



Pemodelan Numerikal Kestabilan Lereng Batulempung (Studi Kasus Ruas Jalan Sumedang-Cirebon Km 68+750)

***Dimas Athhariyadi Wahab¹, Adrin Tohari², Indra Noer Hamdhan¹**

¹Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional, Bandung

²Pusat Penelitian Geoteknologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Bandung

^{*}dimas.athhar@gmail.com

Received: 11 April 2023 Revised: 25 Oktober 2023 Accepted: 7 Desember 2023

Abstract

The Sumedang-Cirebon Km 68+750 road section is a national road and an important transportation infrastructure in West Java. Albeit the road section's slope has previously been strengthened with bored pile reinforcement, the slope continues to move. This study's objective is to examine slope stability by considering earthquake loads and to suggest improvements for efficient slope reinforcement. Slope stability analysis utilizing PLAXIS 2D program based on the finite element method and DMT-KD Method which is the result of field testing using the Flat Dilatometer Test (DMT)). PLAXIS modeling results show that the slope failure line is deeper below the bored pile reinforcement. The results of the analysis using DMT-KD method showed similar slope failure, the conclusion is DMT-KD method can be the initial basis for slope stability analysis on mudstone. The PLAXIS modeling results obtained a static safety factor of 1.113 and a safety factor due to an earthquake of <1, both of which fall short of the requirements of minimum of 1.5 for static loads and 1.4 for earthquake loads. The body of the road develops cracked as a result of this issue. Additional reinforcement modeling is carried out using bored piles and gabions. As shown in the results of additional reinforcement modeling, bored pile reinforcement that reaches below the slope failure line is more successful than gabion reinforcement at the slope's base in raising the safety factor.

Keywords: Slope stability, safety factor, PLAXIS 2D, earthquake

Abstrak

Ruas Jalan Sumedang-Cirebon Km 68+750 merupakan jalan nasional dan prasarana transportasi penting di Jawa Barat. Lereng pada ruas jalan tersebut sudah diperkuat menggunakan perkuatan jenis bored pile, namun pergerakan lereng masih terjadi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng dengan mempertimbangkan beban gempa serta memberikan rekomendasi perkuatan lereng yang efektif. Analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan program PLAXIS 2D berbasis metode elemen hingga dan DMT-KD Method, hasil dari pengujian di lapangan menggunakan Flat Dilatometer Test (DMT). Hasil pemodelan PLAXIS menunjukkan bahwa garis keruntuhan lereng berada lebih dalam di bawah perkuatan bored pile. Hasil analisis menggunakan DMT-KD method didapat garis keruntuhan serupa, hal ini menunjukkan bahwa DMT-KD method dapat menjadi dasar awal analisis kestabilan pada lereng batu lempung. Hasil pemodelan PLAXIS didapatkan factor keamanan (FK) statis 1,113 dan FK akibat gempa <1, dimana tidak memenuhi syarat minimum yaitu sebesar 1,5 untuk beban statis dan 1,4 untuk beban gempa. Hal ini yang menjadi penyebab masih terjadi retakan pada badan jalan. Percobaan pemodelan perkuatan tambahan dilakukan menggunakan bored pile dan bronjong. Hasil pemodelan perkuatan tambahan pada lereng tersebut menunjukkan bahwa perkuatan bored pile tambahan dengan memotong garis keruntuhan lereng lebih efektif meningkatkan FK dibandingkan dengan perkuatan bronjong di kaki lereng.

Kata kunci: Stabilitas lereng, faktor keamanan, PLAXIS 2D, gempa

Pendahuluan

Ruas Jalan Sumedang-Cirebon merupakan jalur jalan nasional dan merupakan salah satu prasarana

transportasi penting di Jawa Barat. Ruas jalan ini berada pada kawasan perbukitan. Oleh karena itu, dalam pembangunannya diperlukan pekerjaan timbunan dan galian yang menimbulkan suatu

lereng di samping ruas jalan tersebut. Lereng merupakan suatu kondisi permukaan tanah dimana terdapat perbedaan elevasi antara satu daerah dengan daerah yang lain dan membentuk kemiringan tertentu (Das, 1985). Lereng dapat terbentuk secara alamiah karena proses geologi atau karena dibuat oleh manusia. Lereng yang terbentuk secara alamiah misalnya lereng bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia antara lain yaitu galian dan timbunan untuk membuat jalan raya, jalan kereta api, bendungan, tanggul sungai dan kanal (Prayuda & Wahyudin, 2017).

Menurut Hamdhan *et al* (2020) Stabilitas lereng merupakan hal penting dalam ilmu geoteknik, karena apabila stabilitas lereng terganggu maka lereng rentan terhadap kelongsoran. Kelongsoran (*land slide*) khususnya untuk tanah merupakan perpindahan massa tanah dari kedudukan semula akibat pengaruh gravitasi sehingga terpisah dari massa yang mantap, di mana perpindahan ini bisa diakibatkan oleh liquefaksi dari pengaruh gempa bumi. Penyebab lain adalah sifat tanah yang mengandung mineral yang mampu kembang susut seperti lempung dan lanau yang sering kali dalam keadaan retak-retak atau bercelah, sehingga tekanan air pori dapat membahayakan stabilitasnya. Selain itu bisa diakibatkan oleh pengaruh tipe perlapisan khusus misalnya antara pasir dan lempung, tekanan beban yang berlebihan pada kepala lereng atau pemotongan kaki lereng dan dalam beberapa kasus struktur tanah umumnya diperlemah oleh proses fisika dan kimia (Khrisna *et al*, 2013)

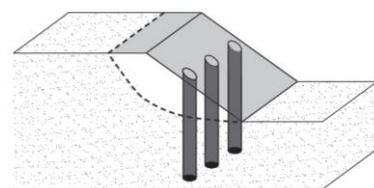
Stabilitas lereng atau kemampuan lereng menahan terjadinya longsoran ditunjukkan dengan nilai faktor keamanan (FK) yaitu perbandingan antara gaya-gaya yang menahan, terhadap gaya-gaya yang menggerakkan tanah tersebut (Ali *et al*, 2017). Agar lereng menjadi stabil maka gaya-gaya yang mengakibatkan longsor haruslah lebih kecil dari pada gaya-gaya yang ada sehingga faktor keamanan akan menjadi lebih besar atau sama dengan satu (Pangemanan *et al*, 2014).

