

IJUK UNTUK MENGENDALIKAN TANAH BERPOTENSI LIKUIFAKSI PADA STRUKTUR GEDUNG BANGUNAN AKIBAT GEMPA

Merry Lydia Toding Rompas

Fabian J. Manoppo, Jack H. TicoH

Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

email: merrylydiatodingrompas@gmail.com

ABSTRAK

Tanah dasar berperan penting dalam pekerjaan-pekerjaan keteknik sipil. Tanah Pasir merupakan jenis tanah non kohesif, tanah non kohesif mempunyai sifat antar butiran lepas (loose) dan terdapat ruang pori-pori yang besar diantara butiran-butirannya sehingga kondisi tanah ini menjadi struktur yang lepas dan gembur. Pada lokasi penelitian pada Area jalan tol manado-bitung jenis tanah nya adalah pasir dan berpotensi likuifaksi.

Kondisi yang seperti itu menjadikan tanah pasir ini memiliki kemampuan yang rendah untuk dapat mengikat air. Maka penanganan yang dilakukan adalah dengan menggunakan Serat ijuk yang tergolong ekonomis karena bahan ini mudah didapatkan.

Dari hasil penelitian terjadi potensi likuifaksi pada lapisan tanah 1.5 m – 4.5 m untuk variasi gempa $M_w = 7$, $M_w = 7.3$ dan $M_w = 7.5$. Sedangkan untuk $M_w = 7.8$ dan $M_w = 8.0$ potensi likuifaksi terjadi pada lapisan tanah 1.5 m – 6 m. Hasil pengujian Laboratorium pemadatan Serat ijuk vs Berat isi kering (0.2 %, 0.3% 0.35% < 0 %), dan serat ijuk vs Kadar air optimum (0.2 %, 0.3% 0.35% > 0 %). Dan pengaruh penambahan ijuk dilihat dari output hasil pemodelan menggunakan plaxis 8.2 yauti ijuk berpengaruh untuk memperkecil penurunan karena garis kontur M pada tanah dengan ijuk tidak terlalu mengalami penurunan seperti pada garis kontur M pada tanah asli dengan total displacement tanah asli 2.35m dan tanah dengan ijuk sebesar 2.27m.

Kata Kunci: Serat Ijuk, Likuifaksi, Pemadatan, Tanah Pasir, Plaxis.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Gempa bumi merupakan salah satu peristiwa alam yang akhir-akhir ini sering terjadi di Indonesia, khususnya di Indonesia bagian barat. Salah satu fenomena yang sering terjadi akibat adanya gempa adalah Likuifaksi.

Saat likuifaksi berlangsung kekuatan tanah menurun dan kemampuan deposit tanah untuk menahan beban menurun dimana tanah tersebut mengalami perubahan sifat dari solid ke liquid. Gempa di Niagata, Jepang pada tahun 1964 dan di daerah petobo kota palu provinsi Sulawesi tengah, likuifaksi terjadi dalam skala besar yang mengakibatkan sebuah desa mengalami kerusakan parah. Likuifaksi adalah suatu kejadian dimana tanah kehilangan kekuatan geser karena meningkatnya tegangan air pori sebagai akibat terjadinya beban siklik (beban gempa) yang sangat cepat dan dalam waktu sesaat (Idriss dan Boulanger, 2008).

Aren merupakan tumbuhan penghasil ijuk yang tumbuh di seluruh daratan Indonesia dengan sangat baik, aren adalah satu di antara potensi perkebunan di Sulawesi Utara dan

perkebunan aren tersebar diseluruh kota/kabupaten, yang banyak di minahasa selatan, tomohon dan minahasa. serat ijuk aren berbeda dengan serat kayu karena serat ijuk tidak memiliki dinding dan lumen set tetapi merupakan suatu zat yang utuh (solid).

Berdasarkan uraian di atas likuifaksi mengakibatkan tanah mengalami perubahan sifat dari solid ke liquid yang mengakibatkan kerusakan. Melihat dampak dari bencana likuifaksi sangat penting untuk mempertimbangkan potensi likuifaksi yang sangat merusak dan bahkan bisa menimbulkan korban jiwa, karena itu penelitian ini dilakukan sehingga bisa mencegah atau meminimalisir jika terjadi bencana atau fenomena likuifaksi di daerah yang akan dilakukan penelitian.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dirumuskan beberapa masalah antara lain:

1. Mengidentifikasi potensi likuifaksi pada area jalan tol manado-bitung.
2. Mengendalikan potensi likuifaksi dengan menggunakan ijuk.

3. Pemodelan perilaku tanah sebelum dan sesudah menggunakan ijuk serta penambahan beban struktur dengan menggunakan PLAXIS.

Batasan Masalah

Melihat banyaknya pembahasan yang dapat ditemukan dalam permasalahan ini, maka adapun batasan-batasan masalah dalam penelitian ini :

1. Lokasi penelitian hanya di area jalan tol manado-bitung.
2. Selain uji fisik tanah metode yang dipakai untuk menganalisa potensi likuifaksi menggunakan *Standard Penetration Test* (SPT).
3. Klasifikasi Tanah (USCS) tanah berbutir kasar (coarse-grained soil), yaitu tanah kerikil dan pasir yang kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos saringan No.200.
4. Sifat mekanik tanah yaitu pengujian pemadatan.
5. Pemeriksaan *Soil properties* / parameter tanah (c dan ϕ) berdasarkan korelasi.
6. Data tanah yang digunakan adalah data tanah sekunder.
7. Data percepatan gempa (a_{max}) di ambil dari situs website puskim.
8. Beban struktur tidak dibahas.

Tujuan Penelitian

1. Untuk mengidentifikasi potensi likuifaksi pada area jalan tol manado-bitung.
2. Pengaruh penambahan ijuk sebesar : 02%, 0.3% dan 0.35% terhadap berat tanah, untuk pengujian pemadatan tanah.

Manfaat Penelitian

1. Setelah dilakukan penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang baik tentang gambaran fisik likuifaksi dan penanganannya
2. Mengetahui seberapa besar pengaruh yang ditimbulkan oleh penambahan Ijuk terhadap Tanah Pasir.

