

# **Analisis Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Metode Kolom Grout Modular Pada Area *Pick Up Zone* di Bandar Udara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang**

**WIDIANTO IMANUDIN<sup>1</sup>, INDRA NOER HAMDHAN<sup>2</sup>**

1. Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
  2. Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
- Email: widiantoo589@gmail.com

## **ABSTRAK**

*Bandar Udara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang merupakan area pelayanan bagi titik perpindahan dari sistem transportasi udara sehingga semua fasilitas pada bandar udara harus berada pada kondisi yang prima, namun Jalan Akses Pick Up Zone yang merupakan jalur mobilisasi penumpang mengalami penurunan tanah yang signifikan. Hal tersebut disebabkan oleh masih berlangsungnya penurunan tanah terutama pada tanah timbunan sehingga dilakukannya perbaikan tanah menggunakan Kolom Grout Modular (KGM). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbaikan tanah dengan memvariasikan diameter, tebal Load Transfer Platform (LTP), spasi, kedalaman serta pola pemasangan untuk mengurangi besar penurunan yang terjadi dan meningkatkan daya dukung tanah. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode Finite Element Method (FEM) dan bantuan software Plaxis 3D. Hasil analisis menunjukkan variasi yang efisien dengan diameter 0,25m, spasi 1m, kedalaman 14,5m dan pola pemasangan rectangular.*

**Kata Kunci :** Perbaikan Tanah, Kolom Grout Modular, Plaxis 3D, FEM, Variasi Kolom Grout Modular

## **1. PENDAHULUAN**

Bandar udara memegang peranan yang sangat penting di dalam suatu sistem transportasi udara, dimana semua kegiatan penerbangan akan berawal dan berakhir di tempat ini, sehingga Bandar Udara dapat dikatakan sebagai suatu areal pelayanan bagi titik perpindahan dari sistem transportasi udara maupun sebaliknya. Bandara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang, pada tahun 2018 telah memindahkan seluruh operasional bandara dari terminal lama ke terminal baru dengan kapasitas yang jauh lebih besar dengan seluruh fasilitas merupakan fasilitas baru baik sisi darat maupun sisi udara kecuali *Runway*.

Dengan kondisi fasilitas yang merupakan fasilitas baru, seharusnya kondisi fasilitas tersebut dalam kondisi yang sempurna. Namun, setelah diamati dan dilakukan penyelidikan, ditemukan bahwa kondisi tanah hampir diseluruh area khususnya tanah timbunan, masih belum mengalami settlement sehingga berdampak pada penurunan tanah yang masih berlangsung

---

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional

<sup>2</sup> Dosen Tetap, Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional

pada saat terminal baru dan seluruh fasilitasnya dioperasikan. Penurunan paling signifikan ditemukan pada Jalan Akses Pick Up Zone yang secara visual bisa dilihat dengan jelas.

Dengan adanya permasalahan tersebut maka diperlukan penanganan lebih lanjut dengan jenis tanah diarea tersebut adalah tanah lunak dengan kondisi tanah yang masih mengalami penurunan maka dilakukan perbaikan tanah menggunakan Kolom Grout Modular (KGM) dengan memvariasikan diameter, ketebalan LTP, kedalaman, spasi serta pola pemasangan untuk mencari nilai reduksi penurunan yang paling efisien.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam metodologi penelitian ini hal yang pertama dilakukan adalah merumuskan masalah dari penelitian, pada tahap kedua dilakukan studi pustaka hal ini dilakukan untuk merangkum teori-teori yang berkaitan dengan studi penelitian baik dari jurnal-jurnal ilmiah terkait, dari buku anjuran maupun dari penelitian-penelitian terdahulu, pada tahap ketiga dilakukan pengumpulan data untuk menunjang kebutuhan penelitian berupa data sekunder, selanjutnya yang dilakukan adalah melakukan pemodelan pada kondisi tanah ekisting dengan bantuan *software* Plaxis 3D menggunakan metode analisis *Finite Element Method* (FEM) lalu tahap selanjutnya adalah melakukan kontrol elevasi penurunan dari data hasil monitoring hingga didapatkan penurunan yang sesuai dengan data hasil monitoring, pada tahap selanjutnya dilakukan pemodelan tanah menggunakan *KGM* pada kondisi tanah eksisting dengan memvariasikan diameter, ketebalan LTP, spasi, kedalaman serta pola pemasangan untuk mencari nilai reduksi penurunan yang paling efektif. Analisis dan pembahasan dilakukan pada setiap variasi untuk mendapatkan kolom yang efektif dalam mereduksi penurunan kemudian tahap terakhir yaitu menarik kesimpulan dari setiap hasil variasi yang dilakukan dan mendapatkan hasil akhir terpilihnya diameter, kedalaman, spasi serta pola pemasangan yang mereduksi secara efektif.