Lereng pada ruas jalan Sumedang-Cirebon termasuk kriteria tingkat resiko tinggi karena terdapat infrastruktur jalan yang sangat penting. Sebuah lereng dikatakan stabil apabila lereng tersebut tidak mengalami kelongsoran atau memenuhi kriteria nilai FK, tetapi tidak menutup kemungkinan lereng tersebut seiring berjalannya waktu akan mengalami kelongsoran karena pengaruh perubahan topografi, aliran air tanah, pergerakan seismik, perubahan tegangan, dan musim/iklim/ cuaca. Ruas jalan ini juga berada pada zona gerakan tanah aktif dan memiliki potensi gempa yang tinggi. Tercatat menurut pergerakan lereng pernah terjadi pada tahun 2016, 2017, 2020,

dan yang terbaru pada bulan Maret 2022 yang terletak di Cijelag, Kecamatan Tomo Kabupaten Sumedang. sehingga dalam perencanaan kestabilan lereng di ruas jalan tersebut perlu memperhatikan beban gempa.

Kondisi lereng di lokasi penelitian terdapat retakan di badan jalan yang menandai ketidak stabilan dari lereng di ruas jalan tersebut. Oleh karena itu penganggulangan perlu dilakukan pada lereng di ruas jalan tersebut. Penanggulangan longsoran lereng adalah pencegahan sebelum terjadinya longsor atau setelah longsor terjadi untuk mencegah keruntuhan total. Penanggulangan yang tepat pada kedua kondisi diatas dengan memperhatikan penyebab utama longsor, kondisi pelapisan tanah dan juga aspek geologinya.

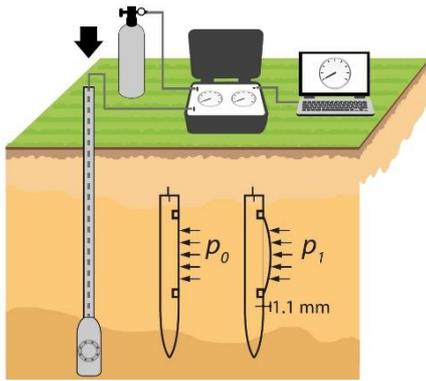
Penanggulangan longsoran atau perkuatan lereng yang sudah dilakukan adalah menggunakan perkuatan *bored pile*. Tiang bor atau *bored pile* adalah pondasi dalam yang pengecorannya dilakukan di tempat (*in-situ*), yang dibangun dalam sebuah lubang yang telah distabilisasi agar peletakan tulangan baja dan cor beton dapat terkontrol. Diameternya yang besar memberikan tahanan yang baik terhadap penggeseran dan penggulingan (California Department of Transportation, 2011). Perkuatan lereng menggunakan *boredpile* harus memotong garis keruntuhan lereng seperti terlihat pada Gambar 1



Sumber: Sun *et al*, 2016

Gambar 1. ilustrasi perkuatan lereng dengan *bored pile*

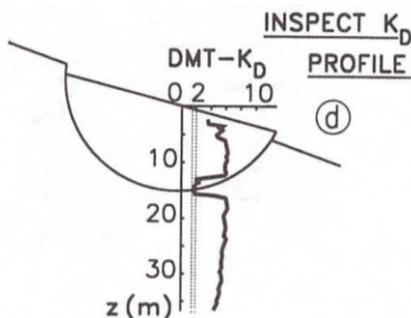
Pergerakan lereng yang terjadi mengakibatkan badan jalan retak dan amblas. Hal ini menyebabkan gangguan arus lalu lintas, kerusakan infrastruktur, dan bisa menimbulkan korban jiwa. Diperlukan identifikasi kedalaman bidang gelincir, untuk mengetahui penyebab dari pergerakan lereng tersebut, dan dilakukan pengujian DMT. *Flat Dilatometer Test* (DMT) adalah alat pengujian di lapangan (*in-situ test*) dimana tidak diperlukan lagi pekerjaan pengambilan contoh tanah dan pengujian laboratorium untuk mendapatkan parameter geoteknik yang diperlukan. Alat ini berupa pisau (*blade*) yang datar dimana ditengahnya terdapat membran untuk mengukur tekanan yang terjadi seperti terlihat pada Gambar 2. Alat ini membantu memperoleh parameter tanah melalui persamaan korelasi empiris yang dibuat oleh Marchetti.



Gambar 2. Flat dilatometer test (DMT) (Marchetti, 2001)

Totani *et al.* (1997) mengembangkan DMT-KD *Method* untuk mendeteksi garis keruntuhan lereng dengan cepat dari pengujian di lapangan (*in situ test*) menggunakan DMT. Penelitian Totani *et al.* (1997) dilakukan pada tiga lereng berbeda dimana membandingkan data DMT dengan data pengujian menggunakan *inclinometer*, *boreholes*, *trial pits*, dan data laboratorium untuk menentukan garis keruntuhan lereng yang terjadi. Hasilnya DMT dapat menggambarkan garis keruntuhan lereng untuk lereng lempung OC. DMT-KD *Method* menentukan kedalaman garis keruntuhan lereng berdasarkan nilai indeks tekanan horisontal (K_d).

Untuk melihat garis dan kedalaman keruntuhan lereng adalah dengan membuat grafik antara kedalaman dan nilai indeks tekanan horisontal (K_d) seperti terlihat pada Gambar 3. Nilai K_d lebih kecil dari dua menunjukkan kedalaman dari garis keruntuhan lereng.



Gambar 3. Metode DMT-Kd untuk menentukan garis keruntuhan (Totani *et al.*, 1997)

Menurut Luriyanto *et al.* (2014), secara umum faktor yang menyebabkan ketidakstabilan lereng ada dua yaitu faktor internal dan eksternal. Faktor internal adalah faktor yang berasal dari tubuh lereng seperti material tanah pembentuk lereng, muka air tanah, kemiringan lereng, retakan pada lereng, pelapukan tanah, dan aktivitas geologi dari lereng untuk lereng alami. Sedangkan faktor eksternal adalah faktor yang berasal dari luar seperti infiltrasi

air hujan, aktivitas manusia, keberadaan vegetasi, rayapan lereng, dan gempa.

