

Simulasi Pengaruh Arus terhadap Simpangan dan Efisiensi Silt Screen

David S.V.L Bangguna, Irnovia B. Pakpahan, Ifiginia

**Increased Durability Of Concrete Against High Temperatures
Due To Fire With Ground Granulated Blast Furnace Slag**

Ahmad Hamas Sorimatua Harahap, Sumargo, Nursyafril

**Desain Model Konstruksi Dermaga / Terminal UKS
Berdasarkan Perkuatan Lereng Sungai**

Putera Agung Maha Agung, Mursid

Sensitifitas Aspal Modifikasi Terhadap Temperatur

Retno Utami, Asri Novia, Sarah Nurul Mahfuzah, Ananda Amatory Zahra

**Perencanaan Anggaran Biaya Pekerjaan Kayu Style Bali
Berdasarkan Analisa Harga Satuan Lapangan**

Ni Kadek Sri Ebtha Yuni, I Nyoman Suardika

**Stabilisasi Tanah Lempung dengan Campuran Fly Ash (FA) dan Expanded
Polystyrene (EPS) sebagai Alternatif Timbunan Ringan pada Lapisan Subgrade**

Hendry, Reni Rahmawati, Syifa Andriani

Kajian Penambahan Vermikulit Terhadap Campuran Beton

Syahril, Lintang D A

**Analisis Stabilitas Lereng Akibat Beban Gempa 4,9 SR
pada Kasus Longsoran Jalan Bandung-Tasik Km. 48 Kabupaten Garut**

A Febriansya, A K Somantri, A K Kamal, S F Suryadi, A R Willianto

**Perbaikan Tanah Dasar yang Berpotensi Terjadi Likuefaksi
dengan Metode Stone Column pada Junction Tebing Tinggi**

A K Somantri, A Febriansya, Denira Putri R, Rd. Nurul Fitriani A

Potensi: Jurnal Sipil Politeknik terakreditasi sebagai **Jurnal Ilmiah Terakreditasi Peringkat 4** berdasarkan Keputusan Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia **Nomor: 23/E/KPT/2019**, tanggal 8 Agustus 2019, tentang Hasil Akreditasi Jurnal Ilmiah Periode 4 Tahun 2019.

Terbit: 2 kali dalam satu tahun (April dan Oktober)

POTENSI: Jurnal Sipil Politeknik

Online ISSN: 2580-8133

Print ISSN: 1411-2949

PENERBIT:

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung

PENYUNTING PELAKSANA:

Ketua:

Ambar Susanto, ST., MT.

Anggota:

Dr. Yackob Astor, ST. MT.

Aditia Febriansya, SST., M.Tr.T.

Ridho Septian, SST., MT.

PENYUNTING AHLI:

- Dr. Atmy Verani Rouly Sihombing, ST., MT. (Politeknik Negeri Bandung)
Dr. Ir. Bambang Setio Budianto, M.Sc. (Politeknik Negeri Bandung)
Dr. Dewi Amalia, ST., MT. (Politeknik Negeri Bandung)
Enung, ST., M.Eng (Politeknik Negeri Bandung)
Iin Karnisah, ST. MT. (Politeknik Negeri Bandung)
Ir. Jul Endawati, M.Sc. (Politeknik Negeri Bandung)
Dr. Mardiana Oesman, BSCE., MT. (Politeknik Negeri Bandung)
Ir. Mei Sutrisno, M.Sc., Ph.D (Politeknik Negeri Bandung)
Dr. Ir. Riawan Gunadi, MT. (Politeknik Negeri Bandung)
Ir. Suherman Sulaeman, M.Sc., Ph.D (Politeknik Negeri Bandung)
Dr. Yackob Astor, ST., MT. (Politeknik Negeri Bandung)
Putera Agung Maha Agung, ST., MT., Ph.D (Politeknik Negeri Jakarta)
Dr. Herry Ludiro Wahyono, S.T., M.T. (Politeknik Negeri Semarang)
Prof. Dr. Ir. Muhammad Mukhlisin, MT. (Politeknik Negeri Semarang)
Prof. Dr. Ir. Antonius, MT. (Universitas Islam Sultan Agung)
Prof. Dr. Ir. Jonie Tanijaya, M.Sc. (Universitas Kristen Indonesia Paulus)
Lindung Zalbuin Mase, ST., M.Eng., Ph.D (Universitas Bengkulu)

ALAMAT PENYUNTING:

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung,
Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung 40012 Kotak Pos 1234

Website: <https://www.polban.ac.id>

Telp/Fax: (022) 2013789 / (022) 2013889

E-mail: potensi@polban.ac.id

Daftar Isi

- ❑ Daftar Isi
- ❑ Pengantar Redaksi
- ❑ Simulasi Pengaruh Arus terhadap Simpangan dan Efisiensi Silt Screen
David S.V.L Bangguna, Irnovia B. Pakpahan, Ifiginia..... 1-10
- ❑ Increased Durability of Concrete Against High Temperatures Due To Fire With Ground Granulated Blast Furnace Slag
Ahmad Hamas Sorimatua Harahap, Sumargo, Nursyafril..... 11-15
- ❑ Desain Model Konstruksi Dermaga / Terminal UKS Berbasis Perkuatan Lereng Sungai
Putera Agung Maha Agung, Mursid..... 16-25
- ❑ Sensitifitas Aspal Modifikasi Terhadap Temperatur
R Utami, A Novia, S N Mahfuzah, A A Zahra..... 26-32
- ❑ Perencanaan Anggaran Biaya Pekerjaan Kayu Style Bali Berdasarkan Analisa Harga Satuan Lapangan
Ni Kadek Sri Ebtha Yuni, I Nyoman Suardika..... 33-40
- ❑ Stabilisasi Tanah Lempung dengan Campuran Fly Ash (FA) dan Expanded Polystyrene (EPS) sebagai Alternatif Timbunan Ringan pada Lapisan Subgrade
Hendry, Reni Rahmawati, Syifa Andriani..... 41-50
- ❑ Kajian Penambahan Vermikulit Terhadap Campuran Beton
Syahril, Lintang D A..... 50-58
- ❑ Analisis Stabilitas Lereng Akibat Beban Gempa 4,9 SR pada Kasus Longsoran Jalan Bandung-Tasik Km. 48 Kabupaten Garut
A Febriansya, A K Somantri, A K Kamal, S F Suryadi, A R Willianto.... 59-66
- ❑ Perbaikan Tanah Dasar yang Berpotensi Terjadi Likuefaksi dengan Metode Stone Column pada Junction Tebing Tinggi
A K Somantri, A Febriansya, Denira Putri R, Rd. Nurul Fitriani A..... 67-76
- ❑ Pedoman Penulisan Artikel

Pengantar Redaksi

Puji syukur atas karunia Tuhan Yang Maha Esa dengan rahmat dan berkah-Nya yang melimpah mendatangkan pada kami kemampuan menerbitkan edisi Volume 23 Nomor 1, April 2021 ini. Tradisi keilmiahan di lingkungan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung semoga tetap terjaga dan berkembang dengan hadirnya jurnal ini.

Beragam topik tersaji pada 9 artikel yang kami muat dalam volume ini, semoga bermanfaat bagi para pembaca. Redaksi mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan serta atas terbitnya edisi ini. Kritik dan saran kami akan nantikan, karena akan menjadi modal bagi perbaikan pada edisi berikutnya dan untuk kebaikan di waktu mendatang. Semoga jurnal ini semakin meningkat kualitasnya dan memperkaya khazanah ilmu pengetahuan.

Redaksi Potensi

SIMULASI PENGARUH ARUS TERHADAP SIMPANGAN DAN EFISIENSI *SILT SCREEN*

David S.V.L Bangguna¹, Irnovia B. Pakpahan², Ifiginia³

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sintuwu Maroso, Poso 94619

E-mail : banggunaa@gmail.com

²Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sintuwu Maroso, Poso 94619

E-mail : pakpahanirnovia@gmail.com

³Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sintuwu Maroso, Poso 94619

E-mail : feychloe@gmail.com

ABSTRAK

Slit screen yaitu tirai tidak kaku (*screen*) yang berfungsi untuk menahan laju sedimen khususnya lumpur (*silt*) yang membuat alur pelayaran di kolam labuh menjadi dangkal akibat siltasi (*siltation*). *Silt screen* dapat dibuat dari bahan geotekstil yang berfungsi sebagai penahan sedimen yang diberi pelampung dan pemberat di bawahnya. Dari simulasi *silt screen* menunjukkan bahwa pengikatan pelampung memberikan simpangan yang lebih rendah 21,15% sampai dengan 33,85% dengan efisiensi 53,85% sampai dengan 84,23%, jika dibandingkan tanpa pengikatan pelampung simpangan yang terjadi 50,00% sampai dengan 72,69% dengan efisiensi 30,19% sampai dengan 71,92%. Pelampung yang terlalu berat akan mengakibatkan perubahan tinggi *silt screen* arah vertikal menjadi rendah, sehingga fungsi *silt screen* tidak akan maksimal dalam aplikasinya sebagai penjaring sedimen.

Kata Kunci: *silt screen*, simpangan, efisiensi

ABSTRACT

Slit screen is a screen that is not rigid (*screen*) which functions to hold the rate of sediment, especially mud (*silt*), which makes the shipping channel in the anchoring pond shallow due to siltation. *Silt screens* can be made of geotextile material which functions as a sediment barrier which is given a float and a weight under it. From the simulation of the *silt screen*, it shows that the binding of the buoys provides a lower shifting of 21.15% to 33.85% with an efficiency of 53.85% to 84.23%, when compared without binding the float, the shifting occurs 50.00% to 72.69 % with an efficiency of 30.19% to 71.92%. The float that is too heavy will result in a change in the height of the *silt screen* in the vertical direction to a low one, so that the *silt screen* function will not be maximal in its application as a sediment filter.

Keywords: *silt screen*, shifting, efficiency

1. PENDAHULUAN

Salah satu alternatif penanggulangan sedimentasi di kolam labuh yang landai dan berlumpur yaitu menggunakan *silt screen*. *Slit screen* yaitu tirai tidak kaku (*screen*) yang berfungsi untuk menahan laju sedimen khususnya lumpur (*silt*) yang membuat alur pelayaran di kolam labuh menjadi dangkal akibat siltasi (*siltation*) [1].

Simulasi *silt screen* terhadap sedimen telah banyak dilakukan, seperti simulasi *silt screen* dalam menahan laju sedimen suspensi akibat pengerukan di alur pelayaran [2], simulasi hubungan transport sedimen terhadap kedalaman efektif *screen* [3], analisis perilaku sedimen tersuspensi di sekitar *silt screen* [4], simulasi fenomena hidraulik *silt screen*[5], analisis penerapan *silt screen* gantung untuk menahan laju sedimen suspensi akibat kegiatan reklamasi [6].

Silt screen dapat dibuat dari bahan geotekstil yang berfungsi sebagai penahan sedimen yang diberi pelampung dan pemberat di bawah. *Silt screen* akan berfungsi maksimal dalam menjaring sedimen apabila simpangannya kecil. Pengertian simpangan *silt screen* disini adalah perpindahan posisi pelampung searah arus. Simpangan *silt screen* ini penting untuk dianalisis, apabila simpangan *silt screen* ini tidak dapat dikendalikan maka *screen* tidak berfungsi menahan sedimen di alur pelayaran. Agar *silt screen* ini dapat berfungsi dengan baik perlu dirancang dengan tepat terutama yang berkaitan dengan perilaku pengaruh arus pada simpangan *silt screen* dan gaya yang ditimbulkan pada *silt screen*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh arus terhadap simpangan dan efisiensi *silt screen*.

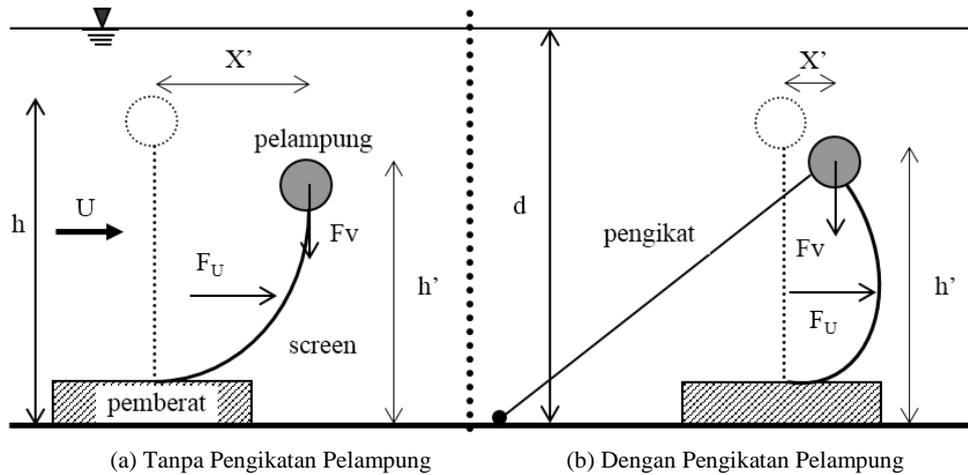
2. TEORI MODEL SILT SCREEN

2.1 Simpangan dan Efisiensi Silt Screen

Simpangan didefinisikan dari hasil bagi perubahan jarak simpangan arah horizontal (X') dengan tinggi silt screen (h) dalam persen. Sedangkan efisiensi silt screen didefinisikan dari hasil bagi perubahan tinggi silt screen setelah terkena arus (h') dengan tinggi silt screen (h) dalam persen. Simpangan silt screen merupakan fungsi dari kecepatan arus (U), gaya arus (F_U), diameter pelampung (D), gaya apung pelampung (F_{BP}), luas proyeksi silt screen (A_P), kedalaman air (d), tinggi silt screen (h), dan pengaruh pengikatan pelampung silt screen. Hubungan parameter tersebut dapat dinyatakan sebagai fungsi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Simpangan silt screen} &= f(F_v, F_U, D, h, d, X') \\ \text{Efisiensi silt screen} &= f(F_v, F_U, D, h, d, h') \end{aligned}$$

Dan hubungan antara variabel ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Model Silt Screen

Besarnya simpangan dan efisiensi silt screen ditulis dalam persamaan berikut:

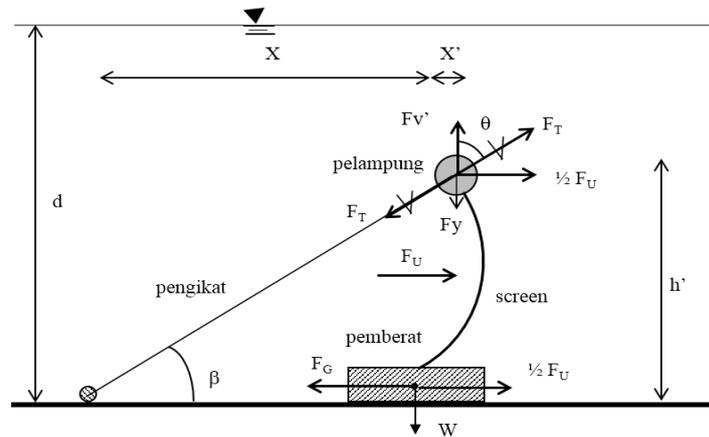
$$\text{Simpangan silt screen} = \frac{X'}{h} \times 100 \% \quad (1)$$

$$\text{Efisiensi silt screen} = \frac{h'}{h} \times 100 \% \quad (2)$$

dengan h adalah tinggi silt screen, h' adalah perubahan tinggi silt screen setelah terkena arus, dan X' adalah simpangan silt screen.

2.2 Gaya Pengikat pelampung

Gaya pengikat pelampung (F_T) didefinisikan sebagai gaya yang bekerja pada pengikat pelampung yang dihitung dari hasil bagi gaya vertikal (F_v) dengan sudut yang terbentuk antara gaya vertikal (F_v) dan gaya pengikat pelampung (F_T) yaitu $\cos \theta$ seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Gaya Pengikat Pelampung

Besarnya gaya pengikat pelampung adalah:

$$F_T = \frac{1/2 F_U}{\cos \beta} \tag{3}$$

$$F_y = F_v - F_T \cos \theta \tag{4}$$

dengan β adalah sudut antara pengikat dengan dasar saluran, θ adalah sudut antara gaya vertikal dengan gaya pengikat pelampung, F_U adalah gaya arus, F_T adalah gaya pengikat pelampung, F_v adalah gaya vertikal pelampung, dan F_y adalah gaya proyeksi screen.

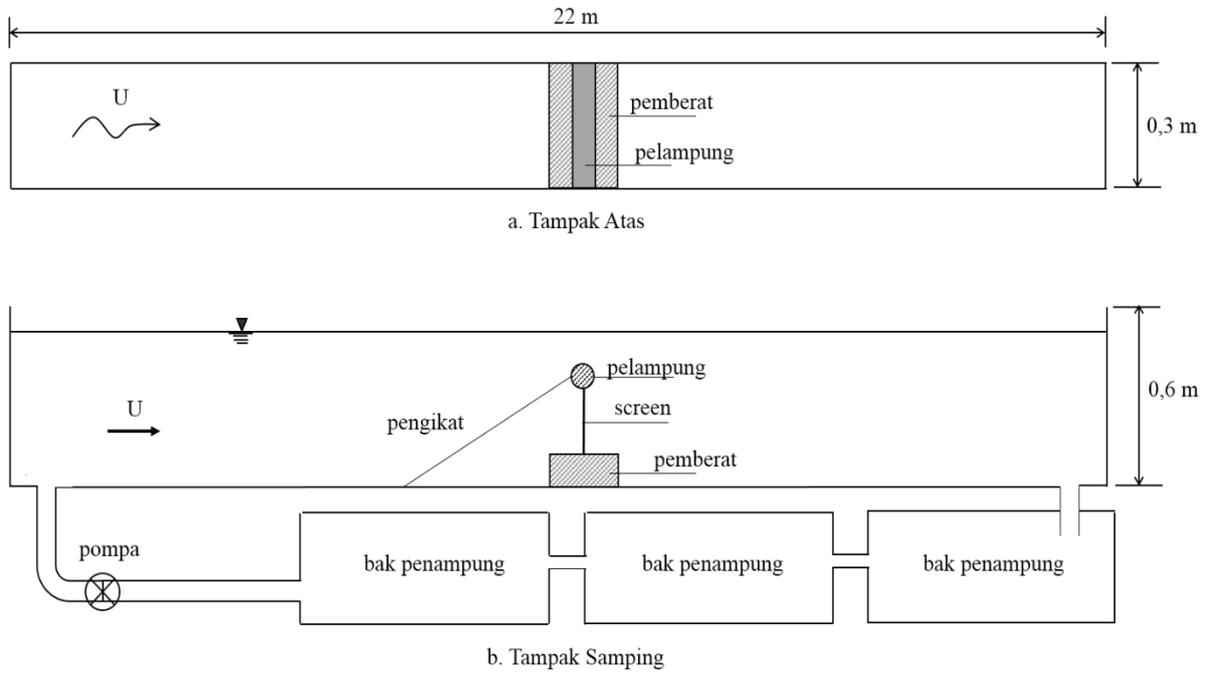
3. METODE PENELITIAN

Simulasi pengaruh arus terhadap simpangan dan efisiensi *silt screen* dilaksanakan di Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi Pusat Studi Ilmu-ilmu Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta. Fasilitas yang digunakan dalam simulasi yaitu *glass sided fixed bed tilting flume* yang mempunyai panjang efektif 22 m, lebar saluran 0,3 m dan tinggi saluran 0,6 m. Alat ini biasa digunakan untuk simulasi model bangunan air. Dasar dari *flume* dari baja dan dinding dari bahan *acrylic*. Dasar dan dinding *flume* disangga oleh rangka baja pada jarak yang teratur, alat ini dilengkapi pengatur sirkulasi air (Gambar 3). Kecepatan arus diukur menggunakan *current meter*.

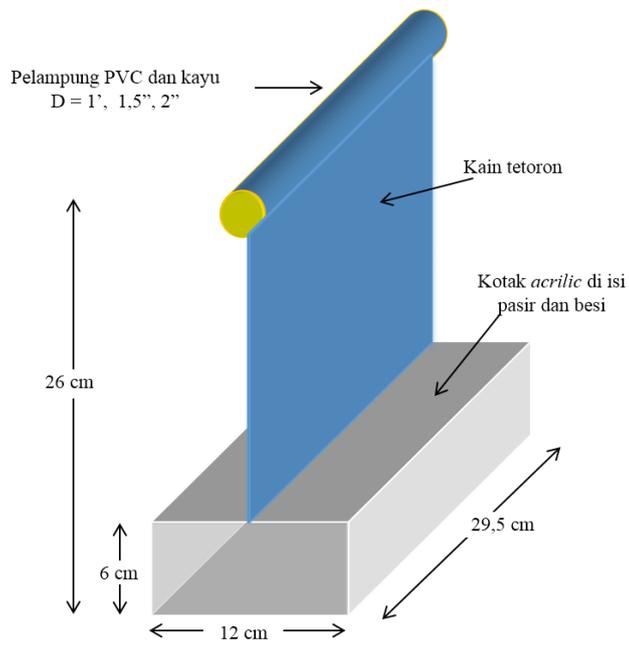
Model silt screen terdiri dari pelampung yang terbuat dari PVC dan kayu, *screen* terbuat dari kain, dan pemberat yang dibuat sedemikian rupa sehingga tidak bergeser (Gambar 4). Model *silt screen* dibuat 6 macam dengan beberapa variasi simulasi (Tabel 1). Dalam simulasi ini tidak menggunakan sedimen. Simulasi ini hanya mengamati simpangan *silt screen* akibat arus. Sebelum simulasi dimulai, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi kecepatan arus terhadap bukaan katup pipa yang mengalirkan air dari bak penampungan ke dalam *flume*. Kalibrasi ini bertujuan untuk mengetahui berapa kecepatan arus yang dihasilkan dari putaran katup pipa. Sehingga saat simulasi tidak perlu dilakukan pengukuran kecepatan arus lagi tetapi cukup dengan membuka katup pipa.

Simulasi pengaruh arus pada simpangan *silt screen* dilakukan dengan mengamati simpangan *silt screen* yang terjadi dan penggambaran profil simpangan *silt screen* pada plastik transparan bergaris yang ditempatkan di dinding sebelah luar *flume*, serta mengamati parameter-parameter berpengaruh dalam simulasi yaitu: kecepatan arus (U), ukuran diameter pelampung (D), gaya apung pelampung (F_{BP}), tinggi model (h), jarak simpangan (X'), tinggi model setelah terkena arus (h'), kedalaman air (d), dan pengaruh pengikatan pelampung. Pelaksanaan simulasi simpangan *silt screen* dapat dilihat dalam Gambar 5 dan 6.

Simulasi dimulai dengan langkah berikut: (1) Model diletakkan pada dasar *flume* yang telah diisi air pada ketinggian yang telah ditentukan, (2) Pompa dijalankan untuk menggerakkan sirkulasi air dari bak penampungan ke dalam *flume*, (3) Katup pipa dibuka dengan putaran tertentu, (4) Setelah aliran stabil, simpangan *silt screen* digambar pada plastik transparan di dinding luar *flume*, (5) Untuk perubahan kecepatan arus, dan bentuk model yang lain, simulasi dimulai dari langkah (1).

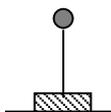
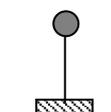
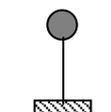
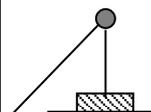
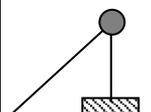
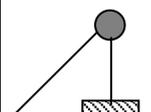


Gambar 3. Glass Sided Fixed Bed Tilting Flume



Gambar 4. Profil Model Silt Screen

Tabel 1. Variasi Simulasi Simpangan *Silt Screen*

No	Simulasi	Kedalaman relatif h/d	Debit aliran (Q) (m ³ /dt)	Diameter (D) (m)	Pelampung	Sketsa Model
1	A	1	0,0216; 0,0247; 0,0267; 0,0268;	0,0254	tanpa pengikatan	
2	B	0,87	0,0219; 0,0245; 0,0255; 0,0268			
3	C	1	0,0216; 0,0247; 0,0267; 0,0268;	0,0381	tanpa pengikatan	
4	D	0,87	0,0219; 0,0245; 0,0255; 0,0268			
5	E	1	0,0216; 0,0247; 0,0267; 0,0268;	0,0508	tanpa pengikatan	
6	F	0,87	0,0219; 0,0245; 0,0255; 0,0268			
7	G	1	0,0216; 0,0247; 0,0267; 0,0268;	0,0254	dengan pengikatan	
8	H	0,87	0,0219; 0,0245; 0,0255; 0,0268			
9	I	1	0,0216; 0,0247; 0,0267; 0,0268;	0,0381	dengan pengikatan	
10	J	0,87	0,0219; 0,0245; 0,0255; 0,0268			
11	K	1	0,0216; 0,0247; 0,0267; 0,0268;	0,0508	dengan pengikatan	
12	L	0,87	0,0219; 0,0245; 0,0255; 0,0268			



a. Tampak Samping



b. Tampak Atas

Gambar 5. Simulasi simpangan *Slit Screen* Tanpa Pengikatan Pelampung



a. Tampak Samping

b. Tampak Atas

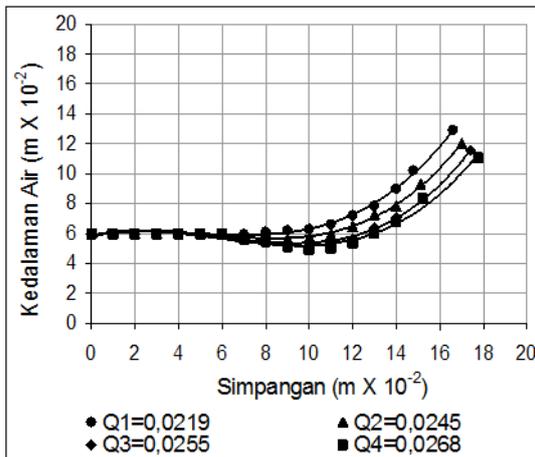
Gambar 6. Simulasi simpangan *Slit Screen* Dengan Pengikatan Pelampung

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

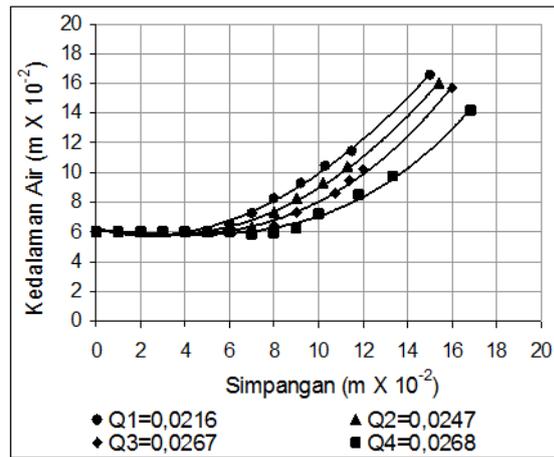
4.1 Pengaruh Gaya Vertikal dan Gaya Arus

Semakin besar gaya arus (F_U), maka simpangan yang terjadi semakin besar dan efisiensi semakin kecil untuk pelampung tanpa pengikatan, nilai koefisien *drag* (C_d) yang digunakan untuk menghitung gaya arus (F_U) dari hasil penelitian Bangguna (2013) [1]. Sebaliknya pelampung dengan pengikatan pelampung, semakin besar gaya arus simpangan yang terjadi kecil, dan efisiensi besar. Pelampung dari PVC yang tertutup ujungnya, memberikan pengapungan yang lebih baik, sehingga tirai *silt screen* akan lebih tegak dibandingkan dengan pelampung kayu saat terkena arus. Kondisi ini akan menghasilkan simpangan *silt screen* yang lebih pendek dan efisiensi yang lebih besar untuk pelampung PVC dibandingkan menggunakan pelampung kayu.

Pelampung yang berat akan menyebabkan perubahan tinggi *silt screen* setelah terkena arus (h') menjadi rendah saat terkena arus. Kondisi ini akan mengakibatkan *silt screen* tidak berfungsi maksimal dalam menjaring sedimen. Profil simpangan *silt screen* hasil simulasi tanpa dan dengan pengikatan pelampung dapat dilihat dalam Gambar 7. Hasil analisis simpangan dan efisiensi *silt screen* tanpa pengikatan pelampung dapat dilihat dalam Tabel 2 dan Gambar 8. Pelampung dengan pengikatan dapat dilihat dalam Tabel 3 dan Gambar 9 berikut.

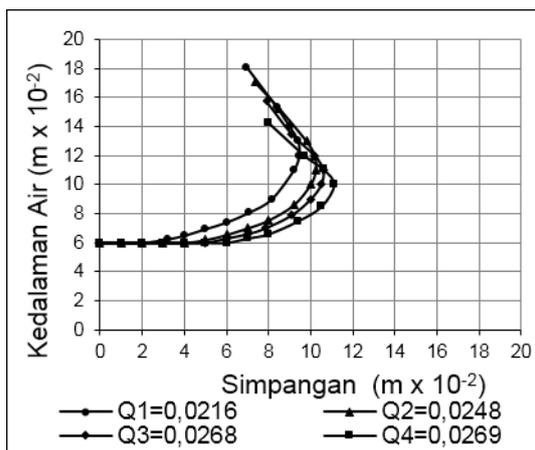


Silt screen dengan pelampung D 1''

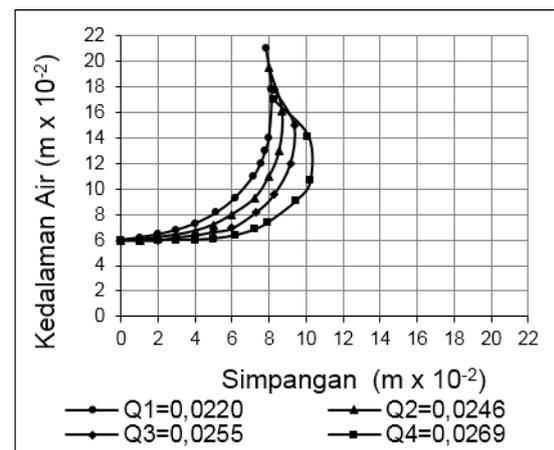


Silt screen dengan pelampung D 2''

a. Tanpa Pengikatan Pelampung



Silt screen dengan pelampung D 1''



Silt screen dengan pelampung D 2''

b. Dengan Pengikatan Pelampung

Gambar 7. Profil Simpangan Silt Screen

Tabel 2. Analisis Simpangan dan Efisiensi Silt Screen Tanpa Pengikatan Pelampung

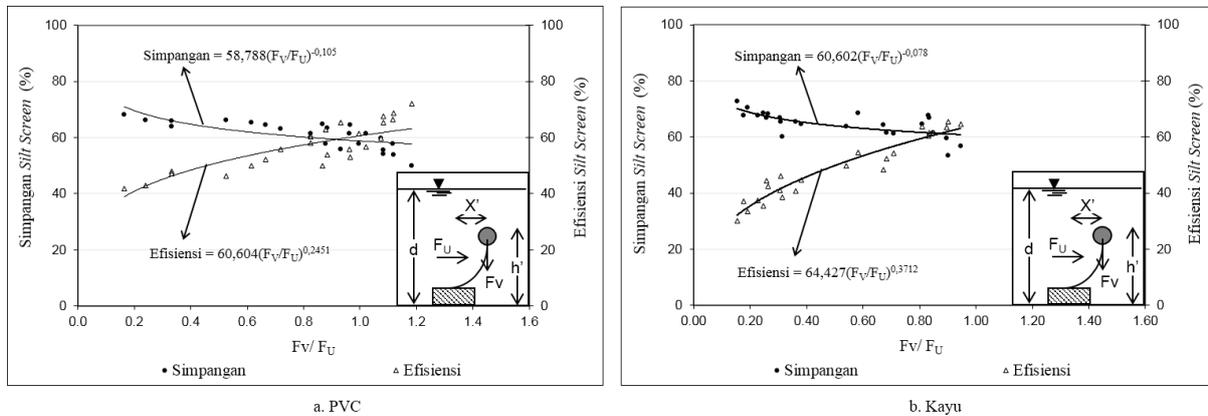
Pelampung	Kedalaman relatif (h/d)	Gaya vertikal (Fv) (N)	Gaya arus (Fu) (N)	Fv/Fu	Simpangan silt screen (%)	Efisiensi silt screen (%)
PVC	1	0,0759	0,1226	0,62	64,04	48,08
		0,0759	0,1290	0,59	65,77	47,12
		0,0759	0,1678	0,45	66,15	42,88
		0,0759	0,2714	0,28	68,27	41,73
		1,4270	1,3277	1,07	63,08	55,77
		1,4270	1,3702	1,04	64,62	52,12
		1,4270	1,5517	0,92	65,38	50,00
		1,4270	1,8752	0,76	66,15	46,15
		3,6616	3,1471	1,16	55,77	65,38
	3,6616	3,5472	1,03	57,69	62,69	
	3,6616	3,9135	0,94	60,00	60,38	
	3,6616	4,0364	0,91	61,54	58,08	
	0,87	0,0759	0,0485	1,57	61,54	56,54
		0,0759	0,0568	1,34	63,46	53,85
		0,0759	0,0598	1,27	64,42	53,08
		0,0759	0,0670	1,13	64,81	50,00
		1,4270	1,0349	1,38	54,23	65,38
		1,4270	1,1035	1,29	57,69	61,54
1,4270		1,0646	1,34	59,62	59,62	
1,4270		1,1901	1,20	61,54	55,77	
3,6616		2,4691	1,48	50,00	71,92	
3,6616	2,7328	1,34	53,85	68,65		

Pelampung	Kedalaman relatif (h/d)	Gaya vertikal (Fv) (N)	Gaya arus (Fu) (N)	Fv/Fu	Simpangan silt screen (%)	Efisiensi silt screen (%)
Kayu	1	3,6616	3,1150	1,18	55,58	67,69
		3,6616	3,3573	1,09	57,69	66,35
		0,0033	0,0040	0,004	65,38	40,77
		0,0033	0,0069	0,007	67,69	37,12
		0,0033	0,0053	0,005	70,38	33,46
		0,0033	0,0050	0,005	72,69	30,19
		0,0104	0,0133	0,013	64,62	44,62
		0,0104	0,0159	0,016	66,73	40,96
		0,0104	0,0188	0,019	67,69	37,31
		0,0104	0,0162	0,016	68,65	35,38
		0,2527	0,2587	0,259	64,62	63,85
		0,2527	0,2635	0,263	66,73	61,54
	0,2527	0,2769	0,277	67,69	60,38	
	0,2527	0,3754	0,375	68,65	54,62	
	0,87	0,0033	0,0035	0,004	63,85	49,62
		0,0033	0,0057	0,006	65,38	46,15
		0,0033	0,0072	0,007	66,92	44,42
		0,0033	0,0072	0,007	68,27	42,50
		0,0104	0,0103	0,010	60,00	38,46
		0,0104	0,0104	0,010	61,35	54,23
		0,0104	0,0110	0,011	61,54	52,31
		0,0104	0,0112	0,011	64,42	48,46
		0,2527	0,2235	0,224	53,46	65,38
		0,2527	0,2376	0,238	56,73	64,62
		0,2527	0,2676	0,268	59,42	63,46
		0,2527	0,2916	0,292	61,54	61,54

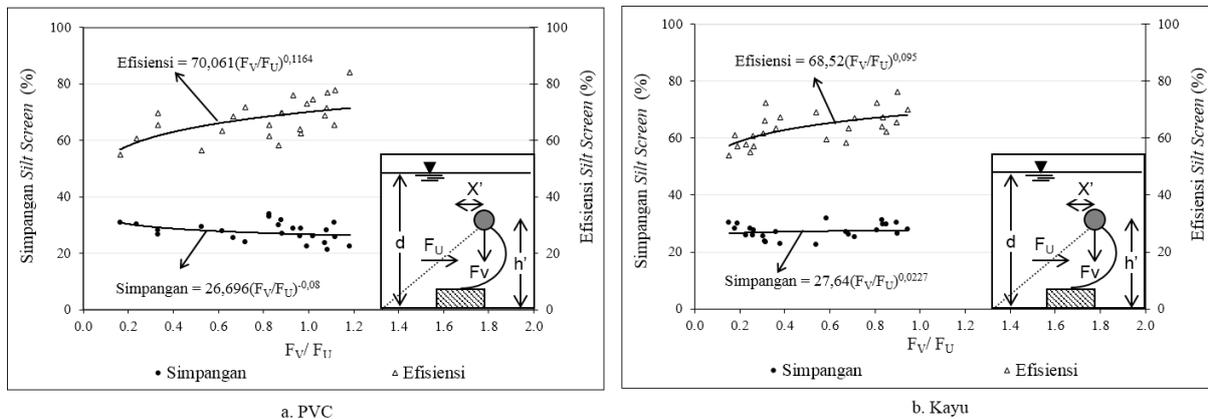
Tabel 3. Analisis Simpangan dan Efisiensi Silt Screen Dengan Pengikatan Pelampung

Pelampung	Kedalaman relatif (h/d)	Gaya vertikal (Fv) (N)	Gaya arus (Fu) (N)	Fv/Fu	Simpangan silt screen (%)	Efisiensi silt screen (%)
PVC	1	0,0759	0,2283	0,33	26,73	69,62
		0,0759	0,2281	0,33	28,27	65,58
		0,0759	0,3178	0,24	30,38	60,58
		0,0759	0,4616	0,16	30,77	54,81
		1,4270	1,9837	0,72	23,85	71,92
		1,4270	2,1415	0,67	25,38	68,46
		1,4270	2,3164	0,62	27,88	63,27
		1,4270	2,7190	0,52	29,42	56,54
		3,6616	3,9339	0,93	28,85	75,96
		3,6616	4,1671	0,88	31,73	69,62
		3,6616	4,4380	0,83	32,88	65,38
		3,6616	4,4356	0,83	33,85	61,54
	0,87	0,0759	0,0744	1,02	25,96	74,42
		0,0759	0,0860	0,88	26,92	69,62
		0,0759	0,0786	0,97	28,65	62,50
		0,0759	0,0875	0,87	29,81	58,27
		1,4270	1,3172	1,08	21,15	76,92
		1,4270	1,4345	0,99	22,50	73,08
		1,4270	1,3280	1,07	23,65	68,65
		1,4270	1,4841	0,96	26,15	63,85
		3,6616	3,0912	1,18	22,31	84,23
		3,6616	3,2748	1,12	25,77	77,69
		3,6616	3,3835	1,08	28,27	71,54
		3,6616	3,2827	1,12	30,77	65,38
Kayu	1	0,0033	0,0091	0,36	26,92	63,46
		0,0033	0,0187	0,18	28,27	60,96
		0,0033	0,0173	0,19	30,00	57,12
		0,0033	0,0215	0,15	30,19	53,85
		0,0104	0,0273	0,38	22,88	67,31
		0,0104	0,0342	0,30	25,38	61,54
		0,0104	0,0457	0,23	25,96	57,69
		0,0104	0,0420	0,25	28,08	55,00
		0,2527	0,3124	0,81	27,69	72,31
		0,2527	0,3030	0,83	29,81	67,31
		0,2527	0,3040	0,83	31,15	64,04
		0,2527	0,4326	0,58	31,73	59,42
	0,87	0,0033	0,0061	0,54	22,50	69,04
		0,0033	0,0107	0,31	23,88	65,96

Pelampung	Kedalaman relatif (h/d)	Gaya vertikal (Fv) (N)	Gaya arus (Fu) (N)	Fv/Fu	Simpangan silt screen (%)	Efisiensi silt screen (%)
		0,0033	0,0128	0,26	25,96	60,77
		0,0033	0,0125	0,26	27,54	57,12
		0,0104	0,0330	0,32	23,46	72,31
		0,0104	0,0147	0,71	25,19	66,92
		0,0104	0,0152	0,68	26,15	63,46
		0,0104	0,0155	0,67	26,92	58,27
		0,2527	0,2804	0,90	26,35	76,15
		0,2527	0,2673	0,95	27,88	69,81
		0,2527	0,2817	0,90	30,38	65,58
		0,2527	0,2975	0,85	29,81	62,31



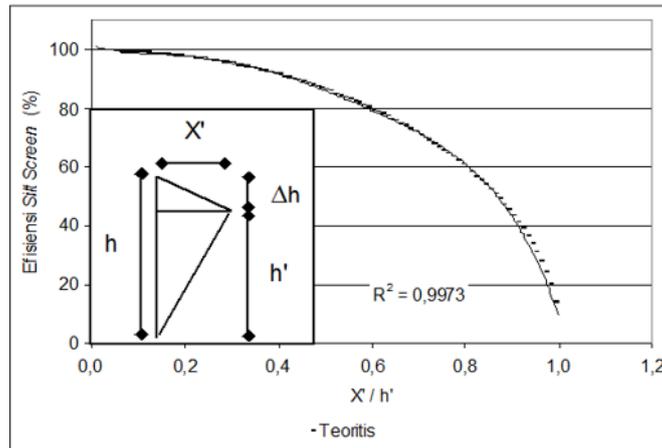
Gambar 8. Persentase Simpangan dan Efisiensi Silt Screen Tanpa Pengikatan Pelampung



Gambar 9. Persentase Simpangan dan Efisiensi Silt Screen Dengan Pengikatan Pelampung

4.2 Pengaruh Pengikatan Pelampung

Gambar 9 di atas menunjukkan pengaruh pengikatan pelampung, pengikatan pelampung akan memperkecil simpangan dan menambah efisiensi silt screen. Pengikatan pelampung harus diperhatikan bahan pelampungnya. Pelampung terlalu berat maka perubahan tinggi silt screen arah vertikal (h') akan sangat rendah saat diterjang gaya arus (Fu) yang cukup besar, sehingga sedimen yang akan dijaring oleh silt screen akan lolos ke kolam labuh. Hubungan antara efisiensi terhadap perbandingan simpangan (X') dan perubahan tinggi silt screen setelah terkena arus (h') dari hasil simulasi secara teoritis hampir mendekati sama (Gambar 10).



Gambar 10. Pengaruh Pengikatan Pelampung Terhadap Efisiensi Teoritis dan Pengukuran

5. KESIMPULAN

Untuk pengujian dengan kedalaman relatif (h/d) dan gaya apung pelampung (F_{BP}) yang sama, menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan arus (U) maka simpangan yang terjadi semakin besar dan efisiensi semakin kecil. Dengan semakin besarnya simpangan maka luas proyeksi *silt screen* (A_p) semakin kecil, sehingga gaya arus (F_U) yang bekerja pada *silt screen* juga menjadi kecil.

Pengikatan pada pelampung akan memperkecil simpangan *silt screen* dan menambah efisiensi dalam menjaring sedimen yang terbawa oleh arus. Pelampung tanpa pengikatan, simpangannya 50,00% sampai dengan 72,69%, dengan efisiensi 30,19% sampai dengan 71,92%. Pelampung dengan pengikatan, simpangan yang terjadi 21,15% sampai dengan 33,85%, dengan efisiensi 53,85% sampai dengan 84,23%.

Dari pengujian pelampung tanpa pengikatan maupun dengan pengikatan, simpangan dan efisiensi *silt screen* yang dihasilkan bahan pelampung paralon memberikan hasil yang lebih baik dari pada bahan kayu. Lebih baiknya hasil yang diberikan oleh bahan pelampung paralon ini karena sifat PCV (γ) lebih ringan daripada sifat kayu sehingga gaya vertikal (F_v) yang bekerja pada pelampung PCV lebih besar daripada pelampung kayu. Dengan lebih besarnya gaya vertikal maka simpangan yang terjadi semakin kecil dan efisiensi yang terjadi semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. S. V. L. Bangguna, "Besarnya Koefisien Hambat (CD) Silt Screen Akibat Gaya Arus Dengan Model Pelampung Paralon Dan Kayu," *J. Maroso*, vol. 1, no. 01, 2013. pp18-21
- [2] M. Radermacher, L. de Wit, J. C. Winterwerp, and W. S. J. Uijtewaal, "Efficiency of hanging silt curtains in crossflow," *J. Waterw. Port. Coast. Ocean Eng.*, vol. 142, no. 1, 2016, doi: 10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000315. pp 19-23
- [3] F. Aschmoneit, J. Hjelmager Jensen, S. Saremi, and C. Hélix-Nielsen, "Fluxes of Sediment Beneath Floating Silt Screens due to Density Gradients and Screen Motion," *J. Waterw. Port. Coast. Ocean Eng.*, vol. 146, no. 4, 2020, doi: 10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000568. pp13-15
- [4] J.-Y. Jin *et al.*, "Behavior of Currents and Suspended Sediments around a Silt Screen," *Ocean and Polar Research*, vol. 25, no. spc3. pp. 399–408, 2003, doi: 10.4217/opr.2003.25.spc3.399.
- [5] T. T. Vu and S. K. Tan, "Laboratory investigation of hydraulic performance of silt screens," *J. Hydrodyn.*, vol. 22, no. 5 SUPPL. 1, pp. 312–317, 2010, doi: 10.1016/S1001-6058(09)60212-2.
- [6] M. Radermacher, F. van der Goot, D. C. Rijks, and L. de Wit, "The art of screening, effectiveness of silt screens," *Proc. WODCON XX - Congr. Exhib. Art Dredg.*, pp. 3–12, 2013.

