

JURNAL TEKNIK SIPIL

**Prioritas Penanganan Lokasi Rawan Kecelakaan (LRK)
Di Provinsi Sumatera Utara**
(*Budi Hartanto Susilo, Lutfiardi Wahyu Cahyadi*)

Kompresibilitas Tanah Organik
(*Asriwiyanti Desiani*)

**Kajian Modulus Tanah Berdasarkan Uji Lapangan
Dan Uji Laboratorium**
(*Cindarto Lie*)

Transformasi Gelombang Soliter Oleh Fleksibilitas Vegetasi Pantai
(*Tri Octaviani Sihombing*)

**Kajian Evaluasi Kinerja Bangunan Terhadap Siaga
Bencana Gempa**
(*Rofika Sinaga, Cindrawaty Lesmana*)

J. Tek.Sipil	Vol. 14	No. 1	Hlm. 1-104	Bandung, April 2018	ISSN (cetak) 1411-9331 ISSN (<i>online</i>) 2549-7219
--------------	---------	-------	------------	---------------------------	--



JURNAL TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA

Jurnal Teknik Sipil adalah jurnal ilmiah jurusan teknik sipil Universitas Kristen Maranatha yang diterbitkan 2 kali setahun pada bulan April dan Oktober. Pertama kali terbit bulan Oktober 2003. Tujuan penerbitan adalah sebagai wadah komunikasi ilmiah dan juga penyebarluasan hasil penelitian, studi literatur dalam bidang teknik sipil atau ilmu terkait.

- Pelindung** : Rektor Universitas Kristen Maranatha
- Penanggung Jawab** : Dekan Fakultas Teknik Universitas Kristen Maranatha
- Pemimpin Redaksi** : Ir. Maksun Tanubrata, MT.
- Ketua Dewan Penyunting** : Dr. Yosafat Aji Pranata, ST., MT.
- Mitra Bestari** : Dr. I Gusti Lanang Bagus Eratodi, ST., MT. (Undiknas Denpasar)
Iwan B. Santoso, Ir., M. Eng., Ph.D. (Universitas Tarumanagara)
- Penyunting Pelaksana** : Prof. Dr. Ir. Budi Hartanto Susilo, M.Sc.
Dr. Anang Kristianto, ST., MT.
Cindrawaty Lesmana, ST., M.Sc(Eng)., Ph.D.
Robby Yussac Tallar, ST., MT., Dipl.IWRM., Ph.D.
Ir. Maria Christine Sutandi, M.Sc.
Ir. Herianto Wibowo, M.Sc.
Hanny Juliany Dani, ST., MT.
Andrias S. Nugraha, ST., MT.
Tan Lie Ing, ST., MT.
- Perapi** : Tri Octaviani Sihombing, ST., M.Sc., Roi Milyardi, ST.
- Sekretariat dan Sirkulasi** : Aldrin Boy Rahardjo, A.Md., Betty Heriati Sairoen, Santo Deli, A.Md.
- Alamat Redaksi** : Sekretariat Jurnal Teknik Sipil
Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha
Jl. Prof. drg. Suria Sumantri MPH. No. 65 Bandung 40164
Tel. 022 - 2012186 ext. 1211, 1212 ; Fax. 022 - 2017622
- E-mail** : jurnal_ts@eng.maranatha.edu
- Website** : <http://ts.eng.maranatha.edu>
- Penerbit** : Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha
Jl. Prof. drg. Suria Sumantri MPH. No. 65 Bandung 40164



JURNAL TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA

DAFTAR ISI :

Prioritas Penanganan Lokasi Rawan Kecelakaan (LRK) Di Provinsi Sumatera Utara <i>(Budi Hartanto Susilo, Lutfiardi Wahyu Cahyadi)</i>	1 - 25
Kompresibilitas Tanah Organik <i>(Asriwiyanti Desiani)</i>	26 - 44
Kajian Modulus Tanah Berdasarkan Uji Lapangan Dan Uji Laboratorium <i>(Cindarto Lie)</i>	45 - 62
Transformasi Gelombang Soliter Oleh Fleksibilitas Vegetasi Pantai <i>(Tri Octaviani Sihombing)</i>	63 - 76
Kajian Evaluasi Kinerja Bangunan Terhadap Siaga Bencana Gempa <i>(Rofika Sinaga, Cindrawaty Lesmana)</i>	77 - 103

PRIORITAS PENANGANAN LOKASI RAWAN KECELAKAAN (LRK) DI PROVINSI SUMATERA UTARA

Budi Hartanto Susilo¹, Lutfiardi Wahyu Cahyadi²

¹Dosen Tetap, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha

²Alumni, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha
Jalan Prof. drg. Suria Sumantri, MPH. No. 65 Bandung 40164

Email: budiharsus@yahoo.com

ABSTRAK

Provinsi Sumatera Utara adalah provinsi ke lima dengan jumlah kecelakaan tertinggi setelah Jawa Timur, Jawa Tengah, Jawa Barat, dan Sulawesi Selatan dengan jumlah korban meninggal dunia 1649 jiwa, korban luka berat 1759 jiwa, korban luka ringan 5897 jiwa, dan jumlah kerugian sebesar Rp.12.157.821.000,-. Begitu banyak lokasi kecelakaan yang terjadi berdasarkan data Polda Sumatera Utara. Oleh karena itu perlu dilakukan pemrioritasan penanganan lokasi rawan kecelakaan (LRK) di Provinsi Sumatera Utara. Jumlah kecelakaan dari 5335 kejadian kecelakaan kemudian dipilih menjadi 2587 kejadian berada di ruas Jalan Nasional, penyaringan kejadian memenuhi kriteria ≥ 2 kejadian tiap lokasi menjadi 438 LRK, kemudian dilakukan analisis dengan metode angka ekivalen kecelakaan (AEK), tingkat kecelakaan (Tk), dan *Upper Control Limit* (UCL) sehingga diperoleh 52 LRK. Dengan penggabungan 24 lokasi tipikal dan lokasi yang berdekatan maka dihasilkan 40 LRK. Selanjutnya 40 LRK tersebut disurvei rinci dan disusun Rencana Teknik Akhir yang lengkap termasuk Rencana Anggaran Biayanya. Pada akhirnya prioritas penanganan disesuaikan dengan dana yang tersedia.

Kata Kunci: Lokasi Rawan Kecelakaan, prioritas penanganan LRK.

ABSTRACT

North Sumatra Province is the fifth province in Indonesia with the highest number of accidents after East Java, Central Java, West Java and South Sulawesi with 1649 deaths, 1759 serious injuries, 5897 minor injuries, and total loss of Rp.12,157,821,000, -. There are so many locations of accidents happen based on North Sumatra Regional Police data. Therefore it is necessary to prioritize the handling of black spot in North Sumatra Province. The number of accidents from 5335 accidents events was then selected to be 2587 events on the National Road section, selecting events fulfilled the criteria ≥ 2 events per location to 438 black spot, then analyzed using equivalence accident number (EAN), accident rate, and Upper Control Limit (UCL) in order to obtain 52 black spot. By combining 24 typical locations and adjacent locations, 40 black spot are produced. Furthermore, 40 black spot were surveyed in detail and a complete Final Engineering Plan was prepared including the Budget Plan. In the end the priority of handling is adjusted to the available funds.

Keywords: black spot, priority for handling black spot

1. PENDAHULUAN

Jumlah kecelakaan di Provinsi Sumatera Utara masih dinilai cukup tinggi, yaitu sebesar 6.276 kejadian pada tahun 2016¹ dan 4.803 kejadian pada tahun 2017². Hal ini menunjukkan perlu adanya upaya perbaikan-perbaikan dari berbagai pihak untuk meminimalkan jumlah kecelakaan. Pemerintah wajib menjamin terciptanya keselamatan

¹ Data Polda Sumatera Utara, dikutip dari regional.kompas.com (2017)

² Data Polda Sumatera Utara, Dikutip dari news.okezone.com (2018)

Lalu Lintas dan Angkutan Jalan artinya pemerintah bertanggung jawab untuk menghindarkan para pengguna jalan dari risiko kecelakaan.

Prioritas Penanganan Lokasi Rawan Kecelakaan (LRK) di Provinsi Sumatera Utara merupakan kegiatan kajian (studi) mengenai keberadaan LRK (Lokasi Rawan Kecelakaan). Kegiatan ini merupakan kegiatan yang bertujuan mengurangi resiko terjadinya kecelakaan. Dalam melakukan kegiatan ini tentu harus mengacu pada literatur yang ada, baik literatur hukum atau akademik. Untuk melaksanakan kegiatan ini, diperlukan tenaga ahli yang kompeten di bidangnya sehingga dalam pelaksanaannya akan membutuhkan berbagai disiplin ilmu.

2. STUDI LITERATUR

Kecelakaan lalu lintas adalah suatu peristiwa di Jalan yang tidak diduga dan tidak disengaja melibatkan kendaraan dengan atau tanpa pengguna jalan lain yang mengakibatkan korban manusia dan/atau kerugian harta benda. (UU No.22 Tahun 2009).

Program nasional Rencana Umum Nasional Keselamatan Lalu Lintas Angkutan Jalan (RUNK LLAJ) terdiri dari 5 pilar yaitu:

- I. Pilar 1 (satu) yaitu sistem yang berkeselamatan;
- II. Pilar 2 (dua) yaitu jalan yang berkeselamatan;
- III. Pilar 3 (tiga) yaitu kendaraan yang berkeselamatan;
- IV. Pilar 4 (empat) yaitu pengguna jalan yang berkeselamatan;
- V. Pilar 5 (lima) yaitu penanganan korban kecelakaan.

Berdasarkan Pd. T-09-2004-B, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Lokasi Rawan Kecelakaan (LRK) adalah suatu lokasi dimana angka kecelakaan tinggi dengan kejadian kecelakaan berulang dalam suatu ruang dan rentang waktu yang relatif sama yang diakibatkan oleh suatu penyebab tertentu. Artinya identifikasi Lokasi Rawan Kecelakaan dilakukan dengan mencari lokasi (persimpangan, jembatan, dan ruas jalan) dimana terjadi kecelakaan lalu lintas ≥ 2 kali dalam 1 tahun.

Pemeringkatan LRK dilakukan untuk menentukan LRK terburuk yang perlu mendapatkan prioritas penanganan terlebih dahulu. Pengurutan tersebut didasarkan pada jumlah kejadian kecelakaan terbobot terhadap klasifikasi korban kecelakaan (metode Angka Ekuivalen Kecelakaan (AEK)). Metode ini dipilih karena data yang diperlukan adalah data kecelakaan yang tercatat di Ditlantas Polda Sumatera Utara dengan angka ekuivalensi yang sudah ditetapkan sehingga analisisnya dapat dipertanggungjawabkan dan tidak memakan waktu yang lama. Tingkat kecelakaan digunakan untuk menentukan

prioritas LRK yang memiliki nilai AEK yang sama. Sementara banyaknya LRK yang memerlukan penanganan secara signifikan ditentukan berdasarkan kontrol statistik menggunakan *Upper Control Limit*.

Teknik mengidentifikasi peringkat LRK dengan metode AEK merupakan perhitungan Angka Kecelakaan Terbobot (AKT) pada setiap LRK berdasarkan data jumlah kecelakaan yang terklasifikasi berdasarkan tingkat keparahan korbannya. Ada beberapa jenis kecelakaan berdasarkan tingkat keparahan korban sehingga angka kecelakaan perlu ditimbang dengan Angka Ekuivalen Kecelakaan (AEK). AEK dihitung dengan membandingkan estimasi kerugian ekonomi yang disebabkan oleh berbagai tingkat kecelakaan, yaitu korban kematian (MD), luka berat (LB), luka ringan (LR), atau kerugian material (KM). Ada beberapa nilai-nilai AEK disarankan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Angka Ekuivalen Kecelakaan (AEK)

Tingkat Kecelakaan	USA	Puslitbang Jalan	Ditjen Hubdat	Ditjen Hubdat (Recently)	Polri	SP	BHS	Rata-rata	Binkes (Nilai yang digunakan)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
MD	900	12	12	12	10	325	300	111	100
LB	100	3	7	5	5	20	15	15	20
LR	10	3	3	1	1	6	3	3	5
KM	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Deskripsi: Puslitbang Jalan = Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan; Ditjen Hubdat = Direktorat Jenderal Perhubungan Darat; Polri = Polisi Republik Indonesia; SP = Sigit Priyanto; BHS = Budi Hartanto Susilo; Binkes = Direktorat Pembinaan Keselamatan.

Kerugian material dalam hal ini merupakan jumlah kecelakaan yang mengakibatkan kerugian material (kerusakan kendaraan, sarana, prasarana jalan, dsb) tanpa menimbulkan korban meninggal dunia, luka berat, maupun luka ringan.

Dengan menggunakan nilai rata-rata AEK yang dirasionalisasikan, seperti ditampilkan pada tabel, nilai AKT dari lokasi dihitung sebagai berikut:

$$AKT = \sum MD \times AEK_{MD} + \sum LB \times AEK_{LB} + \sum LR \times AEK_{LR} + \sum KM \times AEK_{KM} \quad (1)$$

dengan:

AKT = Angka Kecelakaan Terbobot

AEK = Angka Ekuivalen Kecelakaan

MD = Korban Meninggal Dunia

LB = Korban Luka Berat

LR = Korban Luka Ringan

KM = Kerugian Material

Tingkat Kecelakaan (T_K) adalah jumlah kejadian kecelakaan per 100.000 juta perjalanan per kilometer. Perhitungan tingkat kecelakaan dibedakan untuk simpang dan ruas jalan, yaitu:

1. Tingkat kecelakaan lalu lintas untuk persimpangan:

$$T_K = \frac{F_K \times 10^8}{V_{LLP} \times n \times 0,1 \times 365} \text{ , (100JPKP)} \quad (2)$$

dengan:

- T_K = tingkat kecelakaan, 100JPKP
- F_K = frekuensi kecelakaan di persimpangan untuk n tahun data.
- V_{LLP} = volume lalu lintas persimpangan.
- n = jumlah tahun data.
- 100JPKP = satuan tingkat kecelakaan/Seratus Juta Perjalanan Kendaraan Per-Kilometer.

2. Tingkat kecelakaan untuk ruas jalan:

$$T_K = \frac{F_K \times 100^8}{LHR_T \times n \times L \times 365} \text{ , (100JPKP)} \quad (3)$$

dengan:

- T_K = tingkat kecelakaan, 100JPKP
- F_K = frekuensi kecelakaan di persimpangan untuk n tahun data.
- LHR_T = volume lalu lintas rata-rata.
- n = jumlah tahun data.
- L = panjang ruas jalan. Km
- 100JPKP = satuan tingkat kecelakaan/Seratus Juta Perjalanan Kendaraan Per-Kilometer.

Penentuan Prioritas Lokasi Rawan Kecelakaan menggunakan statistik kendali mutu sebagai control-chart UCL (*Upper Control Limit*). Segmen ruas jalan dengan tingkat kecelakaan yang berada di atas garis UCL didefinisikan sebagai lokasi rawan kecelakaan. Rumus UCL sebagai berikut:

$$UCL = \lambda + [\sqrt{2,576(\lambda/(m))} + [0,829/(m)] + [1/2(m)]] \quad (4)$$

dengan:

UCL = garis kendali batas atas

λ = rata-rata tingkat kecelakaan dalam satuan kecelakaan per *eksposure*

m = satuan *eksposure* (Nilai AEK)

Note: Rumus-rumus 1,2,3,4 diambil dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi, 2004, Pd T-09-2004-B.

3. METODE PENELITIAN

Untuk menentukan LRK terpilih di ruas Jalan Nasional Provinsi Sumatera Utara diperlukan data-data informasi yang diperoleh baik dari instansi-instansi maupun lapangan. Data-data tersebut mencakup:

- a. Data kecelakaan lalu lintas di Provinsi Sumatera Utara satu tahun terakhir;
- b. Data LHR di ruas Jalan Nasional Provinsi Sumatera Utara;
- c. Data Inventarisasi Jalan di ruas Jalan Nasional Provinsi Sumatera Utara;
- d. Data pengamatan kondisi eksisting di lokasi-lokasi yang sering terjadi kecelakaan, memiliki alinyemen yang ekstrim, ramai pejalan kaki, jarak pandang yang pendek, dan bahaya sisi jalan.

Maka setelah melakukan survei institusional kepada: Direktorat Lalu Lintas Kepolisian Daerah Provinsi Sumatera Utara, Dinas Perhubungan Provinsi Sumatera Utara, Balai Pengelola Transportasi Darat Provinsi Sumatera Utara, Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah II Provinsi Sumatera Utara, Dinas Bina Marga Provinsi Sumatera Utara, dan Satuan Kerja Non Vertikal Tertentu Perencanaan dan Pengawasan Jalan dan Jembatan Nasional Provinsi Sumatera Utara.

Setelah semua data yang dibutuhkan terkumpul, maka dilakukan pengolahan data berupa pengelompokan dan pemilihan lokasi kejadian kecelakaan di ruas Jalan Nasional, kemudian penyaringan dan pemeringkatan LRK dengan metode AEK, Tk, dan UCL. Selanjutnya penggabungan lokasi tipikal dan berdekatan yang kemudian diklasifikasikan menjadi lokasi di ruas jalan antar kota dan jalan perkotaan. LRK terpilih yang selanjutnya perlu di survei detail lanjutan untuk dapat menyusun usulan penanganan, rencana teknik akhir, dan rencana anggaran biayanya.

4. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Proporsi agregat campuran didapatkan dengan melakukan analisis ayakan berdasarkan agregat yang digunakan. Agregat yang digunakan adalah agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi. Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal dapat dilihat pada Tabel 2.2

Data sekunder kecelakaan lalu lintas diperoleh dari data Ditlantas Polda Sumatera Utara, dari Tahun 2017 sampai bulan Mei 2018. Data tersebut menyatakan sebanyak 5335 kejadian yang tersebar di seluruh jaringan jalan di Provinsi Sumatera Utara. Diantaranya terdapat 2587 kejadian kecelakaan terjadi di ruas jalan Nasional di Provinsi Sumatera Utara. Dari 2587 kejadian kecelakaan tersebut setelah dipilah dan dipilih menurut kriteria LRK terdapat 438 lokasi yang dikategorikan sebagai lokasi rawan kecelakaan dengan jumlah kejadian kecelakaan lebih besar sama dengan dua (jumlah kejadian ≥ 2). Dari 439 LRK diurutkan berdasarkan AEK dan Tk dengan syarat nilai AEK diatas nilai UCL, sehingga terpilih lah 52 LRK. Kemudian dari 52 LRK tersebut terdapat beberapa LRK yang berdekatan dan tipikal sehingga terpilih 40 LRK.

Contoh perhitungan:

Kecelakaan yang terjadi pada ruas jalan Jalinsum KM 34 – 35 Medan – Tebing Tinggi Ling. Pasiran Kec. Perbaungan Kab. Serdang Bedagai mengakibatkan jumlah kecelakaan sebanyak 15 kali dengan korban MD = 5, LB = 6, LR = 20 dengan LHR = 17870 smp/jam, sehingga nilai AEK dan Tk dapat dihitung sebagai berikut:

$$AEK = 100MD + 20LB + 5LR + 1JK$$

$$AEK = (100 \times 5) + (20 \times 6) + (5 \times 20) + (1 \times 15) \\ = 735$$

$$Tk = \frac{15}{17870} \times 10000 = 8,39$$

Jadi, nilai AEK dan Tk pada ruas jalan Jalinsum KM 34 – 35 Medan – Tebing Tinggi Ling. Pasiran Kec. Perbaungan Kab. Serdang Bedagai adalah 735 dan 8,39.

Dengan jumlah total nilai AEK = 69420 pada 439 LRK, maka nilai rata-rata (λ) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{69420}{439} = 158,13$$

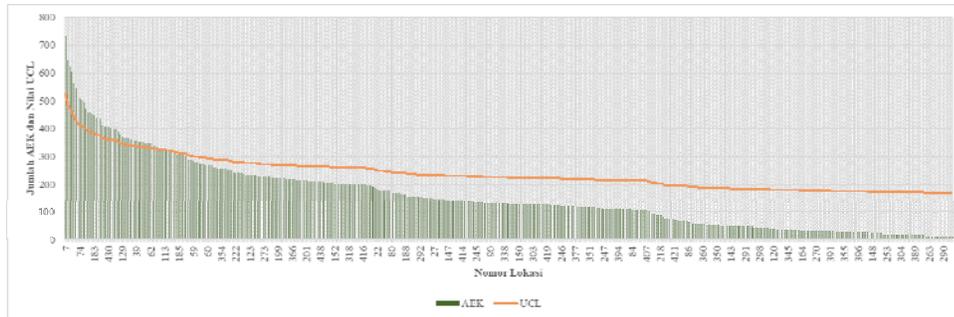
$$\text{Faktor probabilitas } (\psi) = 2,576$$

Untuk ruas jalan Jalinsum KM 34 – 35 Medan – Tebing Tinggi Ling. Pasiran Kec. Perbaungan Kab. Serdang Bedagai dengan nilai AEK (m) = 735, maka nilai UCL dapat dihitung sebagai berikut:

$$UCL = 158,13 + 2,576 \times \sqrt{[(158,13/735) + (0,829/735) + (1/2 \times 735)]} \\ = 526,38 \\ \approx 526$$

Jadi, nilai batas kontrol dengan metode UCL pada ruas jalan Jalinsum KM 34 – 35 Medan – Tebing Tinggi Ling. Pasiran Kec. Perbaungan Kab. Serdang Bedagai adalah

sebesar 526 angka kecelakaan. Secara grafis identifikasi LRK dengan metode UCL dapat dilihat Gambar 1.



Gambar 1. Identifikasi LRK dengan Metode UCL

Dari pemeringkatan yang telah dilakukan di 439 LRK, didapatkan LRK diatas nilai UCL adalah sebanyak 52 LRK, jumlah tersebut kemudian diseleksi kembali dengan menggabungkan lokasi tipikal berdekatan maka diperoleh 40 LRK terpilih dengan hasil perhitungan yang dapat dilihat pada Tabel 2, nilai tersebut sesuai dengan dana yang tersedia atau kesepakatan dengan Direktorat Pembinaan Keselamatan.

Dari 40 LRK terpilih selanjutnya dapat diusulkan penanganannya. Adapun usulan penanganan pada ruas jalan Jalinsum KM 34 – 35 Medan – Tebing Tinggi Ling. Pasiran Kec. Perbaungan Kab. Serdang Bedagai dapat dilihat pada **Tabel 3**, berdasarkan kesepakatan bersama untuk penanganan analisis detail ideal. Kemudian hasil akhir yang diperoleh adalah gambar Rencana Teknik Akhir (Detail Engineering Design) yang dapat dilihat pada **Gambar 2** dan **Gambar 3** sesuai dengan gambar eksisting dan penanganan rencana yang diusulkan. Setelah tersusunnya usulan penanganan dan gambar rencana teknik akhir, selanjutnya disusun rencana anggaran biaya penanganan.

Pada dasarnya metode perhitungan biaya merupakan volume atau kuantitas yang didapat dari gambar desain dikalikan dengan hasil analisis harga satuan yang terdiri dari harga-harga upah, alat, dan material, sehingga didapat harga standar dan jumlah biaya estimasi tersebut. Harga satuan telah dikalikan dengan koefisien kemahalan standar biaya Kementerian Perhubungan Tahun 2014 (PM 78 Tahun 2014) berdasarkan indeks kemahalan konstruksi. Adapun contoh rincian rencana anggaran biaya penanganan dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 2. 40 LRK Terpilih

Peringkat	Lokasi	No. Ruas	Nama Ruas	LHR	Jumlah Laka	Korban			Nilai AEK	Tk	Segmen Jalan
						MD	LB	LR			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10) = (7)*100 + (8)*20 + (9)*5 + (6)*1	(11) = ((6)/(5))*1 0.000	(12)
1	Jalinsum KM 34 - 35 Medan - Tebing Tinggi Ling. Pasiran Kec. Perbaungan Kab. Serdang Bedagai	010	TUGU KOTA LUBUK PAKAM - BTS. KAB. SERDANG BEDAGAI KM 5,1 - 6,1	17870	15	5	6	20	735	8.3940	Antar Kota
2	Jalinsum KM 43 - 44 Medan - Tebing Tinggi Kec. Perbaungan Kab. Serdang Bedagai	012	PERBAUNGAN - BTS. KAB. DELI SERDANG/SEI BULUH KM 5,9 - 6,9	17870	9	5	5	7	644	5.0364	Antar Kota
3	Jalinsum Medan - Rantau Prapat KM 256 - 257 Kec. Aek Natas Kab. Labuhan Utara	024	AEK KANOPAN - BTS. KOTA RANTAU PRAPAT KM 37,2 - 38,2	5632	4	5	3	12	624	7.1023	Antar Kota

Peringkat	Lokasi	No. Ruas	Nama Ruas	LHR	Jumlah Laka	Korban			Nilai AEK	Tk	Segmen Jalan
						MD	LB	LR			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10) = (7)*100 + (8)*20 + (9)*5 + (6)*1	(11) = ((6)/(5))*1 0.000	(12)
4	Jalan Umum Medan - Tanjung Pura KM 33 - 34 Kec. Stabat Kab. Langkat	004	BTS. KOTA STABAT - BTS. KOTA BINJAI KM 4,8 - 5,8	14335	9	5	4	3	604	6.2783	Antar Kota
5	Jl. Jamin Ginting KM 42 - 43 Kec. Sibolangit Kab. Deli Serdang	052	BTS. KOTA MEDAN - BTS. KAB. KARO KM 25 - 26	5619	3	4	5	12	563	5.3390	Antar Kota
6	Jalan Umum KM 30 - 31 Medan - Tebing Tinggi Kec. Lubuk Pakam Kab. Deli Serdang	010	TUGU KOTA LUBUK PAKAM - BTS. KAB. SERDANG BEDAGAI KM 2,1 - 3,1	23283	11	4	0	21	516	4.7245	Antar Kota
7	Jalinsum Medan - Aek Nabara KM 294 - 295 Kec. Rantau Selatan Kab. Labuhanbatu	024/11/K	JLN. LINGKAR (R. PRAPAT) KM 9	7170	5	5	0	1	510	6.9735	Perkotaan

Peringkat	Lokasi	No. Ruas	Nama Ruas	LHR	Jumlah Laka	Korban			Nilai AEK	Tk	Segmen Jalan
						MD	LB	LR			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10) = (7)*100 + (8)*20 + (9)*5 + (6)*1	(11) = ((6)/(5))*1 0.000	(12)
8	Jalan Parapat KM 04,5 Kec. Siantar Marimbun Kota Pematang Siantar	065/11/K	JLN. KE PARAPAT (P. SIANTAR) KM 2	10224	3	5	0	0	503	2.9343	Perkotaan
9	Jalan Umum Tarutung - Siborongborong KM 12 - 13 Kec. Sipoholon Kab. Taput	034	SIBORONG BORONG - TARUTUNG KM 6,5 - 7,5	3484	4	4	4	2	494	11.4811	Antar Kota
10	Jalan Umum Medan - Tarutung KM 230 - 231 Kec. Balige Kab. Tobasa	068	SILIMBAT - BTS. KAB. TAPANULI UTARA KM 9,6 - 10,6	7262	5	4	2	3	460	6.8852	Antar Kota
11	Jalinsum Medan - Tebing Tinggi KM 25 - 26 Kec. Lubuk Pakam Kab. Deli	007	BTS. KOTA MEDAN - BTS. KOTA LUBUK PAKAM KM 9,5 - 10,5	11970	9	4	0	10	459	7.5188	Antar Kota

Peringkat	Lokasi	No. Ruas	Nama Ruas	LHR	Jumlah Laka	Korban			Nilai AEK	Tk	Segmen Jalan
						MD	LB	LR			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10) = (7)*100 + (8)*20 + (9)*5 + (6)*1	(11) = ((6)/(5))*1 0.000	(12)
	Serdang										
12	Jalinsum Medan - Rantau Prapat KM 156 - 157 Kec. Kisaran Barat Kab. Asahan	021/11/K	JLN. SUDIRMAN (KISARAN) KM 3	11701	8	4	0	9	453	6.8370	Perkotaan
13	Jalinsum Medan - Rantau Prapat KM 263 - 264 Kec. Na IX-X Kab. Labuhan Utara	024	AEK KANOPAN - BTS. KOTA RANTAU PRAPAT KM 44,2 - 43,2	5632	3	4	0	9	448	5.3267	Antar Kota
14	Jalinsum Medan - Kisaran KM 138 - 139 Kec. Talawi Kab. Batu Bara	020	LIMA PULUH - SEI BEJANGKAR KM 16,6 - 17,6	7039	9	3	2	18	439	12.7859	Antar Kota

Peringkat	Lokasi	No. Ruas	Nama Ruas	LHR	Jumlah Laka	Korban			Nilai AEK	Tk	Segmen Jalan
						MD	LB	LR			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10) = (7)*100 + (8)*20 + (9)*5 + (6)*1	(11) = ((6)/(5))*1 0.000	(12)
15	Jalan Umum Medan - Tebing Tinggi KM 22 - 23 Kec. Tanjung Morawa Kab. Deli Serdang	007	BTS. KOTA MEDAN - BTS. KOTA LUBUK PAKAM KM 6,5 - 7,5	11970	11	3	0	25	436	9.1896	Antar Kota
16	Jalinsum Medan - Rantau Prapat KM 188 - 189 Kec. Teluk Dalam Kab. Asahan	023	SP. KAWAT - AEK KANOPAN KM 14,7 - 15,7	6521	2	4	0	2	412	3.0670	Antar Kota
17	Jalan Umum Medan - Pematang Siantar KM 99 - 100 Kec. Dolok Merawan Kab. Sergai	063	BTS. KOTA TEBING TINGGI - BTS. KAB. SIMALUNGUN KM 12,7 - 13,7	4838	3	3	0	21	408	6.2009	Antar Kota
18	Jalan Umum Medan - Gunung Tua KM 372 - 373 Kec. Sei	076	SP. KOTA PINANG - BTS. KAB. PALUTA/BTS.	5915	2	4	0	1	407	3.3812	Antar Kota

Peringkat	Lokasi	No. Ruas	Nama Ruas	LHR	Jumlah Laka	Korban			Nilai AEK	Tk	Segmen Jalan
						MD	LB	LR			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10) = (7)*100 + (8)*20 + (9)*5 + (6)*1	(11) = ((6)/(5))*1 0.000	(12)
	Kanan Kab. Labuhanbatu Selatan		KAB. LABUSEL KM 31 - 32								
19	Jalinsum Medan - Rantau Prapat KM 194 - 195 Kec. Teluk Dalam Kab. Asahan	023	SP. KAWAT - AEK KANOPAN KM 20,7 - 21,7	6521	5	3	0	20	405	7.6675	Antar Kota
20	Jalan Umum Medan - Pangkal Berandan KM 74 - 75 Kec. Gebang Kab. Langkat.	002	SIMPANG PANGKALAN SUSU - TANJUNG PURA KM 14,3 - 15,3	12369	7	3	2	10	397	5.6593	Antar Kota
21	Jalinsum Medan - Rantau Prapat KM 189 - 190 Kec. Teluk Dalam Kab. Asahan	023	SP. KAWAT - AEK KANOPAN	6521	6	3	2	9	391	9.2010	Antar Kota

Peringkat	Lokasi	No. Ruas	Nama Ruas	LHR	Jumlah Laka	Korban			Nilai AEK	Tk	Segmen Jalan
						MD	LB	LR			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10) = (7)*100 + (8)*20 + (9)*5 + (6)*1	(11) = ((6)/(5))*1 0.000	(12)
22	Jalinsum KM 35 - 36 Medan - Tebing Tinggi Kec. Perbaungan Kab. Serdang Bedagai	011	BTS. KAB. DELI SERDANG - PERBAUNGAN	20510	9	3	0	14	379	4.3881	Antar Kota
23	Jalan Umum Medan - Tarutung KM 232 - 233 Kec. Balige Kab. Tobasa	068	SILIMBAT - BTS. KAB. TAPANULI UTARA	7262	4	3	2	5	369	5.5081	Antar Kota
24	Jalinsum Medan - Kisaran KM 99 - 100 Kec. Sei Suka Kab. Batu Bara	018	TANJUNG KASAU - INDRAPURA KM 5,2 - 6,2	14288	6	3	2	4	366	4.1993	Antar Kota
25	JL. Medan - Binjai KM 11 - 12 Kec. Sunggal Kab. Deli Serdang	006	BTS. KOTA BINJAI - BTS. KOTA MEDAN KM 2,1 - 3,1	21830	6	3	2	4	366	2.7485	Antar Kota

Peringkat	Lokasi	No. Ruas	Nama Ruas	LHR	Jumlah Laka	Korban			Nilai AEK	Tk	Segmen Jalan
						MD	LB	LR			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10) = (7)*100 + (8)*20 + (9)*5 + (6)*1	(11) = ((6)/(5))*1 0.000	(12)
26	Jalinsum Medan - Tebing Tinggi KM 12 - 13 Kec. Tanjung Morawa Kab. Deli Serdang	007/15/K	JLN. MEDAN (LUBUK PAKAM) KM 0,6	16937	9	3	0	11	364	5.3138	Perkotaan
27	Jalinsum Medan - Rantau Prapat KM 177 - 178 Kec. Simpang Empat Kab. Asahan	023	SP. KAWAT - AEK KANOPAN KM 3,5 - 4,5	8778	3	3	3	0	363	3.4176	Antar Kota
28	Jalan Umum Medan - Tebing Tinggi KM 21 - 22 Kec. Tanjung Morawa Kab. Deli Serdang	007	BTS. KOTA MEDAN - BTS. KOTA LUBUK PAKAM	11970	13	2	2	21	358	10.8605	Antar Kota
29	Jalinsum Medan - Kisaran KM 91 - 92 Kec. Sei Suka Kab. Batu Bara	017	BTS. KAB. SERDANG BEDAGAI - TANJUNG KASAU KM 0,1 -	14288	8	2	4	14	358	5.5991	Antar Kota