Analisis stabilitas lereng yang dilakukan adalah menggunakan program Plaxis-2D. Plaxis-2D adalah program untuk menganalisis deformasi dan stabilisasi geoteknik dalam perencanaan-perencanaan di bidang teknik sipil dengan menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Methode*), oleh karena itu metode elemen hingga adalah metode yang digunakan untuk memperoleh suatu solusi numerik.

Faktor keamanan lereng menggunakan pendekatan metode pengurangan kekuatan geser tanah (*Shear Strength Reduction Factor*) atau biasa disebut *phi-c reduction*. Metode ini menggunakan pendekatan reduksi ϕ -c, parameter $\tan \phi$ dan c dari tanah yang direduksi hingga keruntuhan tercapai. Faktor pengali total ΣMsf digunakan untuk mendefinisikan parameter kekuatan tanah pada suatu tahapan tertentu dalam analisis sama dengan $\tan \phi$ masukan dibagi $\tan \phi$ tereduksi sama dengan kohesi (c) masukan dibagi kohesi (c) tereduksi, atau dapat dilihat pada Persamaan 1.

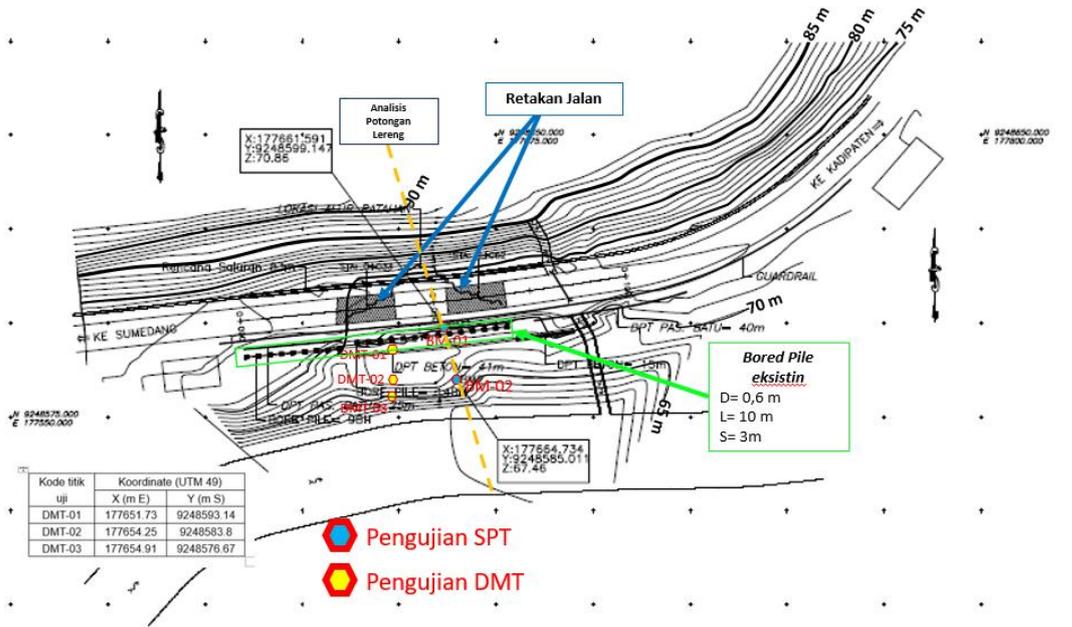
$$\Sigma Msf = \frac{c}{c_{reduced}} = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_{reduced}} \quad (1)$$

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis stabilitas lereng eksisting yang sudah diperkuat dengan bored pile menggunakan DMT-KD *Method* hasil pengujian *Flat Dilatometer Test* dan bantuan program PLAXIS 2D untuk mengetahui faktor keamanan dari lereng serta percobaan pemodelan tambahan perkuatan menggunakan *bored pile* dan bronjong.

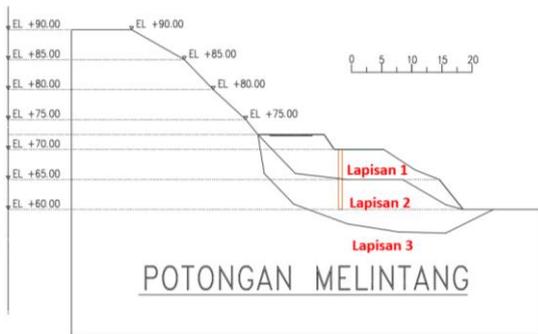
Metode

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penyelidikan geoteknik yang terdiri dari investigasi lapangan, pengujian laboratorium dan dianalisis menggunakan pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D. Kegiatan investigasi meliputi pengeboran sebanyak 2 titik dengan kedalaman 20 m dan 25 m disertai pengujian *standard penetration test* (SPT) dengan interval 2 m. Pengambilan 1 contoh tanah tak terganggu (*undisturb sampel*) dilakukan untuk pengujian laboratorium, yaitu pada titik BH 01 di kedalaman 2 m. Pengujian DMT sebanyak 3 titik dilakukam dengan kedalaman 13,6 m, 10,4 m, dan 8,6 m. Peta topografi lereng dan titik pengujian terlihat pada Gambar 4.

Berdasarkan hasil investigasi dan pengujian tanah, didapatkan lapisan penyusun seperti terlihat pada Gambar 5, dengan lapisan tanah tersebut memiliki parameter tanah seperti ditampilkan pada Tabel 1.