LANDASAN TEORI

Serat Alam

Aren merupakan tumbuhan penghasil ijuk tumbuh di seluruh daratan Indonesia dengan sangat baik, terutama di ketinggian 400 sampai dengan 1000 meter di atas permukaan laut, ijuk adalah salah satu serat yang tahan

terhadap asam dan garam air laut, salah satu bentuk pengolahan dari serat ijuk adalah tali ijuk, tali ijuk ini tidak lapuk oleh asam dan garam air laut.

Sebuah lembaga penelitian universitas hasanudin telah melakukan penelitian mengenai serat ijuk sebagai perintang fisik serangan rayap tanah hasil penelitian menunjukkan bahwa serat ijuk aren merupakan suatu zat yang utuh (solid), Dengan karakteristik ijuk seperti ini maka diharapkan dapat menjadi pengikat antar butiran pasir atau lanau sewaktu diguncang gempa, sehingga kekuatannya masih ada. Sehingga pemanfaatan ijuk sebagai perkuatan khususnya pada pasir lepas diharapkan dapat mengatasi peristiwa likuifaksi.

Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut.

Wesley (1972), juga menuliskan tentang penggunaan istilah kerikil, pasir, lanau dan lempung. Didalamnya ada sifat-sifat keempat golongan ini, sebagaimana uraian berikut.

a) Kerikil dan pasir

Kelompok ini terdiri dari pecahan batu-batuan dengan bentuk dan ukuran yang beraneka ragam. Butiran kerikil yang terdiri dari pecahan-pecahan batu, tetapi juga terdiri dari mineral-mineral tunggal.

b) Lempung

Lempung terdiri atas butiran yang sangat kecil (0.002 mm) dan memiliki sifat kohesi dan plastisitas.

c) Lanau

Lanau adalah butiran peralihan antara lempung dan pasir. Lanau bersifat kurang plastis daripada lempung bahkan lanau asli sebenarnya tidak memiliki sifat plastis dan mempunyai permeabilitas yang tinggi.

Tanah Pasir

Pasir merupakan jenis tanah non kohesif (*cohesionless soil*). Tanah non kohesif mempunyai sifat antar butiran lepas (loose). Hal ini ditunjukkan dengan butiran tanah yang akan terpisah-pisah apabila dikeringkan dan

hanya akan melekat apabila dalam keadaan yang disebabkan oleh gaya tarik permukaan. Pasir dibedakan menjadi 2 yaitu:

1. Pasir Alam , yaitu pasir yang bersumber dari gunung, sungai, pasir laut, bekas rawa dan ada juga dari pasir galian.
2. Pasir Pabrikasi, yaitu pasir yang didapatkan dari penggilingan bebatuan yang kemudian diolah dan disaring sesuai dengan ukuran maksimum dan minimum agregat halus.

Pasir merupakan material yang memiliki permeabilitas tinggi, mudah di tembus air. Sifat-sifat yang dimiliki tanah pasir adalah sebagai berikut (Das, 1991):

1. Ukuran butiran antara 0,05 mm – 2 mm.
2. Bersifat non kohesif.
3. Kenaikan air kapiler yang rendah, antara 0,12 – 1,2m.
4. Memiliki nilai koefisien permeabilitas antara 0,001 – 1,0 cm/det.
5. Proses penurunan sedang sampai cepat.

Plastisitas

Plastisitas melukiskan kemampuan tanah untuk berdeformasi pada volume tetap tanpa terjadi retakan. Secara umum semakin besar plastisitas tanah, yaitu semakin besar rentang kadar air daerah plastis maka tanah tersebut akan semakin jelek dalam hal kekuatan dan mempunyai kembang-susut yang makin besar. Tanah yang didominasi oleh mineral pasir tidak mempunyai sifat plastis walaupun ukuran partikelnya halus.

Tabel 1. Hubungan Antara Indeks Plastis dengan Tingkat Plastisitas dan Jenis Tanah Menurut Atterberg.

PI	TINGKAT PLASTISITAS	JENIS TANAH
0	Tidak plastis/Non PI	Pasir
0<PI<7	Plastisitas rendah	Lanau (Silt)
7-17	Plastisitas sedang	Silty-Clay
>17	Plastisitas tinggi	Lempung (Clay)

(Sumber : Soil Mechanics - Alferd R. Jumikis)

Sistem Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok berdasarkan pemakaiannya.

Sistem klasifikasi USCS mengklasifikasi tanah ke dalam dua kategori utama dengan simbol-simbol yang digunakan sebagai berikut:

- a. Tanah berbutir kasar (coarse-grained soil), yaitu tanah kerikil dan pasir yang kurang

dari 50% berat total contoh tanah lolos saringan No.200.

Huruf pertama menunjukkan jenis:

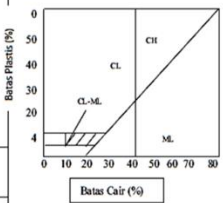
- G = gravel (kerikil)
- S = sand (pasir)
- M = silt (lanau)
- C = lempung (clay)
- O = tanah organic

- b. Tanah berbutir halus (fine-grained soil), yaitu tanah yang lebih dari 50% berat contoh tanahnya lolos dari saringan No.200.

Huruf kedua menunjukkan sifat:

- W = well graded (tanah dengan gradasi baik)
- P = poorly grade (tanah dengan gradasi buruk)
- L = low plasticity (plastisitas rendah , LL < 50)
- H = high plasticity (plastisitas tinggi, LL > 50)

Tabel 2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS

Divisi Utama	Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi	
Tanah berbutir kasar: >50% butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil lebih dari 50% fraksi kasar tertahan saringan No. 4	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus Cu = D ₆₀ > 4 D ₃₀ Cc = (D ₃₀) ² Antara 1 dan 3 D ₁₀ x D ₆₀	
		GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
	Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI < 4
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI > 7
	Pasir dengan butiran halus	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	Cu = D ₆₀ > 6 D ₃₀ Cc = (D ₃₀) ² Antara 1 dan 3 D ₁₀ x D ₆₀
		SF	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
Tanah berbutir halus >50% am lebih lolos saringan No. 200	Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI < 4
		SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI > 7
	Lanau dan lempung butiran cair ≤ 50%	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas Atterberg termasuk dalam daerah yang di aris berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol. 
		CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays)	
		OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
		MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis	
Lanau dan lempung butiran cair ≥ 50%	CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)		
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi		
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT	Peat (gambut), musk, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488	

Sistem ini pada mulanya diperkenalkan oleh Casagrande pada tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh The Army Corps of Engineers selama Perang

Dunia II. Dalam rangka kerja sama dengan *United States Bureau of Reclamation* tahun 1952, sistem ini disempurnakan (Braja M Das, 1995).