Peringkat	Lokasi	No. Ruas	Nama Ruas	LHR	Jumlah Laka	Korban			Nilai AEK	Tk	Segmen Jalan
						MD	LB	LR			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10) = (7)*100 + (8)*20 + (9)*5 + (6)*1	(11) = ((6)/(5))*1 0.000	(12)
			1,1								
30	Jalan Umum Padangsidimpuan - Panyabungan KM 16 - 17 Kec. Batang Angkola Kab. Tapanuli Selatan	039	BTS. KOTA PADANG SIDEMPUAN - BTS. KAB. MADINA KM 5,9 - 6,9	3935	4	3	2	2	354	10.1652	Antar Kota
31	Jalan Medan KM 02 - 03 Kec. Siantar Martoba Kota Pematang Siantar	064/11/K	JLN. KE MEDAN (P. SIANTAR) KM 2,5	6484	4	3	2	2	354	6.1690	Perkotaan
32	Jl. Jamin Ginting KM 46 - 47 Kec. Sibolangit Kab. Deli Serdang	052	BTS. KOTA MEDAN - BTS. KAB. KARO	5619	3	3	2	2	353	5.3390	Antar Kota
33	Jalan Umum Medan - Tanjung Pura KM 44 - 45 Kec. Wampu	003	TANJUNG PURA - BTS. KOTA STABAT KM 14,9 - 15,9	14335	7	2	5	8	347	4.8832	Antar Kota

Peringkat	Lokasi	No. Ruas	Nama Ruas	LHR	Jumlah Laka	Korban			Nilai AEK	Tk	Segmen Jalan
						MD	LB	LR			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10) = (7)*100 + (8)*20 + (9)*5 + (6)*1	(11) = ((6)/(5))*1 0.000	(12)
	Kab. Langkat										
34	Jalan Umum Medan - Tarutung KM 227 - 228 Kec. Laguboti Kab. Tobasa	068	SILIMBAT - BTS. KAB. TAPANULI UTARA KM 6,6 - 7,6	5929	2	3	1	5	347	3.3733	Antar Kota
35	Jl. TA. Hamzah KM 26 - 27 Kec. Binjai Utara Kota Binjai	004/12/K	JLN. AMIR HAMZAH (BINJAI) KM 2	15883	5	3	1	4	345	3.1480	Perkotaan
36	Jalan Umum Medan - Tebing Tinggi KM 19 - 20 Kec. Tanjung Morawa Kab. Deli Serdang	007	BTS. KOTA MEDAN - BTS. KOTA LUBUK PAKAM	11970	10	2	1	22	340	8.3542	Antar Kota
37	Jl. K.L. Yos Sudarso KM 18 - 19 Kec. Medan Labuhan Kota	009	MEDAN - BELAWAN (MEDAN) KM 2,1 - 3,1	16679	6	3	0	6	336	3.5973	Antar Kota

Peringkat	Lokasi	No. Ruas	Nama Ruas	LHR	Jumlah Laka	Korban			Nilai AEK	Tk	Segmen Jalan
						MD	LB	LR			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10) = (7)*100 + (8)*20 + (9)*5 + (6)*1	(11) = ((6)/(5))*1 0.000	(12)
	Medan										
38	Jalan Umum Medan - Tanjung Pura KM 35 - 36 Kec. Stabat Kab. Langkat	004	BTS. KOTA STABAT - BTS. KOTA BINJAI	14735	7	2	4	9	332	4.7506	Antar Kota
39	Jalan Umum Kabanjahe - Kotacane KM 166 - 167 Kec. Mardinding Kab. Karo	028	LAWE PAKAM (BTS. PROV. ACEH) - KUTA BULUH KM 8,5 - 9,5	2761	2	3	1	1	327	7.2438	Antar Kota
40	Jalan Umum Medan - Kabanjahe KM 71 - 72 Kec. Kabanjahe Kab. Karo	053/2	SP. UJUNG AJI - BTS. KOTA KABANJAHE KM 3,9 - 4,9	7232	5	3	0	3	320	6.9137	Antar Kota

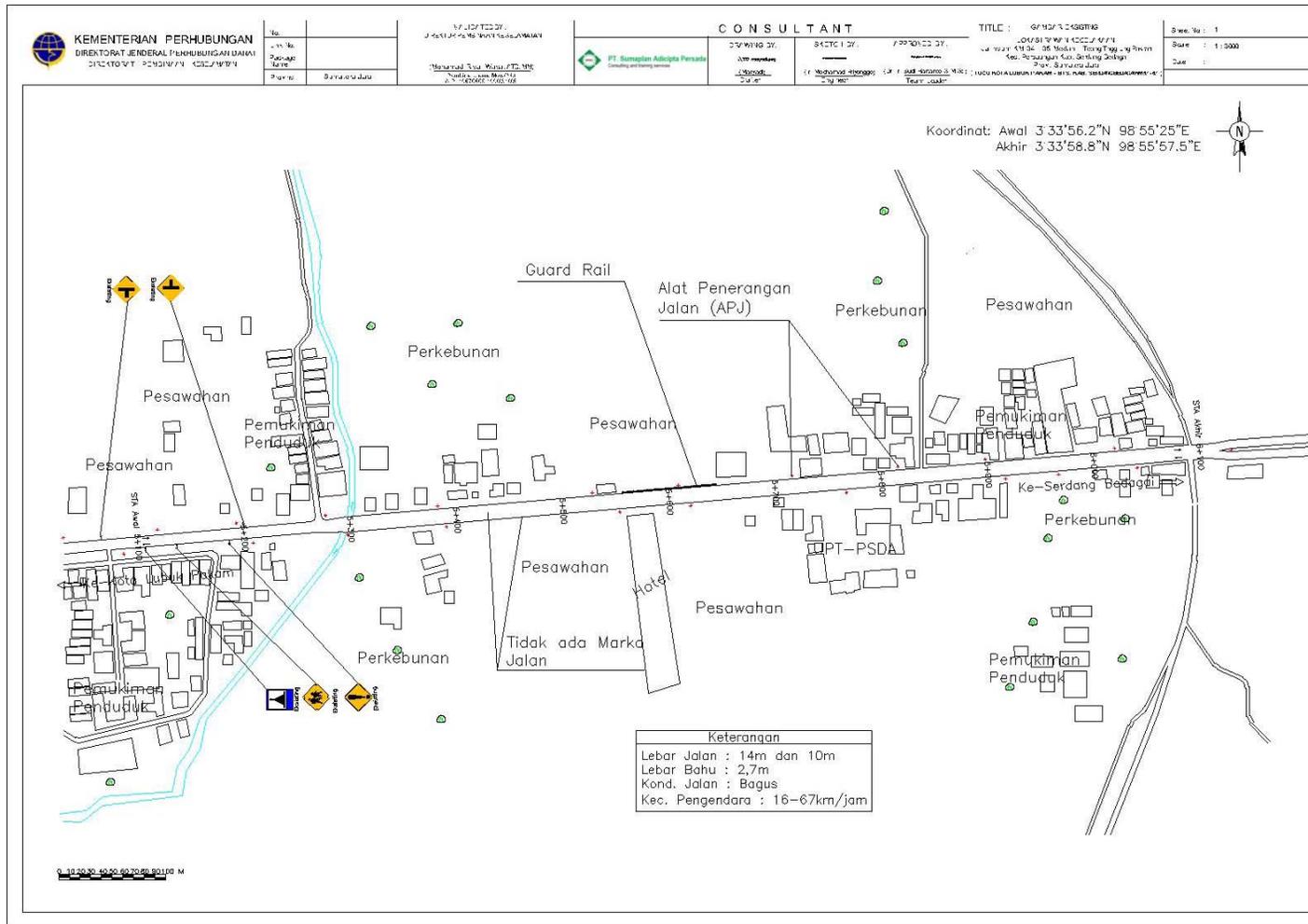
Tabel 3. Contoh Usulan Penanganan LRK No.1

Peringkat	Lokasi	Pengamatan Kondisi Eksisting	Tipe Kecelakaan	Usulan Penanganan
1	Jalinsum KM 34 - 35 Medan - Tebing Tinggi Ling. Pasiran Kec. Perbaungan Kab. Serdang Bedagai.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Tipe Jalan 4/2UD dan 2/2UD; 2) Kondisi permukaan jalan beraspal dan licin; 3) Kondisi permukaan jalan di jembatan rusak dan bergelombang; 4) Terdapat beda lebar jalan sebelum dan setelah jembatan; 5) Terdapat oprit; 6) Terdapat persimpangan jalan kemudian jalan bermedian; 7) Tidak ada marka jalan; 8) Tidak terdapat marka tepi jalan; 9) Tidak ada paku jalan; 10) Banyak kendaraan besar yang lewat; 11) Banyak kendaraan besar yang parkir ditepi jalan; 12) Tata guna lahan adalah pemukiman, dan pesawahan; 13) Bahaya sisi jalan adalah beda tinggi sisi jalan; 14) Tahun pembangunan eksisting adalah tahun 2016; 15) Lebar jalan ± 14m dan ± 	<p style="text-align: center;"><<</p> <p>Siang hari, mobil yang saling melaju cepat dan memaksa mendahului sehingga lepas kendali dan terjadi tabrakan dengan mobil dari arah berlawanan.</p> <p style="text-align: center;">>>></p> <p>Malam hari, sepeda motor melaju cepat, tiba-tiba mengerem, ditabrak dengan mobil yang melaju cepat dibelakangnya, diikuti truk yang menabrak mobil karena lepas kendali.</p> <p>Keterangan: << Tabrak depan-depan >>> Tabrak beruntun</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Pemasang rambu: <ul style="list-style-type: none"> • Peringatan dengan kata-kata: "Hati-hati Lokasi Rawan Kecelakaan" (untuk arah menuju Lubuk Pakam dan Serdang Bedagai) (Tabel II (9)*); • Peringatan Jembatan (untuk arah menuju Lubuk Pakam dan Serdang Bedagai) (Tabel II (1w)*); • Peringatan Persimpangan Tiga Sisi Kiri (untuk arah menuju Serdang Bedagai) (Tabel II (4b18)*); • Peringatan Persimpangan Tiga Sisi Kanan (untuk arah menuju Lubuk Pakam) (Tabel II (4b19)*); • Peringatan Simpang Empat Prioritas (untuk arah menuju Serdang Bedagai) (Tabel II (4b2)*); <p>Hal ini dilakukan untuk memperingati pengendara supaya berhati-hati.</p> 2) Pemasangan marka garis tengah jalan menerus (warna kuning), marka batas jalur, dan marka garis tepi jalan**. Hal ini dilakukan untuk memperingati pengendara akan batas lajur dan tepi jalan. 3) Pemasangan paku jalan***.

Peringkat	Lokasi	Pengamatan Kondisi Eksisting	Tipe Kecelakaan	Usulan Penanganan
		10m; 16) Kendaraan melaju dengan kecepatan antara 16-67 km/jam, persentil 85 = 54km/jam.		Hal ini untuk reflektor marka jalan khususnya pada cuaca gelap dan malam hari. 4) Perbaiki permukaan jalan di jembatan yang rusak bergelombang. Hal ini dilakukan untuk memperlancar arus lalu lintas sehingga kendaraan berjalan dengan stabil dan juga terhindar dari kecelakaan yang disebabkan oleh jalan rusak.

Keterangan:

- * Lihat Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 13 Tahun 2014 Tentang Rambu Lalu Lintas;
- ** Lihat Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 67 Tahun 2018 Tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 34 Tahun 2014 Tentang Marka Jalan;
- *** Lihat Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Darat Nomor SK.7234/AJ.401/DRJD/2013 Tentang Petunjuk Teknis Perlengkapan Jalan.



Gambar 2. Contoh Rencana Teknik Akhir (Detail Engineering Design): Eksisting LRK No.1

Tabel 4. Contoh Rincian Rencana Anggaran Biaya LRK No.1

No	LRK	Usulan	Kuantitas	Satuan	Harga Satuan (Rp) setelah dengan Indeks Kemahalan	Jumlah (Rp)
1	Jalinsum KM 34 - 35 Medan - Tebing Tinggi Ling. Pasiran Kec. Perbaungan Kab. Serdang Bedagai	Pemasangan rambu Peringatan dengan kata-kata : "Hati-hati Lokasi Rawan Kecelakaan" (ukuran 120 x 240 cm)	2	unit	13,611,494	27,222,988
		Pemasangan rambu Peringatan Persimpangan Jembatan (Tabel II (1w*)) (ukuran 75 x 75 cm).	3	unit	1,420,616	4,261,849
		Pemasangan rambu Peringatan Simpang Empat Prioritas (Tabel II (4b2*)) (ukuran 75 x 75 cm).	1	unit	1,420,616	1,420,616
		Pemasangan rambu Peringatan Persimpangan Tiga Sisi Kiri (Tabel II (4b16*)) (ukuran 75 x 75 cm).	1	unit	1,420,616	1,420,616
		Pemasangan rambu Peringatan Persimpangan Tiga Sisi Kanan (Tabel II (4b17*)) (ukuran 75 x 75 cm).	1	unit	1,420,616	1,420,616
		Pemasangan marka garis batas jalur (ukuran 3 x 120 mm) (Thermoplastic)**.	240	m ²	33,477	8,034,527
		Pemasangan marka garis batas lajur (ukuran 3 x 120 mm) (Thermoplastic)**.	196.56	m ²	33,477	6,580,278
		Pemasangan marka garis tepi (ukuran: tebal 3 x lebar 120 mm) (Thermoplastic) untuk 2 arah**.	240	m ²	33,477	8,034,527
		Pemasangan paku jalan (ukuran 100 x 150 x 20 mm)***.	329	unit	281,418	92,586,440
		JUMLAH				

Keterangan:

* Lihat Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 13 Tahun 2014 Tentang Rambu Lalu Lintas;

** Lihat Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 67 Tahun 2018 Tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 34 Tahun 2014 Tentang Marka Jalan;

*** Lihat Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Darat Nomor SK.7234/AJ.401/DRJD/2013 Tentang Petunjuk Teknis Perlengkapan Jalan;

5. SIMPULAN DAN REKOMENDASI

A. SIMPULAN

Berdasarkan analisis tersebut maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari data 2587 kejadian kecelakaan yang disaring bertahap menjadi 439 LRK kemudian didapat 52 LRK yang memenuhi kriteria LRK dan mengkerucut menjadi 40 LRK;
2. Dari 40 LRK terpilih dilakukan survei rinci sehingga tersusunlah Rencana Teknik Akhir (Detail Engineering Design) termasuk Rencana Anggaran Biayanya;
3. Pada tahap akhir prioritas penanganan berdasarkan pada ketersediaan dana yang ada secara bertahap.

B. REKOMENDASI:

1. Hasil kegiatan ini diharapkan dapat segera direalisasikan supaya dapat mengurangi jumlah kejadian kecelakaan di Provinsi Sumatera Utara;
2. Untuk tercapainya kegiatan LRK perlu dianggarkan dalam bentuk program paket kerja tahunan, sesuai dengan harapan INPRES Nomor 4 Tahun 2013, tentang Dekade Aksi Keselamatan, dalam periode 2011-2020.

DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Sumatera Utara, 2017, Provinsi Sumatera Utara Dalam Angka 2017, Sumatera Utara;
2. Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Sumatera Utara, 2018; <https://sumut.bps.go.id>;
3. Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, 2014, Penyusunan Detail Engineering Design (DED) Daerah Rawan Kecelakaan Di Jalan Nasional Propinsi Lampung, Kementerian Perhubungan;
4. Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, 2017, Penyusunan Penentuan Titik dan Rekomendasi Lokasi Rawan Kecelakaan (LRK) di Provinsi Sulawesi Tenggara, Kementerian Perhubungan;
5. Direktorat Jenderal Perhubungan Darat dan Direktorat Keselamatan Transportasi Darat, 2014, Pedoman Keselamatan Transportasi Darat: Draft Survei, Investigasi, dan Desain (SID) Lokasi Rawan Kecelakaan (LRK), Kementerian Perhubungan;
6. Instruksi Presiden Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2013 Tentang Program Dekade Aksi Keselamatan Jalan Presiden Republik Indonesia;
7. Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 290 Tahun 2015;
8. Keputusan Menteri Perhubungan Nomor 34 tahun 2014 tentang Marka Jalan;
9. Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Darat, Nomor SK.7234/AJ.401/DRJT /2013 tentang Petunjuk Teknis Perlengkapan Jalan;

10. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 13 Tahun 2014 tentang Rambu Lalu Lintas;
11. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 67 Tahun 2018 tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 34 Tahun 2014 Tentang Marka Jalan;
12. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 78 Tahun 2014 tentang Standar Biaya di Lingkungan kementerian Perhubungan;
13. Peraturan Pemerintah No. 34 Tahun 2006 Tentang Jalan;
14. Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi, 2004, Penanganan Lokasi Rawan Kecelakaan Lalulintas, Pd T-09-2004-B, Departemen Permukiman dan Parasarana Wilayah, Jakarta.
15. Susilo, B.H., 2016, Buku Panduan Praktis: KESELAMATAN LALU LINTAS JALAN, Pusat Studi Transportasi Antara Disiplin Ilmu di Universitas Kristen Maranatha;
16. Susilo, B.H., 2016, Guideline for Survey, Investigation, and Design of Black Spot Location (SID-BSL) and Its Application in Lampung Province, Indonesia, CIVIL ENGINEERING DIMENSION (Journal of Civil Engineering Sciece and Application);
17. Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas Angkutan Jalan;
18. Undang Undang No. 38 Tahun 2004 tentang Jalan.

KOMPRESIBILITAS TANAH ORGANIK

Asriwiyanti Desiani

Dosen Tetap, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha
Jalan Prof. drg. Suria Sumantri, MPH. No. 65 Bandung 40164
Email: asriwiyanti@gmail.com

ABSTRAK

Pembangunan di atas tanah organik umumnya menimbulkan masalah karena tanah tersebut sangat lunak, basah, dan memiliki karakteristik kompresibilitas tinggi. Identifikasi tanah organik sebelum suatu konstruksi terlanjur dibangun dapat mengantisipasi potensi permasalahan yang mungkin terjadi dan melakukan tindakan pencegahan terhadap kerusakan. Penentuan parameter kompresibilitas tanah organik penting dilakukan untuk mencegah permasalahan kelongsoran dan keruntuhan pondasi. Perkiraan jumlah material organik yang berlebihan dapat menuntun pada perlakuan khusus/perbaikan tanah yang mungkin sebenarnya tidak perlu dilakukan ataupun sebaliknya. Uji parameter kompresibilitas tanah organik dikaji berdasarkan hasil uji laboratorium maupun berdasarkan uji in situ. Alat uji untuk mendapatkan parameter kompresibilitas adalah uji oedometer. Alat uji lapangan untuk mendapatkan parameter kompresibilitas yang dikaji adalah CPT, CPTu, vane shear lapangan, dan dilatometer. Studi kasus memperlihatkan nilai indeks pemampatan dari tanah organik di Bandung berkisar antara 2.13-4.21. Studi kasus memperlihatkan nilai tekanan pra konsolidasi dari tanah organik di Bandung yang berkisar antara 0.23-1.9Kg/cm².

Kata Kunci: kompresibilitas, tanah organik.

ABSTRACT

The constructions above organic soil generally cause problem because the soil was very soft, wet, and has high compressibility characteristics. Identification of organic soil before the construction has been built can anticipate potential problems that may occur and take preventive measures against damage. Determination of compressibility parameters of organic soil is important to prevent soil erosion problems and foundation collapse. Estimate of excessive amounts of organic material can lead to special treatment/soil improvements that may not actually need to be done or otherwise. Tests for compressibility parameters of organic soil were examined based on laboratory test result and based on in situ test. The test equipment to obtain compressibility parameters is the oedometer test. Field test equipment to obtain compressibility parameters studied were CPT, CPTu, vane shear field, and dilatometer. Case studies show the compression index value of organic soil in Bandung ranges from 2.13-4.21. Case studies show the value of pre-consolidated pressure from organic soils in Bandung ranging from 0.23-1.9Kg/cm².

Keywords: compressibility, organic soil.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tantangan utama ketika berhubungan dengan tanah organik atau pun gambut adalah karakteristiknya. Karakteristik yang unik dari tanah organik adalah kadar air yang tinggi, kompresibilitas tinggi, kecepatan dan besar creep yang tinggi, kadar organik tinggi dan kekuatan rendah yang mengakibatkan proses konstruksi sering bermasalah (Mundro., 2004; Zainorabidin and Wijeyesekera., 2007; Haan and Kruse., 2006, I. Bakar., 2014).

Ketika tanah mengalami peningkatan tegangan tekan akibat pondasi, akan terjadi pemampatan tanah (umumnya disebut *settlement*) yang terdiri dari pemampatan elastis (*immediate settlement*), pemampatan primer (*consolidation settlement*) dan pemampatan sekunder (*secondary compression*). Tanah organik memiliki sifat memampat sangat tinggi, karena itu proses *settlement* memakan waktu sangat lama.

Tanah gambut secara geoteknik merupakan tanah bermasalah dimana proses pemampatan dan penurunan memerlukan waktu yang panjang yang meningkat saat muka air tanah menurun. Disamping penurunan/*settlement*, masalah stabilitas selama konstruksi seperti keruntuhan daya dukung dan keruntuhan slip perlu dipertimbangkan. (Duraismy *et al.*, 2009).

Mengingat kelemahan tanah organik tersebut maka membangun di atas tanah organik cenderung dihindari. Namun kebutuhan lahan yang semakin meningkat, menyebabkan pembangunan pada lahan organik terkadang tak dapat dihindari. Maka sangat penting untuk dapat menentukan parameter kuat geser dan kompresibilitas yang sesuai untuk desain seperti juga harus ditemukan teknik konstruksi yang sesuai untuk material ini.

1.2. Maksud dan Tujuan studi

Maksud studi ini adalah melakukan pengkajian terhadap parameter kompresibilitas dari tanah organik. Tujuan studi adalah mendapatkan batasan-batasan parameter kompresibilitas tanah organik serta korelasi dengan uji in situ sehingga dapat digunakan untuk desain maupun mengatasi masalah-masalah yang timbul akibat konstruksi.

1.3. Ruang Lingkup

Ruang lingkup studi meliputi:

1. Parameter kompresibilitas;
2. Indeks kompresi, kompresi sekunder dan kompresi tersier.

1.4. Metode Pendekatan

Properti kompresibilitas tanah organik dari berbagai sumber pustaka disajikan dengan memperhatikan prosedur uji, korelasi dan data-data hasil uji di laboratorium, maupun data hasil uji lapangan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kompresibilitas (Kemampu mampatan) Tanah Organik

Secara umum parameter konsolidasi tanah dapat ditentukan menggunakan uji laboratorium, uji in situ dan hitung balik dari pengukuran lapangan. Uji laboratorium memungkinkan simulasi kondisi tegangan dan drainase dengan akurat, namun ketergangguan sampel tanah cukup besar. Uji in situ relatif cepat dan akurat dalam proses identifikasi tanah namun untuk penentuan parameter kuat geser maupun kompresibilitas tidak dapat ditentukan langsung, membutuhkan korelasi dengan hasil laboratorium. Hitung balik dari pengukuran lapangan dapat memberikan hasil yang baik pada beberapa parameter desain tertentu.

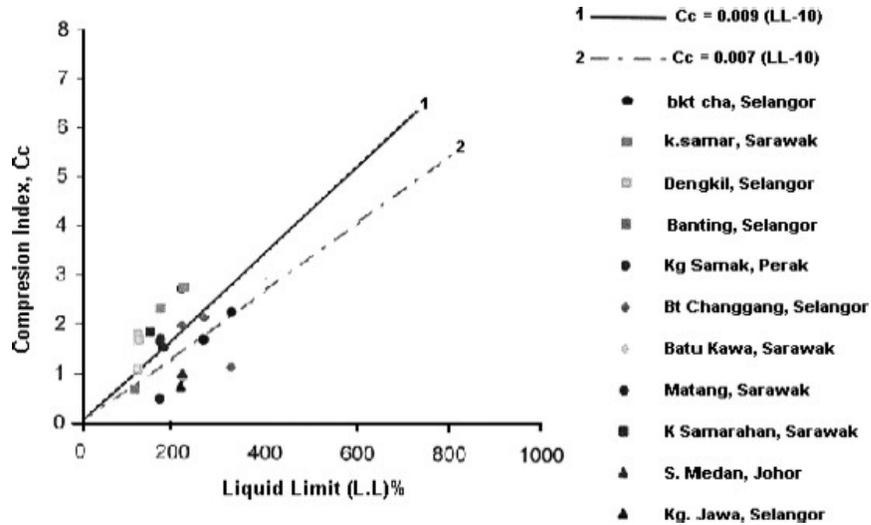
Bo *et al.*, (2003) memaparkan berbagai uji untuk pengukuran parameter konsolidasi. Pengujian konsolidasi di laboratorium, antara lain menggunakan alat *Oedometer* dan *Rowe cell*. Sedangkan pengujian konsolidasi di lapangan dapat menggunakan *Piezocoone dissipation test* (CPTU), *Pressuremeter or self-boring pressuremeter* (SBPM) *test*, *Flat dilatometer test* (DMT), dan *Field permeabilty test* (e.g., *BAT permeameter*).

Analisis balik bisa dilakukan menggunakan data pengukuran tekanan air pori dan pengukuran *settlement* langsung di lapangan.

Dari hasil pengujian *Oedometer* dapat ditentukan parameter c_v , k_v (pengukuran tidak langsung), C_c , C_r , σ'_p , dan C_α , sedangkan dari hasil pengujian *Rowe cell* dapat ditentukan parameter c_h dan k_h .

Dari hasil pengujian CPTU dapat ditentukan parameter c_h dan k_h yang didasarkan pada uji disipasi tekanan air pori. Hasil pengujian SBPM dapat ditentukan parameter c_h dan k_h yang didasarkan pada uji disipasi tekanan lateral atau tekanan air pori. Hasil pengujian DMT dapat ditentukan parameter c_h dan k_h yang didasarkan pada tegangan lateral. Dan hasil pengujian permeabilitas lapangan dapat ditentukan parameter k_h menggunakan piezometer.

Dari hasil analisis balik dapat ditentukan parameter c_h menggunakan piezometer dan *settlement gauges*.



Gambar 2.1 C_c vs LL (Al-Raziqi et al., 2003)

2.1.1 Parameter Kompresibilitas Tanah Organik Berdasar Hasil Uji Laboratorium

1. Indeks Pemampatan C_c dan angka pori

Al-Raziqi et al 2003 melakukan korelasi antara nilai indeks pemampatan C_c dengan liquid limit untuk berbagai tanah organik dan gambut di Malaysia dengan menggunakan korelasi acuan dari Skempton dan Petley (1970) $C_c = 0.009(LL-10)$ serta Hobbs (1986) $C_c = 0.007(LL-10)$.

Azzouz et al., 1976 memberikan hubungan antara kadar air tanah organik (w_n) dengan C_c sebagai berikut $C_c = 0.0115.w_n$.

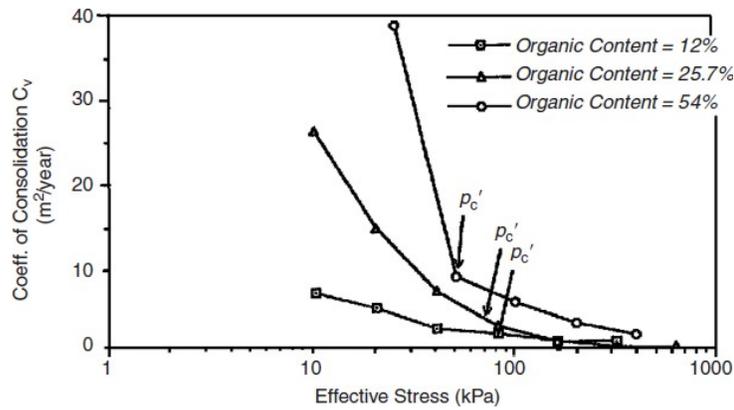
Den Haan, (1997) mengajukan korelasi untuk gambut di Belanda dimana angka pori dapat ditentukan berdasarkan nilai kadar air dengan mengikuti rumus 2.1 sebagai berikut:

$$e_o = 30.65 \frac{(w_o + 0.88)^{0.116}}{1.12} - 30 \quad (2.1)$$

Al-Raziqi et al., (2003) menemukan bahwa korelasi antara parameter *settlement* $C_c/(1+e_0)$ dengan batas cair memiliki kecenderungan meningkat.

2. Koefisien Konsolidasi, C_v

Farrel et al., (1994) mencatat bahwa koefisien konsolidasi menurun sejalan dengan meningkatnya tegangan efektif di atas tegangan pra konsolidasi dan nilai tersebut semakin kecil bila kadar organik tanah semakin besar (Gambar 2.2).



Gambar 2.2 Tegangan efektif vs C_v (Farrel *et al.*, 1994)

Oikawa dan Igarashi, (1997) mengajukan persamaan untuk menghitung C_v dari nilai kadar air sebagai berikut:

$$e_f = 2.47 \left[1 - \frac{1}{\exp\left(\frac{2.91}{p}\right)^{0.39}} \right] w_n^{0.85} \left[1 - \frac{1}{\exp(1.85p)^{0.45}} \right] \quad (2.2)$$

$$\log c_v = \left[\frac{1.51}{W_n} + 0.20 \right] \left[\frac{e_o + e_f}{2} \right] - \frac{1.12}{(W_n - 0.21)^{0.68}} + \log \frac{(1 + e_o)}{e_o - e_f} + \log(p - p_o) - 1.06 \quad (2.3)$$

dimana e_f dan e_o merupakan angka pori final dan awal, w_n merupakan kadar air, dan p merupakan tekanan pra konsolidasi dalam satuan (kg/cm^2). C_v dalam satuan cm/s .

3. Pemampatan Sekunder

Pemampatan sekunder atau *creep* yang ditentukan seperti untuk pemampatan satu dimensi dari tanah adalah pemampatan *volumetric* yang berlanjut dibawah tegangan efektif vertikal yang konstan. Komponen yang bergantung pada waktu dari *settlement* total terjadi setelah seluruh tekanan air pori berlebih terdisipasi, suatu tahap yang dianggap terjadi setelah konsolidasi primer berakhir.

Estimasi konsolidasi sekunder sering disederhanakan dengan asumsi penurunan sekunder bervariasi secara linier dengan logaritma waktu. Holtz dan Kovacs, (1981) mendefinisikan koefisien konsolidasi sekunder C_{α} sebagai berikut:

$$c_a = \frac{\Delta H}{H_o} (\log(tp + \Delta t)/t_p) \quad (2.4)$$

dimana H_o merupakan ketebalan lapis, Δt merupakan pertambahan waktu yang dihasilkan selama pemampatan sekunder ΔH , t_p adalah waktu dimana konsolidasi primer selesai.

Farrel *et al.*, (1994) memberikan hubungan antara kadar air tanah organik (w_n) dengan C_{α} sebagai berikut $C_{\alpha} = 0.00018.w_n$.

Hobbs (1986) menemukan kecenderungan bahwa nilai C_α konstan untuk kadar air diatas 250%, Hobbs juga menemukan bahwa C_α tanah organik memiliki nilai antara 0.02 - 0.04.

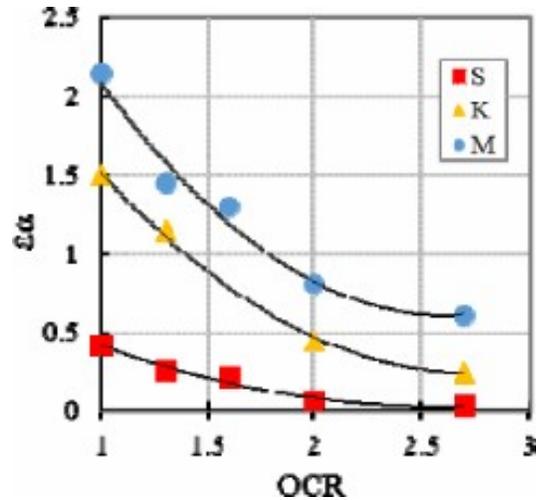
Tanah organik memperlihatkan kemampu mampatan yang lebih tinggi daripada material geoteknik lainnya (Mesri et al, 1997). Pertama, tanah organik memiliki kadar air alami dan angka pori yang lebih tinggi dari pada tanah anorganik dan kedua, tanah organik memiliki nilai C_α/C_c tertinggi (Mesri dan Godlewiski, 1977; Mesri et al, 1994).

Wong (2003) menjelaskan berdasarkan pengalaman lapangan pada proyek timbunan tanah, tanah organik menunjukkan tahapan konsolidasi primer yang pendek dan cepat. Hal ini diikuti dengan pemampatan sekunder atau pemampatan *creep* yang lambat dan berkelanjutan.

Perhitungan *settlement* memerlukan evaluasi parameter tanah dari lengkung pemampatan yang biasanya di dapat dari uji *Oedometer*. Hasil dari uji *Oedometer* dengan *incremental loading* biasanya disajikan sebagai hubungan antara angka pori vs tegangan vertikal efektif σ'_v . Tegangan vertikal efektif dapat di plot pada skala linier untuk menentukan koefisien perubahan volume, mv dan modulus *Oedometer*, M , atau pada skala logaritmik untuk menentukan indeks pemampatan, C_c .

Kirov (2003) menemukan saat tanah organik di uji *Oedometer*, jadwal pembebanan yang digunakan memiliki pengaruh cukup besar pada hasil uji. Ia menyarankan lebih baik menggunakan jadwal pembebanan individual semirip mungkin dengan perkiraan pembebanan in situ. Jika jadwal lain digunakan, nilai koefisien pemampatan yang didapat mungkin tidak tepat. Hal ini dapat menyebabkan kesalahan dalam perhitungan *settlement*.