INCREASED DURABILITY OF CONCRETE AGAINST HIGH TEMPERATURES DUE TO FIRE WITH GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG

A H S Harahap¹, Sumargo² and Nursyafril³

¹*Civil Engineering, Politeknik Negeri Bandung, Jalan Gegerkalong Hilir, Kec. Parongpong, Jawa Barat 40559
E-mail : ahmadharahap298@ymail.com*

²*Civil Engineering, Universitas Jenderal Achmad Yani, Jalan Terusan Jend. Sudirman, Kec. Cimahi Selatan, Jawa Barat 40531
E-mail : sumargo@lecture.unjani.ac.id*

³*Civil Engineering, Politeknik Negeri Bandung, Jalan Gegerkalong Hilir, Kec. Parongpong, Jawa Barat 40559
E-mail : nursyafrilanwar@yahoo.com*

ABSTRACT

This paper describes experimental results that focus on impacts of elevated temperature on concrete with GGBFS. GGBFS from waste of steel factory PT Krakatau Steel Tbk. has been discovered to be appropriate for geopolymer cement as substitute for cement in concrete. Normal concrete and GGBFS concrete beams (150×150×750mm) and cylindrical (150×300mm) with 40% GGBFS content as substitute of cement weight were burned for two hours, which the first beam was burned at 600°C, second beam at 700°C and third beam at 800°C. After cooling to room temperature, cylindrical and beams were tested. Compressive strength, modulus of elasticity and flexural strength were examined and compared. The results show that GGBFS increased durability of concrete and might be utilized in applications including elevated temperatures. High temperature exposure causes compressive strength of normal concrete decreased extremely up to 69.08%, compared to GGBFS concrete only 46.21%. Flexural strength decreased to 30.37% when the temperature rises to 700°C. Furthermore, it decreased significantly to 50.82% when the temperature reached 800°C.

Keywords: Concrete; Durability; GGBFS; Temperatures.

1. INTRODUCTION

Fire is one of the causes of failure of concrete construction structures, which could happen within the area of the bridge. Concrete exposed to fire, and it cause the concrete structure to have into extreme high temperature changes. Although concrete is resistant to fire, its physical and mechanical properties degenerate if exposed to high temperatures [9]. The fire of merchant stalls under the Ampera bridge on 10 October 2010 and a ship on fire below the Ampera Bridge on 20 December 2018 triggered a temperature rise at the girder beam.

Effect of exposure to high temperatures are decreasing the durability, mass loss, degradation of compressive strength, flexural strength, modulus of elasticity and cracks [3]. Extent of damage caused by a fire disaster could be caused by duration and temperature of fire, which is the percentage of concrete compressive loss to 60% [2].

Besides using refractory cement, which is quite expensive, GGBFS from waste of steel factory PT Krakatau Steel Tbk. has been observed to be appropriate for geopolymer cement as substitute for cement in concrete, to reduce such as spalling on concrete surfaces and cracks in concrete because of high temperatures from fires. The forming detail of GGBFS are lime, silica, and alumina, that have cementitious matrix like cement [10]. Concrete containing up to 50% GGBFS as substitute for cement in concrete are taken into consideration appropriate for using constructing systems, roads, and bridges [1]. Siddique and Kaur studied the mechanical matrix of GGBFS concrete exposed to temperatures of 100, 200 and 350°C, the result is no significant damage at 100°C. At 200°C the loss of mass that occurs is not significant. Reduction of compressive and tensile strength and modulus of elasticity less than 40% occurs at 350°C [6].

In this study, normal and GGBFS concrete were fabricated and tested before and after three diverse temperature exposures which were 600°C, 700°C and 800°C. The beams specimen was tested by a two-point flexural load, then the midspan deflection and load capacity were examined and compared. Then cylindrical specimens were tested by its compressive strength and modulus of elasticity.

The results of this study are in the form optimization of the use of GGBFS on concrete in girder beams to produce girder beam with GGBFS concrete by following the good quality and better durability toward increase high temperatures due to fires than normal concrete. Concrete that uses GGBFS as a substitution of the weight of the cement will reduce the use of cement so that construction costs, especially in concrete will be reduced without having to reduce the quality of concrete. The experimental data presented may assist in the application of GGBFS concrete to the sustainable development of infrastructure construction.

2. METHODS

In this experimental method, mix design method for concrete is ACI 211.1-91, ordinary Portland cement used for this, and concrete quality is 30 MPa. Began with compressive strength of concrete to determine the optimum levels of GGBFS mixture in concrete mixes. The highest of compressive strength values will be used as the optimum GGBFS mixture level in the mix design of the next test specimen. Specimens with optimum levels of GGBFS were fabricated and tested, then mechanical and physical properties were examined before and after combustion. The specimens were split into two groups, namely normal concrete (NC) and GGBFS concrete (GC). Details of the specimen could be seen below.

Table 1. Detail of specimens.

Dimension (cm)	Unburned Specimen	Burned Specimen							
		600°C		700°C		800°C			
		NC	GC	NC	GC	NC	GC	NC	GC
Cylinder (Ø15×30)	Sample ID	C-UNC	C-UGC	C-NC600°C	C-GC600°C	C-NC700°C	C-GC700°C	C-NC800°C	C-GC800°C
Beam (15×15×75)	Sample ID	B-UNC	B-UGC	B-NC600°C	B-GC600°C	B-NC700°C	B-GC700°C	B-NC800°C	B-GC800°C

In Table 2, each cylindrical specimen must be weighed before and after combustion. Modulus of elasticity and compressive strength of the concrete before and after combustion were obtained from the test on cylindrical specimens. Meanwhile, beams were tested for flexural strength. Compressive strength tests of concrete refer to SNI 03-6429-2000 and flexural strength to SNI 4431: 2011 with two-point loading system. Scheme of flexural test could be seen below.

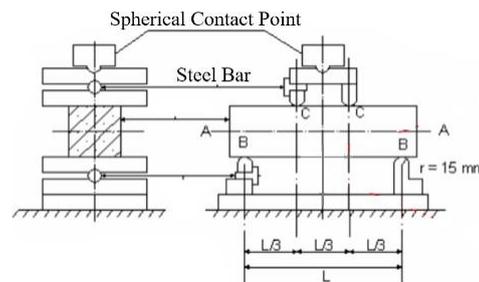


Figure 1. Scheme of flexural strength testing.

Combustion process in this research refers to the standards of the ASTM E119-2000. The combustion is carried out at room temperature (27°C) by placing the test object in the combustion furnace, then combustion begins until it reaches the target temperature, where the time required to reach the target combustion temperature lasts for ± 30 minutes. The targeted temperatures are 600°C, 700°C and 800°C then when the temperature reaches the target, the temperature is maintained for 120 minutes. After that, the combustion process is stopped and allowed to reach room temperature.

3. RESULT AND DISCUSSION

Test the samples for optimal GGBFS values. The test results are shown in Figure 2.

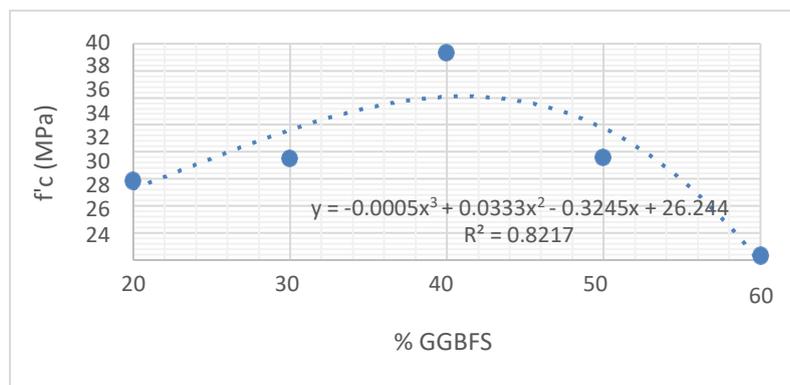


Figure 2. Compressive strength of GGBFS concrete.

In Figure 2, the optimal amount of GGBFS as a substitute of cement at 40% with an average compressive strength is 39,33 MPa, compared to 30% and 50%, compressive strength increased to 31,46 MPa and 31,57 MPa, respectively. This is just a minor increase of the strength due to the compressive strength design (30 MPa), and 60% of the GGBFS of the total cement weight cause compressive strength decreased to 24.31 MPa, so the optimal level of GGBFS to replace cement is 40%.

Specimens with 40% GGBFS as a substitution of cement weight were fabricated as GGBFS concrete (GC). Burned and unburned cylinder specimens of NC and GC were tested for modulus of elasticity and compressive strength. Results of burned and unburned compressive strength specimens can be seen in Figure 3.

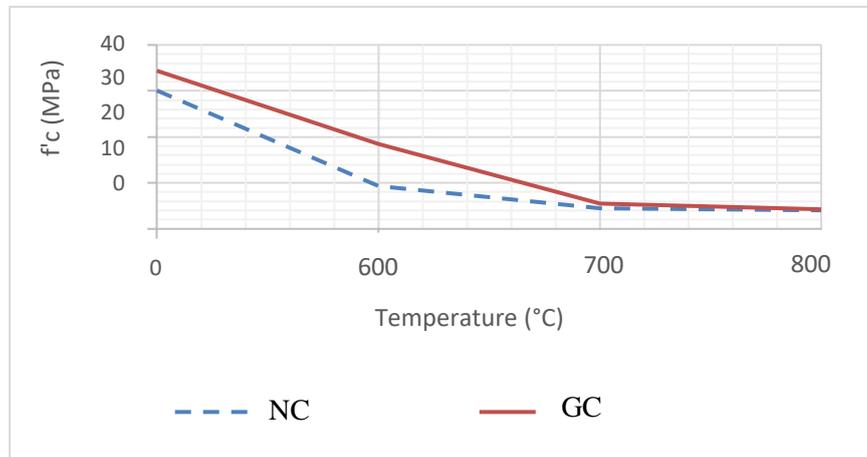


Figure 3. Impact of temperature on compressive strength

Graph from Figure 3 shows the information that the concrete strength decreased significantly after exposure of elevated temperature. As the temperature elevated to 600°C, reduction at compressive strength of NC specimens was 69.08% while GC was 46.21%. This shows that GGBFS increases concrete strength, in which GC compressive strength of 34.38 MPa is greater than NC's of 30.06 MPa and GGBFS reduces the impact of loss of strength due to exposure to high temperatures. Compressive strength decreased dramatically when the temperature reached 600°C and GC still greater than NC. From 600°C up to 800°C, reduction of compressive strength of GC and NC was significantly greater with a slightly different compressive strength value.

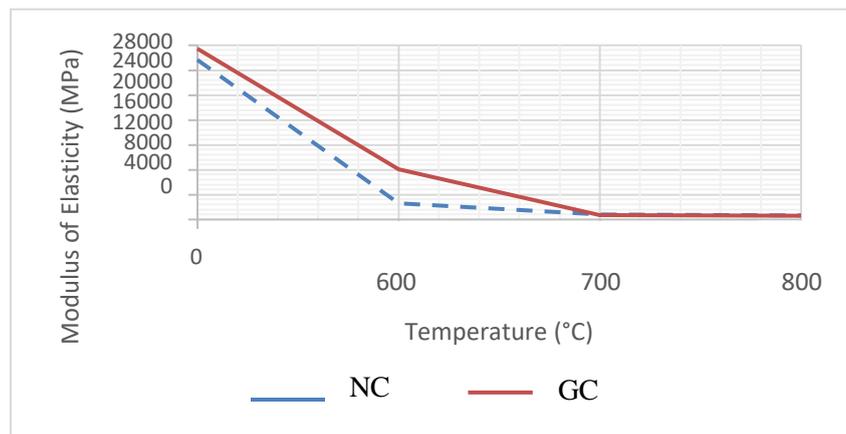


Figure 4. Impact of elevated temperature on modulus of elasticity

Graph of Figure 4 shows modulus of elasticity of the concrete after exposure has decreased with increasing temperature. Moreover, impact of temperature increase to GC specimens shows that the application of GGBFS causes reinforcement to the specimens and reduces the impact of decreasing strength, compared to NC specimens. For unburned GC, the modulus of elasticity is 27455.6 MPa. The modulus of elasticity in GC is greater, compared to NC which is 15550.6 MPa. The reduction of modulus of elasticity in GC after exposed to 600°C, 700°C and 800°C were 70.48%, 97.57%, 97.85%, respectively, while NC's were 89.81%, 96.88%, 97.47%, respectively. It can be seen from the graph above, elevating temperature of up to 600°C, modulus of elasticity of GGBFS concrete was greater than NC, but it gradually decreased when the temperature increased up to 800°C.

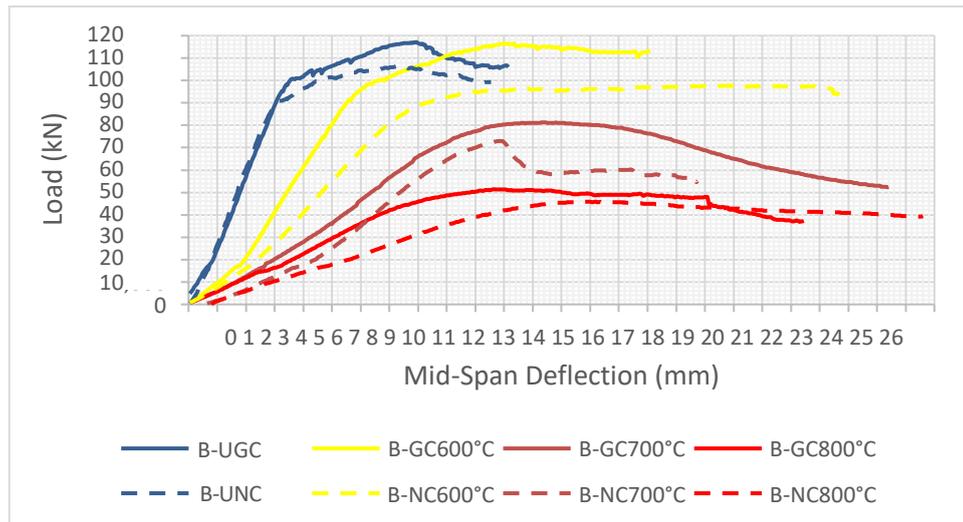


Figure 5. Flexural strength of GGBFS and normal concrete toward elevated temperature

As shown in Figure 5, the curves of B-UGC correspond approximately to that B-UNC, but B-UGC demonstrating a higher capacity in peak load 117.041 kN than B-UNC 106.490 kN. Each GC and NC gained a gradual reduction in flexural strength upon thermal exposure. It insignificantly decreases in flexural strength in the specimens at the temperature of 600°C, where GC decreased by 0.44% and NC at 8.14%. The strength in GC and BC decreases drastically with an average value of 30.79% at 700°C, and increase 56.38% at temperatures up to 800°C. In comparison, the curves of the NC samples are below the curves of the GC, indicating that the GGBFS increases the strength of the concrete. In addition, GGBFS increases the flexural rigidity of GC samples compared to NC samples, even after exposure to elevated temperatures.

4. CONCLUSION

Modulus of elasticity and compressive strength of concrete between GGBFS and normal concrete were analyzed and compared before and after burning at three different temperatures. It could be concluded that modulus of elasticity and compressive strength decrease significantly at high temperatures. In addition, this also affects the specimen of the beam, where the initial crack and maximum load values of the flexural strength test results decrease with increasing temperature.

The results indicate if addition of GGBFS to the concrete mixture cause compressive strength increased and loss relatively little strength when the concrete is exposed to elevated temperatures. Compressive strength of GGBFS concrete examined in this test is greater, then the concrete will experience less strength loss due to high temperature exposure up to 600°C than normal concrete with lower original compressive strength. When the increased temperature reaches 600°C, the compressive strength of normal and GGBFS concrete decreases dramatically, where the strength loss is more than 50%. On the other hand, when GC and NC specimens are exposed to temperatures more than 600 ° C to 800 ° C, the loss of strength that occurs in both is almost the same. However, flexural strength and compressive strength of GGBFS concrete are greater than normal concrete.

ACKNOWLEDGMENT

This opportunity to thank all faculty staff in the Civil Engineering Department of Politeknik Negeri Bandung for the support and always giving a hand. We also thank to PT Krakatau Semen Indonesia for the Ground Granulated Blast Furnace Slag so that this research could be goes well and finish on time.

REFERENCES

- [1] Qingtao L, Zhuguo L and Guanglin Y 2012 *Effects of elevated temperatures on properties of concrete containing ground granulated blast furnace slag as cementitious material* Construction and Building Materials, 687-688.
- [2] Isa Y, Rafat S and Omer O 2011 *Influence of high temperature on the properties of concretes made with industrial by-products as fine aggregate replacement* Construction and Building Materials **25** 967-972
- [3] Qianmin M, Rongxin G, Zhinman Z, Zhiwei L and Kecheng H 2015 *Mechanical Properties of Concrete at High Temperature* Elsevier **93** 371 - 383
- [4] Junru R, Huiguo C, Tao S, Hao S and Miaoshuo W 2017 *Flexural Behaviour of Combined FA/GGBFS Geopolymer Concrete Beams after Exposure to Elevated Temperatures* Advances in Materials Science and Engineering, 1-9
- [5] Imene S and Abdelaziz B 2016 *Behaviour of high-strength concrete incorporating ground granulated blast furnace slag at high-temperature* Rev. Sci. Technol Synthèse **33** 106 - 116, 33, 106 - 116.
- [6] Rafat S and Deepinder K 2011 *Properties of concrete containing ground granulated blast furnace slag (GGBFS) at elevated temperatures* Journal of Advanced **3** 45-51
- [7] Carbera M, Escalante G and Castro B 2016 *Compressive strength of concretes with blast furnace slag. Re-visited state-of-the-art* Journal of the Latin-American Association of Quality Control, Pathology and Recovery of Construction **6** 64-83
- [8] Beddar M 2013 *Reactivity of Granulated Blast Furnace Slag* Slovak Journal of Civil Engineering **21** 7-14
- [9] L T Phan, J R Lawson and F. L. Davis 2001 *Effects of elevated temperature exposure on heating characteristics, spalling, and residual properties of high-performance concrete* Materials and Structures **34** 83-91
- [10] Erdogan O, Mustafa E and Halil I D 2016 *Utilization and efficiency of ground granulated blast furnace slag on concrete properties – A review* Construction and Building Materials **105** 423- 434

DESAIN MODEL KONSTRUKSI DERMAGA / TERMINAL UKS BERBASIS PERKUATAN LERENG SUNGAI

Putera Agung Maha Agung¹, Mursid²

¹Geoteknik, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta
Jalan Prof.Dr.G.A.Siwabessy, Kampus UI – Depok, Kota Depok (16425)
E-mail: putera.agungmagung@sipil.pnj.ac.id

²Geohidrolik, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta, Kota Depok (16425)
E-mail: mursid@sipil.pnj.ac.id

ABSTRAK

Dermaga sungai atau Terminal Untuk Kebutuhan Sendiri (TUKS) adalah suatu bangunan dermaga yang digunakan untuk operasional khusus bongkar muat material bio-massa untuk Pusat Pembangkit Tenaga Listrik. Konstruksi TUKS yang direncanakan terletak di Daerah Aliran Sungai (DAS) Sungai Kapuas, Kalimantan Barat. Konstruksi dermaga TUKS ini tidak hanya berfungsi sebagai dermaga sungai, akan tetapi juga digunakan sebagai lahan beban imbang (*counter weight*) untuk menahan pergerakan lateral ke arah sungai. Secara umum, struktur TUKS menggunakan suatu konstruksi lapisan pelindung dari batu atau konstruksi revetment (*rock armour revetment system*). Desain TUKS menggunakan data geoteknik dan geohidrolik eksisting. Guna mempersingkat waktu untuk menaikkan kekuatan geser tanah di bawah konstruksi *revetment*, maka waktu konsolidasi dipercepat dengan menggunakan metode pra-pembebanan (*preloading*) dan PVD. Analisis kestabilan lereng menggunakan *software* PLAXIS untuk menentukan faktor keamanan (FK). Hasil-hasil desain menunjukkan konstruksi *revetment* mampu mengantisipasi pergerakan tanah ke arah sungai dan lebih ekonomis daripada metode – metode lainnya.

Kata Kunci: TUKS, *revetment*, *pergerakan tanah*, *waktu konsolidasi*, *stabilitas lereng*.

ABSTRACT

River jetty or Own Needs Terminal (TUKS) is a building used for the special operation of loading and unloading bio-mass material for a Power Plant. TUKS designed is located in the Kapuas River Basin, West Kalimantan. Construction of TUKS is not only as a function of river jetty, but also used as an area for counterweight to retain lateral movement towards the river. In general, the TUKS structure uses a revetment construction (or a rock armour revetment system). TUKS design uses existing geotechnical and geohydraulic data. In order to shorten the time for increasing the shear strength of soil below the revetment construction, the time rate of consolidation is accelerated by using preloading and PVD methods. Slope stability analysis uses PLAXIS software in determining the safety factor (SF). The design results show that the revetment construction is able to anticipate soil movement towards the river and more economic than the other methods.

Keywords: TUKS, *revetment*, *lateral movement*, *time rate of consolidation*, *slope stability*.

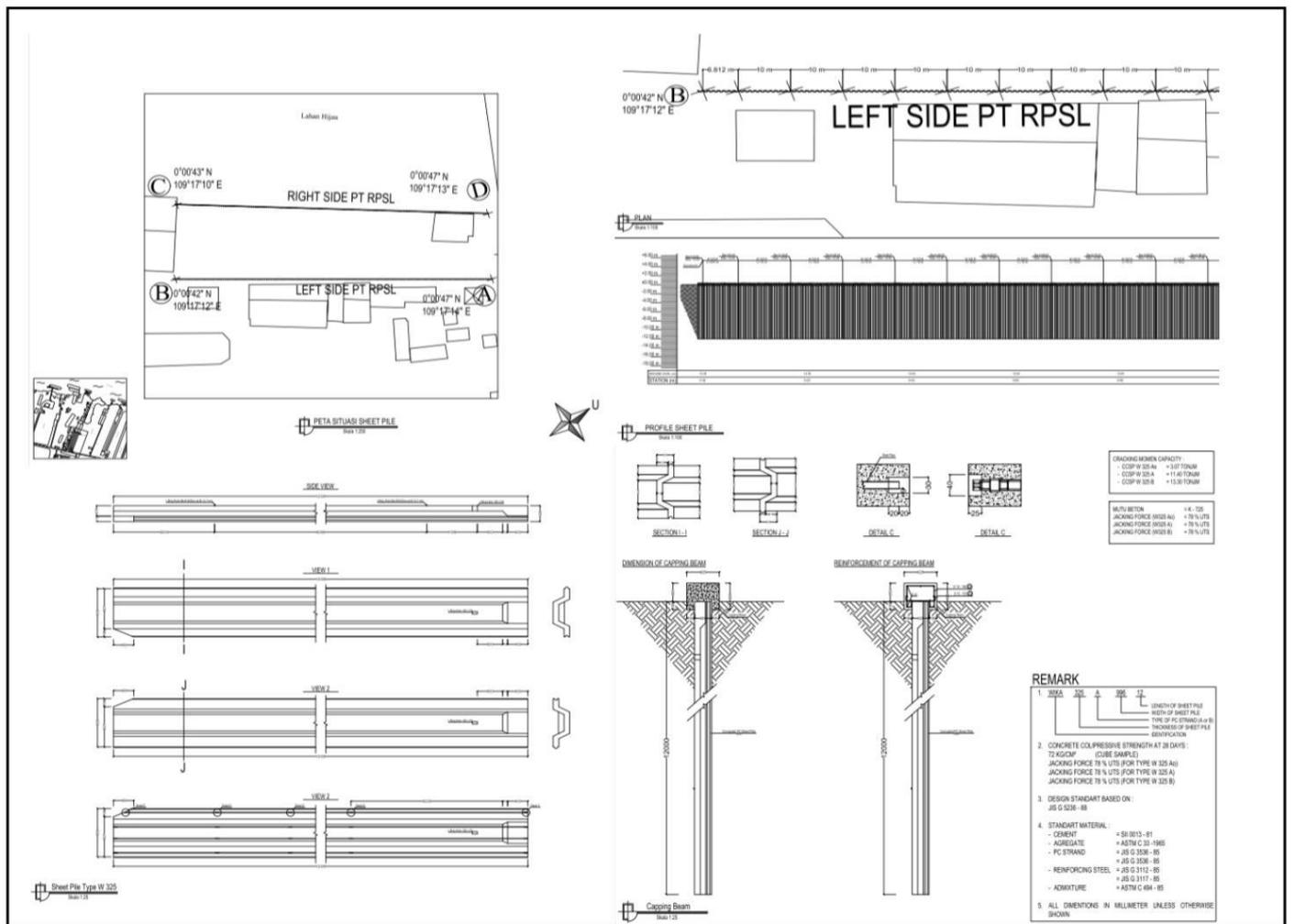
1. PENDAHULUAN

Berdasarkan hasil-hasil studi pendahuluan, perencanaan dermaga/Terminal Untuk Kebutuhan Sendiri (TUKS) *Power Plant* Wajok Hulu, Siantan, Pontianak, Kalimantan Barat, dapat diketahui bahwa area perencanaan dermaga memiliki luas kurang lebih 1500 m² berada di tepi Aliran Sungai Kapuas dan data tipikal uji lapangan tipikal CPT (Gambar 1). Perencanaan struktur dermaga terdahulu menggunakan sistem *sheet pile wall* yang dikombinasikan dengan sistem perkuatan *spun pile* (Gambar 2).

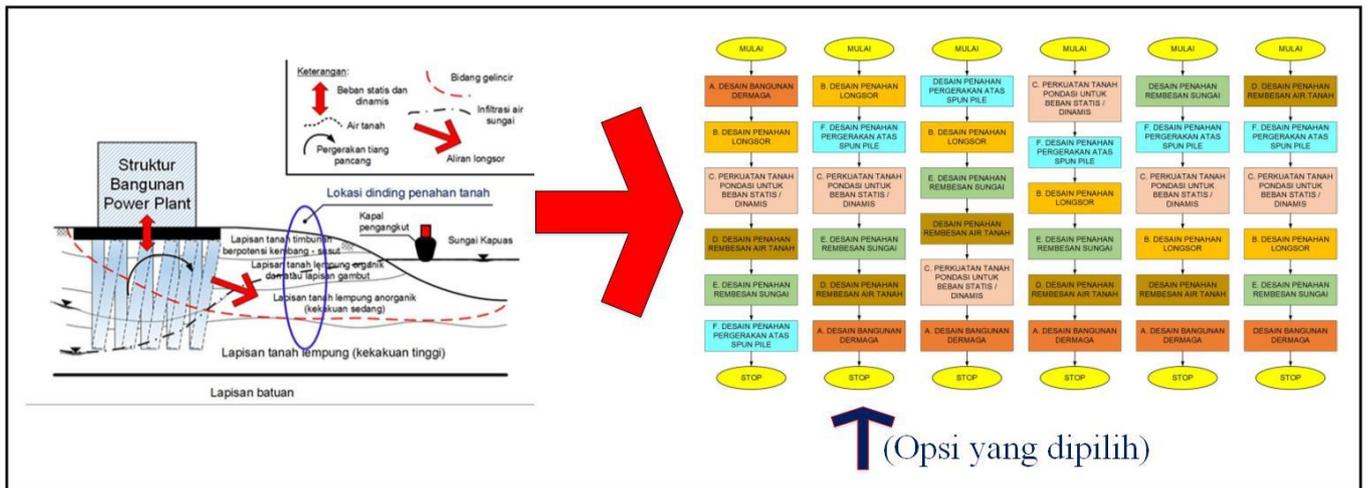
Perencanaan dermaga TUKS ini, memiliki beberapa fungsi utama, yaitu: (1) struktur dermaga harus mampu menahan pergerakan lateral dari beban dinamis dari bagian-bagian struktur penting *Power Plant*, antara: *chiller*; *boiller*; dan *turbine*, dsb.; (2) mampu menahan pergerakan lateral bagian atas tiang pancang (*spun pile*), sehingga tidak terjadi perputaran (*tilting*) pada *spun pile*; (3) mampu menahan kelongsoran atau bidang gelincir yang melalui lapisan tanah lunak (*soft soil*); (4) mampu mengarahkan aliran rembesan (*seepage*) dari Sungai Kapuas, sehingga kadar air (w_{opt}) dan berat volume kering maksimum tetap stabil (γ_{dmaks}) pada lahan yang akan direncanakan untuk dermaga, sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 3. Konstruksi yang dipilih juga harus ekonomis, bila dibandingkan dengan jenis konstruksi-konstruksi lainnya.



Gambar 1: Areal / lahan studi dan data lapangan tipikal CPT (*cone penetration test*) dan arah pergerakan tanah (Sumber: Laporan penyelidikan tanah / geoteknik PT. Tarumanegara Bumiyyasa, 2014)



Gambar 2: Desain awal tipikal menggunakan sistem *sheet pile wall* yang dikombinasikan dengan sistem perkuatan *spun pile*



Gambar 3: Fungsi utama dermaga dan analisis detail rancangan untuk pemilihan tipe dermaga dan opsi yang dipilih

Dari Gambar 3, dapat diketahui bahwa ruang lingkup untuk pekerjaan dermaga, terdiri atas 6 (enam) pekerjaan. Sehingga harus dipilih berdasarkan: (1) Metode konstruksi; (2) Konstruksi tambahan (*temporary sheet pile*, dsb.); (3) Gangguan pelaksanaan (lalu lintas angkutan *Power Plant*, dsb.); (4) Ketersediaan material (batu kali/bongkahan, pasir, dsb.); (5) Ketersediaan peralatan (alat berat untuk pancang, bor, dsb.); (6) Tenaga kerja (lokal, level/tingkat kemampuan, dsb.); (7) Waktu (efisiensi pengelolaan, pengangkutan material, jalan akses, dsb.); (8) Biaya (sesuai dengan kemampuan perusahaan *Power Plant*, dsb.); (9) Risiko konstruksi (pergerakan yang tidak diperhitungkan, dsb.). Dari hasil analisis kelayakan, maka skor yang dipilih adalah yang memiliki nilai ≤ 16 . Hal ini menunjukkan bahwa di dalam desain dermaga tidak semata-mata untuk kebutuhan dermaga saja, melainkan sistem dermaga juga memiliki fungsi lain, yaitu: (1) Mampu menahan pergerakan longsor ke arah Sungai Kapuas; (2) Mampu menahan pergerakan bagian atas *spun pile* struktur *Power Plant* eksisting, akibat beban statis dan dinamis, walaupun bagian dasar tetap memegang lapisan tanah fondasi; (3) Mampu meredam semua pembebanan statis dan dinamis; (4) Mampu mengarahkan pergerakan rembesan air Sungai Kapuas dan air tanah saat musim hujan; (5) Mampu dilaksanakan dengan ekonomis dan tepat guna. Dengan mempertimbangkan semua hal di atas, maka sangat diperlukan proses konsolidasi pendahuluan di lahan dermaga, sehingga kuat geser tanah menjadi meningkat dan tanah mampu memikul semua beban statis dan dinamis atau berfungsi sebagai beban imbang (*counter weight*) untuk menahan semua pergerakan (*displacement*) baik vertikal maupun horizontal. Hal ini untuk menghindari pemancangan *spun pile* hingga lapisan keras dan sudah pasti sangat mahal (*costly*). Paper ini bertujuan hanya untuk membahas penggunaan tipe penahan longsor berupa dinding penahan tanah (*revetment*) di lahan *counter weight* untuk diterapkan dalam sistem dermaga TUKS. Pertimbangan ini didasarkan atas alasan ekonomis dari pemilik proyek dan kemudahan pelaksanaan di lapangan.

2. METODOLOGI

2.1 Bagan alir secara umum

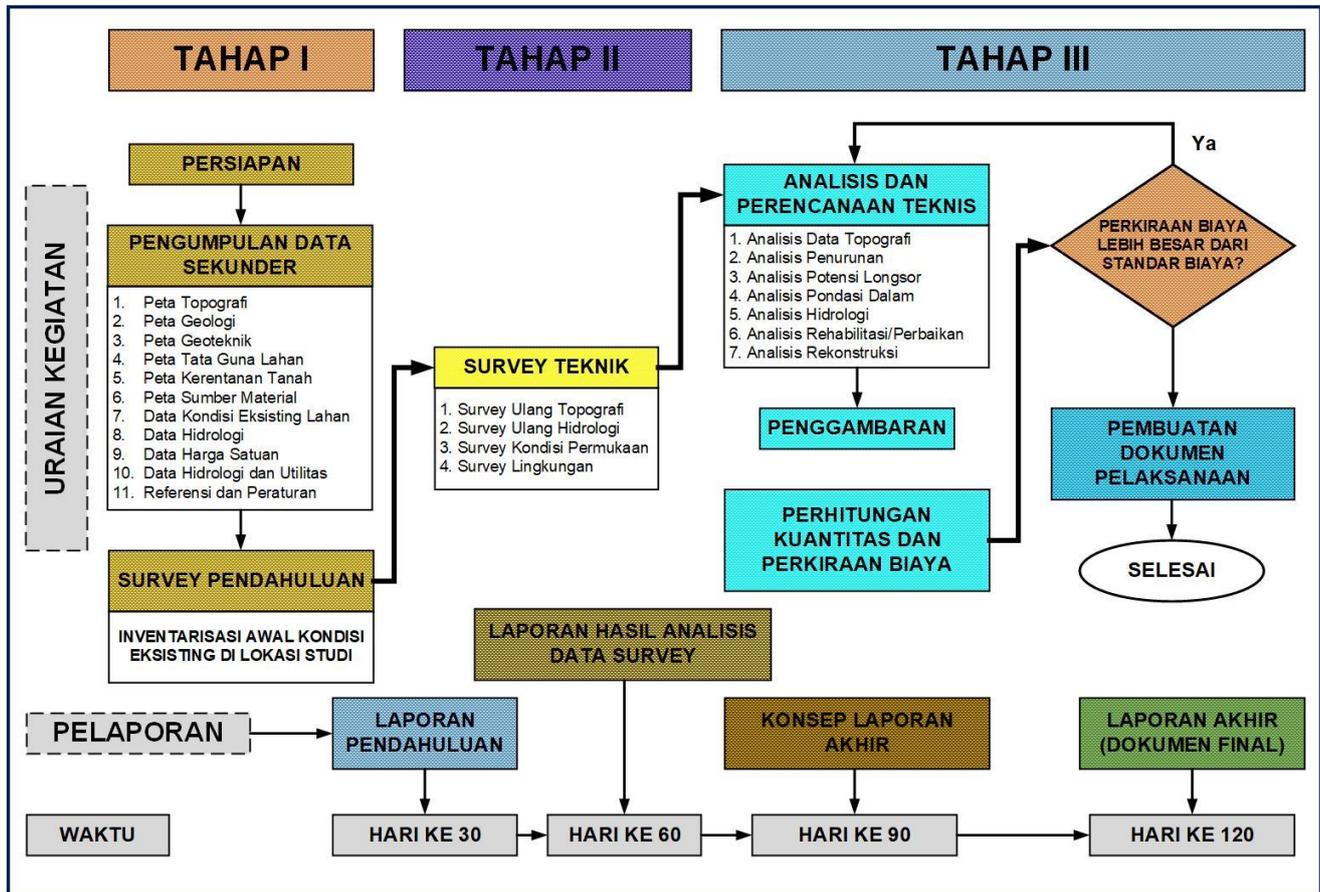
Secara garis besar, kegiatan-kegiatan di atas dapat dikelompokkan dalam 3 (tiga) fase. Fase Pertama terdiri atas: (a) tahap persiapan; (b) tahap pengumpulan data sekunder; (c) tahap survei pendahuluan; (d) tahap pemilihan opsi pendahuluan. Dalam Fase Kedua adalah tahap pengumpulan data primer / survei teknis. Fase Ketiga adalah meliputi tahap analisis data survei dan perencanaan teknis penanganan pergerakan lateral dari lahan *Power Plant* dan tahap penyusunan dokumen teknis. Secara umum dapat diperlihatkan dalam Gambar 4.

2.2 Penyusunan parameter tanah

Penyelidikan Tanah di area perencanaan dermaga di daerah Wajok Hulu, Siantan, Pontianak, Kalimantan Barat, dapat disimpulkan sebagai berikut (sumber data: Laporan Hasil Penyelidikan Geoteknik Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, 2018), yaitu: (1) Titik Bor 1 (DB.1), lapisan tanah sangat lunak hingga lunak (*very soft to soft*) kedalaman 0,00 hingga 17,00 m; (2) Lapisan tanah lempung organik setengah kaku hingga kaku (*medium stiff to stiff*), kedalaman 18,00 hingga 28,00 m; (3) Lapisan tanah sangat kaku hingga keras (*very stiff to hard*), kedalaman 30,00 hingga 40,00 m.

Kekuatan geser tanah pada lapisan tanah lunak (*soft soil*) hingga kedalaman antara 5,0 hingga 15,0 m sebagaimana Laporan Pendahuluan adalah: (1) Nilai kohesi (*c*) adalah berkisar antara 0,1 hingga 0,12 kg/cm², atau sekitar 1,0 hingga 1,2 t/m²; (2) Nilai sudut geser dalam (ϕ) adalah berkisar antara 5 hingga 10°; (3) Kuat tekan bebas (*q_u*) adalah berkisar 0,1 hingga 0,15

kg/cm² atau hanya sekitar 1,0 hingga 1,5 t/m²; (4) Daya dukung (*bearing capacity*) adalah 1,2 t/m² hingga 4,4 t/m² (SPT), sedangkan daya dukung untuk tiang tunggal *spun pile* dia. 30 cm adalah 6,5 hingga 10,3 t/m².



Gambar 4. Bagan alir metodologi secara umum

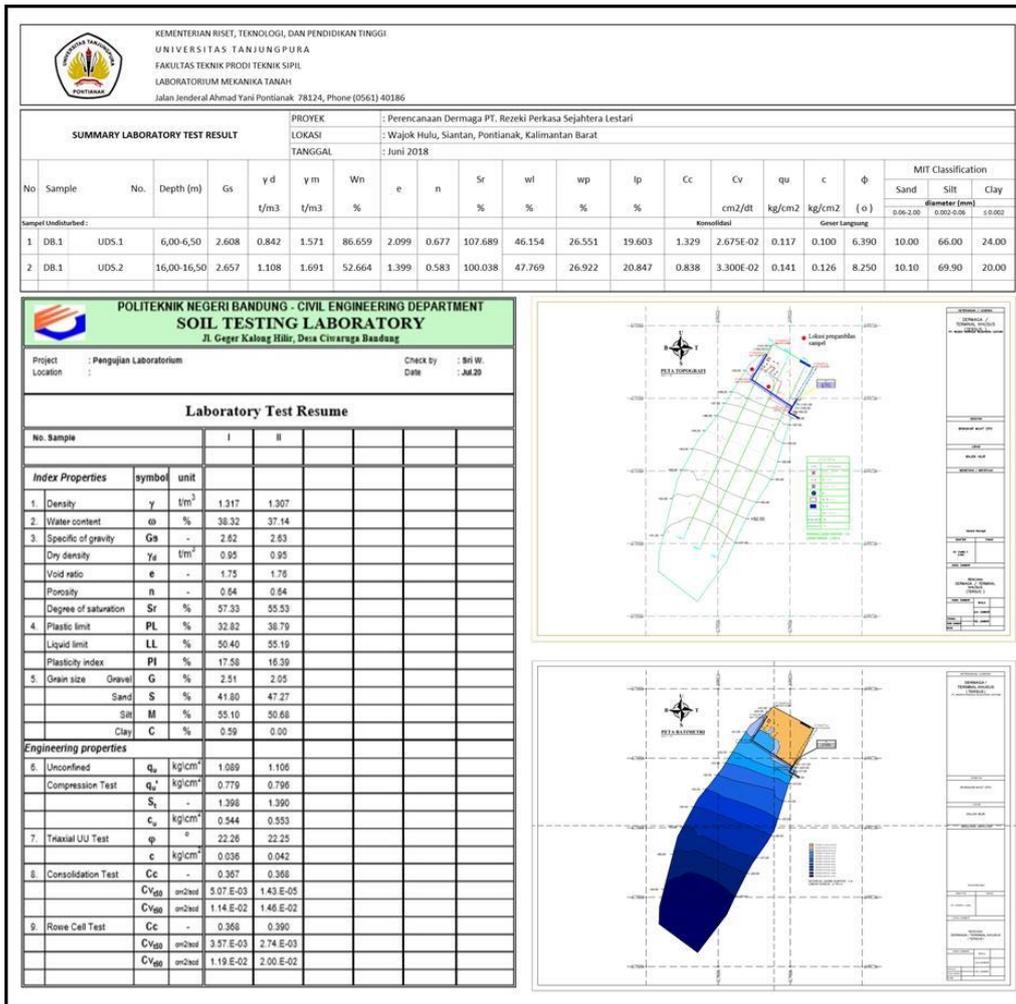
Data tahun 2014 (Gambar 1) dan 2018 ini dikonfirmasi dengan data hasil uji lapangan terakhir pada tahun 2020 (sumber: Laporan Penyelidikan Tanah / Geoteknik, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung), sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 4. Ternyata hasil yang dicapai telah terjadi peningkatan kekuatan geser selama 6 (enam) tahun pada areal tersebut.

2.3 Model pembebanan operasional bongkar muat

Untuk parameter *input* pembebanan pada PLAXIS diambil berdasarkan standar pembebanan SNI 1725-2016. Secara ringkas beban-beban yang harus diperhitungkan dalam perencanaan TUKS dapat dilihat pada Tabel 1. Kombinasi beban didasarkan kepada beberapa kemungkinan tipe yang berbeda dari aksi yang bekerja secara bersamaan. Tabel 1 juga memperlihatkan kombinasi beban pada masa pelaksanaan (1) dan masa pelayanan (2). Dalam masa pelaksanaan hanya diperhitungkan beban alat berat, yaitu 128 kN/m², sedangkan untuk masa pelayanan / operasional diperhitungkan untuk aksi tetap (beban perkerasan; beban “D”; beban “T” dan beban rem) sebesar 83,9 kN/m².

2.4 Analisis metode pelaksanaan

Pra-pembebanan (*preloading*) menambah daya dukung dan mengurangi kompresibilitas dari tanah lunak. Preloading membuat tanah pasiran lepas menjadi padat, ataupun membuat tanah lempung dan lanau terkonsolidasi (Hausmann, 1990). Solusi sederhana untuk *preloading* adalah pembebanan langsung dengan menggunakan timbunan. Meskipun dapat dilakukan pada semua jenis tanah, *preloading* lebih efektif diterapkan pada tanah kohesif lunak. Ketika beban ditempatkan di atas tanah lunak, itu merupakan awal dari mengatasi tekanan air pori (*pore water pressure*). Ketika tanah tidak terlalu lolos air (*permeable*), tekanan air pori akan berkurang secara bertahap, karena air pori hanya mampu mengalir sangat lambat ke arah vertikal (Holtz & Kovacs, 1981). Agar tidak menimbulkan masalah stabilitas, timbunan harus ditempatkan dalam dua lapis atau lebih.