## 3. PEMBAHASAN

Pembahasan yang akan dilakukan adalah menganalisis hasil pemodelan dengan bantuan *software* Plaxis 3D dengan pendekatan elemen hingga sesuai dengan variasi-variasi yang telah ditentukan pada metodologi penelitian dengan tujuan mencari dimensi dari Kolom Grout Modular (KGM) sebagai perbaikan tanah pada daerah penelitian.

### 3.1 Hasil Analisis Variasi Diameter

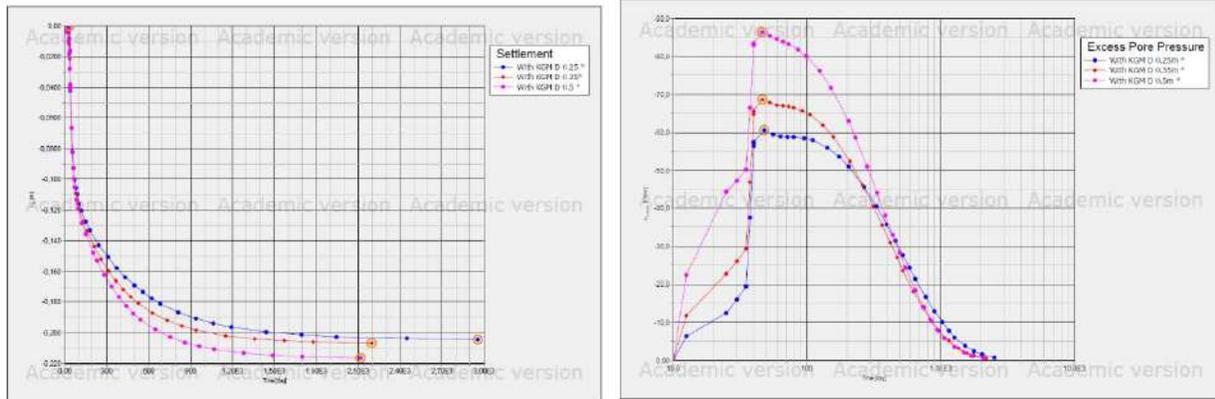
Resume serta kurva perbandingan nilai reduksi penurunan dan reduksi waktu konsolidasi variasi diameter dapat dilihat pada tabel 1, tabel 2 dan gambar 1 dibawah ini

**Tabel 1 Resume Nilai Reduksi Penurunan Variasi Diameter**

REKAPITULASI HASIL VARIASI DIAMETER											
D (m)	S(m)	Geometri (m)			Banyak Tiang	Tebal LTP (m)	Penurunan				
		Panjang Timbunan	Lebar	Kedalaman			Tanpa KGM	Dengan KGM	$\Delta$ Penurunan	% $\Delta$ Penurunan	
0.25	1	35	2	14,5	68	0,7	1,053	0,204	0,849	81%	
0.35	1	35	2	14,5	68	0,7	1,053	0,207	0,846	80%	
0.5	1	35	2	14,5	68	0,7	1,053	0,216	0,837	79%	

**Tabel 2 Resume Nilai Reduksi Waktu Konsolidasi Variasi Diameter**

REKAPITULASI HASIL VARIASI DIAMETER											
D (m)	S(m)	Geometri (m)			Banyak Tiang	Tebal LTP (m)	Waktu Konsolidasi (day)				
		Panjang Timbunan	Lebar	Kedalaman			Tanpa KGM	Dengan KGM	$\Delta$ Waktu	% $\Delta$ Reduksi Waktu	
0.25	1	35	2	14,5	68	0,7	8620	2450	6170	72%	
0.35	1	35	2	14,5	68	0,7	8620	2196	6424	75%	
0.5	1	35	2	14,5	68	0,7	8620	2115	6505	75%	