S. Kamao (2014) dari *Nihon University*, Jepang melakukan uji *creep* di laboratorium untuk tanah *highly organic* dari daerah Tokyo, Jepang. Tanah yang diuji memiliki kadar organik rendah sampai tinggi. Uji *creep* dilakukan untuk kondisi *loading* dan *unloading* pada berbagai nilai OCR (1.0 – 16.0). Hal ini bertujuan untuk menentukan nilai OCR yang pantas digunakan saat mendesain memakai metode *preloading*. Selain uji *creep* dilakukan pula uji *relaxation* untuk melihat pengaruh pengurangan *settlement* jangka panjang yang umumnya terjadi setelah beban *preload* diangkat. Hasil uji *creep* menunjukkan bahwa kecepatan *secondary compression* ϵ_a berkurang sejalan dengan peningkatan nilai OCR, seperti terlihat pada Gambar 2.3. OCR yang sesuai untuk meminimalkan *settlement* jangka panjang pada tanah *highly organic* berkisar pada nilai 2. Hasil uji *relaxation* menunjukkan pengurangan tekanan konsolidasi tergantung pada jenis tanah.



Gambar 2.3 Hubungan antara nilai kompresi sekunder dengan OCR

H. J. Lengkeek et al., (2014) mempresentasikan perilaku tanah organik yang diuji memakai berbagai peralatan di laboratorium. Uji dilakukan dalam rangka melakukan verifikasi terhadap kestabilan tanggul banjir di Belanda. Alat uji yang digunakan antara lain : *Oedometer (OED)*, *Constant rate of strain (CRS)*, *Triaxial CU Anisotropis*, dan *Direct shear*.

Hasil uji menunjukkan nilai kadar air yang tinggi dan berat volume yang rendah. Hal ini menunjukkan kadar organik tanah tersebut tinggi. Hasil uji CRS akan dipakai untuk menentukan tegangan prakonsolidasi yang dapat dipercaya. Dari hasil CRS dan perhitungan tegangan efektif insitu dapat ditentukan tegangan konsolidasi.

Uji triaxial CU anisotropi tidak dapat diaplikasikan pada tanah organik. Rasio S_u bervariasi antara 0.46 dan 0.53 dengan kekuatan 0.87 – 1.

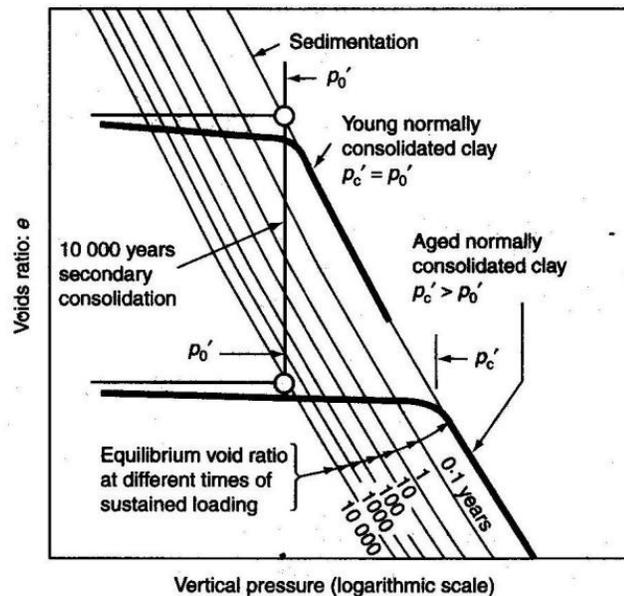
Secara umum parameter kuat geser pada studi kasus ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan parameter kuat geser tanah kohesif yang biasa. Penjelasan tentang perilaku dapat dihubungkan kepada kadar organik dan kadar air yang tinggi. Pada material organik keberadaan serat pada tanah dapat mengakibatkan kuat tarik menjadi tinggi sehingga kuat geser tanah meningkat.

Tanah organik dapat mengalami konsolidasi, pemampatan, dan penurunan akibat dibebani dua cara:

a. Secara lambat,

Konsolidasi dan pemampatan terjadi berangsur-angsur sehingga tanah organik memiliki waktu untuk bereaksi terhadap beban. Metode ini sesuai untuk membangun jalan di atas tanah organik. Metode ini juga memberi waktu bagi tanah organik untuk menambah kekuatan dan daya dukung.

- b. Secara cepat,
Tanpa perubahan volume dan dengan penyebaran dan pergeseran secara cepat menyebabkan kegagalan. Tanah organik sangat rentan terhadap tegangan geser yang berlebihan. Pembebanan perlu diatur secara hati-hati untuk menjaga tegangan geser yang terjadi tetap dalam jangkauan kekuatan tanah.



Gambar 2.4 Hubungan voids ratios-log effective pressure-time, Bjerrum (1967)

Pemampatan awal langsung terjadi setelah beban diaplikasikan. Pemampatan primer dan sekunder bergantung pada lamanya pembebanan diaplikasikan. Pemampatan awal secara umum terjadi karena pemampatan gas dalam pori dan juga pemampatan elastis dari butiran tanah. Konsolidasi primer yang diamati saat terjadi peningkatan tegangan vertikal efektif menyebabkan disipasi tekanan air pori berlebih. Setelah disipasi selesai, pemampatan sekunder berjalan dengan tegangan vertikal efektif konstan.

Perilaku pemampatan tanah organik berbeda dalam dua hal dari perilaku pemampatan tanah anorganik. Pertama, pemampatan tanah organik jauh lebih besar dari tanah anorganik. Kedua, *creep settlement* memiliki peran yang lebih signifikan dalam menentukan settlement total tanah organik dibandingkan dengan tanah anorganik.

Kazemian dan Huat (2009) menyatakan konsolidasi primer dari *fibrous peat* terjadi dengan sangat cepat, pemampatan sekunder besar, bahkan pemampatan tersier, juga terjadi.

Mesri dan Ajlouni (2007) menjelaskan tentang faktor dominan yang mengatur sifat pemampatan tanah organik antara lain, kadar serat, kadar air alami, angka pori, permeabilitas awal, susunan partikel tanah dan ikatan kimia antar partikel. Penentuan pemampatan *fibrous peat* biasanya didasarkan pada uji konsolidasi standar.

Angka pori in situ *fibrous peat* sangat tinggi karena *fibrous peat* berupa serat seluler berongga yang membentuk sebuah jaringan partikel berkaitan serta terbuka, sehingga kadar air awal tinggi. Saat pemampatan primer ataupun sekunder, air dikeluarkan secara bersamaan dari dalam dan di antara partikel gambut. Maka dari itu kurva e-log p menunjukkan sebuah kemiringan curam yang menunjukkan nilai indeks pemampatan yang tinggi.

Indeks pemampatan tanah organik berkisar antara 2-15. Selain itu ada kemungkinan bahwa pemampatan sekunder dimulai sebelum disipasi tekanan air pori berlebih selesai.

Berat volume tanah organik nilainya mirip dengan berat volume air sehingga tegangan efektif in situ sangat kecil dan terkadang tidak dapat dideteksi dari hasil uji konsolidasi. Penentuan awal pemampatan sekunder (t_p) dari kurva konsolidasi sangat sulit karena konsolidasi yang mendahului terjadi sangat cepat. (Yulindasari, 2006).

Pemampatan *fibrous peat* berlanjut dengan kecepatan yang berangsur-angsur berkurang dan tegangan efektif yang konstan. Hal ini disebut pemampatan sekunder. Pemampatan sekunder tanah organik karena penguraian lebih lanjut dari serat yang diasumsikan berjalan dengan laju yang lebih lambat setelah konsolidasi primer berakhir. Kemiringan bagian akhir kurva angka pori vs log waktu (C) didefinisikan sebagai laju pemampatan sekunder. Perkiraan ini didasarkan atas asumsi bahwa C tidak terikat oleh waktu, ketebalan lapisan yang dapat dimampatkan, dan tekanan yang diaplikasikan. Rasio C/C_c sudah digunakan secara luas untuk mempelajari sifat tanah organik dan besarnya berkisar antara 0.05-0.07 diteliti oleh Mesri et al. (1997).

Meskipun laju konsolidasi primer dari *fibrous peat* sangat tinggi, hal ini berkurang dengan aplikasi tekanan konsolidasi menurut Lea dan Brawner (1963) laju koefisien konsolidasi akan mengalami penurunan signifikan pada saat aplikasi tekanan dari 10-100kPa. Faktor reduksi signifikan sebesar 5-100 dikenakan terhadap reduksi permeabilitas yang disebabkan oleh peningkatan tekanan.

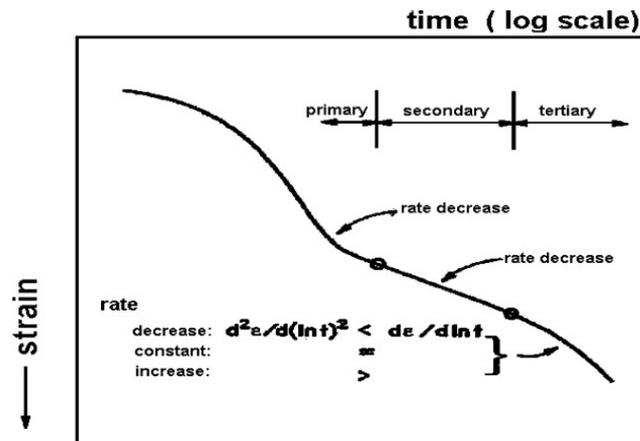
Pada beberapa jenis gambut dan tanah organik, parameter settlement nya dapat ditentukan memakai uji *oedometer* standar. Bentuk umum kurva konsolidasi akan tampak serupa dengan kurva tanah anorganik. Tetapi terdapat tanah berkadar organik dan material serat dengan penghumusan tingkat rendah, yang tidak mengikuti konsep

pemampatan lempung konvensional. Hal ini disebabkan karena perbedaan sifat fase padat dan mikrostruktur tanah tersebut. Bila tanah organik ini tetap di analisa memakai metode konvensional, maka kemiripan dengan kurva tanah anorganik sangat sedikit. Perbedaan ini akan sangat jelas terlihat pada tegangan vertikal rendah (peningkatan beban awal di laboratorium). Material seperti itu juga rawan terhadap penguraian selama uji oedometer. Kadar gas dan produksi gas lain juga dapat memperumit interpretasi dari uji oedometer. Perilaku tanah organik dan perumusan perilaku tanah tersebut diteliti oleh Edil (1997) dan Haan (1997).

4. Pemampatan Tersier

Proses konsolidasi, pemampatan dan *settlement* tanah organik dapat terdiri dari tiga fase yaitu: *settlement* secara instan/pemampatan awal, konsolidasi primer, dan pemampatan sekunder. Oleh beberapa sumber disebut pula adanya tahapan ke empat yaitu *settlement* tersier seperti terlihat pada Gambar 2.5.

Edil dan Dhowian, (1979) melaporkan kurva kompresi pada uji *oedometer* untuk gambut Wisconsin memperlihatkan terdapat bagian yang curam bila diplot terhadap skala logaritma waktu. Bagian tersebut didefinisikan sebagai fase pemampatan tersier yang terjadi setelah fase pemampatan sekunder. Pada tahun 1980 keduanya mendefinisikan ulang pemampatan tersier sebagai bagian yang curam dari kurva logaritma regangan natural. Pemampatan tersier diperkenalkan pula sebagai alat yang ditujukan untuk meningkatkan C_α terhadap waktu.



Gambar 2.5 Pemampatan primer, sekunder, dan tersier (Huat et al., 2014)

2.1.2 Parameter Kompresibilitas Tanah Organik Berdasar Hasil Uji In Situ

Uji in situ sangat berguna karena dapat mencegah masalah masalah yang berkaitan dengan kesulitan pengambilan sampel tanah. Sayangnya belum banyak pembahasan tentang uji in situ dan korelasi dengan parameter konsolidasi khusus untuk tanah organik. Uji in situ yang akan dilaporkan untuk menentukan parameter konsolidasi tanah organik antara lain uji *Dilatometer* dan *Piezocone* (CPTu).

Rahardjo, Yunan, dan Lento (2009) meneliti tanah lunak dan tanah gambut di Pelintung, Sumatera menggunakan Marchetti Dilatometer dan *Dual Dilatometer* yang dikembangkan oleh *Parahyangan Catholic University* (UNPAR DDMT). Korelasi dan interpretasi untuk nilai OCR berdasarkan rumus empiris adalah sebagai berikut

3. Marchetti, 1980

$$OCR = (0.5K_D)^{1.86} \text{ for } I_D < 1.2 \text{ (clay)} \quad (2.5)$$

4. Larsson dan Eskilson (1989)

$$OCR = 10^{0.16(K_D - 2.8)} \quad (2.6)$$

5. Kamei dan Iwasaki (1995)

$$OCR = 0.34 K_D^{1.43} \quad (2.7)$$

6. Chang (1991a), untuk Singapore soft marine's clay

$$OCR = (0.5K_D)^{0.84} \quad (2.8)$$

Nilai OCR hasil interpretasi semua metode di atas lebih kecil dari 1. Hal ini mengindikasikan proses konsolidasi tanah gambut di Pelintung masih berjalan (under consolidated). Secara umum nilai K_D lebih kecil dari 2 menghasilkan nilai OCR lebih kecil dari 1.

Rahardjo, et al. (2006) menjelaskan dan menggunakan uji disipasi pada uji Piezocone untuk memonitor besarnya derajat konsolidasi pada satu waktu tertentu dan menentukan koefisien konsolidasi arah horizontal, c_h . Pada saat melakukan uji *piezocone* di tanah lunak, penetrasi konus akan menghasilkan tekanan air pori ekses yang terbaca pada sensor tekanan air pori. Besar koefisien konsolidasi dapat diketahui dengan melakukan tes disipasi, dimana tekanan air pori ekses dibiarkan terdisipasi sampai dengan tekanan air pori ekses yang terukur mendekati nilai tekanan hidrostatiknya. Karena arah aliran tekanan air pori ekses dalam pengujian ini radial maka nilai koefisien konsolidasi yang didapatkan merupakan koefisien konsolidasi dalam arah horizontal.

Pertama, tekanan air pori ekses diplot mengikuti metode Asaoka dengan sumbu u_t dan $u_t + \Delta t$ dimana u_t adalah tekanan air pori ekses pada suatu waktu. Dengan menggunakan kurva pada metode Asaoka dapat ditentukan nilai u_f dan u_{50} .

Kedua, tekanan air pori eksese selama disipasi diplot dalam grafik terhadap log waktu, menggunakan nilai u_{50} yang di dapat dari langkah 1, dapat ditentukan t_{50} . Nilai koefisien konsolidasi arah horizontal, ch ditentukan menggunakan chart dari Robertson *et al.* (1992) berdasarkan waktu yang diperlukan untuk mencapai 50% disipasi.

Anastasia, As win, Andy (2012) melakukan studi korelasi tahanan ujung sondir terhadap sifat kemampatan lempung di Bandung. Korelasi q_c dengan kompresibilitas menggunakan formula Mitchell dan Gardner (1975) yakni:

$$\alpha = 1 / (m_v \cdot q_c) \quad (2.9)$$

dimana:

α = koefisien yang bergantung pada nilai q_c

m_v = Koefisien pemampatan volume (cm^2/kg)

q_c = Tahanan ujung sondir (kg/cm^2)

Hasil uji untuk tanah organik Gedebage menghasilkan nilai q_c berkisar 4.1-14.5 kg/cm^2 , koefisien pemampatan m_v antara 0.048-0.137 cm^2/kg , dan nilai α berkisar pada 0.26-11.1.

2.1.3 Back Analysis

Memprediksi besar dan waktu *settlement* memainkan peran utama di dalam proyek-proyek perbaikan tanah yang menggunakan metode *pre-loading*. Prediksi yang akurat tergantung pada pemilihan parameter tanah dan keputusan *engineer*. *Engineer* harus memverifikasi kelayakan tanah dengan menggunakan metode *monitoring* instrumen selama proses konsolidasi dan sesudahnya.

Instrumen sederhana yang dapat menilai derajat konsolidasi adalah *settlement plate* dan piezometer. Bo et al (1997).

1. Settlement gauge

Derajat Konsolidasi rata-rata dapat ditentukan secara sederhana berdasarkan *settlement*. Derajat konsolidasi rata-rata pada suatu waktu (t) sesudah pembebanan dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$\bar{U} (\%) = S_t / S_\alpha \quad (2.10)$$

dimana :

S_t adalah *settlement* pada waktu (t)

S_α adalah *settlement* konsolidasi primer ultimate $\bar{U}(\%)$ adalah derajat konsolidasi

Prediksi *settlement ultimate* dari hasil monitoring lapangan yang lebih akurat dapat dilakukan dengan menganalisa hasil monitoring *settlement*. Sridharan dan Seepada

(1981) Menyarankan metode hiperbolik dapat digunakan untuk memprediksi *settlement ultimate*. Tan (1993) Melaporkan bahwa metode hiperbolik valid untuk memprediksi *settlement ultimate* pada perbaikan tanah menggunakan *vertical drained* hanya bila digunakan faktor kemiringan koreksi yang berhubungan dengan rasio drainase dan ketebalan. Asaoka (1978) mengajukan metode prediksi *settlement* menggunakan hasil *monitoring settlement* dan *fitting curve*.

Suatu perbandingan dilakukan pada hasil *monitoring Changi East*, Singapore menggunakan tiga metode diatas. Terlihat bahwa derajat konsolidasi dari ketiga metode hasilnya mendekati. Jika digunakan ekstensometer yang dipasang pada sublapisan maka derajat konsolidasi dari sub lapisan dapat diperkirakan dengan mengaplikasikan metode yang sama.

2. Piezometer

Piezometer digunakan untuk mengukur tekanan pori dari tanah. Jika *monitoring* yang teratur dilakukan untuk mengukur *piezometric head* bersamaan dengan ketinggian air statik maka disipasi tekanan air pori berlebih dapat dideteksi dan derajat konsolidasi dapat dihitung. Tekanan air pori berlebih rata-rata dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$U(\%) = 1 - (u_t / u_i)$$

Dimana :

u_t adalah tekanan pori berlebih pada waktu (t) dan

u_i adalah tekanan pori berlebih initial, besarnya sama dengan pertambahan beban ($\Delta\sigma'$).

Jika Piezometer dipasang dalam elevasi yang berbeda-beda derajat konsolidasi rata-rata untuk seluruh ketebalan tanah dapat dihitung seperti halnya derajat konsolidasi rata-rata dari sub lapisan tanah. Bo et al., 2003 membandingkan derajat konsolidasi dari hasil *monitoring piezometer* terhadap hasil *monitoring deep settlement gauge* dan menemukan bahwa derajat konsolidasi yang dihasilkan sesuai.

3. PEMBAHASAN DAN ANALISA

Pembahasan dilakukan terhadap data-data dari tanah Lempung Bandung dengan lokasi pada jalur jalan Tol Padalarang-Cileunyi, antara Km 34 sampai Km 42, yang merupakan daerah cekungan, mengandung sedimen abu vulkanik berdasar laporan hasil penyelidikan tanah oleh LYON/INDEX, 1983 dan DCIL/INDEX, 1985. Deposit tanah terdiri dari beberapa lapisan tanah yang lunak dan basah mencapai kedalaman 30m, mempunyai kandungan air yang sangat tinggi mencapai lebih dari 200%. Data kedalaman Bor dan sifat fisik Lempung Bandung dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data kedalaman dan sifat fisik Lempung Bandung (Ma'mun, 1990)

Bor No.	Kedalaman (m)	w (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Gs
B1-2	3,10 - 3,50	193	99	57	42	2,33
B2-2	3,50 - 3,90	224	233	60	173	2,19
B3-2	3,60 - 4,00	258	220	75	145	2,25
B4-1	3,80 - 4,20	248	211	70	141	2,17
B5-2	3,70 - 4,10	229	215	57	158	2,11
B6-2	3,60 - 4,00	234	190	53	137	2,18
B7-2	3,50 - 3,90	220	264	98	166	2,10
B8-2	3,70 - 4,20	254	212	97	115	2,10

Tabel 3.1 memperlihatkan hasil uji konsolidasi untuk tanah lempung Bandung. Nilai indeks pemampatan (C_c) berkisar antara 2.13 sampai 4.21. Nilai tekanan pra konsolidasi berkisar antara 0.23-1.9Kg/cm².

Tabel 3.2 Hasil uji konsolidasi tanah lempung Bandung (Ma'mun, 1990)

Bor No.		Tegangan Konsolidasi (kg/cm ²)							Pc	Cc
		0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,4		
B4-2	e	5,10	5,01	4,85	4,48	3,81	3,02	2,61	1,2	3,24
	c _v	2,44	3,81	3,66	1,14	0,43	0,17	0,26		
B1-3	e	5,32	5,21	5,07	4,83	4,26	3,49	2,85	1,8	4,21
	c _v	3,49	2,17	2,96	4,80	2,66	0,91	0,89		
B7-1	e	4,07	4,03	3,97	3,86	3,58	3,04	2,28	1,9	3,22
	c _v	3,50	4,25	3,75	2,09	2,48	1,49	0,56		
B6-3 (*)	e	6,28	6,11	5,77	5,41	4,94	3,69	2,93	1,25	4,72
	c _v	5,15	6,22	3,71	3,03	2,42	0,19	0,47		
B4-4 (x)	e	5,18	5,01	4,64	4,22	3,71	3,16	2,96	0,23	2,13
	c _v	4,26	2,10	1,58	1,38	0,90	0,64	0,74		

Catatan: * B₆₋₃ Pembebanan 2 hari

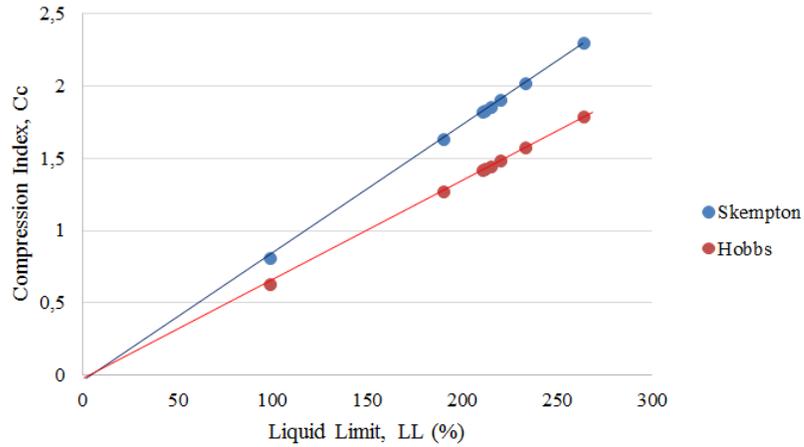
x B₄₋₄ Direndam 4 hari

Hasil uji *Atterberg* dapat digunakan untuk mencari nilai C_c , karena itu akan dicoba untuk membuat korelasi tanah organik antara nilai LL dan C_c . Rumus yang akan digunakan sebagai acuan diambil dari **Skempton dan Petley (1970)** $C_c = 0.009(LL-10)$ serta **Hobbs (1986)** $C_c = 0.007(LL-10)$. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Perbandingan C_c Skempton (1970) dan Hobbs (1986)

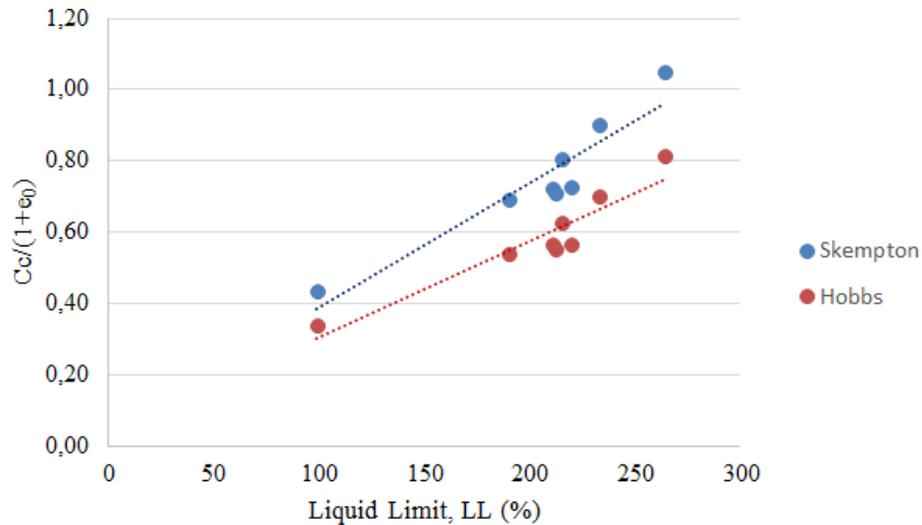
Nilai C_c		e_0	$C_c/(1+e_0)$	
Skempton	Hobbs		Skempton	Hobbs
0,801	0,623	0,85	0,43	0,34
2,007	1,561	1,23	0,90	0,70
1,89	1,47	1,60	0,73	0,56
1,809	1,407	1,50	0,72	0,56
1,845	1,435	1,28	0,81	0,63
1,62	1,26	1,34	0,69	0,54
2,286	1,778	1,18	1,05	0,82
1,818	1,414	1,56	0,71	0,55

Gambar 3.2 memperlihatkan hubungan antara C_c vs LL dari lempung Bandung dan mengikuti *trend* yang sama dengan *trend* yang dihasilkan oleh Farrel *et al*, (1994).



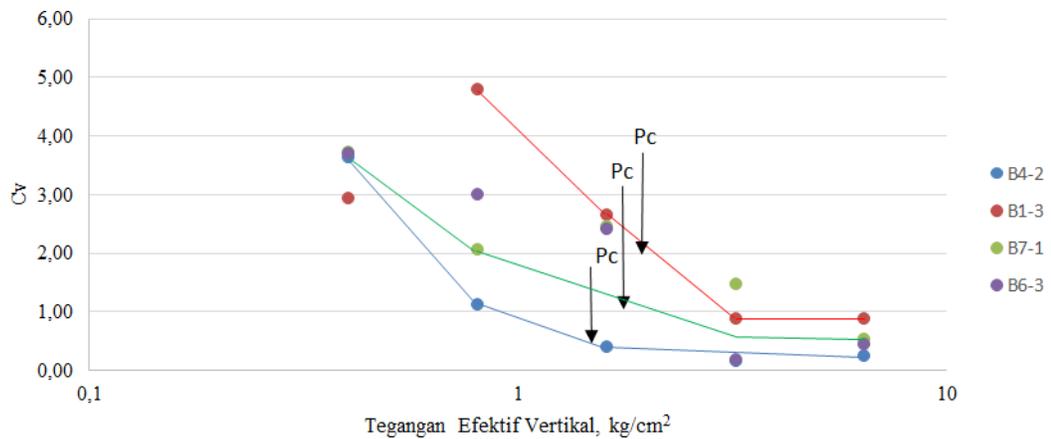
Gambar 3.1 Hubungan C_c vs LL

Gambar 3.2 memperlihatkan hubungan antara $C_c/(1+e_0)$ vs LL dari lempung Bandung yang memiliki *trend* peningkatan batas cair sejalan dengan peningkatan parameter *settlement*.



Gambar 3.2 Hubungan antara $C_c/(1+e_0)$ vs LL

Gambar 3.3 memperlihatkan hubungan antara koefisien konsolidasi C_v dengan tegangan efektif vertikal. Terlihat kecenderungan koefisien konsolidasi menurun sejalan dengan meningkatnya tegangan efektif vertikal, pada tegangan efektif di atas tegangan pra konsolidasi nilai C_v semua menurun dan lebih landai. *Trend* ini sesuai dengan *trend* Farrel *et al.*, 1994.



Gambar 3.3 Tegangan efektif vs C_v

4. SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian kompresibilitas tanah organik maka diperoleh hasil:

1. Kuat geser tanah organik tergantung pada derajat penghumusan, kadar air dan kadar mineral. Semakin tinggi kadar air tanah organik maka kuat geser akan semakin

rendah. Semakin tinggi derajat penghumusan maka semakin rendah kuat geser. Semakin besar kadar mineral maka kuat geser semakin besar pula.

2. Pengukuran kuat geser tanah organik di laboratorium tidak mudah sehubungan kesulitan mendapatkan sampel tanah yang representative dan untuk membawanya secara cepat ke laboratorium serta memotong sampel sesuai ukuran tanpa terganggu.
3. Uji in situ yang sederhana seperti vane shear test dapat digunakan untuk memberi indikasi kuat geser in situ. Kesempatan untuk mengembangkan alat uji in situ untuk mencari parameter kuat geser dan kompresibilitas masih terbuka lebar.
4. Nilai indeks pemampatan C_c tanah organik berkisar antara 2.0-15.0, sedangkan untuk pemampatan sekunder digunakan indeks pemampatan sekunder C_{α} dengan rentang C_{α}/C_c 0.05-0.07.
5. Kazemian dan Huat, (2009) memberikan nilai C_{α}/C_c untuk tanah organik di Malaysia yang besarnya 0.07-0.10.
6. Studi kasus memperlihatkan nilai indeks pemampatan dari tanah organik di Bandung berkisar antara 2.13-4.21.
7. Studi kasus memperlihatkan nilai tekanan pra konsolidasi dari tanah organik di Bandung yang berkisar antara 0.23-1.9Kg/cm².

DAFTAR PUSTAKA

1. Al-Raziqi, A. A., Huat, B. B. K. and Munzir, H. A. (2003) Potential usage of hyperbolic method for prediction of organic soil settlement. Proc. 2nd International Conference on Advances in Soft Soil Engineering and Technology (eds. B. Huat et al.), Putrajaya, Malaysia, pp. 439–45.
2. Bakar, I. (2014). Challenges In Peat Soil Research – Malaysian Experiences. Proceedings of Soft Soils 2014, Bandung, Indonesia, A7.
3. Culloch, F. M. (2006) Guidelines for the risk management of peat slips on the construction of low volume/low cost road over peat. Forestry Civil Engineering Forestry Commission, Scotland, pp. 1–46.
4. Edil, T. B. and Dhowian, A. W. (1981) At-rest lateral pressure of peat soils. Journal of the Geotechnical Engineering Division, 107(GT2), 201–17.
5. Farrell, E. R. (1998) The determination of geotechnical parameters of organic soils. Problematic Soils (eds. E. Yanagisawa, N. Moroto and T. Mitachi), Balkema, Rotterdam, pp. 33–6.
6. Haan D.E.J., Kruse G. A. M., (2006). Characterisation and engineering properties of Dutch peats. Characterisation and Engineering Properties of Natural Soils.

- Proceedings of 2nd Int. Workshop, Singapore, Taylor & Francis, London, 2007, 3:2101–2133.
7. Hanzawa, H. (1991). A New Approach to Determine the Shear Strength of Soft Clay. Proceedings of GEO-COAST 1991, Yokohama, Japan.
 8. Huat, B.B.K. (2004) Organic and Peat Soils Engineering. 1st edn. University Putra Malaysia Press, Serdang, Malaysia.
 9. Huat, B.B.K., Prasad, A., Asadi, A., Kazemian, S. (2014). Geotechnics of Organic Soils and Peat. CRC Press.
 10. Kamao, S. (2014) Characteristic of long-term resettlement of soft ground after removal of the preload. Proceedings of Soft Soils 2014, Bandung, Indonesia, F3.
 11. Kazemian, S. and Huat, B. B. K. (2009a) Compressibility characteristics of fibrous tropical peat reinforced with cement column. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 14C. Kazemian, S., Huat, B. B. K. and Moayedi, H. (2012b) Undrained shear characteristics of tropical peat reinforced with cement stabilized soil column, Geotechnical and Geological Engineering Journal, DOI:10.1007/s10706–012-9492-7.
 12. Kazemian, S., Prasad, A., Huat, B. B. K. and Barghchi, M. (2011a) A state of an art review of peat from general perspective. International Journal of the Physical Sciences, 6(8), 1988–96.
 13. Kazemian, S., Huat, B.B.K., Prasad, A., and Barghchi, M., (2011). A State Review of Peat: Geotechnical Engineering Perspective. International Journal of the Physical Sciences. Vol. 6 (8), pp. 1974-1981. ISSN 1992-1950@2011. Academic Journals.
 14. Kirov, B. (2003) Deformation properties of soft soil: oedometer testing. Proc. 2nd International Conference on Advances in Soft Soil Engineering and Technology (eds. B. Huat et al.) Putrajaya, Malaysia, pp. 49–51.
 15. Landva, A. O. And La Rochelle, P. (1983) Compressibility and shear characteristics of Radforth Peats. In P. M. Jarett (ed.), Testing of peats and organic soils, ASTM STP 820, pp. 157–191.
 16. Lea, N. and Brawner, C. O. (1963) Highway design and construction over peat deposits in the lower British Columbia, Highway Research Record, 7, 1–32.
 17. Lengkeek, H.K. the Use of Anisotropically Consolidated Triaxial, Direct Simple Shear and Constant Rate of Strain Tests in Determining the Strength Parameters of Organic Soft Soil. Proceedings of Soft Soils 2014, Bandung, Indonesia, H1.