Gambar 5. Hasil penyelidikan tanah tahun 2020 dan peta Topografi / Batimetri

Tabel 1. Jenis dan kombinasi beban pada perencanaan dermaga TUKS (SNI 1725 2016)

SNI 1725 - 2016				DATA INPUT PADA SOFTWARE PLAXIS UNTUK ANALISIS KESTABILAN LERENG		
Jenis beban (simbol)	Aksi	Jenis beban (simbol)	Aksi	KOMBINASI BEBAN MASA PELAKSANAAN DAN PELAYANAN		
				Aksi	Kombinasi	
				1	2	
Beban mati komponen struktural dan non struktural (MS)	Tetap	Gaya Sentrifugal (TR)	Transien			
Beban mati perkerasan dan utilitas (MA)	Tetap	Beban Pejalan Kaki (TP)	Transien			
Gaya akibat susut / rangkai (SH)	Transien	Gaya tumbukan kapal (TV)	Transien	Aksi tetap	X	X
Prategang (PR)	Tetap	Beban akibat penurunan (SE)	Transien	Beban lalu lintas	X	O
Gaya horizontal akibat tekanan tanah (TA)	Tetap	Gaya akibat temperatur gradien (ET)/seragam (Eun)	Transien	Pengaruh temperatur	O	O
Gaya-gaya yang terjadi pada struktur dermaga akibat proses pelaksanaan (PL)	Tetap	Beban arus dan hanyutan (EU)	Transien	Arus/hanyutan/hidro /daya apung	O	O
Beban lajur "D" (TD)	Transien	Gaya apung (EF)	Transien	Beban angin	O	O
Beban Truk "T" (TT)	Transien	Beban angin pada struktur (Ews)	Transien	Pengaruh gempa	O	O
Gaya akibat rem (TB)	Transien	Gaya gempa (EQ)	Transien	Beban tumbukan	O	O
		Gaya friksi (BF)	Transien	Beban pelaksanaan	X	X

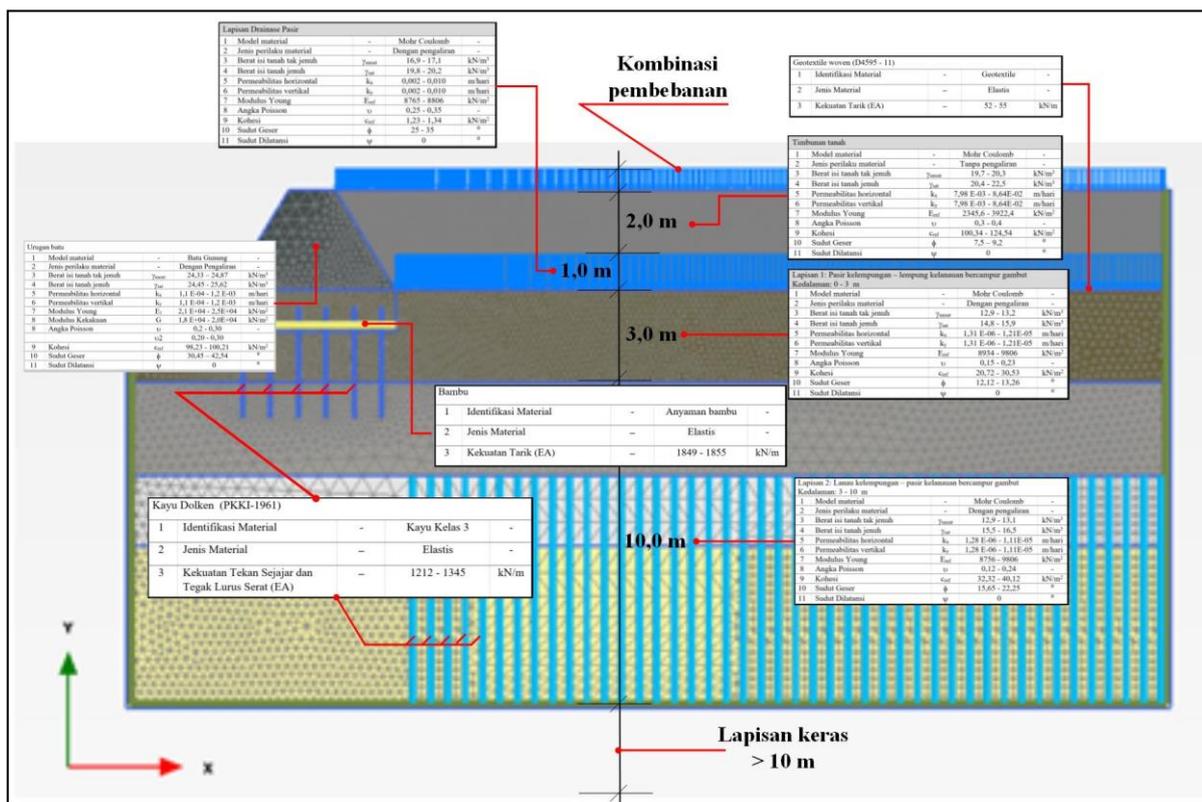
X = Beban yang digunakan
O = Beban yang tidak digunakan

Beban sementara tambahan dapat dipindahkan ketika penurunan melebihi prediksi penurunan akhir. Hal ini sebaiknya tidak terjadi sebelum kelebihan tekanan awal tersisa di bawah tekanan yang disebabkan oleh beban tambahan sementara. Dengan menambah waktu kelebihan sementara, atau ukuran beban tambahan, penurunan sekunder dapat berkurang atau bahkan dihilangkan. Ini dikarenakan menggunakan beban tambahan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beban yang bekerja, tanah akan selalu dalam kondisi terkonsolidasi berlebih (*overconsolidated*) dan pemampatan sekunder untuk tanah *overconsolidated* sangat kecil dibanding dengan penurunan konsolidasi tanah normal.

Sebagaimana Pasal 6.9.5 dalam SNI 8460: 2017, analisis stabilitas tanah asli dengan menggunakan PVD dengan pra-pembebanan (*preloading*), maka beban total timbunan tanah yang diaplikasikan ke tanah asli diambil 1,30 kali beban yang direncanakan pada kondisi layan bila efek gaya angkat (*bouyancy effect*) yang diterima beban timbunan pada saat proses *preloading* berlangsung tidak diperhitungkan. Sedangkan jika efek gaya angkat (*bouyancy effect*) yang diterima beban timbunan pada saat proses *preloading* diperhitungkan, maka beban total *preloading* berupa timbunan tanah yang diaplikasikan ke tanah asli harus lebih besar atau sama dengan 1,20 kali beban yang direncanakan pada kondisi layan.

Oleh karena lokasi TUKS terletak dataran rendah atau di daerah aliran Sungai Kapuas dan berfungsi sebagai area beban imbang (*counter weight*) bangunan *power plant*, maka areal tanah lunak di sekitar dermaga harus dimampatkan dengan cepat dan kekuatan geser segera meningkat. Metode percepatan konsolidasi dengan menggunakan pemasangan PVD (*prefabricated vertical drain*) menjadi alternatif desain untuk mempercepat pembuangan tekanan air pori berlebih yang dikombinasikan dengan metode pra-pembebanan (*preloading*). Perencanaan PVD (*prefabricated vertical drain*) dilaksanakan berdasarkan teori Barron (1948) dan Hansbo (1997), antara lain: pengurangan panjang jalur air pori dan analisis pemilihan formasi segitiga atau segi empat untuk mempercepat terjadinya penurunan (*settlement*). Pemasangan PVD dirancang dengan menggunakan rasio *smear zone* atau $d_s / d_w \geq 3,0$ sesuai dengan kondisi tanah lunak eksisting di daerah studi dan untuk rasio permeabilitas atau k_h / k_s diambil = 2,0.

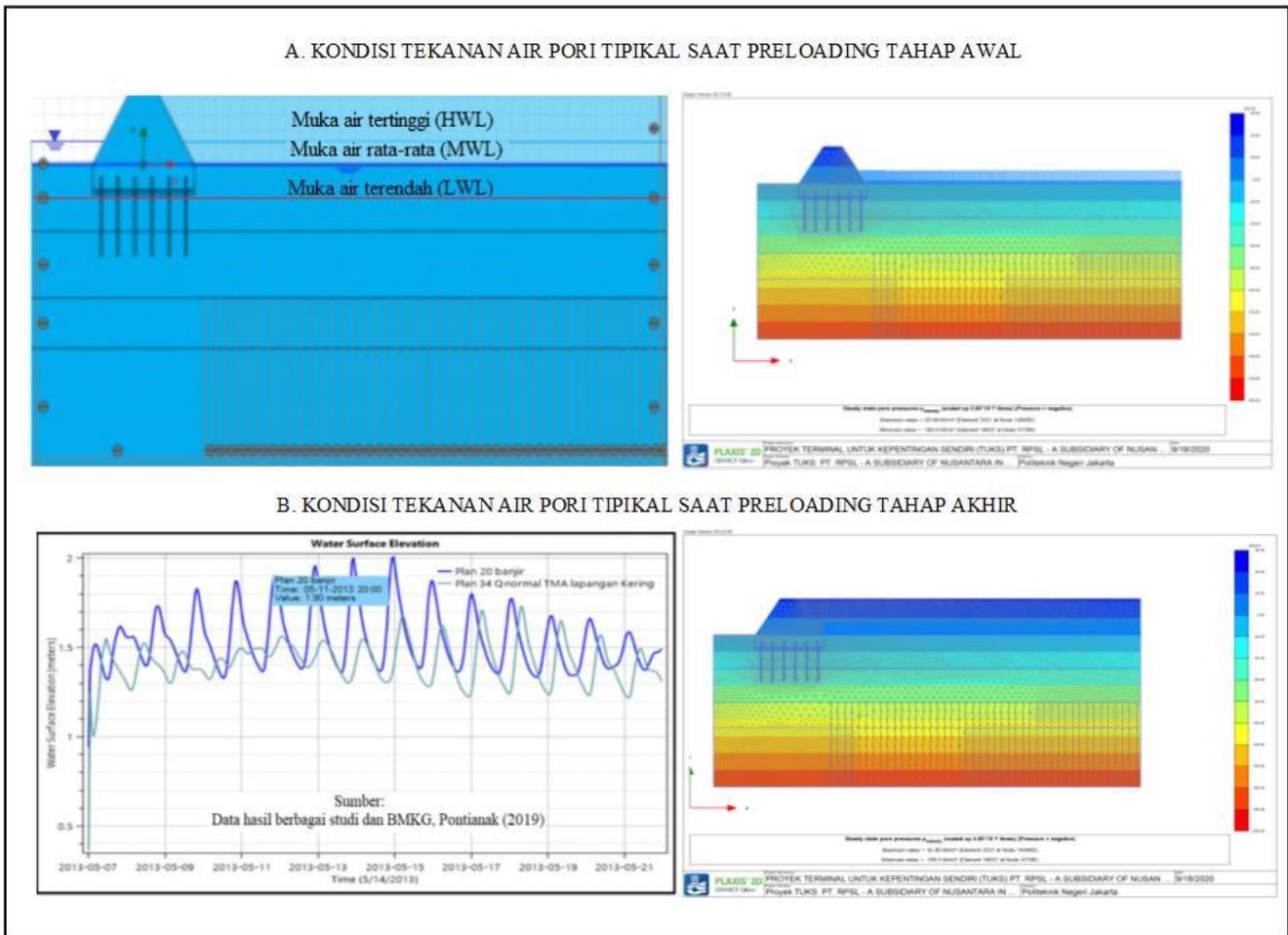
Pemodelan geometri PLAXIS untuk pelaksanaan stabilisasi tanah di areal dermaga / terminal TUKS adalah dengan menggunakan model regangan bidang (*plane-strain*) 15-Element Nodal, sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 6. Beberapa model analisis stabilitas lereng yang serupa telah dilakukan oleh El-Ramly et al., 2003; Jiang et al. 2014; Zhou et al., 2003; Suchomel & Massin, 2010; Zhang et al., 2010 untuk memperkirakan besarnya faktor keamanan (*safety factor*), oleh karena sulitnya menentukan kekuatan geser tanah asli dan distribusi tekanan air pori yang akan timbul.



Gambar 6. Model geometri penampang untuk dermaga TUKS

2.5 Kondisi aliran permukaan dan bawah (rembesan air sungai)

Data curah hujan tahun 1982 sampai dengan tahun 2015 digunakan untuk memprediksi perubahan curah hujan yang terjadi di DAS Kapuas. Oleh karena, data debit air Sungai Kapuas pada tahun 1982 hingga tahun 2015 tidak tersedia, maka data curah hujan yang tersedia di stasiun BMKG Bandar Udara Supadio, Pontianak digunakan untuk menentukan muka air rata-rata (*mean water level*) atau (dianggap \pm Elv. 0,00), muka air tinggi (*high water level*, dan muka air rendah (*low water level*), sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 7. Data dari berbagai studi dan BMKG, Pontianak (2019) diplot ulang sebagai data referensi untuk mempertimbangkan fluktuasi ketinggian muka air di daerah studi. Pada tahun 2018, muka air Sungai Kapuas mencapai ketinggian muka air 2,50 m dan bertahan hingga 3 hari pada tanggal 17 hingga 20 Januari 2018 (sumber: Republika.co.id, 2018). Hal ini disebabkan oleh perubahan cuaca ekstrem yang terjadi dan perubahan tata guna lahan, selain itu juga kawasan Mempawah secara topografi berada di antara minus 60 sampai plus 80 sentimeter dari muka air pasang tertinggi. Jika air pasang, kawasan Mempawah yang paling tinggi dari muka air sungai adalah sekitar 80 sentimeter.



Gambar 7. Kondisi tekanan pori tipikal saat pembebanan (*preloading*) awal dan akhir

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1 Model lapisan tanah

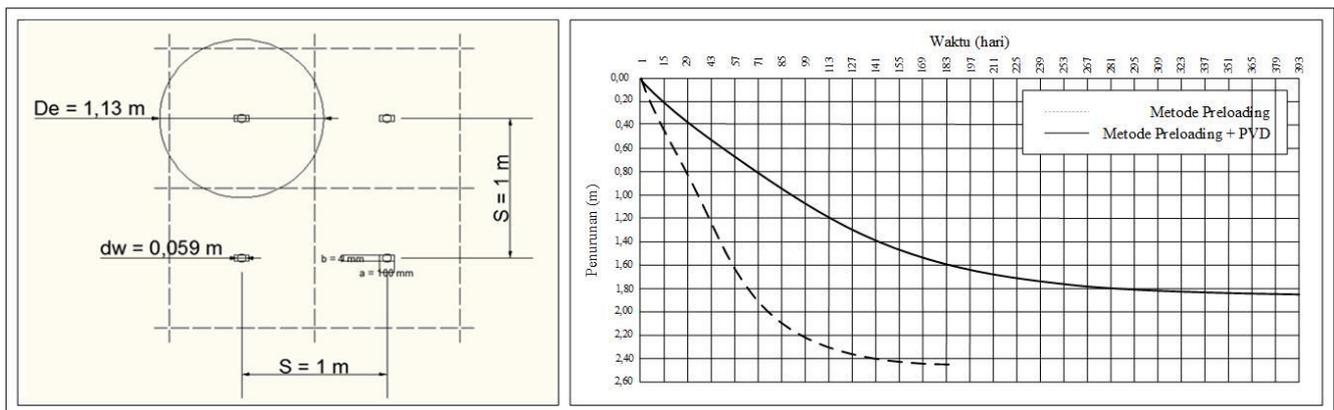
Parameter – parameter lapisan tanah ditentukan dengan menggunakan data laboratorium dan data lapangan (SPT dan CPT/sondir). Lapisan – lapisan tanah eksisting dibandingkan dengan hasil plot data sondir (Robertson & Campanella, 1983; Kulhawy & Mayne, 1990; dan Robertson, 2009). Parameter berat volume tanah (γ) di areal studi yang tidak diketahui ditentukan dengan menggunakan korelasi parameter dari Taylor (1948); Holtz & Kovacs (1981); Carter & Bentley, (1991); Veruijt (2006); dan Das (2011). Nilai-nilai kekuatan geser (c') dan (ϕ') ditentukan berdasarkan data eksisting dan dibandingkan dengan korelasi dari Schmertmann (1978); NAVFAC (1986); Look (2007); Griffiths et al. (2009); dan Di Matteo et al. (2013). Nilai Modulus Young (E) didekati dengan korelasi dari Lambe & Whitman (1969); dan Jamiolkowski et al. (1979). Poisson ratio (ν) ditentukan berdasarkan Bowles (1986); Kulhawy & Mayne (1990); dan Lambe & Whitman (1979). Sudut dilatasi (ψ) dinyatakan dalam derajat oleh Bolton (1986), umumnya tanah lunak cenderung memiliki dilatasi kecil dan dianggap sama dengan nol (0).

3.2 Tahapan pelaksanaan pekerjaan dermaga / terminal TUKS

Tahapan – tahapan analisis diawali dengan tahap pra-pembebanan (*preloading*), yaitu tahap 1 & 2 dikombinasikan dengan pemasangan PVD; kemudian dilanjutkan dengan pelaksanaan konstruksi jalan akses; dan tahap pasca konstruksi (tahap operasional) selama 10 tahun. Tahap konstruksi merupakan tahap timbunan selama konstruksi timbunan sampai tahap perkerasan. Waktu pelaksanaan konstruksi dermaga / terminal TUKS ditentukan selama 116 hari atau lebih kurang 4 bulan. Sementara tahap pasca konstruksi (tahap operasi) selama 10 tahun merupakan tahap konsolidasi tanah yang terjadi selama 10 tahun akibat beban lalu lintas. Untuk tahapan-tahapan analisis menggunakan *software* PLAXIS dapat dilihat pada Tabel 2.

3.4 Hasil analisis penurunan dengan metode *preloading* dan PVD (*prefabricated vertical drain*)

Berdasarkan tabel di atas, didapatkan waktu konsolidasi metode *preloading* lebih lama dibandingkan dengan metode PVD konsolidasi (*PVD consolidation method*). Untuk mencapai derajat konsolidasi yang sama (> 90%), metode *preloading* PVD hanya memerlukan waktu 183 hari saja untuk menyelesaikan pemampatan tanah dengan penurunan maksimum 2,421 m saat pelaksanaan, sedangkan untuk metode *preloading* saja adalah lebih dari (>) 393 hari (Gambar 8).



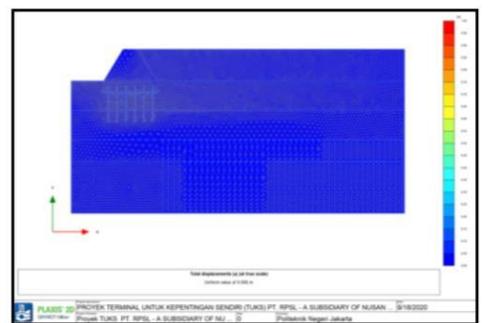
Gambar 8. Detail pemasangan dan grafik hubungan antara penurunan tanah versus waktu saat pelaksanaan (tipikal)

3.3 Hasil analisis stabilitas dan pergerakan tanah pada program PLAXIS

Hasil-hasil analisis stabilitas untuk menentukan besarnya penurunan (*settlement*) dan faktor keamanan atau FK (*safety factor*) pada tahap pelaksanaan *preloading* yang dikombinasikan dengan pemasangan PVD diperlihatkan Gambar 9. Kondisi besarnya penurunan dan angka keamanan saat konstruksi jalan akses diperlihatkan dalam Gambar 10. Dan, Gambar 9 juga menunjukkan besarnya penurunan yang terjadi setelah 10 tahun dan besarnya angka keamanan yang tercapai.

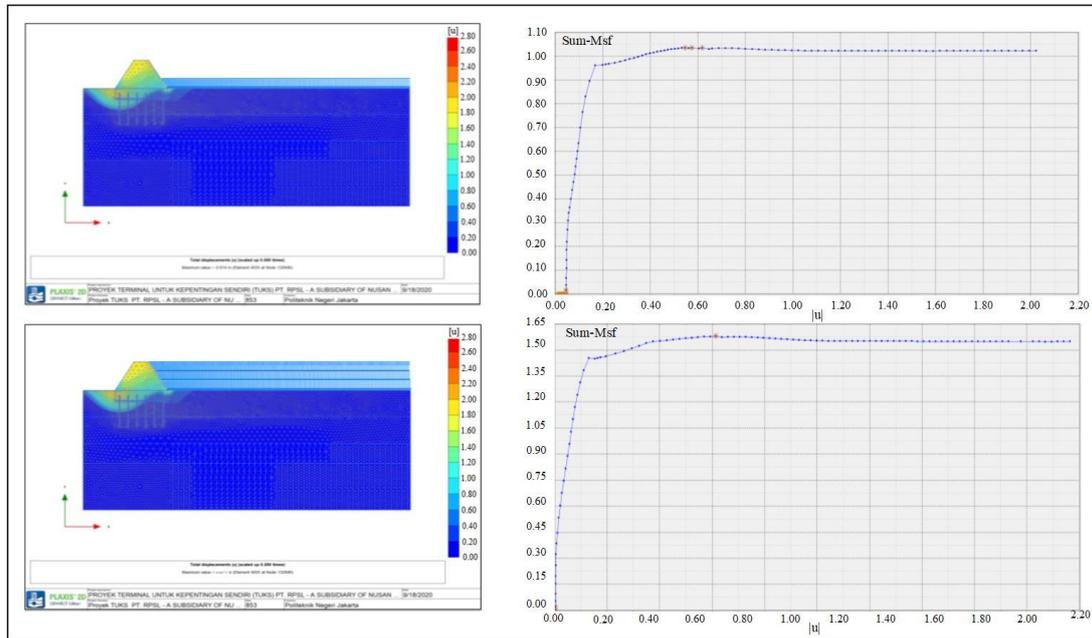
Tabel 2. Tahapan pelaksanaan pekerjaan konstruksi dermaga / terminal TUKS

No.	Fase	Hari	Total hari	Tipe Perhitungan
1.	Kondisi awal	0	0	-
2.	Pemasangan PVD	7	7	Consolidation analysis
3.	Timbunan awal tahap 1	24	31	Consolidation analysis
4.	Timbunan awal tahap 2	24	55	Consolidation analysis
5.	Konsolidasi 90%	3589	-	Consolidation analysis
6.	Konstruksi eksisting jalan	30	85	Consolidation analysis
7.	Operasional eksisting jalan	3650	3735	Consolidation analysis
8.	FK saat pemasangan PVD	-	-	Safety factor
9.	FK timbunan awal tahap 1	-	-	Safety factor
10.	FK timbunan awal tahap 2	-	-	Safety factor
11.	FK saat konsolidasi 90%	-	-	Safety factor
12.	FK konstruksi eksisting jalan	-	-	Safety factor
13.	FK operasi eksisting jalan	-	-	Safety factor

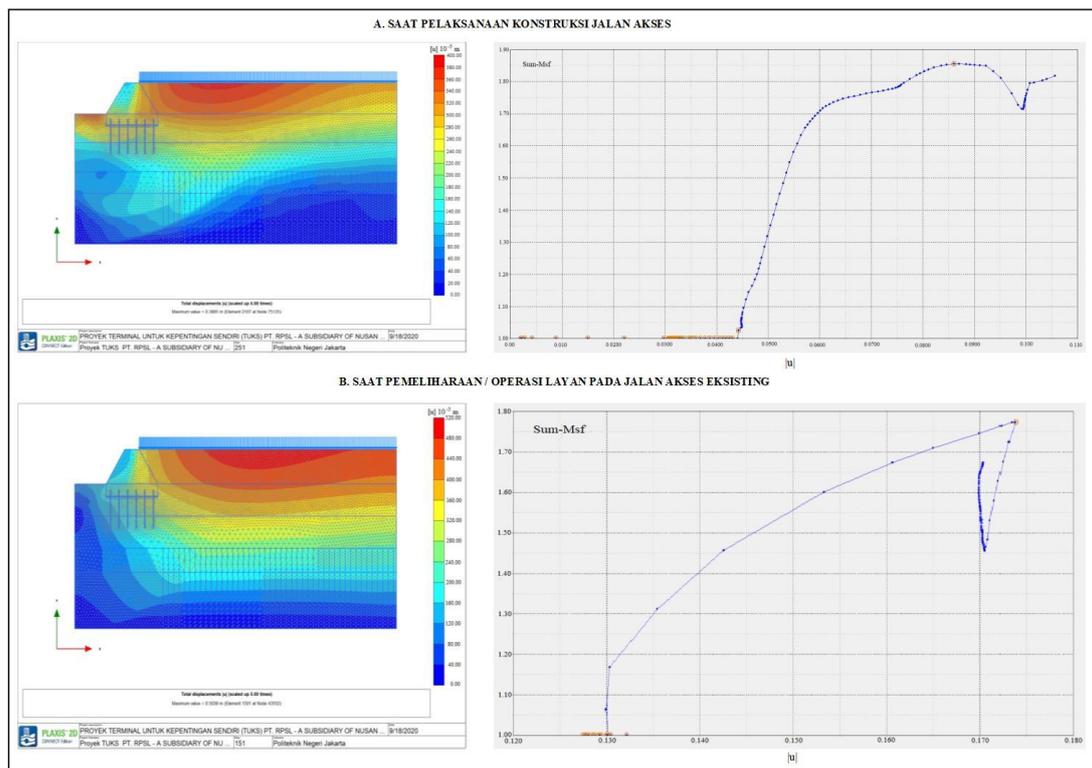


Dari hasil analisis perhitungan Gambar 9, faktor keamanan (FK) untuk beban *preloading* tahap 1 dikombinasikan dengan PVD adalah sebesar 1,048 dan lereng mengalami deformasi maksimum sebesar 2,421 m. Angka keamanan yang diperoleh adalah lebih kecil daripada angka keamanan minimal untuk keruntuhan yaitu sebesar 1,50, sehingga lereng akan mengalami keruntuhan jika beban akibat berat sendiri bekerja secara maksimal. Namun, setelah beban *preloading* tahap 2 terjadi peningkatan angka keamanan sebesar 1,526 dan deformasi maksimum sebesar 0,6781 m. Pada kondisi konsolidasi 90%, angka keamanan diperoleh 1,652 dengan maksimum deformasi sebesar 0,4221 m. Saat pelaksanaan konstruksi jalan akses dermaga /

terminal TUKS diperoleh angka keamanan 1,819 dengan deformasi maksimum 0,3883 m (Gambar 10). Saat operasional dermaga dioperasikan dan masa layan jalan akses dicapai angka keamanan yang menurun sebesar 1,674 dengan deformasi sebesar 0,503 m sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 10. Nilai yang dicapai setelah 10 tahun masih dalam batas-batas toleransi angka keamanan yang disyaratkan, dengan demikian bisa diprediksi setelah tercapai keseimbangan deformasi maksimum angka terjadi lebih kecil setelah 10 tahun. Dari hasil – hasil angka keamanan yang diperoleh terlihat terjadi fluktuasi angka keamanan dan deformasi, dengan demikian bisa diketahui bahwa struktur dinding penahan tanah (*revetment*) efektif untuk menambah keamanan terhadap kelongsoran ke arah sungai dan sebagai beban imbang terhadap terjadinya pergerakan tanah.



Gambar 9. Arah gerakan tanah dan penurunan tipikal akibat *pre-loading* tahap 1 dan 2 yang dikombinasikan dengan pemasangan PVD



Gambar 10. Arah gerakan tanah dan penurunan tipikal saat pelaksanaan konstruksi jalan akses dermaga / terminal TUKS

4. RESUME DAN KESIMPULAN

Dari uraian sebelumnya, maka desain dermaga memiliki fungsi ganda, yaitu sebagai bagian operasional pelabuhan dan sebagai penahan kelongsoran (*sliding*) dan atau pergerakan horizontal (*horizontal displacement*) lapisan atas lahan power plant. Oleh karena lahan power plant umumnya adalah lapisan lunak (*soft soil*), maka secara teoritis sistem pondasi dalam (*deep foundation*) harus diletakkan pada lapisan keras pada kedalaman ≥ 30 m sebagai kantilever untuk menahan pergerakan lateral di muka pelabuhan atau dermaga (*jetty*) TUKS. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pondasi dalam umumnya tidak memerlukan proses konsolidasi (instant), dan tentunya relatif sangat mahal. Untuk menghindari biaya tinggi dalam pelaksanaan, maka dibutuhkan suatu alternatif-alternatif secara teknis. Salah satu metode yang digunakan dan relatif cocok dengan kondisi fisik tanah lunak di lokasi studi, maka digunakan sistem stabilisasi tanah lunak dengan menggunakan sistem PVD (*prefabricated vertical drain*).

Sehubungan dengan desain dermaga TUKS, maka digunakan sistem pemasangan tanggul pengikat (*revetment*) berupa tumpukan berbentuk trapesium dari bahan batu belah/kali/laterit, sehingga tidak terjadi longsoran saat pemberian pra-pembebanan atau preloading. Selain bisa digunakan sebagai areal atau lahan penumpukan material bio-massa, lahan juga mampu untuk menahan pergerakan lateral di atas lapisan tanah dan sekaligus menambah pra-pembebanan. Seiring dengan waktu, maka akan terjadi proses konsolidasi, dan lapisan tanah akan mengalami peningkatan parameter kekuatan geser (c' dan ϕ') yang signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A Verruijt. 2006. Soil Mechanic. Delft University of Technology Publisher.
- [2] Barron, R. A. 1948. Consolidation of fine-grained soils by drains wells. *Transportation Journal*, ASCE, Vol. 113, Paper No. 2346. pp. 718 -754.
- [3] Bolton, M.D. 1986. The strength and dilatancy of sands. *Geotechnique* 36, No. I. pp. 65-78.
- [4] Bowles, J.E. 1997. *Foundation Analysis and Design*. The McGraw-Hill Companies, Inc. International Edition.
- [5] Carter, M., and Bentley, S. P. 1991. *Correlations of Soil Properties*. Pentech, London
- [6] Das, B.M. 2011. *Principles of Foundation Engineering*. Publisher, Global Engineering: Christopher M. Shortt 7th Edition.
- [7] Di Matteo, L, Valigi D., Ricco, R. 2013. Laboratory shear strength parameters of cohesive soils: variability and potential effects on slope stability. *Bull Eng Geol Environ* 72(1), pp. 101–106.
- [8] El-Ramly, H., Morgenstern N,R, Cruden, D.M., 2003. Probabilistic stability analysis of a tailings dyke on presheared clay– shale. *Can Geotech J* 40(1), pp.192–208.
- [9] Griffiths, D.V, Huang, J., Fenton. G.A. 2009. Influence of spatial variability on slope reliability using 2-D random fields. *J Geotech Geoenviron Eng ASCE* 135(10), pp.1367–1378.
- [10] Holtz, R.D., and Kovacs, W.D. 1981. *An Introduction to Geotechnical Engineering*, Prentice Hall Inc., New Jersey.
- [11] Hansbo, S. 1997. *Practical aspects of vertical drain design*. Proceedings of the 14th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Hamburg, Vol. 3, pp. 1749–1752.
- [12] Jamiolkowski M., Lancellotta R., Pasqualini E., Marchetti S. and Nova R. 1979. *Design Parameters for soft clays*. General Report, Proceedings 7th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, No. 5, pp 27–57.
- [13] Jiang S.H., Li D.Q., Zhang, L.M, Zhou, C.B. 2014. Slope reliability analysis considering spatially variable shear strength parameters using a non-intrusive stochastic finite element method. *Eng Geol* 168(January), pp. 120–128.
- [14] Kulhawy, F.H., and Mayne, P.H. 1990. *Manual on estimating soil properties for foundation design*, Report EL-6800 Electric Power Research Institute, EPRI, August.
- [15] Lambe, T., and Whitman, R. 1969. *Soil mechanics*, John Wiley & Sons Inc., New York.
- [16] Look, K. 2007. *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. Published by: Taylor & Francis/Balkema.
- [17] NAVFAC. 1986. *Soil Mechanics*. Design Manual 7.01, Naval Facilities Engineering Command, Virginia.
- [18] Robertson, P.K., and Campanella, R.G., 1983a. Interpretation of cone penetration tests – Part I (sand). *Canadian Geotechnical Journal*, 20(4), pp. 718-733.
- [19] Robertson, P.K., and Campanella, R.G. 1983b. Interpretation of cone penetration tests – Part II (clay). *Canadian Geotechnical Journal*, 20(4), pp. 734-745.
- [20] Robertson, P.K. 2009. Interpretation of cone penetration tests – a unified approach, *Canadian Geotech. J.*, 46(11). Pp.1337–1355.
- [21] Schmertmann, J.H. 1978. *Guidelines for cone penetration test, performance and design*, US Federal Highway Administration, Washington, DC, Report FHWA TS-78-209.
- [22] Suchomel R., and Massin, D. 2010. Comparison of different probabilistic methods for predicting stability of a slope in spatially variable c - ϕ soil. *Comp Geotech* 37(1–2), pp. 132–140.
- [23] SNI 8460 – 2017, *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [24] Taylor, D. W. 1948. *Fundamentals of Soil Mechanics*. Wiley, New York.
- [25] Zhang J, Tang WH, Hon M, Zhang LM (2010) Efficient probabilistic back-analysis of slope stability model parameters. *J Geotech Geoenviron Eng ASCE* 136(1), pp: 99–109.
- [26] Zhou G, Esaki T, Mitani Y, Xie M, Mori J (2003) Spatial probabilistic modeling of slope failure using an integrated GIS Monte Carlo simulation approach. *Eng Geol* 68(3–4), pp. 373–386.

SENSITIFITAS ASPAL MODIFIKASI TERHADAP TEMPERATUR

Retno Utami¹, Asri Novia², Sarah Nurul Mahfuzah³, Ananda Amatory Zahra⁴

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : retnoutami@polban.ac.id

²Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : asri.novia.tpjj18@polban.ac.id

³Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : sarah.nurul.tpjj18@polban.ac.id

⁴Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : ananda.amatory.tpjj19@polban.ac.id

ABSTRAK

Indonesia sebagai negara tropis di dunia yang memiliki 2 musim, yaitu musim hujan dan musim kemarau yang temperaturnya cenderung sering berubah-ubah secara drastis. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian mengenai kadar optimal bahan tambah untuk aspal yang memiliki sensitivitas rendah terhadap temperatur, agar aspal tersebut keras dan tahan terhadap perubahan temperatur. Penelitian ini dilakukan menggunakan data sekunder dari pengujian Mahasiswa MTRI Polban. Data yang digunakan adalah pengujian penetrasi dan titik lembek aspal modifikasi *gilsonite* dengan kadar 2,5% ; 3,5% ; 4,5% ; 5,5% ; 6,5% ; 7,5% ; 8,5% ; pengujian penetrasi dan titik lembek aspal modifikasi karet SIR20 dengan kadar 0% ; 2% ; 4% ; 6% ; 7% ; 8% ; 9% ; 11% ; 13% ; serta pengujian penetrasi dan titik lembek aspal modifikasi PET dengan kadar 0% ; 3% ; 6% ; 9% ; 12%. Penentuan sensitivitas aspal dilihat dari nilai PI, dimana semakin tinggi nilai PI maka semakin rendah sensitivitasnya terhadap perubahan temperatur. Hasil penelitian menunjukkan urutan aspal modifikasi yang lebih baik digunakan yaitu dengan urutan aspal modifikasi dengan karet SIR20 – aspal modifikasi dengan *gilsonite* – aspal modifikasi dengan PET.

Kata Kunci: *aspal modifikasi, sensitivitas, temperature*

ABSTRACT

Indonesia is a tropical country in the world which only has 2 seasons, rainy and dry season where the temperature tends to change drastically. Therefore, it is necessary to do research on optimal levels of added materials for asphalt which have low sensitivity to temperature, so that the asphalt is hard and strong against temperature changes. This study uses secondary data from MTRI Polban student examiners. The data used were penetration testing and softening point of *gilsonite* modified asphalt with levels of 2,5%; 3,5%; 4,5%; 5,5%; 6,5%; 7,5%; 8,5%; penetration testing and softening point of SIR20 modified asphalt with levels of 0%; 2%; 4%; 6%; 7%; 8%; 9%; 11%; 13%; also penetration testing and softening point of PET modified asphalt with levels of 0%; 3%; 6%; 9%; 12%. Determination of asphalt sensitivity is seen from the PI value, the higher PI value, the lower sensitivity to temperature changes. The results showed that the modified asphalt was better used based on temperature sensitivity, as followed sequence, the modified asphalt sequence with SIR20 rubber - modified asphalt with *gilsonite* - modified asphalt with PET.

Keywords: *modified asphalt, sensitivity, temperature*

1. PENDAHULUAN

Negara tropis adalah negara yang hanya memiliki dua musim saja, yaitu musim penghujan dan musim kemarau, Salah satu negara tropis di dunia yaitu Indonesia. Menurut Badan Klimatologi dan Geofisika, musim penghujan terjadi pada bulan Oktober hingga Maret, sedangkan musim kemarau biasanya berlangsung pada bulan April hingga September. Indonesia memiliki karakteristik suhu rata-rata 35°C dimana masing-masing daerahnya memiliki suhu yang beragam. Perbedaan suhu setiap daerah memiliki kebutuhan yang berbeda-beda untuk kenyamanan transportasi. Untuk memenuhi kebutuhan transportasi dan meningkatkan kinerja struktur perkerasan lentur jalan sesuai dengan kondisi iklim dan beban lalu lintas di Indonesia, maka penggunaan aspal modifikasi dipilih sebagai salah satu alternatif untuk dapat menunjang hal tersebut. Sebagai alternatif untuk mencapai kenyamanan transportasi, aspal modifikasi yang digunakan harus memiliki ketahanan terhadap perubahan temperatur agar aspal modifikasi yang digunakan dapat berfungsi dengan maksimal [1]. Aspal bersifat *thermoplastic*, yaitu kemampuan untuk berubah sesuai dengan temperatur di sekitarnya. Untuk mengurangi perubahan yang ekstrem pada aspal, maka dilakukan modifikasi pada aspal yaitu dengan menambahkan bahan tambah seperti *gilsonite* dan polimer. Penambahan bahan tambah pada aspal tentu akan mengakibatkan perubahan karakteristik pada aspal tersebut. Setiap bahan tambah memiliki karakteristik yang berbeda-beda sehingga sensitivitas aspal modifikasi yang dihasilkan akan beragam. Beberapa penelitian skala laboratorium yang dilakukan program studi Magister Rekayasa Infrastruktur Politeknik Negeri Bandung menunjukkan bahwa aspal modifikasi dengan polimer memiliki nilai titik lembek dan penetrasi yang berbeda [2][3][4][5][6]. Aspal modifikasi dengan karet SIR20

merupakan modifikasi aspal dengan polimer jenis elastomer. Pemanfaatan karet SIR20 pada aspal modifikasi memiliki banyak keuntungan, yakni solusi untuk menaikkan harga karet SIR20 atau karet alam di Pasar Internasional, meningkatkan kinerja ACWC dalam mengurangi deformasi, tahan terhadap gesekan dan memiliki ikatan antar partikel atau daya rekat yang baik. Namun, pemanfaatan karet SIR20 masih kurang diminati karena waktu pencampuran karet SIR20 dengan aspal yang cukup lama karena rantai molekulnya yang masih panjang [7]. Dalam konstruksi perkerasan jalan, bahan tambah *gilsonite* dapat meningkatkan daya lekat antar agregat [2]. Aspal modifikasi dengan *Polyethylene Terephthalate* (PET) adalah modifikasi aspal dengan polimer jenis plastomer. PET ini adalah material yang sering dipakai untuk botol plastik. Dengan digunakannya PET ini menjadi bahan tambah aspal, maka hal ini termasuk daur ulang PET, juga mengurangi limbah plastic di Indonesia [8]. Berdasarkan ketiga jenis bahan polimer tersebut, belum terlihat polimer mana yang menunjukkan sensitivitas aspal modifikasi terhadap perubahan suhu. Hal ini dilakukan untuk mengetahui polimer mana yang lebih cocok penggunaannya dalam konstruksi campuran beraspal yang efektif dan efisien dari segi pemilihan material modifikasi aspal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aspal Modifikasi

Lebih dari 15 tahun yang lalu, di luar negeri mulai diperkenalkan aspal modifikasi (Superphalt, Mexphalt, Cariphalt, Caribit, dll) dengan memiliki tujuan: mencegah keretakan di waktu musim dingin, mencegah perubahan bentuk aspal secara permanen pada beban berat di waktu musim panas, dan sangat diharapkan akan lebih awet terhadap oksidasi terik matahari. Pada tahun 1995, di Indonesia diperkenalkan aspal modifikasi oleh Shell (KRTJ di Padang), dan digelar produksi lokal di Jalan Tol Simatupang pada tahun 1996 yang berupa lapisan tipis di atas perkerasan beton semen dengan hasil yang mencapai umur lebih dari 12 tahun (selulosa+latex+aspal) [9].

2.2 Jenis Aspal Modifikasi

Dalam modifikasi aspal polimer, jenis polimer yang sering digunakan adalah polimer plastomer dan polimer elastomer [8]. Hakikatnya, fungsi plastomer adalah untuk mengubah aspal supaya menjadi lebih kuat atau kaku. Sedangkan elastomer memiliki fungsi agar aspal menjadi lebih kuat atau kaku dan agar aspal menjadi elastis. Oleh karena itu, elastomer dan plastomer kegunaannya sama-sama agar aspal memiliki kekuatan yang lebih tinggi terhadap perubahan bentuk atau *rutting*. Dan khusus untuk elastomer kegunaannya juga agar meningkatkan kelenturan aspal sehingga lebih kuat terhadap retak pada saat temperatur rendah.

2.2.1 Aspal Modifikasi Karet Alam/SIR20

Menurut Le Brass pada tahun 1968 [10] karet alam atau karet SIR20 merupakan senyawa hidrokarbon yang didapat melalui penggumpalan getah dari hasil penyadapan tanaman tertentu. Getah tersebut terkenal dengan sebutan lateks atau suatu cairan putih yang keluar dari batang tanaman yang disadap.

Aspal karet alam menurut SNI 6749: 2008 adalah aspal keras yang dimodifikasi dengan polimer jenis elastomer. Karet alam sebagai sifat elastomer, berperan sebagai modifikasi polimer yang dapat mengubah kinerja jalan aspal konvensional saat ini terhadap perubahan suhu dan beban lalu lintas. Berbagai penelitian telah dilakukan pada karet alam berdasarkan aspek kompatibilitas dan interaksi yang berbeda antara polimer dan aspal yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja material yang dimodifikasi. Dari tinjauan tersebut, karet alam yang digunakan dalam bentuk lateks pekat, *Ribbed Smoked Sheet* (RSS) dan *Liquid Natural Rubber* (LNR) menunjukkan harapan dalam memperbaiki campuran aspal [6].

2.2.2 Aspal Modifikasi PET

PET adalah poliester termoplastik linier yang digabungkan melalui TPA/*esterifikasi asam tereftalat* dan EG/*etilen glikol* atau bisa juga dengan DMT/*transesterifikasi dimetil tereftalat* dan EG. PET mempunyai kekuatan menyerap uap air yang rendah, dan juga kekuatan serap terhadap air. PET digunakan dengan sangat luas, salah satunya untuk botol air mineral, saus, kemasan sirup, selai, *soft drink*, kemasan sirup, minyak makan [11].

Hasil penelitian dari Nugrohojati pada tahun 2002 [11], dijelaskan bahwa dengan adanya PET atau plastik diyakini dapat meningkatkan kekerasan atau kekakuan suatu campuran. Di dalam penelitian tersebut, campuran dengan kadar aditif 0,3% pada kadar aspal 7,3% dan 6,8% menghasilkan nilai stabilitas yang lebih tinggi daripada campuran dengan kadar aditif 0,2% pada kadar aspal yang sama, yakni 7,3% dan 6,8%.

2.2.3 Aspal Modifikasi Gilsonite

Referensi [12] menjelaskan bahwa *gilsonite* adalah mineral hidrokarbon alami yang memiliki warna kecokelatan dan amat rapuh. *Gilsonite* memiliki komposisi kimia dengan kandungan *asphaltene* sebesar 70,9% yang termasuk kadar paling tinggi di antara bahan aditif lain, sehingga diharapkan *gilsonite* dapat memperbaiki kelekatan dengan agregat dan mengurangi *water stripping*. *Gilsonite* memiliki kemampuan untuk dapat digunakan sebagai bahan tambah atau aditif dengan tujuan meningkatkan kualitas sifat kimiawi dan fisik aspal minyak karena memiliki sifat yang sama antara aspal dan *gilsonite*.

