

PERENCANAAN PERBAIKAN TANAH LUNAK MENGGUNAKAN METODE *PRELOADING* DAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN* (PVD) PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL TRANS SUMATERA SEKSI TEBING TINGGI – INDERAPURA

M. Husni Malik Hasibuan, Bangun Pasaribu, Feby Ingriyana Utami

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara

husnihasibuan@ft.uisu.ac.id; bangun@ft.uisu.ac.id; febyingriyana0809@gmail.com

Abstrak

Jalan tol merupakan infrastruktur yang menghubungkan pusat-pusat pertumbuhan ekonomi utama guna memaksimalkan supply chain system. Salah satu jalan tol yang digunakan pada penelitian ini yaitu Jalan Tol Trans Sumatera. Hasil yang didapat dari penyelidikan tanah terdapat beberapa tempat yang kondisi tanahnya adalah tanah lunak. Pada STA tersebut nilai *N-SPT* yang didapat dari hasil pengujian lapangan yaitu sekitar 1 sampai <9 yang letaknya kurang lebih pada kedalaman 3 m -10 m dengan kedalaman muka air tanahnya 3,5 m di bawah permukaan tanah. Tanah lunak memiliki sifat kuat geser yang rendah dan kompresibilitas tinggi dan dapat menyebabkan tidak stabil serta terjadinya penurunan berlebihan, kemudian akan merusak konstruksi atau bangunan di atasnya. Dari masalah tersebut harus dilakukan tindakan agar tanah tidak lunak dan dapat didirikan bangunan di atasnya. Dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *preloading* dan dikombinasikan dengan metode *vertical drain* tipe *prefabricated vertical drain* (PVD). Dalam penelitian ini menggunakan data tanah lapangan boring log dan data *N-SPT*, data pengujian laboratorium, spesifikasi PVD dan gambar existing. Sedangkan perhitungannya menggunakan persamaan dari berbagai sumber buku dan jurnal yang pernah diteliti sebelumnya.

Kata Kunci : Tanah, Perbaikan Tanah, *Preloading*, PVD

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah memiliki peranan penting pada pembangunan konstruksi hal itu dikarenakan tanah adalah landasan yang paling utama untuk bisa berdirinya suatu konstruksi atau suatu bangunan. Hal ini mengharuskan tanah dalam kondisi yang benar-benar baik agar dapat dipakai untuk pekerjaan konstruksi.

Sifat tanah ada berbagai macam jenis, disalah satu jenisnya terdapat jenis tanah yang tidak diinginkan yaitu tanah yang sangat lunak. Tanah lunak ini dapat mengakibatkan konstruksi yang ada di atasnya runtuh. Untuk memperbaiki tanah tersebut agar dapat dipakai dengan baik adalah dengan stabilitas tanah. salah satu metode umum yang sering digunakan untuk mengatasi penurunan tanah adalah dengan pra – pembebanan (*preloading*) di padukan dengan menggunakan *vertical drain* material yang digunakan adalah *Prefabricated Vertical Drain* (PVD).

Drainase vertikal ini sudah mulai banyak digunakan di beberapa proyek atau di dunia konstruksi untuk mempercepat penurunan konsolidasi, terutama pada pembangunan timbunan jalan. Adapun keuntungan dari pemakaian PVD ini dan kemudian dibandingkan dengan drainase pasir adalah dapat memperkecil adanya gangguan tanah yang mengurangi kinerja drainase.