18. Mesri, G. and Ajlouni, M. (2007) Engineering properties of fibrous peats. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(7), 850–66.
19. Mesri, G. and Godlewski, P. M. (1977) Time- and stress-compressibility interrelationship. *Journal of Geotechnical Engineering*, 103(GT 5), 417–30.
20. Mesri, G., Statark, T. D., Ajlouni, M. A. and Chen, C. S. (1997) Secondary compression of peat with or without surcharging. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123(5), 411–21.
21. Mesri, G., Statark, T. D., Ajlouni, M. A. and Chen, C. S. (1997) Secondary compression of peat with or without surcharging. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123(5), 411–21.
22. Mitchell, J. K. (1993) *Fundamentals of Soil Behavior*. John Wiley & Sons, New York.
- Munro, R. (2004) *Dealing with Bearing Capacity Problems on Low Volume Roads Constructed on Peat*. The Highland Council, Transport, Environmental & Community Service, Scotland, pp. 1–136.
23. Munro, R., (2004). *Dealing With Bearing Capacity Problems on Low Volume Roads Constructed on Peat*. Northern Periphery.ROADEX II.p. 5- 29, 34 – 63.
24. Wong, K. M. (2003) Earth-filling experiences on peat soils at Sri Aman, Sibuluan and Bintulu. *Proc.2nd International Conference on Advances in Soft Soil Engineering and Technology* (eds. B. Huat et al.), Putrajaya, Malaysia, pp. 669–79.
25. Yamaguchi, H., Ohira, Y., Kogure, K. and Mori, S. (1985) Undrained shear characteristics of normally consolidated peat under triaxial compression and extension conditions. *Soils and Foundations*, 25(3), 1–18.
26. Yogeswaran, M. (1995) Geological considerations in the development of Kuching area dialogue session. *Geological and Geotechnical Considerations in Civil Works*, Geological Survey of Malaysia, Kuala Lumpur.
27. Yulindasari, S. (2006) Compressibility characteristics of fibrous peat soil. Masters Dissertation, Universiti Teknologi Malaysia.
28. Zainorabidin, A. and Wijeyesekera, D. C. (2007). *Geotechnical Challenges with Malaysian Peat*. *Proceedings of AC T*, pp. 252-261.

KAJIAN MODULUS TANAH BERDASARKAN UJI LAPANGAN DAN UJI LABORATORIUM

Cindarto Lie¹

PT. CND Geoteknika

Jl. Pesantren No.168, Cibabat, Kota Cimahi

e-mail: cindarto@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji tentang *soil modulus* (modulus tanah) yaitu suatu faktor yang menghubungkan antara besarnya *stress*/tegangan dan *strain*/regangan yang terjadi pada tanah. *Soil modulus* adalah salah satu parameter utamadalam analisa geoteknik yang menggunakan metoda elemen hingga atau *finite elemen method* (FEM). *Soil modulus* biasanya ditentukan melalui uji laboratorium atau uji in-situ di lapangan. Ada berbagai macam dan ragam *soil modulus*, tergantung dari kondisinya antara lain kondisi pembebanannya apakah *static* atau *dynamic*, *drained* atau *un-drained*, level tegangan dan regangan yang terjadi, tegangan keliling dan seterusnya.

Kata kunci: modulus tanah.

ABSTRACT

This research was conducted to study about soil modulus, a factor that connect the magnitude of stress and strain that occur in soil. Soil modulus is one of the main parameters in geotechnical analysis using the Finite Element Method (FEM). Soil modulus is usually determined through laboratory test or in-situ test in field. depends on the condition, there are various kinds of soil modulus, including loading conditions whether static or dynamic, drained or un-drained, stress and strain levels that occur, perimeter stress, an so on.

Keywords: *soil modulus.*

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan makin pesatnya kemajuan teknologi komputasi, telah membuat analisa numerik turut berkembang dengan pesat juga. Salah satu yang sangat berkembang saat ini adalah analisa geoteknik dengan *Finite Element Method* (FEM), yang mana sangat bermanfaat dalam menyelesaikan persoalan geoteknik yang kompleks, terutama untuk menyelesaikan *problem* interaksi antara tanah dan struktur bangunan. Beberapa program FEM yang populer saat ini antara lain PLAXIS, MIDAS dan FLAC.

Dalam analisa geoteknik dengan FEM diperlukan input/data masukan yang baik ketelitiannya, agar diperoleh *output*/hasil yang teliti dan realistis, salah satu parameter utama dari analisa FEM adalah *Soil Modulus*, yaitu suatu koefisien yang menghubungkan antara besarnya tegangan dan regangan yang terjadi pada tanah.

Soil Modulus adalah parameter tanah yang paling sulit diperkirakan karena tergantung dari banyak faktor seperti misalnya kondisi pembebanan statik atau dinamik, *drained* atau *un-drained*, level tegangan dan penentuannya tentu saja harus disesuaikan

dengan kondisi yang terjadi di lapangan. Seminar bidang kajian ini akan membahas modulus tanah berdasarkan uji laboratorium dan uji di lapangan.

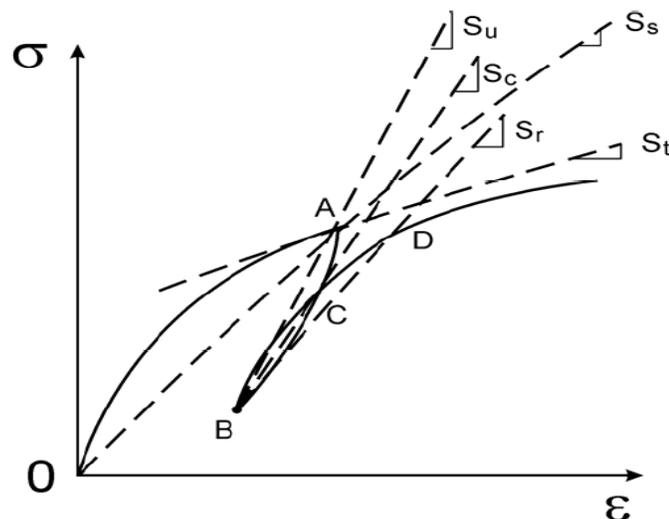
2. LATAR BELAKANG

Dalam analisa FEM interaksi antar elemen dinyatakan dalam perubahan regangan dan tegangan (*stress* dan *strain*) yang terjadi pada masing-masing elemen akibat beban luar, hal ini yang menjadikan regangan dan tegangan adalah faktor utama dalam analisa FEM. *Soil modulus* atau modulus tanah, E adalah modulus atau angka yang menghubungkan antara regangan dan tegangan dalam elemen-elemen tanah tersebut. Tergantung dari cara pembebanan seperti *loading*, *un-loading*, *drained*, *un-drained*, *stress level* dan statik atau dinamik yang menentukan *soil modulus* yang tepat untuk dipergunakan dalam analisa, sehingga pemilihan dan penentuan nilai *soil modulus* adalah suatu hal yang sangat penting dalam analisa FEM.

Dalam bab selanjutnya akan dibahas mengenai jenis-jenis *soil modulus* yang dipakai dalam analisa FEM dan bagaimana mengukurnya baik di lapangan maupun di laboratorium.

3. RAGAM SOIL MODULUS

Karena grafik tegangan dan regangan tanah pada umumnya bukan grafik yang linier, maka beragam modulus dapat ditentukan dari grafik tersebut.



Gambar 1. Definisi *Soil Modulus* (JL. Briaud, 2004)

Dengan mengacu pada grafik tegangan dan regangan pada Gambar 1, beberapa ragam *soil modulus* dapat diturunkan antara lain;

- **Secant Modulus E_s** , yang merupakan kemiringan garis OA atau *Slope S_s*, yang dipergunakan untuk memperkirakan penurunan fondasi pada saat pertama kali menerima pembebanan.
- **Tangent Modulus E_t** , yang ditarik sebagai garis singgung dari salah satu titik tertentu dalam grafik tegangan regangan atau *Slope S_t*, yang dipergunakan untuk menghitung penurunan yang terjadi akibat penambahan beban pada fondasi.
- **Unloading Modulus/Resilient Modulus E_u** , yang merupakan kemiringan garis AB atau *Slope S_u*, yang dipergunakan untuk menghitung *heave* (penyembulan tanah dasar galian) atau *rebound* dari *pavement* setelah terlindas ban truk yang lewat.
- **Reload Modulus E_r** , yang merupakan kemiringan garis BD atau *Slope S_r*, yang dipergunakan untuk menghitung penurunan pada dasar galian pada saat beban bangunan membebani kembali permukaan dasar galian atau penurunan dari *pavement* akibat pembebanan kembali dari ban truk yang lewat.
- **Cyclic Modulus E_c** , yang merupakan kemiringan garis BC atau *Slope S_c*, yang dipergunakan untuk menghitung deformasi struktur fondasi akibat beban *cyclic* seperti gaya ombak atau gempa.

4. FAKTOR YANG MEMPENGARUHI NILAI *SOIL MODULUS*

Beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya nilai *Soil Modulus* antara lain:

4.1 Kepadatan tanah (*Density*)

Semakin tinggi kepadatan (*density*) tanah maka semakin tinggi juga *Soil Modulusnya*. Kepadatan tanah disini diukur dengan kepadatan kering (*dry density*) yang merupakan perbandingan berat tanah kering dengan volume tanah basah. Selain itu juga dapat diukur melalui porositas tanah yang merupakan nilai perbandingan antara volume *void* dengan volume total tanah basah.

4.2 Struktur tanah (*Soil Structure*)

Struktur tanah yang dimaksud adalah bagaimana susunan butiran partikel tanah, pada tanah berbutir kasar atau pasir apakah struktur tanahnya *loose* atau *dense*. Sedangkan pada tanah lempungan strukturnya *dispersed* atau *flocculated*. Perlu diketahui bahwa dua buah contoh tanah dengan *dry density* yang sama tetapi berbeda strukturnya, akan berbeda juga *Soil Modulusnya*. Ini menjelaskan mengapa dalam pengambilan contoh tanah berbutir kasar di lapangan dan kemudian membentuknya kembali di

laboratorium, walaupun sudah mempunyai *dry density* yang sama, tetap diperoleh hasil modulus tanah yang berbeda sama sekali.

4.3 Kadar air (*Water Content*)

Kadar air mempunyai pengaruh yang sangat besar pada *Soil Modulus*. Pada tanah berbutir halus (*cohesive soil*), pada kadar air yang rendah, air merekatkan antara partikel tanah dan meningkatkan *effective stress* melalui efek *suction* dan tegangan kapiler air tanah. Sehingga pada kadar air yang rendah tanah lempung menunjukkan *Soil Modulus* yang tinggi. Ini menjelaskan mengapa tanah lempung menyusut dan mengeras pada saat dikeringkan.

Lain halnya pada tanah berbutir kasar, upaya pemadatan kurang efisien pada kadar air yang rendah, dan menjadi efisien setelah penambahan kadar air, karena air memberikan lubrikasi antar butiran tanah. Sehingga pada tanah berbutir kasar, kadar air yang rendah membuat *Soil Modulus* juga rendah dan meningkat seiring dengan bertambah kadar airnya, namun penambahan ini akan berhenti sampai pada kadar air optimum saja, karena air yang berlebihan akan memperbesar jarak antar butiran tanah, sehingga menurunkan nilai *Soil Modulus* dan meningkatkan kompresibilitas tanah berbutir kasar tersebut.

4.4 Riwayat Pembebanan (*Stress History*)

Ini menyangkut sejarah pembebanan yang pernah dialami oleh suatu lapisan tanah. Jika lapisan tanah pada masa lalunya pernah mengalami tekanan yang lebih besar dari pada tekanan yang ada sekarang ini maka lapisan tanah disebut *overconsolidated* (OC). Jika suatu lapisan tanah belum pernah mengalami tekanan yang lebih besar dari pada yang ada sekarang ini maka lapisan tanah disebut *normally consolidated* (NC). Tanah *over consolidated* biasanya mempunyai *Soil Modulus* yang lebih tinggi dari pada tanah *normally consolidated*, dikarenakan pembebanan pada tanah OC ada pada jalur *reloading* dari grafik *stress strain* sedangkan tanah NC ada di jalur awal *loading*. Sebagian tanah ada yang masih dalam proses konsolidasi akibat berat sendirinya, tanah ini disebut *under consolidated*. Lapisan tanah *under consolidated* ini mempunyai nilai *Soil Modulus* yang sangat rendah.

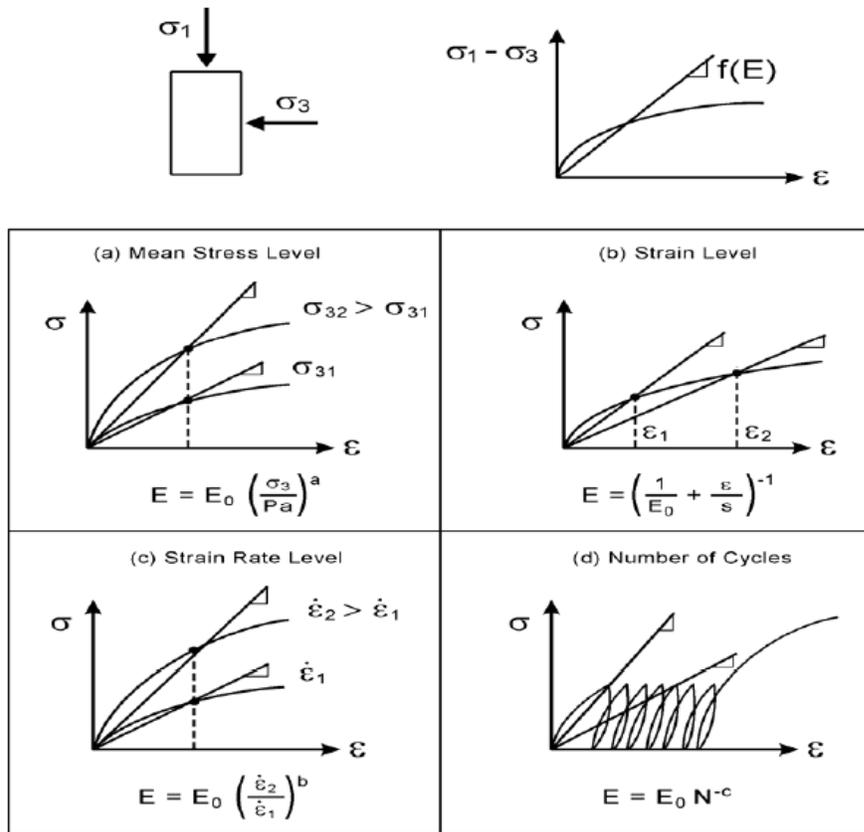
4.5 Sementasi (*Cementation*)

Yang dimaksud dengan sementasi adalah daya rekat antar partikel tanah. Pada tanah berbutir halus, kadar air yang rendah menghasilkan gaya *suction* yang cukup kuat, yang menunjukkan adanya rekatan antar partikel tanah yang sangat kuat. Akan tetapi efek *suction* ini bersifat sementara karena akan hilang seiring dengan peningkatan kadar air tanah. Daya rekat lainnya adalah akibat sementasi kimia berupa deposisi *calcium* atau

silika pada bidang kontak antar partikel tanah. Sementasi tersebut di atas jelas berpengaruh dan akan meningkatkan *Soil Modulus*.

4.6 Faktor Pembebanan (*Loading factor*)

Faktor pembebanan berupa besarnya tegangan dan besarnya regangan yang terjadi pada tanah sangat mempengaruhi besarnya *Soil Modulus* yang mewakili dalam analisa *stress strain* dari tanah tersebut.



Gambar 2. Pengaruh Faktor Pembebanan pada Soil Modulus (JL. Briaud, 2004)

- Gambar 2a. Semakin besar tegangan keliling (*mean stress*) tanah maka semakin besar juga *Soil Modulusnya*.

Menurut Kondner, $E = E_0 (\sigma_3/Pa)^a$

Dimana:

E = *Secant Modulus*

E_0 = *Secant Modulus* pada tegangan keliling 1 Atmosfir

Pa = Tekanan Atmosfir

A = 0.5

- Gambar 2b. Dalam banyak kasus semakin besar regangan maka *Soil Modulus* semakin kecil. Hal ini tidak terjadi pada uji konsolidasi, karena semakin besar regangan semakin besar nilai *Soil Modulusnya*, hal ini karena efek *confining* dari *ring oedometer*.

Menurut Duncan, $E = (1/E_0 + \varepsilon/s)^{-1}$

Dimana:

E = *Secant Modulus*

ε = Regangan

E_0 = *Initial Tangent Modulus*, atau *Secant Modulus* pada saat $\varepsilon = 0$

s = Nilai *Asymptotic* Tegangan untuk regangan tak terhingga

- Gambar 2c. *Soil Modulus* dipengaruhi oleh kecepatan regangan (*strain rate*), semakin cepat regangan yang diberikan maka semakin tinggi nilai *Soil Modulusnya*, demikian juga sebaliknya.

Menurut research di Texas A&M University, $E = E_0 (\varepsilon_2/\varepsilon_1)^b$

Dimana:

E = *Secant Modulus*

E_0 = *Secant Modulus* yang diperoleh pada *strain rate standard*

b = *tangent* dari kurva *Log Modulus vs Log Strain*

$b = 0,02$ untuk tanah lempung kaku

$b = 0.1$ untuk tanah lempung sangat lunak

$b = 0,01 - 0,03$ untuk tanah pasir

- Gambar 2d. *Soil Modulus* dipengaruhi oleh jumlah siklus pembebanan yang terjadi (*cyclic*) semakin besar jumlah siklus pembebanan maka semakin rendah nilai *Soil Modulusnya*, demikian juga sebaliknya.

Menurut research di Texas A&M University, $E = E_0 N^{-c}$

Dimana:

E = *Secant Modulus*

E_0 = *Secant Modulus* yang diperoleh pada *strain rate standard*

$c = -0,1 - (-0,3)$

- Kondisi drainase pada saat pembebanan juga berpengaruh pada besarnya *Soil Modulus*, sehingga *Soil Modulus* dibedakan antara *Modulus Undrain* ataupun *Modulus Drain*. *Undrain* artinya pembebanan terjadi dengan cepat sehingga terjadi peningkatan tekanan air pori. Sebaliknya pada kondisi drain, pembebanan berlangsung sangat lambat sehingga tekanan air pori terdesipasi dengan baik dan tidak terjadi peningkatan tekanan air pori.

4.7 Aplikasi di Lapangan

Tidak diragukan bahwa parameter *Soil Modulus* sangat berguna dalam melakukan analisa geoteknik dari berbagai aplikasi bangunan sipil di lapangan, bisa difahami bahwa pemakaian *Soil Modulus* bervariasi nilainya, tergantung pada masing-masing kondisi dan aplikasinya di lapangan. Menurut Briaud (2013) berikut di bawah ini diuraikan secara ringkas pemakaian *Soil Modulus* dalam berbagai aplikasi di lapangan;

- **Pada kasus perencanaan fondasi dangkal**

Besarnya tegangan rata-rata di dasar fondasi dangkal biasanya berkisar antara 100 sampai 200 kPa. Besarnya regangan vertikal (*vertical strain*) kira-kira lebih kecil atau sama dengan 1% dan biasanya dihubungkan dengan penurunan maksimum sebesar 25 mm. Kecepatan pembebanan berlangsung sangat lambat, mulai dari tahap konstruksi dan kemudian beban bangunan tetap membebani dalam kurun waktu yang lama. Beban *cyclic* hanya terjadi karena beban sementara karena angin atau gempa.

- **Pada kasus perencanaan fondasi dalam**

Pada fondasi dalam besarnya tegangan keliling rata-rata bervariasi karena *skin friction* terjadi di sepanjang tiang fondasi. Besarnya strain yang terjadi pada ujung tiang fondasi dalam biasanya lebih kecil dibanding strain yang terjadi pada fondasi dangkal karena sebagian besar beban bangunan telah dipikul *skin friction* sebelum sampai pada ujung tiang fondasi. Kecepatan pembebanan berlangsung sangat lambat, mulai dari tahap konstruksi yang berbulan-bulan dan kemudian beban bangunan tetap membebani dalam kurun waktu yang lama. Beban *cyclic* hanya terjadi karena beban sementara akibat gempa atau beban ombak pada tiang fondasi dermaga dan jembatan. Karena fondasi dalam sangat luas penggunaannya pada berbagai jenis tanah dan berbagai bangunan dengan banyak variasi pembebanan, maka *Soil Modulus* yang dipergunakan dalam analisa fondasi dalam jauh lebih bervariasi dibanding yang dipakai dalam analisa fondasi dangkal.

- **Pada kasus stabilitas lereng dan dinding penahan tanah**

Pergerakan tanah yang terjadi pada stabilitas lereng berhubungan dengan deformasi dari masa tanah yang diakibatkan oleh berat sendirinya. Oleh karena itu besarnya tegangan yang terjadi berhubungan dengan tegangan akibat gravitasi. Regangan yang terjadi biasanya relatif kecil dan pada awalnya *strain rate* (kecepatan regangan) tergantung pada kecepatan konstruksi lereng dan selanjutnya kecepatan deformasi jangka panjang (*long term deformation rate*) selama masa *service* lereng atau dinding penahan tanah tersebut. Beban *cyclic* hanya terjadi pada saat gempa. Untuk perencanaan lereng dan dinding penahan tanah yang layak, *soil modulus* yang dipakai cenderung lebih besar dari *soil modulus* pada perencanaan fondasi karena besarnya strain cenderung lebih kecil.

- Pada kasus perkerasan jalan (pavement)

Besarnya tegangan keliling yang terjadi pada *sub-grade* relatif sangat kecil. Tekanan yang terjadi pada perkerasan jalan berkisar antara 200kPa untuk ban mobil, 500kPa untuk ban truk dan 1700kPa untuk ban pesawat terbang. Dalam desain, direncanakan tegangan vertikal yang terjadi pada permukaan *sub-grade* kurang lebih hanya 10% dari tekanan akibat ban pada permukaan perkerasan jalan. Besarnya regangan atau strain yang terjadi pada *sub-grade* sangat kecil karena dari semula tujuan dari perencanaan perkerasan jalan adalah untuk mencegah terjadinya deformasi vertikal dalam jangka panjang dari *sub-grade*. Besarnya regangan (*strain*) yang terjadi pada permukaan sub-grade lebih kecil atau sama dengan 0,001. Kecepatan pembebanan sangat tinggi, hal ini berhubungan dengan kecepatan kendaraan yang lewat. Waktu pembebanan sangat singkat dan diperkirakan dalam mili-detik untuk mobil yang bergerak dengan kecepatan 100km/jam. Tetapi dihitung dalam jam-jaman untuk pesawat yang diparkir di hanggar. Jumlah *cycle* pembebanan berhubungan erat dengan jumlah lalu lintas yang melewati permukaan perkerasan jalan tersebut selama umur pelayanannya.

5. PENGUKURAN SOIL MODULUS

Soil Modulus dapat diukur secara langsung in-situ di lapangan atau melalui pengujian contoh tanah tak terganggu di laboratorium. Kedua cara pengukuran *soil modulus* tersebut masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan

Tabel 1.Kelebihan dan Kekurangan Pengukuran Soil Modulus di Lapangan dan di Laboratorium

<i>Soil modulus</i> dengan in-situ testing	<i>Soil modulus</i> dengan uji laboratorium
<p>Kelebihan</p> <ul style="list-style-type: none"> - Praktis pelaksanaannya - Derajat ketergangguan tanah relative lebih sedikit - Dalam beberapa aspek bisa lebih ekonomis 	<p>Kelebihan</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kondisi pembebanan, besarnya serta kecepatan pembebanan dapat disimulasikan dalam pengujian di laboratorium - Tidak memerlukan persamaan korelasi

Tabel 1. Kelebihan dan Kekurangan Pengukuran Soil Modulus di Lapangan dan di Laboratorium (lanjutan)

<i>Soil modulus dengan in-situ testing</i>	<i>Soil modulus dengan uji laboratorium</i>
<p>Kekurangan</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perlu persamaan korelasi untuk menghubungkannya dengan nilai soil modulus yang akan dipergunakan dalam analisa - Persamaan korelasi belum tentu sesuai karena perbedaan jenis tanah yang dihadapi 	<p>Kekurangan</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perlu kualitas contoh tanah yang baik untuk memperoleh kwalitas data yang baik - Biaya pengambilan contoh tanah dengan kwalitas yang baik cukup mahal

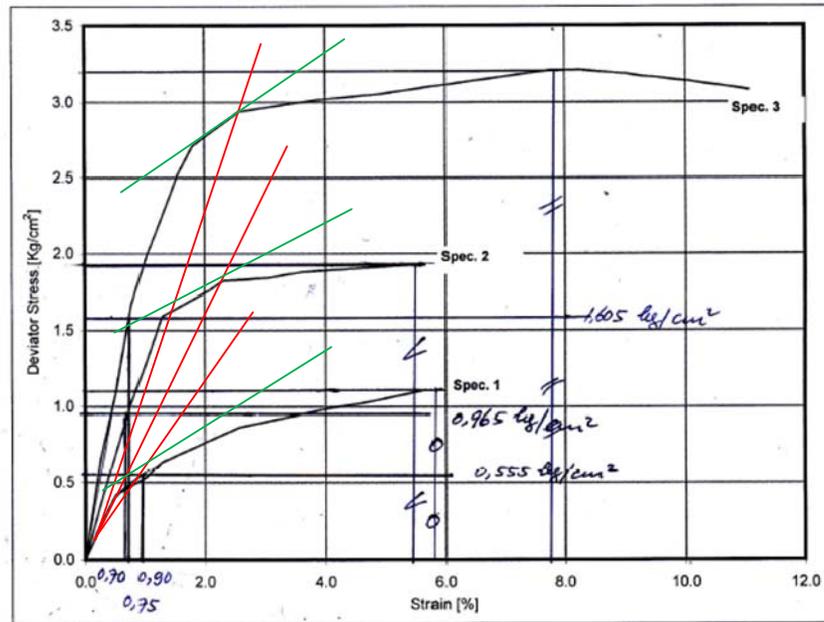
Lepas daripada kekurangan dan kelebihan dari pengukuran soil modulus baik di lapangan maupun di Laboratorium, setiap analisa FEM yang menghasilkan nilai deformasi, sebisa mungkin dilakukan pengukuran deformasi aktual di lapangan untuk mengkalibrasi parameter-parameter tanah yang telah dipergunakan. Untuk itu bilamana memungkinkan disarankan untuk menggunakan kedua metode pengukuran baik di lapangan dan dilaboratorium.

5.1 Pengukuran di laboratorium

Untuk pengujian *Soil Modulus* di laboratorium, contoh tanah diambil dari lapangan dan diuji di laboratorium. Kendala pengukuran *Soil Modulus* di laboratorium adalah memperoleh contoh tanah yang mewakili kondisi yang ada di lapangan, biasanya contoh tanah sedikit banyak telah mengalami gangguan baik pada saat pengambilan, transportasi dan pencetakan contoh tanah sebelum pengujian. Selain itu ada keterbatasan untuk mensimulasikan tegangan keliling yang identik dengan kondisi natural contoh tanah di lapangan. Namun demikian pengukuran *Soil Modulus* di laboratorium tetap memberikan manfaat yang besar sepanjang disadari adanya kemungkinan penyimpangan akibat dari beberapa gangguan tersebut di atas.

5.1.1 Triaxial Test

Nilai *modulus Young* dapat ditentukan dengan memplotkan nilai dari tegangan *deviator* ($\Delta\sigma$) dan (ϵ) yang didapat dari hasil uji *triaxial test*. Berikut di bawah ini diberikan contoh penentuan E_{50} dari hasil pengujian *Triaxial CU*.



Gambar 3. Contoh Perhitungan Soil Modulus dari Grafik Stress Strain Uji Triaxial

Secant Modulus

$$E_s (1) = 2,4/2\% = 120\text{kg/cm}^2$$

$$E_s (2) = 1,6/2\% = 80\text{kg/cm}^2$$

$$E_s (3) = 1,1/2\% = 55\text{kg/cm}^2$$

Tangent Modulus

$$E_t (1) = 0,55/2\% = 27,5\text{kg/cm}^2$$

$$E_t (2) = 0,50/2\% = 25\text{kg/cm}^2$$

$$E_t (3) = 0,45/2\% = 22,5\text{kg/cm}^2$$

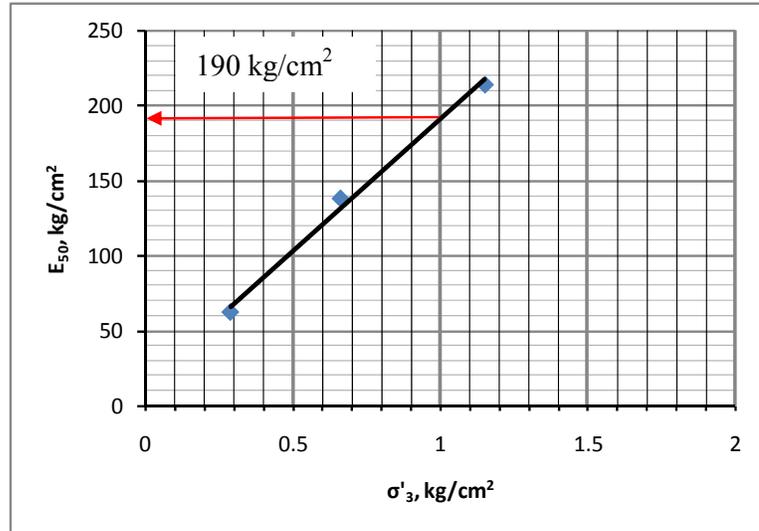
Modulus Young Rencana

$$E_{50} (1) = 1,605/0,75\% = 214\text{kg/cm}^2$$

$$E_{50} (2) = 0,965/0,7\% = 138\text{kg/cm}^2$$

$$E_{50} (3) = 0,555/0,9\% = 62\text{kg/cm}^2$$

Selanjutnya nilai E_{50} desain dapat ditentukan dengan memplotkan nilai E_{50} dan σ'_3 seperti terlihat pada grafik dibawah ini:

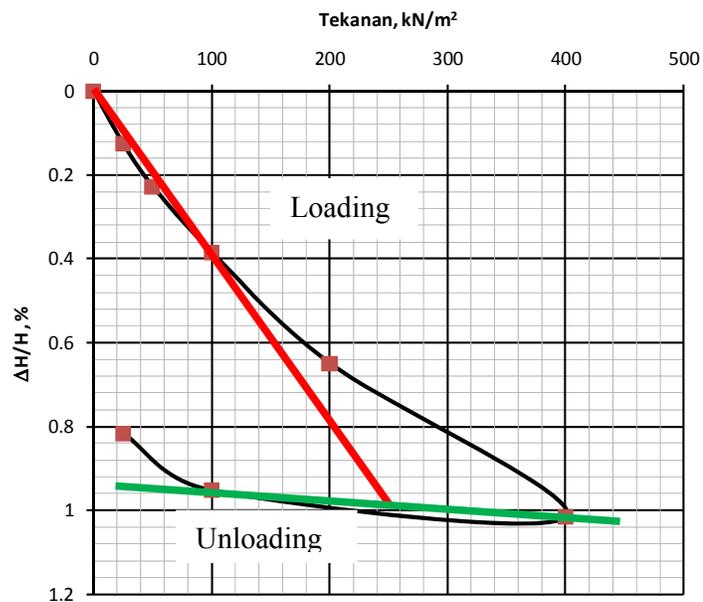


Gambar 4. Contoh Grafik E_{50} Reference

Modulus Young rencana (E_{50} design) diambil pada saat tekanan efektif sebesar 1 bar (1kg/cm^2) dan memberikan nilai E_{50} reference sebesar $190\text{kg/cm}^2 = 19000\text{ kPa}$.

5.1.2 Oedometer Test

Soil modulus dapat ditentukan juga dengan alat uji konsolidasi tanah atau oedometer. Dari uji ini diperoleh modulus terkekang/*constraint soil modulus*. Contoh penentuannya diberikan pada gambar berikut di bawah ini:



Gambar 5. Grafik Hubungan antara Tegangan dengan Pemampatan Tanah

Modulus terkekang pada saat terjadi pembebanan (*loading*);

$$P(1) = 100\text{kN/m}^2 \Delta H/H (1) = 0,4\%$$

$$P(2) = 0\text{kg/cm}^2 \Delta H/H (2) = 0\%$$

$$E_{oed} = (100 - 0) / (0,4\% - 0\%) = 25000\text{kPa (loading)}$$

Modulus terkekang pada saat terjadi pelepasan beban (*unloading*);

$$P(1) = 400\text{kN/m}^2 \Delta H/H (1) = 1,02\%$$

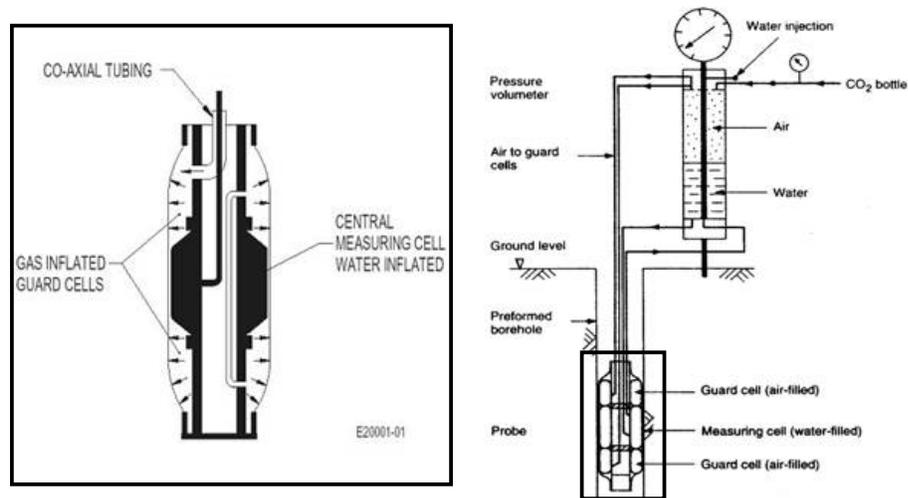
$$P(2) = 100\text{kN/m}^2 \Delta H/H (1) = 0,96\%$$

$$E_{oed} = (400-100) / (1,02\% - 0,96\%) = 500000\text{kN/m}^2 \text{(unloading)}$$

5.2 Pengukuran di lapangan (in-situ)

5.2.1 Pressuremeter test

Pressuremeter adalah alat berbentuk silindris dengan selubung karet dengan baja didalamnya. Cara menggunakannya yaitu dengan mengembungkan membran setelah *probe* masuk ke dalam tanah atau batuan dan tekanan dan peralihan (*displacement*) diamati selama pengujian yang kemudian data-data tersebut digunakan untuk menghasilkan kurva tegangan-regangan yang berguna untuk pengambilan parameter-parameter desain.