2.3 Indeks Penetrasi

Indeks penetrasi merupakan salah satu parameter yang dapat digunakan untuk mengetahui sensitivitas aspal terhadap perubahan temperatur. Nilai indeks penetrasi berbanding terbalik dengan sifat sensitivitas aspal, dimana semakin tinggi nilai indeks penetrasi, maka akan semakin rendah sifat sensitivitas aspal terhadap perubahan temperatur. Nilai indeks penetrasi ditentukan oleh keterkaitan antara nilai titik lembek aspal dan nilai penetrasi aspal. Menurut Lees G pada tahun 1982 [1] kaitan nilai PI dengan sifat aspal ditunjukkan pada Tabel 1. *Temperature susceptibility* menunjukkan bagaimana perubahan sifat aspal seiring berubahnya suhu seperti terlihat pada parameter aktivasi energi, indeks penetrasi dan *viscosity-temperature susceptibility* [13].

Tabel 1 Hubungan Antara Nilai PI dan Sifat Aspal

Nilai PI	Sifat Aspal
>2	“ <i>temperature susceptibility</i> ” rendah
+2 s/d -2	“ <i>temperature susceptibility</i> ” normal
< -2	“ <i>temperature susceptibility</i> ” tinggi

3. METODOLOGI

3.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan kegiatan/bagian memahami atau mendalami pengertian dari sumber atau *source* yang dapat menjadi beberapa bahan landasan teori atau studi pustaka terhadap kajian sensitivitas aspal modifikasi terhadap temperatur.

3.2 Pengumpulan Data Sekunder Nilai Titik Lembek dan Penetrasi

Data sekunder yang dikumpulkan berupa data titik lembek dan nilai penetrasi dari pengujian yang dilakukan mahasiswa MTRI di laboratorium Bahan JTS. Bahan yang digunakan oleh mahasiswa MTRI tersebut adalah aspal modifikasi dengan variasi polimer dan bahan alami. Data sekunder didapatkan dengan melakukan inventarisasi dari buku tesis MTRI dan klarifikasi langsung dengan mahasiswa MTRI yang telah melakukan pengujian di laboratorium.

3.3 Analisis Nilai Indeks Penetrasi

Bentuk dari material aspal pada temperatur ruangan adalah padat sampai semi-padat dan aspal merupakan material yang bersifat termoplastis [7]. Ketika aspal dipanaskan, terjadi penurunan ikatan fisika-kimia pada aspal yang mengakibatkan bagian-bagian rantai tunggal pada molekul aspal mudah bergerak, sehingga terjadi penurunan sifat kekentalan dan kekakuan pada aspal.

Nilai indeks penetrasi aspal (PI) menunjukkan perubahan sifat kekakuan dan kekentalan aspal yang terjadi akibat adanya perubahan temperatur [7]. Nilai PI menunjukkan ketahanan atau kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur, dimana semakin tinggi nilai indeks penetrasi, aspal akan semakin tahan dan kaku terhadap perubahan temperatur.

Nilai indeks penetrasi (PI) adalah fungsi dari nilai A yang didapatkan dari nilai penetrasi aspal, pen T_1 dan pen T_2 , pada temperatur yang berbeda, T_1 dan T_2 . Untuk menghitung nilai A, digunakan Persamaan (1) menurut Pfeiffer dan Van Doormall seperti di bawah ini:

$$A = \frac{\log pen T_1 - \log pen T_2}{T_1 - T_2} \tag{1}$$

Lalu untuk menghitung nilai indeks penetrasi dari dua jenis aspal yang berbeda digunakan Persamaan (2) seperti dibawah ini:

$$PI = \frac{20(1 - 25A)}{1 + 50A} \tag{2}$$

Hasil dari perhitungan PI atau Indeks Penetrasi di *input* ke dalam grafik Ms. Excel dengan nilai kadar bahan tambah sebagai absis (X) dan nilai indeks penetrasi sebagai ordinat (Y), lalu dilakukan analisis regresi linear dengan cara membuat *trendline* atau garis kecenderungan dari grafik kadar bahan tambah terhadap nilai indeks penetrasi. Dari garis itu dapat dilihat

kecenderungan data pengujian baik apa tidak dengan cara dilihat kedekatan posisi titik plot dengan garis tersebut. Bila titik plot data pengujian mendekati garis kecenderungan, itu berarti hasil pengujian dapat dikatakan baik.

Dari *trendline* tersebut dianalisis nilai koefisien determinasi atau *R Square* (R^2). Tujuan dari nilai koefisien determinasi adalah untuk memperkirakan pengaruh dari *variable X* terhadap variabel *Y*. R^2 tersebut menyatakan seberapa besar hubungan antara kedua parameter tersebut, jika jauh dari 1,0, maka hubungan tersebut lemah dan jika mendekati 1,0, maka ketergantungan kedua parameter tersebut sangat kuat.

3.4 Penarikan kesimpulan

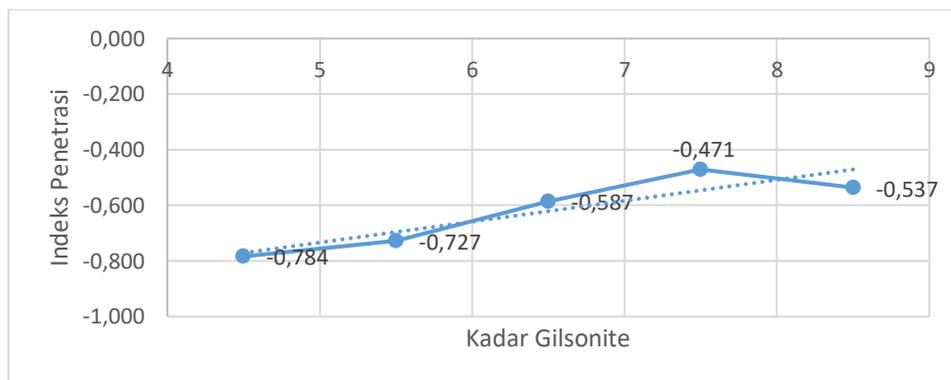
Dalam kesimpulan ini dilakukan pengambilan suatu pernyataan yang mencakup hasil dari analisis. Kesimpulan ini berisi bagaimana sensitivitas beberapa jenis aspal modifikasi terhadap perubahan temperatur dilihat dari besar nilai indeks penetrasi.

4. HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perhitungan

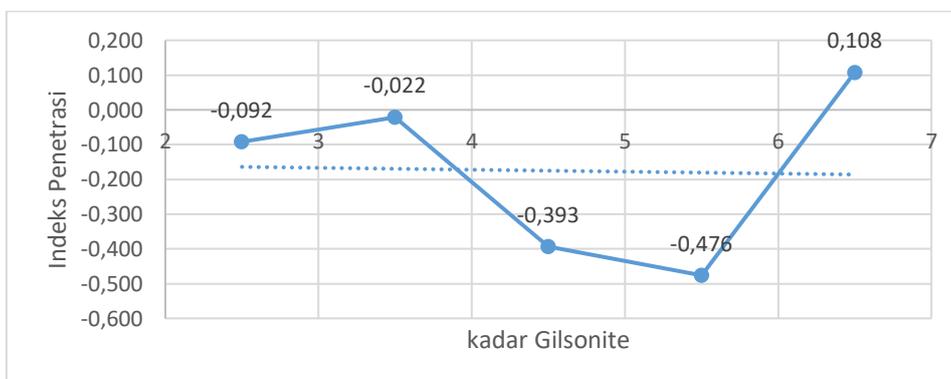
Hubungan antara nilai indeks penetrasi dengan kadar aspal modifikasi tercantum pada grafik dibawah ini.

4.1.1 Aspal Modifikasi *Gilsonite*



Gambar 1. Hubungan Kadar *Gilsonite* dengan Indeks Penetrasi pada pengujian 1

Pada aspal modifikasi *gilsonite* pengujian pertama, didapatkan *trendline linear* dengan persamaan $y = 0,075x - 1,1088$ dan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,8207$. Berdasarkan tabel 1, penambahan kadar *gilsonite* akan menurunkan sensitivitas aspal terhadap perubahan suhu yang ditunjukkan dengan nilai indeks penetrasi semakin mendekati +2. Pada kadar 7,5% terjadi penurunan nilai indeks penetrasi yang menunjukkan meningkatnya sensitivitas aspal terhadap perubahan suhu. Namun, penurunan nilai indeks penetrasi ini tidak berpengaruh secara signifikan.

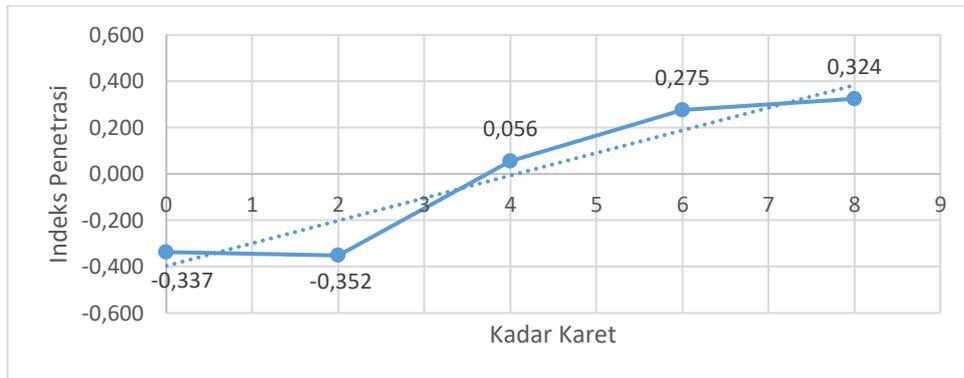


Gambar 2. Hubungan Kadar *Gilsonite* dengan Indeks Penetrasi pada pengujian 2

Pada aspal modifikasi *gilsonite* pengujian kedua, didapatkan *trendline linear* dengan persamaan $y = -0,0055x - 0,1503$ dan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,0012$. Pada pengujian kedua ini, kadar *gilsonite* yang ditambahkan mulai dari kadar 2,5% - 6,5% dan didapatkan hasil tren indeks penetrasi yang berbeda dengan pengujian pertama. Pada pengujian kedua ini didapatkan anomali, yaitu seiring pertambahan kadar *gilsonite* maka aspal akan semakin sensitif terhadap perubahan suhu yang ditunjukkan dengan penurunan nilai indeks penetrasi yang mendekati -2. Hal ini sangat berbeda dengan hasil pada pengujian pertama.

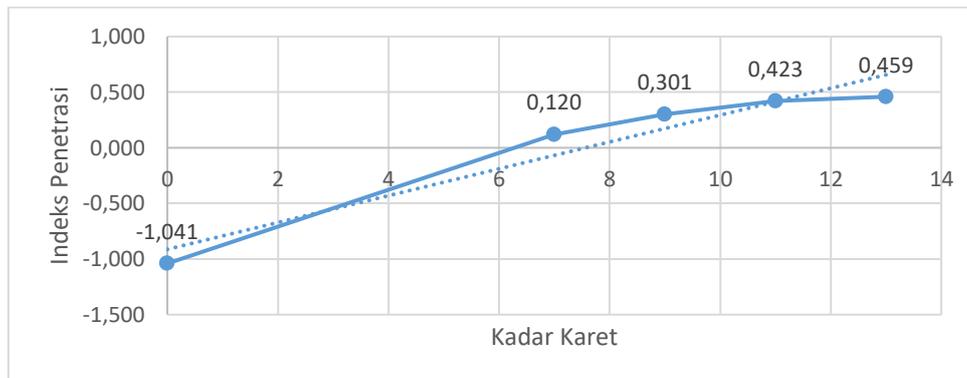
Perbedaan yang terjadi dapat disebabkan oleh suhu pencampuran antara aspal dan *gilsonite* yang kurang optimal ataupun pada proses pengadukan antara aspal dan *gilsonite* yang belum homogen.

4.1.2 Aspal Modifikasi Karet Alam



Gambar 3. Hubungan Kadar Karet dengan Indeks Penetrasi, pada pengujian 1

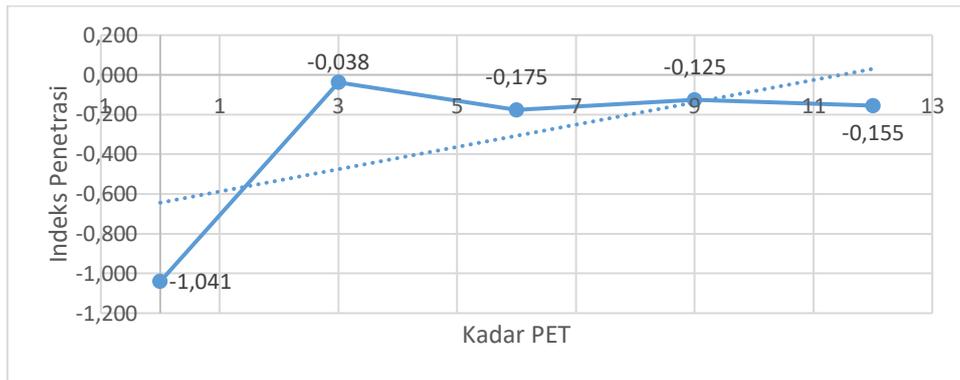
Pada aspal modifikasi karet SIR20 pengujian pertama, didapatkan *trendline* linear dengan persamaan $y = 0,0975x - 0,3966$ dan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,9025$. Berdasarkan tabel 1, penambahan kadar karet akan menurunkan sensitivitas aspal terhadap perubahan suhu yang ditunjukkan dengan nilai indeks penetrasi semakin mendekati +2. Pada penambahan kadar karet sampai dengan 2%, belum terjadi perubahan sifat aspal terhadap temperatur yang signifikan. Namun, pergerakan sifat aspal terhadap temperatur baru terlihat saat penambahan kadar > 2%, dimana aspal dengan penambahan karet akan menjadi lebih tidak sensitive terhadap perubahan suhu yang ditunjukkan dengan naiknya nilai indeks penetrasi dari -0,352 – 0,324. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan karet yang dapat membuat perubahan sifat aspal terhadap perubahan suhu harus dilakukan pada penambahan kadar karet > 2%.



Gambar 4.4 Hubungan Kadar Karet dengan Indeks Penetrasi, pada pengujian 2

Pada aspal modifikasi karet SIR20 pengujian kedua, didapatkan *trendline* linear dengan persamaan $y = 0,1207x - 0,9131$ dan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,9317$. Pada pengujian kedua ini, kadar karet ditambahkan untuk melihat apakah ada titik optimum penambahan kadar karet yang dapat berpengaruh terhadap sifat aspal. Terlihat pada gambar 4.4 bahwa setelah penambahan kadar karet 8%, nilai indeks penetrasi tidak terlalu berubah secara signifikan meskipun semakin mendekati nilai +2% yang menunjukkan bahwa aspal modifikasi karet semakin tidak sensitif terhadap perubahan suhu.

4.1.3 Aspal Modifikasi PET



Gambar 4.5 Hubungan Kadar PET dengan Indeks Penetrasi

Pada aspal modifikasi PET, didapatkan *trendline* linear dengan persamaan $y = 0,0562x - 0,6437$ dan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,4149$. Pada aspal modifikasi dengan PET, nilai indeks penetrasi tidak terlalu berubah secara signifikan setelah penambahan PET > 3% dan menunjukkan bahwa penambahan PET akan menurunkan nilai indeks penetrasi -0,038 menjadi -0,155 semakin mendekati nilai -2% yang menunjukkan bahwa aspal modifikasi karet semakin sensitif terhadap perubahan suhu.

4.2 PEMBAHASAN

4.2.1 Aspal modifikasi *gilsonite*

Pada aspal modifikasi *gilsonite* didapatkan nilai Indeks Penetrasi yang mendekati +2 seiring bertambahnya kadar *gilsonite* sampai titik optimum penambahan kadar *gilsonite* yaitu 7,5% dengan nilai indeks penetrasi 0,471. Hal tersebut menunjukkan sifat aspal yang semakin tidak sensitif dan semakin kuat terhadap temperatur. Referensi [6] berpendapat jika suatu aspal semakin tidak sensitif terhadap temperatur, maka campuran aspal ini semakin kuat terhadap deformasi permanen akibat penambahan beban.

4.2.2 Aspal modifikasi karet SIR20

Pada aspal modifikasi karet SIR20 didapatkan nilai Indeks Penetrasi yang mendekati +2 seiring bertambahnya kadar karet SIR20. Hal ini berarti semakin bertambah kadar karet SIR20 pada campuran aspal, maka sifat campuran aspal ini semakin keras dan semakin tidak sensitif terhadap temperatur. Namun, penambahan kadar karet yang optimum terhadap sensitivitas perubahan suhu terdapat pada kadar karet 8% dengan nilai indeks penetrasi 0,324.

4.2.3 Aspal Modifikasi PET

Pada aspal modifikasi PET didapatkan nilai Indeks Penetrasi yang cenderung berubah-ubah, ketidakstabilan ini disebabkan oleh sifat plastik PET. Jika semakin tinggi persen kadar PET dalam campuran, maka semakin berkurang derajat kepadatan atau semakin tinggi rongga di dalam campuran [11]. Hal ini mengakibatkan aspal tersebut menjadi tidak kuat dan hasil indeks penetrasinya tidak konsisten. Referensi [14] berpendapat bahwa semakin tinggi kadar PET maka nilai kekakuannya semakin menurun. Hal ini disebabkan karena sifat mekanik partikel PET di dalam campuran. Selain itu, titik lembek PET juga lebih tinggi daripada suhu pencampuran sehingga partikel PET-nya tidak meleleh. Partikel PET yang padat dapat membuat campuran lebih fleksibel dan menyebabkan deformasi yang lebih tinggi saat aplikasi pemuatan atau pembebanan.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian sensitivitas aspal terhadap temperatur, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Dari 3 contoh bahan tambah yang digunakan, urutan aspal modifikasi yang lebih baik digunakan yaitu dengan urutan aspal modifikasi dengan karet SIR20 – aspal modifikasi dengan *gilsonite* – aspal modifikasi dengan PET.
- Aspal modifikasi dengan PET dibutuhkan penelitian mendalam mengenai sifat kimiawi dan mekanik dari PET yang digunakan sehingga proses pencampuran antara aspal dan PET dapat lebih homogen dan tercapai derajat kepadatan yang tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih ditujukan pada Politeknik Negeri Bandung yang telah mendanai kegiatan PKM-P yang kami ajukan. Terima kasih tak lupa kami tujukan kepada pembimbing kami Retno Utami, SST. MT. yang senantiasa membimbing dan membantu kami dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Affandi Furqon. 2018. Sifat Campuran Aspal Keras Yang Mengandung Bitumen Asbuton Untuk Konstruksi Campuran Beraspal. *Jurnal Jalan - Jembatan. Volume 24 No 2. 2007*
- [2] Fikri Husnul, A. Subagja, Agustina S.D. Manurung. 2019. Karakteristik Aspal Modifikasi dengan penambahan Limbah Botol Plastik Polyethylene Terephthalate (PET). *10th Industrial Research Workshop and National Seminar*.
- [3] Manurung A S D. 2019. *Kinerja Campuran Asphalt Concrete Wearing Course Dengan Penambahan Serbuk Limbah Botol Plastik Jenis Polyethylene Terephthalate*. Tesis. Politeknik Negeri Bandung: Bandung.
- [4] Oktaviani T. 2018. *Analisis Pengaruh Penambahan Bahan Tambah Gilsonate Terhadap Kinerja Campuran Aspal*. Tesis. Politeknik Negeri Bandung: Bandung.
- [5] Yulianti N P. 2018. Peningkatan Kinerja Modifikasi Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Dengan Penambahan Masterbatch Karet Alam Padat. Tesis. Politeknik Negeri Bandung: Bandung
- [6] Utami R. & Suherman. 2019. Temperature sensitivity effect in asphalt modification with natural rubber sir20. *Material Science and Engineering*. 650
- [7] Indriyati E. W. 2017. Pengaruh Asbuton Murni Terhadap Indeks Penetrasi Aspal. *Jurnal Transportasi*. 17(3) : 185-192.
- [8] Hermadi Madi & Yohanes Ronny. 2015. Pengaruh Penambahan Lateks Alam Terhadap Sifat Reologi Aspal. *Jurnal HPJI. Vol. 1. No. 2 Juli 2015: 105-114*.
- [9] Ir.Suhartono. 2010. *Aspal Modifikasi Ditinjau Dari Kebutuhan Produksi, Penggunaan Dan Pengalaman Pemakaiannya*. Jakarta.
- [10] Salama H. 2010. *Studi Pemanfaatan Karet Alam (Sir 20) Yang Di Degradasi Secara Mekanis Untuk Bahan Aditif Aspal Modifikasi*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor.
- [11] Suhardi. 2016. *Studi Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Dengan Penambahan Limbah Botol Plastik*. Skripsi. Universitas Lampung: Lampung.
- [12] Putra Harizkhan Utama. 2014. *Penggunaan Gilsonite Sebagai Zat Aditif Pada Perkerasan Lentur Jalan Raya Menggunakan Spesifikasi HRS-WC*. Skripsi. Universitas Andalas: Padang.
- [13] Al-Haddad H A & Abed Y H. 2020. *Temperature Susceptibility of Modified Asphalt Binders*. *IOP Conf Ser: Material Science and Engineering*.
- [14] Baghaee Moghaddam, T., Soltani, M., & Karim, M.R. 2014. Stiffness modulus of Polyethylene Terephthalate modified asphalt mixture: A statistical analysis of the laboratory testing results, *Materials and Design*.

PERENCANAAN ANGGARAN BIAYA PEKERJAAN KAYU *STYLE* BALI BERDASARKAN ANALISA HARGA SATUAN LAPANGAN

Ni Kadek Sri Ebtha Yuni¹, I Nyoman Suardika²

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bali, Badung, Bali, 80361

E-mail: ebthayuni@pnb.ac.id

²Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bali, Badung, Bali, 80361

ABSTRAK

Kekhasan pekerjaan kayu *style* Bali berdampak pada tidak ada standar Analisa Harga Satuan pada SNI atau PU, sehingga diperlukan adanya analisis harga satuan pekerjaan khususnya untuk pekerjaan kayu *style* Bali. Penelitian ini dilakukan pada pengrajin di Kabupaten Gianyar. Penelitian dilakukan dengan cara menghitung produktivitas tenaga kerja, kebutuhan material dan alat, survei harga upah dan material. Dalam menyusun RAB dengan 3 alternatif yaitu kombinasi saka, lambang dan pintu *style* Bali dan melakukan wawancara untuk memperoleh data identifikasi faktor yang mempengaruhi harga pekerjaan kayu *style* Bali. Pekerjaan yang ditinjau adalah (1) saka ukir, (2) saka polos, (3) lambang gembol, (4) lambang sari, (5) lambang polos, (6) pintu ukir. Berdasarkan hasil analisis diperoleh Harga pekerjaan saka ukir dengan panjang 3 m adalah Rp 4.815.046/ unit dan saka polos Rp 3.288.025/ unit. Harga lambang gembol per m adalah Rp 3.944.438/ m', Lambang sari Rp 2.500.688/ m' dan lambang polos Rp 1.554.813/ m'. Harga pintu kayu ukir ukuran 800 x 2000 mm Rp 29.002.400/ unit. Adapun spesifikasi dari harga di atas adalah menggunakan material kayu jati kualitas I, *finishing* politur. Biaya *Overhead* & Profit 5 % diasumsikan sama dengan analisa pada SNI yaitu 5%. Dari 3 alternatif yang ditentukan diperoleh RAB alternatif 1 Rp 94,806,962, alternatif 2 Rp 60,501,304, alternatif 3 Rp Rp 77,770,712. Adapun faktor yang teridentifikasi mempengaruhi harga pekerjaan *style* Bali, yaitu umur pekerja, pendidikan, modal usaha, jumlah tenaga kerja, teknologi, pengalaman kerja, produktivitas, pendapatan pengrajin, keahlian, tingkat kesulitan, jenis ukiran, proses produksi.

Kata Kunci: pekerjaan kayu *style* Bali, analisa harga satuan, produktivitas, RAB

ABSTRACT

Currently, the work unit price for Balinese style woodwork is not yet available, so it is necessary to analyze the unit price of the work, especially for Balinese style woodwork. This research was conducted on craftsmen in Gianyar. The research by calculating labor productivity, material and equipment requirements, surveying wage and material prices, compiling a budget plan with three alternatives and conducting interviews to obtain data on the identification of factors that affect the price of Balinese style woodwork. The jobs reviewed are (1) carving saka, (2) plain saka, (3) gembol symbols, (4) sari symbols, (5) plain symbols, (6) carving doors. Based on the results of the analysis, it is found that the price of carving work with a length of 3 m is Rp. 4,815,046 and Rp. 3,288,025. The price of the gembol symbol per m is IDR 3,944,438, - The sari symbol is IDR 2,500,688 and the plain symbol is IDR 1,554,813. The price of carved wooden doors measuring 800 x 2000 mm is Rp. 29,002,400. The specifications of the price above are to use good quality teak wood material, finishing politur. Overhead Cost & Profit 5% is the same as the analysis on SNI, which is 5%. Of the 3 alternatives that are determined, it is obtained alternative RAB 1 Rp. 94,806,962, alternative 2 Rp. 60,501,304, alternative 3 Rp. 77,770,712. The factors identified affect the price of Balinese style work, namely worker age, education, working capital, number of workers, technology, work experience, productivity, craftsmen's income, expertise, level of difficulty, type of carving, production process.

Keywords: woodwork Balinese style, unit price analysis, productivity, RAB

1. PENDAHULUAN

Penggunaan material kayu dan bambu pada konstruksi bangunan tradisional Bali akan mempengaruhi struktur, yang berdampak pada wujud bangunan [1]. Perencanaan estimasi biaya saling berkaitan dengan analisa harga satuan, yang berarti pekerjaan yang menyangkut pengkajian biaya kegiatan-kegiatan terdahulu yang akan digunakan selanjutnya sebagai bahan dalam menyusun perkiraan biaya [2]. Harga satuan pekerjaan di setiap daerah berbeda-beda, baik harga bahan maupun upah pekerja berbeda sehingga dalam perhitungan dan perencanaan anggaran biaya suatu bangunan/ proyek, harus berpedoman pada harga satuan bahan, upah tenaga kerja di pasaran dan lokasi di proyek [3]. Penyusunan analisa harga satuan diawali dengan menentukan besarnya produktivitas tenaga kerja, dan kebutuhan sumber daya bahan, alat yang diperlukan.

Besarnya produktivitas pekerja menunjukkan kemampuan tenaga kerja dalam menyelesaikan kuantitas pekerjaan. Setiap pekerja memiliki produktivitas yang berbeda-beda [10]. Hal tersebut dipengaruhi adanya faktor – faktor produktivitas antara

lain meliputi: pengalaman, pengetahuan, usia, dan sebagainya. Pengalaman kerja berpengaruh positif dan signifikan terhadap produktivitas pengrajin dengan nilai β yaitu 0,621 [4]. Secara parsial teknologi tidak berpengaruh terhadap produksi Industri kerajinan ukiran kayu, sementara modal dan tenaga kerja berpengaruh positif dan signifikan terhadap produksi Industri kerajinan ukiran kayu di Kecamatan Ubud Kabupaten Gianyar [5].

Pembuatan bangunan *style* Bali pada umumnya ditawarkan secara borongan atau lumpsum. Karena kondisi ini, sulit bagi pemilik proyek dalam memperkirakan anggaran biaya yang diperlukan dalam proses pembuatan bangunan dengan material kayu ukir *style* Bali, dengan menggunakan beberapa jenis saka, lambang, dan pintu. Berdasarkan permasalahan inilah perlu dilakukan analisis untuk menentukan harga satuan pekerjaan kayu *style* Bali. Dari harga satuan bisa dilakukan perhitungan rencana anggaran biaya bangunan yang menggunakan kayu *style* Bali. Pada penelitian ini juga bertujuan untuk menghitung analisa harga satuan, menghitung RAB dengan 3 alternatif, mengidentifikasi faktor yang mempengaruhi harga pekerjaan *style* Bali. Adapun pekerjaan yang menjadi lingkup penelitian adalah (1) saka ukir, (2) saka polos, (3) lambang gembol, (4) lambang sari, (5) lambang polos, (6) pintu ukir.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Analisis harga satuan pekerjaan adalah suatu cara perhitungan harga satuan pekerjaan konstruksi yang dijabarkan dalam perkalian kebutuhan bahan bangunan, upah kerja, dan peralatan dengan harga bahan bangunan, standar pengupahan pekerja dan harga sewa / beli peralatan untuk menyelesaikan per satuan pekerjaan konstruksi. Analisis harga satuan pekerjaan ini dipengaruhi oleh angka koefisien yang menunjukkan nilai satuan bahan/material, nilai satuan alat, dan nilai satuan upah tenaga kerja ataupun satuan pekerjaan yang dapat digunakan sebagai acuan/panduan untuk merencanakan atau mengendalikan biaya suatu pekerjaan. Koefisien tenaga kerja ditentukan untuk mengetahui jumlah tenaga kerja dan waktu yang digunakan untuk menyelesaikan satu item pekerjaan dengan volume tertentu [6], dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Koefisien Man Hour} = \frac{\text{Jumlah Tenaga Kerja (orang) x Durasi Pekerjaan (jam)}}{\text{Volume Pekerjaan' / jam}} \quad (1)$$

Upah tenaga kerja yang dibayarkan dihitung dalam satuan hari, maka perlu diketahui koefisien man day dari tenaga kerja. Dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\text{Koefisien Man Day} = \frac{\text{Koefisien Man Hour}}{\text{Jumlah Jam Kerja dalam 1 Hari}} \quad (2)$$

Analisis bahan, ialah menghitung volume masing-masing bahan, serta besarnya biaya yang dibutuhkan. Sedangkan yang dimaksud dengan analisis upah pekerjaan ialah, menghitung banyaknya tenaga yang diperlukan, serta besarnya biaya yang dibutuhkan untuk pekerjaan tersebut. Kebutuhan bahan dan upah tenaga kerja dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut:

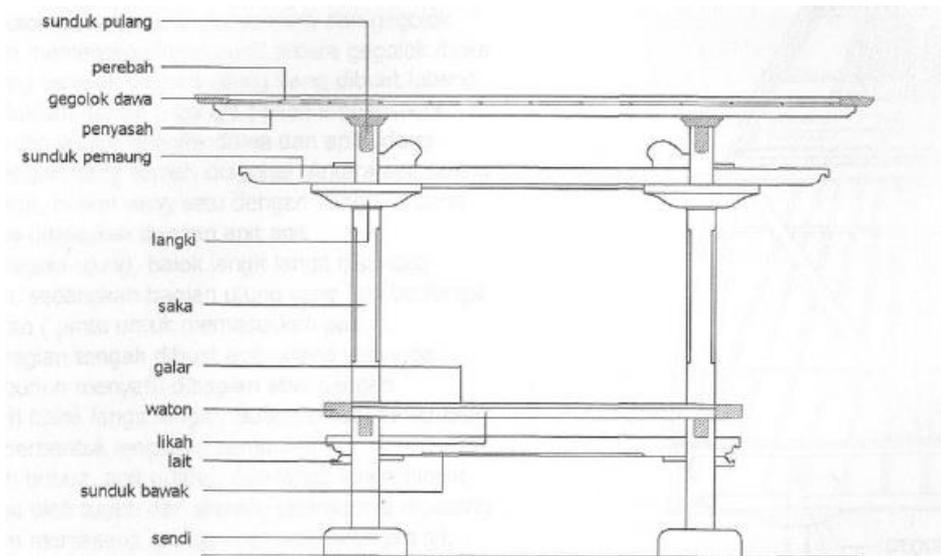
1. Bahan = Volume Pekerjaan x Koefisien Analisis bahan
2. Tenaga Kerja = Volume Pekerjaan x Koefisien Analisis tenaga kerja

Untuk menentukan biaya suatu unit pekerjaan sebagai bagian dari kegiatan proyek, dilakukan estimasi biaya [7]. Perkiraan biaya atau estimasi biaya adalah seni memperkirakan (*the art of approximating*) kemungkinan jumlah biaya yang diperlukan untuk suatu kegiatan yang didasarkan atas informasi yang tersedia pada waktu itu. Dalam prosesnya, tiap-tiap kategori estimasi harus secara hati-hati dipersiapkan dari tingkat estimasi konseptual sampai pada estimasi detail untuk memperoleh keakuratan estimasi biaya konstruksi.

Ukiran Bali terdiri dari beberapa jenis yaitu [11] :

1. Papatran, yang merupakan jenis ukiran yang bermotifkan dari dedaunan (Patra) dan memiliki hiasan bermotif bunga-bunga. Misalnya Patra Sari ditempatkan pada bidang yang sempit seperti tiang-tiang dan blandar, patra lainnya adalah patra pid-pid, patra samblung, patra pal, patra ganggong, patra sulur dan lain-lain. Jenis ragam hias ini berwujud gubahan-gubahan keindahan hiasan dalam *patern-patern* yang juga disebut patra. Ide dasar papatran banyak diambil dari bentuk-bentuk keindahan flora.
2. Kekarangan, yang merupakan bentuk ukiran yang bermotifkan dari bentuk-bentuk makhluk binatang yang biasanya ditonjolkan pada bagian kepala. Menampilkan suatu bentuk hiasan dengan suatu karangan yang berusaha mendekati bentuk-bentuk flora yang ada dengan penekanan bagian-bagian keindahan.
3. Keketusan, mengambil bagian terpenting dari suatu tumbuh-tumbuhan yang dipolakan berulang dengan pengolahan untuk memperindah penonjolannya. Keketusan dalam ragam hias tradisional sangat banyak jenisnya, seperti: keketusan wangga yang menggambarkan bunga-bunga besar yang mekar dari jenis tanaman yang berdaun lebar

Bagian badan bangunan terdiri dari beberapa bagian yang dapat dijelaskan pada gambar potongan struktur berikut:



Gambar 1. Bagian Bangunan Kayu *Style* Bali

3. METODELOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada pekerjaan kayu *style* Bali yang ada di Kabupaten Gianyar. Metode pengolahan data yang digunakan yaitu deskriptif kuantitatif dengan pengamatan langsung di lapangan dan melakukan wawancara. Data wawancara yang dikumpulkan akan menghasilkan yaitu : karakteristik responden berdasarkan umur, pendidikan, pengalaman kerja, wilayah dan analisis harga satuan pekerjaan kayu *style* Bali. Hasil observasi adalah berupa jenis pekerjaan, volume pekerjaan yang dikerjakan, waktu pelaksanaan, jumlah tenaga kerja. Pekerjaan kayu *style* Bali yang dianalisis adalah (1) pekerjaan saka kayu *style* Bali, (2) pekerjaan lambang kayu *style* Bali, (3) pekerjaan pintu kayu *style* Bali. Secara singkat, tahapan-tahapan dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data sekunder berdasarkan penelitian terdahulu.
2. Mengumpulkan data primer yang diperoleh langsung dari lapangan dengan metode observasi dan wawancara. Data hasil wawancara diperoleh data harga bahan dan upah pekerjaan, identifikasi faktor yang mempengaruhi harga pekerjaan. Observasi memperoleh data berupa: (a) volume pekerjaan, (b) waktu pekerjaan, (c) jumlah tenaga kerja, (d) jenis pekerjaan.
3. Melakukan analisis, dengan langkah-langkah analisis data sebagai berikut :
 - a. Pengumpulan data melalui observasi lapangan. Data yang dikumpulkan berupa: jenis pekerjaan yang dikerjakan, jumlah tenaga kerja yang bekerja setiap harinya, volume pekerjaan yang diselesaikan dalam sehari, peralatan yang digunakan, kebutuhan material yang diperlukan.
 - b. Pengolahan data, yaitu:
 - (1) Menghitung produktivitas tenaga kerja dalam satu hari
 - (2) Menghitung koefisien tenaga kerja dalam satuan orang hari (OH)
 - (3) Menghitung kebutuhan material kayu yang digunakan untuk memperoleh koefisien material.
 - (4) Melakukan survei harga material dan upah tenaga kerja.
 - (5) Menyusun analisa harga satuan pekerjaan.
 - (6) Menghitung RAB dengan 3 alternatif.
 - c. Menentukan identifikasi faktor yang mempengaruhi biaya pekerjaan kayu *style* Bali berdasarkan hasil wawancara.

Data sekunder dalam penelitian ini diperoleh dari kajian terhadap jurnal, studi literatur, laporan-laporan yang telah dilaksanakan. Mengumpulkan data primer yang diperoleh langsung dari lapangan dengan metode wawancara. Data hasil wawancara yang dilakukan oleh peneliti di lapangan berupa harga bahan dan upah pekerjaan, identifikasi faktor yang mempengaruhi harga pekerjaan. Data inilah yang nantinya akan digunakan untuk menghitung besarnya produktivitas dan koefisien upah kerja dan bahan. Data-data yang digunakan adalah berupa: (1) volume pekerjaan, (2) waktu pekerjaan, (3) jumlah tenaga kerja, (4) jenis pekerjaan, (5) harga satuan bahan dan upah.

4. PEMBAHASAN

Struktur bangunan tradisional Bali yang ditinjau dalam penelitian ini adalah sebagai berikut : (1) saka ukir, (2) saka polos, (3) lambang gembol, (4) lambang sari, (5) lambang polos, (6) pintu ukir.

4.1 Menghitung Kebutuhan Material

Untuk menghitung analisa harga satuan pekerjaan diawali dengan menghitung kebutuhan bahan. Bahan yang digunakan adalah sesuai persyaratan yang diinginkan yaitu mengenai jenis, kuantitas, maupun komposisi suatu bahan. Berikut merupakan perhitungan kebutuhan bahan untuk pekerjaan kayu *style* Bali. Berikut kebutuhan material kayu:

Tabel 1. Kebutuhan Material Kayu Jati

No	Uraian	Ukuran		Volume (m ³)
		Ukuran Kotor (mm)	Banyak (Btg)	
1	Saka	120 x 120 x 4000	1	0,057
2	Lambang	110 x 220 x 1000	1	0,024
3	Kusen	60 x 120 x 2000	2	0,028
		60 x 120 x 800	1	0,005
4	Daun pintu	20 x 800 x 2000	1	0,032

Hasil perhitungan kebutuhan material berdasarkan data ukuran kayu masing-masing pekerjaan dan jumlahnya, maka diperoleh kebutuhan material kayu jati untuk pekerjaan saka adalah 0,057 m³, lambang 0,024 m³, kusen termasuk daun pintu 0,066 m³.

4.2 Menghitung Produktivitas Tenaga Kerja

Produktivitas adalah perbandingan antara volume yang dikerjakan dengan jumlah waktu yang dibutuhkan untuk mengerjakan pekerjaan tersebut. Berikut adalah produktivitas tenaga kerja pada pekerjaan saka ukir dan polos, lambang gembol, lambang sari, dan lambang polos, pintu ukir *style* Bali:

Tabel 2. Produktivitas Pekerjaan Saka, Lambang, Pintu Ukir

Pekerjaan	Observasi No.	Output (m')	ST (standard time) (menit)	Produktivitas (m/hari)	Tenaga kerja (Orang)	Koefisien (org/jam)	Koefisien (OH)
Saka Ukir	1	0,063	60	0,500	1	16,000	2,000
	2	0,100	60	0,800	1	10,000	1,250
	3	0,138	60	1,100	1	7,300	0,910
	4	0,075	60	0,600	1	13,300	1,670
	Rata-Rata	0,094	60,000	0,750	1,000	11,652	5,83
Saka Polos	1	0,150	60	1,200	1	6,700	0,830
	2	0,225	60	1,800	1	4,400	0,560
	Rata-Rata			3,000			1,390
Lambang Gembol	1	0,038	60	0,300	1	26,700	3,330
	2	0,038	60	0,300	1	26,700	3,330
	3	0,050	60	0,400	1	20,000	2,500
	Rata-Rata			1,000			9,170
Lambang Sari	1	0,075	60	0,600	1	13,300	1,670
	2	0,050	60	0,400	1	20,000	2,500
	Rata-Rata			1,000			4,170
Lambang Polos	1	1,000	60	1,000	1	8,000	1,000
	Rata-Rata			1,000			1,000
Pintu Ukir	1	0,006	60	0,200	2	80,000	10,000
	2	0,006	60	0,150	1	53,300	6,670
	3	0,013	60	0,150	1	53,300	6,670
	4	0,010	60	0,100	1	80,000	10,000

Pekerjaan	Observasi No.	Output (m')	ST (standard time) (menit)	Produktivitas (m/hari)	Tenaga kerja (Orang)	Koefisien (org/jam)	Koefisien (OH)
	5	0,005	60	0,200	2	80,000	10,000
	6	0,013	60	0,150	1	53,300	6,670
	7	0,010	60	0,200	2	80,000	10,000
	8	0,006	60	0,100	1	80,000	10,000
	9	0,009	60	0,200	2	80,000	10,000
	10	0,011	60	0,150	1	53,300	6,670
	Rata-Rata			1,600			86,670

Berdasarkan tabel 2, rata-rata produktivitas pekerja untuk menyelesaikan saka ukir dengan panjang 3 m adalah dibutuhkan tenaga kerja 5,83 orang hari (OH), untuk menyelesaikan saka polos dengan panjang 3 m dibutuhkan tenaga kerja 1,39 orang hari (OH), Untuk menyelesaikan lambang gembol per 1 meter dibutuhkan tenaga kerja 9,17 orang hari (OH), untuk menyelesaikan lambang sari per 1 meter dibutuhkan tenaga kerja 4,17 orang hari (OH), untuk menyelesaikan lambang polos per 1 meter dibutuhkan tenaga kerja 1,00 orang hari (OH), Untuk 1 unit pekerjaan pintu ukir dibutuhkan tenaga kerja 86,67 orang hari (OH).

4.3 Analisa Harga Satuan Pekerjaan Kayu Style Bali

Berdasarkan hasil dari kebutuhan material kayu dan produktivitas tenaga kerja dapat dihitung analisa harga satuan pekerjaan, Spesifikasi pekerjaan kayu style Bali adalah menggunakan material kayu jati kualitas paling bagus, proses pabrikan yaitu pemotongan dan serut menggunakan mesin statis, proses pengupakan atau membentuk kayu menggunakan peralatan manual, Finising menggunakan politur yang diawali dengan proses pengamplasan, jenis ukiran yang digunakan adalah ukiran standar umum, Tenaga kerja menggunakan pekerja lokal Bali asal Gianyar, Adapun analisa hasil perhitungan adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Rekap Analisa Harga Satuan Pekerjaan Saka, Lambang, Pintu Ukir

No	Uraian	Saka Ukir (Rp)	Saka Polos (Rp)	Lambang Gembol (Rp)	Lambang Sari (Rp)	Lambang polos (Rp)	Pintu Ukir (Rp)
A	BAHAN						
	Kayu Jati	2.030.400,000	2.030.400,000	853.050,000	853.050,000	853.050,000	2.291.250,000
	Amplas	5.000,000	2.500,000	1.250,000	1.250,000	1.250,000	2.500,000
	Cat dasar	8.075,000	8.075,000	8.075,000	8.075,000	8.075,000	14.250,000
	Politur	75.000,000	37.500,000	75.000,000	75.000,000	75.000,000	150.000,000
	Jumlah	2.118.475,000	2.078.475,000	937.375,000	937.375,000	937.375,000	2.458.000,000
B	TENAGA KERJA						
	Tukang ukir	1.602.083,330	277.777,780	2.520.833,330	1.145.833,330	275.000,000	23.833.333,33
	Tukang kupak	300.000,000	300.000,000	100.000,000	100.000,000	100.000,000	480.000,000
	Tukang finishing	450.000,000	360.000,000	150.000,000	150.000,000	120.000,000	720.000,000
	Jumlah	2.352.083,330	937.777,780	2.770.833,330	1.395.833,330	495.000,000	25.033.333,33
C	PERALATAN						
	Pabrikan	115.200,000	115.200,000	48.400,000	48.400,000	48.400,000	130.000,000
	Jumlah	115.200,000	115.200,000	48.400,000	48.400,000	48.400,000	130.000,000
D	Jumlah (A+B+C)	4.585.758,330	3.131.452,780	3.756.608,330	2.381.608,330	1.480.7750	27.621.333,33
E	Overhead & Profit	229.287,920	156.572,640	187.830,420	119.080,420	74.038,750	1.381.066,670
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)	4.815.046,250	3.288.025,420	3.944.438,750	2.500.688,750	1.554.813,750	29.002.400,00

Berdasarkan tabel di atas, harga satuan pekerjaan saka per 1 unit dengan panjang 3 m yaitu saka ukir Rp 4.815.046,250 dan saka polos 3.288.025,420 Analisa harga satuan lambang per 1 meter yaitu lambang gembol Rp 3.944.438.750 lambang sari

Rp 2.500.688,750 dan lambang polos Rp 1.554.813,750 Analisa harga satuan untuk 1 unit pintu ukir ukuran 800 x 2000 mm yaitu Rp 29.002.400,000.