Kemudian *American Society for Testing Materials (ASTM)* memakai USCS sebagai metode standar untuk mengklasifikasikan tanah. Dalam bentuk sekarang, sistem ini banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan geoteknik.

Likuifaksi

Banyak cara yang telah dilakukan oleh para ahli geoteknik dalam mengidentifikasi penyebab dasar terjadinya perilaku likuifaksi pada tanah, baik secara eksperimental maupun dengan berbagai macam analisa yang didasarkan kepada logika berpikir dan pengamatan atas peristiwa likuifaksi yang sudah terjadi sehingga menghantarkan kepada suatu kesimpulan mendasar, yang dapat dijadikan dasar berpijak dalam menuntaskan permasalahan yang berhubungan dengan perilaku likuifaksi pada tanah.

Likuifaksi hanya terjadi pada tanah yang jenuh air, sehingga kedalaman muka air juga berpengaruh pada potensi terjadinya Likuifaksi. Tingkatan potensi Likuifaksi akan menurun jika muka air tanah berada jauh dari permukaan tanah yang akan ditinjau potensi terjadinya Likuifaksi. Pengaruh likuifaksi dapat secara langsung diamati di lapangan dimana jika muka air tanah berada hanya beberapa meter dari permukaan tanah.

Mekansime Terjadinya Likuifaksi

Mekanisme terjadinya Likuifaksi, perlu kita ketahui terlebih dahulu bahwa suatu endapan tanah itu terdiri dari partikel-partikel tanah. Jika kita menganalisis lebih lanjut, masalah likuifaksi ini terjadi pada saat atau sesudah adanya getaran gempa yang menyebabkan proses disipasi, (keluarnya air pori ke permukaan tanah) itu terjadi khususnya pada lapisan tanah pasir.

Tegangan dalam tanah

1. Tegangan total vertikal (σ_v), gaya per satuan luas yang ditanggung oleh partikel tanah dan tekanan air pori pada arah vertikal tanah.

$$\sigma_v = \gamma_{sat} * z \tag{1}$$

2. Tegangan Efektif (σ'_v) pada bidang, yang mewakili tegangan yang disalurkan hanya

melalui struktur tanah saja. Maka rumus untuk menghitung tegangan efektif pada tanah seperti pada rumus tegangan.

$$\sigma_v = \gamma_{sat} * z \tag{2}$$

dimana:

σ_v = Tegangan vertikal total (kN/m²)

σ'_v = Tegangan efektif vertikal (kN/m²)

u = Tekanan air pori (kN/m²)

Z = Kedalaman yang ditinjau (m)

Analisis Likuifaksi

Dalam menganalisa suatu potensi likuifaksi perlu suatu nilai yang menentukan apakah suatu tanah bisa terjadi potensi likuifaksi. Nilai yang menjadi pegangan untuk mengetahui potensi likuifaksi disebut dengan nilai faktor keamanan.

Dalam menganalisa nilai-nilai faktor keamanan dibutuhkan pengevaluasian nilai terlebih dahulu. Nilai-nilai yang harus dievaluasi yakni nilai CSR (Cyclic Stress Ratio) dan nilai CRR (Cyclic Resistance Ratio) yang diformulirkan sebagai berikut:

$$FK = CSR / CRR \tag{3}$$

Metode evaluasi Cyclic Stress Ratio (CSR)

Untuk mengevaluasi nilai CSR, dalam penulisan ini menggunakan persamaan dari Seed & Idriss (1971):

$$CSR = 0.65 * a_{max} / g * \sigma_v / \sigma'_v * r_d \tag{4}$$

dimana:

a_{max} = Percepatan maksimum gempa di permukaan tanah (g)

g = Percepatan Gravitasi bumi (m/s²)

σ'_v = Tegangan efektif tanah dikedalaman z (kN/m²)

σ_v = Tegangan total tanah dikedalaman z (kN/m²)

r_d = Koefisien reduksi tegangan

Konstanta 0.65 adalah weighting faktor untuk menghitung siklus tegangan uniform yang dibutuhkan untuk menghasilkan kenaikan tekanan air pori yang sama dengan getaran gempa bumi.

Idriss dan Boulanger (2010) menyimpulkan bahwa nilai koefisien tegangan reduksi (r_d) harus menunjukkan fungsi dari kedalaman juga *earthquake magnitude* (M_w). Berikut persamaan dari analisis tersebut:

$$r_d = \exp(\alpha + \beta * M_w) \tag{5}$$

dimana:

$$\alpha = -1.012 - 1.126 \text{ si}(5.133 + z/11.73) \tag{6}$$

$$\beta = 0.106 + 0.118 \text{ si}(5.142 + z/11.28) \tag{7}$$

Persamaan 4 hanya untuk tinjauan kedalaman ($z \leq 34$ m), dan untuk menghitung nilai rd pada kedalaman $z > 34$ m dapat dipakai persamaan berikut:

$$rd = 0.12 \exp(0.22 * Mw) \quad (8)$$

Dimana :

- rd = Koefisien reduksi tegangan
- Mw = Moment Magnitude gempa refrensi
- a = Koefisien
- β = Koefisien
- z = Tinjauan kedalaman (m)

Metode evaluasi Cyclic Resistance Ratio (CRR)

Dalam perhitungan nilai CRR terdapat beberapa parameter yang di formulirkan Youd and Idris yaitu:

1. Menghitung nilai N_{60}

$$N_{60} = 1/0.6 * E_f * C_b * C_s * C_r * N-SPT \quad (9)$$

dimana:

- E_f = Efisiensi Hammer SPT
- C_b = Koreksi diameter lubang bor
- C_s = Koreksi tabung sampler
- C_r = Koreksi Panjang batang bor
- $N - SPT$ = Nilai dari hasil uji SPT