Gambar 4. Peta topografi dan titik penyelidikan geoteknik



Gambar 5. Potongan melintang lereng

Tabel 1. Parameter lapisan tanah

Parameter	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3
c (kN/m ²)	40	10	100
ϕ (°)	30	15	30
ψ (°)	0	0	0
γ_{unsat} (kN/m ³)	16	16	20
γ_{sat} (kN/m ³)	18	18	21
E_s (kN/m ²)	100000	10000	200000
μ	0,35	0,35	0,1

Sebelum dilakukan pemodelan, dilakukan analisis kondisi lapisan tanah di lereng tersebut. Berdasarkan hasil pengujian laboratorium pada satu sampel tanah tak terganggu (*undisturb sampel*) yang dilakukan di kedalaman 2 m didapatkan bahwa terdapat tanah lempung dengan nilai indeks plastis (PI) 38,68%. Menurut Chen, F. H (1975) dapat disimpulkan bahwa tanah tersebut merupakan tanah lempung dengan potensi pengembangan yang tinggi seperti terlihat pada Tabel 2. Menurut Gunarso *et al.* (2017), tanah ekspansif adalah tanah yang mempunyai potensi kembang susut yang

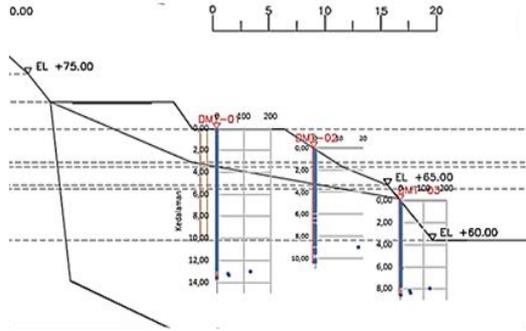
tinggi apabila terjadi perubahan sistem kadar air tanah. Tanah ini apabila terjadi peningkatan kadar air tanah akan mengembang disertai dengan peningkatan tekanan air pori dan timbulnya tekanan pengembangan. Apabila kadar air berkurang akan terjadi penyusutan. Kembang susut terjadi sebagai akibat adanya perubahan system tanah-air yang mengakibatkan terganggunya keseimbangan gaya-gaya dalam. Lereng yang tersusun dari tanah lempung ekspansif bersifat mudah bergerak akibat perubahan kadar air, sehingga seringkali menimbulkan ketidakstabilan lereng. Oleh karena itu muka air tanah perlu diperhitungkan pada lereng tersebut.

Tabel 2. Hubungan indeks plastisitas terhadap potensial pengembangan

Indeks plastisitas (%)	Potensial pengembangan
0-15	Rendah
15-35	Sedang
35-55	Tinggi
>55	Sangat Tinggi

Sumber: Chen F.H, 1975

Berdasarkan pengujian DMT, kedalaman muka air tanah dapat ditentukan berdasarkan nilai C dari hasil pengujian di lapangan. Jika nilai C muncul terus menerus sepanjang kedalaman pengujian dianggap bahwa kedalaman tersebut merupakan kondisi tanah jenuh dan dapat ditentukan muka air tanahnya. Berdasarkan pengujian DMT di lokasi penelitian didapat bahwa nilai C tidak muncul secara menerus menandakan muka air tanah belum tercapai seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik kedalaman terhadap nilai C

Oleh karena itu tanah ekspansif akibat muka air tanah bukan menjadi permasalahan di lereng tersebut. Sehingga pemodelan lereng perlu dilakukan untuk mengetahui penyebab ketidakstabilan lereng. Lereng tersebut berada di ruas jalan Sumedang-Cirebon sehingga dalam pemodelannya perlu di input beban lalu lintas sesuai persyaratan yang ditampilkan pada Tabel 3 sesuai Panduan Geoteknik 4 No. Pt T-10-2002-B, 2002.

Tabel 3. Beban lalu lintas

Fungsi	Sistem jaringan	Lalu lintas harian rata-rata (LHR)	Beban lalu lintas (kN/m ²)
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	>10.000	15
Sekunder	Arteri	<10.000	12
		>20.000	15
	Kolektor	<20.000	12
		>6.000	12
	Lokal	>500	10
		<500	10

Beban lalu lintas yang dimodelkan pada pemodelan Plaxis 2D adalah sebesar 15 kN/m², karena ruas jalan tersebut masuk kedalam jenis arteri primer dimana menghubungkan kota-kota besar. Beban tersebut dimodelkan menjadi beban merata dalam pemodelan Plaxis 2D. Menurut SNI 8460:2017 pengaruh beban gempa diperhitungkan jika lereng galian atau timbunan direncanakan dibangun di dekat area pemukiman atau dibangun dengan kriteria kepentingan strategis yaitu dengan kondisi tidak boleh mengalami keruntuhan atau terputusnya lajur transportasi setelah terjadi gempa rencana. Karena ruas jalan tersebut merupakan jalur jalan nasional yang tidak boleh terputus maka perlu memperhitungkan beban gempa yang terjadi di lokasi tersebut. Pemodelan gempa yang dilakukan adalah menggunakan metode *pseudostatis* dimana beban gempa dinamis disederhanakan menjadi beban statis dalam satu arah.

Input pemodelan gempa dalam pemodelan Plaxis berupa koefisien seismik yang didapatkan dari

percepatan puncak di permukaan (PGA). Koefisien seismik horizontal (K_h) ditentukan sebesar 0,5 dari percepatan puncak di permukaan (PGA) dengan penentuan kelas situs dan faktor amplifikasi sehingga nilai koefisien seismik horizontal (K_h) dapat dirumuskan pada Persamaan 3.

$$K_h = 0,5 \text{ PGA} \quad (2)$$

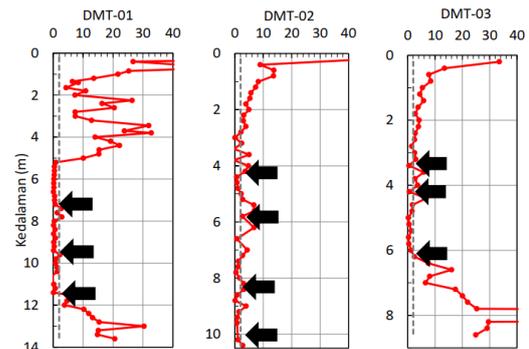
Dimana K_h adalah koefisien seismik horizontal dan PGA adalah percepatan puncak di permukaan. Koefisien gempa dapat ditentukan berdasarkan nilai koefisien seismik horizontal (K_h) dikalikan dengan nilai faktor amplifikasi (F_{PGA}) seperti terlihat pada Persamaan 4.

$$a = K_h \times F_{PGA} \quad (3)$$

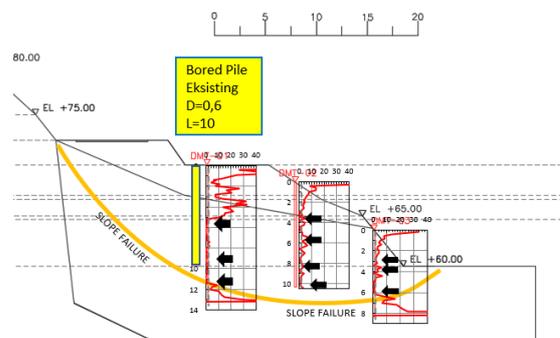
Dimana a adalah koefisien gempa dan F_{PGA} adalah faktor amplifikasi.

