Perpindahan Permanen pada Lereng

KESIMPULAN

Hasil analisis dari pemodelan lereng secara 3D dan 2D diperoleh nilai FK sebesar 1,247 dan 1,160 yang menyatakan bahwa lereng tersebut aman apabila dilakukan peledakan dengan nilai beban seismik 0,071 g. Nilai FK lereng pada sebelum dan ketika dilakukan peledakan mengalami penurunan sebesar 14%. Kemungkinan longsor dan kerusakan bangunan pada lereng tersebut juga dinyatakan tidak ada, berdasarkan nilai probabilitas kelongsoran dan nilai perpindahan dari analisis numerik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak, seperti PT KCIC, PT CREC, dan PT LAPI ITB yang telah memberi dukungan dalam bentuk perizinan atau legalitas terhadap penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

[1] Prabowo, J.D. 2021. Analisis Kestabilan Lereng Tanah dan Batuan di Sekitar Gunung Bohong, Padalarang, Akibat Peledakan Terowongan #11 pada Proyek Kereta Cepat Jakarta-Bandung. *Tesis*. Program Pascasarjana Rekayasa Pertambangan. Institut Teknologi Bandung. Bandung.

[2] Arif, I., 2016. *Geoteknik Tambang: Mewujudkan Produksi Tambang Yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng*. Edisi 1. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

[3] Arif, Irwandy. 2021. *Geoteknik Tambang: Mewujudkan Produksi Tambang Yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng*. Edisi 2. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

[4] Johari, A., Mousavi, A., dan Nejad, A.H. 2015. A seismic slope stability probabilistic model based on Bishop's method using analytical approach. Scientia Iranica. Vol. 22(3). Hal. 728-741.

[5] Legg, M.R., dkk. 1982. Seismic Hazard Models for The City of Oakland. Technical Report. J.H. Wiggins Co. Oakland.

[6] Qingguo Liang., Jie Li., Dewu Li., Erfeng Ou. 2012. 2006. Effect of Blast-Induced Vibration from New Railway Tunnel on Existing Adjacent Railway Tunnel in Xinjiang. Journal of Rock Mechanics and Rock Engineering, DOI.

[7] Liong, G., J., Herman, D. J. G. 2012. Analisa Stabilitas Lereng Limit Equilibrium vs Finite Element Method. Prosiding HATTI-PIT-XVI. Jakarta.

[8] Kep.Men. ESDM No. 1827. 2018. Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta.

[9] Rai, M.A., Wattimena, R.K., Kramadibrata, S. 2014. *Mekanika Batuan*. ITB Press. Bandung.

[10] Standar Nasional Indonesia No. 8460. 2017. Persyaratan Perancangan Geoteknik. Badan Standarisasi Nasional.

[11] U.S. Department of Housing and Urban Development National Institute of Building Sciences dan National Instituite of Building Sciences. 2017. Residential Structural Design Guide: 3-5.

http://dx.doi.org/10.20527/jg.v9i1.12912

[12] Standar Nasional Indonesia No.7571. 2010. Baku tingkat getaran peledakan pada kegiatan tambang terbuka terhadap bangunan. Badan Standarisasi Nasional.

http://dx.doi.org/10.20527/jg.v9i1.12912