Pada penelitian ini menggunakan *Preloading* yang dikombinasikan dengan *Prefabricated Vertical Drain* karena tanah pada tempat penelitian ini

merupakan jenis tanah lunak yang umumnya memiliki daya dukung tanah rendah dan permeabilitas yang rendah. Dan metode ini dinilai sebagai metode ini dinilai sebagai metode yang cukup efektif dan efisien untuk meningkatkan daya dukung tanah lunak.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dapat diketahui rumusan permasalahan yang terdapat pada penelitian ini adalah :

1. Berapakah besarnya waktu penurunan dengan *preloading* apabila tanpa PVD?
2. Berapakah besarnya waktu penurunan dengan *preloading* apabila menggunakan PVD?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Sistem konsolidasi tanah menggunakan *preloading* dan PVD.
2. Pola pemasangan PVD menggunakan pola segitiga.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari skripsi ini, adalah untuk :

1. Mengetahui waktu penurunan dengan *preloading* apabila tanpa PVD.
2. Mengetahui besarnya waktu penurunan tanah apabila menggunakan *preloading* dan PVD.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Dalam pandangan teknik sipil tanah merupakan himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (loose) yang letaknya diatas batu dasar (bedrock) (Hardiyatmo,2002).

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut Das (1995).

2.2 Karakteristik Tanah Lunak

Menurut Das (1995);Hardiyatmo (2016) dan Wesley (2010), bahwa tanah lempung (clays) sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung (clays mineral), dan mineral-mineral yang sangat halus lain.

Lapisan tanah lempung (clay) atau lanau (silt) disebut dengan lapisan tanah lunak. Istilah “tanah lunak” berhubungan dengan tanah-tanah yang jika tidak diperhatikan secara seksama dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir disebabkan karena tanah tersebut mempunyai kuat geser yang rendah dan kompreibilitas yang tinggi.

2.3 Jalan Tol dan Pembebanan

Menurut Pasal 1, Pasal 9, Pasal 43, Pasal 44, Undang – Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan menyatakan bahwa :

1. Tol adalah sejumlah uang tertentu yang dibayarkan untuk pengguna jalan tol.
2. Jalan umum adalah jalan yang diperuntukkan bagi lalu lintas umum.
3. Jalan umum menurut statusnya dikelompokkan ke dalam jalan nasional, jalan provinsi, jalan kabupaten, jalan kota, dan jalan desa.

2.4 Penurunan

Penurunan segera (immediately settlement) merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air.

$$S_t = S_i + S_c + S_s$$

Di mana :

S_t = Penurunan total (m)

S_i = Penurunan segera (m)

S_c = Penurunan konsolidasi primer (m)

S_s = Penurunan konsolidasi sekunder (m)

2.5 Pra Pembebanan (Preloading)

Prapembebanan (*preloading*) merupakan timbunan sementara yang hanya berfungsi pengganti

beban perkerasan dan beban lalu lintas dan nantinya akan dibongkar, kemudian setelah dibongkar akan dibangun lapisan perkerasannya.

$$H_{t\ awal} = \frac{(q_o + (S_t \times \gamma_{timb}) + (S_t \times \gamma'_{timb}))}{\gamma_{timb}}$$

$$H_{t\ akhir} = H_{t\ awal} - S_t$$

Di mana :

$H_{t\ awal}$ = Tinggi timbunan awal (m)

$H_{t\ akhir}$ = Tinggi timbunan akhir (m)

H_{sg} = Tinggi timbunan rencana (m)

S_t = Penurunan total (m)

q_o = Beban total (kN/m²)

γ_w = Beban lalu lintas (kN/m³)

γ_{timb} = Volume timbunan (kN/m³).

2.6 Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Keuntungan lain dari penggunaan drainase vertikal pada proyek jalan raya adalah sejalan dengan bertambahnya kecepatan konsolidasi, kepadatan dan kuat geser tanah juga bertambah dengan cepat. Ada dua tipe drainase vertikal, yaitu Drainase pasir vertikal (sand drain) dan Drainase vertikal pracetak (prefabricated vertical drain, PVD).

$$C_h = (1 s/d 4) \times C_v$$

Di mana :

C_h = Koefesien konsolidasi arah radial

C_v = Koefesien konsolidasi arah vertikal

Untuk drainase gabungan ke arah 79 able 79al dan radial sekaligus, derajatkonsolidasi rata-rata dinyatakan dalam persamaan :

$$U = 1 - (1 - U_v)(1 - U_h)$$

Di mana :

U = Derajat konsolidasi rata-rata

U_v = Derajat konsolidasi arah 79able79al

U_h = Derajat konsolidasi arah radial.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi perencanaan penelitian perbaikan tanah lunak dilakukan di Proyek Pembangunan Jalan Tol Seksi Tebing Tinggi – Inderapura. Secara administratif lokasi proyek Pelaksanaan Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera Seksi Tebing Tinggi – Inderapura berlokasi di Provinsi Sumatera Utara.