Hasil dan Pembahasan

Analisis dilakukan berdasarkan data yang diambil di lapangan menggunakan pengujian DMT, dimana nilai K_d berdasarkan pengolahan data di lapangan dapat menentukan kedalaman dari garis keruntuhan lereng, yaitu ditandai dengan nilai $K_d < 2$. Grafik nilai K_d dapat dilihat pada Gambar 7 dan proyeksi terhadap lereng dapat dilihat pada Gambar 8.



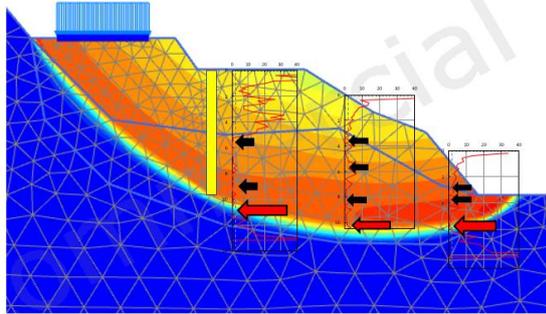
Gambar 7. Grafik nilai K_d



Gambar 8. Keruntuhan lereng berdasarkan nilai K_d

Dari Gambar 8 terlihat bahwa garis keruntuhan lereng berada dibawah dari *bored pile* eksisting.

Pemasangan *bored pile* harus dipasang memotong garis keruntuhan lereng, kondisi inilah yang memungkinkan menjadi penyebab masih terjadinya pergerakan lereng yang ditandai dengan retakkan di badan jalan. Untuk lebih meyakinkan kondisi eksisting lereng dan dapat merekomendasikan perkuatan yang baik maka dilakukan analisis stabilitas lereng kondisi eksisting berdasarkan pemodelan PLAXIS 2D. Didapat hasil pemodelan seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Keruntuhan lereng berdasarkan pemodelan PLAXIS 2D

Dari hasil pemodelan menggunakan PLAXIS 2D terlihat bahwa garis keruntuhan lereng berada dibawah dari perkuatan *bored pile*. Sama seperti analisis menggunakan data DMT didapat garis keruntuhan lereng yang sama. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa pengujian DMT dapat mejadi dasar analisis ketidakstabilan lereng. Nilai faktor keamanan lereng eksisting tanpa beban gempa didapat sebesar 1,113 dan jika dibebani dengan beban gempa lereng tersebut akan terjadi kelongsoran, terlihat pada Tabel 4. Faktor keamanan tersebut menandakan bahwa lereng masuk dalam kondisi kritis atau tidak stabil.

Tabel 4. FK pemodelan lereng eksisting

Kondisi	FK
Lereng	1,115
Lereng + beban jalan	1,082
Lereng + beban jalan + <i>bored pile</i> eksisting	1,113
Lereng + beban jalan + <i>bored pile</i> eksisting + beban gempa	<1 Collapse

Nilai faktor keamanan atau safety factor (FK) minimum untuk perencanaan lereng mengacu pada Manual Penanganan Lereng (2005) yang ditunjukkan pada Tabel 5. Dengan memperhitungkan tingkat resiko di lokasi lereng dan data parameter kuat geser yang didapat, tingkat resiko termasuk tinggi. Hal ini karena lokasinya yang berada pada jalur jalan nasional yang menghubungkan perekonomian di beberapa wilayah di Jawa Barat.

Selain itu parameter yang didapat merupakan parameter kuat geser sisa karena sudah terjadi pergeseran tanah dan pengambilan data yang terbatas. Maka diambil faktor keamanan minimum tanpa beban gempa sebesar 1,8 dan dengan beban gempa sebesar 1,5.

Tabel 5. Nilai faktor keamanan lereng

Resiko	Kondisi beban	Parameter kuat geser			
		Maksimum	Sisa		
		Teliti	Kurang teliti	Teliti	Kurang teliti
Tinggi	Dengan gempa	1,50	1,75	1,35	1,50
	Tanpa gempa	1,80	2,00	1,60	1,80
Menengah	Dengan gempa	1,30	1,60	1,20	1,40
	Tanpa gempa	1,50	1,80	1,35	1,50
Rendah	Dengan gempa	1,10	1,25	1,00	1,10
	Tanpa gempa	1,25	1,40	1,10	1,20

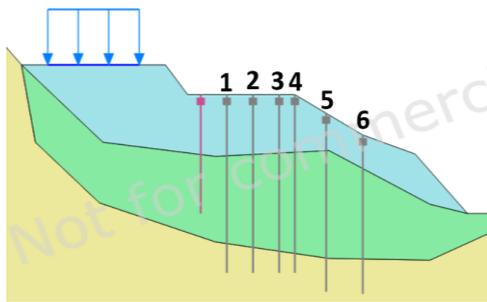
Sumber: Manual Penanganan Lereng, 2005

Pemodelan perkuatan *bored pile*

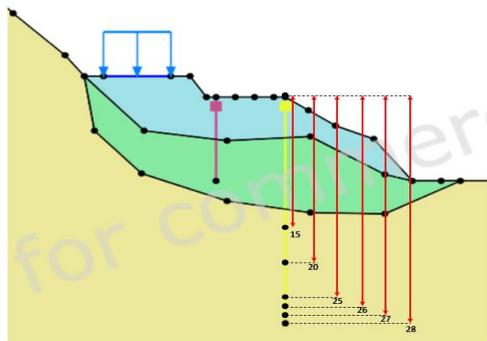
Berdasarkan hasil pemodelan eksisting didapat bahwa lereng tersebut memerlukan perkuatan. Percobaan perkuatan tambahan yang dimodelkan berupa *bored pile* tambahan dan bronjong di kaki lereng. Percobaan penambahan perkuatan *bored pile* dilakukan dengan 6 posisi berbeda seperti terlihat pada Gambar 10 dan kedalaman yang berbeda seperti terlihat pada Gambar 11. Berdasarkan percobaan pemodelan didapat posisi optimum di posisi 4 dan kedalaman optimum berada di kedalaman 27 meter dengan spesifikasi *bored pile* terlihat pada Tabel 6. Hasil Pemodelan lereng menggunakan PLAXIS 2D dengan perkuatan tambahan terlihat pada Gambar 11.