4.4 Rencana Anggaran Biaya Pekerjaan Kayu Style Bali

Adapun alternatif rencana anggaran biaya (RAB) pekerjaan kayu *style* Bali adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Rekap Analisa Harga Satuan Pekerjaan Saka. Lambang. Pintu Ukir

No.	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Volume	Satuan
1	Saka Ukir	Saka Polos	Saka Ukir	4	bh
2	Lambang gembol	Lambang polos	Lambang sari	11,8	m
3	Pintu Ukir	Pintu ukir	Pintu Ukir	1	Unit
4	<i>Finishing politure</i>	<i>Finishing politure</i>	<i>Finishing politure</i>		
5	Material kayu jati	Material kayu jati	Material kayu jati		
6	Jenis ukiran menengah	Jenis ukiran menengah	Jenis ukiran menengah		

Masing-masing alternatif dibuat anggaran biaya berdasarkan volume. dan analisa harga satuan yang telah diperoleh. Berikut adalah rencana anggaran biaya masing-masing alternatif:

Tabel 4. Rencana Anggaran Biaya Alternatif 1

No.	Alternatif 1	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Total (Rp)
1	Saka Ukir	4	buah	4.815.046	19.260.185
2	Lambang gembol	11,8	m	3.944.439	46.544.377
3	Pintu Ukir	1	unit	29.002.400	29.002.400
Total					94.806.962

Berdasarkan alternatif 1 dengan menggunakan material kayu jati. saka ukir. lambang gembol. pintu ukir. *finishing politure*. dan jenis ukiran menengah dengan volume seperti pada tabel. diperoleh rencana anggaran biaya sebesar Rp 94.806.962.

Tabel 5. Rencana Anggaran Biaya Alternatif 2

No.	Alternatif 2	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Total (Rp)
1	Saka Polos	4	buah	3.288.025	13.152.102
2	Lambang polos	11,8	m	1.554.814	18.346.802
3	Pintu ukir	1	unit	29.002.400	29.002.400
Total					60.501.304

Berdasarkan alternatif 2 dengan menggunakan material kayu jati. saka polos. lambang polos. pintu ukir. *finishing politure*. dan jenis ukiran menengah dengan volume seperti pada tabel. diperoleh rencana anggaran biaya sebesar Rp 60.501.304.

Tabel 6. Rencana Anggaran Biaya Alternatif 3

No.	Alternatif 3	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Total (Rp)
1	Saka ukir	4	buah	4.815.046	19.260.185
2	Lambang sari	11,8	m	2.500.689	29.508.127
3	Pintu ukir	1	unit	29.002.400	29.002.400
Total					77.770.712

Berdasarkan alternatif 3 dengan menggunakan material kayu jati, saka ukir, lambang sari, pintu ukir, *finishing politure*, dan jenis ukiran menengah dengan volume seperti pada tabel, diperoleh rencana anggaran biaya sebesar Rp 77.770.712.

4.5 Identifikasi Faktor yang Mempengaruhi Harga Pekerjaan Kayu *Style* Bali

Untuk memperoleh identifikasi faktor yang mempengaruhi harga pekerjaan kayu *style* Bali diperoleh melalui wawancara dan *brainstorming* dengan 10 responden yang sudah terpilih. Tidak hanya berupa wawancara dan *brainstorming*, identifikasi faktor yang berpengaruh juga berdasarkan penelitian terdahulu. Adapun identifikasi faktor yang mempengaruhi harga pekerjaan *style* Bali adalah seperti tabel berikut:

Tabel 7. Identifikasi Faktor yang Mempengaruhi Harga Pekerjaan Kayu *Style* Bali

No	Identifikasi	Sumber Identifikasi
1	Umur pekerja	[5]. wawancara
2	Tingkat pendidikan	[5]. wawancara
3	Modal usaha	[4]. [5]. [8]. wawancara
4	Jumlah tenaga kerja	[4]. [5]. [8]. wawancara
5	Teknologi	[4]. [5]. [8]. wawancara
6	Pengalaman kerja	[4]. wawancara
7	Produktivitas Pengrajin	[4]
8	Pendapatan Pengrajin	[4]. [8]
9	Keahlian	wawancara
10	Tingkat kesulitan pekerjaan	wawancara
11	Jenis ukiran	wawancara
12	Proses produksi (pemesanan atau proses)	[9]
13	Harga material	wawancara

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh bahwa harga pekerjaan kayu *style* Bali dipengaruhi oleh 13 hal berdasarkan penelitian terdahulu dan wawancara/ *brainstorming*.

5. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Hasil perencanaan anggaran biaya pada penelitian ini adalah:

1. Harga pekerjaan kayu *style* Bali yang dianalisis adalah pekerjaan saka ukir, saka polos, lambang gambol, lambang sari, lambang polos dan pintu ukir. Masing-masing jenis pekerjaan memiliki analisa harga satuan berbeda-beda. Harga pekerjaan saka ukir dengan panjang 3 m adalah Rp 4.815.046 dan saka polos Rp 3.288.025. Harga lambang gambol per m adalah Rp 3.944.438.- Lambang sari Rp 2.500.688 dan lambang polos Rp 1.554.813. Harga pintu kayu ukir ukuran 800 x 2000 mm Rp 29.002.400. Adapun spesifikasi dari harga di atas adalah menggunakan material kayu jati kualitas I, *finishing politur*. Biaya *Overhead & Profit* 5 % diasumsikan sama dengan analisa pada SNI yaitu 5%.
2. Rencana Anggaran Biaya (RAB) dibuat dengan 3 alternatif berbeda sesuai dengan jenis pekerjaan yang dianalisis. Alternatif 1 dengan menggunakan material kayu jati. saka ukir. lambang gambol. pintu ukir. *finishing politure*. dan jenis ukiran menengah diperoleh rencana anggaran biaya sebesar Rp 94.806.962. Alternatif 2 dengan menggunakan material kayu jati. saka polos. lambang polos. pintu ukir. *finishing politure*. dan jenis ukiran menengah diperoleh rencana anggaran biaya sebesar Rp 60.501.304. Alternatif 3 dengan menggunakan material kayu jati. saka ukir. lambang sari. pintu ukir. *finishing politure*. dan jenis ukiran menengah diperoleh rencana anggaran biaya sebesar Rp 77.770.712.
3. Berdasarkan hasil wawancara dan penelitian terdahulu, adapun faktor yang teridentifikasi mempengaruhi harga pekerjaan *style* Bali ada 13 faktor, yaitu umur pekerja, tingkat pendidikan, modal usaha, jumlah tenaga kerja, teknologi, pengalaman kerja, produktivitas pengrajin, pendapatan pengrajin, keahlian, tingkat kesulitan pekerjaan, jenis ukiran, proses produksi (pemesanan atau proses).

5.2 Saran

Saran yang dapat peneliti berikan mengenai penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan memperbanyak mengambil tinjauan pekerjaan kayu *style* Bali, mengambil data pada beberapa tempat pengrajin kayu *style* Bali, dan diperluas pada Kabupaten lainnya.
2. Penelitian ini bisa dilanjutkan untuk pekerjaan *style* Bali lainnya yang materialnya seperti batu *temple* dan batu ukir.

ACKNOWLEDGMENT

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada keluarga yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam melakukan penelitian. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada tim peneliti yang meluangkan waktu untuk survei pencarian data

REFERENCES

- [1] Primadewi. SPN. 2015. Struktur & Konstruksi Bangunan Tradisional Bale Pengaman di Desa Bayung Gede. Kabupaten Bangli. Universitas Mahasaraswati. Denpasar.
- [2] Sariani. N L A. 2011. Estimasi Biaya Konstruksi Gedung dengan Metode Cost Significant Model (Studi Kasus Proyek Konstruksi Gedung Pemerintah di Kabupaten Jembrana). Universitas Udayana. Denpasar.
- [3] Ibrahim. H. Bachtar. 1993. Rencana Dan Estimate Real Of Cost. Cetakan ke-2. Bumi Aksara. Jakarta
- [4] Muliani. S.M.N. 2015. Pengaruh Pengalaman Kerja Terhadap Produktivitas Pengerajin untuk Menunjang Pendapatan Pengerajin Ukiran Kayu. E-Jurnal Ekonomi Pembangunan Universitas Udayana. Vol. 5. No. 5. Denpasar.
- [5] Yuniartini. S.P.N. 2013. Pengaruh Modal. Tenaga Kerja. dan Teknologi Terhadap Produksi Industri Kerajinan Ukiran Kayu di Kecamatan Ubud. E-Jurnal Ekonomi Pembangunan Universitas Udayana. Vol. 2. No. 2. Denpasar.
- [6] Messah. Y A. dkk. 2013. Analisa Indeks Biaya Untuk Pekerjaan Beton Bertulang Dengan Menggunakan Metode Sni 7394-2008 Dan Lapangan (Studi Kasus Pada Proyek Pembangunan Asrama Stikes Chmk Tahap III).
- [7] Husen. Abrar. 2009. Manajemen Proyek. Andi. Yogyakarta
- [8] Mahayasa. I.B.A. 2017. Pengaruh Modal. Teknologi. dan Tenaga Kerja Terhadap Produksi dan Pendapatan Usaha Kerajinan Ukiran Kayu di Kecamatan Tembuku Kabupaten. E-Jurnal Ekonomi Pembangunan Universitas Udayana. Vol. 6. No. 8. Denpasar.
- [9] Wijayanti. K.D. 2019. Analisis Perbandingan Penggunaan *Job Order Costing Method* dan *Process Costing Method* Untuk Meningkatkan Akurasi Laba Usaha (Studi Kasus pada Stile Bali Ukir Desa Jinengdalem. Kecamatan Buleleng. Kabupaten Buleleng). JIMAT (Jurnal Ilmiah Mahasiswa Akuntansi) Universitas Pendidikan Ganesha. Vol: 10 No: 1. Buleleng.
- [10] Ukkas.I. 2017. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Produktivitas Tenaga Kerja Industri Kecil Kota Palopo. Journal of Islamic Education Management. Vol.2. No.2
- [11] Yoga.W.B.S. dan Eskak.E. 2015. Ukiran Bali dalam Kreasi Gitar Elektrik (*Balinese Carving in Electric Guitar Creation*). Dinamika Kerajinan dan Batik. Vol.32. No.2.

STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN CAMPURAN FLY ASH (FA) DAN EXPANDED POLYSTYRENE (EPS) SEBAGAI ALTERNATIF TIMBUNAN RINGAN PADA LAPISAN SUBGRADE

Hendry¹, Reni Rahmawati², Syifa Andriani²

¹Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung
E-mail: hendry@polban.ac.id

²Lulusan D3 Teknik Konstruksi Sipil, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung

ABSTRAK

Tanah lunak tidak digunakan sebagai timbunan dalam proyek konstruksi, karena memiliki nilai CBR yang rendah tetapi dengan nilai kepadatan kering yang tinggi, ini sangat rentan kegagalan daya dukung pada lapisan tanah dasar konstruksi jalan. Tanah lempung lunak dapat digantikan dengan material lain sebagai timbunan, tetapi akan menambah biaya. Dalam penggunaan tanah lunak sebagai tanah dasar untuk perkerasan jalan, maka penambahan *expanded polystyrene* (EPS) dan *fly ash* (FA) perlu dicoba untuk diteliti. Penelitian dilakukan untuk melihat nilai uji CBR di laboratorium pada campuran tanah lempung, *fly ash* (FA) dan *expanded polystyrene* (EPS). Komposisi campuran dilakukan dengan penambahan EPS sebanyak 0 %; 0,25%; 0,5%; dan 0,75% dengan waktu peram selama 3, 7, 14, 21 hari. Pada penelitian ini komposisi untuk FA ditetapkan sebanyak 16%, diambil berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya. Pada komposisi dengan penambahan EPS sebesar 0,75 % dengan waktu peram 14 hari, merupakan komposisi yang optimal karena menghasilkan nilai CBR tinggi dan γ_d rendah jika dibandingkan dengan tanah lunak, dengan nilai CBR pada kondisi *unsoaked* 2,84% dan d 1,0 gr/cm³ dan kondisi *soaked* 2,27 % dan d 1,1 gr/cm³. Penelitian ini bertujuan seperti penelitian serupa untuk penambahan semen sebagai aktivasi *fly ash* sehingga memiliki performansi yang lebih baik dari sebelumnya, sehingga dapat memaksimalkan hasil nilai CBR campuran tanah.

Kata kunci : tanah lunak, *fly ash*, *expanded polystyrene*, CBR

ABSTRACT

Clay soil as embankment has a low CBR value with high dry density value, so this is very susceptible to failure of the bearing capacity of the subgrade of road construction. Clay soil can be replaced by selected material as embankment, but this will be increase costs. For clay soil to be used as a subgrade for road construction, the addition of fly ash (FA) and expanded polystyrene (EPS) needs to try by this research. The research was done by testing CBR in laboratory on the soil mixture, fly ash (FA), and expanded polystyrene (EPS). The composition was done by addition of EPS as a mixture as 0 %; 0.25 %; 0.50 %; and 0.75 % with curing time of 3, 7, 14, 21 days. In this study, composition for FA set as much as 16%, based on some previous research. In the compositions with addition of EPS as much as 0.75 % with curing time 14 day, is the optimal composition because high CBR value and low γ_d if compared to original clay soil. CBR value on the unsoaked condition were 2.84 % and γ_d 1.03 gr/cm³, while in the soaked condition were 2.27 % and γ_d 1.06 gr/cm³. The addition of other materials such as cement needs to be a further researched as fly ash activation, so that fly ash has more performance, so that it can maximize the CBR value of the mixture.

Keywords: clay, fly-ash, expanded polystyrene, CBR

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia, sebagai negara berkembang saat ini sedang giatnya melaksanakan pembangunan infrastruktur jalan dan jembatan yang merata di semua daerah agar dapat meningkatkan perekonomian nasional. Pada pekerjaan pembangunan jalan salah satunya adalah pekerjaan lapisan tanah dasar (*subgrade*), yang merupakan lapisan paling bawah (tanah) yang berfungsi untuk menumpu lapisan perkerasan dan berpengaruh terhadap konstruksi perkerasan jalan di atasnya sehingga *subgrade* sangat berpengaruh terhadap baik buruknya perkerasan jalan. Di beberapa proyek pembangunan jalan, tanah yang ada di lokasi tersebut bukan merupakan tanah yang cocok dijadikan sebagai *subgrade* untuk perkerasan jalan, karena jenis tanahnya merupakan tanah lunak (lempung) sehingga cenderung dibuang atau tidak dimanfaatkan. Tanah jika tidak dikenali dan diselidiki secara berhati-hati dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir. Tanah lunak mempunyai kuat geser yang rendah dengan nilai kompresibilitas (kemampumampatan) yang tinggi. Dengan permasalahan ketidakstabilan dan penurunan, maka tanah lunak perlu diperbaiki agar dapat diaplikasikan pada pekerjaan infrastruktur jalan. Perbaikan tanah dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satu caranya dengan penambahan *fly ash* untuk meningkatkan kekuatan tanah. Penambahan *fly ash* akan berpengaruh terhadap nilai indeks plastisitas yang secara tidak langsung akan berpengaruh juga terhadap nilai CBR yang semakin meningkat.

Perbaikan tanah lempung dengan penambahan *fly ash* dapat diaplikasikan jika berat isi tanah hasil penambahan *fly ash* lebih ringan dari tanah aslinya. Untuk mengurangi berat isinya sehingga menjadi timbunan ringan, maka salah satu alternatif materialnya yaitu penambahan *expanded polystyrene* (EPS). Penggunaan EPS pada *subgrade* dapat mengurangi berat isi tanah, sehingga total berat *subgrade* dan beban perkerasan lainnya menjadikan pembebanan pada tanah di bawahnya dapat berkurang. Dari uraian ini maka penambahan FA dan EPS sebagai alternatif campuran diharapkan *subgrade* akan memiliki berat isi yang lebih ringan tetapi dengan nilai CBR yang tetap tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

Penggunaan tanah lempung sebagai timbunan pada proyek pembangunan jalan, sering menimbulkan kegagalan terhadap daya dukung karena memiliki nilai CBR yang kecil tetapi dengan berat isi kering relatif besar, sehingga merusak konstruksi perkerasan, dan jika diganti dengan tanah lain akan timbul masalah pembengkakan biaya konstruksi.

1.3 Tujuan Penelitian

Mendapatkan komposisi pencampuran *fly ash* dengan persentase yang tetap dan komposisi *expanded polystyrene* pada tanah lempung yang dapat menghasilkan nilai CBR yang tinggi dan berat isi yang rendah, sebagai alternatif timbunan ringan pada lapisan *subgrade*.

1.4 Hipotesis

Pencampuran tanah lempung dengan *fly ash* dan *expanded polystyrene* dalam proses pemadatan tanah sebagai bahan timbunan, maka tanah akan memiliki nilai berat isi yang kecil dan nilai CBR yang meningkat, sehingga akan mengurangi tebal lapisan perkerasan di atas lapisan tanah dasar (*subgrade*). Dengan penggunaan campuran ini akan menjadikan berat sendiri lapisan tanah dasar konstruksi perkerasan jalan berkurang, dan hal ini akan dapat menghindari terjadinya kegagalan daya dukung pada tanah dasar yang lunak.

1.5 Lokasi Penelitian

Material tanah dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Tanah Lempung sendiri, *Fly ash* dan EPS, yang diambil atau berasal dari :

1. Tanah Lempung dari daerah Gedebage Kota Bandung.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Tanah

2. *Fly ash* dari PLTU Suralaya, Cilegon, Banten.



Gambar 2. Lokasi Pengambilan *Fly Ash*

3. EPS berasal dari B-foam EPS, PT Beton Elemenindo Putra, Batujajar, Kabupaten Bandung Barat.



Gambar 3. Lokasi Pengambilan EPS

2. LANDASAN TEORI

2.1 Tanah Lempung

Berdasarkan ukuran partikelnya seperti yang di definisikan oleh Bowles (1884), tanah lempung adalah deposit yang mempunyai partikel berukuran lebih kecil atau sama dengan 0,002 mm. Sedangkan kandungan mineral yang ada di dalam tanah lempung mempunyai daya tarik menarik individual yang mampu menyerap 100 kali volume partikelnya. Dan selama proses pengeringan, apakah ada atau tidak adanya air dapat menghasilkan perubahan volume dan kekuatan yang sangat besar.

2.2 Fly Ash

Fly ash adalah berasal dari atau merupakan bahan limbah atau buangan dari pembakaran batu bara yang dikategorikan sebagai limbah B3 (PP No. 85 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun). *Fly ash* menjadi suatu bahan tambah (*additive*) yang cukup populer saat ini pada pekerjaan konstruksi untuk digunakan sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton dan banyak juga digunakan sebagai bahan untuk stabilisasi tanah. *Fly ash* dikalsifikasikan dalam 3 kelas, yaitu kelas F, kelas C dan kelas N. *Fly ash* kelas F (*low-calcium fly ash*), tidak mempunyai sifat *ceementitious* dan hanya bersifat *pozolanic*. *Fly ash* kelas C disebut juga sebagai *high-calcium fly ash* karena *fly ash* tipe C mengandung kadar CaO yang cukup tinggi dan mempunyai sifat *ceementitious* dan posolan. *Fly ash* kelas N disebut juga posolan alam yang mempunyai sifat posolan yang baik.

Pengaruh *Fly Ash* terhadap Nilai CBR dan sifat-sifat *properties* Tanah, sudah diteliti oleh Inten Subowo (2016). Berdasarkan hasil penelitiannya dimana dengan mencampurkan *fly ash* dan tanah ekspansif dengan kadar *fly ash* yang digunakan mulai 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% dan tanpa pemeraman (masa peram 0 hari), didapatkan nilai CBR maksimum (37,2%) pada penambahan *fly ash* sebesar 20%. Sedangkan penelitian yang dilakukan Yayuk Apriyanti dan Roby Hambali (2014) tentang pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan stabilisasi tanah lempung jenis A-7-6 dengan variasi kadar *fly ash* mulai 10%, 13%, 16% dan masa peram 1, 7, 14, dan 28 hari, menghasilkan peningkatan nilai CBR. Nilai CBR maksimum (15,1 %) didapat pada persentase kadar *fly ash* 16% dengan masa peram 28 hari.

2.3 Expanded Polystyrene

Expanded Polystyrene (EPS) yang dikenal umum sebagai *styrofoam*, merupakan material yang terbuat dari *monomer stirena* melalui proses polimerisasi suspensi pada tekanan dan suhu udara tertentu, kemudian dilakukan pemanasan untuk melunakkan resin dan menguapkan sisa *blowing agent*. EPS terlihat berwarna putih dengan berat yang relatif sangat ringan, ini termasuk ke dalam kategori plastik. Secara umum EPS banyak digunakan untuk pembungkus makanan dan pengemasan barang elektronik. Saat ini EPS juga dimanfaatkan sebagai material konstruksi, di mana salah satunya, sebagai material timbunan ringan pada sebagian besar pekerjaan tanah (Horvath, 1995).

Penelitian yang dilakukan oleh Hema Kumar Illuri (2007) dengan cara memodifikasi campuran tanah lempung ekspansif dengan penambahan EPS dan *sand bentonite* (SB) memperlihatkan hasil penurunan pada berat isi kering maksimumnya. Pada penambahan 0,9% EPS, berat kering tanah campuran SB16 turun dari 17,06 kN/m³ ke 13,24 kN/m³. Pada penggunaan SB24, nilai berat isi keringnya turun dari 17,27 kN/m³ ke 12,56 kN/m³, sedangkan untuk SB32 dari 16,97 kN/m³ ke 12,26 kN/m³. Di sisi lain saat hasil daur ulang EPS dengan kadar 0%, 0,3%, 0,6% dan 0,9% memperlihatkan semakin tinggi kadar EPS pada campuran maka dapat mengurangi kekuatan geser campuran. Penambahan dengan *stabilizer* kimia baru dapat meningkatkan kekuatan dan sifat campuran secara keseluruhan.

Menurut Nicholas Thomas Rocco (2012), pada penelitiannya dengan bijih EPS ditambahkan dengan kadar sampai 1,5 % dari berat tanah lempung memberikan efek yang besar pada berat volume campuran, di mana setiap peningkatan 0,5% kadar EPS dapat mengurangi berat isi kering sebesar 8%-12%. Efek lain adalah pada penambahan kadar EPS yang lebih dari 1% akan mengakibatkan penurunan pada kekuatan geser bila dibandingkan dengan tanah aslinya.

2.4 Stabilisasi Tanah

Bila mutu suatu tanah kurang baik, maka dapat ditingkatkan dengan suatu proses yang disebut dengan stabilisasi. Jadi Stabilisasi tanah bertujuan untuk memperbaiki mutu kekuatan tanah dasar yang kurang baik agar menjadi lebih baik. Dengan stabilisasi ini dimaksudkan untuk menstabilkan konstruksi yang dibangun di atas tanah dasar yang kurang baik, dengan meningkatnya daya dukung tanah yang distabilkan tadi. Stabilisasi tanah dasar untuk perbaikan mutunya dapat dilakukan dengan beberapa cara/metode di antaranya, dengan Stabilisasi Mekanik, Stabilisasi Fisik, Stabilisasi Kimiawi

2.5 Pengujian di Laboratorium

Untuk dapat mengetahui karakteristik dan sifat tanah, maka dilakukan pengujian di laboratorium yang mengacu ke standar yang berlaku yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI) seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis Pengujian Tanah

No	Jenis Pengujian	Standar yang digunakan	
A.	SIFAT FISIK		
1.	Kadar Air	SNI 03-1965-1990	
2.	Berat Jenis	SNI 03-1964-2008	
3.	Batas-Batas Atterberg	Batas Cair	SNI 03-1967-2008
		Batas Plastis	SNI 03-1966-2008
4.	Analisa Ukuran Butir	SNI 03-3423-2008	
B.	SIFAT MEKANIS		
1.	Pemadatan	SNI 03-1742-2008	
2.	CBR Laboratorium	SNI 03-1744-2012	

3. METODE PENELITIAN

Secara keseluruhan pengujian di lakukan di laboratorium dengan mengikuti standar pengujian yang berlaku, dimulai dengan pengujian sifat fisik tanah, dilanjutkan pengujian sifat mekanik untuk tanah saja dan terakhir dengan pengujian sifat fisik campuran. Pada uji mekanik campuran difokuskan pada uji CBR dengan penambahan *fly ash* sebanyak 16% dan *expanded polystyrene* (EPS) empat variasi yaitu 0%, 0,25%, 0,50%, dan 0,75% dari berat total campuran, dan dilakukan pemeraman (didiamkan) setelah pemadatan selama 3, 7, 14, dan 21 hari. Komposisi campuran yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Campuran

Lempung (%)	<i>Fly Ash</i> (%)	EPS (%)	Masa Peram (hari)
84.00	16	0.00	3, 4, 14, 21
85.75	16	0.25	3, 4, 14, 21
83.75	16	0.50	3, 4, 14, 21
83.25	16	0.75	3, 4, 14, 21

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Sifat Fisik

Hasil pengujian sifat fisik dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian Sifat Fisik Tanah

No	Sifat Fisik		Simbol	Satuan	Hasil Pengujian
1	Berat Jenis		Gs		2,36
2	Batas-batas Atterberg	Batas Plastis	PL	%	38,26
		Batas Cair	LL	%	62,42
		Indeks Plastisitas	PI	%	24,16
3	Analisa Ukuran Butir	Kerikil	G	%	0,00
		Pasir	S	%	4,99
		Lanau	M	%	38,60
		Lempung	C	%	56,41

4.2 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi secara AASHTO

Secara ASSHTO tanah diklasifikasikan secara sebagai tanah A-7-5, karena persentase yang lolos saringan No 200 sebesar 95 %, dengan nilai batas cair (LL) sebesar 62,42 % dan Indeks plastisitas (PI) sebesar 24,16 %,

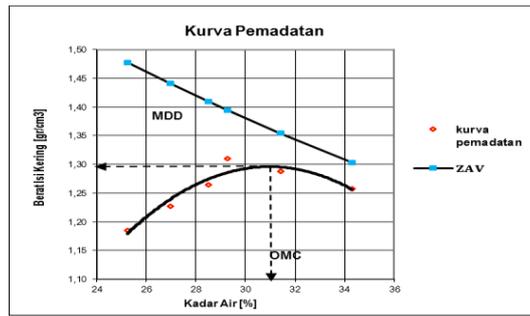
Klasifikasi secara USCS

Untuk tanah yang sama dengan persentase lolos saringan No. 200 sebesar 95,01 %, nilai batas cair 62,42 %, dan indeks plastisitasnya sebesar 24,16 %, diklasifikasikan secara USCS sebagai tanah MH.

4.3 Hasil Pengujian Sifat Mekanis

Pemadatan Tanah (Kompaksi)

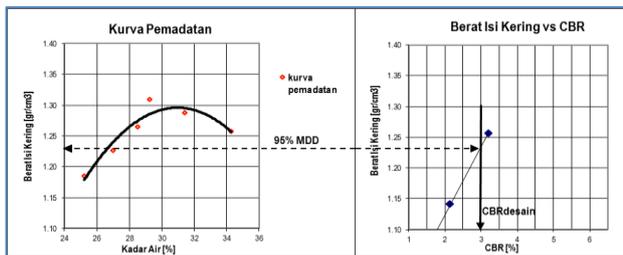
Hasil pengujian pemadatan tanah lempung dengan 5 benda uji dengan penambahan air yang berbeda, setelah dibuatkan grafiknya (gambar 4) didapatkan nilai nilai $\omega_{opt} = 31,36 \%$ dan $\gamma_{d\ max} = 1,295 \text{ gr/cm}^3$.



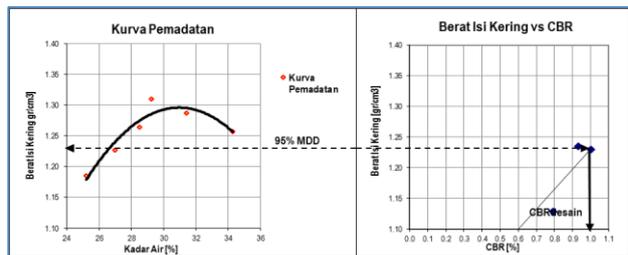
Gambar 4. Grafik Pemadatan Tanah

California Bearing Ratio (CBR)

Pengujian CBR dilakukan dengan energi pemadatan yang berbeda yaitu 10x, 30x, dan 65x. Pengujian dilakukan pada kondisi kering (*unsoaked*) dan basah (*soaked*), dengan hasil seperti dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Grafik CBR kondisi *Unsoaked* Tanah



Gambar 6. Grafik CBR kondisi *Soaked* Tanah

Nilai CBR rencana diambil pada nilai berat isi kering 95% dari berat isi kering maksimum yaitu sebesar 1,23 gr/cm³, setelah ditarik garis penghubung di grafik didapatkan nilai CBR desain pada keadaan *unsoaked* (langsung diuji setelah pemadatan) sebesar 2,95%, sedangkan nilai CBR desain kondisi *soaked* (setelah direndam selama 4x24 jam) didapat 1,00%. Dari sini terlihat nilai CBR rencananya langsung turun akibat perendaman (kondisi kritis).

4.4 Hasil Pengujian CBR Campuran Berdasarkan Komposisi

Komposisi campuran (Tanah + FA + EPS) untuk pengujian CBR dilakukan dengan 4 variasi untuk mendapatkan komposisi campuran yang optimum. Pengujian CBR dilakukan pada dua kondisi, kondisi *unsoaked* dan kondisi *soaked*, dengan tiga energi yang berbeda sesuai standar, yaitu 10x, 30x, dan 65x tumbukan. Selain variasi campuran juga dilakukan pada beberapa kondisi perawatan / pemeraman. Proses ini dilakukan untuk memberikan kesempatan kepada campuran untuk bereaksi satu sama lainnya, sebelum di uji CBR-nya. Masa pemeraman yang dilakukan adalah selama : 3 hari, 7 hari, 14 hari dan 21 hari.

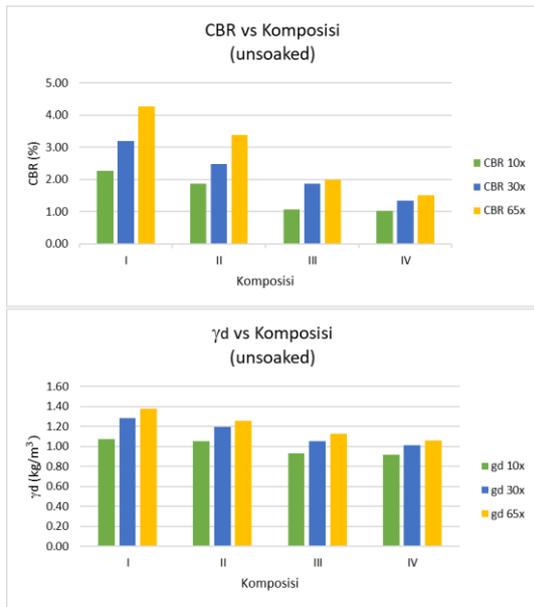
Masa peram 3 hari

Hasil Uji CBR untuk masa pemeraman selama 3 hari dapat dilihat pada tabel 4.

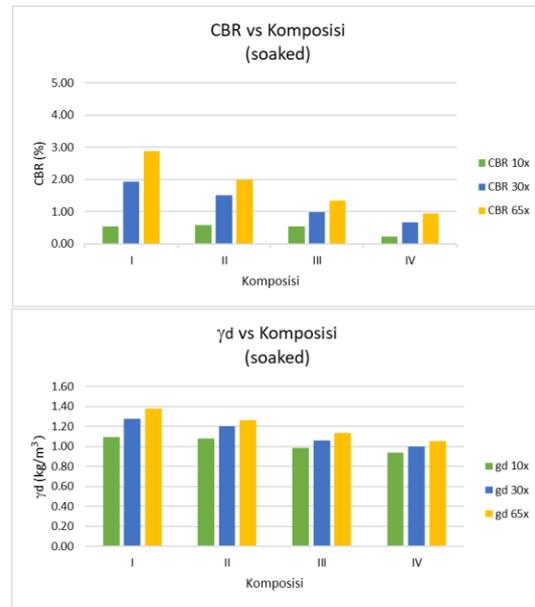
Tabel 4. Hasil Pengujian CBR Masa Peram 3 hari pada Kondisi *Unsoaked* dan *Soaked*

Komposisi	Masa Peram 3 hari											
	Unsoaked						Soaked					
	γ_d			CBR			γ_d			CBR		
	10x	30x	65x	10x	30x	65x	10x	30x	65x	10x	30x	65x
I	1.07	1.28	1.38	2.27	3.20	4.27	1.10	1.28	1.38	0.53	1.93	2.87
II	1.05	1.20	1.26	1.87	2.49	3.38	1.08	1.20	1.26	0.58	1.51	2.00
III	0.93	1.05	1.13	1.07	1.87	2.00	0.98	1.06	1.14	0.53	0.98	1.33
IV	0.91	1.01	1.06	1.02	1.33	1.51	0.94	1.00	1.05	0.22	0.67	0.93

Selanjutnya berdasarkan data dari Tabel 4 dapat dibuat grafik hubungan antara CBR dan γ_d dengan komposisi campuran pada energi 10x, 30x, dan 65x dalam keadaan *unsoaked* maupun *soaked* berturut-turut terlihat pada Gambar 7 dan gambar 8.



Gambar 7. Grafik CBR dan γ_d vs Komposisi (Unsoaked)



Gambar 8. Grafik CBR dan γ_d vs Komposisi (Soaked)

Nilai CBR tertinggi di dapat pada campuran komposisi I baik kondisi *unsoaked* maupun kondisi *soaked* (Gambar 8).

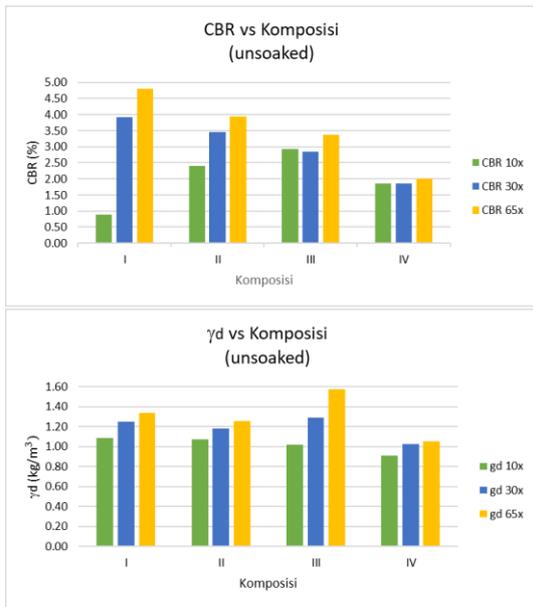
Masa Peram 7 hari

Hasil uji CBR dan nilai berat isi kering dengan masa peram 7 hari untuk setiap komposisi campuran adalah seperti data pada Tabel 5.

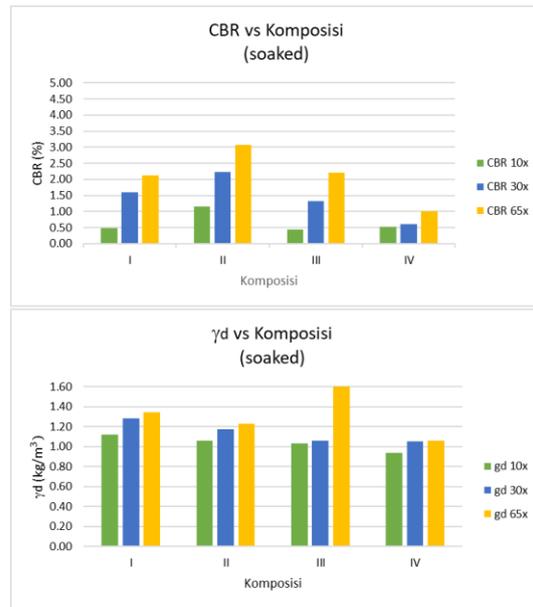
Tabel 5. Hasil Pengujian CBR Masa Peram 7 hari pada Keadaan *Unsoaked* dan *Soaked*

Komposisi	Masa Peram 7 hari											
	Unsoaked						Soaked					
	γ_d			CBR			γ_d			CBR		
	10x	30x	65x	10x	30x	65x	10x	30x	65x	10x	30x	65x
I	1.09	1.25	1.34	0.89	3.91	4.80	1.12	1.28	1.35	0.49	1.60	2.13
II	1.07	1.18	1.26	2.40	3.47	3.93	1.06	1.17	1.23	1.16	2.22	3.07
III	1.02	1.29	1.57	2.93	2.84	3.38	1.03	1.06	1.60	0.44	1.33	2.20
IV	0.91	1.02	1.05	1.87	1.87	2.00	0.94	1.05	1.06	0.53	0.60	1.00

Selanjutnya berdasarkan data dari tabel 5, dapat dibuat grafik hubungan antara CBR dan γ_d dengan komposisi campuran pada energi 10x, 30x, dan 65x dalam keadaan *unsoaked* maupun *soaked* dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Grafik CBR dan γ_d vs Komposisi (*Unsoaked*)



Gambar 10. Grafik CBR dan γ_d vs Komposisi (*Soaked*)

Pada kondisi *soaked* nilai CBR semua campuran turun dibandingkan dengan nilai CBR kondisi *unsoaked*. Nilai CBR tertinggi di dapat pada campuran komposisi I (Gambar 9) di kondisi *unsoaked*, tetapi pada kondisi *soaked*, nilai CBR tertinggi didapat pada campuran komposisi II (Gambar 10).

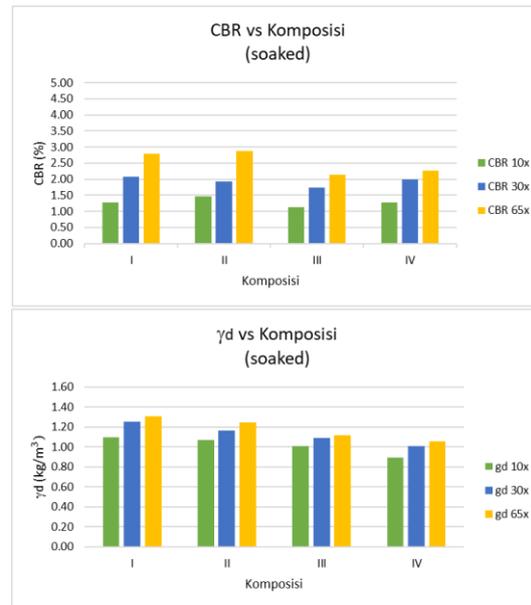
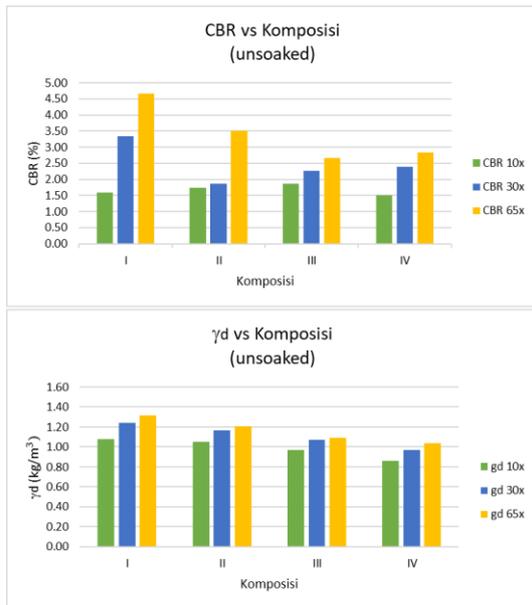
Masa peram 14 hari

Hasil uji CBR dan nilai berat isi kering dengan masa peram 14 hari adalah seperti terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian CBR dengan Lama *Masa peram* 14 hari pada Keadaan *Unsoaked* dan *Soaked*

Komposisi	Masa Peram 14 hari											
	Unsoaked						Soaked					
	γd			CBR			γd			CBR		
	10x	30x	65x	10x	30x	65x	10x	30x	65x	10x	30x	65x
I	1.08	1.24	1.32	1.60	3.33	4.67	1.10	1.25	1.31	1.27	2.07	2.80
II	1.05	1.16	1.21	1.73	1.87	3.51	1.07	1.16	1.24	1.47	1.93	2.87
III	0.97	1.07	1.09	1.87	2.27	2.68	1.00	1.09	1.11	1.13	1.73	2.13
IV	0.86	0.97	1.03	1.51	2.40	2.84	0.89	1.00	1.06	1.27	2.00	2.27

Selanjutnya dari data tabel 6, dapat dibuat grafik hubungan antara CBR γ_d dengan komposisi campuran pada energi 10x, 30x, dan 65x dalam keadaan *unsoaked* maupun *soaked* dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 11. Grafik CBR vs dan γ_d vs Komposisi (*Unsoaked*) Gambar 12. Grafik CBR vs dan γ_d vs Komposisi (*Soaked*)

Pada kondisi *soaked* (Gambar 12), nilai CBR untuk semua komposisi campuran relatif sama, tetapi jika dibandingkan dengan kondisi *unsoaked* (Gambar 11), maka komposisi III dan IV yang relatif nilai CBRnya tidak menunjukkan penurunan yang besar.

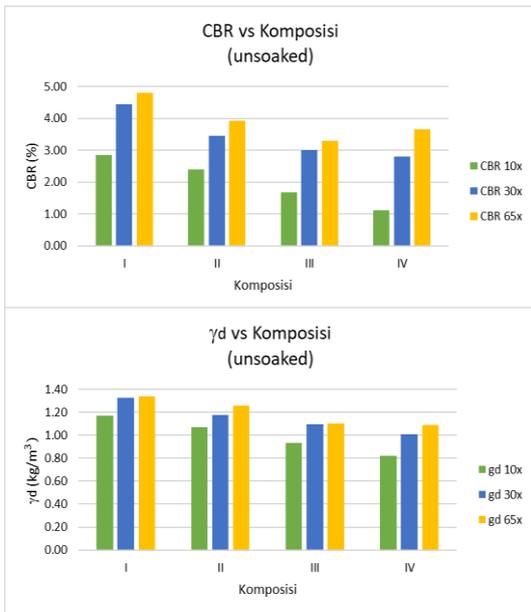
Masa peram 21 hari

Hasil uji CBR dan nilai berat isi kering dengan *masa peram* 21 hari untuk setiap komposisi seperti terlihat pada Tabel 7.