Gambar 6. Sketsa Diagram Uji Pressuremeter dari Menard (alter Gibdon and Anderson, 1961)

Pengujian pressuremeter dibagi menjadi 3 tahapan yaitu:

1. Fase 1, yaitu tahap pengembangan awal balon *pressuremeter* hingga mengenai dan menekan dinding lubang bor hingga tercapai kondisi *stress-strain* tanah seperti kondisi tanah sebelum dilakukan pemboran (kondisi *at-rest*).

2. Fase 2, meliputi pengembangan *pressuremeter* selanjutnya dimana kondisi *stress-strain* tanah berkembang dari *zone elastic* menjadi *plastic*.
3. Fase 3, tahap setelah terlampauinya *zone elastic* dan memasuki zona *plastic* sampai dengan kekuatan batas.

Gibson dan Anderson juga mendefinisikan bahwa *limit pressure* tercapai pada saat volume pengembangan telah mencapai 2x volume *initial*.

Soil modulus yang diperoleh dari pengujian *Pressuremeter* (E_{PMT}) ditentukan melalui teori Cavity Expansion dan aplikasinya untuk pengembangan rongga silindris yang tebal dengan asumsi bahwa tanah bersifat linier elastic yang dapat dideskripsikan dengan *Young modulus* (E) dan *Poisson ratio* (ν).

$$E_{PMT} = 2 \cdot (1 + \nu) \cdot (V_o + V_m) \cdot \frac{\Delta P}{\Delta V}$$

Dimana;

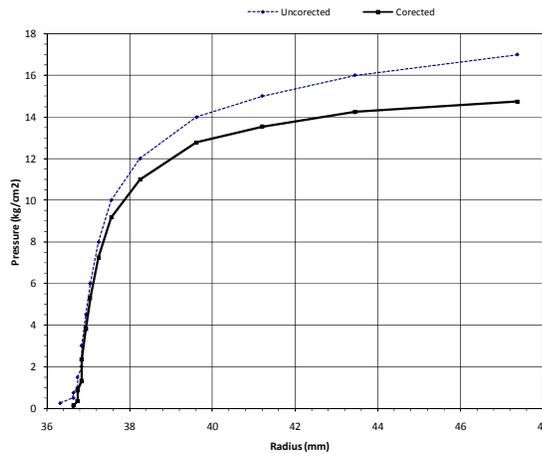
$$V_m = \frac{V_o + V_f}{2}$$

$$\Delta P = P_f - P_o$$

$$\Delta V = V_f - V_o$$

$\nu = \text{Poisson's ratio} \sim 0.33$ untuk kondisi *drained*

Berikut di bawah ini diberikan contoh hasil uji *Pressuremeter* dimana ditentukan E_{PMT} pada kondisi elastik dan plastis (*after failure*).



Gambar 7. Plot *Pressure vs. Radius*

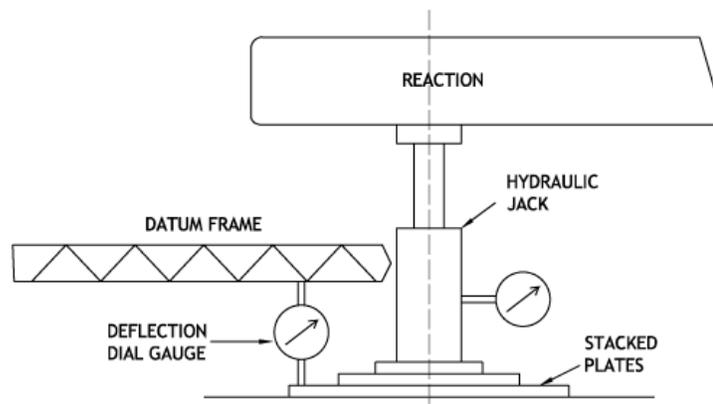
Tabel 2. Hasil uji *Pressuremeter test*

Point on curve considered				Km dp	rm (r ₁ +r ₂)	Poisson's ν	Deformation Modulus (E _v) (1+ν).Km.rm kg/cm ²	Shear Mod.(G) E/2.(1+ν) kg/cm ²	Remarks
1		2							
p ₁ kg/cm ²	r ₁ cm	p ₂ kg/cm ²	r ₂ cm	dr kg/cm ³	cm				
1.33	3.68	5.29	3.70	192.94	3.69	0.30	926.63	356.40	Initial Condition
14.25	4.35	14.75	4.74	1.27	4.54	0.30	7.52	2.89	Plastic Condition

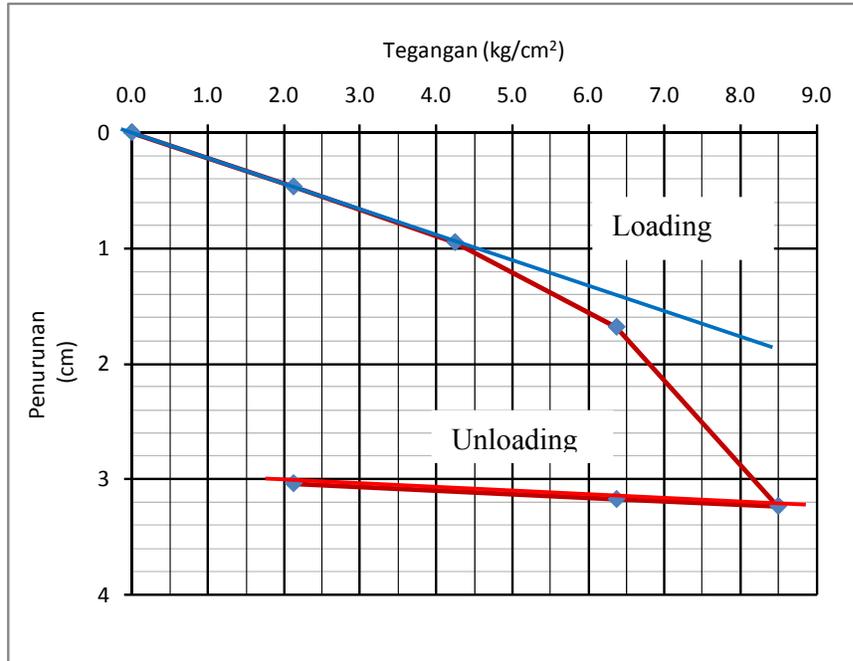
5.2.2 Plate Loading test

Pengujian *Plate Loading Test* atau PLT (ASTM D-1196) adalah salah satu pengujian di lapangan yang sederhana dan paling tua. Pengujian PLT dilakukan dengan cara membebani secara bertahap sebuah pelat berdiameter tertentu (30 – 60cm) yang diletakkan di atas lapisan tanah yang akan diuji.

Hasil pengujian berupa grafik hubungan antara tekanan normal rata-rata pada bidang kontak antara pelat (σ) dengan permukaan tanah terhadap penurunan yang terjadi pada pelat (s).



Gambar 8. Skematis Pengujian *Plate Loading Test* atau PLT (ASTM D-1196)



Gambar 9. Contoh Grafik Hasil Pengujian *Plate Loading Test* (Bendungan Wein, Kaltim)

Dari *Plate Loading Test* tersebut dapat diperoleh parameter sebagai berikut:

Subgrade Modulus pada saat terjadi pembebanan (loading):

$$P(1) = 0 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Penurunan, } S(1) = 0 \text{ cm}$$

$$P(2) = 4,5 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Penurunan, } S(2) = 1,2 \text{ cm}$$

$$K_s = \Delta P / \Delta s$$

$$K_s = (4,5 - 0) / (1,2 - 0) = 3,75 \text{ kg/cm}^3$$

$$E_o = 0,25 K_s \pi D (1 - \nu^2)$$

$$D = 40 \text{ cm} \text{ \&Poisson ratio, } \nu = 0,3$$

$$E_o = 0,25 \times 3,75 \times 3,14 \times 40 (1 - 0,3^2)$$

$$E_o = 107 \text{ kg/cm}^2$$

Subgrade Modulus pada saat terjadi pelepasan beban (unloading):

$$P(1) = 2 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Penurunan (1) = 3 cm}$$

$$P(2) = 8,5 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Penurunan (2) = 3,2 cm}$$

$$K_s = (8,5 - 2) / (3,2 - 3) = 32,5 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$$

$$E_o = 0,25 K_s \pi D (1 - \nu^2)$$

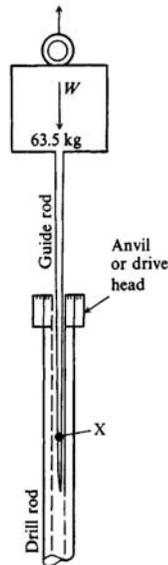
$$E_o = 0,25 \times 32,5 \times 3,14 \times 40 (1 - 0,3^2)$$

$$E_o = 928,65 \text{ kg/cm}^2 \text{ (unloading)}$$

Perlu diketahui bahwa K_s bukan soil parameter, karena nilainya tergantung pada besarnya diameter pelat yang dipergunakan untuk pengujian. Sehingga baik parameter K_s maupun E_o sangat tergantung dari diameter pelat uji.

5.2.3 SPT test

Standard Penetration Test (SPT) dilakukan bersamaan dengan pelaksanaan pemboran tanah. Pengujian SPT dilakukan pada setiap interval kedalaman tertentu, biasanya antara 1 - 3 meter. SPT test dilakukan dengan cara menghitung jumlah pukulan palu pemukul yang diperlukan untuk mendesak tabung contoh *Split Spoon Sampler* berdiameter 2" sedalam 30cm ke dalam tanah. Berat palu pemukul yang dipergunakan adalah 63,5kg dengan tinggi jatuh 75cm. Penghitungan jumlah pukulan dilakukan 3 kali yaitu setiap penetrasi 15cm. Nilai SPT diperoleh dengan menjumlahkan jumlah pukulan yang diperlukan pada 15cm penetrasi kedua dan ketiga. Hasil pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) ini biasanya disajikan dalam bentuk grafik pada Log Bor Inti.



Gambar 10. Skematik Standard Penetration Test

Sebagai contoh upaya menghubungkan antara hasil uji SPT di lapangan dengan *Soil Modulus* telah dilakukan oleh Gouw Tjie Liong dkk (2011). Penelitian dilakukan terhadap terhadap tanah lempung dan lanau di Jakarta dan dikorelasikan dengan berbagai *soil modulus* yang biasa diperlukan untuk analisa FEM.

Berikut ini adalah korelasi yang dihasilkan dari penelitian tersebut;

$$E_{50} \text{ (kPa)} = 354 \cdot N_{(60)} \quad (0 < N_{(60)} < 41, R^2 = 0.64)$$

$$E_{oed} \text{ (kPa)} = 303 \cdot N_{(60)} \quad (0 < N_{(60)} < 46, R^2 = 0.64)$$

$$E_{PMT} \text{ (kPa)} = 890 \cdot N_{(60)} \quad (0 < N_{(60)} < 48, R^2 = 0.84)$$

Dimana;

E_{50} = Soil modulus yang diperoleh dari *Triaxial test*

E_{oed} = Soil modulus yang diperoleh dari uji konsolidasi

E_{PMT} = Soil modulus yang diperoleh dari *Pressuremeter test*

$N_{1(60)}$ = Nilai SPT N yang telah dinormalisasi untuk tekanan efektif overburden sebesar $1\text{kg/cm}^2(100\text{kPa})$

$N_{1(60)} = C_n \cdot N_{60}$, $C_n = \sqrt{\frac{12}{\sigma'_{v0}}}$, σ'_{v0} = tekanan vertikal efektif

N_{60} = normalized N-SPT value to an effective hammering energy of 60%

$N_{60} = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot N_{field} \cdot \frac{E\gamma}{610}$

α = Rod length correction

β = Standard sampler correction

γ = Borehole diameter correction (see Table 1 for α , β , γ)

N_{field} = Field SPT blow count (n value)

$E\gamma$ = SPT effective energy

Tabel 3. Nilai koefisien α , β dan γ

Rod length (α)	>100m	1.00
	6 - 10m	0.95
	4 - 6m	0.85
	3 - 4m	0.75
Standard sampler(β)		1.00
US sampler without liners (β)		1.20
Borehole diameter(γ)	65 - 115mm	1.00
	150mm	1.05
	200mm	1.15

6. SIMPULAN

Berdasarkan kajian tersebut di atas, mengenai soil modulus dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut di bawah ini:

1. *Soil modulus* adalah unsur utama dalam analisa FEM. Dengan berbagai nama dan sebutan, pada dasarnya *Soil modulus* adalah faktoryang menghubungkan nilai *stress* dan *strain* atau tegangan dan regangan dari suatu elemen tanah.

2. Untuk memperoleh nilai tegangan dan regangan yang tepat dalam analisa FEM dan deformasi lainnya diperlukan nilai *soil modulus* yang relevan. Relevan terhadap faktor faktor yang mempengaruhi besarnya *soil modulus* tersebut.
3. Berbagai faktor yang mempengaruhi besarnya soil modulus antara lain:
 - a. Kondisi tanah itu sendiri seperti kadar air, kepadatan, struktur tanah, sementasi, riwayat pembebanan.
 - b. Kondisi pembebanan, besar kecilnya, apakah cepat atau lambat, *drain* atau *undrain*, statis atau dinamis dst.
 - c. *Anisotrophy*
 - d. *Scale effect*
4. *Soil modulus* dapat diukur baik di laboratorium maupun langsung di lapangan (in-situ test), kedua cara pengukuran ini masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangannya. Tetapi pada dasarnya selama factor-factor tersebut di atas (point 3) telah dipertimbangkan dalam pengukuran *soil modulus* maka nilai *soil modulus* seharusnya akan memberikan nilai yang relevan dalam analisa FEM.
5. Mengingat pengukuran *soil modulus* memberikan nilai yang semu (*apparent*) maka sangat dianjurkan untuk melakukan kalibrasi soil parameter dalam mode geoteknik dengan hasil pengukuran tegangan dan regangan yang actual terjadi di lapangan dengan menggunakan instrumentasi geoteknik seperti *inclinometer* dan *extensometer*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Laurence D. Wesley.& Satyawan Pranyoto 2010.*Mekanika Tanah untuk Tanah Endapandan Residu (Soil Mechanics for Sedimentary and Residual Soils)*. Andi, Yogyakarta, Indonesia.
2. Alam Singh. 1981. *Soil Engineering in Theory and Practice*. McGraw-Hill, inc., USA.
3. Jean-Louis Briaud. 2013. *Geotechnical Engineering of Unsaturated and Saturated Soils*. Joh Wiley & Sons, Inc. New Jersey
4. A.H. Hamman, M. Eliwa, 2013. *Comparison between results of dynamic & static moduli of soil determined by different method*. Housing and Building National Research Center, Elsevier.
5. Marawan M. Shahien, Ahmed farouk, 2013. *Estimation of Deformation Modulus of Gravelly Soils using Dynamic Cone Penetration Tests*. Ain Shams Engineering Journal, Ain Sham University, Egypt
1. Gouw Tjie Liong,Hiasinta,.2011. *Soil Stiffness for Jakarta Silty and Clayey Soils*. Pertemuan Ilmiah Tahunan XIV, HATTI, Yogyakarta, 10-11 February 2011.

TRANSFORMASI GELOMBANG SOLITER OLEH FLEKSIBILITAS VEGETASI PANTAI

Tri Octaviani Sihombing¹

Dosen Tetap, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha

Prof. drg. Soeria Sumantri, MPH, No. 65, Bandung, 40164

e-mail: tri.octaviani@maranatha.edu

ABSTRAK

Beberapa model vegetasi gelombang disajikan dalam penelitian ini untuk mensimulasikan interaksi gelombang soliter dengan vegetasi fleksibel. CFD berdasarkan model tiga dimensi Navier-Stokes (RANS) Reynolds dengan model turbulen *renormalization group* (RNG) dikaitkan dengan metode *volume of fluid* (VOF) diterapkan untuk simulasi numerik. Penelitian ini mencoba untuk memberikan model fisik yang lebih baik dengan mempertimbangkan silinder fleksibel sebagai vegetasi untuk mensimulasikan kinerja redaman vegetasi. Transformasi gelombang dan karakteristik variasi medan alir gelombang soliter yang menyebar di kedua silinder kaku dan silinder fleksibel adalah topik yang akan dibahas. Hasil simulasi numerik menunjukkan bahwa ketika gelombang soliter merambat disekitar vegetasi yang kaku dan fleksibel, energi kinetik turbulen dan laju disipasinya dihasilkan karena interaksi antara gelombang dan silinder. Selanjutnya, hasilnya menunjukkan bahwa vegetasi kaku memperoleh reduksi tinggi gelombang yang lebih besar daripada vegetasi fleksibel. Vegetasi kaku juga mengalami energi kinetik turbulen yang lebih besar daripada yang fleksibel. Hal ini menjadi catatan penting bahwa redaman gelombang mungkin terlalu tinggi ketika mempertimbangkan sekelompok silinder kaku sebagai vegetasi pesisir untuk mensimulasikan dampak vegetasi terhadap redaman tsunami.

Kata kunci: Tsunami, Gelombang soliter, Vegetasi fleksibel, FLOW-3D

ABSTRACT

A coupled wave-vegetation model is presented in this paper for simulating the interaction of solitary waves with the emergent flexible vegetation. A CFD based on the three-dimensional Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) with renormalization group (RNG) turbulent model associated with volume of fluid (VOF) method was applied for the numerical simulations. This study attempts to provide a better physical model by considering flexible cylinder as the vegetation to simulate damping performance of the vegetation. The wave transformations and the flow field variations characteristics of solitary waves propagating over both rigid cylinders and flexible cylinders are discussed. The numerical simulation results showed that as the solitary wave propagated over the both rigid and flexible vegetation, the turbulent kinetic energy and its dissipation rate are generated due to the interaction between wave and cylinder. Furthermore, the results indicate that the rigid vegetation obtains a greater wave height deduction than the flexible vegetation. Rigid vegetation also experienced more turbulent kinetic energy than the flexible one. This becomes an important note that the wave decay maybe overestimated by considering a group of rigid cylinders as coastal vegetation for the simulation on the effect of vegetation to tsunami damping.

Keywords: Tsunami, Solitary wave, Flexible vegetation, FLOW-3D

1. PENDAHULUAN

Bencana besar tsunami yang terjadi di Asia Tenggara telah menelan banyak korban dan menyebabkan kerusakan pada Desember 2004. Oleh karena tsunami telah menjadi ancaman yang selalu ada terhadap kehidupan dan properti di sepanjang garis pantai dunia, maka harus dilakukan upaya proaktif dalam mengembangkan cara mengurangi dampak tsunami. Bencana ini telah menimbulkan perdebatan tentang peran yang dimainkan oleh ekosistem pesisir seperti hutan mangrove dan terumbu karang dalam melindungi wilayah pesisir. Baird (2006) telah mencatat bahwa program puluhan juta dolar telah disahkan untuk memulihkan dan melestarikan vegetasi pesisir di 12 negara Asia dan Afrika untuk perlindungan pesisir terhadap tsunami di masa depan.

Untuk alasan tersebut, beberapa penulis telah menunjukkan bahwa hutan mangrove sebagai vegetasi telah memberikan perlindungan pesisir. Energi gelombang tsunami, tinggi dan kecepatan berkurang secara signifikan saat gelombang menyebar melalui hutan mangrove (Harada dan Kawata, 2004; Hiraishi dan Harada, 2003; Harada dan Imamura, 2000; Teh et al., 2009). Namun, Shuto (1987) mencatat bahwa jika ketinggian gelombang melebihi 4 m, pohon bakau mungkin tercerabut; sehingga menciptakan puing-puing yang bisa menyebabkan kerusakan sekunder.

Eksperimen laboratorium atau bahkan kerja lapangan dapat memberikan data berharga, namun sulit dikendalikan, mahal untuk dilakukan dan bahkan tidak mungkin dilakukan untuk meniru. Sebagai alternatif, pendekatan numerik telah dikembangkan untuk memprediksi dan mereproduksi efek hutan mangrove dalam perambatan gelombang tsunami. Dengan menggunakan pendekatan numerik tiga dimensi, Maza et al. (2015) mensimulasikan interaksi gelombang soliter dengan vegetasi yang muncul dan kaku. Baik Maza et al. (2015) dan Huang et al. (2011) dan peneliti lainnya (misalnya, Anderson et al, 2011.; Wu et al, 2016), vegetasi mangrove dianggap kaku yang mengabaikan gerak tanaman di bawah tindakan gelombang. Kenyataannya, batang vegetasi dapat bergerak seperti kantilever atau cambuk yang didorong oleh gelombang (Paul et al, 2012) karena vegetasi alami dapat berubah bentuk, yang mengurangi hambatan aliran.

Untuk memberikan pemodelan yang lebih baik, makalah ini mempertimbangkan vegetasi dengan menggunakan sekelompok silinder fleksibel, daripada menggunakan silinder kaku. Dalam penelitian ini, computational fluid dynamics (CFD) multi-fisika yang sangat kuat dan sangat akurat, FLOW-3D, digunakan untuk pendekatan simulasi gelombang tsunami yang berinteraksi dengan silinder fleksibel. Transformasi gelombang

dan karakteristik variasi medan alir gelombang soliter yang merambat di atas kedua silinder kaku dan silinder fleksibel, masing-masing, dibahas dalam makalah ini.

2. MODEL NUMERIK

Simulasi numerik ini dibuat dengan menggunakan persamaan Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS)) dengan model turbulen renormalization group (RNG) $k-\varepsilon$. Untuk memodelkan batas geometris kompleks dengan teknik pecahan representasi sudut/ volume (FAVOR) (Hirt dan Sicilian, 1985), persamaan kontinuitas dan momentum umum untuk arus turbulen yang masif diformulasikan dengan fungsi fraksi area dan volume, yang diberikan sebagai berikut,

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle A_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \langle U_j \rangle A_j \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \langle p \rangle}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho V_F} \frac{\partial}{\partial x_j} [A_j (\langle \tau_{ij} \rangle + R_{ij})] \quad (2)$$

dimana $\tau_{ij} = 2\mu S_{ij}$ dengan $S_{ij} = (\partial \langle u_i \rangle / \partial x_j + \partial \langle u_j \rangle / \partial x_i) / 2$ dengan notasi $\langle \rangle$ menunjukkan ansambel-rata-rata, u adalah komponen kecepatan dalam arah subskrip = 1, 2 mewakili arah x - dan z -, berurutan, p adalah intensitas tekanan, ρ adalah kerapatan fluida, g adalah percepatan gravitasi, dan μ adalah viskositas absolut. V_F adalah volume pecahan terbuka terhadap arus dan A adalah untuk arah subscript yang baik V_F dan A di set menjadi satu. Tegangan Reynolds R_{ij} pada Pers. (2) dituliskan dengan:

$$R_{ij} = 2\rho\nu_t S_{ij} - \frac{2}{3}\rho k \delta_{ij} \quad (3)$$

dimana ν_t adalah Eddy viskositas, k adalah energi kinetic turbulen, dan δ_{ij} adalah fungsi Kronecker delta seperti $\delta_{ij} = 1$ ketika $i = j$; $\delta_{ij} = 0$, dan $i \neq j$. Pada Pers. (3), viskositas Eddy ν_t terkait dengan efek ruang dan distribusi waktu gerak turbulen, yang diselesaikan menggunakan metode *renormalization group* (RNG $k-\varepsilon$ model). Yokhot dan Orszag (1986) mengusulkan model turbulen RNG $k-\varepsilon$ dan membuat perbaikan atas model $k-\varepsilon$.

Solusi numerik diimplementasikan dalam aplikasi Flow-3D CFD (Flow Science, 2012), memanfaatkan metode *volume of fluid* (VOF) (Hirt and Nichols, 1981) untuk secara akurat menghitung permukaan air bebas dan model efisien geometri padat menggunakan yang teknik FAVOR. Beberapa penelitian telah menerapkan Flow-3D

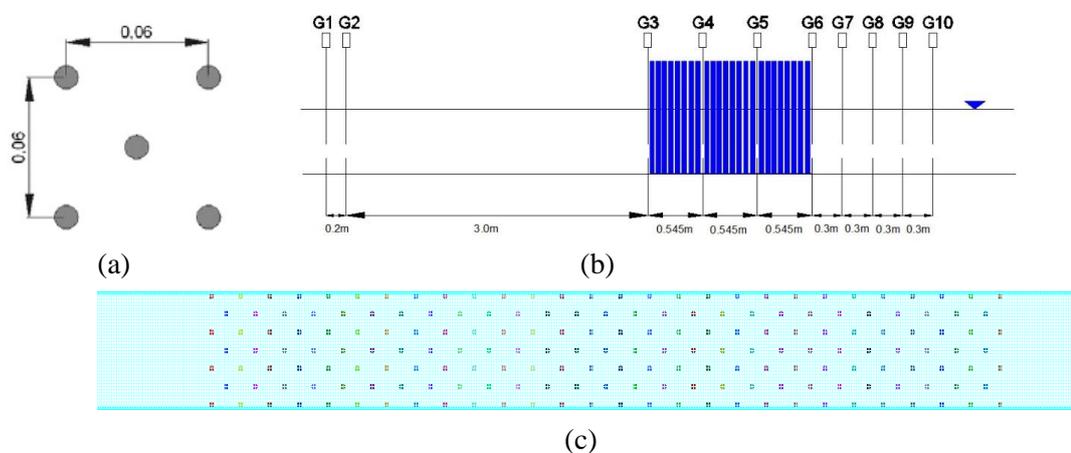
untuk mensimulasikan interaksi gelombang dan struktur, misalnya Choi *et al.* (2007) dan Dentale *et al.* (2014). Pada studi numerik kali ini, solusi dari gelombang soliter yang berasal dari persamaan Boussinesq digunakan sebagai gelombang peristiwa, yang dinyatakan sebagai:

$$\eta(x, t) = H \operatorname{sech}^2 \left[\sqrt{\frac{3H}{4h_0^3}} (x - ct) \right] \quad (4)$$

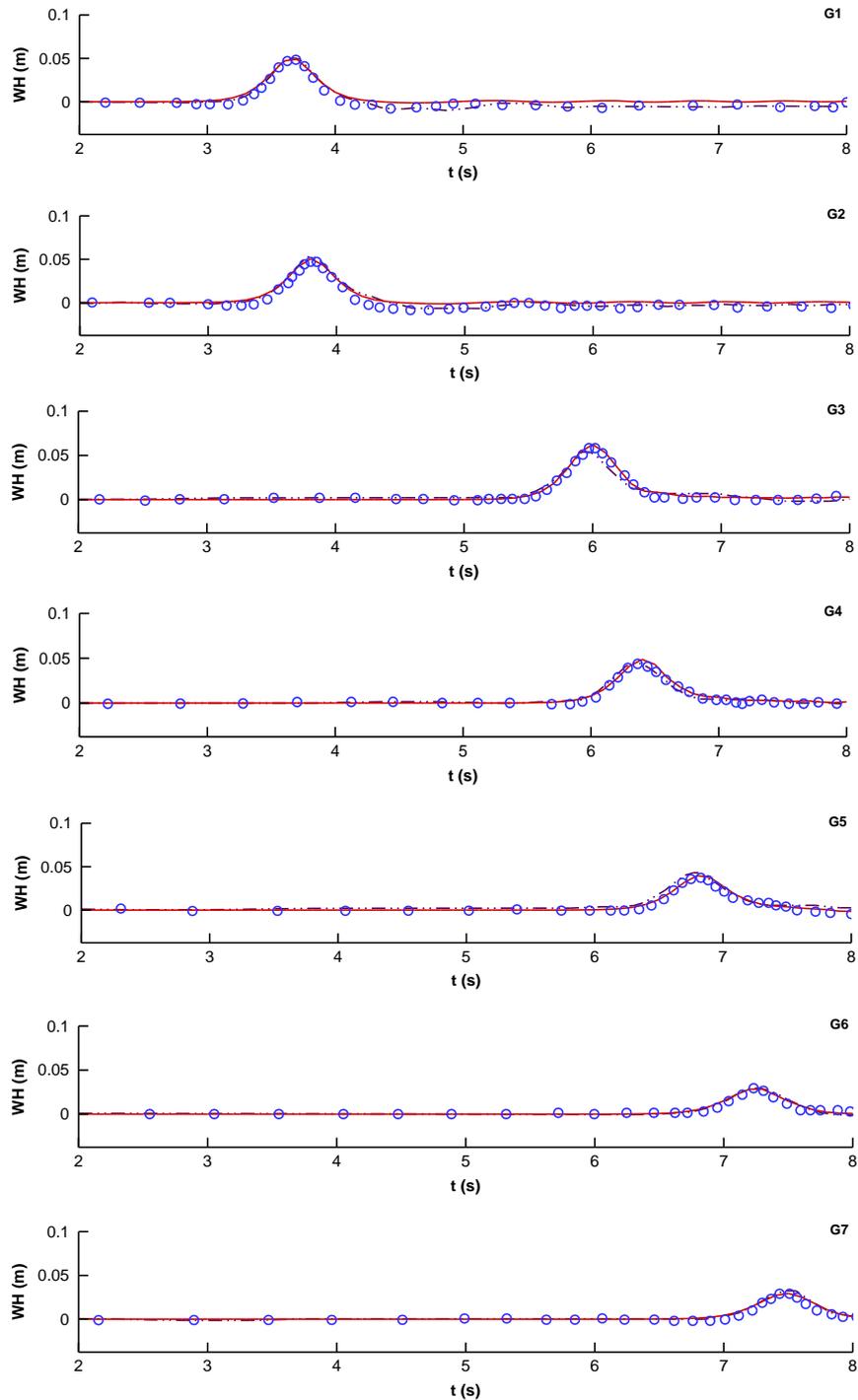
dimana η adalah elevasi permukaan bebas, h_0 adalah kedalaman muka air tetap, H tinggi gelombang, dan c adalah gelombang celerity ($c = \sqrt{g(h_0 + H)}$).

3. VALIDASI

Hasil laboratorium yang dilakukan oleh Huang *et al.* (2011) digunakan untuk melakukan validasi akurasi hasil dari model numerik yang akan disimulasikan. Simulasi ini dilakukan dengan menggunakan geometri gelombang saluran yang sama, kedalaman air dan karakteristik gelombang soliter seperti Huang *et al.* (2011). Semua tes digridnkan dalam saluran dengan panjang 32m dan lebar 0,55m, kedalaman air sama dengan $h = 0,15\text{m}$, menggunakan silinder dengan diameter 0,01 m yang muncul dengan susunan C dengan kerapatan sama dengan $N = 560$ silinder / m^2 dan panjang bidang 1,635m. Untuk mengatasi error komputasi dan memberikan akurasi hasil, ukuran mesh 0,005m di sepanjang semua domain dipilih. Kondisi batas adalah gelombang soliter sebagai x minimum, *outflow* sebagai x maksimum, dan simetri pada y minimum dan m , lalu digunakan dinding sebagai z minimum dan maksimum. Lokasi pengukur dan aturan grid (*mesh*) dapat dilihat pada Gambar 1. Tinggi gelombang relatif dari gelombang soliter, H/h , sama dengan 0,33.



Gambar 1: (a) Pengaturan silinder, (b) Lebar bidang dan posisi alat ukur dan (c) Kondisi grid (*mesh*)



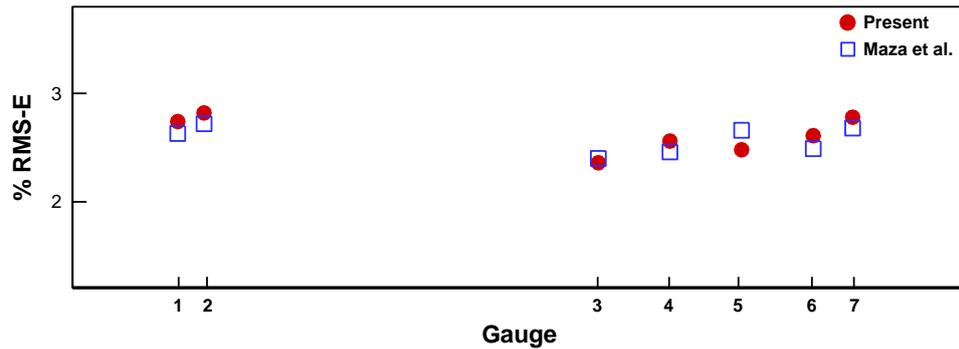
Gambar 2: Perbandingan transformasi gelombang antara studi numerik saat ini (garis merah) dan hasil eksperimen oleh Huang *et al.* (garis bulat biru), dan juga hasil numerik oleh Maza *et al.* (garis putus-putus coklat) untuk $H/h = 0.33$

Gambar 2 menunjukkan perbandingan antara hasil numerik saadan eksperimen oleh Huang *et al.* (2011). Hasil numerik oleh Maza *et al.* (2015) juga dibandingkan. *Root*

mean square error (RMSE) digunakan untuk mengukur, yang didefinisikan melalui pers. (7) diman y_i adalah nilai numerik, y_i' adalah nilai dan n adalah total data.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_0^n (y_i - y_i')^2} \quad (7)$$

Baik gambar 2 dan gambar 3 menunjukkan bahwa hasil numerik saat ini sesuai dengan hasil terukur.