Tabel 6. Parameter Bored Pile

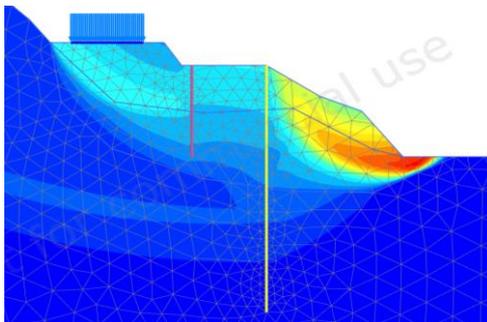
Parameter	Klasifikasi	Bored pile	Unit
Depth	Kedalaman	27	m
Diameter	Diameter	0,8	m
Spacing	Jarak	3	m
Material <i>M</i> model	Model	Elastic	-
Unit weight	γ	24	kN/m ³
Compressive strength	K	400	kg/m ²
Young's modulus	E	27000	Mpa



Gambar 10. Percobaan posisi *bored pile*



Gambar 11. Percobaan *bored pile*



Gambar 12. Percobaan posisi dan kedalaman *bored pile*

Dari Gambar 12 terlihat bahwa keruntuhan lereng yang sebelumnya merupakan keruntuhan masif atau *base failure* yang memiliki garis keruntuhan yang dalam kini berpindah mendekati kaki lereng (*Toe Failure*). Hal ini terjadi akibat penambahan *bored pile* yang dipasang memotong garis keruntuhan lereng. Nilai FK meningkat 53% menggambarkan bahwa penambahan *bored pile* efektif meningkatkan FK lereng tersebut. Dengan penambahan *bored pile* parameter di atas didapat FK tanpa beban gempa sebesar 1,711 dan FK dengan gempa sebesar 1,412. Hal ini menunjukkan bahwa lereng tersebut aman sesuai dengan syarat yang telah ditentukan dimana tanpa beban gempa harus lebih besar dari 1,5 dan dengan beban gempa harus lebih besar dari 1,4. Beban gempa di lokasi tersebut menurunkan FK 17,475%. Hasil rangkuman analisis stabilitas lereng eksisting

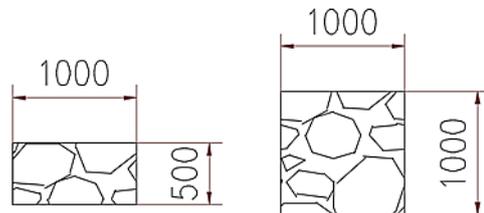
dengan perkuatan *bored pile* tambahan menggunakan PLAXIS 2D berbasis elemen hingga dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. FK pemodelan lereng dengan perkuatan *bored pile*

Kondisi	FK tanpa perkuatan	FK dengan perkuatan
Tanpa beban gempa	1,113	1,711
Dengan beban gempa	<1	1,412

Pemodelan perkuatan bronjong

Pemodelan perkuatan lain yang dimodelkan adalah menggunakan bronjong. Bronjong merupakan salah satu konstruksi dinding penahan tanah yang disusun seperti tangga dimana berisi blok beton, batu, atau tanah dan pasir yang disimpan dalam keranjang anyaman logam galvanis. Material bronjong dibagi menjadi dua material, yaitu batuan pengisi dan kawat/*wire mesh*. Model bronjong yang digunakan adalah kombinasi dari bronjong ukuran 100x100x100 mm dan 100x500x100 mm seperti terlihat pada Gambar 13.