**Gambar 1 Kurva Perbandingan Penurunan dan *Pore Pressure* dengan Variasi Diameter**

### 3.2 Hasil Analisis Variasi Spasi

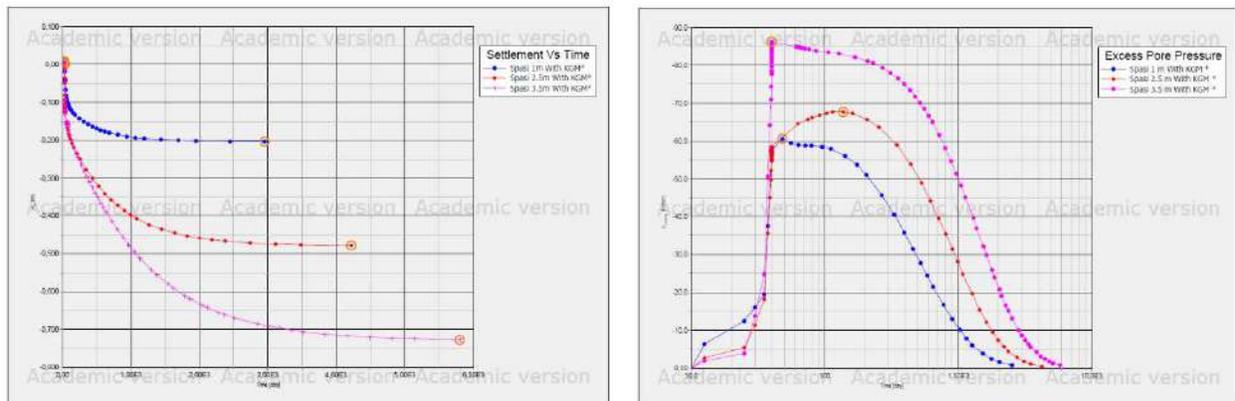
Resume serta kurva perbandingan nilai reduksi penurunan dan reduksi waktu konsolidasi variasi besar nilai spasi dapat dilihat pada tabel 3, tabel 4 dan gambar 2 dibawah ini

**Tabel 3 Resume Nilai Reduksi Penurunan Variasi Spasi**

REKAPITULASI HASIL VARIASI SPASI										
D (m)	S(m)	Geometri (m)			Banyak Tiang	Tebal LTP (m)	Penurunan			
		Panjang Timbunan	Lebar	Kedalaman			Tanpa KGM	Dengan KGM	$\Delta$ Penurunan	% $\Delta$ Penurunan
0.25	1	35	2	14,5	68	0,7	1,053	0,204	0,849	81%
0.25	2,5	35	5	14,5	28	1,75	1,057	0,478	0,579	55%
0.25	3,5	35	7	14,5	20	2,45	1,050	0,728	0,322	31%

**Tabel 4 Resume Nilai Reduksi Waktu Konsolidasi Variasi Spasi**

REKAPITULASI HASIL VARIASI SPASI										
D (m)	S(m)	Geometri (m)			Banyak Tiang	Tebal LTP (m)	Waktu Konsolidasi (day)			
		Panjang Timbunan	Lebar	Kedalaman			Tanpa KGM	Dengan KGM	$\Delta$ Waktu	% $\Delta$ Reduksi Waktu
0.25	1	35	2	14,5	68	0,7	8620	2450	6170	72%
0.25	2,5	35	5	14,5	28	1,75	8648	4216	4432	51%
0.25	3,5	35	7	14,5	20	2,45	8771	5798	2973	34%