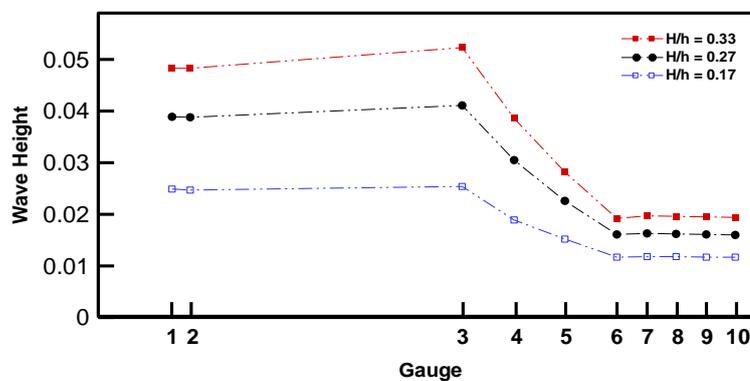


Gambar 3: RMS Error antara studi numerik saat ini (*present*) dengan hasil eksperimen (bulatan merah), dan studi numerik oleh Maza *et al.* dengan hasil eksperimen (persegi biru)

4. HASIL DAN DISKUSI

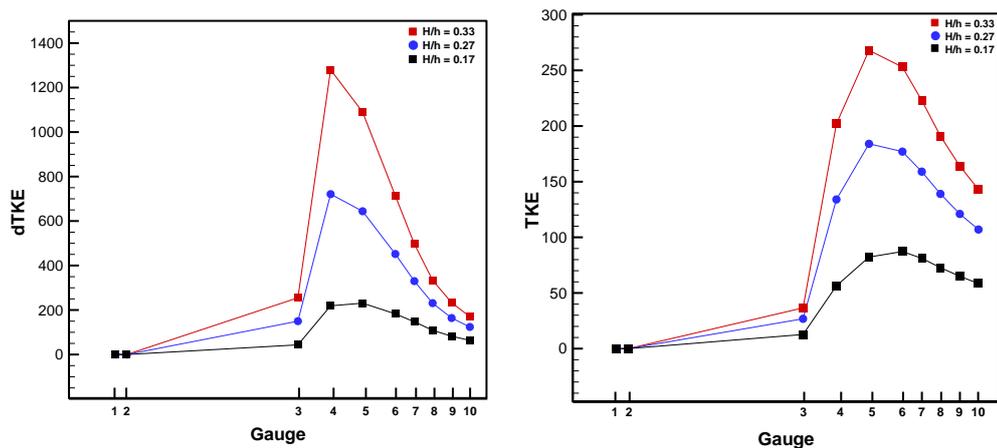
Setelah melakukan validasi terhadap Huang *et al.* (2011) dan konfirmasi dengan Maza *et al.* (2015), pengaruh dari tinggi gelombang relatif pada pengurangan tinggi gelombang akan dianalisa terlebih dulu. Tiga tinggi gelombang soliter dipilih (0.05m, 0.04m, and 0.025m) untuk disimulasikan dengan mempertimbangkan pengaturan C terhadap silinder kaku, tinggi gelombang relatif (H/h) adalah 0.33, 0.27, 0.17.

Silinder diletakkan pada lokasi antara alat ukur (*gauge*) G3 dan G6, seperti pada gambar 4, maka dapat dilihat bahwa fenomena pengurangan tinggi gelombang terlihat signifikan pada daerah tersebut.



Gambar 4: Tinggi gelombang variasi untuk silinder kaku

Untuk mengevaluasi redaman gelombang oleh silinder, energi turbulen kinetik (*turbulent kinetic energy*, TKE) dan tingkat dissipasi energi turbulen kinetik (*turbulent kinetic energy dissipation rate*, DTKE) diperhitungkan. Gambar 5 menunjukkan nilai TKE dan DTKE di setiap lokasi saat puncak gelombang soliter melewatinya. Bisa diamati bahwa TKE maksimum dihasilkan pada G4 dan DTKE maksimum dihasilkan pada G5. Mengenai pengaruh tinggi gelombang relatif, dapat dilihat bahwa tinggi gelombang yang lebih tinggi menghasilkan TKE dan DTKE yang lebih besar pula.



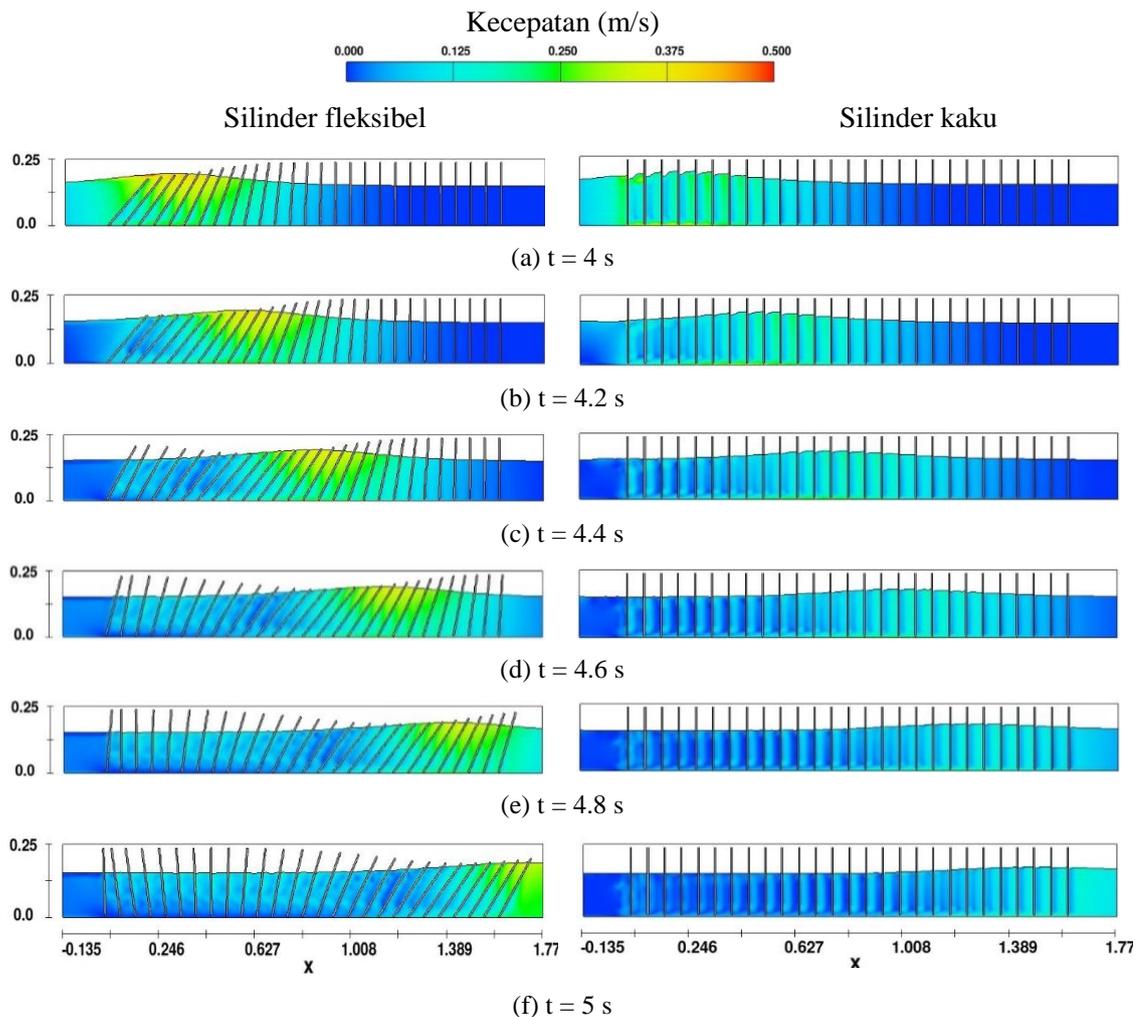
Gambar 5: Energi kinetik turbulen dan laju didipasi energi kinetik turbulen pada silinder kaku untuk 3 tinggi gelombang yang berbeda.

Karena tujuan dari penelitian ini adalah untuk memberikan model fisik yang lebih baik, kasus silinder fleksibel disimulasikan dengan kondisi gelombang yang sama seperti kasus silinder kaku. Dengan menggunakan fungsi *General Moving Object* (GMO) pada silinder kaku di bawah semua jenis gerak fisik yang digabungkan secara dinamis dengan aliran fluida, bagian simulasi ini membuat pengaturan silinder dapat bergerak dengan x derajat kebebasan (DOF). Model GMO ini bekerja baik dalam sistem koordinat Cartesian dan silinder FLOW-3D. Untuk membandingkan peredaman gelombang dengan silinder fleksibel yang muncul dan silinder kaku, tinggi gelombang relatif $H/h = 0,33$ akan dibahas.

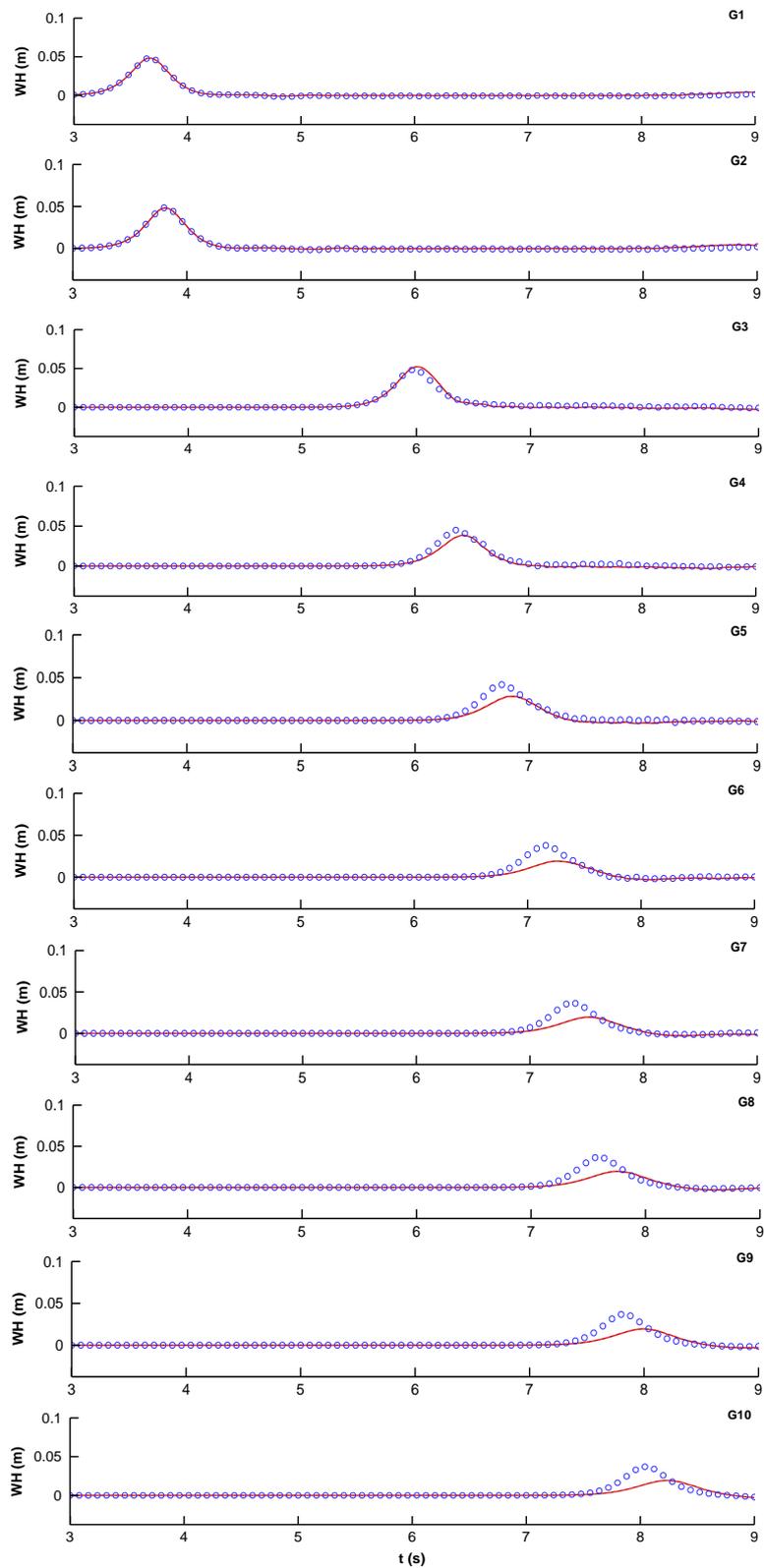
Distribusi medan kecepatan berdasarkan variasi waktu elevasi permukaan pada setiap lokasi pengukur ditunjukkan pada Gambar 6 untuk perambatan gelombang di atas silinder kaku dan silinder fleksibel. Gambar 7 menunjukkan bahwa silinder kaku terlihat bekerja lebih baik daripada silinder fleksibel untuk mengurangi tinggi gelombang.

Sebelum gelombang soliter mencapai struktur, transformasi gelombang antara silinder yang kaku dan fleksibel tidak banyak perbedaan. Namun fenomena yang berbeda

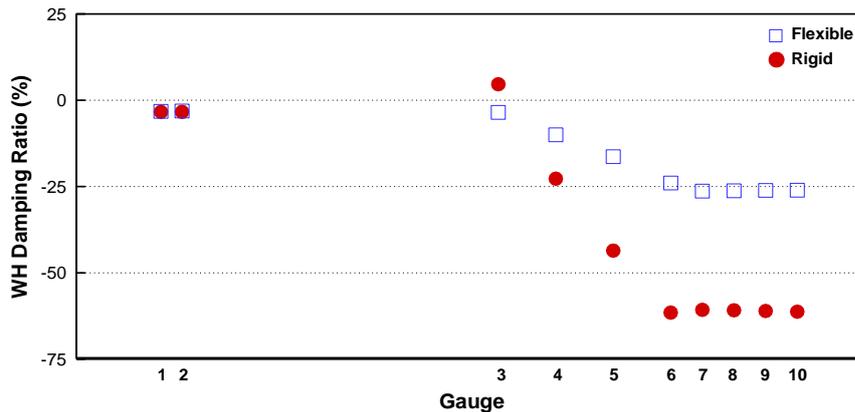
muncul dari G4 ketika dan setelah rambatan gelombang berada di atas struktur seperti ditunjukkan pada Gambar 8, tinggi gelombang meluruh lebih banyak oleh silinder kaku. Ada rasio redaman tinggi gelombang sebesar 43,5% untuk silinder yang kaku sedangkan pada silinder fleksibel hanya 16,3% pada G5. Setelah gelombang melewati silinder, rasio redaman tinggi gelombang untuk silinder fleksibel sekitar 25% tetapi sekitar 60% untuk silinder kaku.



Gambar 6: Distribusi medan kecepatan antara silinder yang kaku dan fleksibel

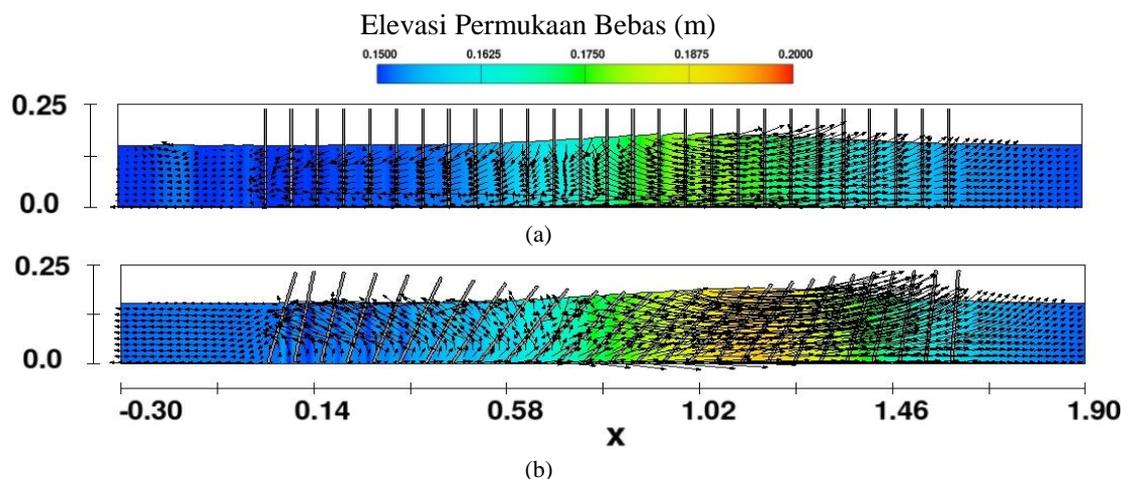


Gambar 7: Perbandingan transformasi tinggi gelombang antara silinder kaku (garis merah) dan silinder fleksibel (garis bulat biru)



Gambar 8: Perbandingan redaman tinggi gelombang antara silinder kaku (bulatan merah) dan silinder fleksibel (persegi biru) di setiap alat pengukur (*gauge*).

Gambar 9 (b) menunjukkan medan alir saat puncak gelombang melewati alat pengukur 5. Dapat diamati bahwa silinder fleksibel berputar maju mengikuti gerakan gelombang. Tapi, secara simultan, silinder yang berada diantara G3 dan G4 lebih kuat terayun kembali ke belakang saat gelombang melewatinya.



Gambar 9: Bidang arus berdasarkan perambatan gelombang melalui G5 untuk (a) silinder kaku dan (b) silinder fleksibel.

Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukkan variasi waktu dari energi kinetik turbulen (TKE) dan laju disipasi energi kinetik turbulen (DTKE) dari silinder kaku dan silinder fleksibel. Hasilnya menunjukkan bahwa silinder kaku mengalami energi kinetik turbulen lebih besar daripada silinder fleksibel. Dengan meningkatnya kekakuan vegetasi, disipasi energi turbulen terjadi di daerah yang relatif luas. Juga menarik untuk dicatat bahwa waktu terjadinya TKE maksimum atau bahkan DTKE maksimum dalam silinder fleksibel berbeda dengan silinder kaku. TKE dan DTKE maksimum pada silinder fleksibel ditemukan pada 4,4 s dan 4,6 s saat silinder bergerak mundur setelah gelombang.

5. SIMPULAN

Pendekatan numerik tiga dimensi berdasarkan model RANS digunakan untuk mempelajari interaksi gelombang tsunami dengan vegetasi. Transformasi tinggi gelombang, medan aliran dan energi kinetik turbulen dan laju disipasi gelombang soliter yang menyebar di atas silinder yang kaku dan fleksibel menjadi topik yang diselidiki dalam penelitian ini. Hasil simulasi numerik menunjukkan bahwa setelah gelombang soliter disebarkan di atas vegetasi yang kaku dan fleksibel, energi kinetik turbulen dan laju disipasi dihasilkan karena interaksi antara gelombang dan silinder. Hasilnya menunjukkan bahwa vegetasi yang kaku memiliki redaman tinggi gelombang yang lebih besar daripada yang fleksibel. Vegetasi kaku juga mengalami energi kinetik turbulen yang lebih besar daripada yang fleksibel, yang berarti mengurangi lebih banyak energi setelah gelombang melewati vegetasi. Padahal, struktur vegetasi pesisir jauh dari makna fisik yang kaku seperti yang digunakan oleh beberapa penelitian terdahulu. Hal ini menjadi catatan penting bahwa kemungkinan overestimasi terhadap peluruhan gelombang ketika menggunakan silinder kaku sebagai vegetasi pesisir perlu dipertimbangkan kembali untuk upaya pencegahan bencana apapun.

REFERENSI

1. Anderson, M. E., Smith, J. M., and McKay, S. K., 2011. Wave dissipation by vegetation. Coastal and Hydraulics Engineering Technical Note ERDC/CHL CHETN-I-82, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
2. Baird, A.H., 2006. Myth of green belts. Viewpoint, SAMUDRA Report No. 44.
3. Chen, X., Chen, Q., Zhan, J., Liu, D, 2016. Numerical simulations of wave propagation over a vegetated platform. *Coast. Eng.*, 110, 64-75.
4. Choi, B.H., D.C. Kim, E. Pelinovsky and S.B. Woo, 2007. Three-dimensional simulation of tsunami run-up around conical island. *Coastal Engineering* 54, 618–629.
5. Cooker, M. J., D.H. Peregrine, C. Vidal and J.W. Dold, 1990. The interaction between a solitary wave and a submerged semicircular cylinder. *Journal of Fluid Mechanics* 215, 1–22.
6. Dentale, F., G. Donnarumma and E. Pugliese Carratelli, 2014. Simulation of flow within armour blocks in a breakwater. *Journal of Coastal Research* 30(3), 528-536.

7. Harada, K. and Imamura, F., 2000. Experimental study on the resistance by mangrove under the unsteady flow, 1st Congress of the Asian and Pacific Coast. Eng., 975–984.
8. Harada, K. and Kawata, Y., 2004. Study on the effect of coastal forest to tsunami reduction. *Annals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.*, No. 47 C.
9. Hiraishi, T., Harada, K., 2003. Greenbelt tsunami prevention in south-Pacific region. *Report of the Port and Airport Research Institute* 42 (2), 3–25.
10. Hirt, C.W. and B.D. Nichols, 1981. Volume of fluid (VOF) method for dynamics of free boundaries. *Journal of Computational Physics* 39, 201-225.
11. Huang, Z., Yao, Y., Sim, S. Y., and Yao, Y., 2011. Interaction of solitary waves with emergent rigid vegetation, *Ocean Eng.*, 38, 1080–1088.
12. Li, C.W., Xie, J.F., 2011. Numerical modeling of free surface flow over submerged and highly flexible vegetation. *Adv. in Water Resources*, 34, 468-477.
13. Liu, P.L.F., H. Yeh, and C.E. Synolakis. 2008. *Advanced Numerical Models for Simulating Tsunami Waves and Runup*, In: *Advances in Coastal and Ocean Engineering*, World Scientific Pub. (10), Singapore.
14. Maza, Maria, Lara J.L., Losada I.J., 2015. Tsunami wave interaction with mangrove forests: a 3-d numerical approach. *Coast. Eng.*, 98, 33-54.
15. Paul, M., Bouma, T. J., and Amos, C. L. (2012). “Wave attenuation by submerged vegetation: Combining the effect of organism traits and tidal current.” *Mar. Ecol.*
16. Shuto, N., 1987. The effectiveness and limit of tsunami control forests. *Coastal Eng in Japan* 30, 143–153.
17. Tadepalli, S. and C.E. Synolakis (1994). The Run-Up of N-Waves on Sloping Beaches, *Proceedings: Mathematical and Physical Sciences* 445(1923), 99-112.
18. Teh, S.Y., Koh, H.L., Liu, P.L.F., Ismail, A.I.M., Lee, H.L., 2009. Analytical and numerical simulation of tsunami mitigation by mangroves in Penang, Malaysia. *J. Asian Earth, Sci.* 36, 38–46.
19. Wu, W.-C., Ma G., Cox, D.T., 2016. Modeling wave attenuation induced by the vertical density variations of vegetation. *Coastal Eng.*, 112, 17-27.
20. Zhu, L., Chen, Q., 2015. Numerical modeling of surface waves over submerged flexible vegetation. *J. Eng. Mech.*, 141(8).

KAJIAN EVALUASI KINERJA BANGUNAN TERHADAP SIAGA BENCANA GEMPA

Rofika Sinaga¹, Cindrawaty Lesmana²

¹Alumni, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha

²Dosen Tetap, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha
Jalan Prof. drg. Suria Sumantri, MPH. No. 65 Bandung 40164
Email: cindrawaty.lesmana@eng.maranatha.edu

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang berada di wilayah rawan gempa karena letak geografisnya yang berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik besar di dunia, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik. Kesiapsiagaan bangunan akan bahaya gempa sangat direkomendasikan untuk mengurangi risiko yang ditimbulkan oleh kejadian gempabumi yang tidak dapat diprediksi. Tujuan penulisan ini adalah mengevaluasi kesiapsiagaan bangunan pada salah satu Gedung Pendidikan di Bandung terhadap bencana gempa. Penilaian kesiapsiagaan bangunan dilakukan dengan cara observasi, wawancara, dan kuesioner untuk meninjau variabel pengetahuan, tindakan, dan variabel kesiapsiagaan. Penelitian menghasilkan bahwa kesiapsiagaan bangunan terhadap bencana gempa masih perlu ditingkatkan.

Kata kunci: kinerja bangunan, kesiap-siagaan, gempa..

ABSTRACT

Being located on three active tectonic plates, Indo-Australian Plate, the Eurasian Plate and the Pacific Plate, Indonesia is a country that prone to Earthquakes. Therefore, Earthquake Preparedness is highly recommended strategy to better understand the risk and reduce the impact of an unpredictable earthquake. The purposes of this research were to assess the Earthquake Preparedness of Education Building in Bandung. The Earthquake Preparedness was evaluated through observation, questionnaires and interviews to assess three major variables: knowledge, action plans, and preparedness. The Earthquake preparedness is required many improvements.

Keywords: Performance-based evaluation, preparedness, earthquake.

1. PENDAHULUAN

Bencana alam selalu menarik lebih banyak perhatian ketika sudah terjadi dan mengakibatkan banyak kerugian bagi manusia yang mengalaminya. Penanggulangan bencana dapat mengurangi resiko kerugian akibat bencana dengan salah satunya menerapkan siklus penanggulangan bencana (BNPB, 2011; UNESCO, 2015). Kesiapsiagaan merupakan salah satu elemen dalam siklus penanggulangan bencana, untuk jenis bencana apapun tanpa terkecuali jenis bencana gempa. Bangunan gedung siaga bencana gempa dibutuhkan seluruh kalangan pengguna bangunan gedung sesuai dengan manfaat bangunan gedung, karena dapat mengurangi risiko terjadinya bencana gempa (BNPB, 2011; UNESCO, 2015).

Tujuan penelitian adalah mengevaluasi kesiapsiagaan bangunan gedung pendidikan terhadap bencana gempa khususnya salah satu bangunan Gedung Pendidikan

di Bandung. Batasan penelitian melingkupi penelitian pada salah satu bangunan Gedung Pendidikan di Bandung (Gedung Pendidikan Lama) dan siaga bencana terbatas hanya pada kesiapsiagaan terhadap bencana gempa.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bencana

Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 mengenai Penanggulangan Bencana menyebutkan definisi bencana adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan oleh faktor alam dan atau faktor non alam maupun faktor manusia, sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis. Bencana alam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah longsor (BNPB, 2015).

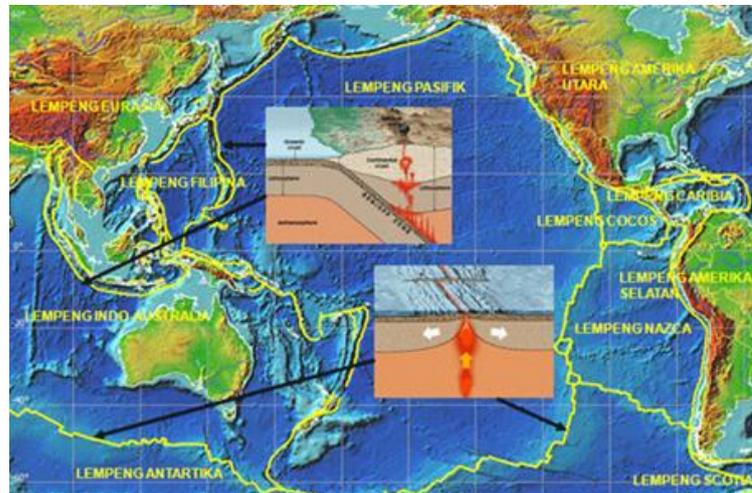
Kejadian bencana adalah peristiwa bencana yang terjadi dan dicatat berdasarkan tanggal kejadian, lokasi, jenis bencana, korban dan/ataupun kerusakan. Jika terjadi bencana pada tanggal yang sama dan melanda lebih dari satu wilayah, maka dihitung sebagai satu kejadian (BNPB, 2015). Beberapa jenis bencana alam adalah Gempa Bumi, Tsunami, Gunung Api, Banjir, Tanah Longsor, Kekeringan, Angin Topan, Kebakaran, Angin Puting Beliung, Gelombang Pasang, Abrasi, Wabah Penyakit (BNPB, 2015). Bencana alam dapat terjadi setiap saat dan tanpa peringatan tanpa sekali. Ketika terjadi bencana, pada umumnya orang akan berada dalam keadaan *shock* atau panik.

2.2 Gempa bumi

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Energi yang dihasilkan dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempabumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi (BMKG, 2015). Gempabumi merupakan gejala alamiah yang berupa gerakan guncangan atau getaran tanah yang ditimbulkan oleh adanya sumber-sumber getaran tanah akibat terjadinya patahan atau sesar akibat aktivitas tektonik, letusan gunungapi akibat aktivitas vulkanik, hantaman benda langit (misalnya meteor dan asteroid), dan/atau ledakan bom akibat ulah manusia (BNPB, 2012).

Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng yaitu lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Pasifik seperti tampak pada gambar 1. Penyebab

gempabumi dapat berupa pergerakan lempeng-lempeng tektonik, aktivitas gunungapi, akibat meteor jatuh, longsoran (di bawah muka air laut), atau ledakan bom nuklir di bawah permukaan bumi (Nur, 2010; BMKG, 2015). Gempabumitektonikmerupakan gempabumi yang paling umum terjadi.



Gambar 1 Lempeng Indonesia dan Sekitarnya
Sumber: BMKG, 2015

Jenis gempabumi dibagi menjadi 5, yaitu:

1. Gempabumi Tektonik adalah bergetarnya kerak hingga ke permukaan bumi karena pelepasan energi akibat tumbukan lempeng/pergerakan sesar (patahan);
2. Gempabumi Tumbukan merupakan gempa yang disebabkan oleh adanya tumbukan meteor atau asteroid yang jatuh ke bumi sehingga mengakibatkan bumi terguncang. Akan tetapi, gempa jenis ini jarang terjadi;
3. Gempabumi Runtuhan merupakan gempabumi yang terjadi di daerah kapur atau daerah pertambangan. Sama seperti gempa bumi tumbukan, gempa bumi runtuhan juga sangat jarang terjadi;
4. Gempabumi Buatan merupakan gempabumi yang diakibatkan oleh aktivitas manusia, seperti peledakan dinamit, pelepasan nuklir, atau benda lain yang dipukulkan ke permukaan bumi sehingga menimbulkan guncangan besar;
5. Gempabumi Vulkanik merupakan gempabumi yang terjadi karena adanya aktivitas magma, yakni cairan yang biasanya muncul dari perut bumi sebelum gunung api meletus. Semakin tinggi keaktifan gunung api tersebut, maka kemungkinan ledakan yang ditimbulkannya akan semakin besar.

Gempabumi berdampak pada kerusakan gedung dan juga korban jiwa, yang berpengaruh secara langsung dan tidak langsung pada melemahnya perekonomian dan

pertahanan pemerintahan. Oleh sebab itu, pengenalan dan pengurangan resiko bencana perlu dilakukan sejak dini untuk mengurangi risiko dan dampak negatif akibat bencana.

2.3 Manajemen Bencana

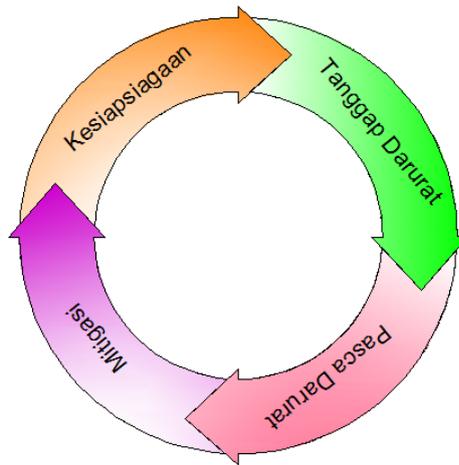
Manajemen bencana dapat diartikan sebagai sebuah proses siklus dari seluruh aktivitas yang mencakup, program kegiatan, kebijakan publik yang dilakukan pada saat sebelum, pada saat kejadian, dan setelah kejadian bencana, yang bertujuan untuk menghindari, meminimalisasi, dan memulihkan keadaan dari dampak bencana yang ditimbulkan (Yulianto, 2008). Banyaknya peristiwa bencana yang terjadi membuat pikiran terbuka bahwa manajemen bencana di negara Indonesia masih sangat jauh dari yang diharapkan. Selama ini, manajemen bencana dianggap bukan prioritas dan hanya datang sewaktu-waktu saja, yang rawan terhadap ancaman bencana (Rachmat, 2015).

Terkait dengan manajemen penanggulangan bencana Undang-Undang No. 24 tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana menyatakan “Penyelenggaraan penanggulangan bencana adalah serangkaian upaya yang meliputi penetapan kebijakan pembangunan yang berisiko timbulnya bencana, kegiatan pencegahan bencana, tanggap darurat, dan rehabilitasi”. Rumusan penanggulangan bencana dari UU tersebut mengandung dua pengertian dasar yaitu:

1. Penanggulangan bencana sebagai sebuah rangkaian atau siklus;
2. Penanggulangan bencana dimulai dari penetapan kebijakan pembangunan yang didasari risiko bencana dan diikuti tahap kegiatan pencegahan bencana, tanggap darurat, dan rehabilitasi.

Menurut Perda Sumbar No. 5 tahun 2007 tujuan dari Manajemen Bencana adalah:

- a. Memberikan perlindungan kepada masyarakat dari ancaman bencana;
- b. Menyelaraskan peraturan perundang-undangan yang sudah ada;
- c. Menjamin terselenggaranya penanggulangan bencana secara terencana, terpadu, terkoordinasi dan menyeluruh;
- d. Menghargai budaya lokal;
- e. Membangun partisipasi dan kemitraan publik serta swasta;
- f. Mendorong semangat gotong royong, kesetiakawanan dan kedermawanan; dan
- g. Menciptakan perdamaian dalam kehidupan bermasyarakat, berbangsa dan bernegara.



Gambar 2 Siklus Penanggulangan Bencana
 Sumber: Yulianto, 2008; LUTFIB, 2011; Juhri, 2015

Siklus Manajemen Bencana atau *Disaster Management Cycle* adalah bentuk penerapan kegiatan dalam rangka mengatasi dan mempersiapkan diri menghadapi musibah (Yulianto, 2008). Siklus manajemen bencana terdiri dari 4 fase seperti Gambar 2 yaitu mitigasi (*prevention*), kesiapsiagaan (*preparedness*), tanggap darurat (*response*), pasca darurat (*rehabilitation/reconstruction*) (UNESCO, 2007; Hendritanoyo, 2011; Budianto, 2013). Keunggulan dari model ini adalah urutan kegiatan siklus dapat menggambarkan kebutuhan berupa tahapan mulai dari prabencana sampai dengan pascabencana (Yulianto, 2008).