Karena adanya peningkatan nilai $N-SPT$ dengan meningkatnya tekanan overburden, faktor koreksi tegangan overburden harus digunakan (Seed and Idriss, 1982). Faktor koreksi dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$(N1)_{60} = N_{60} * C_N \quad (10)$$

$$C_N = 2.2 / (1.2 + (\sigma'_{vo}) / Pa) \quad (11)$$

Liao-Whitman (1986) juga memformulirkan faktor koreksi tegangan *overburden* efektif dengan persamaan:

$$C_N = [((Pa) / (\sigma'_{vo}))]^{0.5} \quad (12)$$

dimana:

- σ'_{vo} = Tekanan overburden efektif
- pa = tekanan atmosfer 100 kpa (1atm)

Faktor koreksi lainnya nilai *Standard Penetration Test (SPT)* dapat dikoreksi dengan tabel 3 berikut.

Tabel 3. Faktor Koreksi terhadap SPT (Skempton)

Factor	Equipment variable	Term	Correction
Overburden pressure	-	C_N	$(P_o / \sigma'_{vo})^{0.5}$
Overburden pressure	-	C_N	$C_N \leq 1.7$
Energy ratio	Donut hammer	C_E	0.5 - 1.0
Energy ratio	Safety hammer	C_E	0.7 - 1.2
Energy ratio	Automatic-trip Donut-type hammer	C_E	0.8 - 1.3
Borehole diameter	65-115 mm	C_B	1.0
Borehole diameter	150 mm	C_B	1.05
Borehole diameter	200 mm	C_B	1.15
Rod length	<3 m	C_R	0.75
Rod length	3-4 m	C_R	0.8
Rod length	4-6 m	C_R	0.85
Rod length	6-10 m	C_R	0.95
Rod length	10-30 m	C_R	1.0
Sampling method	Standard sampler	C_s	1.0
Sampling method	Sampler without liners	C_s	1.1-1.3

Sumber: Youd and Idriss, 1997

2. Menghitung nilai $(N1)_{60}$ cs

Persamaan berikut diformulirkan oleh IM Idriss dan R.B. Seed untuk faktor koreksi $(N1)_{60}$ penyetaraan nilai clean sand, $(N1)_{60}$ cs.

$$(N1)_{60} cs = \alpha + \beta (N1)_{60} \quad (13)$$

Dimana α dan β adalah koefisien yang didapatkan dari persamaan sebagai berikut.

$$\alpha = 0 \text{ untuk } FC \leq 5\% \quad (14)$$

Nilai *finer content (FC)* adalah berapa persen tanah yang lolos saringan No.200.

The chart is titled 'UNIFIED SOIL CLASSIFICATION AND SYMBOL CHART'. It is divided into two main sections: 'COARSE-GRAINED SOILS (more than 50% of material is larger than No. 200 sieve size.)' and 'SANDS (50% or more of coarse fraction smaller than No. 4 sieve size)'.
 Under 'COARSE-GRAINED SOILS', there are three sub-categories:
 1. 'Clean Gravels (Less than 5% fines)': Includes GW (Well-graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines) and GP (Poorly-graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines).
 2. 'Gravels with fines (More than 12% fines)': Includes GM (Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures) and GC (Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures).
 Under 'SANDS', there are three sub-categories:
 1. 'Clean Sands (Less than 5% fines)': Includes SW (Well-graded sands, gravelly sands, little or no fines) and SP (Poorly graded sands, gravelly sands, little or no fines).
 2. 'Sands with fines (More than 12% fines)': Includes SM (Silty sands, sand-silt mixtures) and SC (Clayey sands, sand-clay mixtures).
 Each category is accompanied by a small square symbol representing the soil texture.

Gambar 1. Penentuan Finer Content (FC) menurut USCS (sumber: Unified Soil Classification System)

3. Menghitung Nilai Cyclic Resistance Ratio (CRR)

$$CRR_{7.5} = \exp\left\{ \frac{(N1)_{60} cs}{14.1} + \left[\frac{(N1)_{60} cs}{126} \right]^2 - \left[\frac{(N1)_{60} cs}{23.6} \right]^2 + \left[\frac{(N1)_{60} cs}{25.4} \right]^4 - 2.8 \right\} \quad (15)$$

Nilai yang rentan terhadap likuifaksi adalah saat $(N1)_{60} cs < 37.5$

$$CRRM = CRR_{7.5} * K_{\sigma} * MSF \quad (16)$$

$$MSF = -0.058 + 6.9 \exp(-0.25Mw) \leq 1.8 \quad (17)$$

$$K\sigma = f \left(\frac{\sigma_{vo}}{Pa} \right)^f \quad (18)$$

$$f = 0,831 - \left(\frac{(N1)60cs}{160} \right) \quad (19)$$

$$Mw < 7,5, MSF = 102,24/Mw^{2,56} \quad (20)$$

$$Mw > 7,5, MSF = (Mw/7,5)^{-2,56} \quad (21)$$

Pengujian Laboratorium

Dalam melakukan klasifikasi tanah, perlu dilakukan pemeriksaan pemeriksaan sifat fisik dari tanah. Beberapa pemeriksaan tersebut antara lain:

A. Sifat Fisik Tanah

1. Pemeriksaan Kadar Air

$$W = \frac{\text{Berat Air}}{\text{Berat Tanah Kering}} \times 100\% \quad (22)$$

Dimana :

$$w = \text{Kadar Air (\%)}$$

2. Pemeriksaan Berat Jenis

$$Gs = \frac{Ws}{(Wbs1 - Wb + Wbw)} \times k \quad (23)$$

Dimana :

Gs = Berat jenis tanah (gr/cm³)

Ws = Berat sampel tanah (gr)

Wbs1 = Berat piknometer dan sampel tanah (gr)

Wb = Berat piknometer (gr)

Wbw = Berat piknometer dan air pada suhu 25oC (gr)

Wbs2 = Berat piknometer, air dan sampel tanah pada suhu 25oC (gr)

Tabel 4. Klasifikasi Berat Jenis Tanah

Macam Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau anorganik	2,62 – 2,68
Lempung organic	2,58 – 2,65
Lempung anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