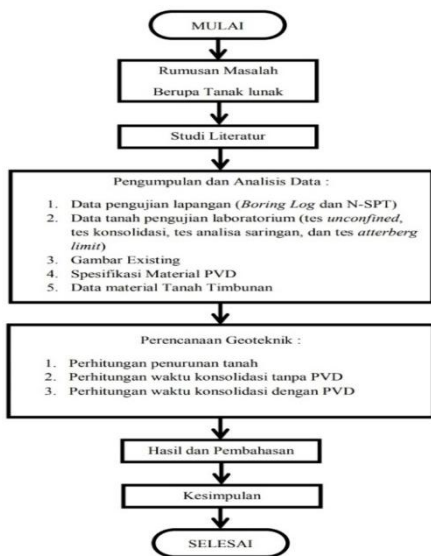
3.2 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data pengujian tanah dan spesifikasi PVD sebagai berikut :

1. Data tanah dasar
2. Data material tanah timbunan
3. Data spesifikasi material PVD
4. Gambar existing

3.3 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 bagan alir berikut ini :



Gambar 1. Bagan alir penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data tanah dasar pengujian lapangan
2. Data tanah dasar pengujian laboratorium
3. Spesifikasi material PVD
4. Data material tanah timbunan

4.2 Hasil

Hasil penelitian ini mengacu pada landasan teori yang terdapat pada tinjauan pustaka dan metode pelaksanaan.

4.2.1 Perhitungan waktu konsolidasi tanpa PVD

Perhitungan waktu konsolidasi tanpa PVD dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4 \times T_v}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4T_v}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,179}}$$

Perhitungan dilakukan dengan menentukan nilai waktu (t) berulang sampai nilai derajat konsolidasi 80able80al (U_v) mencapai 0,9 (90%). Dimana nilai koefisien konsolidasi (C_v) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai parameter tanah dasar

Lapisan	Tebal	C_v
2,5 – 5	2,5	0,009843
5 – 7,8	2,8	0,011100
7,8 – 10,5	2,7	0,012141

Contoh perhitungan :
Percobaan 1

$$t = 1 \text{ hari}$$

$$L = 7 \text{ m}$$

$$H_t = L/2$$

$$= 7/2$$

$$= 3,5 \text{ m}$$

$$C_v \text{ gab} = \frac{(H_1 + H_2 + H_3)^2}{\left[\frac{H_1}{C_{v1}} + \frac{H_2}{C_{v2}} + \frac{H_3}{C_{v3}}\right]^2}$$

$$= \frac{(2,5 + 2,8 + 2,7)^2}{\left[\frac{2,5}{0,009843} + \frac{2,8}{0,011100} + \frac{2,7}{0,012141}\right]^2}$$

$$= 0,011 \text{ m}^2/\text{hari}$$

Maka,

$$T_v = \frac{t \times C_v}{H_t^2}$$

$$= \frac{1 \times 0,011}{3,5^2}$$

$$= 0,0009$$

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4 \times T_v}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4T_v}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,179}}$$