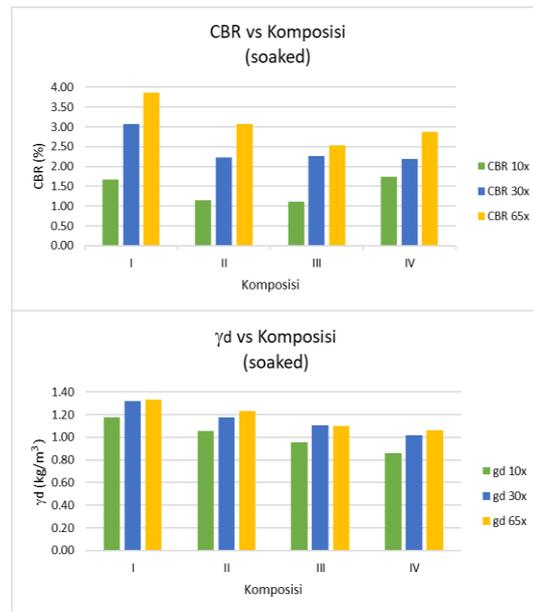
Tabel 7. Hasil Pengujian CBR dengan Lama *Masa peram* 21 hari pada Keadaan *Unsoaked* dan *Soaked*

Masa Peram 21 hari												
Komposisi	Unsoaked						Soaked					
	γ_d			CBR			γ_d			CBR		
	10x	30x	65x	10x	30x	65x	10x	30x	65x	10x	30x	65x
I	1.17	1.32	1.34	2.84	4.44	4.80	1.18	1.32	1.34	1.67	3.07	3.87
II	1.07	1.18	1.26	2.40	3.47	3.93	1.06	1.17	1.23	1.16	2.22	3.07
III	0.93	1.09	1.10	1.69	3.00	3.29	0.96	1.11	1.10	1.11	2.27	2.53
IV	0.82	1.01	1.09	1.11	2.80	3.67	0.86	1.02	1.06	1.73	2.20	2.87

Dari Tabel 7 dapat dibuat grafik hubungan antara CBR dan γ_d dengan komposisi campuran pada energi 10x, 30x, dan 65x dalam keadaan *unsoaked* maupun *soaked* dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 14.



Gambar 13. Grafik CBR dan γ_d vs Komposisi (*Unsoaked*)



Gambar 14. Grafik CBR dan γ_d vs Komposisi (*Soaked*)

Pada kondisi *soaked* (Gambar 14), nilai CBR tertinggi di dapat pada komposisi I sedangkan komposisi yang lain lebih rendah. Nilai ini relatif sama dengan kondisi *unsoaked* (Gambar 13).

4.5 Hasil CBR Campuran

Selanjutnya jika digabungkan semua data pengujian, hasil uji CBR dan nilai berat isi kering kondisi *unsoaked* dan *soaked* dengan masa peram 3, 7, 14 dan 21 hari pada komposisi I, II, III, dan IV dengan tiga energi / tumbukan yang berbeda yaitu 10x, 30x, dan 65x, dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Rekapitan Pengujian CBR dalam Keadaan *Unsoaked* dan *Soaked*

Curing Time	Komposisi	Unsoaked						Soaked					
		γ_d			CBR			γ_d			CBR		
		10x	30x	65x	10x	30x	65x	10x	30x	65x	10x	30x	65x
3 hari	I	1.07	1.28	1.38	2.27	3.20	4.27	1.10	1.28	1.38	0.53	1.93	2.87
	II	1.05	1.20	1.26	1.87	2.49	3.38	1.08	1.20	1.26	0.58	1.51	2.00
	III	0.93	1.05	1.13	1.07	1.87	2.00	0.98	1.06	1.14	0.53	0.98	1.33
	IV	0.91	1.01	1.06	1.02	1.33	1.51	0.94	1.00	1.05	0.22	0.67	0.93
7 hari	I	1.09	1.25	1.34	0.89	3.91	4.80	1.12	1.28	1.35	0.49	1.60	2.13
	II	1.07	1.18	1.26	2.40	3.47	3.93	1.06	1.17	1.23	1.16	2.22	3.07
	III	1.02	1.29	1.57	2.93	2.84	3.38	1.03	1.06	1.60	0.44	1.33	2.20
	IV	0.91	1.02	1.05	1.87	1.87	2.00	0.94	1.05	1.06	0.53	0.60	1.00
14 hari	I	1.08	1.24	1.32	1.60	3.33	4.67	1.10	1.25	1.31	1.27	2.07	2.80
	II	1.05	1.16	1.21	1.73	1.87	3.51	1.07	1.16	1.24	1.47	1.93	2.87
	III	0.97	1.07	1.09	1.87	2.27	2.68	1.00	1.09	1.11	1.13	1.73	2.13
	IV	0.86	0.97	1.03	1.51	2.40	2.84	0.89	1.00	1.06	1.27	2.00	2.27
21 hari	I	1.17	1.32	1.34	2.84	4.44	4.80	1.18	1.32	1.34	1.67	3.07	3.87
	II	1.07	1.18	1.26	2.40	3.47	3.93	1.06	1.17	1.23	1.16	2.22	3.07
	III	0.93	1.09	1.10	1.69	3.00	3.29	0.96	1.11	1.10	1.11	2.27	2.53
	IV	0.82	1.01	1.09	1.11	2.80	3.67	0.86	1.02	1.06	1.73	2.20	2.87

Penentuan Campuran Optimum

Dari Tabel 8 terlihat nilai CBR yang berbeda untuk setiap pemberian energi yang berbeda dan juga nilai berat isi kering yang berbeda. Komposisi campuran optimum yang menghasilkan nilai CBR maksimum dan berat isi kering yang kecil pada keadaan *unsoaked* dan *soaked* adalah komposisi IV (83,25% Tanah Asli + 16% FA + 0,75% EPS). Sedangkan masa peram diambil maksimal 14 hari, walaupun pada masa peram 21 hari menunjukkan nilai yang sedikit lebih baik dari masa peram 14 hari. Untuk masa peram lebih dari 14 hari bukan merupakan waktu yang efisien jika diterapkan di lapangan. Untuk perancangan tebal perkerasan nantinya digunakan nilai CBR pada kondisi *soaked*. Jika dibandingkan dengan nilai CBR yang sama pada kondisi tanah saja yaitu 1,0 % meningkat menjadi 2,3 % untuk pencampuran tanah dengan FA dan EPS (komposisi IV).

5. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Pencampuran tanah lempung dengan *fly ash* dan EPS, dapat meningkatkan nilai CBR dan menurunkan nilai berat isi kering tanah (timbunan). Nilai CBR kondisi *soaked* dari 1,0 % meningkat menjadi 2,27 %, sedangkan nilai berat isi kering dari 1,23 gr/cm³ turun menjadi 1,06 gr/cm³. Komposisi campuran yang optimal adalah pada komposisi campuran IV dengan Tanah 83,25% + FA 16% + EPS 0,75% dengan masa peram selama 14 hari. Seperti halnya pada penelitian Apriyanti dkk., dan Inten Subowo penambahan *fly ash* meningkatkan nilai CBR yang signifikan, begitu juga pada penggunaan EPS hasil penelitian Illuri dkk. dan Rocco dkk.

5.2 Saran

Optimasi penggunaan *fly ash* agar meningkat perlu ditambahkan bahan aktivasi lain, sehingga masa peram bisa dipersingkat dan memudahkan dalam pelaksanaan di lapangan. Selain dari peningkatan nilai CBR dan turunnya nilai berat isi kering, penelitian lain dapat dilakukan untuk mendapatkan parameter lainnya seperti nilai kuat tekan bebas (q_u) dan potensi kembang susut (*swelling*) tanah.

REFERENSI

- [1] Apriyanti, Yayuk dan Roby Hambali. 2014. "Pemanfaatan Fly Ash untuk Peningkatan Nilai CBR Tanah Dasar". Bangka Belitung : Universitas Bangka Belitung.
- [2] Bina Marga. 2010. Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 3 : Pekerjaan Tanah.
- [3] Das, Braja M. 1994. Mekanika Tanah Jilid 1. Jakarta : Erlangga.
- [4] Illuri, Hema Kumar. 2007, "Development of Soil-EPS Mixes for Geotechnical Applications". School of Urban Development Centre for Build Environment and Engineering Research, Queensland University of Technology, Australia.
- [5] Ingles dan Matcalf. Soil Stabilization: Principles and Practic.
- [6] Injinereng, civil. "Pekerjaan Tanah". <http://civilinjinereng.blogspot.co.id/2009/05/pekerjaan-tanah.html>(26 Jan 2017) Nji, Lauw Tjun. Fly ash.
- [7] Puslitbang Teknologi Mineral dan Batu bara. 2006. "Jurnal Teknologi Mineral dan Batu Bara No 37"
- [8] Puslitbang. 2001. Panduan Geoteknik 1: Tanah Lunak Indonesia: Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar.
- [9] Puslitbang. 2002. Panduan Geoteknik 2: Tanah Lunak Indonesia: Penyelidikan Lapangan dan Pengujian Setempat pada Tanah Lunak.
- [10] Rahmawati, Reni dan Andriani, Syifa, 2017, "Campuran Tanah Lempung dengan Menggunakan *Expanded Polystyrene* (EPS) dan *Fly Ash* (FA) sebagai Alternatif Timbunan Ringan pada Lapisan Subgrade", Politeknik Negeri Bandung.
- [11] Rocco, Nicholas Thomas. 2012. "Characterization of Expanded Polystyrene (EPS) and Cohesive Soil Mixtures". Faculty of the Graduate School of Missouri University of Science and Technology.
- [12] Subowo, Inten Setyowati Lestari. 2016. "Pengaruh Fly Ash Terhadap Nilai CBR Dan Sifat-sifat Propertis Tanah". Banten: Universitas Ageng Tirtayasa.
- [13] Tim Geoteknik. 2009. Job Sheet Uji Tanah. Bandung : Politeknik Negeri Bandung.
- [14] D. Amalia, Hendry, Kajian peningkatan nilai CBR tanah lempung Padalarang yang distabilisasi dengan vermikulit dan semen, Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah, Surabaya, 2014, pp. D91-D95
- [15] Kusuma Rama Indera, Mina Enden dan Utomo Akbar Prasetio, 2017, "Stabilisasi Tanah Menggunakan Fly Ash terhadap nilai Kuat Tekan Bebas berdasarkan variasi Kadar Air Optimum (Studi kasus Jalan Raya Bojonegara, Kab. Serang), Jurnal Teknik Sipil, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- [16] Syahril, A.K. Somantri, A. Febriansya, The effect of EPS addition to soil stabilized with fly ash as lightweight fill materials for embankment construction, J. Phys: Conf. Ser 1364 012077 (2019). DOI: 10.1088/1742-6596/1364/1/012077
- [17] Andreas Dharmawan Huri, Kristian Yulianto, Sri Prabandiyani Retno Wardani, dan Siti Hardiyati, 2013, "Stabilisasi Tanah dengan Fly Ash dan Semen untuk Badan Jalan PLTU Asam-Asam", Jurnal Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang.

KAJIAN PENGARUH PENAMBAHAN VERMIKULIT TERHADAP BETON SEGAR

Syahril¹, Lintang D.A²

¹Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung

Email: syahril_polban@yahoo.com

²Magister Terapan Rekayasa Infrastruktur, Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung

Email: lintangdianartanti@gmail.com

ABSTRAK

Beton adalah salah satu komponen utama yang terus berkembang mengikuti keadaan lingkungan dan perubahan-perubahan yang terjadi pada lingkungan tersebut. Salah satu inovasi yang sedang terus dicari adalah penggunaan bahan yang dapat membuat beton dapat memiliki kekuatan yang lebih dalam mencegah kerusakan akibat dari perubahan suhu yang ekstrem, jika didasarkan pada hal tersebut maka vermiculit merupakan salah satu bahan yang memenuhi kriteria tersebut (didasarkan pada penelitian sebelumnya). Vermiculit memiliki kemampuan dalam mengekstraksi logam dalam air serta struktur serpihannya memiliki karakteristik sebagai bahan tahan api. Tujuan dari penambahan vermiculit pada campuran beton ini adalah untuk mengetahui pengaruh vermiculit ketika dijadikan sebagai bahan tambah dalam pembuatan beton (dengan jumlah yang relatif sangat kecil), karena yang selama ini vermiculit dijadikan sebagai substitusi semen dan agregat (dimana penambahan vermiculit ini digunakan dalam jumlah yang relatif besar pada setiap campurannya). Penambahan vermiculit pada campuran beton ini terdiri dari 4 variasi proporsi, yaitu 0%, 10%, 20%, dan 30%. Dari pengujian didapatkan semakin besar penambahan vermiculit pada campuran beton *slump* semakin menurun namun berat isinya akan semakin kecil. Adonan campuran beton yang ditambah dengan vermiculit lebih kering, selain itu hasil beton yang dibuat dengan penambahan vermiculit cenderung akan memiliki berat yang lebih ringan daripada beton pada umumnya.

Kata kunci : vermiculit, beton segar, inovasi bahan, material sustainable.

ABSTRACT

Concrete is one of the main components that continues to evolve according to environmental conditions. One of the innovations is the use of materials that can make concrete have more strength in preventing damage due to extreme temperature changes. Based on this, vermiculite is one of the materials that fulfill these criteria (based on previous research). Vermiculite has the ability to extract metals in water and its flake structure has the characteristics of a refractory material. The purpose of adding vermiculite to the concrete mixture is to determine the effect of vermiculite when used as an added material in the manufacture of concrete (in a very small amount), because so far vermiculite is used as a substitute for cement and aggregate (where the addition of vermiculite is used in a relatively big amount). relatively large in each mixture). The addition of vermiculite to the concrete mixture consists of 4 variations in proportions: 0%, 10%, 20%, and 30%. From the test, it was found that the greater addition of vermiculite to the slump concrete mixture, the decreasing but the content weight would be smaller. Concrete mixture added with vermiculite is drier, besides that the results of concrete made with the addition of vermiculite tend to have a lighter weight than regular concrete.

Keywords: vermiculite, fresh concrete, material innovation, sustainable material.

1. PENDAHULUAN

Beton adalah material yang harus terus dikembangkan seiring dengan perkembangan pada dunia konstruksi. Pengembangan-pengembangan pada teknologi dan bahan beton ini tentunya harus menyesuaikan dengan kondisi alam yang terus berubah. Salah satu sifat yang dibutuhkan dalam pengembangan inovasi bahan untuk beton adalah material yang dapat tahan terhadap korosi/abrasi oleh air dan dapat memiliki ketahanan yang baik terhadap api/suhu tinggi. Penelitian ini didasari dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, berikut merupakan penelitian yang dijadikan sebagai referensi untuk penggunaan vermiculit pada campuran beton.

Hendry (2014) menggunakan campuran vermiculit dan semen sebagai bahan untuk menstabilkan tanah lempung karena vermiculit dibutuhkan agar dapat menyerap air berlebih yang ada pada tanah. Koxsal et al., (2015) menggunakan *silica fume* dan vermiculit sebagai campuran dalam pembuatan beton ringan dimana beton ini menjadi lebih tahan terhadap temperatur yang tinggi atau bisa disebut dengan *good fire resistance*. Schackow et al., (2014) membandingkan *lightweight concrete* dengan substitusi vermiculit dengan *lightweight concrete* dengan substitusi *Expanded Polystyrene* (EPS) dan didapatkan hasil bahwa

beton ringan dengan substitusi vermikulit dapat lebih banyak menyerap air dan lebih berat daripada beton yang menggunakan substitusi EPS. Beton EPS ini juga memiliki kekuatan yang lebih tinggi juga lebih tahan terhadap suhu yang tinggi.

Prakash et al., (2019) melakukan substitusi agregat dengan vermikulit (variasi : 20%; 30% & 40%) dan substitusi semen dengan bubuk marmer (variasi : 5%; 10%; dan 15%) , mendapatkan hasil pada substitusi vermikulit sebesar 30% dan substitusi bubuk marmer sebesar 10% dengan kuat tekan paling tinggi yaitu 44,14 MPa pada umur 28 hari. Kuat lentur, kuat tarik, dan modulus elastisitas juga meningkat pada persentase campuran tersebut, maka dapat dikatakan perpaduan campuran tersebut adalah yang sangat bagus untuk digunakan.

Mo et al., (2018) Penggunaan *expanded* vermikulit sebagai substitusi agregat halus pada beton menghasilkan hasil yang baik. Berat beton berkurang, kekuatannya meningkat dan ketahanannya terhadap suhu tinggi semakin baik (ketika ditinjau pada suhu tinggi, pengurangan kekuatan pada beton tidak sebanyak beton biasa).

Tujuan dari dilakukan penambahan vermikulit pada campuran beton ini adalah untuk mengetahui pengaruh vermikulit ketika dijadikan sebagai bahan tambah dalam pembuatan beton (dengan jumlah yang relatif sangat kecil), karena yang selama ini ada vermikulit dijadikan sebagai substitusi semen dan agregat (dimana penambahan vermikulit ini digunakan dalam jumlah yang relatif besar pada setiap campurannya). Diharapkan dengan dilakukannya penelitian ini dapat berkontribusi dalam menyumbang pengetahuan mengenai pengaruh penambahan vermikulit pada campuran beton dan jika hasilnya baik diharapkan dapat digunakan di lapangan sebagai alternatif dalam pembuatan beton.

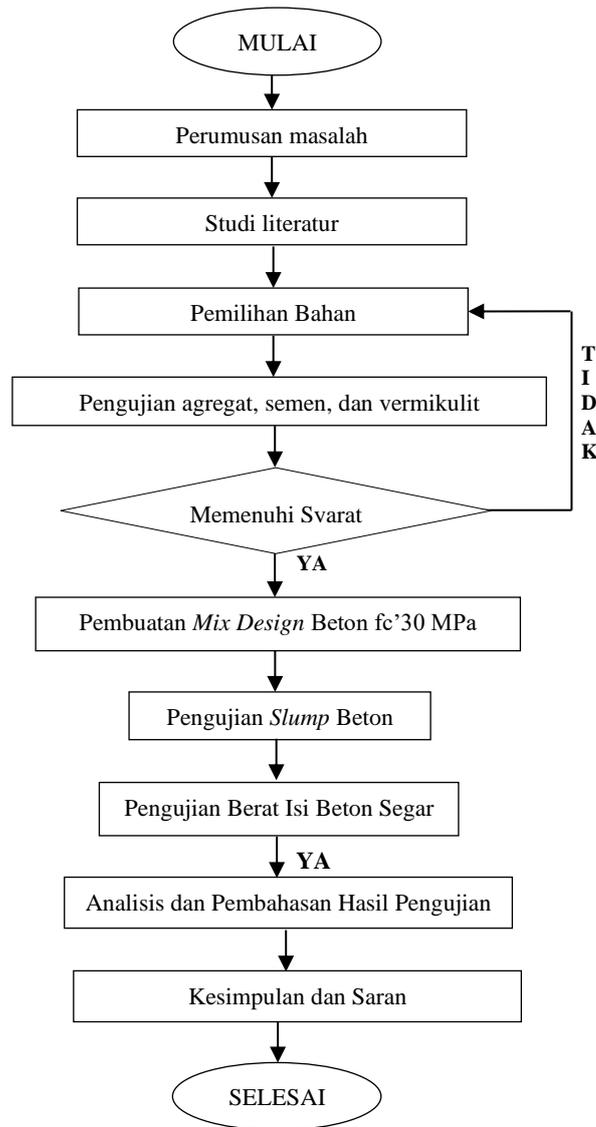
2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, dilakukan pembuatan dua jenis variabel beton segar yaitu beton segar dengan campuran beton pada umumnya yang akan digunakan sebagai variabel kontrol, dan sebagai pembandingnya adalah campuran adukan beton yang ditambah dengan vermikulit sebanyak 10%, 20%, dan 30%. Setelah itu akan dilihat perbandingan tekstur dan berat dari kedua campuran beton. Namun, sebelum dapat membuat campuran beton seluruh material diuji dan disesuaikan terlebih dahulu sesuai dengan standar-standar yang ada sehingga dapat menentukan proporsi campuran sesuai dengan yang diinginkan. *Mix design* yang digunakan adalah campuran untuk mutu beton f_c' 30 MPa.

2.1 Alur Penelitian

Pada pelaksanaan penelitian ini, digunakan pendekatan teori dan pendekatan lapangan yang dilakukan dengan cara mengidentifikasi / mengamati langsung karakteristik beton segar dengan penambahan vermikulit di laboratorium. Pengujian laboratorium meliputi pengujian sifat fisik dari masing-masing material yang akan digunakan pada campuran beton, kemudian dilanjutkan dengan pengamatan dari penambahan vermikulit pada beton segar. Pengujian laboratorium dilakukan dengan mengacu pada standar-standar yang berlaku sesuai dengan parameter-parameter material yang dibutuhkan pada desain beton yang diinginkan.

Penambahan material vermikulit pada campuran beton ini terdiri dari 3 variasi proporsi, yaitu 10%,20%, dan 30%. Variabel kontrol yang digunakan sebagai perbandingan adalah beton segar normal tanpa penambahan vermikulit. Parameter yang akan dibandingkan dari variabel-variabel tersebut adalah tekstur dan berat isi beton segar. Gambar 1 berikut menunjukkan urutan kegiatan yang dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Material

Berikut merupakan acuan dalam pemilihan dan pengujian material yang digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan campuran beton pada penelitian ini.

a. Agregat

Agregat yang digunakan dalam pembuatan beton ini ada dua jenis yaitu agregat kasar dan agregat halus. Beberapa acuan yang digunakan dalam pemilihan agregat ini adalah: SNI 03-1968-1990, SNI 03-4804-1998, ASTM C 117:2012, SNI 2417-2008, SNI 03-1969-1990, SNI 2816-2014, dan SNI 03-1971-2011.

Agregat yang digunakan pada pembuatan beton di penelitian ini bersumber dari Galunggung (agregat halus) dan Langgadar (agregat kasar). Kedua bahan ini dipilih karena kandungan lumpur dan besar butiran sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Selain itu, bahan ini dipilih karena mudah didapatkan di sekitar tempat dilakukannya penelitian

b. Semen

Semen adalah bahan yang berfungsi untuk mengikat semua bahan yang ada dalam campuran beton. Semen yang dipilih adalah semen dengan merek Tiga Roda. Pemilihan tipe semen pada pembuatan beton segar ini berdasarkan semen yang mudah didapatkan di pasaran. Beberapa acuan yang digunakan dalam pemilihan agregat ini adalah ASTM C-187 dan SNI 15-2049-2004.

c. Air

Penggunaan air dalam pembuatan campuran beton kerap kali diabaikan, namun sesungguhnya kualitas air yang digunakan akan sangat mempengaruhi kualitas dari beton yang dihasilkan. Hal ini diatur dalam SNI 7974-2013. Pada penelitian ini, air yang digunakan adalah air yang mudah didapatkan pada lingkungan laboratorium Politeknik Negeri Bandung.

d. Vermikulit

Vermikulit dihasilkan dari pemanasan kepingan-kepingan mika. Vermikulit merupakan material yang memiliki steril porositas tinggi dan mampu menyerap air dalam jumlah banyak dengan cepat dan mudah juga dikeringkan secara cepat (Hendry, 2014). Bentuk dari vermikulit yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Vermikulit

Vermikulit termasuk dalam salah satu agregat ringan yang sering digunakan dalam pembuatan beton ringan yang pembuatannya melewati metode proses pemanasan dan proses fusi batuan *glassy* pada suhu 650°C – 1000°C (Pretty, 2009). Kandungan utama pada vermikulit adalah SiO₂ (34,46%), MgO (20,96%), Al₂O₃ (12,79%), Fe₂O₃ (8,98%), TiO₂ (1,59%), CaO (0,54%), K₂O (0,29%), P₂O₃ (0,29%), Na₂O (0,07%), Mn₃O₄ (0,15%), karbon (0,03%), fluorin (0,44%), dan beberapa kandungan lain yang persentasenya kurang dari 0,05% (Hendry, 2014). Vermikulit menunjukkan karakteristik pertukaran ion yang luar biasa, yang dapat digunakan untuk menyiapkan bahan yang diperlukan untuk mengekstraksi garam logam berat dari air (Rashad, 2016).

Struktur serpihan vermikulit memungkinkannya memiliki karakteristik pelumas yang tinggi untuk rentang suhu yang luas. Jadi, itu bisa digunakan sebagai bahan tahan api (Suvorov & Skurikhin, 2003) dan sebagai pengisi berpori ringan untuk insulasi panas (KOÇYİĞİT & ÇAY, 2019).

Vermikulit adalah bahan yang efektif sebagai bahan isolasi panas dengan suhu tinggi (hingga 1100° C). Material dan produk yang menggunakan vermikulit tidak akan mudah terbakar, stabil, netral terhadap asam, dan memiliki kekuatan yang stabil dengan waktu dan ketahanan terhadap deformasi. Vermikulit juga memiliki gravitasi yang sangat rendah, sehingga dapat digunakan dalam produksi semen dan juga polimer komposit (Koksal et al., 2015).

Penggunaan vermikulit dalam beton sebagai substitusi dan pengganti agregat ringan untuk beton ringan akan cenderung menurunkan kekuatan tekan dari beton tersebut dibandingkan dengan penggunaan agregat ringan lainnya, seperti yang telah dilakukan oleh Neville bahwa beton ringan dengan penggunaan agregat ringan berupa vermikulit hanya mendapatkan kuat tekan sebesar 0,3-3 MPa (Neville & Brooks, 1981).

Vermikulit ini dapat dengan mudah didapatkan di toko-toko bahan pertanian hidroponik (untuk penggunaan dalam jumlah yang kecil. Namun, jika membutuhkan jumlah yang besar maka bisa didapatkan pada salah satu distributor vermikulit yang ada dengan merek IPI Lite yang ada di Cimahi, Jawa Barat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Material Beton

Berikut ini merupakan data material yang diuji dan digunakan dalam pembuatan campuran beton.

1. Agregat Kasar

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, agregat kasar yang berasal dari daerah Langgadar ini telah memenuhi standar-standar yang ada pada SNI. Tabel 1 berikut merupakan rincian dari hasil pengujian agregat kasar.

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Pengujian	Hasil	Standar	Keterangan
1	Kadar Lumpur / Kadar Butir Halus	3,2%	Kadar butir halus agregat kasar < 1% (Badan Standardisasi Nasional, 2012)	Harus dicuci terlebih dahulu
2	Berat Jenis	2,66	2,4 – 2,9 (Pusjatan - Balitbang PU, 1990)	Sudah memenuhi standar
3	Analisa Ayak	Ukuran maksimum : 40mm	(Badan Standardisasi Nasional, 1990)	Gradasi sudah memenuhi standar
4	Abrasi	16,7%	< 50% (Badan Standardisasi Nasional, 2008)	Sudah memenuhi standar

2. Agregat Halus

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, agregat halus yang berasal dari daerah Galunggung ini telah memenuhi standar-standar yang ada pada SNI. Tabel 2 berikut merupakan rincian dari hasil pengujian agregat halus.

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Pengujian	Hasil	Standar	Keterangan
1	Kadar Organik	No.1	No.1 (Badan Standardisasi Nasional, 2014)	Sudah memenuhi standar.
2	Kadar Lumpur	3%	<5% (Badan Standardisasi Nasional, 2012)	Sudah memenuhi standar.
3	Berat Jenis	2,66	2,4 – 2,9 (Badan Standardisasi Nasional, 1990)	Sudah memenuhi standar.
4	Analisa Ayak	Gradasi Zona 2	(Badan Standardisasi Nasional, 1990)	Gradasi sudah memenuhi syarat (Badan Standardisasi Nasional, 1990)

3. Semen

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, semen dengan merek Tiga Roda (PCC) ini telah memenuhi standar-standar yang ada pada (SNI 15-2049-2004). Tabel 3 berikut merupakan rincian dari hasil pengujian semen.

Tabel 3. Hasil Pengujian Semen

No.	Pengujian	Hasil	Standar	Keterangan
1	Kehalusan Butir	2,2%	<10%	Sudah memenuhi standar.
2	Berat Jenis	2,91	3,1 – 3,3 (Badan Standardisasi Nasional, 1991)	Belum memenuhi standar, karena penurunan mutu semen yang beredar di pasaran.
3	Konsistensi	30%	25% - 33% (ASTM, 2016)	Sudah memenuhi standar.
4	Waktu Ikat	150 menit	45 – 480 menit (Badan Standardisasi Nasional, 2004)	Sudah memenuhi standar.

4. Vermikulit

Karena vermiculit digolongkan menjadi salah satu agregat ringan maka pengujian fisik yang dilakukan pada vermiculit sama dengan pengujian agregat pada umumnya. Tabel 4 berikut merupakan hasil pengujian dari sifat fisis yang didapatkan.

Tabel 4. Hasil Pengujian Vermikulit

No.	Pengujian	Hasil
1	Berat Jenis	0,8
2	Berat Isi	0,19 kg/liter
3	Penyerapan Air	150%

3.2. Mix Design

Setelah didapatkan hasil dari pengujian material-material yang digunakan, maka selanjutnya adalah menentukan proporsi campuran beton (*mix design*) dengan target mutu beton sebesar f_c' 30 MPa yang berpedoman pada (Badan Standardisasi

Nasional, 2000). Target mutu beton ini disesuaikan dengan kebutuhan desain yang akan digunakan sebagai beton dalam pembuatan *rigid pavement* yang memiliki standar minimal mutunya adalah sebesar $f_c' 30$ MPa. Tabel 6 berikut menunjukkan proporsi campuran yang digunakan dalam pembuatan beton segar.

Tabel 6. Proporsi Campuran Beton

No	Bahan	Jumlah (per m ³)
1	Agregat Kasar	983,2 kg
2	Agregat Halus	712 kg
3	Semen	441,9 kg
4	Air	190 kg
5	Vermikulit :	
	- 10%	- 80 gram
	- 20%	- 160 gram
	- 30%	- 240 gram
6	Slump	5 – 7,5 cm

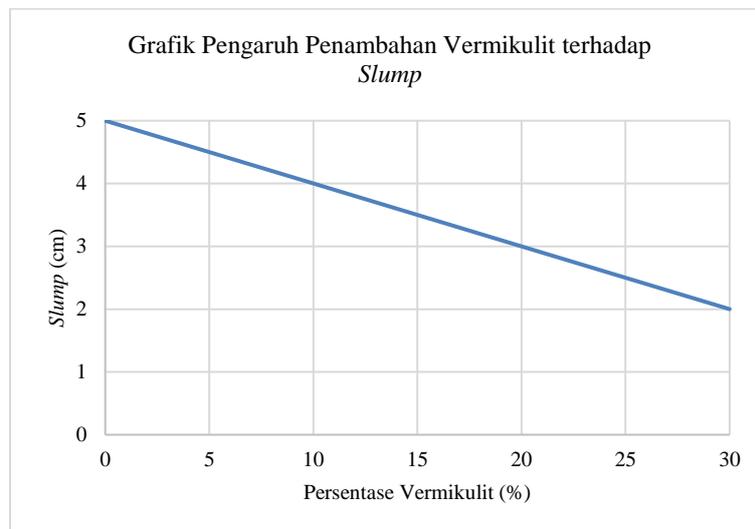
Besarnya proporsi penambahan vermikulit pada campuran beton merupakan *persentase* dari banyak dan beratnya campuran beton yang akan dibuat dengan mempertimbangkan nilai dari berat jenis vermikulit itu sendiri. Penambahan vermikulit pada campuran beton ini tidak berpengaruh terhadap besar proporsi campuran bahan lainnya, hal ini dikarenakan tidak adanya standar mengenai penambahan vermikulit dalam campuran beton. Peran vermikulit dalam campuran beton ini bisa disamakan dengan istilah bahan tambah yang tidak mempengaruhi berat bahan utama dalam campuran.

3.3. Pengujian Beton Segar

Setelah *mix design* beton ditentukan, langkah selanjutnya adalah membuat mencampur seluruh material bahan pembuat beton. Dalam pembuatan beton ini kemudian dilakukan dua buah pengujian berikut.

1. Pengujian Slump

Dengan menggunakan acuan proporsi material yang sama (berdasarkan *mix design*), maka dari *slump* ini dapat diketahui dan dibandingkan pengaruh besaran penambahan vermikulit terhadap beton segar yang dihasilkan. Hasil pengujian *slump* ini ditunjukkan pada grafik pada Gambar 3.



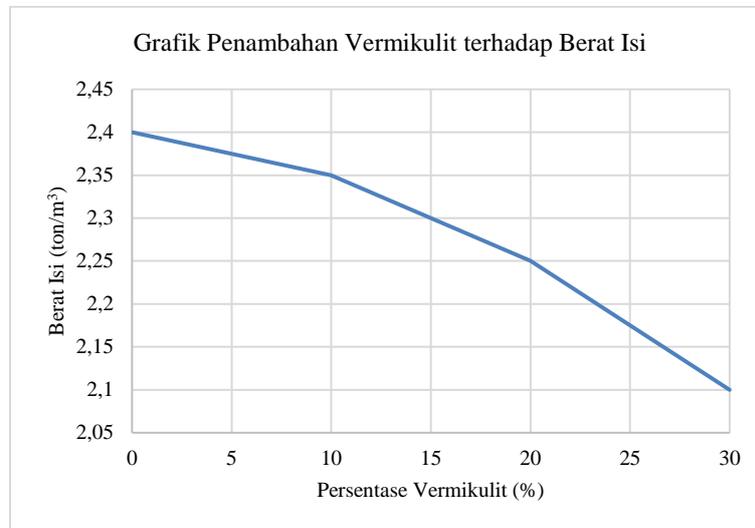
Gambar 3. Grafik Pengaruh Vermikulit terhadap Slump

Dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3 tersebut, dapat dilihat bahwa semakin besar penambahan vermikulit pada campuran beton, maka *slump*-nya akan semakin menurun. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak vermikulit terkandung dalam campuran beton, maka semakin banyak pula air yang terserap sehingga dapat mengurangi kadar air dalam campuran beton tersebut. Semakin kecil *slump*, maka hal itu menandakan bahwa beton segar semakin kental dan menurunkan *workability* di lapangan.

Penurunan *slump* pada beton segar ini dapat berakibat baik dan buruk pada beton yang akan dihasilkan. Sisi baiknya adalah adanya kemungkinan bahwa kekuatan tekan beton dapat meningkat daripada target desain awal. Sisi buruknya adalah ketika beton ini akan diterapkan di lapangan dalam jumlah yang besar, *slump* akan berubah secara tidak pasti dan dapat menurunkan *workability*.

2. Pengujian Berat Isi Beton Segar

Pada beberapa penelitian sebelumnya, dikatakan bahwa beton dengan kandungan vermikulit di dalamnya dapat menjadikan beton menjadi lebih ringan. Hal ini dapat diuji pada berat isi beton segar yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Vermikulit terhadap Berat Isi

Dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4 tersebut, dapat dilihat bahwa semakin besar persentase penambahan vermikulit pada campuran beton maka beratnya akan semakin menurun atau dapat dikatakan bahwa beton semakin ringan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Dari pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini, didapatkan kesimpulan bahwa semakin besar penambahan vermikulit pada pembuatan beton, maka besar *slump* akan semakin menurun. Penurunan besaran *slump* ini dapat menjadi buruk karena ketika beton ini akan diterapkan di lapangan dalam jumlah yang besar, *slump* akan berubah secara tidak pasti dan dapat menurunkan *workability*.

4.2. Saran

Semakin besar penambahan persentase vermikulit pada campuran beton akan semakin menurunkan beratnya, yang berarti vermikulit ini dapat dijadikan pilihan dalam pembuatan beton ringan, namun perlu juga dilakukan pengujian besarnya mutu beton dengan penambahan vermikulit ini. (DIN-1048, 2016) (Badan Standardisasi Nasional, 1990) .

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang pertama ditujukan kepada Allah SWT yang telah melancarkan jalannya penelitian dan pada Politeknik Negeri Bandung yang telah memfasilitasi laboratorium sehingga dapat terlaksana penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASTM. (2016). ASTM C187: Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste. *ASTM International*, 1–3. <https://doi.org/10.1520/C0187-16.2>
- [2] Badan Standardisasi Nasional. (1990a). Metode Pengujian Berat Jenis dan penyerapan air agregat halus. *Bandung : Badan Standardisasi Nasional*, 1–17.
- [3] Badan Standardisasi Nasional. (1990b). Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–5.
- [4] Badan Standardisasi Nasional. (1991). SNI 15-2531 : Metode Pengujian Berat Jenis Semen Portland. *Badan Standar Nasional*, 2531.
- [5] Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–34.

- [6] Badan Standardisasi Nasional. (2004). SNI 15-2049-2004 : Semen Portland. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–128.
- [7] Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 2417-2008 : Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles. *Badan Standardisasi Nasional*.
- [8] Badan Standardisasi Nasional. (2012). ASTM C117:2012 : Metode uji bahan yang lebih halus dari saringan 75 m (No . 200) dalam agregat mineral dengan pencucian. *Badan Standardisasi Nasional*, 200.
- [9] Badan Standardisasi Nasional. (1990). SNI 03-1974-1990 : Metode Pengujian Kuat Tekan Beton.
- [10] Badan Standardisasi Nasional. (2014). SNI 2816-2014 : Metode Uji Bahan Organik dalam Agregat Halus untuk Beton. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 10.
- [11] DIN-1048. (2016). *DIN-1048 : German Standard for determination of Permeability of Concrete*.
- [12] Hendry, D. A. (2014). Kajian peningkatan nilai cbr tanah lempung padalarang yang distabilisasi dengan vermikulit dan semen. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah, December*, 91–105.
- [13] KOÇYİĞİT, Ş., & ÇAY, V. V. (2019). Investigation of Mechanical and Thermal Behavior of Basalt Cutting Waste (Bcw) Added Clay Brick. *European Journal of Technic*, 9(2), 209–218. <https://doi.org/10.36222/ejt.643209>
- [14] Koksall, F., Gencil, O., & Kaya, M. (2015). Combined effect of silica fume and expanded vermiculite on properties of lightweight mortars at ambient and elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 88, 175–187. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.021>
- [15] Mo, K. H., Lee, H. J., Liu, M. Y. J., & Ling, T. C. (2018). Incorporation of expanded vermiculite lightweight aggregate in cement mortar. *Construction and Building Materials*, 179, 302–306. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.219>
- [16] Neville, A. M., & Brooks, J. J. (1981). Concrete Technology. In *British Library Cataloguing in Publication Data* (2nd ed.).
- [17] Prakash, K. E., Sangeetha, D. M., & Bagwan, S. (2019). *An Experimental Study on Partial Replacement of Fine Aggregate by Vermiculite and Cement by Marble Powder*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-3317-0>
- [18] Pretty, D. (2009). *Studi Karakteristik Fisik dan Mekanis Beton Ringan Beragregat Kasar Ringan Daur Ulang Botol Plastik Shampo Polietilen Densitas Tinggi (HDPE)*. Universitas Indonesia.
- [19] Pusjatan - Balitbang PU. (1990). Sni 03-1969-1990: Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Airagregat Kasar. *Pusjatan - Balitbang PU*, 2–5.
- [20] Rashad, A. M. (2016). Vermiculite as a construction material – A short guide for Civil Engineer. *Construction and Building Materials*, 125, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.019>
- [21] Schackow, A., Effting, C., Folgueras, M. V., Güths, S., & Mendes, G. A. (2014). Mechanical and thermal properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agent. *Construction and Building Materials*, 57, 190–197. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.009>
- [22] Suvorov, S. A., & Skurikhin, V. V. (2003). Vermiculite - A promising material for high-temperature heat insulators. *Refractories and Industrial Ceramics*, 44(3), 186–193. <https://doi.org/10.1023/A:1026312619843>

ANALISIS STABILITAS LERENG AKIBAT BEBAN GEMPA 4,9 SR PADA KASUS LONGSORAN JALAN BANDUNG-TASIK KM. 48 KABUPATEN GARUT

Aditia Febriansya¹, Andri Krisnandi Somantri^{1*}, Azwar Kays Kamal¹,
Salma Fadhilah Suryadi¹, Alman Rahadiansyah Willianto¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

*E-mail Penulis Korespondensi: andri_krisnandi@polban.ac.id

ABSTRAK

Longsor yang terjadi pada lahan Perumahan Cijolang, Kecamatan Limbangan, Kabupaten Garut setelah terjadinya gempa 4,9 SR mengakibatkan terganggunya lalu lintas kendaraan yang berasal dari Bandung menuju Garut dan sebaliknya. Longsor yang terjadi pada Jalan Bandung-Tasik KM. 48 tidak hanya mengganggu lalu lintas kendaraan, tetapi juga membahayakan pengguna jalan dan keselamatan penduduk di Perumahan Cijolang. Pada penelitian ini, penanganan lereng dirancang dengan mengubah geometrik lereng atau trap lereng (alternatif 1) dan penggunaan struktur penahan tanah *soldier pile* (alternatif 2), yang memenuhi persyaratan faktor keamanan berdasarkan SNI 8460:2017. Perangkat lunak GeoStudio 2016 digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng kondisi eksisting dan untuk kedua alternatif tersebut. Faktor keamanan lereng sebelum dilakukannya penanganan terhadap longsor 0,903 pada kondisi jenuh dan gempa. Berdasarkan hasil perancangan, penanganan alternatif 1 menghasilkan FK pada kondisi normal 1,724 dan FK pada kondisi gempa 1,163. Sedangkan, hasil perancangan alternatif 2 menghasilkan FK pada kondisi normal 1,658 dan FK pada kondisi gempa 1,102. Berdasarkan hasil perancangan kedua alternatif tersebut, diharapkan dapat diaplikasikan di lapangan sehingga lahan longsor dapat digunakan kembali untuk pembangunan Perumahan Cijolang.

Kata Kunci: Longsor, analisis stabilitas lereng, gempa bumi, geometrik lereng, *soldier pile*

ABSTRACT

Landslides that occurred on the Cijolang housing estate, Limbangan District, Garut Regency after the M 4.9 earthquake resulted in the disruption of vehicle traffic flow from Bandung to Garut and vice versa. Landslide that occurred on Jalan Bandung-Tasik KM. 48 not only interfere with vehicle traffic, but also endanger road users and the safety of residents in Cijolang Housing. In this study, the slope reinforcement was designed by changing the slope geometry (alternative 1) and the use of soldier pile retaining structure (alternative 2), which met the safety factor requirements based on SNI 8460:2017. GeoStudio 2016 software is used to analyze slope stability for existing condition and both alternatives. The existing global safety factor is 0.903 in saturated and earthquake conditions. Based on the results of the design, alternative 1 produce global safety factor of 1.724 under normal conditions and 1.163 under earthquake conditions. Meanwhile, the results of alternative 2 design produce global safety factor of 1.658 under normal conditions and 1.102 under earthquake conditions. Based on the design result of the two alternatives, it is hoped that they can be applied in the field so that landslides can be reused for the construction of Cijolang Housing.

Keywords: Landslide, slope stability analysis, earthquake, slope geometric, *soldier pile*

1. PENDAHULUAN

Infrastruktur jalan menjadi penggerak pertumbuhan ekonomi suatu bangsa. Berdasarkan alokasi pembiayaan publik dan swasta, infrastruktur dianggap sebagai lokomotif pembangunan nasional dan daerah [1,2]. Infrastruktur juga penting untuk meningkatkan kualitas hidup dan kesejahteraan manusia, diantaranya adalah peningkatan nilai konsumsi, produktivitas tenaga kerja, akses lapangan kerja, dan peningkatan kesejahteraan [1-3][6].

Longsor yang terjadi pada akses jalan nasional Bandung-Tasik KM. 48, Desa Cijolang, Kecamatan Limbangan, Kabupaten Garut pada hari Jumat, 21 Februari 2020 mengakibatkan terganggunya arus lalu lintas kendaraan yang berasal dari Bandung menuju Garut dan sebaliknya. Berdasarkan berita tersebut, insiden runtuhnya tembok penahan tanah terjadi sekitar pukul 08.00 WIB diduga dipicu oleh gempa bumi magnitudo 4,9 SR (BMKG) yang mengguncang Tasikmalaya [4].

Lokasi terjadinya longsor merupakan jalan arteri, kelas jalan III, dan termasuk jalan nasional yang menghubungkan Provinsi Jawa Barat dengan Provinsi Jawa Tengah. Jalan Bandung-Tasik adalah jalur pariwisata yang merupakan akses masuk beberapa objek wisata di Kabupaten Garut dan sekitarnya. Dampak longsor yang terjadi yaitu tertutupnya akses jalan utama menuju perumahan, mengikis lahan perumahan yang akan dibangun beberapa rumah, dan menurunnya daya beli di perumahan tersebut,

serta menghindari terjadi longsor yang suatu saat dapat menutup akses jalan utama di lokasi tersebut. Lokasi terjadinya longsor dan dokumentasi longsor yang terjadi dapat dilihat pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**.