(Sumber: Hary Hardiyamo)

3. Analisa Saringan

Tabel 5. Ukuran diameter lubang saringan menurut ASTM

Nomor Saringan (#)	Ukuran Lubang (mm)
8	2.380
10	2.000
12	1.680
16	1.190
18	1.000
30	0.590
40	0.425
50	0.297
80	0.177
100	0.149
200	0.075

(Sumber: Hary Hardiyamo)

B. Sifat Mekanik Tanah

Dalam setiap pekerjaan pemadatan yang telah dikerjakan, dihitung :

1. Kadar air tanah (w)

$$W = \frac{Ww}{Ws} \times 100\% \quad (24)$$

2. Berat isi basah (γb)

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \frac{\text{gram}}{\text{cm}} \quad (25)$$

Dimana:

γb = berat volume tanah (gram/cm³)

W = berat tanah (gram)

V = volume silinder (cm³)

3. Berat volume kering tanah (γd)

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \frac{\text{gram}}{\text{cm}^3} \quad (26)$$

Nilai puncak dari berat isi kering disebut “kerapatan kering maksimum”. Kadar air pada kerapatan kering maksimum disebut kadar air optimum (optimum moisture content).

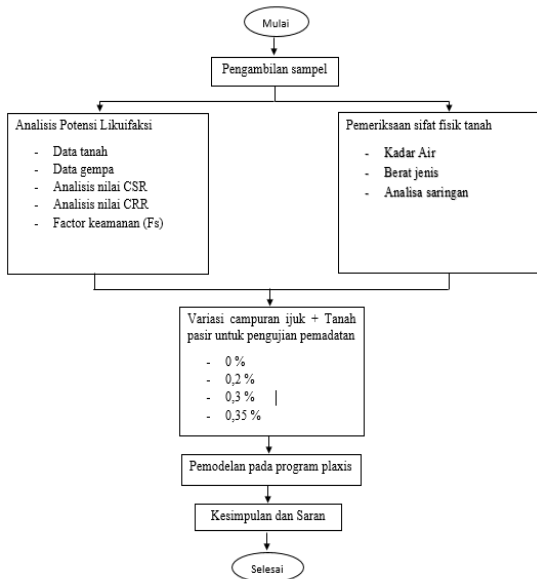
Dengan menggunakan kadar air (w) dan derajat kejenuhan (S) yang didapat, berat isi kering pemadatan dapat dihitung sebagai berikut untuk setiap jenis tanah :

$$\gamma_d = \frac{Gs \cdot \gamma_w}{1+e} \quad (27)$$

$$e = \frac{GsW}{S} \quad (28)$$

METODE PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Tanah

Data tanah yang dipakai adalah data tanah sekunder yang didapat dari tenaga ahli. Data tanah tersebut hasil dari pengujian Standard Penetration (SPT).

Tabel 6. Hasil data pengujian SPT

Depth (m)	GWL	Soil / Rock Texture Description	SPT			N̄	SPT (N)
			N1/15	N2/15	N3/15		
0.00							
1.50		SC Clayey Sand / Brown	1	1	1	2.00	
3.00		SC Clayey Sand / Brown	2	2	3	5.00	
4.50		SC Clayey Sand / Brown	2	3	3	6.00	
6.00		SC Clayey Sand / Brown	4	5	6	11.00	
7.50		SC Clayey Sand / Brown	5	7	10	17.00	
9.00		SC Clayey Sand / Brown	12	17	22	39.00	
10.50		SC Clayey Sand / Brown	12	17	23	40.00	
12.00		SC Clayey Sand / Brown	12	23	30	53.00	
13.50		SC Clayey Sand / Brown	60/18			60.00	
15.00		SC Clayey Sand / Brown	60/19			60.00	
16.50		SC Clayey Sand / Brown	60/15			60.00	
18.00		SC Clayey Sand / Brown	60/14			60.00	
20.00		SC Clayey Sand / Brown	60/12			60.00	

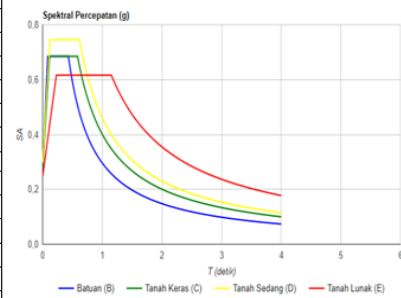
Dari Hasil Perhitungan yang ditunjukkan pada tabel di atas, dapat diketahui bahwa nilai standart penetrasi rata-rata berada di angka < 50. berdasarkan klasifikasi jenis tanah SNI 1726:2012 jenis tanah di titik itu masuk dalam jenis tanah Sedang.

Data Gempa

Pengambilan data percepatan gempa di permukaan diambil di website http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/.

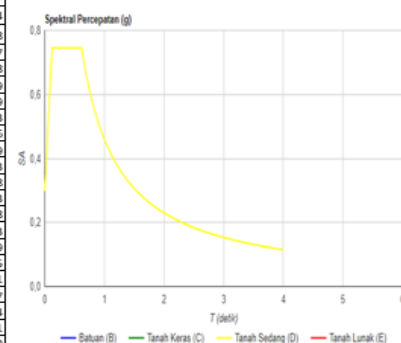
Dengan memasukkan koordinat (1°27.49' 124°54.19') maka akan didapat hasil percepatan gempa yang ada di titik tersebut berikut data percepatan gempa (amax) yang didapat dari data puskim.