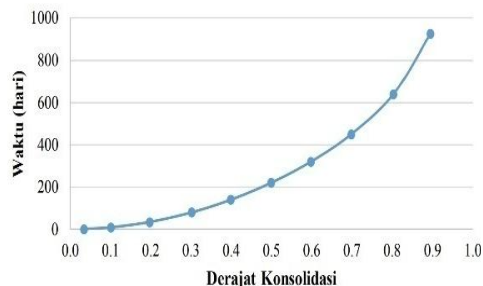
$$= \frac{\sqrt{\frac{4 \times 0,0009}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4 \times 0,0009}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,179}}$$

$$= 0,03$$

Tabel 2. Hasil percobaan waktu konsolidasi tanpa PVD

t (hari)	H_t (m)	C_v (m^2/hari)	T_v	U_v
1	3,50	0,011	0,0009	0,03
9	3,50	0,011	0,0081	0,10
34	3,50	0,011	0,0305	0,20
80	3,50	0,011	0,0718	0,30
140	3,50	0,011	0,1257	0,40
220	3,50	0,011	0,1975	0,50
320	3,50	0,011	0,2873	0,60
450	3,50	0,011	0,4041	0,70
640	3,50	0,011	0,5747	0,80
925	3,50	0,011	0,8306	0,90

Maka, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 0,90 adalah 925 hari atau sama dengan 2,5 tahun. Untuk hubungan derajat konsolidasi dengan waktu konsolidasi dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 2. Grafik hubungan derajat konsolidasi dengan waktu pada penurunan tanpa

4.2.2 Perhitungan waktu konsolidasi menggunakan PVD

Perhitungan waktu konsolidasi dengan perencanaan PVD dapat dihitung menggunakan rumus derajat konsolidasi rata-rata berikut.

$$U = 1 - (1 - U_v)(1 - U_h)$$

Perhitungan dilakukan dengan menentukan nilai waktu (t) berulang sampai nilai derajat konsolidasi rata-rata (U) mencapai 0,9 (90%).

Di mana,

Lebar PVD (a) = 100 mm = 0,1 m

Tebal PVD (b) = 3 mm = 0,003 m

Contoh perhitungan :

Untuk jarak antar PVD (s) = 1,2 m

Percobaan 1

$t = 1 \text{ hari}$

$L = 7 \text{ m}$

$H_t = L/2$

$= 7/2$

$= 3,5 \text{ m}$

$$C_{v \text{ gab}} = \frac{(H_1 + H_2 + H_3)^2}{\left[\frac{H_1}{C_{v1}} + \frac{H_2}{C_{v2}} + \frac{H_3}{C_{v3}} \right]^2}$$

$$= \frac{(2,5 + 2,8 + 2,7)^2}{\left[\frac{2,5}{0,009843} + \frac{2,8}{0,011100} + \frac{2,7}{0,012141} \right]^2}$$

$= 0,011 \text{ m}^2/\text{hari}$

Maka,

$$T_v = \frac{t \times C_v}{H_t^2}$$

$$= \frac{1 \times 0,011}{3,5^2}$$

$= 0,0009$

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4 \times T_v}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4 \times T_v}{\pi} \right)^{2,8} \right)^{0,179}}$$

$$= \frac{\sqrt{\frac{4 \times 0,0009}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4 \times 0,0009}{\pi} \right)^{2,8} \right)^{0,179}}$$

$= 0,03$

$$U_h = 1 - \exp\left(\frac{-8 \times T_h}{F(n)}\right)$$

$$= 1 - \exp\left(\frac{-8 \times 0,021}{2,21}\right)$$

$= 0,07$

$$U = 1 - (1 - U_v)(1 - U_h)$$

$$= 1 - (1 - 0,03)(1 - 0,07)$$

$= 0,10$

Rekap hasil perhitungan percobaan waktu konsolidasi pada jarak 1,2 m, 1,3 m, dan 1,4 m hingga mendapatkan derajat konsolidasi rata-rata 0,9 (90%) dapat terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil percobaan waktukonsolidasi dengan PVD jarak 1,2 m

t (hari)	T_v	U_v	U_h	U
1	0,0009	0,03	0,07	0,10
2	0,0018	0,05	0,14	0,18
3	0,0027	0,06	0,20	0,25
4	0,0036	0,07	0,26	0,31
6	0,0054	0,08	0,36	0,42
8	0,0072	0,10	0,45	0,51
11	0,0099	0,11	0,56	0,61
14	0,0126	0,13	0,65	0,70
19	0,0171	0,15	0,76	0,80
28	0,0251	0,18	0,88	0,90

Maka, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 0,90 pada jarak 1,2 m adalah 28 hari.