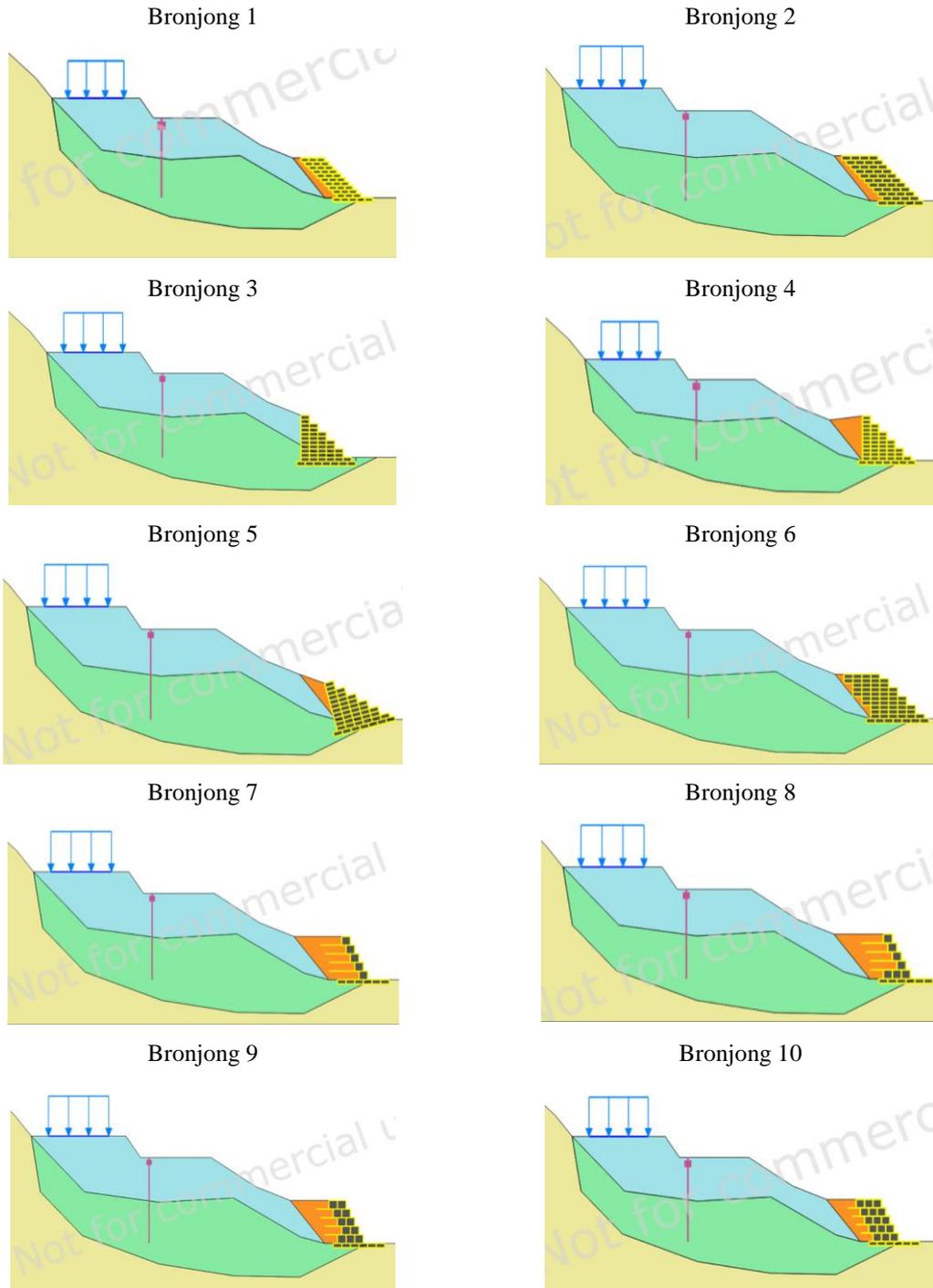


Gambar 13. Dimensi bronjong

Dalam pemodelan PLAXIS 2D pendekatan material batuan pengisi yang digunakan adalah model *Mohr-Coulomb* dengan parameter terlihat pada Tabel 8. Untuk kawat/*wire mesh* dimodelkan menggunakan *geogrid* dengan parameter kekakuan aksial elastis (EA) 500 Mpa. Prinsip kerja bronjong adalah dengan pemberian momen lawan (*counterweight*) di kaki lereng sehingga momen lawan akan bertambah besar bila dibandingkan dengan momen penggerakannya, dan memperkecil resiko terjadinya kelongsoran. Oleh karena itu dilakukan beberapa opsi penyusunan bronjong di kaki lereng seperti terlihat pada Gambar 14.

Tabel 8. Parameter bronjong

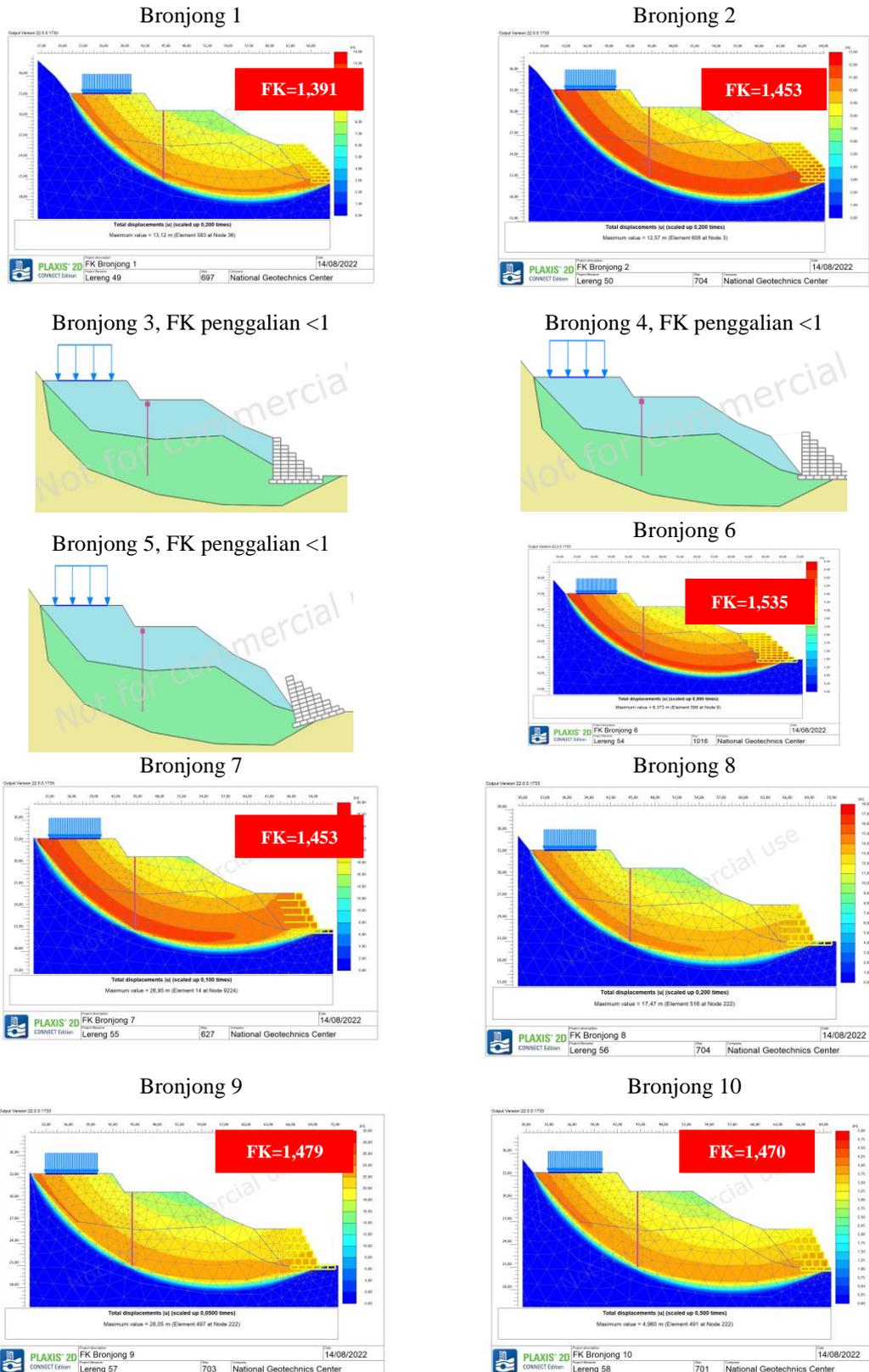
<i>Gabion box</i>	<i>Terramesh gabion</i>	Unit
γ unsat	17,5	kN/m ³
γ sat	20,5	kN/m ³
E	100000	Mpa
ν	0,3	-
C'	17	kN/m ²
ϕ	40	°
ψ	10	°