TANAH SEDANG	
Variabel	Nilai
PGA (g)	0.445
S _g (g)	1.027
S _v (g)	0.444
C _{RS}	1.07
C _{RL}	1.074
F _{PGA}	1.055
F _A	1.089
F _V	1.556
PSA (g)	0.47
S _{M5} (g)	1.119
S _{M1} (g)	0.69
S _{D5} (g)	0.746
S _{D1} (g)	0.46
T ₀ (detik)	0.123
T _s (detik)	0.617



Gambar 3. Hasil perhitungan dan grafik percepatan gempa

TANAH SEDANG	
T (detik)	SA (g)
0.00	0.298
0.123	0.746
0.617	0.746
0.617	0.642
0.717	0.563
0.817	0.502
0.917	0.452
1.017	0.412
1.117	0.378
1.217	0.349
1.317	0.325
1.417	0.303
1.517	0.285
1.617	0.268
1.717	0.253
1.817	0.24
1.917	0.228
2.017	0.217
2.117	0.208
2.217	0.199
2.317	0.19
2.417	0.183
2.517	0.176
2.617	0.169
2.717	0.163
2.817	0.158
2.917	0.153
3.017	0.148
3.117	0.143
3.217	0.139
3.317	0.135
3.417	0.131
3.517	0.127
3.617	0.124
3.717	0.121
3.817	0.118
4.617	0.115



Gambar 4. Hasil perhitungan dan Percepatan Gempa Horizontal dipermukaan vs. Periode Gempa pada jln Tol Manado Bitung

Percepatan gempa di permukaan (amax) pada tanah sedang bisa dilihat angka maksimumnya terletak pada periode 0.1 dan 0.6, sehingga akan mendapatkan nilai

percepatan gempa maksimum di permukaan tanah sekitar 0.746 g

Analisis Likuifaksi

1. Menghitung nilai Cyclic Stress Ratio (CSR)

Tabel 7. Perhitungan Nilai Tegangan Vertikal Total dan Tegangan Vertikal Efektif.

Lapisan	Kedalaman (m)	ysat (kN/m ³)	ov (kN/m ²)	μ	σ'v (kN/m ²)
1	1.5	14	21	19.5	1.5
2	3	18	54	39	15
3	4.5	18	81	58.5	22.5
4	6	19	114	78	36
5	7.5	19	142.5	97.5	45
6	9	21	189	117	72
7	10.5	21	220.5	136.5	84
8	12	21	252	156	96
9	13.5	21	283.5	175.5	108
10	15	21	315	195	120
11	16.5	21	346.5	214.5	132
12	18	21	378	234	144
13	20	21	420	260	160

Tabel 8. Perhitungan Nilai Koefisien Tegangan Reduksi

α	β	rd
-0.05117	0.006187	0.99524178
-0.13389	0.015413	0.98187542
-0.23094	0.026238	0.96642118
-0.34075	0.038472	0.94912733
-0.46153	0.051899	0.93026287
-0.59129	0.06628	0.91011111
-0.72792	0.081363	0.88896329
-0.8692	0.096881	0.86711254
-1.0128	0.11256	0.84484836
-1.15639	0.128123	0.82245177
-1.29762	0.143296	0.80019118
-1.43419	0.15781	0.77831923
-1.60519	0.175697	0.7501636

Tabel 9. Perhitungan nilai Resistance Ratio (CRR).

Lapisan	kedalaman (m)	ov (kN/m ²)	σ'v (kN/m ²)	amax (m/s ²)	rd	CSR
1	1.5	21	1.5	0.746	0.995241778	0.688715427
2	3	54	15	0.746	0.981875418	0.174719776
3	4.5	81	22.5	0.746	0.966421179	0.171969772
4	6	114	36	0.746	0.949127329	0.148562776
5	7.5	142.5	45	0.746	0.930262873	0.145610005
6	9	189	72	0.746	0.910111114	0.118088309
7	10.5	220.5	84	0.746	0.888963291	0.115344346
8	12	252	96	0.746	0.867112541	0.112509178
9	13.5	283.5	108	0.746	0.844848365	0.109620367
10	15	315	120	0.746	0.82245177	0.106714375
11	16.5	346.5	132	0.746	0.800191184	0.10382603
12	18	378	144	0.746	0.778319227	0.10098811
13	20	420	160	0.746	0.750163597	0.097334874

2. Menghitung nilai Resistance Ratio (CRR)

Tabel 10. Nilai N-SPT yang dikoreksi 60 % efisiensi energy

kedalaman (m)	N-SPT	Koreksi N-SPT				N ₆₀
		EF	CB	CR	CS	
1.5	2.00	0.85	1	0.85	1	2.408333
3	5.00	0.85	1	0.85	1	6.020833
4.5	6.00	0.85	1	0.85	1	7.225
6	11.00	0.85	1	0.85	1	13.24583
7.5	17.00	0.85	1	0.85	1	20.47083
9	39.00	0.85	1	0.85	1	46.9625
10.5	40.00	0.85	1	0.85	1	48.16667
12	53.00	0.85	1	0.85	1	63.82083
13.5	60.00	0.85	1	0.85	1	72.25
15	60.00	0.85	1	0.85	1	72.25
16.5	60.00	0.85	1	0.85	1	72.25
18	60.00	0.85	1	0.85	1	72.25
20	60.00	0.85	1	0.85	1	72.25

Tabel 11. Nilai (N1)₆₀ yang dikoreksi tegangan overburden (CN)

CN	N ₆₀	(N1) ₆₀
1.8107	2.408333	4.360768
1.62963	6.020833	9.811728
1.54386	7.225	11.15439
1.410256	13.24583	18.68002
1.333333	20.47083	27.29444
1.145833	46.9625	53.8112
1.078431	48.16667	51.94444
1.018519	63.82083	65.0027
0.964912	72.25	69.71491
0.916667	72.25	66.22917
0.873016	72.25	63.0754
0.833333	72.25	60.20833
0.785714	72.25	56.76786

Tabel 12. Perhitungan Nilai (N1)_{60cs}

α	β	(N1) _{60cs}
0	1	4.3608
0	1	9.8117
0	1	11.1544
0	1	18.6800
0	1	27.2944
0	1	53.8112
0	1	51.9444
0	1	65.0027
0	1	69.7149
0	1	66.2292
0	1	63.0754
0	1	60.2083
0	1	56.7679

Tabel 13. Hasil perhitungan MSF divariansi gempa

MSF			
Mw = 7	Mw = 7.3	Mw = 7.8	Mw = 8
1.14104021	1.054401744	0.92369109	0.87581345

Tabel 14. Perhitungan nilai K_σ dan nilai CRR dengan Mw = 7, Mw = 7.3, Mw = 7.8, Mw = 8