Gambar 1. Lokasi longsor di Jalan Bandung-Tasik KM. 48, Kabupaten Garut



Gambar 2. Longsor yang terjadi setelah gempa 4,9 SR

Berdasarkan kejadian tersebut, perlu direncanakan alternatif penanganan lereng untuk mengantisipasi terjadinya longsor lanjutan. Pada penelitian ini, penanganan lereng dirancang dengan mengubah geometrik lereng atau trap lereng (alternatif 1) dan penggunaan struktur penahan tanah *soldier pile* (alternatif 2), yang memenuhi persyaratan faktor keamanan (FK) untuk lereng tanah berdasarkan SNI 8460:2017 [5] dengan mempertimbangkan stabilitas lereng akibat gempa, curah hujan, dan beban-beban yang bekerja di atasnya sebagai tindak lanjut dari kejadian tersebut.

2. METODOLOGI PELAKSANAAN

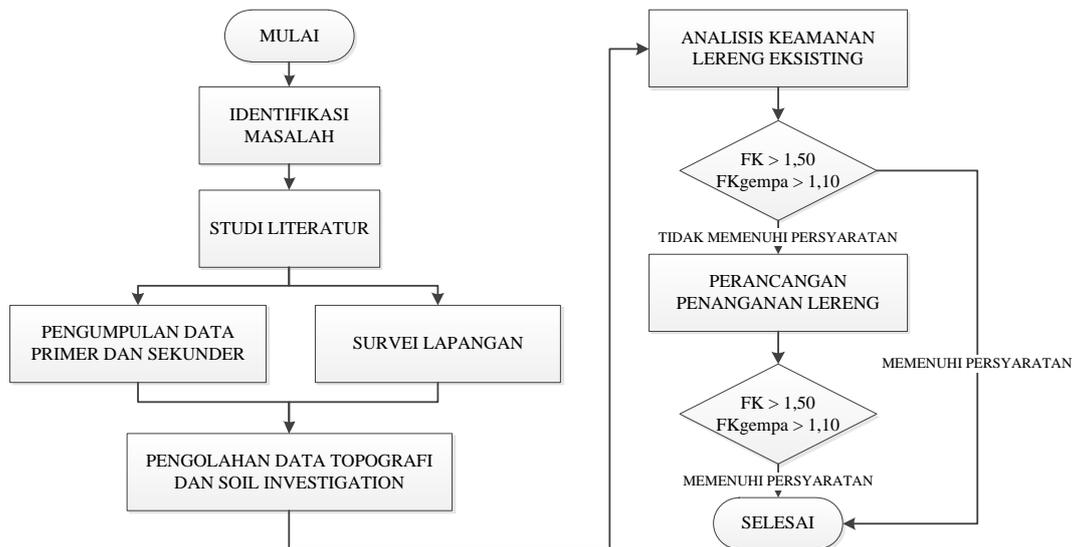
Metodologi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3**. Berdasarkan SNI 8460:2017 tentang Persyaratan perancangan geoteknik, faktor keamanan (FK) lereng yang direkomendasikan untuk analisis keamanan lereng tanah diperlihatkan pada **Tabel 1** di bawah dengan didasarkan pada pertimbangan tingkat ketidakpastian kondisi analisis.

Tabel 1. Rekomendasi Faktor Keamanan (FK) lereng tanah [5]

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah ^a	Tinggi ^b
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,5	2,0 atau lebih

^aTingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan.

^bTingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi, jika kondisi geologi sangat kompleks, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Pengaruh akibat beban gempa diperhitungkan jika lereng direncanakan pada area dekat pemukiman atau dengan kriteria kepentingan strategis yaitu tidak diperbolehkan mengalami keruntuhan atau putusnya jalur transportasi setelah terjadi gempa bumi [5]. Gempa rencana untuk lereng galian dan timbunan ditetapkan dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur rencana 50 tahun adalah 2% atau setara dengan periode ulang 50 tahun dengan mengacu pada peta gempa yang terdapat pada surat edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 12/SE/M/2010 [5][8-12].

Faktor keamanan (FK) minimum yang digunakan pada analisis model pseudo-statik disyaratkan lebih besar dari 1,10 ($FK > 1,10$) berdasarkan koefisien seismik yang diperoleh dari percepatan puncak di permukaan (PGA) dengan penentuan kelas situs dan faktor amplifikasi [5].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penyelidikan Tanah dan Topografi

Penyelidikan di lapangan dan di laboratorium dilakukan untuk mengetahui kondisi stratifikasi tanah, sifat fisik serta sifat mekanik lapisan-lapisan tanah di lokasi tinjauan, untuk selanjutnya dimodelkan dalam Geostudio 2016. **Gambar 4** di bawah merupakan denah hasil pengujian lapangan (*cone penetration test* dan pengeboran tangan).



Gambar 4. Lokasi titik pengujian tanah di lapangan

Berdasarkan pengujian sondir yang dilakukan di lapangan, diperoleh hasil perkiraan jenis tanah. Hasil pengujian *Cone Penetration Test* (CPT) dapat dilihat pada **Tabel 2**, **Tabel 3**, **Tabel 4**, dan **Tabel 5**. Selain pengujian CPT, didapatkan juga data-data tanah yang digunakan sebagai parameter desain penanganan longsor pada Jalan Bandung-Tasik KM. 48, Limbangan, Kabupaten Garut. Parameter tanah untuk setiap lapisan tanah diketahui melalui pengujian tanah yang dilakukan di laboratorium terhadap sampel *boring* tanah seperti pada **Tabel 6**.

Tabel 2. Hasil pengujian CPT S-1

Kedalaman (m)	qc (kg/cm ²)	Perkiraan Jenis Tanah
0,2 – 4	12	Lempung
4,2 – 5	42	Lempung Kelanauan
5,2 – 6	46	Pasir Kelanauan
6,2 – 7	50	Lempung
7,2 – 9	56	Lempung Kelanauan
9,2 – 10	60	Pasir
10,2 – 11,6	100	Lempung

Tabel 3. Hasil pengujian CPT S-2

Kedalaman (m)	qc (kg/cm ²)	Perkiraan Jenis Tanah
0,2 – 1	16	Lempung
1,2 – 3	70	Pasir
3,2 – 4	90	Pasir Kelanauan
4,2 -5	80	Lempung Kelanauan
5,2 – 7	90	Lempung
7,2 – 7,4	150	Pasir

Tabel 4. Hasil pengujian CPT S-3

Kedalaman (m)	qc (kg/cm ²)	Perkiraan Jenis Tanah
0,2 – 2	16	Lempung
2,2 – 3	20	Lempung Kelanauan
3,2 – 7	45	Lempung
7,2 – 8	80	Lempung Kelanauan
8,2 – 9,8	105	Pasir

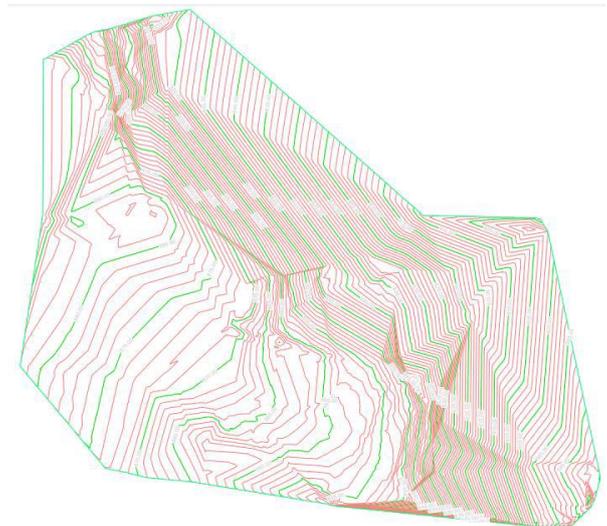
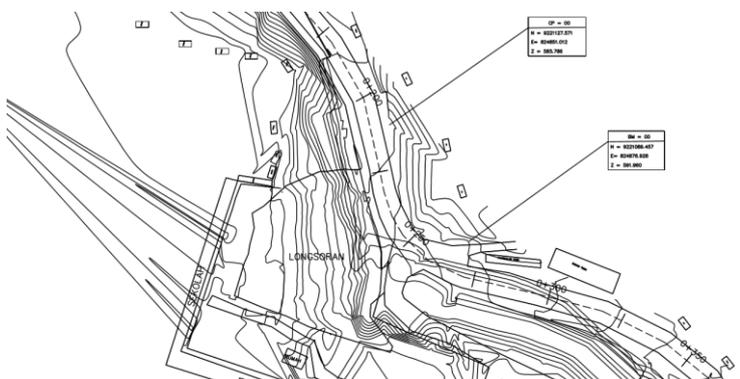
Tabel 5. Hasil pengujian CPT S-4

Kedalaman (m)	qc (kg/cm ²)	Perkiraan Jenis Tanah
0,2 – 1	32	Lempung Kelanauan
1,2 – 2	18	Lempung
2,2 – 3,6	200	Pasir

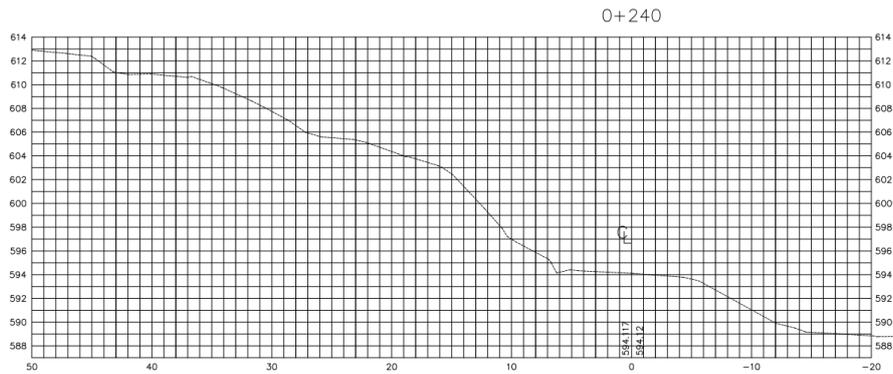
Tabel 6. Hasil pengujian tanah di laboratorium

Parameter Tanah	Satuan	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3	Lapisan 4
		Lempung	Lempung Kelanauan	Lempung	Tanah Keras
Kohesi (c)	kPa	19,42	21	30	49,033
θ	°	20	25	20	35
Unit Weight	kN/m ³	15,691	15,691	16,230	16,582

Survei topografi di lokasi tinjauan meliputi pengukuran dengan menggunakan *theodolite* dan *drone* yang menghasilkan elevasi permukaan tanah serta garis-garis kontur. Hasil dari pengukuran tersebut akan memberikan kontur dan potongan kritis lereng dapat dilihat pada **Gambar 5** dan **Gambar 6**.



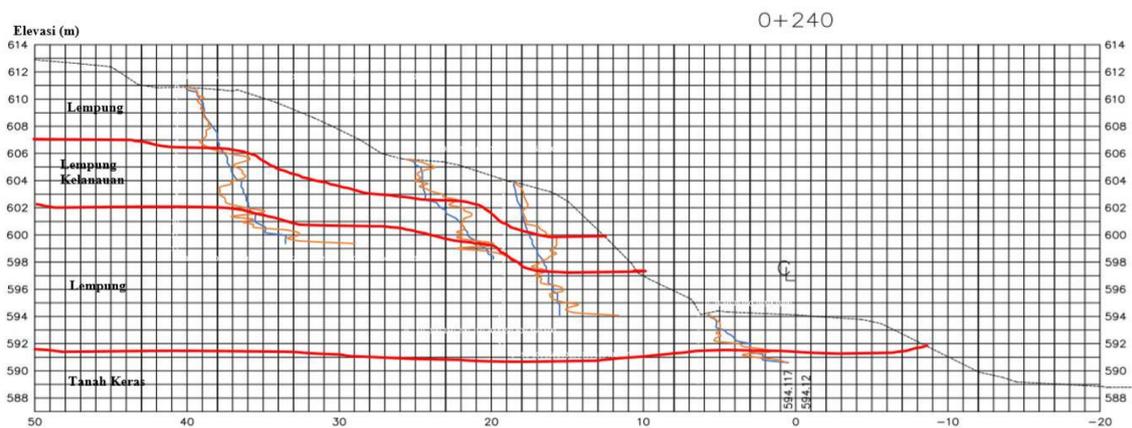
Gambar 5. Kontur lokasi tinjauan menggunakan *theodolite* dan *drone*



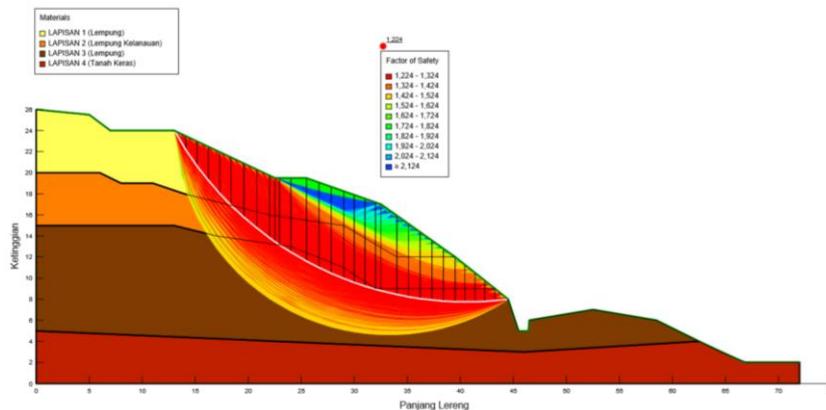
Gambar 6. Potongan lereng

3.2 Analisis Keamanan Lereng Eksisting setelah Longsor

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah dan survei topografi diperoleh stratigrafi tanah untuk pemodelan analisis keamanan lereng, dapat dilihat pada **Gambar 7**. Analisis keamanan lereng biasanya dilakukan dengan pendekatan kesetimbangan batas (*limit equilibrium*), teori batas plastis, dan metode numerikal seperti metode elemen hingga (*finite element method*). Dengan pendekatan *limit equilibrium*, pelapisan tanah dimodelkan secara sederhana dan tidak dapat memodelkan tahapan konstruksi (*stage construction*), sedangkan pada *finite element method*, pemodelan stratifikasi lereng dapat dilakukan secara lebih kompleks dan dapat memodelkan tahapan konstruksi [5][8-12]. Pada penelitian ini akan digunakan perangkat lunak dengan pendekatan kesetimbangan batas, yaitu Geostudio Slope/W 2016 untuk analisis kondisi eksisting dan perancangan penanganan lereng.



Gambar 7. Stratigrafi tanah pada kontur setelah terjadi longsor



Gambar 8. Analisis keamanan lereng eksisting setelah terjadi longsor

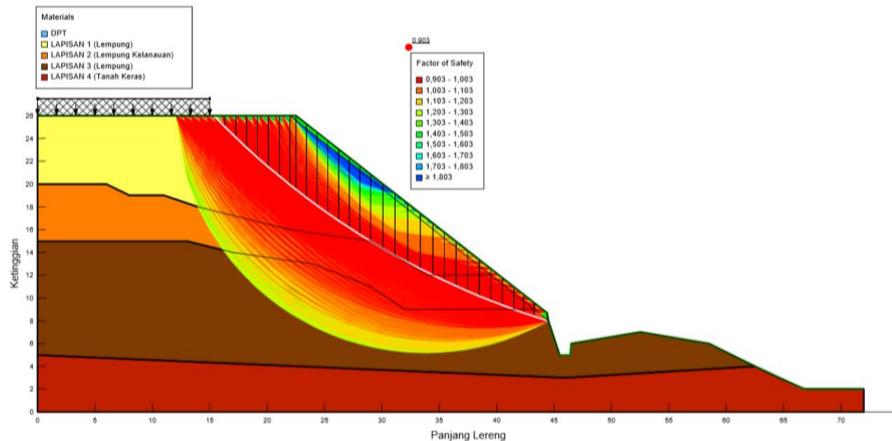
Berdasarkan hasil analisis keamanan lereng eksisting setelah longsor (**Gambar 8**) didapatkan $FK = 1,224$ pada kondisi gempa. Lereng eksisting pada kondisi setelah longsor sudah memenuhi persyaratan berdasarkan SNI 8460:2017 ($FK > 1,10$), namun untuk merencanakan ulang perbaikan lereng, penulis melakukan rekonstruksi lereng berdasarkan geometri sebelum terjadinya longsor.

3.3 Analisis Stabilitas Lereng Eksisting

Setelah menganalisis stabilitas lereng eksisting pasca longsor, dilakukan analisis stabilitas lereng hasil rekonstruksi untuk mendapatkan model longsor yang terjadi di lapangan. Beban yang diaplikasikan pada model adalah beban minimal sebesar 10 kPa. Nilai koefisien gempa ditentukan dari percepatan puncak *Peak Ground Acceleration* (PGA). Nilai PGA diperoleh dengan memasukkan koordinat lokasi lereng pada http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/ [7]. Didapat nilai PGA sebesar 0,456, sehingga koefisien gempa dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$k_h = \frac{1}{2} \times \text{PGA} = \frac{1}{2} \times 0,456 = 0,228$$

$$k_v = \frac{1}{10} \times \text{PGA} = \frac{1}{10} \times 0,456 = 0,046$$



Gambar 9. Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Jenuh dan Gempa.

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng setelah direkonstruksi pada kondisi jenuh dan gempa (**Gambar 9**) diperoleh faktor keamanan $FK = 0,903$. Hasil yang diperoleh lebih kecil dari nilai faktor keamanan yang direkomendasikan pada SNI 8460:2017, sehingga diperlukan penanganan agar infrastruktur jalan dapat berfungsi secara normal. Pada penelitian ini dirancang dua alternatif penanganan longsor. Hasil FK beberapa kondisi analisis, dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Hasil FK eksisting pada berbagai kondisi.

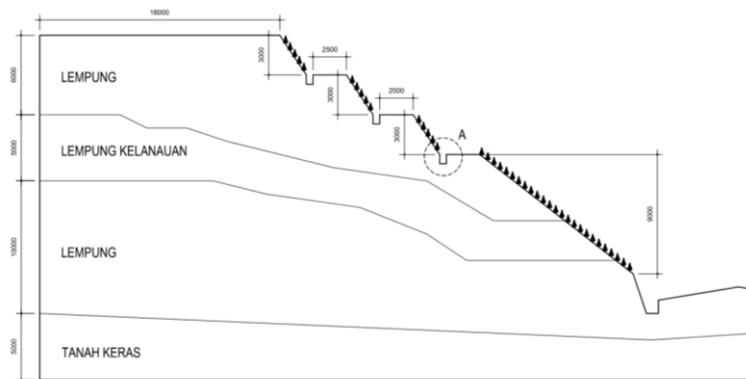
Kondisi	FK	Rekomendasi FK [5]
Normal	1,327	1,50
Jenuh (Hujan)	1,304	1,50
Normal dan Gempa	0,920	1,10
Jenuh dan gempa*)	0,903	1,100

*) Kondisi sewaktu terjadi longsor Februari 2020

3.4 Perencanaan Penanganan Lereng

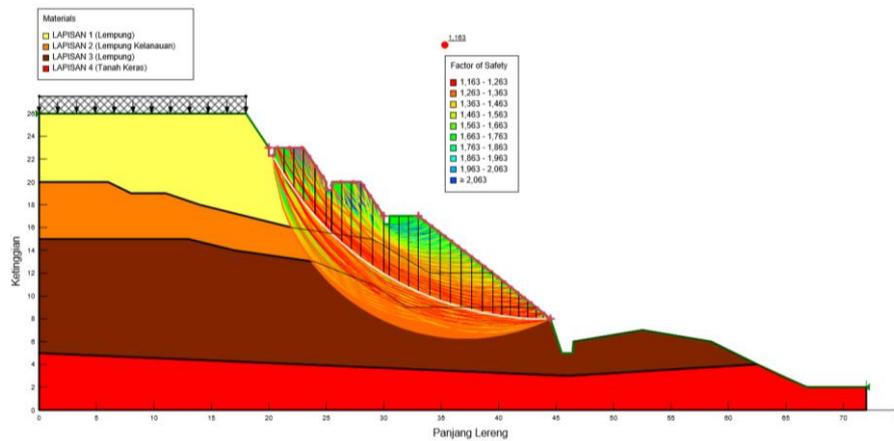
3.4.1 Perencanaan Geometrik dengan Trap Lereng (Alternatif 1)

Penanganan dengan melakukan perubahan geometrik dengan trap lereng diterapkan pada kasus ini. Selain mengubah geometrik lereng, dilakukan juga perencanaan drainase lereng dan memberi rumput vetiver dengan jarak antar rumput 0,5 meter di lereng tersebut. Dimensi trap lereng dapat dilihat pada **Gambar 10**.



Gambar 10. Alternatif penanganan lereng dengan mengubah geometri lereng

Hasil analisis perencanaan penanganan dengan mengubah geometrik dengan trap lereng, dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 11. Hasil analisis keamanan perencanaan geometrik lereng beserta adanya drainase

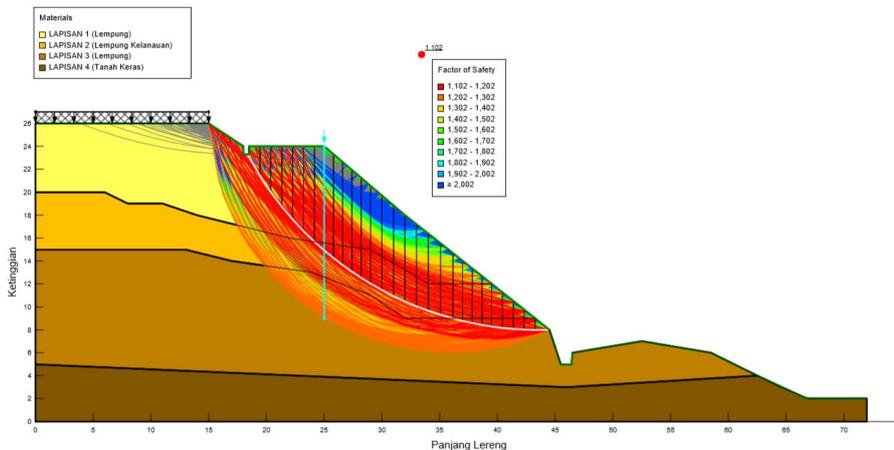
Dengan perubahan geometrik beserta adanya drainase seperti pada **Gambar 11** didapat faktor keamanan $FK = 1,163$ pada kondisi jenuh dan gempa. Penanganan lereng telah memenuhi persyaratan berdasarkan SNI 8460:2017, sehingga penanganan dapat diterima. Faktor keamanan FK hasil analisis stabilitas lereng setelah penanganan dengan mengubah geometrik lereng dengan kondisi-kondisi analisis, dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Hasil FK alternatif 1 perencanaan geometrik lereng pada berbagai kondisi

Kondisi	FK	Rekomendasi FK [5]
Normal	1,724	1,50
Jenuh (Hujan)	1,692	1,50
Normal dan Gempa	1,186	1,10
Jenuh dan gempa	1,163	1,10

3.6.1 Perencanaan Soldier Pile (Alternatif 2)

Penanganan dengan melakukan perencanaan *soldier pile* merupakan alternatif kedua yang diterapkan pada kasus ini. Selain adanya *soldier pile*, penulis juga melakukan perencanaan drainase lereng seperti pada perencanaan alternatif 1 dan memberi rumput vetiver di lereng tersebut. *Soldier pile* yang digunakan berdiameter 0,3 meter dengan kedalaman 15 meter. Hasil analisis perencanaan penanganan dengan menggunakan *soldier pile*, dapat dilihat pada **Gambar 12**.



Gambar 10. Hasil Analisis Perencanaan Penanganan dengan *Soldier Pile*.

Dengan adanya *soldier pile* sedalam 15 meter seperti pada **Gambar 12** didapatkan faktor keamanan $FK = 1,102$ pada kondisi jenuh dan gempa. Berdasarkan hasil probabilitas atau modus yang didapat yaitu faktor keamanan FK di antara 1,2 – 1,3. Faktor keamanan tersebut lebih besar dari 1,10. Sehingga lereng tersebut memenuhi persyaratan dapat dikategorikan aman terhadap gempa. Faktor keamanan FK hasil analisis stabilitas lereng setelah penanganan dengan menggunakan *soldier pile* di berbagai kondisi, dapat dilihat pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Nilai FK alternatif 2 perencanaan penanganan dengan soldier pile pada berbagai kondisi

Kondisi	FK	Rekomendasi FK [5]
Normal	1,658	1,50
Jenuh (Hujan)	1,623	1,50
Normal dan Gempa	1,125	1,10
Jenuh dan gempa	1,102	1,10

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis menggunakan GeoStudio Slope W/ 2016, terdapat dua alternatif yang dihasilkan sebagai pilihan penanganan longsor di Jalan Bandung-Tasik KM 48, Kecamatan Limbangan, Kabupaten Garut. Perbandingan faktor keamanan kedua alternatif penanganan pada berbagai kondisi dapat dilihat pada **Tabel 10**.

Tabel 10. Resume hasil analisis keamanan

Kondisi	Faktor keamanan (FK)		
	Kondisi Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2
Normal	1,327	1,724	1,658
Jenuh (hujan)	1,304	1,692	1,623
Normal dan Gempa	0,920	1,186	1,125
Jenuh dan Gempa	0,903	1,163	1,102

Dari hasil analisis, kedua alternatif dapat dipilih disesuaikan dengan kebutuhan dan ketersediaan lahan di lapangan dengan tetap memperhatikan persyaratan desain dan hitungan

ACKNOWLEDGMENT

Penulis mengucapkan terima kasih terhadap semua dukungan dan fasilitas dari Jurusan Teknik Sipil dan Kelompok Keahlian Bidang Geoteknik Politeknik Negeri Bandung.

REFERENCES

- [1] Haris A 2005 Pengaruh Penatagunaan Tanah Terhadap Keberhasilan Pembangunan Infrastruktur dan Ekonomi Direktorat Tata Ruang dan Pertahanan, *Bappenas*
- [2] Sukwika T 2018 Peran Pembangunan Infrastruktur Terhadap Ketimpangan Ekonomi Antarwilayah di Indonesia Jurnal Wilayah dan Lingkungan 6(2) 115-130
- [3] Atmaja H K and Mahalli Kasyful 2015 Pengaruh Peningkatan Infrastruktur Terhadap Pertumbuhan Ekonomi di Kota Sibolga Jurnal Ekonomi dan Keuangan 3(4)
- [4] H Ghani 2020 *Dampak Gempa Tasik, Tembok Penahan Tanah Perumahan di Garut Runtuh* Detiknews. Tersedia: <https://news.detik.com/berita-jawa-barat/d-4908441/dampak-gempa-tasik-tembok-penahan-tanah-perumahan-di-garut-runtuh>
- [5] SNI 8460:2017 2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik *Badan Standardisasi Nasional*
- [6] H Hendry, A K Somantri, A Febriansya, and M D Nurhadi 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 732 012027
- [7] Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman 2011 Desain Spektra Indonesia. Tersedia: http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/
- [8] B M Das 1992 Principles of Soil Dynamics. *United States of America: PWS-KENT*.
- [9] B M Das 1993 Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2. *Surabaya: ITS*.
- [10] H C Hardiyatmo 1996 Teknik Fondasi 1. *Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama*.
- [11] H C Hardiyatmo 2003 Mekanika Tanah II Edisi 3. *Yogyakarta: Gadjah Mada University Press*.
- [12] M A Bahtiar, N S Surjandar and Setiono 2016 Korelasi Nilai Kohesi dan Sudut Geser Dalam Dengan Nilai Tahanan Konus Sondir Menggunakan Metode Statistika. *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 690-698.
- [13] Hariish 2013 Perancangan Paku Tanah (Soil Nailing) dan Mengubah Geometrik Lereng Pada Penanganan Kelongsoran Cadas Pangeran KM. 36+650. *Bandung: Politeknik Negeri Bandung*.
- [14] K Nakazawa and S Sosrodarsono 2000 Soil Mechanics and Foundation Engineering *Jakarta: PT. Pertja*.
- [15] B Widjaja 2004 Analisis Batas Untuk Kestabilan Lereng. *Jurnal Ilmiah*, 1-11.
- [16] Z Zakaria 2009 Analisis Kestabilan Lereng. *Bandung: Universitas Padjadjaran*.

PERBAIKAN TANAH DASAR YANG BERPOTENSI TERJADI LIKUEFAKSI DENGAN METODE *STONE COLUMN* PADA JUNCTION TEBING TINGGI

Andri Krisnandi Somantri^{1*}, Aditia Febriansya¹, Denira Putri R¹, Rd. Nurul Fitriani A¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559

*E-Mail penulis korespondensi: andri_krisnandi@polban.ac.id

ABSTRAK

Aktivitas lempeng Indo-Australia dan Eurasia sering menimbulkan gempa. Jenis tanah yang berada pada *Junction* Tebing Tinggi adalah pasir sedikit lanau dengan konsistensi yang sangat lepas. Nilai N-SPT pada BH 15-BH 18 sekitar 0-4 pada kedalaman 3 m-15,3 m dengan muka air tanah di kedalaman 1,2 m di bawah tanah dasar *Junction* Tebing Tinggi, Sumatera Utara membuat tanah pada daerah tersebut berpotensi likuefaksi. Analisis potensi likuefaksi yang penulis lakukan digunakan dengan tiga metode yaitu, Youd dan Idriss (2001), Robert dan Wride (1998), dan NCEER (1997) dengan menggunakan hasil CPT pada tanah dasar timbunan *Junction* Tebing Tinggi didapatkan hasil pada kedalaman di sekitar 3,4 m-17,8 m berpotensi likuefaksi. Analisis keamanan lereng diperhitungkan dan didapat hasil factor keamanan sebesar 1,4. Berdasarkan hasil tersebut dilakukan perkuatan pada tanah dasar timbunan *Junction* Tebing Tinggi. Tahap perkuatan dilakukan dengan menambahkan *stone column* berdiameter 1,2 m dengan kedalaman 10 m berjarak 1,5 m di sepanjang tanah dasar di bawah timbunan. Dengan perencanaan tersebut, didapatkan hasil bahwa tanah dasar sudah tidak berpotensi likuefaksi dan penurunan dapat tereduksi sebanyak 48-54% serta stabilitas lereng meningkat menjadi 2,6.

Kata kunci: Gempa Bumi, Potensi Likuefaksi, Youd dan Idriss, Robertson dan Wride, NCEER, *Stone Column*

ABSTRACT

The activity of the Indo-Australian and Eurasian plates often causes earthquakes. The type of soil located at the Tebing Tinggi Junction is slightly silty sand with a very loose consistency. The N-SPT value at BH 15-BH 18 is around 0-4 at a depth of 3 m-15,3 m with a groundwater level at a depth of 1,2 m below the subgrade of Tebing Tinggi Junction, North Sumatra, making the soil in the area potentially liquefied. The liquefaction potential analysis that the authors carried out used three methods, namely, Youd and Idriss (2001), Robert and Wride (1998), and NCEER (1997) using CPT results on the subgrade of the Tebing Tinggi Junction embankment. 4 m-17,8 m potential for liquefaction. The safety analysis was considered, and the results were obtained safety factor of 1,4. Based on this analysis, reinforcement was carried out on the subgrade of the Tebing Tinggi Junction embankment. The reinforcement phase was carried out by adding a stone column with a diameter of 1,2 m with a depth of 10 m with 1,5 m along the subgrade under the embankment. With this planning, the result is that the subgrade has no potential for liquefaction and the settlement can be reduced as much as 48-54% and the slope stability increases to 2,6.

Keywords: Earthquake, Liquefaction Potential, Youd and Idriss, Robertson and Wride, NCEER, *Stone Column*

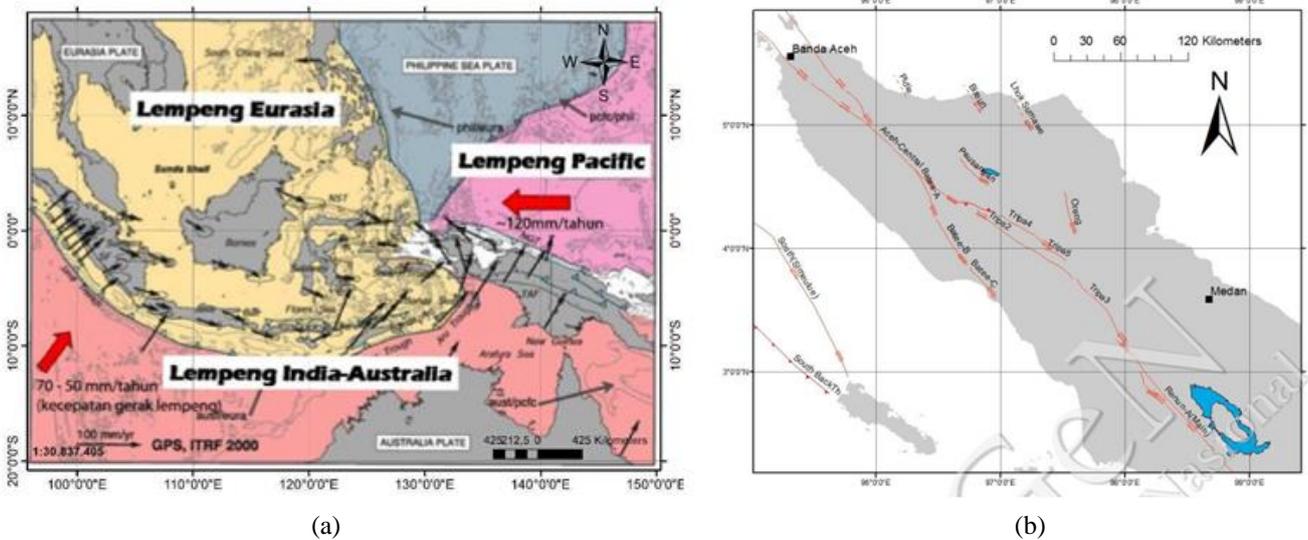
1. PENDAHULUAN

Negara Indonesia adalah salah satu negara yang sering terjadi gempa bumi. Terjadinya gempa bumi di Indonesia dikarenakan Indonesia merupakan tempat dimana terdapatnya pertemuan dari lempeng besar dunia yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik dan Lempeng India-Australia seperti pada Gambar 1a.

Gempa bumi menimbulkan efek sekunder atau proses non tektonik di permukaan yang berkaitan langsung dengan gempa bumi. Salah satu efek sekunder tersebut adalah terjadinya fenomena pencairan tanah akibat beban siklik yang dikenal dengan likuefaksi [2]. Likuefaksi merupakan proses perubahan kondisi tanah pasir yang jenuh air menjadi cair akibat meningkatnya tekanan air pori yang nilainya menjadi sama dengan tekanan total diakibatkan terjadinya beban dinamik, seperti gempa bumi, sehingga tegangan efektif tanah menjadi nol [3]. Likuefaksi merupakan fenomena di mana tanah kehilangan banyak kekuatan (*strength*) serta kekakuan (*stiffness*) dalam waktu yang singkat. Likuefaksi menjadi penyebab dari banyaknya kerusakan, kematian, dan kerugian ekonomi yang besar.

Likuefaksi biasanya terdapat pada tanah pasir. Jenis tanah pasir ini ditemukan di *Junction* Tebing Tinggi, Sumatera Utara yang penulis tinjau dimana memungkinkan terjadi likuefaksi saat gempa terjadi. Fenomena likuefaksi ini memberikan dampak yang sangat merugikan bagi konstruksi, pada daerah Sumatera Utara ini sedang berlangsung salah satu konstruksi pembuatan jalan tol. Dampak dari likuefaksi sangat merugikan salah satunya yaitu mengakibatkan bangunan yang berada di atasnya ikut bergerak dan mengakibatkan kerusakan seperti halnya yang terjadi saat gempa bumi dan tsunami di kota Palu yang mengalami proses

pencairan dan membuat tanah ikut bergerak.



Gambar 1. Lempeng aktif di wilayah Indonesia (a), Sesar aktif di Sumatera Utara (b) [1]

Sumatera Utara adalah salah satu wilayah di negara Indonesia yang dilewati oleh sesar aktif serta berpotensi mengalami gempa bumi jika terjadinya bertabrakannya dua sesar. Sesar aktif di Sumatera Utara, yaitu sesar Sumatera. Sesar Sumatera ini meliputi Segmen, Seulimeum-North, Aceh-North dan Nicobar yang terletak di bagian paling utara Pulau Sumatera, dapat dilihat pada Gambar 1b.

Tabel 1. Resume Pengeboran dan SPT BH-18

No Lapisan	Kedalaman (m)	Tebal Lapisan (m)	Deskripsi Tanah	N _{SPT}
1	0.00 – 3.30	3.30	Lempung, warna abu kekuningan, konsistensi lunak ke sedang, kadar air sedang ke tinggi dan plastisitas rendah ke sedang	4
2	3.30 – 7.25	3.95	Pasir halus ke sedang sedikit Lanau, warna abu-abu, konsistensi lepas ke sangat lepas, kadar air tinggi dan non plastis.	3
3	7.25 – 15.30	8.05	Pasir halus ke sedang sedikit Lempung, warna abu-abu, konsistensi sangat lepas, kadar air tinggi dan plastis sangat rendah.	2
4	15.30 – 23.40	8.10	Pasir sedang bercampur batu Apung sedikit Lanau, warna abu-abu, konsistensi lepas ke padat, kadar air tinggi dan plastis sangat rendah ke non plastis.	17
5	23.40 – 30.50	7.10	Pasir berlanau bercampur batu Apung, warna abu-abu keputihan, konsistensi sangat padat, kadar air tinggi dan plastis rendah.	>50

Dapat dilihat pada Tabel 1, nilai N_{SPT} pada BH-18 teridentifikasi tanah pasir sedikit lanau sangat lepas dengan nilai N_{SPT} 2-4 pada kedalaman 3,00 m - 15,30 m serta muka air tanah pada elevasi -1,20 m di bawah permukaan tanah dasar (subsoil). Tanah dasar ini nantinya akan ditimbun dan akan menjadi jalan tol penghubung Kuala Tanjung-Tebing Tinggi-Parapat. Dilihat dari nilai N_{SPT} dan muka air yang rendah, tanah dasar ini berpotensi mengalami likuefaksi. Metode yang digunakan untuk memperbaiki tanah yang berpotensi likuefaksi ini salah satunya dengan metode *stone column*.

Material *stone column* dapat berupa pasir dan kerikil alam, batu pecah atau material daur ulang, seperti hancuran batu bata atau beton. *Stone column* adalah upaya perbaikan tanah dengan penggalian yang dilakukan untuk mengganti sebagian tanah yang akan digunakan sebagai dasar konstruksi dengan kolom vertikal yang dipadatkan. *Stone column* berfungsi sebagai berikut:

1. Meningkatkan daya dukung tanah,
2. Mengurangi penurunan total (*total settlement*) tanah,
3. Mengurangi waktu konsolidasi,
4. Serta, mengurangi bahaya potensi likuefaksi [4].

2. TINJAUAN PUSTAKA

Lindung Zalbuin Mase (2018) pada artikelnya menjelaskan tentang analisis potensi likuefaksi berdasarkan data SPT menggunakan metode empiris yang di dalam penelitiannya, metode Idriss-Bouglanger yang merupakan metode yang paling mendekati dalam mengestimasi kesesuaian prediksi dan kejadian di lapangan [5].

Markus dan Aksan Kawanda (2020) membandingkan CSR dan CRR dengan metode Seed et al (2003), Tsuchida (1970), dan Bray & Sancio (2004). Dengan tiang pancang, daya dukung aksial berkurang 32% akibat tanah yang terlikuefaksi. Dengan efek *lateral spreading* dihitung dengan acuan JRA Code [6]. A K Somantri dkk (2020) menjelaskan tentang perkuatan fondasi pada jembatan yang berpotensi terjadi likuefaksi menambahkan 8 tiang pancang pada konfigurasi tiang untuk masing-masing fondasi agar jembatan dapat beroperasi dengan aman [7].

Anhar, Rangga, Hamdhan, dan Indra Noer (2016) menggunakan perhitungan numerik menggunakan Plaxis 2D dengan variasi kedalaman *Stone column* dengan tipe sejajar, tipe tangga, dan tipe piramida [8]. Iskandar, Fauziah Fitriani, Hamdhan, dan Indra Noer (2016) menggunakan program Plaxis 2D dengan model *Axisymmetric* dengan memvariasikan jarak dan diameter antar *Stone column* dengan hasil analisis terjadinya pengurangan penurunan total hingga 80% dan pengurangan waktu hingga 2367 hari [9].

2.1 Gempa Bumi

Indonesia termasuk ke dalam daerah yang rawan gempa. Dikarenakan Indonesia memiliki beberapa lempeng dan sesar, maka gempa bumi bukan hal yang awam lagi karena gempa bumi bisa terjadi dikarenakan bertabrakannya dua lempeng sehingga patah secara mendadak dan melepaskan energi yaitu getaran yang dikenal dengan gempa bumi. Sebenarnya, jika dua lempeng bertemu dengan suatu sesar, kedua lempeng itu bisa saling mendekat, menjauh, atau saling bergeser. Setiap tahunnya, gerakan ini sebenarnya bergerak lambat. Namun, tidak dirasakan oleh manusia. Pergerakan lempeng ini berkisar 0-15 cm per tahunnya.

2.2 Likuefaksi

Likuefaksi adalah suatu proses berubahnya sifat tanah dari keadaan padat menjadi cair yang disebabkan oleh beban siklik pada waktu terjadinya gempa bumi. Biasanya, likuefaksi terjadi pada tanah pasir atau tanah yang partikel-partikelnya tidak berdekatan dan dekat dengan air pori di bawah tanahnya. Saat gempa terjadi, air pori di dalam tanah mendesak keluar dan mengubah tanah berbutir pasir menjadi cair sehingga tanah kehilangan kekuatan dan kekakuannya menopang bangunan atau jalan terjadilah pergeseran tanah atau disebut likuefaksi.

Terdapat banyak faktor yang dapat menyebabkan terjadinya tanah mengalami likuefaksi. Menurut Day (2002) berdasarkan hasil pengujian laboratorium serta observasi dan studi lapangan, terdapat beberapa faktor penyebab terjadinya tanah mengalami likuefaksi, diantaranya:

1. Intensitas, durasi, dan karakteristik gempa bumi
2. Muka air tanah
3. Jenis tanah
4. Kepadatan relatif awal (*Initial relative density*)
5. Gradasi dan analisis butiran tanah
6. Kondisi drainase dan dimensi deposit atau endapan
7. Histori Lingkungan

Metode umum untuk mengevaluasi potensi likuefaksi diusulkan oleh Seed dan Idriss (1967, 1971). Langkah-langkah dalam evaluasi potensi likuefaksi diantaranya menentukan jenis tanah, elevasi muka air tanah, *Cyclic Stress Ratio* (CSR), *Cyclic Resistance Ratio* (CRR), dan *Safety of Factor* (SF).

2.2.1 *Cyclic Stress Ratio* (CSR)

CSR adalah tegangan siklik yang ditimbulkan oleh beban gempa yang akan menyebabkan terjadinya likuefaksi [8] Berdasarkan rekomendasi dari Seed dan Idriss (1971) dan Liao dan Whitman (1986) merumuskan perhitungan nilai CSR suatu tanah berdasarkan persamaan berikut:

$$CSR = 0.65 \times \left(\frac{a_{max} \times \sigma_v}{g \times \sigma_v'} \right) \times \gamma d$$

dimana:

CSR = Nilai tegangan siklik akibat beban gempa

σ_v = Tegangan vertikal total

α_{max} = Percepatan puncak horizontal di permukaan

σ_v' = Tegangan vertikal efektif tanah yang ditimbulkan oleh gempa bumi

rd = Faktor reduksi tegangan

g = Percepatan gravitasi bumi

Dalam menentukan faktor reduksi tegangan yang dikemukakan oleh Blake (1996), dapat dilihat seperti berikut:

$$\begin{aligned} r_d &= 1 - 0,000765z & z \leq 9,15 \text{ m} \\ r_d &= 1,174 - 0,0267z & 9,15 \text{ m} \leq z \leq 23 \text{ m} \\ r_d &= 0,744 - 0,008z & 23 \text{ m} \leq z \leq 30 \text{ m} \end{aligned}$$

Dimana nilai z merupakan kedalaman di bawah permukaan tanah yang dinyatakan dalam satuan meter.