Tabel 4. Hasil percobaan waktu konsolidasi dengan PVD jarak 1,3 m

t (hari)	T_v	U_v	U_h	U
1	0,0009	0,03	0,06	0,09
2	0,0018	0,05	0,12	0,16
3	0,0027	0,06	0,17	0,22
5	0,0045	0,08	0,27	0,32
7	0,0063	0,09	0,35	0,41
10	0,0090	0,11	0,46	0,52
13	0,0117	0,12	0,55	0,61
17	0,0153	0,14	0,65	0,70
23	0,0207	0,16	0,76	0,80
34	0,0305	0,20	0,88	0,90

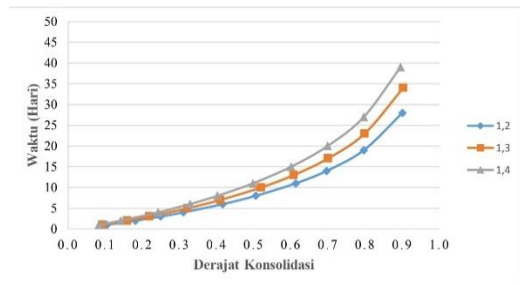
Maka, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 0,90 pada jarak 1,3 m adalah 34 hari.

Tabel 5. Hasil percobaan waktu konsolidasi dengan PVD jarak 1,3 m

T (hari)	T_v	U_v	U_h	U
1	0,0008	0,03	0,05	0,08
2	0,0018	0,05	0,10	0,14
4	0,0036	0,07	0,19	0,24
6	0,0054	0,08	0,27	0,33
8	0,0072	0,10	0,34	0,40
11	0,0099	0,11	0,43	0,50
15	0,0135	0,13	0,54	0,60
20	0,0180	0,15	0,64	0,70
27	0,0242	0,18	0,75	0,80
39	0,0350	0,21	0,87	0,90

Maka, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 0,90 pada jarak 1,4 m adalah 39 hari.

Berdasarkan hasil seluruh perhitungan waktu konsolidasi menggunakan pada setiap jarak dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 3. Grafik hubungan derajat konsolidasi dengan waktu terhadap penurunan tanah menggunakan PVD

4.3 Pembahasan

Tanah pada lokasi penelitian ini berdasarkan data penyelidikan tanah telah menunjukkan bahwa tanah merupakan tanah lempung lunak dengan kondisi jenuh air. Untuk menghindari penurunan tanah yang dapat merusak konstruksi yang telah dibangun diatas tanah tersebut, maka harus dilakukan perbaikan tanah. Dalam penelitian ini, metode perbaikan tanah yang digunakan adalah metode preloading yang dikombinasikan dengan metode vertical drain tipe prefabricated vertical drain (PVD).

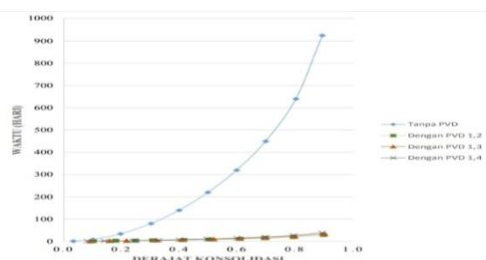
Waktu penurunan yang diperoleh dari kombinasi metode preloading dan PVD menggunakan persamaan untuk jarak 1,2 m, 1,3 m, dan 1,4 m memiliki hasil yang berbeda-beda. Dari penurunan tanah yang terjadi akibat perencanaan metode preloading dan PVD, diketahui bahwa waktu yang diperoleh pada saat derajat konsolidasi rata-rata (U) = 90% yaitu 28 – 39 hari. Hasil ini lebih cepat dibandingkan dengan ketika metode preloading saja.