**Gambar 2 Kurva Perbandingan Penurunan dan *Pore Pressure* dengan Variasi Spasi**

### 3.3 Hasil Analisis Variasi Kedalaman

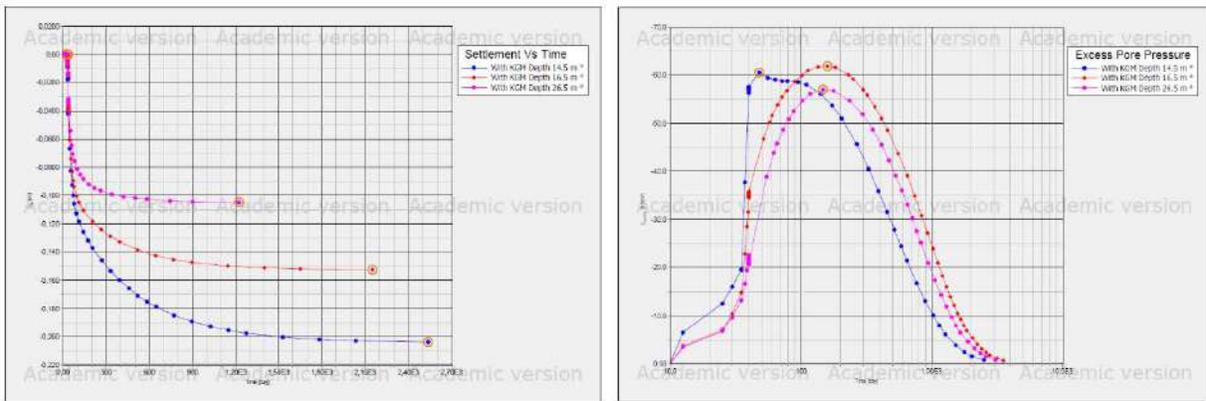
Resume serta kurva perbandingan nilai reduksi penurunan dan reduksi waktu konsolidasi variasi kedalaman dapat dilihat pada tabel 5, tabel 6 dan gambar 3 dibawah ini

**Tabel 5 Resume Nilai Reduksi Penurunan Variasi Kedalaman**

REKAPITULASI HASIL VARIASI KEDALAMAN												
D [m]	S [m]	Geometri [m]			Kedalaman	Banyak Tiang	Tebal LTP [m]	Penurunan				
		Panjang Timbunan	Lebar	Kedalaman				Tanpa KGM	Dengan KGM	$\Delta$ Penurunan	% $\Delta$ Penurunan	
0,25	1	35	2	14,5	68	0,7	1,053	0,204	0,849	81%		
0,25	1	35	2	16,5	68	0,7	1,053	0,153	0,9	85%		
0,25	1	35	2	26,5	68	0,7	1,053	0,105	0,948	90%		

**Tabel 6 Resume Nilai Reduksi Waktu Konsolidasi Variasi Kedalaman**

REKAPITULASI HASIL VARIASI KEDALAMAN												
D [m]	S [m]	Geometri [m]			Kedalaman	Banyak Tiang	Tebal LTP [m]	Penurunan				
		Panjang Timbunan	Lebar	Kedalaman				Tanpa KGM	Dengan KGM	$\Delta$ Penurunan	% $\Delta$ Penurunan	
0,25	1	35	2	14,5	68	0,7	1,053	0,204	0,849	81%		
0,25	1	35	2	16,5	68	0,7	1,053	0,153	0,9	85%		
0,25	1	35	2	26,5	68	0,7	1,053	0,105	0,948	90%		



**Gambar 3 Kurva Perbandingan Penurunan dan Konsolidasi Waktu dengan Variasi Kedalaman**

### 3.4 Hasil Analisis Variasi Pola Pemasangan

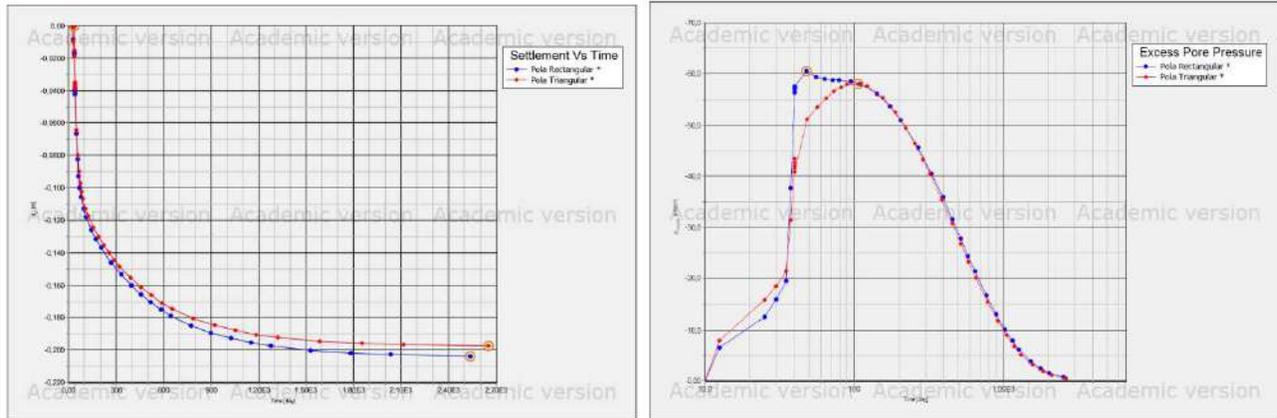
Resume serta kurva perbandingan nilai reduksi penurunan dan reduksi waktu konsolidasi variasi besar nilai spasi dapat dilihat pada tabel 7, tabel 8 dan gambar 4 dibawah ini