2.2.2 Cyclic Resistance Ratio (CRR)

CRR merupakan singkatan dari *Cyclic Resistance Ratio*. CRR dapat diartikan menjadi kemampuan tanah untuk menahan proses likuefaksi. Dalam menentukan nilai CRR dapat dihitung menggunakan data hasil uji SPT, uji Sondir (CPT), pengukuran kecepatan gelombang geser (Vs). Namun di antara ketiga metode tersebut, metode CPT memiliki kualitas data yang sangat baik.

A. Menentukan Nilai Q

Berdasarkan Metode Youd dan Idriss (2001)

$$Q = \left[\frac{q_c - \sigma_v}{P_a} \right] \left[\left(\frac{P_a}{\sigma_v'} \right)^n \right]$$

Nilai eksponen n, untuk *clean sand* n = 0,5. Untuk nilai *silt* dan *silty sand* n = 0,5 - 1, dan untuk jenis tanah lempung n = 1. Berdasarkan Metode NCEER (1997) [9] dan Robertson dan Wride (1998) [10]

$$Q = \left[\frac{q_c - \sigma_v}{\sigma_v'} \right]$$

Dimana:

- Q = Tahanan penetrasi yang dinormalisasikan
- q_c = Tahanan penetrasi konus
- P_a = Tekanan 1 atm

B. Menentukan Nilai F

$$F = \left[\frac{f_s}{q_c - \sigma_v} \right] \times 100\%$$

Dimana:

- F = Friksi rasio yang dinormalisasikan
- f_s = Friksi rasio

C. Menentukan Nilai Ic

$$I_c = [(3,47 - \log Q)^2 + (1,22 + \log F)^2]^{0,5}$$

D. Menentukan qc1N

Berdasarkan Metode Youd dan Idriss (2001)

$$q_{c1N} = C_q \times \left(\frac{q_c}{P_a} \right)$$

Berdasarkan Metode NCEER (1997) dan Robertson dan Wride (1998)

I_c > 2,6, maka q_{c1N} = Q

$$I_c < 2,6 \text{ maka } q_{c1N} = \left(\frac{q_c}{P_a} \right) \left(\frac{P_a}{\sigma_v'} \right)^{0,5}$$

Lanjut perhitungan nilai Ic

$$I_c = [(3,47 - \log q_{c1N})^2 + (1,22 + \log F)^2]^{0,5}$$

q_{c1N} = Nilai tahanan ujung terkoreksi

- C_q = Faktor normalisasi tahanan ujung konus
- = $\left(\frac{P_a}{\sigma_v'} \right)^n$

E. Perhitungan Faktor Koreksi untuk Karakteristik Butir

Berdasarkan Metode Youd dan Idriss (2001)

I_c < 1,64, maka K_c = 1,0

I_c > 1,64, maka

$$K_c = -0,4031I_c^4 + 5,581I_c^3 - 21,63I_c^2 + 33,75I_c - 17,88$$

Berdasarkan Metode NCEER (1997)

I_c > 2,6, maka q_{c1N} dan Ic harus diperhitungkan kembali dengan rumus:

$$q_{c1N} = \left(\frac{q_c}{P_a} \right) \left(\frac{P_a}{\sigma_v'} \right)^{0,75}$$

$$I_c = [(3,47 - \log q_{c1N})^2 + (1,22 + \log F)^2]^{0,75}$$

$I_c < 2,6$, maka dihitung nilai

$$K_c = -0,4031c^4 + 5,581I_c^3 - 21,63I_c^2 + 33,75I_c - 17,88 \text{ (untuk } I_c > 1,64),$$

$$K_c = 1 \text{ (untuk } I_c < 1,64)$$

Berdasarkan Metode Robertson dan Wride (1998)

$I_c > 2,6$, maka qc_{1N} dan I_c harus diperhitungkan kembali dengan rumus:

$$qc_{1N} = \left(\frac{qc}{Pa_2}\right)\left(\frac{Pa}{\sigma_{vt}}\right)^{0,75}$$

$$I_c = [(3,47 - \log qc_{1N})^2 + (1,22 + \log F)2]^{0,75}$$

Jika $I_c < 2,6$, untuk menghitung K_c menggunakan

$$I_c \leq 1,64, \text{ maka } K_c = 1$$

$$I_c > 1,64, \text{ maka } K_c = -0,4031c^4 + 5,581I_c^3 - 21,63I_c^2 + 33,75I_c - 17,88$$

Tapi, jika $1,64 < I_c < 2,36$ dengan $F < 0,5\%$, $K_c = 1$

F. Perhitungan $(qc_{1N})_{cs}$

$$(qc_{1N})_{cs} = K_c \times qc_{1N}$$

G. Menentukan CRR

Berdasarkan Metode Youd dan Idriss (2001)

Jika nilai $(qc_{1N})_{cs} < 211$, maka

$$CRR_{7,5} = \exp\left(\frac{(qc_{1N})_{cs}}{540}\right) + \left(\frac{(qc_{1N})_{cs}}{67}\right)^2 - \left(\frac{(qc_{1N})_{cs}}{80}\right)^3 + \left(\frac{(qc_{1N})_{cs}}{114}\right)^4 - 3$$

Jika nilai $(qc_{1N})_{cs} > 211$, maka $CRR = 2$

Berdasarkan Metode Robertson dan Wride (1998) dan NCEER (1997)

Jika, $50 < (qc_{1N})_{cs} < 160$, maka

$$CRR_{7,5} = 93\left(\frac{(qc_{1N})_{cs}}{1000}\right)^3$$

Jika, $(qc_{1N})_{cs} < 50$, maka

$$CRR_{7,5} = 0,833\left(\frac{(qc_{1N})_{cs}}{1000}\right) + 0,005$$

2.2.3 Safety Factor (SF)

Nilai SF dari hasil perhitungan manual dan dari metode elemen hingga diharapkan sesuai dengan rekomendasi SNI 8460:2017 yaitu $SF = 1,1$ untuk beban gempa [11]. Perhitungan faktor keamanan likuefaksi dengan menggunakan persamaan:

$$SF = \frac{CRR}{CSR}$$

dimana:

SF = Faktor Keamanan

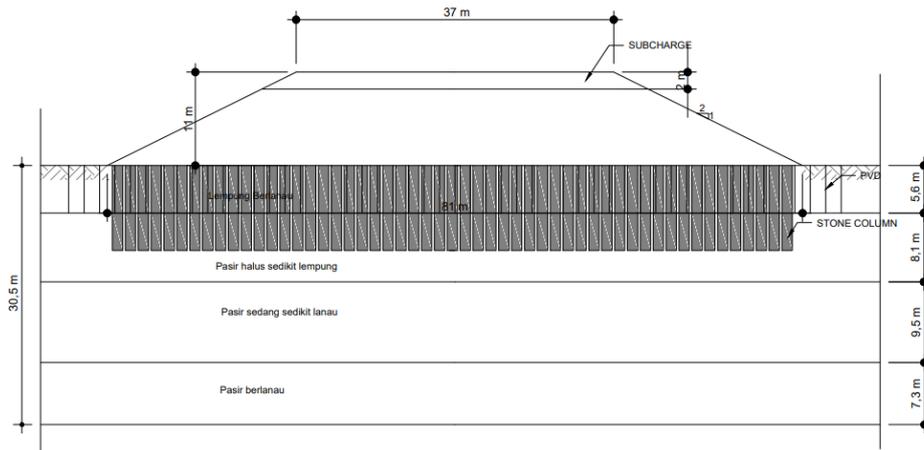
CSR = Tegangan siklik oleh gempa bumi

CRR = Kemampuan tanah untuk menahan potensi likuefaksi

2.3 Stone Column

Stone column adalah teknik perbaikan tanah lunak yang digunakan untuk menaikkan daya dukung tanah, mengurangi penurunan segera (*settlement*), mempercepat pemampatan, dan mengurangi terjadinya likuefaksi yang ditemukan oleh Louis Menard di *France* pada tahun 1960 [12].

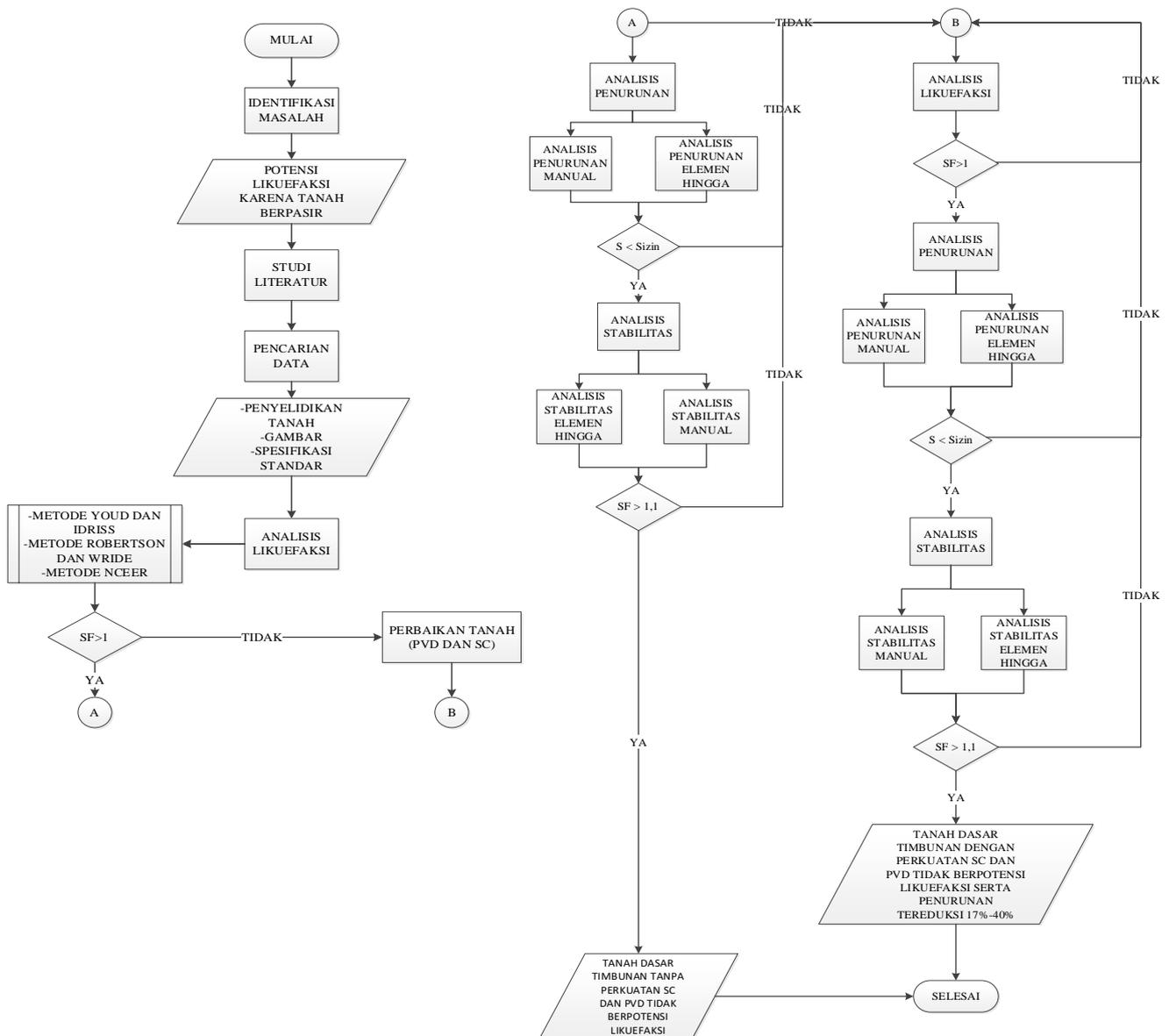
Stone column dapat mengurangi terjadinya likuefaksi dikarenakan saat proses pengisian batuan, terjadi kontraksi pada lapisan tanah lunak sekitarnya yang menyebabkan tekanan pori terlepas berangsur-angsur. *Stone column* murni terdiri dari bahan batuan/kerikil lepas dan tidak ada bahan pengikat lainnya seperti semen, kapur, atau zat kimia lainnya. Material yang digunakan untuk membentuk *stone column* harus sesuai dengan peralatan yang digunakan serta dapat disalurkan dengan baik dengan metode penghubung bawah ataupun penghubung atas. Jarak antar kolom umumnya 1,5 - 3,5 m. Diameter kolom batuan umumnya berkisar antara 0,45 - 1,2 m. Kolom batuan sangat efektif kinerjanya bila kedalamannya 6 - 10 m [12]. Geometri model tanah dasar, timbunan dan *stone column* pada artikel ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Geometri Model Tanah Dasar, Timbunan dan Stone Column

3. METODE PENELITIAN

Bagan alir metodologi penanganan kasus perbaikan tanah timbunan yang berpotensi terjadi likuefaksi dengan metode *stone column* dapat dilihat pada Gambar 3.

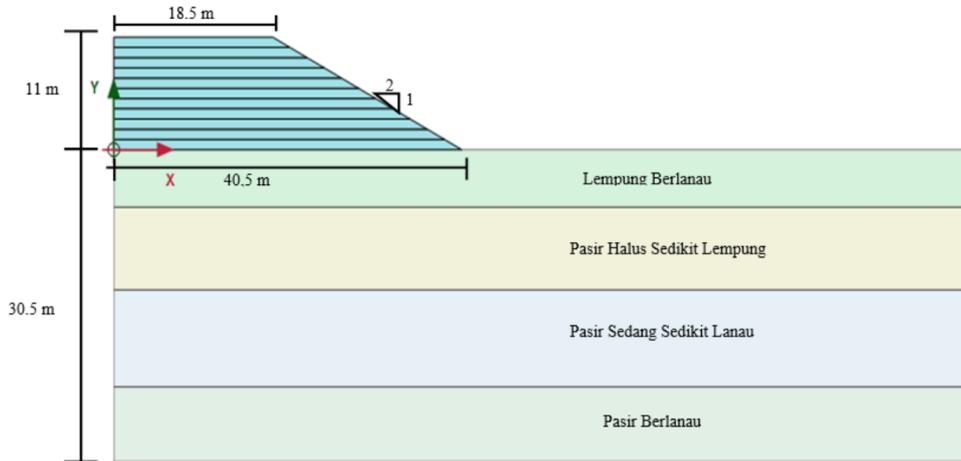


Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan

Pemodelan timbunan dan tanah asli dilakukan dengan metode elemen hingga menggunakan Plaxis 2D, dapat dilihat pada Gambar 4. Data parameter tanah diketahui berdasarkan nilai N-SPT yang dapat dikorelasikan dengan parameter tanah lainnya yang digunakan, dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Tambahan beban gempa menggunakan metode pseudostatik. Metode ini diwakili dengan pengaruh gempa percepatan horizontal dan percepatan vertikal. Analisis metode pseudostatik menunjukkan pengaruh seismik dengan percepatan pseudostatik yang menghasilkan gaya inersia F_h dan F_v yang bekerja pada masa keruntuhan.



Gambar 4. Pemodelan Elemen Hingga

Tabel 2. Model Material Tanah

Lapisan	Satuan	1	2	3	4	5	Sumber	
Jenis Tanah	-	Lempung berlanau	Pasir Halus	Pasir Sedang	Pasir berlanau	Timbunan	Data Lab	
N-SPT	-	<8	<4	<50	≥60	≥60	Data Lap	
Konsistensi	-	lunak ke kaku	lepas	sedang ke padat	sangat padat	sangat padat	Stratigrafi	
Model Material	-	<i>Soft Soil</i>	<i>Hardening Soil</i>	<i>Hardening Soil</i>	<i>Hardening Soil</i>	<i>Hardening Soil</i>	-	
γ_{unsat}	kN/m ²	15,876	14,788	14,788	14,788	13,63	Data Lab	
γ_{sat}	kN/m ²	16,836	15,925	15,925	15,925	16,42	Data Lab	
K_x	m/day	<i>from data set</i>						
K_y	m/day							
E	kN/m ²	-	5000	8000	25000	25000	Look,2007	
c'	kN/m ²	6	8	8	8	3,87	parameter yang digunakan	
ϕ		25	25	40	40	40,90	parameter yang digunakan	

Tabel 3. Model Material Perkuatan

Pemodelan	γ_{sat}	γ_{unsat}	E'	v	c	ϕ	K_x	K_y
<i>Stone column</i>	21	20	45000	0,2	5	42	0,1045	0,0209

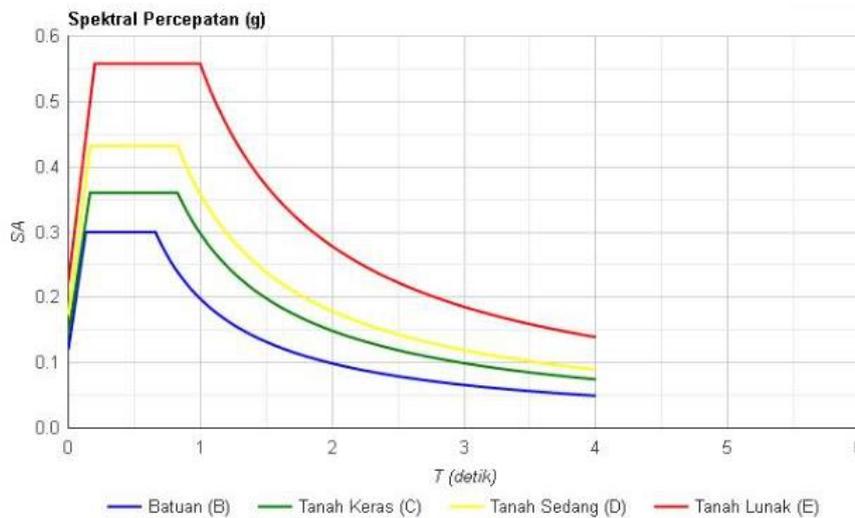
4.2 Kegempaan di Sumatera Utara

Data kegempaan di sekitar Sumatera Utara dibutuhkan dalam perhitungan analisis potensi likuefaksi. Data Kegempaan di sekitar Tebing Tinggi, Sumatera Utara dapat dilihat pada Tabel 4. Berdasarkan data kegempaan di Sumatera Utara, diambil nilai kegempaan untuk memperhitungkan likuefaksi yaitu 7,5 SR. Sesuai dengan metode Youd dan Idriss yang mengambil nilai kegempaan 7,5 SR. Nilai PGA dapat diperoleh dengan memasukkan nilai koordinat bujur dan lintang pada menggunakan aplikasi Desain Spektra Indonesia oleh Puskim. Didapatkan nilai PGA sebesar 0,209 dapat dilihat pada Gambar 5. Koefisien gempa dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 K_h &= 0,5 \times \text{PGA} \\
 &= 0,5 \times 0,209 \\
 &= 0,1045 \\
 K_v &= 0,1 \times \text{PGA} \\
 &= 0,1 \times 0,209 \\
 &= 0,0209
 \end{aligned}$$

Tabel 4. Data Kegempaan Wilayah Sumatera Utara

No	Tanggal	Wilayah	Magnitudo	Sumber
1.	3 November 2020	Nias Selatan	5,2	(Flora & Qodar, 2020)
2.	22 September 2019	Kec. Berstagi	2,2	(Qodar, 2019)
3.	13 Desember 2017	Parapat	4,9	(Ramdhani, 2017)
5.	16 Januari 2017	Deli Serdang	5,6	(Efendi, 2017)
7.	11 April 2012	Aceh	8,9	(Hasibuan, 2012)
8.	1 Desember 2006	Tebing Tinggi	6,3	(Burhani, 2006)

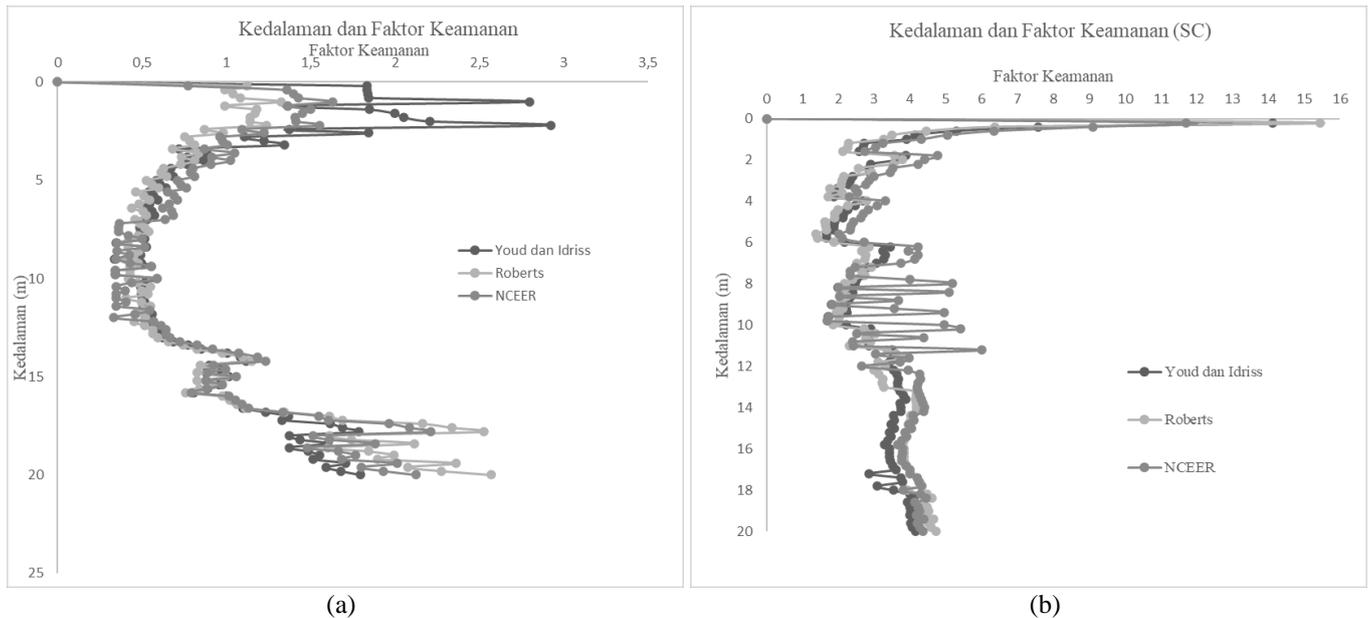


Gambar 5. Nilai PGA

4.2 Analisis Potensi Likuefaksi dengan Metode CPT

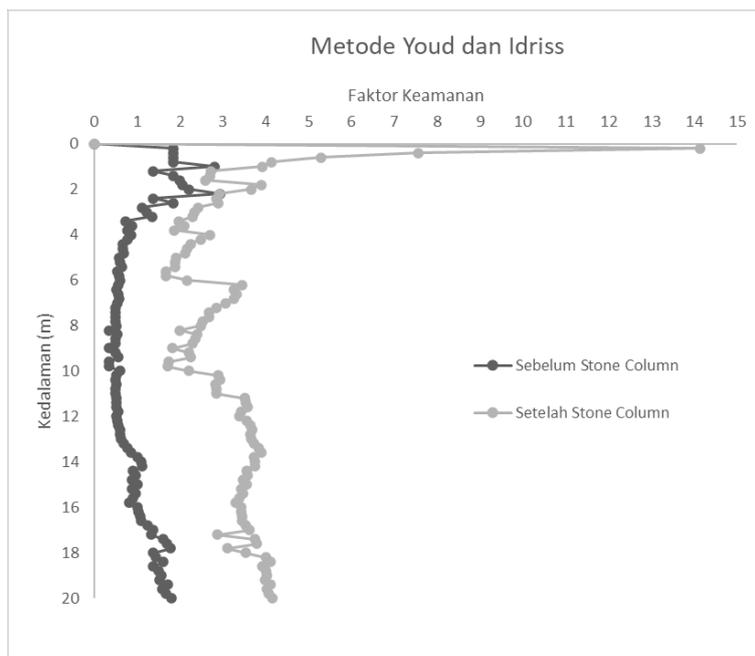
Perhitungan likuefaksi didapatkan dengan menggunakan metode CPT (Sondir). Pada setiap titik sondir dilakukan analisis yang menghasilkan nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dan nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR). Perbandingan nilai CSR dengan CRR nantinya akan menghasilkan nilai *Factor Safety* (SF). Nilai SF ini yang menentukan apakah tanah tersebut berpotensi terjadi likuefaksi atau tidak. Jika nilai $SF < 1$, maka tanah tersebut berpotensi likuefaksi dan begitu pun sebaliknya apabila Nilai $SF > 1$ maka tanah tersebut aman terhadap likuefaksi. Metode yang penulis pakai adalah metode Youd dan Idriss (2001), metode Robertson dan Wride (1998), dan metode NCEER (1997).

Hasil analisis potensi likuefaksi sebelum dan setelah perbaikan dapat dilihat masing-masing pada Gambar 6a dan Gambar 6b. Tanah yang terlikuefaksi menurut metode Youd dan Idriss (2001) terdapat pada kedalaman 3,4 m sampai dengan 13,6 m. Sedangkan, menurut Roberts tanah terlikuefaksi pada kedalaman 2,4 m sampai dengan 13,8 m. Menurut metode NCEER, pada kedalaman tanah 4,2 m. Sampai dengan 13,8 m baru terjadi likuefaksi. Dari ketiga metode tersebut yang terjadi Likuefaksi terdapat pada lapisan tanah ke 2 dan 3.



Gambar 6. Analisis Potensi Likuefaksi Metode CPT Sebelum Perbaikan (a) dan Setelah Perbaikan (b)

Dapat dilihat pada Gambar 6b di atas bahwa setelah diberi penanganan perkuatan berupa Stone column, faktor keamanan tanah dasar sampai kedalaman 20 m sudah memenuhi syarat SNI, yaitu $SF > 1$, maka dapat dikatakan tanah tidak berpotensi likuefaksi. Grafik perbandingan analisis potensi likuefaksi sebelum dan setelah perbaikan dapat dilihat pada Gambar 7.

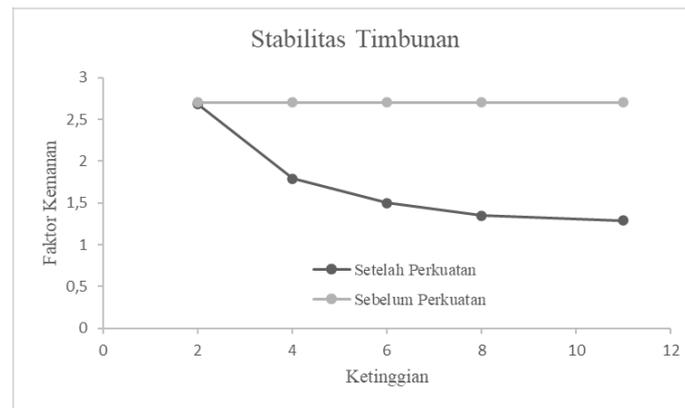


Gambar 7. Perbandingan Hasil Analisis Potensi Likuefaksi

Berdasarkan perhitungan Metode Youd dan Idriss, tanah dasar sebelum diberi penanganan *Stone column* pada kedalaman 3,4m sampai dengan kedalaman 18 m memiliki nilai $SF < 1$ yang berarti tanah tersebut berpotensi likuefaksi. Ketika setelah di beri penanganan perkuatan *stone column*, pada kedalaman tersebut nilai $SF > 1$ maka, tanah tersebut sudah tidak berpotensi likuefaksi.

4.3 Analisis Stabilitas Timbunan

Analisis stabilitas timbunan atau analisis keamanan yang dilakukan dengan metode elemen hingga menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D. Hasil analisis keamanan sebelum dan setelah perbaikan dengan *stone column* dapat dilihat pada Gambar 8. Berdasarkan hasil analisis keamanan, diperoleh nilai $SF = 1,4$ sebelum dilakukan perbaikan dan $SF = 2,6$ setelah dilakukan perbaikan dengan *stone column*.



Gambar 8. Perbandingan Hasil Analisis Keamanan Sebelum dan Setelah Perbaikan dengan *Stone Column*.

5. KESIMPULAN

Timbunan pada *Junction* Tebing Tinggi adalah pasir sedikit lanau dengan konsistensi yang sangat lepas. Nilai N-SPT pada BH 15-BH 18 sekitar 0-4 pada kedalaman 3 m-15,3 m dengan muka air tanah di kedalaman 1,2 m di bawah tanah dasar *Junction* Tebing Tinggi, Sumatera Utara membuat tanah pada daerah tersebut berpotensi likuefaksi. Analisis potensi likuefaksi yang penulis lakukan digunakan dengan tiga metode yaitu, Youd dan Idriss (2001), Robert dan Wride (1998), dan NCEER (1997) dengan menggunakan hasil CPT pada tanah dasar timbunan *Junction* Tebing Tinggi didapatkan hasil pada kedalaman di sekitar 3,4 m–17,8 m berpotensi likuefaksi. Berdasarkan analisis keamanan lereng pun diperoleh SF sebesar 1,4. Berdasarkan kasus tersebut dilakukan perkuatan pada tanah dasar timbunan *Junction* Tebing Tinggi. Tahap perkuatan dilakukan dengan menambahkan *stone column* berdiameter 1,2 m dengan kedalaman 10 m berjarak 1,5 m di sepanjang tanah dasar di bawah timbunan. Dengan perencanaan tersebut, didapatkan hasil bahwa tanah dasar sudah tidak berpotensi likuefaksi dan penurunan dapat tereduksi sebanyak 48-54% serta stabilitas lereng meningkat menjadi 2,6.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Pusast Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kemeterian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [2] Day, R. W. (2002). *Geotechnical Earthquake Engineering Handbook* (First edition.). McGraw-Hill Education. Available: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071377829>.
- [3] Seed, H. B., & Booker, J. R. (1978). Closure to “Stabilization of Potentially Liquefiable Sand Deposits Using Gravel Drains.” In *Journal of the Geotechnical Engineering Division* (Vol. 104, Issue 12). DOI: <https://doi.org/10.1061/ajgeb6.0000735>.
- [4] R.D.Barksdale, & Bachus, R. C. (1983). *Design-And-Construction-Of-Stone-Columns-Volume-2-Appendixes-FHWA-RD-83-027 Ver 01.pdf*. Available: <http://geotill.com/pdf/design-and-construction-of-stone-columns-volume-2-appendixes-fhwa-rd-83-027/>.
- [5] Mase, L. Z. (2018). *Studi Kehandalan Metode Analisis Likuefaksi Menggunakan SPT Akibat Gempa 8,6 Mw, 12 September 2007 di Area Pesisir Kota Bengkulu*. *Jurnal Teknik Sipil*, 25(1), 53-60. <https://doi.org/10.5614/jts.2018.25.1.7>.
- [6] Jusuf, M., & Kawanda, A. (2020). *Perancangan Fondasi Tiang Pancang Pada Tanah Berpotensi Likuefaksi Di Sulawesi*. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(3), 865-878. <https://doi.org/10.24912/jmts.v3i3.8747>.
- [7] Somantri, A. K., Iskandar, Febriansya, A., Daffa, B. A., & Hermawan, R. I. (2020). *The Foundations of Palangpang Bridge in the Area Potential to Liquefaction throughout the Cimandiri Fault*. *Advances in Engineering Research* 198, 388–393. <https://doi.org/10.2991/aer.k.201221.064>.
- [8] Youd, T., Idriss, I., Andrus, R., Arango, I., Castro, G., Christian, J., Dobry, R., Finn, L., Jr, L., Koester, J., Liao, S., & Marcuson, W. (2001). Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NFS Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2001\)127:10\(817\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127:10(817))
- [9] NCEER. (1997). Application of K_a and K_σ correction factors. *Proceedings of the NCEER Workshop on Liquefaction Resistance of Soils, Technical Report NCEER - 97-0022*, 167–190. Available: <http://www.buffalo.edu/mceer/catalog.host.html/content/shared/www/mceer/publications/NCEER-97-0022.detail.html>
- [10] Robertson, P. K., & Wride, C. E. (Fear). (1998). Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test: Discussion 1. *Canadian Geotechnical Journal*, 37(1), 270–271. DOI: <https://doi.org/10.1139/t99-102>
- [11] Badan Standarisasi Nasional. (2017). Persyaratan perancangan geoteknik; SNI No.8640 Th.2017. *SNI No.8640, 8460*, 2017. Available: <https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/546/sni-84602017-persyaratan-perancangan-geoteknik.pdf>
- [12] Hardiyatmo, Hary Christady. (2003). *Mekanika Tanah II*. *Gadjah Mada University Press*.

Pedoman Penulisan Jurnal POTENSI

Title
Font: Times
Size: 16pt
Style: Bold

Font: Times
Size: 12pt
Style: Bold

Penulis A^{1*}, Penulis B²

^{1*}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail penulis, korespondensi: authora@polban.ac.id
Nomor HP penulis, korespondensi: 08xxxxxxxxx
²Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung 40116
E-mail : authorb@itb.ac.id

Font: Times
Size: 9pt
Style: Italic

ABSTRAK

Abstrak makalah menyampaikan pentingnya publikasi/penelitian yang dilakukan secara ringkas dan logis. Abstrak adalah sinopsis dari studi asli yang membahas masalah penelitian, informasi dan metode yang digunakan untuk mengatasi masalah tersebut, hasil, diskusi, dan kesimpulan. Jumlah kata dalam abstrak tidak melebihi **200** kata. Perujukan referensi harus dilakukan pada naskah dan tidak ada kutipan referensi pada abstrak.

Font: Times
Size: 10pt
Style: Italic

Kata Kunci: maks. 6 kata

ABSTRACT

Penulisan abstrak juga dalam bentuk Bahasa Inggris dengan ketentuan seperti pada penulisan abstrak dalam Bahasa Indonesia.

Font: Times
Size: 10pt
Style: Italic

Keywords: maks. 6 kata

1. PENDAHULUAN(Times 10,Style:Bolt)

Panduan ini memberikan penjelasan untuk membantu penulis dalam mempersiapkan makalah untuk dipublikasikan pada Jurnal POTENSI, sehingga terdapat konsistensi penulisan antar makalah. Instruksi ini memberikan panduan tentang tata letak, gaya selingkung, ilustrasi, dan referensi serta berfungsi sebagai model bagi penulis untuk meniru. Tanpa mengikuti spesifikasi ini, makalah yang tidak memenuhi standar yang ditetapkan tidak akan dipublikasikan.

2. GAYA NASKAH

Naskah harus dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris dan tersaji pada kertas berukuran **A4 (210 mm x 297 mm)** yang ditulis dalam format **1(satu) KOLOM** dengan margin **2,5** cm dari atas dan bawah, dan **1,5** cm dari kiri dan kanan.

Judul lengkap naskah harus dituliskan pada tengah-tengah halaman pertama. Hal tersebut diikuti oleh abstrak yang dituliskan **ABSTRAK**, kata kunci yang dituliskan **Kata Kunci** dan tidak lebih dari **enam kata**. Teks harus diketik dengan **"SPASI TUNGGAL"**, menggunakan font yang sama dengan yang digunakan dalam teks (**Times, 10 point**). Paragraf harus dipisahkan dengan spasi tunggal. Setiap naskah tidak boleh **melebihi "SEPULUH (10) HALAMAN"** termasuk ilustrasi, tabel, dan referensi. Makalah harus diserahkan sebagai dokumen **"WORD"**.

2.1 Bagian dan Sub-bagian

Bagian dan sub-bagian harus diberi nomor dan judul, sebagai berikut 1, 2, ...dll dan 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 2.2.1, dst. Huruf besar harus digunakan untuk judul bagian. Untuk sub-bagian, huruf pertama dari setiap kata harus dalam huruf kapital dan diikuti dengan huruf kecil.

2.1.1 Identifikasi

Harap dihindari penggunaan *header*, *footer* atau nomor halaman dalam makalah yang diajukan. Hal tersebut akan ditambahkan pada publikasi akhir dalam jurnal oleh Panitia.

2.2 Singkatan dan Akronim

Tentukan penggunaan singkatan dan akronim pertama kali digunakan dalam teks, bahkan setelah didefinisikan dalam Abstrak. Singkatan seperti IEEE, SI, MKS, CGS, ac, dc, dan rms tidak perlu didefinisikan. Singkatan yang menggabungkan periode seharusnya tidak menggunakan spasi: menulis “CNRS.” Tidak “C.NRS”. Jangan gunakan singkatan pada judul kecuali apabila tidak dapat dihindari.

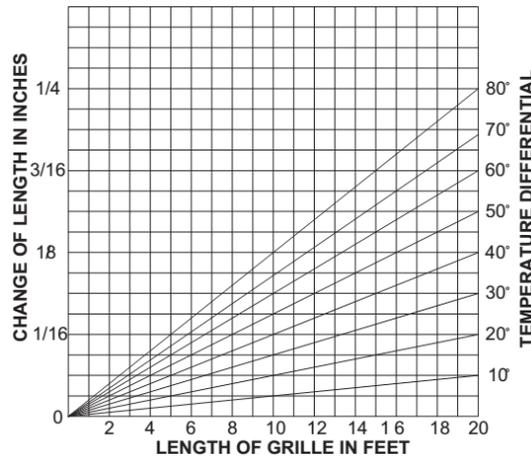
3. TABEL DAN GAMBAR

Penomoran harus diberikan pada “Gambar” dan “Tabel”, misalnya, Gambar 1, Gambar 2, dst. Nomor gambar dan judul harus ditempatkan dibawah gambar, dan nomor tabel serta judulnya ditempatkan pada bagian atas tabel. Huruf pertama dari judul harus ditempatkan dibagian tengah halaman antara margin kiri dan kanan. Tabel, ilustrasi dan teks yang sesuai sedapat mungkin ditempatkan pada halaman yang sama. Apabila tidak, maka dapat ditempatkan langsung pada halaman berikutnya. Ukurannya harus lebih kecil dari area yang tersedia.

Font: Times
Size: 8-10 pt

Tabel 1. Center table captions above the tables.

solvent	T (°C)	K ₂ (L mol ⁻¹)
CDCl ₃	5	21
CDCl ₃	10	57
CHCl ₃	20	74
CHCl ₃	40	58



Gambar 1. Penjelasan ditempatkan tepat dibawah gambar

4. PERSAMAAN

Ketika penomoran persamaan, tempatkan nomor yang sesuai dalam tanda kurung dan posisikan nomor tersebut dikanan kolom penulisan. Persamaan **HARUS DIKETIK** dan **BUKAN BERUPA COPY (SCANN)** dari formula original.

Contoh:

$$Z = c_0 + c_1 X_1 + c_2 X_2 + c_3 X_3 + c_4 X_4 \quad (1)$$

5. KUTIPAN DAN REFERENSI

Nomor kutipan secara berurutan dituliskan dalam kurung siku [1]. Kalimat baca diikuti kurung [2]. Lihat hanya untuk nomor referensi, seperti pada [3]. Jangan gunakan “Ref. [3]” atau “referensi [3]”. Kecuali pada awal kalimat “Referensi [3] menunjukkan”. Secara umum, referensi ditulis dengan menggunakan gaya atau *style IEEE*.

Harap dicatat bahwa referensi pada akhir dokumen ini adalah gaya perujukan yang diharapkan. Berikan semua nama penulis, jangan menggunakan “et.al.”. Kecuali ada enam penulis atau lebih. Gunakan spasi setelah inisial penulis. Makalah yang tidak diterbitkan, bahkan apabila telah diajukan untuk publikasi, harus disebut “unpublished” [4]. Makalah yang diterima untuk publikasi harus disebut sebagai “in press” [5].

Huruf besar hanya kalimat pertama dalam judul makalah, kecuali untuk kata benda dan simbol elemen. Untuk makalah yang diterbitkan dalam jurnal terjemahan, harapdiberi kutipan Inggris lebih dahulu, diikuti dengan kutipan asli bahasa asing [6].

6. DISKUSI

Gunakan angka nol sebelum titik desimal: “0.25,” bukan “.25.” Gunakan “cm³,” bukan “cc.” Mengindikasikan dimensi sampel sebagai “0.1 cm x 0.2 cm”, tidak “0.1 x 0.2 cm”. Singkatan untuk “detik” adalah “s” dan bukan “sec”. Ketika mengekspresikan berbagai nilai, menulis “7 sampai 9” atau “7-9”, tidak “7~9”. Mengeja unit ketika terdapat dalam teks “.... a few henries,” bukan “.... a few H”.

7. KESIMPULAN

Akhirnya, andalah yang bertanggung jawab terhadap bahasa pada makalah, editor tidak akan memeriksanya. Lakukanlah pemeriksaan pada ejaan dan tata bahasa. Hal tersebut sudah tersedia dalam perangkat lunak Word. Karena bahasa Indonesia adalah bahasa asli anda, maka HARUS sudah tidak ada masalah, sehingga perlu dilakukan cek dan recek.

Awalan seperti “non,” “sub,” “mikro,” “multi,” dan “ultra” bukanlah kata-kata independen, kata tersebut haruslah bergabung dengan kata-kata yang dimodifikasi, biasanya tanpa tanda hubung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Disampaikan secara jelas, kepada siapa ditujukannya.

DAFTAR PUSTAKA

Minimal 10 referensi bersumber dari jurnal/prosiding 5 tahun terakhir dan mencantumkan DOI/URL sumber referensi:

- [1] G. Pasau, A. Tanauma, Pemodelan sumber gempa di wilayah Sulawesi Utara sebagai upaya mitigasi bencana gempa bumi, Jurnal Ilmiah Sains 11(2) (2011). DOI: <https://doi.org/10.35799/jis.11.2.2011.208>
- [2] G. Chen, Q. Wu, K. Zhao, Z. Shen, J. Yang, A binary packing material-based procedure for evaluating soil liquefaction triggering during earthquakes, J. Geotech. Geoenviron. Eng. 146(6). DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002263](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002263)
- [3] Y. Bock, L. Prawirodirjo, J.F. Genrich, C.W. Stevens, R. McCaffrey, C. Subarya, S.S.O. Puntodewo, E. Calais, Crustal motion in Indonesia from global Positioning System measurements, Journal of Geophysical Research 108(B8 2367) (2003). DOI: <https://doi.org/10.1029/2001JB000324>
- [4] P. K. Robertson, Evaluation of flow liquefaction and liquefied strength using the cone penetration test, J. Geotech. Geoenviron. Eng. 136 (2010) 842-853. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.19435606.0000286](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.19435606.0000286)
- [5] K. Kato, K. Nagao, Numerical evaluation of liquefaction resistance for desaturated sands, J. Geotech. Geoenviron. Eng. 146(6) (2020). DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.19435606.0002234](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.19435606.0002234)
- [6] S.L. Kramer, R.T. Mayfield, Return period of soil liquefaction, J. Geotech. Geoenviron. Eng. 133 (2007) 802-813. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2007\)133:7\(802\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2007)133:7(802))
- [7] A.N. Situmorang, R. Iskandar, Analisis potensi likuefaksi pada pembangunan jembatan Sei Batang Serangan – Langkat. Jurnal Teknik Sipil USU 1(2) (2012). Available: <https://jurnal.usu.ac.id/index.php/jts/article/download/963/505>
- [8] A.K. Somantri, A. Febriansya, The effect of EPS addition to soil stabilized with fly ash as lightweight fill materials for embankment construction, J. Phys: Conf. Ser 1364 012077 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1364/1/012077>
- [9] L. Miao, F. Wang, J. Han, W. Lv, J. Li, Properties and applications of cement-treated sand-expanded polystyrene bead lightweight fill, J. Mater. Civ. Eng. 25(1) (2013) 86-93. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000556](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000556)
- [10] A.T. Sudjiyanto, Stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan garam dapur (NaCl), Jurnal Teknik Sipil 8(1) (2007) 53-63. Available: https://www.researchgate.net/publication/279645866_STABILISASI_TANAH_LEMPUNG_EKSPANSIF_DENGAN_GARAM_DAPUR_NaCl

PENGECEKAN SIMILARITAS OLEH EDITOR

Naskah yang akan dimuat dalam Jurnal Potensi terlebih dahulu dicek similaritas oleh editor, apabila hasilnya lebih dari 25% maka akan dikembalikan untuk diperbaiki.



JURUSAN TEKNIK SIPIL
POLITEKNIK NEGERI BANDUNG (POLBAN)



<https://jurnal.polban.ac.id/potensi>