Perbandingan hasil waktu penurunan dan efektifitasnya dibuat ke dalam tabel yang dapat dilihat pada table di bawah ini.

Tabel 6. Perbandingan hasil waktu penurunan tanah

Metode	Jarak (m)	Waktu (hari)
Preloading		925
Preloading dan PVD	1,2	28
	1,3	34
	1,4	39

(Sumber :Hasil waktu penurunan tanah)



Gambar 4. Grafik perbandingan waktu penurunan tanah

Penjelasan Gambar 4 Grafik perbandingan waktu penurunan tanah apabila :

- Menggunakan metode preloading tanpa PVD adalah 925 hari
- Dikombinasikan dengan PVD dengan jarak 1,2 meter adalah 28 hari
- Dikombinasikan dengan PVD dengan jarak 1,3 meter adalah 34 hari
- Dikombinasikan dengan PVD dengan jarak 1,4 meter adalah 39 hari

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dalam perencanaan perbaikan tanah menggunakan metode preloading dan prefabri cated vertical drain (PVD) diperoleh kesimpulan :

1. Pada perencanaan metode *preloading* tanpa PVD didapatkan waktuk on solidasi pada saat $U_v = 90\%$ adalah 925 hari atau 2,5 tahun. Setelah dikombinasikan dengan PVD hasil waktu penurunan menjadi lebih cepat saat $U = 90\%$ menjadi antara 28 – 39 hari tergantung dengan jarak yang digunakan.
2. Dapat diketahui bahwa dalam perencanaan PVD semakin dekat jarak pemasangannya maka waktu penurunannya juga semakin cepat.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian akan diberikan saran sebagai berikut :

1. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat memperhitungkan waktu penurunan dengan menggunakan Software Analisis Numerik seperti plexus untuk dapat dibandingkan.
2. Untuk penelitian selanjutnya, bisa menggunakan metode lain yang dapat mempercepat waktu penurunan seperti metode *vacuum preloading*, dikombinasikan dengan metode *dynamic compaction* pada timbunan atau tanah timbunan digiling menggunakan *sheep foot roller*.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Das, B.M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Penerbit Erlangga. Jakarta.

[2]. Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan dan Jalan Raya (PPPJJR)*. Jakarta.

[3]. Direktorat Jendral Bina Marga. 2009. *Geometri Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol No.007/BM/2009*. Penerbit Direktorat Jendral Bina Marga.

[4]. FHWA. 1986. *Prefabricated Vertical Drain, Volume – 1 : Engineering Guidelines, Federal Highway Administration, Report FHWA/RD-86/168, September 1986*”.

- [5]. Hardiyatmo, H.C., 2007. *Mekanika Tanah II, Edisi Ke Empat*. GadjahMada University Press. Yogyakarta.
- [6]. Hardiyatmo, H.C., 2010. *Mekanika Tanah I, Edisi Ke Ketujuh*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- [7]. Hardiyatmo, H.C., 2016. *Teknik Pondasi I, Edisi Ke Tiga*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- [8]. Hardiyatmo, H.C., 2020. *Perbaikan Tanah*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- [9]. Jamiolkowski, M., Lancellota, R. and Wolski, W. 1983. *Precompression and speeding up consolidation. Proceedings, Eighth European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol. 3. Helsinki.
- [10]. Kementerian Pekerjaan Umum. 2017. *Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2017*. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- [11]. Terzaghi, K dan R.B. Peck. 1996. *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa I*. Alih bahasa Bagus, W., dan K. Benny. Penerbit Erlangga. Jakarta
- [12]. Wesley, L.D., 2010. *Mekanika Tanah untuk Tanah Endapan dan Residu*. Penerbit Andi, Yogyakarta.