**Tabel 7 Resume Nilai Reduksi Penurunan Variasi Pola Pemasangan**

REKAPITULASI HASIL VARIASI POLA PEMASANGAN												
Pola	D [m]	S [m]	Geometri [m]			Banyak Tiang	Tebal LTP [m]	Penurunan				
			Panjang Timbunan	Lebar	Kedalaman			Tanpa KGM	Dengan KGM	$\Delta$ Penurunan	% $\Delta$ Penurunan	
Rectangular	0,25	1	35	2	14,5	68	0,7	1,053	0,204	0,849	81%	
Triangular	0,25	1	35	2	14,5	102	0,7	1,053	0,196	0,857	81%	

**Tabel 8 Resume Nilai Reduksi Waktu Konsolidasi Variasi Pola Pemasangan**

REKAPITULASI HASIL VARIASI POLA PEMASANGAN												
Pola	D [m]	S [m]	Geometri [m]			Banyak Tiang	Tebal LTP [m]	Waktu Konsolidasi (day)				
			Panjang Timbunan	Lebar	Kedalaman			Tanpa KGM	Dengan KGM	$\Delta$ Waktu	% $\Delta$ Reduksi Waktu	
Rectangular	0,25	1	35	2	14,5	68	0,7	8620	2450	6170	72%	
Triangular	0,25	1	35	2	14,5	102	0,7	8648	2565	6083	70%	



**Gambar 4 Kurva Perbandingan Penurunan dan Konsolidasi Waktu dengan Variasi Pola**

### 3.5 Load Transfer Platform

Evaluasi tebal lapisan LTP dilakukan dengan menganalisis *arching effect* yang terbentuk akibat beban yang bekerja. Lapisan LTP akan bekerja dengan baik jika tebal lapisan lebih besar dari tinggi lengkung yang terbentuk. Lengkung spiral yang terbentuk diantara KGM dapat dievaluasi berdasarkan skema keruntuhan Prandtl seperti yang dijelaskan dalam Asiri,2012. Setelah dilakukan pengecekan pada tebal LTP, nilai yang terbentuk adalah sekitar 0,47 m. Sementara tebal LTP yang digunakan adalah 1,75 m. Dapat disimpulkan bahwa *arching* masih terbentuk didalam LTP.

### 3.6 Punching Pada KGM

*Punching* yang terjadi pada bagian ujung kolom KGM ditinjau pada bagian atas. Pada bagian atas KGM, *punching* yang terjadi diamati terhadap dasar lapisan LTP. Berdasarkan penurunan yang terjadi di permukaan tanah, KGM mengalami penurunan sebesar 0.08 m sedangkan tanah di sekitar KGM mengalami penurunan sebesar 0.19 m. Setelah dilakukan pengecekan *punching* dan *arching*, dapat disimpulkan bahwa tebal minimum LTP adalah sebesar 0.58 m.

### 3.7 Gaya Dalam

Tegangan yang terjadi pada kolom KGM dibatasi pada nilai yang sudah ditetapkan, yaitu sebesar 7 Mpa. Setelah dilakukan pengecekan dengan perhitungan untuk tegangan maksimum yang terjadi pada kolom. Didapat hasil sebesar 2.8 Mpa, dapat disimpulkan bahwa tegangan yang terjadi pada kolom KGM masih dibawah dari tegangan izinnnya.