Kedalaman (m)	CRR7.5	f	K _σ	CRR7	CRR7.3	CRR7.8	CRR8
1.5	0.08250	0.8037	0.28526	0.02685	0.02481	0.02174	0.02061
3	0.11676	0.7697	0.62234	0.08291	0.07662	0.06712	0.06364
4.5	0.12625	0.7613	0.85179	0.12271	0.11339	0.09933	0.09419
6	0.19079	0.7142	1.09811	0.23906	0.22091	0.19352	0.18349
7.5	0.35669	0.6604	1.36352	0.51425	0.47521	0.41630	0.39472

Tabel 15. Perhitungan Faktor Keamanan Pada Skala Gempa Mw = 7.0

Kedalaman	CSR	CRR7.0	FK	KETERANGAN
1.5	0.688715427	0.02685265	0.03898947	LIKUIFAKSI
3	0.174719776	0.08291091	0.474536495	LIKUIFAKSI
4.5	0.171969772	0.122708567	0.713547303	LIKUIFAKSI
6	0.148562776	0.239060478	1.609154623	TIDAK LIKUIFAKSI
7.5	0.145610005	0.514252067	3.531708331	TIDAK LIKUIFAKSI

Tabel 16. Perhitungan Faktor Keamanan Pada Skala Gempa Mw = 7.3

Kedalaman	CSR	CRR7.3	FK	KETERANGAN
1.5	0.688715427	0.024334852	0.035333683	LIKUIFAKSI
3	0.174719776	0.068635151	0.392829891	LIKUIFAKSI
4.5	0.171969772	0.095237027	0.553800971	LIKUIFAKSI
6	0.148562776	0.161754862	1.088798061	TIDAK LIKUIFAKSI
7.5	0.145610005	0.244136083	1.676643607	TIDAK LIKUIFAKSI

Tabel 17. Perhitungan Faktor Keamanan Pada Skala Gempa Mw = 7.5

Kedalaman	CSR	CRR7.5	FK	KETERANGAN
1.5	0.688715427	0.082499095	0.119786913	LIKUIFAKSI
3	0.174719776	0.116756487	0.668249983	LIKUIFAKSI
4.5	0.171969772	0.126253355	0.734160155	LIKUIFAKSI
6	0.148562776	0.19079305	1.284258787	TIDAK LIKUIFAKSI
7.5	0.145610005	0.356692736	2.449644422	TIDAK LIKUIFAKSI

Tabel 18. Perhitungan Faktor Keamanan Pada Skala Gempa Mw = 7.8

Kedalaman	CSR	CRR7.8	FK	KETERANGAN
1.5	0.688715427	0.021318142	0.030953484	LIKUIFAKSI
3	0.174719776	0.060126681	0.344132086	LIKUIFAKSI
4.5	0.171969772	0.083430812	0.485148121	LIKUIFAKSI
6	0.148562776	0.141702654	0.953823415	LIKUIFAKSI
7.5	0.145610005	0.213871351	1.468795718	TIDAK LIKUIFAKSI

Tabel 19. Perhitungan Faktor Keamanan Pada Skala Gempa Mw = 8

Kedalaman	CSR	CRR8	FK	KETERANGAN
1.5	0.688715427	0.02021316	0.029349074	LIKUIFAKSI
3	0.174719776	0.057010137	0.326294703	LIKUIFAKSI
4.5	0.171969772	0.079106346	0.46000146	LIKUIFAKSI
6	0.148562776	0.134357787	0.904383928	LIKUIFAKSI
7.5	0.145610005	0.202785767	1.392663694	TIDAK LIKUIFAKSI

Pengujian Laboratorium

Hasil pengujian karakteristik tanah adalah sebagai berikut:

Tabel 20. Hasil Uji Karakteristik Tanah

No	Karakteristik	Nilai
1	Kadar Air	12.12 %
2	Berat Jenis (<i>Specific Gravity</i>)	2.657
3	Lolos Saringan no. 200	0.10 %

Hasil pengujian pemadatan tanah adalah sebagai berikut:

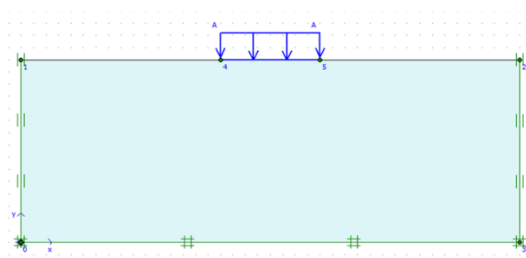
Tabel 21. Berat isi kering maksimum Vs Persentase variasi ijuk

Berat Isi Kering Maksimum (g/cm ³)	Variasi Ijuk (%)
1.82	0%
1.74	0.2%
1.73	0.3%
1.64	0.35%

Tabel 22. Kadar Air Optimum Vs Persentase variasi ijuk

Kadar Air Optimum (%)	Variasi Ijuk (%)
13	0%
13.5	0.2%
14	0.3%
14.5	0.35%

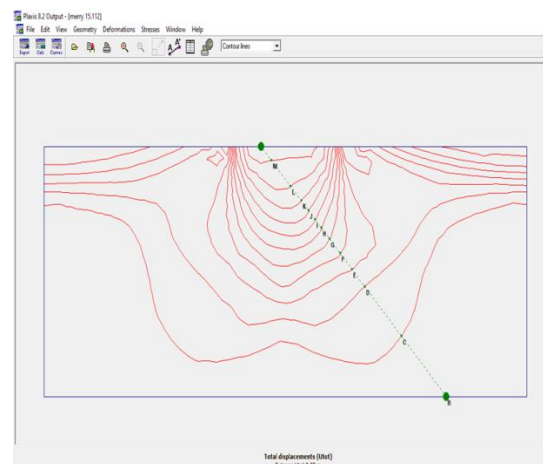
Pemodelan dengan Plaxis



Gambar 5. Initial conditions (kondisi awal)

Tabel 23. Parameter Mohr Colomb yang Digunakan Dalam Input Program Plaxis 8.2 untuk tanah tanpa ijuk