Gambar 14. Pemodelan lereng menggunakan perkuatan bronjong

Dari Gambar 15 terlihat bahwa keruntuhan lereng masif atau *base failure* masih terjadi dan persentase peningkatan FK akibat penambahan bronjong rata-rata hanya meningkat sebesar 32% dari FK tanpa perkuatan. Sedangkan akibat beban gempa semua pemodelan tidak ada yang sanggup menahan beban gempa di lokasi tersebut. Hal ini tidak ada yang memenuhi syarat Manual Penanganan Lereng (2005). Bronjong bekerja sebagai *counter weight* dimana gaya terjadinya keruntuhan lereng ini harus

lebih kecil dibanding dengan gaya penahan yang diakibatkan perkuatan yang telah dimodelkan, tetapi karena keruntuhan yang terjadi merupakan keruntuhan masif atau *base failure* dan memiliki gaya pendorong terjadinya lereng yang besar hal ini memerlukan *counter weight* atau gaya penahan yang lebih besar dan memerlukan penggunaan susunan bronjong yang memiliki volume yang besar juga, sehingga hal ini tidak memungkinkan untuk dipasang.



Gambar 15. Hasil pemodelan lereng menggunakan perkuatan bronjong

Kesimpulan

Dari hasil analisis menggunakan DMT-KD Method hasil data DMT dan pemodelan PLAXIS 2D

didapat bahwa garis keruntuhan lereng serupa. Keruntuhan lereng yang terjadi berada di bawah perkuatan *bored pile*. Oleh karena itu DMT-KD Method hasil pengujian DMT dapat menjadi salah

satu dasar awal untuk menganalisis kestabilan lereng batulempung. Dapat disimpulkan bahwa kondisi kestabilan lereng pada Ruas Jalan Sumedang-Cirebon Km 68+750 Cijelag, Kecamatan Tomo, Kabupaten Sumedang tidak stabil. Lereng tersebut memiliki faktor keamanan tanpa beban gempa sebesar 1,113 dan dengan beban gempa lebih kecil dari 1 atau terjadinya keruntuhan lereng. Perkuatan *bored pile* yang dipasang tidak efektif meningkatkan faktor keamanan karena garis keruntuhan lereng berada dibawah *bored pile* yang seharusnya pemasangan *bored pile* adalah dengan dipasang memotong garis keruntuhan lereng. Hal ini yang mengakibatkan masih terjadinya retakkan di badan jalan.

Penambahan *bored pile* yang memotong garis keruntuhan lereng lebih efektif meningkatkan faktor keamanan dibandingkan dengan penambahan bronjong di kaki lereng. Penambahan *bored pile* yang memotong garis keruntuhan lereng dapat memindahkan garis keruntuhan lereng yang sebelumnya merupakan keruntuhan masif/ *base failure* berpindah ke kaki lereng dan meningkatkan faktor keamanan sesuai syarat Manual Penanganan Lereng (2005). Sedangkan penambahan perkuatan bronjong tidak berdampak signifikan terhadap keruntuhan masif yang terjadi terutama dalam menahan beban gempa di lokasi tersebut.

Daftar Pustaka

- Ali, R. K., Najib, & Nasrudin, A. (2017). Analisis Peningkatan Faktor Keamanan Lereng Pada Areal Bekas Tambang Pasir Dan Batu di Desa Ngablak, Kecamatan Cluwak, Kabupaten Pati. *Promine Journal*, 5 (1), 10-19.
- California Department of Transportation. (2011). *Trenching and Shoring Manual*. California: Office of Structure Construction.
- Chen, F. H. (1975). *Foundations on Expansive Soils*. New York: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Das, B. M. (1985). *Mekanika tanah, prinsip-prinsip rekayasa geoteknis jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Dinas Pekerjaan Umum. (2002). *Panduan Geoteknik 4 Desain dan Konstruksi*. Bandung: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Dinas Pekerjaan Umum. (2022). *Panduan Geoteknik Indonesia*. In *Panduan Geoteknik 4 Desain dan Konstruksi* (pp. 50 - 51). Bandung.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2005). *Manual Penanganan Lereng Jalan Buku 1 Petunjuk Umum*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Gunarso, A., Nuprayogi, R., Partono, W., & Pardoyo, B. (2017). Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Dengan Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Dengan CAMPURAN LARUTAN NaOH 7,5 %. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6 (2), 238-245.
- Hamdhan, I. N., Pratiwi, D. S., & Rahmah, R. A. (2020). Analisis Stabilitas pada Lereng dengan Perkuatan Tanaman Vetiver Menggunakan Metode Elemen Hingga 3D. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 26 (2), 174-182.
- Khrisna, R. H., Atmanto, I. D., & Wibowo, H. (2013). Evaluasi Stabilitas Lereng Yang Telah Diperkuat Pada Jalan Tol Semarang-Solo Seksi V Ungaran Bawen. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 2(4), 343-352.
- Luriyanto, A., Maulana, I., R.W, S. P., & Atmanto, I. D. (2014). Analisis Stabilitas Lereng Dan Alternatif Penanganannya Studi Kasus Longsoran Pada Ruas Jalan Pringsurat Km. Mgl 22+631 – 22+655 Kabupaten Temanggung. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 3(4), 861–889.
- Marchetti, S., Monaco, P., Totani, G., & Calabrese, M. (2001). *The Flat Dilatometer Test (DMT) in Soil Investigations*. Italy: International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE).
- Pangemanan, V. G. M., Turangan, A. E., & Sompie, O. B. (2014). Analisis kestabilan lereng dengan metode Fellenius (Studi kasus: Kawasan Citraland). *Jurnal Sipil Statik*, 2(1).
- Prayuda, D. D., & Wahyudin, M. A. (2017). Stabilitas Lereng Tanggul Sungai Cimanuk Kabupaten Indramayu. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, 1(6), 279-321.
- Sun, S.-W., Zhao, F., & Zhang, K. (2016). Stability of Slopes Reinforced with Truncated Piles. *Hindawi Publishing Corporation*, Article ID 1570983, 16 pages.
- Totani, G., Calabrese, M., Marchetti, S., & Monaco, P. (1997). *Use of in-situ flat dilatometer (DMT) for ground characterization in the stability analysis of slopes*. Italy: Dipartimento Ingegneria Strutture Acque e Terreno, Universita di L'Aquila, Italy.