A. Mitigasi (*Prevention*)

Undang-undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 mengenai Penanggulangan Bencana menyebutkan definisi Mitigasi adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana. Kegiatan pada tahap pra bencana erat kaitannya dengan istilah mitigasi bencana yang merupakan upaya untuk meminimalkan dampak yang ditimbulkan oleh bencana.

Menurut Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 pasal 44 tentang Penanggulangan Bencana mitigasi dilakukan melalui:

- a. pelaksanaan penataan ruang;
- b. pengaturan pembangunan, pembangunan infrastruktur, tata bangunan; dan
- c. penyelenggaraan pendidikan, penyuluhan, dan pelatihan secara konvensional maupun modern.

Upaya mitigasi dapat dilakukan dalam bentuk mitigasi struktur dengan memperkuat bangunan dan infrastruktur yang berpotensi terkena bencana, seperti

membuat kode bangunan, desain rekayasa, dan konstruksi untuk menahan serta memperkuat struktur ataupun membangun struktur bangunan penahan longsor, penahan dinding pantai, dan lain-lain. Selain itu upaya mitigasi juga dapat dilakukan dalam bentuk non struktural, diantaranya seperti menghindari wilayah bencana dengan cara membangun menjauhi lokasi bencana yang dapat diketahui melalui perencanaan tata ruang dan wilayah serta dengan memberdayakan masyarakat dan pemerintah daerah (Rachmat, 2015).

Mitigasi nonstruktural juga dapat dilakukan dengan memperkenalkan atau menerapkan asuransi bencana di daerah yang rawan gempa. Sehingga masyarakat tidak harus menunggu bantuan dari pemerintah atau donatur saat harus melakukan pemulihan pascabencana, terutama dari sisi ekonomi (Husein, 2009). Sebagai contoh usaha mitigasi adalah pembangunan sabo dam di wilayah Gunung Merapi sebagaiantisipasi bahaya lahar dingin yang membawa material bebatuan. Upaya ini dilakukan untuk mengurangi jumlah material bebatuan yang dapat merusak tatanan kehidupan masyarakat secara sosial dan ekonomi (Yulianto, 2008).

B. Kesiapsiagaan (*Preparedness*)

Undang-undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 mengenai Penanggulangan Bencana menyebutkan definisikesiapsiagaan adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk mengantisipasi bencana melalui pengorganisasian serta melalui langkah yang tepat guna dan berdaya guna. Penanggulangan Bencana kesiapsiagaan dilakukan untuk memastikan upaya yang cepat dan tepat dalam menghadapi kejadian bencana. Kesiapsiagaan sebagaimana dimaksud dilakukan melalui:

- a. penyusunan dan uji coba rencana penanggulangan kedaruratan bencana;
- b. Pengorganisasian, pemasangan, dan pengujian sistem peringatan dini;
- c. Penyediaan dan penyiapan barang pasokan pemenuhan kebutuhan dasar;
- d. Pengorganisasian, penyuluhan, pelatihan, dan gladi tentang mekanisme tanggap darurat;
- e. Penyiapan lokasi evakuasi ;
- f. Penyusunan data akurat, informasi, dan pemutakhiran prosedur tetap tanggap darurat bencana; dan
- g. Penyediaan dan penyiapan bahan, barang, dan peralatan untuk pemenuhan pemulihan prasarana dan sarana.

Upaya kesiapsiagaan adalah faktor penting dalam manajemen bencana dimana upaya ini dilakukan setelah usaha mitigasi dilaksanakan dengan baik. Tindakan relokasi dan pembangunan tempat-tempat pengungsian sehingga masyarakat yang rentan dapat

menghindar di radius paling aman. Kesiapsiagaan bencana melibatkan semua lembaga, masyarakat dan individu, dimanasetiap pemangku kepentingan yang memiliki peran berbeda harus dipadukan untuk dapat mencapai kesiapsiagaan secara menyeluruh(Cindrawaty dan Nurul, 2015). Artinya, setiap lembaga dan masyarakat memiliki kewajiban dan peran dalam menanggulangi bencana dan menyiapkan diri untuk dapat menghadapi bencana dengan cepat dan tepat (Nurchayat, 2014).

Sebelum kejadian bencana gempa bumi perlu dilakukan persiapan dan pengetahuan mengenai kebencanaan. Hal ini dimaksudkan untuk menumbuhkan pemahaman dan kesiapsiagaan dalam menghadapi bencana sehingga diharapkan kerugian dan korban akan dapat dikurangi (Nur 2010). Pengetahuan dan persiapan (komponen) kesiapsiagaan bencana tersebut meliputi (KOGAMI, 2007; Yulianto, 2008; Nur, 2010; BMKG, 2015):

1. Mengenali apa yang disebut gempabumi, memahami daerah yang ditinggali merupakan daerah yang dekat dengan jalur gempa dan gunungapi sehingga perlunya sikap waspada dan kesiapsiagaan. Namun demikian tetap tenang dan hidup wajar seperti biasa;
2. Mengumpulkan informasi bencana yang diperkirakan terjadi di daerah tempat tinggal dengan menghubungi instansi yang berwenang atau terkait;
3. Memahami tempat-tempat yang aman dan tempat yang tidak aman apabila terjadi bencana gempa. Hal ini cukup penting dalam rangka tindakan penyelamatan diri saat kejadian bencana gempa;
4. Mengaitkan benda-benda berat yang membahayakan ke tempat yang kokoh sehingga bila terjadi gempa tidak mudah roboh atau jatuh yang dapat mencelakakan;
5. Mencatat nomor-nomor telepon darurat (seperti: pemadam kebakaran, polisi, ambulans, dll) dan tempatkan di tempat yang mudah terlihat didekat telepon dan jika memungkinkan, disimpan di dalam telepon genggam/ HP;
6. Pengembangan jaringan informasi dan sistem jaringan Sistem Peringatan Dini (*Early Warning System/EWS*);
7. Perbaikan terhadap infrastruktur yang dapat digunakan dalam keadaan darurat, seperti fasilitas komunikasi, jalan, kendaraan, gedung-gedung sebagai tempat penampungan; dll
8. Mengevaluasi dan merenovasi ulang struktur bangunan yang kuat terhadap gempabumi agar terhindar dari bahaya. Memastikan bahwa struktur dan letak rumah dapat terhindar dari bahaya yang disebabkan oleh gempabumi (*longsor, liquefaction, dll*);

9. Membuat rencana jalur evakuasi (membuat peta jalur evakuasi) menuju satu titik tempat aman diluar bangunan dan persiapan stok kebutuhan pokok (suplai pangan, obat-obatan, dll);
10. Melakukan latihan evakuasi bagi masyarakat untuk menyelamatkan diri saat kejadian bencana. Hal ini penting untuk membiasakan melakukan evakuasi dan untuk mengestimasi waktu serta melakukan koordinasi saat kejadian bencana sebenarnya;
11. Mengenali Lingkungan Tempat Bekerja: memperhatikan letak pintu, lift serta tangga darurat, apabila terjadi gempa bumi, sudah mengetahui tempat paling aman untuk berlindung, Belajar melakukan P3K, alat pemadam kebakaran, dan menggunakannya;
12. Mempersiapkan secara rutin tempat bekerja dan tinggal, seperti: perabotan (lemari, cabinet, dll) diatur menempel pada dinding (dipaku, diikat, dll) untuk menghindari jatuh, roboh, bergeser pada saat terjadi gempa bumi, menyimpan bahan yang mudah terbakar pada tempat yang tidak mudah pecah agar terhindar dari kebakaran, selalu mematikan air, gas dan listrik apabila tidak sedang digunakan;
13. Perlu Ditinjau kembali penyebab celaka yang paling banyak pada saat gempa bumi adalah akibat kejatuhan material, maka benda yang berat sedapat mungkin diatur berada pada bagian bawah. Kestabilan benda yang tergantung yang dapat jatuh pada saat gempa bumi terjadi (misalnya: lampu dll).
14. Alat yang harus ada di setiap tempat: kotak P3K, senter/lampu baterai, radio, makanan suplemen, dan air; dan
15. Peningkatan kemampuan dan keterampilan personil melalui pelatihan dan simulasi/latihan tanggap darurat.

C. Tanggap Darurat (*Response*)

Undang-undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 mengenai Penanggulangan Bencana menyebutkan definisi tanggap darurat bencana adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan dengan segera pada saat kejadian bencana untuk menangani dampak buruk yang ditimbulkan, yang meliputi kegiatan penyelamatan dan evakuasi korban, harta benda, pemenuhan kebutuhan dasar, perlindungan, pengurusan pengungsi, penyelamatan, serta pemulihan prasarana dan sarana. Upaya tanggap darurat adalah tindakan *emergency* sesaat setelah terjadi bencana. Upaya ini dapat meliputi usaha penyelamatan (*rescue effort*), *first aid*, *fire fighting*, dan evakuasi. Seluruh tindakan diupayakan untuk menekan dan mengurangi jumlah korban (Yulianto, 2008). Menurut Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 Pasal 46 tentang Penanggulangan Bencana tanggap darurat bencana dilakukan melalui:

- a. Pengamatan gejala bencana;
- b. Analisis hasil pengamatan gejala bencana;
- c. Pengambilan keputusan oleh pihak yang berwenang;
- d. Penyebarluasan informasi tentang peringatan bencana; dan
- e. Pengambilan tindakan oleh masyarakat.

D. Pasca Darurat (*Rehabilitation/ Recontruction*)

Undang-undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 mengenai Penanggulangan Bencana menyebutkan definisi pasca darurat terdiri dari rehabilitasi dan rekonstruksi. Rehabilitasi adalah perbaikan dan pemulihan semua aspek pelayanan publik atau masyarakat sampai tingkat memadai pada wilayah pascabencana dengan sasaran utama untuk normalisasi atau berjalannya secara wajar semua aspek pemerintahan dan kehidupan masyarakat pada wilayah pasca bencana. Rekonstruksi adalah pembangunan kembali semua prasarana dan sarana, kelembagaan pada wilayah pascabencana, baik pada tingkat pemerintahan maupun masyarakat dengan sasaran utama tumbuh dan berkembangnya kegiatan perekonomian, sosial dan budaya, tegaknya hukum dan ketertiban, dan bangkitnya peran serta masyarakat dalam segala aspek kehidupan bermasyarakat pada wilayah pascabencana.

Pemulihan adalah serangkaian kegiatan untuk mengembalikan kondisi masyarakat dan lingkungan hidup yang terkena bencana dengan kembali kelembagaan, prasarana, dan sarana dengan melakukan rehabilitasi. Menurut Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 pasal 58 tentang Penanggulangan Bencana pasca darurat pada elemen rehabilitasi dan rekonstruksi dilakukan melalui:

- a. Perbaikan lingkungan daerah bencana;
- b. Perbaikan prasarana dan sarana umum;
- c. Pemberian bantuan perbaikan rumah masyarakat;
- d. Pemulihan sosial psikologis;
- e. Pelayanan kesehatan;
- f. Rekonsiliasi dan resolusi konflik;
- g. Pemulihan sosial ekonomi budaya;
- h. Pemulihan keamanan dan ketertiban;
- i. Pemulihan fungsi pemerintahan; dan
- j. Pemulihan fungsi pelayanan publik.

Fase pada siklus bencana memiliki porsi masing-masing dalam kegunaan perannya. Keseriusan melakukan seluruh elemen sangat mempengaruhi berkurangnya

risiko saat terjadi bencana. Kesiapsiagaan adalah salah satu elemen dari siklus penanggulangan bencana yang berperan dalam mengantisipasi sebelum terjadinya bencana guna mengurangi risiko akibat terjadinya bencana.

3. STUDI KASUS

Metode kuantitatif digunakan dalam melakukan pengambilan data yang diperlukan untuk penelitian. Penelitian kuantitatif menggunakan alat-alat atau instrumen untuk mengukur gejala-gejala tertentu secara statistik. Teknik penelitian kuantitatif juga dilakukan dengan cara eksperimen, survey, dan wawancara. Instrumen yang digunakan dalam penelitian adalah penyebaran angket (kuesioner), skala, kamera digital, alat tulis, dan perekam suara (S.R. Pupu, 2012). Tetapi dalam perkembangannya data yang berupa angka dan pengolahan matematis kurang dan atau tidak dapat menerangkan kebenaran secara menyakinkan. Oleh karena itu digunakan metode kualitatif yang dianggap mampu mereangkan gejala atau fenomena secara lengkap dan menyeluruh. Metode kualitatif adalah salah satu prosedur penelitian yang menghasilkan data deskriptif berupa ucapan atau tulisan dan perilaku yang diamati (S.R. Pupu, 2012).

Data siaga bencana gempa diperoleh melalui observasi lapangan dengan pengambilan foto menggunakan kamera digital, wawancara dilakukan kepada pihak yang berpengaruh atau pejabat struktural di Gedung Pendidikan tersebut untuk meninjau kesiapsiagaan gedung dari sudut pandang pemimpin, dan juga melalui penyebaran kuesioner kepada pengguna gedung untuk mengetahui pendapat dari pengguna gedung akan kesiapsiagaan Gedung Pendidikan terhadap bencana gempa.

3.1 Kuesioner Siaga Bencana Gempa

Kuesioner merupakan salah satu instrumen penelitian kesiapsiagaan bangunan terhadap bencana gempa. Populasi penelitian adalah pengguna Gedung Pendidikan yang termasuk di dalamnya adalah Guru, Karyawan, dan Siswa. Gambaran populasi penelitian adalah jumlah Guru sebanyak 72 orang, Karyawan sebanyak 33 orang, dan Siswa sebanyak 1174 orang. Evaluasi kesiapsiagaan dan Pengisian sistem pengolahan data kuesioner dilakukan dengan bantuan *Google Form* dalam bentuk *link* yaitu <http://goo.gl/forms/a7Rf2KWIfH> yang disebar kepada pengguna Gedung Teknik melalui internet yang terhubung. Serangkaian langkah untuk menyusun pertanyaan wawancara dan kuesioner menggunakan beberapa referensi terkait seperti ditampilkan pada Tabel 1. Berikut merupakan langkah-langkah membuat kuesioner:

- a. Menentukan topik dan tujuan kuesioner

Topik kuesioner penelitian adalah siaga bencana gempa bumi. Kuesioner bertujuan untuk mengetahui kesiapsiagaan bangunan Gedung Pedidikan melalui penilaian pengguna gedung.

b. Menentukan variabel kuesioner

Variabel dalam kuesioner dibagi menjadi tiga yaitu pengetahuan, tindakan, kesiapsiagaan. Setiap variabel dalam kuesioner memiliki sub-variabel agar pengelompokan data lebih detail dan mudah dimengerti oleh responden ketika mengisi kuesioner.

Kuesioner yang disebarakan memiliki 4 bagian yaitu bagian profil/data responden, pengetahuan, tindakan, dan kesiapsiagaan. Pengetahuan responden mengenai bangunan siaga bencana gempa bumi akan mempengaruhi penilaian responden terhadap kesiapsiagaan bangunan siaga bencana gempa bumi. Tindakan responden ketika terjadi gempa bumi merupakan wujud pengetahuan responden mengenai gempa bumi yang dituangkan pada tindakan nyata. Kesiapsiagaan bangunan terhadap gempa bumi, disertai pertanyaan mendetail pada kuesioner. Pertanyaan kesiapsiagaan jalur rambu evakuasi pada kuesioner mengenai sub-variabel kesiapsiagaan dapat menentukan kesiapsiagaan bangunan terhadap siaga bencana gempa bumi.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif analitis. Metode deskriptif analitis lebih memusatkan perhatian pada fenomena yang sedang terjadi pada saat penelitian dilakukan, dimana penelitian ini berusaha untuk membuat deskriptif fenomena yang diselidiki dengan melukiskan fakta tersebut. Rumusan analisis data dalam kajian ini menggunakan diagram persentase.

Tabel 1. Referensi Kuesioner

Variabel	Pertanyaan	Sumber
Pengetahuan	Bencana gempa bumi membutuhkan penanganan secara kualitatif.	KOGAMI 2007; Nur, A.M, 2010;
	Gempabumi adalah peristiwa terguncangnya permukaan bumi yang dirasakan secara tiba-tiba.	Dalimunte, R.F, 2011;
	Gempabumi tektonik.	UNESCO, 2012; 2007;
	Gempabumi vulkanik.	Presiden, 2008;
	Perilaku hewan yang aneh adalah tanda gempa bumi.	2008; BNPB, 2011; BMKG, 2014; BNPB,
	Alat pencatat gempa bumi merupakan seismograf.	
	Lari keluar gedung saat terjadi gempa bumi.	

	Berlindung dibawah kolong saat terjadi gempabumi.	2015; BMKG 2015; KBBI 2015; Rachmat, A., 2015
	Kesiapsiagaan sejak dini.	
	Pengaruh kesiapsiagaan.	
	Peringatan gempabumi menggunakan sirine.	
	Simulasi penanganan menghadapi bencana gempa	
	Jalur rambu evakuasi.	
Tindakan	Tidak panik saat terjadi gempabumi.	BNPB, 2011; BMKG, 2014; KOGAMI 2007; Dalimunte, R.F, 2011; UNESCO, 2012
	Menghindar dari benda yang akan roboh.	
	Memperhatikan tempat berdiri.	
	Menggunakan tangga untuk keluar gedung.	
	Keluar dengan cepat dan tertib melalui jalur evakuasi.	
	Memeriksa kerusakan sekitar.	
	Mencari informasi mengenai kejadian gempabumi.	
	Kesiapsiagaan bencana.	
Kesiapsiagaan	Gedung Teknik didirikan sesuai SNI.	KOGAMI 2007; Dalimunte, R.F, 2011; UNESCO, 2012; BMKG, 2014; BNPB, 2015; BMKG 2015
	Pihak pengguna gedung mengenali lokasi bangunan.	
	Tataletak perabotan terhadap bahaya gempabumi.	
	Kesiapsiagaan perlengkapan setelah gempabumi.	
	Catatan nomor telepon penting	
	Jalur rambu evakuasi yang mudah diketahui pengguna gedung.	
	Pelatihan agar siap siaga menghadapi bencana gempabumi.	
	Simulasi siaga bencana gempabumi jalur evakuasi.	
	Perencanaan tanggap darurat.	
	Pengguna gedung mengetahui sistem peringatan bencana gempabumi.	
	Pengguna gedung mengetahui sistem peringatan dini bencana gempabumi.	
	Jalur rambu evakuasi lengkap di pasang.	
	Tertera keterangan kesiapsiagaan menghadapi bencana.	

Tabel 1.Referensi Kuesioner (Lanjutan)

Variabel	Pertanyaan	Sumber
	Pengguna gedung mengetahui sistem peringatan dini bencana gempabumi.	
	Jalur rambu evakuasi lengkap di pasang.	
	Tertera keterangan kesiapsiagaan menghadapi bencana.	
	Pengguna gedung mengetahui sistem peringatan dini bencana gempabumi.	
	Jalur rambu evakuasi lengkap di pasang.	

3.2 Wawancara

Wawancara adalah teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan bercakap-cakap dengan sumber data secara langsung maupun tidak langsung. Teknik wawancara bertumpu kepada faktor manusia sebagai alat pengumpul data. Wawancara pada penelitian ini dilakukan dengan bercakap-cakap secara langsung dengan sumber data. Informasi diperoleh dalam suasana komunikasi secara langsung yang memungkinkan seseorang memberikan data faktual seperti mengungkapkan sikap, pikiran, harapan, dan perasaan.

Pertanyaan-pertanyaan wawancara yang diajukan merupakan pertanyaan yang berasal dari kuesioner sebagai referensi atau sumber pertanyaan. Pelaksanaan wawancara menggunakan alat bantu perekam suara, kertas dan alat tulis yang mempermudah proses pengumpulan data wawancara. Fleksibel, pelaksanaannya dapat disesuaikan dengan masing-masing responden sebagai sumber data wawancara. Kesiapsiagaan bangunan terhadap bahaya gempa ditinjau melalui tiga variabel yaitu Pengetahuan, Tindakan, dan Kesiapsiagaan. Data wawancara dikumpulkan dari pejabat struktural Gedung Pendidikan untuk meninjau kesiapsiagaan Gedung Pendidikan dari sudut pandang pemangku kepentingan.

4. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Wawancara

A. Pengetahuan

Wawancara dilakukan kepada 3 responden memiliki status yang berpengaruh terhadap Gedung Pendidikan ataupun kepada para pengguna Gedung Pendidikan. Responden wawancara telah menjadi pengguna Gedung Pendidikan lebih dari 15 tahun. Daftar pertanyaan wawancara mencakup instrumen pertanyaan yang menunjukkan data responden.

“Apakah Gedung merupakan Gedung Tahan Gempa?”, “Apakah Gedung merupakan Gedung Siaga Bencana Gempa?” dan “Apakah gempabumi berbahaya?” merupakan instrumen pertanyaan yang mendeskripsikan variabel pengetahuan. Responden memiliki persepsi masing-masing mengenai bahaya gempabumi terhadap bangunan. Responden menyatakan gempa bumi merupakan kejadian berbahaya. Responden menyebutkan kata “tergantung” untuk menegaskan bahwa bahaya gempabumi yang berkaitan dengan penelitian bangunan siaga bencana gempa tidak serta merta merupakan hal yang berbahaya. Tingkat bahaya gempabumi terhadap bangunan ditentukan oleh seberapa besar kekuatan gempabumi tersebut.

Pada umumnya bangunan didirikan dengan kaidah-kaidah yang berlaku, sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI). Perencanaan bangunan tahan gempa menggunakan SNI 1726:2012. Gempabumi yang terjadi tidak dapat diprediksi sehingga jika kekuatan gempa melebihi kapasitas desain maka kemungkinan besar bangunan akan rubuh/hancur sehingga dapat menimbulkan kerugian jiwa, harta dan benda.

“Apakah bapak/ibu pernah mendengar mengenai bangunan siaga bencana gempa?”, responden pernah mendengar mengenai bangunan siaga bencana gempa. Pendapat Responden adalah bangunan siaga bencana gempa merupakan bangunan yang kuat saat mengalami gempa sesuai dengan kekuatan desain. Sehingga dapat meminimalisir rasa “kaget dan bingung” para pengguna gedung ketika menghadapi kejadian gempabumi yang melebihi desain perhitungan bangunan tahan gempa.

B. Tindakan

“Jika terjadi gempabumi ketika bapak/ibu sedang berada dalam Gedung Pendidikan apa yang akan bapak/ibu lakukan?” pertanyaan yang mendeskripsikan variabel tindakan. Ada berbagai spontanitas saat gempa terjadi, seperti merasa “kaget”, “bengong”, “bingung”, “pasrah”, atau bahkan langsung bertindak melakukan penyelamatan diri dengan lari keluar gedung. Perasaan tersebut timbul dipengaruhi oleh pengetahuan mengenai siaga bencana gempa. Merasa “aman” karena “pengalaman” merasakan gempabumi saat berada di Gedung Pendidikan tidak berdampak negatif terhadap bangunan. Bangunan tetap berdiri tanpa adanya kerusakan dari dampak gempabumi yang terjadi.

Tindakan penyelamatan diri dari bahaya gempabumi seringkali membuat pengguna gedung tidak dapat keluar dari gedung adalah dengan pergi ke kolong meja atau kursi. Gempabumi terjadi secara mendadak sehingga perlu dilakukan kesiapsiagaan sejak awal. Sejak saat bangunan didirikan. Mendirikan bangunan siaga bencana gempa yang lengkap jalur rambu evakuasi. Bangunan didirikan sesuai perencanaan bangunan tahan

gempa SNI 1726:2012. Maka ketika sewaktu-waktu gempa terjadi tindakan yang dilakukan adalah tanggap bencana gempa dan melakukan penyelamatan diri dengan tepat secara maksimal.

C. Kesiapsiagaan Bangunan

Menurut Undang-undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 mengenai Penanggulangan Bencana. Kesiapsiagaan adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk mengantisipasi bencana melalui pengorganisasian serta melalui langkah yang tepat guna dan berdaya guna. Negara Indonesia merupakan negara daerah rawan gempa sehingga perlu dilakukan latihan simulasi bencana secara berkala. Melakukan upaya kesiapsiagaan sehingga dapat mengurangi timbulnya kerugian.

Pertanyaan wawancara “Apakah Gedung Pendidikan merupakan gedung tahan gempa?”, menyatakan pendapat responden mengenai bangunan tahan gempa terhadap Gedung Pendidikan. Pengalaman terjadinya gempa bumi yang dirasakan pada Gedung Pendidikan membuat persepsi responden bahwa Gedung Pendidikan merupakan bangunan gedung tahan gempa. Tidak ada terjadi kerusakan yang berarti. Kegiatan para pengguna gedung tetap berjalan tak ada hambatan. Bangunan gedung tetap berdiri dan digunakan sesuai pemanfaatan seperti biasa.

“Apakah Gedung Pendidikan merupakan gedung yang siaga bencana gempa?”, pertanyaan pada wawancara menyatakan penilaian responden mengenai bangunan tahan gempa terhadap Gedung Pendidikan. Responden menyatakan “belum”, berarti bahwa terpikirkan oleh responden untuk melengkapi dengan instrumen/atribut siaga bencana gempa. Pemeliharaan gedung kurang diperhatikan dapat dilihat dari banyaknya pintu yang dikunci tanpa alasan yang jelas, sehingga bagi responden Gedung Pendidikan merupakan gedung “tidak” siaga bencana gempa. Bangunan tidak siaga bencana gempa memberi dampak pada para pengguna gedung tidak siap menghadapi bencana gempa bumi, meskipun berdirinya bangunan sudah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) yang berlaku. Kelengkapan bangunan siaga bencana gempa dipersiapkan sejak awal bangunan berdiri. Memberi kesiapan diri menghadapi bencana gempa bumi.

4.2 Analisis Kuesioner

Proses pengumpulan data melalui kuesioner yang disebar pada seluruh pengguna Gedung Pendidikan selama 1 bulan. Jumlah Karyawan adalah 33 orang, Guru adalah 72 orang, dan Siswa adalah 1174 orang. Kuesioner disebar dalam 4 bagian yaitu data responden dan 3 variabel kuesioner yang terdiri dari: variabel pengetahuan, variabel tindakan dan variabel kesiapsiagaan. Kuesioner disebar dengan tujuan untuk mengetahui kesiapsiagaan pengguna Gedung

Pendidikan terhadap siaga bencana gempa dengan masing-masing variabel yang telah ditentukan. Kesiapsiagaan terhadap bencana adalah bagian dari keterampilan untuk kelangsungan hidup sehingga kesiapsiagaan harus menjadi bagian materi yang diberikan dalam dunia pendidikan (UNESCO, 2009).

Jumlah responden kuesioner yang terkumpul terdiri dari 182 responden yang terdiri atas 114 orang (62,6%) pria dan 68 orang (37,4%) wanita. Responden terdiri dari 97 orang (53,3 %) berumur 21-25 tahun; 14 orang (7,7%) berumur 26-20 tahun; dan 71 orang (39 %) berumur 15-20 tahun. Berdasarkan profesinya, 20 orang (11%) responden berprofesi karyawan; 15 orang (8,2%) responden berprofesi lainnya; dan 147 orang (80,8 %) responden berprofesi siswa. Pendidikan terakhir para responden adalah 8 orang (4,4%) responden berpendidikan terakhir Sekolah Menengah Pertama; 122 orang (67%) responden berpendidikan terakhir Sekolah Menengah Atas; 46 orang (25,3 %) responden berpendidikan terakhir S-1; 4 orang (2,2%) responden berpendidikan terakhir S-2; dan 2 orang (1,1%) responden berpendidikan terakhir lainnya.

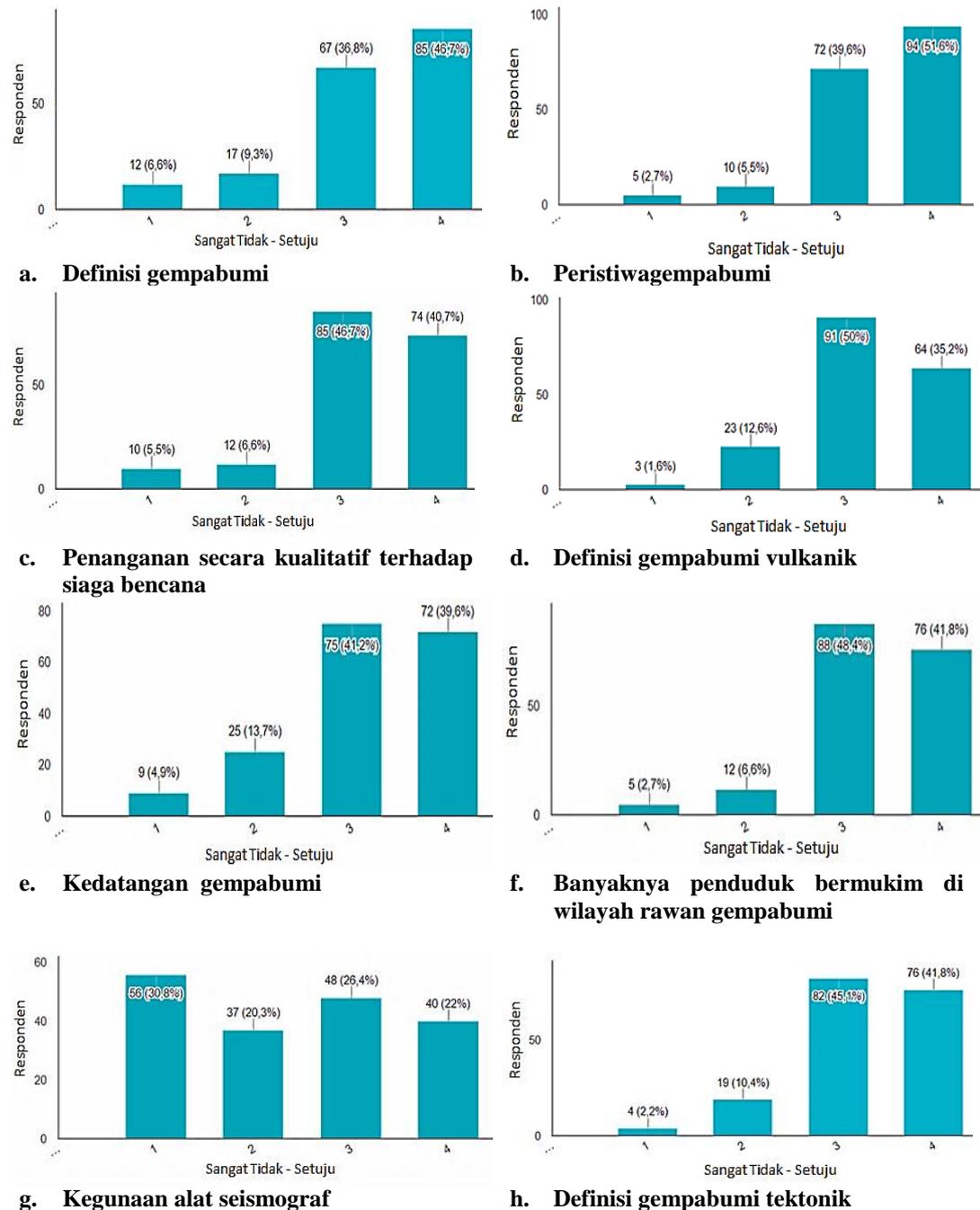
Tabel 2. Lama Responden Menggunakan Gedung

Jumlah Responden	Waktu	Persentase
33 orang	> 1 tahun	18,1%
88 orang	1-3 tahun	48,4%
51 orang	4-6 tahun	28%
5 orang	7-9 tahun	2,7%
5 orang	lainnya	2,7%

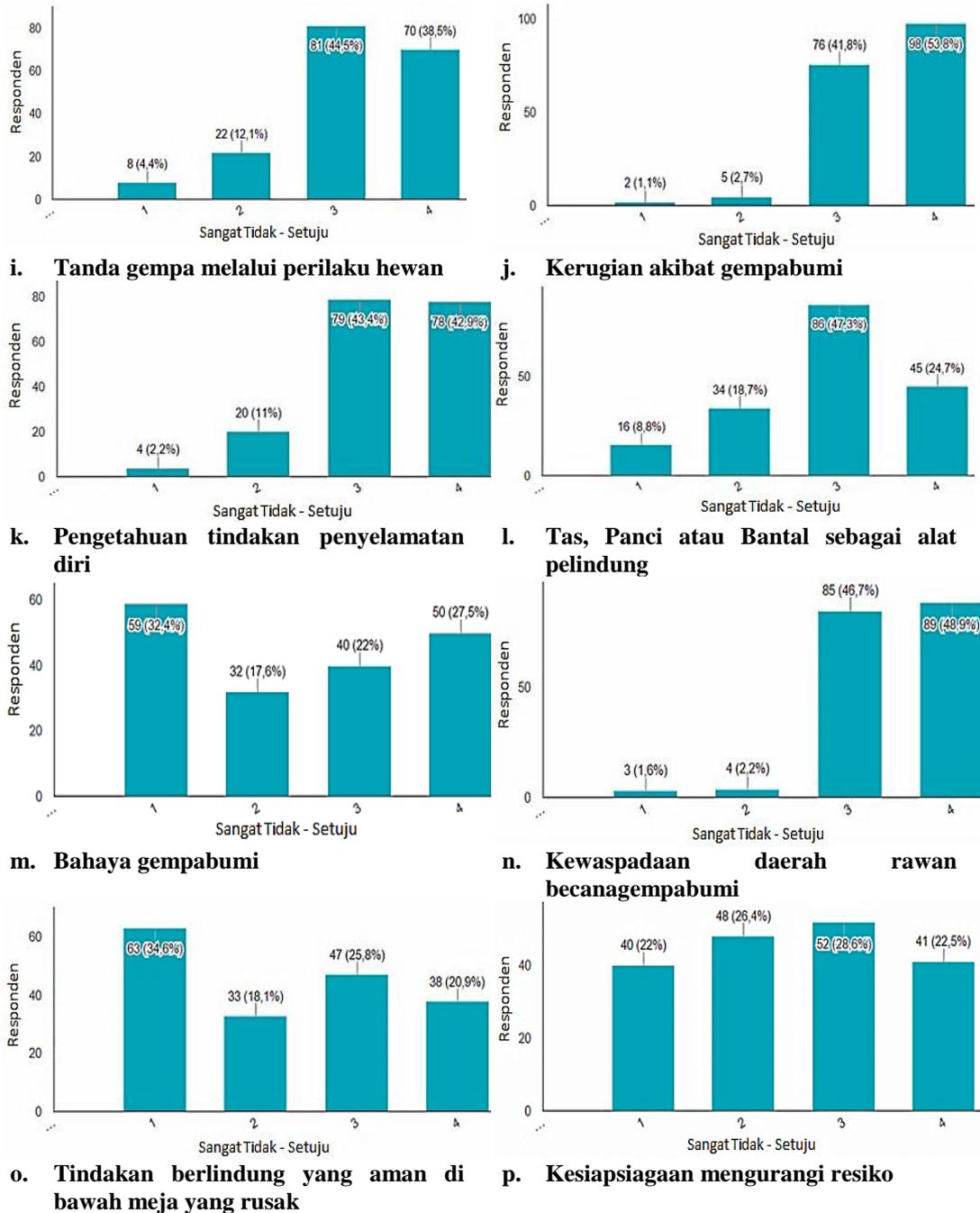
“Pelatihan Penanganan gawat darurat yang pernah diikuti?” merupakan pertanyaan terakhir data responden pengisi kuesioner. Beberapa responden pernah mengikuti pelatihan gawat darurat yaitu dari (Badan Penanggulangan Bencana Daerah) BPBD, penanganan gempa tektotnik, simulasi darurat gempa dan tsunami Cirebon, Save Our Soul (SOS), Usaha Kesehatan Sekolah (UKS), Search and Rescue (SAR), kegiatan naik gunung, kebakaran, banjir, dan Palang Merah Remaja (PMR). Pelatihan gawat darurat yang diikuti merupakan pelatihan yang dimana penyelenggara bukanlah Gedung Pendidikan. Dua responden pernah mengikuti pelatihan gawat darurat yaitu pelatihan Gempabumi dan satu responden menjawab belum pernah mengikuti pelatihan yang diadakan oleh pengelola gedung. Sebanyak 170 responden lainnya belum pernah mengikuti pelatihan penanganan gawat darurat ditempat manapun.