### 3.8 Pembahasan

1. Berdasarkan hasil analisis variasi diameter, dapat diketahui bahwa nilai reduksi penurunan dan waktu konsolidasi sangat mereduksi dengan signifikan, namun dari ketiga diameter tersebut tidak terlalu jauh berbeda, sehingga dipilih diameter 0.25m karena mampu mereduksi penurunan yang paling besar.
2. Berdasarkan hasil analisis variasi spasi, dapat diketahui bahwa seluruh variasi spasi mampu mereduksi penurunan dan waktu konsolidasi dengan signifikan, nilai yang paling mereduksi penurunan dan waktu konsolidasi adalah dengan spasi 1m, namun pada spasi 2.5m dan spasi 3.5m sisa penurunan yang akan terjadi masih lebih besar dari kriteria desain yang diizinkan. Maka dari itu spasi 1m menjadi pilihan utama.
3. Berdasarkan hasil analisis variasi kedalaman, nilai reduksi penurunan dan waktu konsolidasi yang paling mereduksi adalah dengan kedalaman 26.5, namun jika dibandingkan antara ketiga kedalaman, reduksi penurunan maupun reduksi waktu

konsolidasi tidak terlalu signifikan, sehingga kedalaman 14.5m menjadi pilihan utama, karena dengan pemasangan pada kedalaman 14.5m, mampu mereduksi penurunan sebesar 81% dan waktu konsolidasi sebesar 72%, selain itu pemasangan pada kedalaman 14.5 nilai penurunannya lebih kecil dari kriteria desain yang diizinkan.

4. Diameter, spasi, dan kedalaman Kolom Grout Modular sudah didapatkan dengan hasil paling efektif, kemudian dilakukan variasi pola pemasangan pada KGM yaitu pola triangular, setelah dilakukan pemodelan pola pemasangan triangular pada KGM, dapat diketahui bahwa pola triangular mampu mereduksi penurunan lebih besar daripada pola rectangular yang sudah dimodelkan bersamaan dengan variasi-variasi pada KGM, hal ini dikarenakan jumlah kolom yang terpasang pada pola triangular lebih banyak yaitu berjumlah 102 kolom, namun jika dibandingkan antara kedua pola tersebut tidak jauh berbeda, sehingga pemilihan pola pemasangan rectangular tetap menjadi pilihan utama, karena lebih ekonomis terhadap segi biaya.

#### 4. KESIMPULAN

Pemodelan seluruh variasi pada Kolom Grout Modular telah dilakukan dengan pendekatan elemen hingga menggunakan *software* Plaxis 3D. Berdasarkan hasil nilai-nilai variasi yang sudah didapatkan, maka perbaikan tanah menggunakan Kolom Grout Modular dengan diameter 0.25 m, tebal LTP 1,75 m, spasi 1 m, kedalaman 14.5 m, dan pola pemasangan *rectangular* dapat mencapai hasil reduksi penurunan dan waktu secara efektif.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Abbey, S. & Ngambi, S. Mar. (2015). Understanding the Performance of Deep Mixed Column Improved Soils – A Review. United Kingdom: International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET).
- Asiri National Project. (2012). Recommendations for the Design Construction and Control of Rigid Inclusion Ground Improvements.
- A. Kholis Afif, M. Rizal Ahmad, Hikmah Rekardi. (2019). Studi Kasus Kolom Grout Modular (KGM) terhadap Penurunan dan Stabilitas Timbunan Oprit Jembatan di Atas Tanah Lunak pada Jalan Tol Pemalang Batang. Jakarta: Annual National Conference on Geotechnical Engineering.
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Burt G Look. (2007). Geotechnical Investigation and Design Tables. London
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. Mekanika Tanah I. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Collin, J.G. (2004). Column Supported Embankment Design Considerations. Minneapolis: Proceedings 52nd Annual Geotechnical Conference.
- Iskandar, Fauziah Fitriani, Hamdhan Indra Noer. (2016). Pemodelan Numerik pada Perbaikan Tanah Menggunakan Stone column di Tanah Lempung Lunak dibawah Tanah Timbunan. Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Pusat Pendidikan dan Pelatihan Jalan, Perumahan, Permukiman dan Pengembangan Infrastruktur Wilayah. Modul 3. (2018). Permasalahan Kerusakan jalan dan Perencanaan Penanganannya Sebagai Tanah Dasar. Jakarta: Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Pusat Litbang Prasarana Transportasi. (2002). Panduan Geoteknik 4 tentang Timbunan Jalan pada Tanah Lunak. Bandung: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.