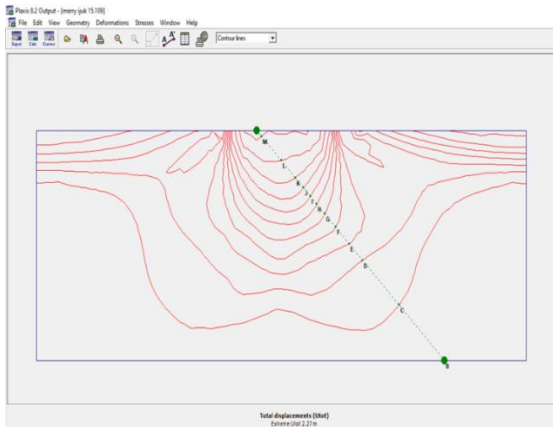
Parameter Tanah	Nama	Nilai	Satuan
Berat volume Tanah Basah	γ_{sat}	13	kN/m ³
Berat volume Tanah Kering	γ_{unsat}	1.8	kN/m ³
Permeabilitas Arah Horizontal	(kx)	1	m/hr
Permeabilitas Arah Vertikal	(ky)	1	m/hr
Modulus Young	(Eref)	10000	kN/m ³
Poisson Ratio	(ν)	0.2	-
Kohesi	(Cref)	0.2	kN/m ³
Sudut Geser Dalam	(ϕ)	33	°



Gambar 6. Total Displacements

Tabel 24. Parameter Mohr Colomb yang Digunakan Dalam Input Program Plaxis 8.2 untuk tanah dengan ijuk

Parameter Tanah	Nama	Nilai	Satuan
Berat volume Tanah Basah	γ_{sat}	14	kN/m ³
Berat volume Tanah Kering	γ_{unsat}	1.6	kN/m ³
Permeabilitas Arah Horizontal	(kx)	1	m/hr
Permeabilitas Arah Vertikal	(ky)	1	m/hr
Modulus Young	(Eref)	10000	kN/m ³
Poisson Ratio	(ν)	0.2	-
Kohesi	(Cref)	0.1	kN/m ³
Sudut Geser Dalam	(ϕ)	35	°



Gambar 7. Total Displacements

Dari hasil dua pemodelan menggunakan plaxis 8.2 tanpa ijuk dan dengan ijuk menunjukkan bahwa pada Gambar 7 garis Kontur M tidak terlalu mengalami penurunan seperti pada Gambar 6 dengan total displacement tanah tanpa ijuk (2.35m) dan tanah dengan ijuk (2.27m).

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil perhitungan potensi likuifaksi, menunjukkan terjadi potensi likuifaksi pada

lapisan tanah 1.5 m – 4.5 m untuk variasi gempa $M_w = 7$, $M_w = 7.3$ dan $M_w = 7.5$. Sedangkan untuk $M_w = 7.8$ dan $M_w = 8.0$ potensi likuifaksi terjadi pada lapisan tanah 1.5 m – 6 m.

2. Hasil pengujian Laboratorium pemadatan Serat ijuk vs Berat isi kering (0.2 %, 0.3% 0.35% < 0 %), dan serat ijuk vs Kadar air optimum (0.2 %, 0.3% 0.35% > 0 %).
3. Hasil pemodelan menggunakan plaxis 8.2, ijuk berpengaruh untuk memperkecil penurunan.

Saran

1. Perlu diadakan pengujian dengan bahan campuran lain terhadap tanah yang berpotensi Likuifaksi.
2. Perlu diadakan pengujian dengan jumlah sampel ijuk yang lebih banyak sehingga bisa mendapatkan pengaruh yang lebih besar terhadap tanah potensi likuifaksi.
3. Serat ijuk lebih baik jika di tambahkan bahan perekat lainnya yang mempengaruhi campuran tanah.
4. Diharapkan adanya penelitian lebih lanjut dalam pengujian *Direct Shear Test* menggunakan serat ijuk.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Manado [WWW Document], 2017.
- Bujung, D. P. A. P., Arens E. Turangan, Alva N. Sarajar, 2019. *Pengaruh Intensitas Curah Hujan terhadap Kuat Geser Tanah*, Jurnal Tekno, vol. 17, no 72, 2019. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Hardiyatmo, H. C., 2002. *Mekanika Tanah I*, edisi ke III, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C., 2010. *Mekanika Tanah I*, edisi ke V, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Mukramin, S. C., Oktovian B. A Sompie, Joseph E. R. Sumampouw, 2018. *Pengaruh Penambahan Campuran Semen, Tras dan Batu Apung terhadap Kuat Geser Tanah Lempung*, Jurnal Sipil Statik Vol.6 No.7 Juli 2018, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Ramadhani, S., 2011. *Pengaruh Penambahan Serat Ijuk terhadap Parameter Kuat Geser Tanah Berpasir*, Jurnal SMARTek, Vol. 9 No. 3. Agustus 2011.
- Sollar, J. P. P., Sjachrul Balamba, Alva N. Sarajar, Agnes T. Mandagi, 2019. *Pengaruh Tebal Plat pada Daya Dukung Pondasi Rakit di Tanah Pasir dan Tanah Lempung Akibat Beban Aksial Statis*, Jurnal Tekno, vol. 17, no 72, 2019. Universitas Sam Ratulangi Manado.

- Sompie, G. M. E., O. B. A. Sompie , Steeva Rondonuwu, 2018. *Analisis Stabilitas Tanah Dengan Model Material Mohr Coulomb Dan Soft Soil*, Jurnal Sipil Statik Vol.6 No.10 Oktober 2018, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Tijow, K. Ch., Oktovian B. A. Sompie, Jack H. Ticoh, 2018. *Analisis Potensi Likuifaksi Tanah Berdasarkan Data Standard Penetration Test (SPT) Studi Kasus: Dermaga Bitung Sulawesi Utara*, Jurnal Sipil Statik Vol.6 No.7 Juli 2018, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Warouw, Anry G. D., Fabian J. Manoppo, Steeva G. Rondonuwu, 2019. *Analisis Potensi Likuifaksi dengan Menggunakan Nilai SPT*, Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.11 November 2019. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Wesley, L. D., 1994. *Mekanika Tanah*, (Cetakan ke VI), Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta..
- Yelvi, Enita Suardi, Yan Partawijaya & Lusyana, 2011. *Tinjauan Perilaku Perkuatan Pasir Menggunakan Ijuk Terhadap Pemodelan Likuifaksi*, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang.

Halaman ini sengaja dikosongkan