A. Pengetahuan

Hasil variabel pengetahuan responden secara grafis dapat dilihat pada gambar 3. Gambar meliputi seluruh hasil kuesioner yang digambarkan dalam bentuk grafik. Pengetahuan responden mengenai bencana gempa bumi mencapai angka 80%. Gambar 3 menyatakan bahwa responden mengetahui arti kata gempa bumi, jenis-jenis gempa bumi dan bahaya gempa bumi. Gempa bumi adalah peristiwa terguncangnya permukaan bumi yang dirasakan secara tiba-tiba (BMKG, 2015; BNPB, 2012).



Gambar 3. Grafik Hasil Analisis Deskriptif Persentase Variabel Pengetahuan



Gambar 3 Grafik Hasil Analisis Deskriptif Persentase Variabel Pengetahuan (Lanjutan)

Pengetahuan responden mengenai tanggap siaga bencana gempa dan kesiapsiagaan bangunan terhadap gempa serta kesiapsiagaan responden terhadap gempa ditunjukkan pada gambar 3. Pengetahuan responden mencapai 80% menyatakan bahwa kewaspadaan sejak dini penting untuk ditingkatkan guna meningkatkan kesiapsiagaan menghadapi bencana gempabumi. Perbedaan hasil kuesioner dengan angka 2,7% untuk pengetahuan mengenai alat seismograf pada 3 dengan pertanyaan mengenai banyaknya

penduduk bermukim di wilayah rawan gempa bumi. Angka tertinggi dicapai oleh responden yang tidak mengetahui bahwa seismograf merupakan alat pencatat gempa bumi (KBBI, 2015).

Hanya 51% responden menyatakan bahwa kesiapsiagaan bencana mempengaruhi upaya mengurangi resiko bencana dapat dilihat pada pernyataan mengenai kesiapsiagaan mengurangi resiko. Menurut Undang-undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 mengenai Penanggulangan Bencana. Bencana adalah rangkaian peristiwa mengancam dan mengganggu kehidupan masyarakat yang disebabkan oleh faktor alam, faktor non alam ataupun faktor manusia. Bagian kuesioner pada gambar 3 adalah 61,5% responden dinyatakan mengetahui bahwa sistem peringatan jika terjadi bencana dalam sebuah gedung adalah adanya bunyi sirine. Gedung Pendidikan sebagai tempat responden berkegiatan sehari-harinya harus tersedia sirine di dalam gedung sebagai prasarana siaga bencana yang dapat terjadi kapan saja.

Lebih dari 90% responden mengetahui bahwa jalur rambu evakuasi lengkap terpasang merupakan bentuk dari bangunan siaga bencana gempa bumi. Gedung Pendidikan digunakan sebagai gedung pendidikan tinggi. Gedung Pendidikan merupakan tempat mengembangkan diri dalam keterampilan dan ilmu pengetahuan. Keberadaan jalur rambu evakuasi membantu terciptanya gedung pendidikan yang memberi rasa aman bagi pengguna gedung.

Pengetahuan responden mengenai bangunan tidak siaga bencana gempa yang menimbulkan kerugian mencapai angka lebih dari 90%. Apabila tidak memiliki pengetahuan tentang bangunan siaga bencana gempa maka besarnya tingkat kesiapsiagaan pun rendah. Hasil variabel pengetahuan menyatakan bahwa responden mengetahui tentang bangunan siaga bencana gempa meliputi hal-hal yang berhubungan gempa seperti arti kata, jenis, bahaya gempa dan hal-hal lainnya yang tersusun pada kuesioner. Pengetahuan mengenai siaga bencana gempa menimbulkan perasaan tidak asing dengan bahasan mengenai bencana gempa di antara para responden sebagai pengguna Gedung Pendidikan.

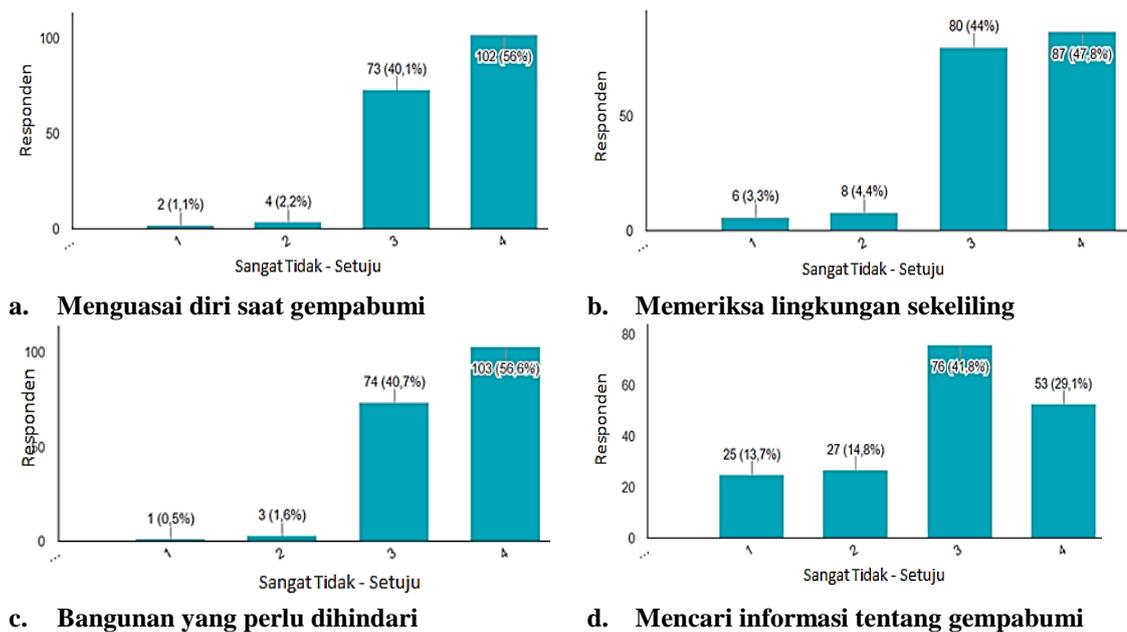
B. Tindakan

Indonesia merupakan daerah rawan gempa bumi (BMKG, 2015). Berbagai macam ancaman bencana gempa bumi dapat terjadi di wilayah Indonesia. Banyak tindakan yang harus dilakukan saat terjadi gempa bumi. Tindakan tepat dengan mengetahui prioritas tindakan saat terjadi gempa bumi dapat meminimalisir risiko.

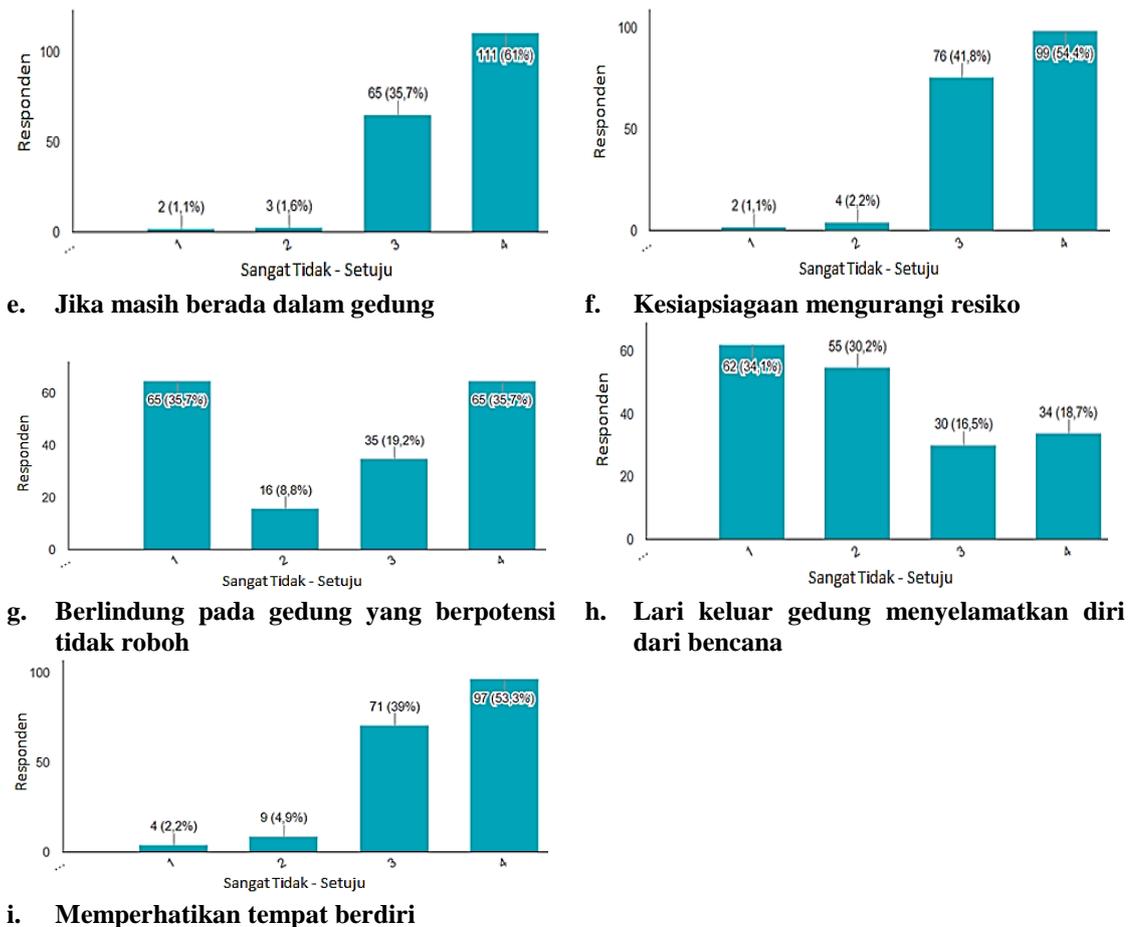
Gambar 4 merupakan gambar grafik hasil kuesioner variabel tindakan responden. Tabel meliputi seluruh hasil kuesioner variabel tindakan yang digambarkan dalam bentuk grafik. Hasil kuesioner variabel tindakan dipengaruhi oleh pengetahuan responden mengenai bangunan siaga bencana gempa.

Gambar 4.a dengan pernyataan kuesioner “menguasai diri saat gempa bumi” menyatakan lebih dari 90% responden menyatakan tidak panik. Kepanikan timbul secara natural saat gempa bumi terjadi. Gempabumi tidak seharusnya dihadapi dalam keadaan panik (KOGAMI, 2007). Kepanikan hanya memperburuk situasi akibat bencana gempa bumi. Menghadapi bencana dalam keadaan panik dapat menambah atau menciptakan bencana baru.

“Menghindar dari bagian bangunan yang berpotensi roboh dan menimpa kita.” Merupakan pertanyaan kuesioner variabel tindakan yang memperoleh hasil 40,7% setuju dan 56,6% sangat setuju. Tindakan cepat, tepat dan tertib saat terjadi gempa merupakan pilihan yang dapat mengurangi risiko bencana, maka menghindari bangunan yang mungkin roboh dilakukan dengan cepat, tepat dan tertib.



Gambar 4. Grafik Hasil Analisis Deskriptif Persentase Variabel Tindakan



Gambar 4. Grafik Hasil Analisis Deskriptif Persentase Variabel Tindakan (lanjutan)

Banyak tindakan yang harus dilakukan saat terjadi bencana gempa bumi. Berdasarkan hasil kuesioner variabel tindakan, responden sebagai pengguna gedung mengetahui tindakan-tindakan yang tepat dilakukan saat terjadi gempa bumi. Kejadian gempa bumi tidak dapat diprediksi oleh karena itu tindakan cepat, tepat dan tertib merupakan pilihan tindakan terbaik.

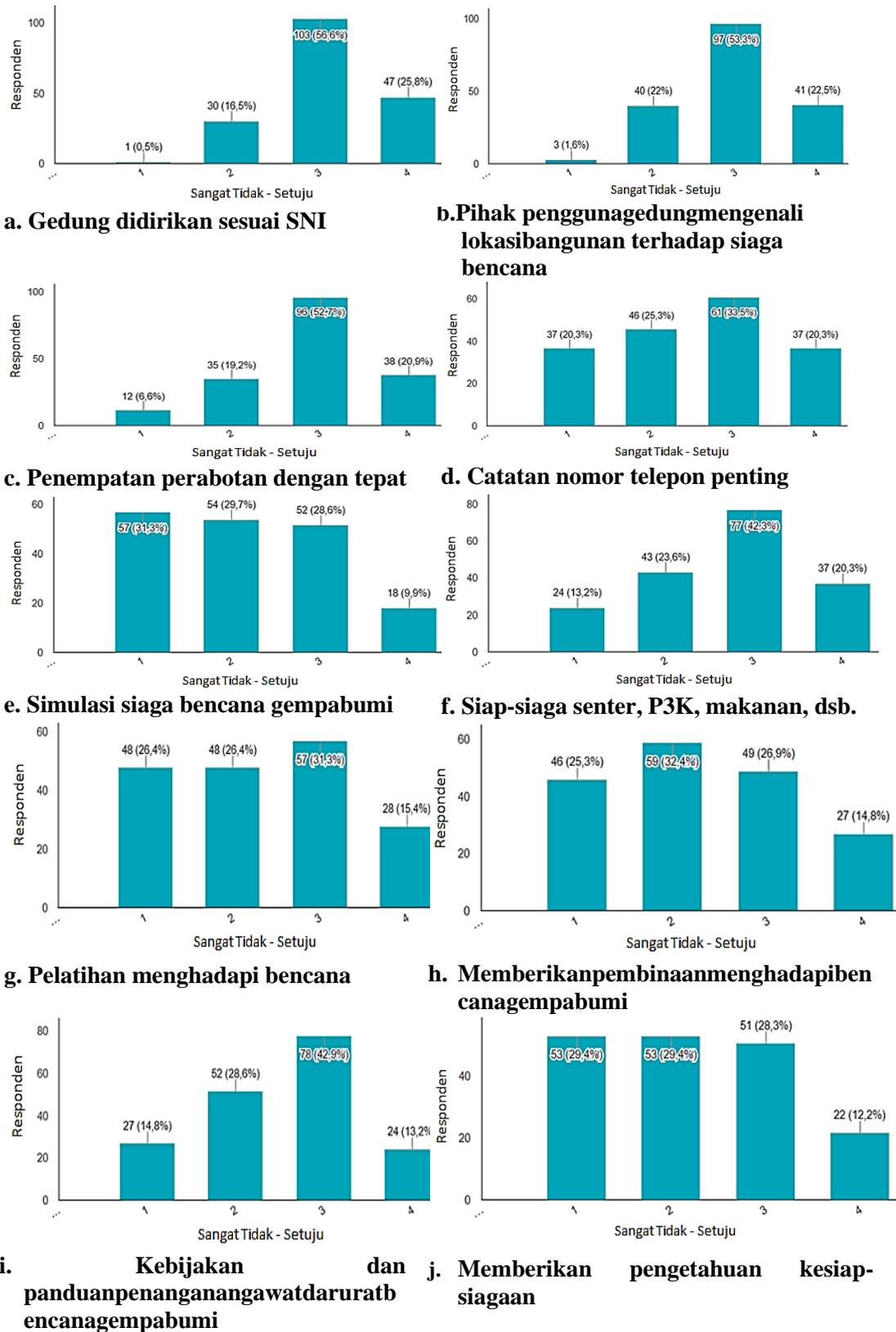
4.3 Analisis Variabel Kesiapsiagaan Bangunan

Kesiapsiagaan terhadap bencana mengurangi kerugian akibat yang ditimbulkan. Meskipun dalam lingkup kecil, kesiapsiagaan masing-masing individu membantu departemen pemerintah seperti BNPB dalam melakukan sosialisasi kesiapsiagaan pada seluruh rakyat Indonesia. Kesiapsiagaan merupakan tanggungjawab pemerintah daerah serta dilaksanakan bersama-sama masyarakat dan lembaga usaha.

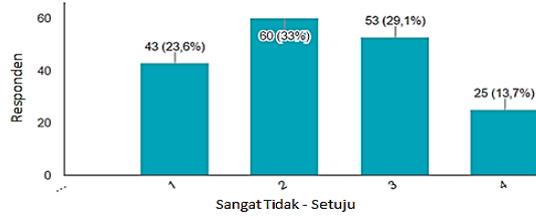
Variabel kesiapsiagaan bangunan pada kuesioner memaparkan kesiapsiagaan Gedung Pendidikan terhadap bencana gempa. Hasil kuesioner variabel kesiapsiagaan dapat dilihat pada gambar 5. Gambar 5 meliputi seluruh hasil kuesioner variabel kesiapsiagaan digambarkan dalam bentuk gambar grafik. Hasil kuesioner variabel kesiapsiagaan dipengaruhi oleh pengetahuan responden mengenai bangunan siaga bencana gempa dan tindakan yang dilakukan menghadapi kejadian bencana gempa.

Gambar 5.b “Pihak pengguna gedung mengenali lokasi bangunan terhadap siaga bencana” dengan persentase sebesar 75,8% responden menyatakan bahwa pihak pengguna gedung mengenali lokasi keberadaan bangunan sehingga 82,4% responden menyatakan bahwa Gedung dibangun sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) dapat dilihat gambar 5 mengenai pernyataan “Gedung didirikan sesuai SNI”, “Siap-siaga senter, P3K, makanan, dsb”, “Pelatihan menghadapi bencana”, “Memberikan pembinaan menghadapi bencana gempabumi”, dan mengenai “Kebijakan dan panduan penanganan gawat darurat bencana gempabumi” memperlihatkan hampir 60% responden tidak setuju bahwa pihak pengelola Gedung telah melakukan pemberian pengetahuan, pembinaan dan pelatihan/ simulasi bencana gempabumi. Menurut PERDA 2010, Pembinaan, pelatihan dan simulasi dapat diselenggarakan oleh siapapun berdasarkan tujuan pencapaian kesiapsiagaan individu menghadapi bencana.

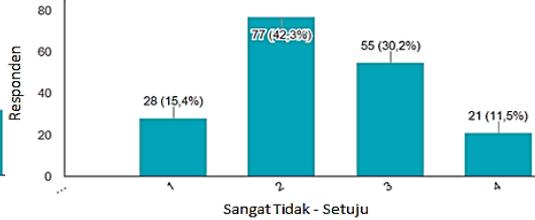
Pada umumnya responden tidak mengetahui sistem dan tidak memantau sistem peringatan dini bencana gempabumi, responden hasil kuesioner dapat dilihat pada gambar 5 mengenai “Memantau sistem peringatan dini bencana gempabumi”, dan “Tertera keterangan mengenai bencana dan kesiapsiagaan yang mudah ditemukan pada Gedung”. Menurut Undang-undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 mengenai Penanggulangan Bencana. Peringatan dini adalah serangkaian kegiatan pemberian peringatan sesegera mungkin kepada masyarakat tentang kemungkinan terjadinya bencana pada suatu tempat oleh lembaga yang berwenang. Peringatan dini terhadap Gedung Pendidikan sangat menolong seluruh pengguna gedung untuk bertindak lebih awal sebelum akibat lebih parah yang ditimbulkan oleh bencana gempabumi. Maka sekalipun gempabumi menyebabkan gedung hancur volume korban jiwa berkurang.



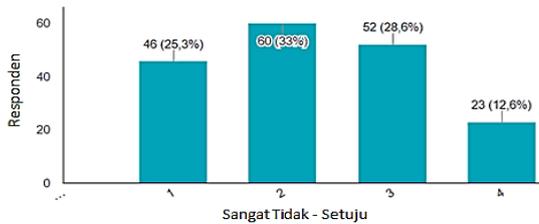
Gambar 5 Grafik Hasil Analisis Deskriptif Persentase Variabel Kesiapsiagaan



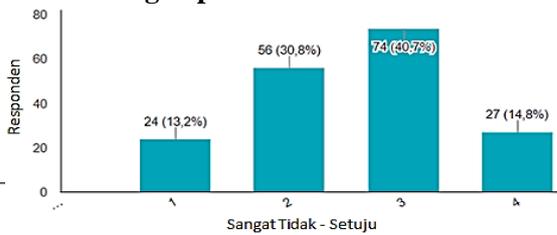
k. Rencana tanggap darurat bencana



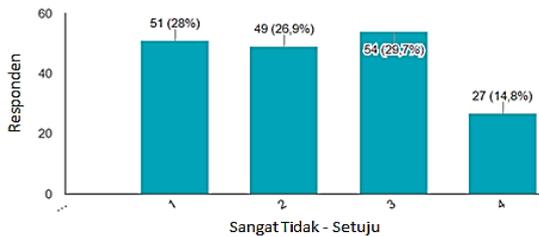
l. Memantau system peringatan dini bencana gempa bumi



m. Tertera keterangan mengenai bencana dan kesiapsiagaan yang mudah ditemukan pada Gedung



n. Mengetahui system peringatan bencana gempa bumi



o. Jalur rambu evakuasi lengkap di pasang pada Gedung

Gambar 5 Grafik Hasil Analisis Deskriptif Persentase Variabel Kesiapsiagaan (Lanjutan)

Kesiapsiagaan bencana gempa bumi berarti memiliki pengetahuan dan mengetahui tindakan menghadapi bencana gempa bumi. Responden memiliki pengetahuan dan mengetahui tindakan menghadapi bencana gempa bumi, tetapi Gedung Pendidikan belum memenuhi bangunan siaga bencana gempa. Responden merasa bahwa bencana gempa bumi adalah hal yang harus diwapa dai sehingga bangunan siaga bencana gempa perlu diwujudkan, agar terbangun kesiapsiagaan terhadap bencana gempa bumi dan dapat mengurangi risiko yang ditimbulkan.

4.4 Tips Menghadapi Bencana Gempabumi

Berikut ini adalah tips yang dapat dilakukan jika terjadi gempa bumi (KOGAMI, 2007):

1. Merunduk, lindungi kepala dan bertahan di tempat aman.
2. Beranjak beberapa langkah menuju tempat aman terdekat.
3. Tetap di dalam ruangan sampai guncangan berakhir dan anda yakin telah aman untuk keluar.

4. Menjauh dari jendela.
5. Lindungi kepala dari barang yang dapat runtuh.
6. Cari titik aman yang jauh dari kemungkinan rubuhnya, pohon, dan kabel.
7. Rapatkan badan anda ketanah.
8. Beritahu kepada seluruh keluarga dan masyarakat. Umumkan lewat pengeras suara di tempat ibadah.
9. Periksa diri anda, apakah ada yang terluka.
10. Lindungi diri anda dari bahaya selanjutnya.
11. Menolong orang lain yang terluka.
12. Memberikan pertolongan pertama terhadap korban sedera serius.
13. Jika terjadi kebakaran, cari pemadam api.
14. Matikan gas jika anda mencium bau gas atau jika menurut anda gas tersebut mengalami kebocoran.
15. Hidupkan radio atau media masa lain yang dapat memberikan intruksi dan informasi.

Kesiapsiagaan bangunan terhadap bencana gempabumi dipengaruhi oleh pengetahuan berdasarkan informasi yang diperoleh.

5. Simpulan dan Saran

5.1 Simpulan

Sebuah rambu jalur evakuasi telah dipasang di lantai 4 Gedung Pendidikan, hanya saja jumlah ini relatif kurang informatif, mengingat jumlah populasi yang cukup tinggi di bangunan gedung tersebut. Sebagian pintu menuju jalur potensial evakuasi pada Gedung Pendidikan selalu terkunci tanpa alasan jelas. Observasi menghasilkan jalur rambu evakuasi pada Gedung Pendidikan belum memadai.

Berdasarkan hasil kuesioner dan wawancara, pengguna dan pemangku kepentingan di Gedung Pendidikan memiliki pengetahuan mengenai siaga bencana gempabumi. Pengguna dan pemangku di Gedung Pendidikan mengetahui tindakan yang perlu dilakukan dalam menghadapi bencana gempabumi, akan tetapi belum ada kebijakan secara langsung dan sosialisasi kesiapsiagaan bangunan terhadap bencana gempa secara terpadu. Simpulan salah satu Gedung Pendidikan di Bandung bukan termasuk Gedung yang siapsiaga terhadap bencana gempa.

5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan untuk penelitian lebih lanjut adalah antara lain untuk melakukan penelitian evaluasi bangunan siaga bencana gempa terhadap seluruh bangunan Gedung Pendidikan, secara khusus di Bandung. Agar tercipta kesiapsiagaan

gedung sebagai tempat kegiatan pelaksanaan pendidikan dan terwujud para pengguna gedung yang siap menghadapi bencana gempa.

DAFTAR PUSTAKA

1. Afiyan. (2013, Januari 31). *Jalur Evakuasi Tepat, Semua Orang Selamat , Bagian 2 (Tamam)*. Retrieved Januari 2, 2016, from Lorco: <http://www.lorco.co.id>
2. Badan Pengembangan dan Pembinaan Bahasa. (n.d.). Retrieved Oktober 8, 2015, from Kamus Besar Bahasa Indonesia Web Site: <http://kbbi.web.id/>
3. BMKG. (2011). Sosialisasi Mitigasi Gempa Bumi Pada Gedung Bertingkat Di Kota Bandung.
4. BMKG. (2015). *Badan Meteorologi, Klimatologi , dan Geofisika*. Retrieved from <http://inatews.bmkg.go.id/new/glossary.php>
5. BMKG. (2015). *Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika*. Retrieved from http://inatews.bmkg.go.id/new/gempa_dirasakan.php
6. BNPB. (2011, Oktober). Jurnal Penanggulangan Bencana. *Jurnal Penanggulangan Bencana*.
7. BNPB. (2012). Pedoman Penerapan Sekolah/Madrasah Aman Dari Bencana.
8. Cindrawaty,L.,&Nurul,P.(2015). Kesiapsiagaan Komunitas Sekolah Dalam Menghadapi Bencana Di Kabupaten Magelang. *Jurnal Teknik Sipil*, 1-75
9. Djohanputro, B. (2013, May 21). *PPM Manajemen*. Retrieved 2015, from Wordpress: <https://manajemenppm.wordpress.com/2013/05/21/manajemen-bencana-disaster-management/>
10. Edwin Syalli Siregar, Y. A. (2015). *Jurnal Online ITENAS. Usulan Perancangan Jalur Evakuasi Menggunakan Algoritma Dijkstra*.
11. Ella Yulaelawati, P., & Usman Syihab, P. (2008). *Mencerdasi Bencana: banjir, tanah longsor, tsunami, gempa bumi, gunung api, kebakaran*. Jakarta: Grasindo.
12. Gubernur. (2007). *Patent No. 5. Sumatra Barat*.
13. Husein, R. (2009). Jalur Evakuasi Gempa Dilupakan.
14. Husein, R. (2013). Siaga Darurat Bencana.
15. Nurchayat, N. A. (2014). Skripsi. In *Perbedaan Kesiapsiagaan Menghadapi Bencana Gempa Bumi Antara Kelompok Siswa Sekolah Dasar yang Dikelola dengan Strategi Pedagogi dan Andragogi*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
16. PERDA. (2007). *Peraturan Daerah Provinsi Sumatera Barat*.
17. PERDA. (2010). *Peraturan Daerah Provinsi Jawa Barat Nomor 2 Tahun 2010 Tentang Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana*.

18. PERDA. (2013). Peraturan Daerah Kabupaten Bandung Nomor 2 Tahun 2013 Tentang *Perda Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana Di Kabupaten Bandung*.
19. Permana, H., Carolita, I., & Rasyid, M. (2007). *Pedoman Pembuatan Peta Jalur Evakuasi Bencana Tsunami*. Jakarta: Kementrian Negara Riset dan Teknologi.
20. Prof. Ir. Sukandarrumidi, M. P. (2010). *Bencana Alam & Bencana Anthropogene*. Yogyakarta: Kanisius.
21. Rachmat, A. (2015). Partisipasi Masyarakat Dalam Mitigasi.
22. UNDANG-UNDANG. (2007). *UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 24 TAHUN 2007 TENTANG PENANGGULANGAN BENCANA*. Jakarta.
23. UNDANG-UNDANG. (2008). *UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 8 TAHUN 2008 TENTANG BADAN NASIONAL PENANGGULANGAN BENCANA*. Jakarta.
24. UNESCO. (2007). *Kajian Kesiapsiagaan Masyarakat dalam Mengantisipasi Bencana Gempa Bumi dan Tsunami di Nias Selatan*. Jakarta: UNESCO.
25. UNESCO. (2015). *www.sigana.web.id*. Retrieved from *www.sigana.web.id*: <http://www.sigana.web.id/index.php/gempa-bumi.html>
26. Vision, World. (2011). *Sekolahku Siaga Bencana*. Padang: World Vision.
27. Yulianto, F. (2011). Management Bencana Di Indonesia.
28. Yulianto, F. (2015). Management Bencana Di Indonesia. *Siklus Disaster Management atau Disaster Management*.

PEDOMAN PENULISAN JURNAL TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA

1. Jurnal Teknik Sipil UKM merupakan jurnal ilmiah, hasil penelitian, atau studi literatur disertai analisis ilmiah dalam bidang teknik sipil.
2. Tulisan harus asli dan belum pernah dipublikasikan sebelumnya, dikirim dengan mencantumkan kelompok bidang keahlian dalam teknik sipil.
3. Apabila pernah dipresentasikan dalam seminar, agar diberi keterangan lengkap.
4. Naskah ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris yang benar, singkat, jelas dilengkapi dengan abstrak dan kata kunci dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris.
5. Naskah ditulis pada kertas A4, menggunakan Microsoft® Word dengan ketentuan sebagai berikut :
 - a. Judul ditulis dengan huruf kapital, **TIMES NEW ROMAN**, ukuran 13, huruf tebal.
 - b. Abstrak ditulis dengan huruf biasa, Times New Roman, ukuran 10, spasi 1, demikian juga dengan kata kunci.
 - c. Isi naskah ditulis dengan huruf biasa, Times New Roman, ukuran 11, spasi 1.5.
 - d. Jumlah halaman beserta lampiran minimal 20 halaman, maksimal 30 halaman.
 - e. Jumlah halaman untuk lampiran maksimal 20% dari jumlah halaman total.
 - f. Nama penulis ditulis tanpa pencantuman gelar akademik.
 - g. Penulisan sub bab disertai nomor, contoh :
 - 1. HURUF KAPITAL**
 - 1.1 Huruf Biasa**
 - h. Gambar diberi nomor dan keterangan gambar ditulis dibawah gambar.
 - i. Tabel diberi nomor dan keterangan tabel ditulis diatas tabel.
 - j. Daftar pustaka ditulis dengan format sebagai berikut :
 1. Timoshenko, S.P, Young, D.H., (1995). *Theory of Structures*, McGraw Hill Book Co, New York.
 - k. Kata-kata asing (jika naskah ditulis dalam bahasa Indonesia) dicetak *miring*.
6. Menggunakan sistematika penulisan sebagai berikut :
 - a. Judul Naskah.
 - b. Nama penulis utama, penulis pembantu.
 - c. Abstrak dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris.
 - d. Kata kunci.
 - e. Pendahuluan (berisi latar belakang, tujuan, ruang lingkup, dan metodologi).
 - f. Isi (tinjauan pustaka).
 - g. Studi Kasus (data, studi kasus, dan pembahasan)
 - h. Penutup (kesimpulan, saran, dan daftar pustaka).
7. Naskah dikirim dalam bentuk *file* via E-mail.
8. Naskah yang masuk redaksi akan ditinjau oleh penelaah ahli dalam bidangnya sebelum diterbitkan.
9. Jurnal terbit 2x dalam setahun pada bulan April dan Oktober.