

PEMODELAN ANALISIS TANAH LUNAK DENGAN PERKUATAN *STONE COLUMN* PADA SIMPANG TOL SERANG-PANIMBANG

Adilmart Mangiring Hutabalian, Indra Noer Hamdhan²

1. Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Bandung
2. Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Bandung
Email : adilmartt@gmail.com

Abstrak

Tanah lunak sering menjadi kendala dalam pembangunan infrastruktur karena sifatnya yang memiliki daya dukung rendah dan penurunan konsolidasi jangka panjang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas metode perkuatan stone column dalam mengurangi penurunan tanah lunak pada lokasi Simpang Susun Rongkasbitung Jalan Tol Serang-Panimbang. Pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 3D dengan mempertimbangkan berbagai variasi diameter dan spasi kolom batu, baik pada kondisi dengan maupun tanpa smear zone. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kondisi eksisting tanpa perkuatan menghasilkan penurunan sebesar 44,1 cm dalam periode 10 tahun, melebihi batas toleransi 25 cm menurut SNI 8460:2017. Perkuatan dengan stone column secara signifikan menurunkan besarnya penurunan, dengan hasil terbaik diperoleh pada konfigurasi diameter 0,5 meter dan spasi 1,5D. Konfigurasi ini menghasilkan penurunan di bawah ambang batas toleransi, baik pada kondisi dengan maupun tanpa smear zone, serta dinilai efisien dari segi biaya dan kemudahan pelaksanaan. Oleh karena itu, konfigurasi tersebut direkomendasikan sebagai solusi perkuatan paling optimal pada proyek ini.

Kata Kunci : Perbaikan Tanah Lunak, Perkuatan Stone Column, Pemodelan Plaxis 3D, Smear Zone.

1. Pendahuluan

Dalam rekayasa konstruksi bangunan sipil, tanah merupakan dasar dari suatu struktur atau konstruksi, baik itu konstruksi bangunan maupun konstruksi jalan. Agar dapat digunakan untuk mendirikan suatu konstruksi, maka diperlukan kondisi tanah yang baik, namun pada kenyataannya sering ditemukan lapisan tanah yang memiliki daya dukung rendah (*low strength*), yang sangat mempengaruhi pada saat tahap perencanaan, perancangan, maupun tahap operasional dan pemeliharaan. Kondisi tanah dan topografi yang beragam mengharuskan untuk melakukan rekayasa berupa perbaikan tanah ataupun galian dan timbunan (*cut and fill*).

Tol merupakan suatu jalan yang dikhususkan untuk kendaraan bersumbu dua atau lebih yang bertujuan untuk mempersingkat jarak dan waktu tempuh dari satu tempat ke tempat lain, memperlancar lalu lintas di daerah yang telah berkembang, meningkatkan pelayanan distribusi barang dan jasa guna menunjang pertumbuhan ekonomi, meningkatkan pemerataan hasil pembangunan dan keadilan, dan meringankan beban dana Pemerintah melalui partisipasi pengguna jalan.

Perbaikan dan perkuatan tanah adalah suatu usaha yang dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas karakteristik tanah, khususnya jika terdapat tanah lunak. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk perkuatan tanah pada kondisi tanah lunak dengan daya dukung yang rendah yaitu menggunakan metode perkuatan *stone column*.

Pada pembangunan Simpang Susun Rangkasbitung di Jalan Tol Serang–Panimbang, tepatnya di STA 1+875, ditemukan tantangan berupa tanah lunak yang didominasi oleh lempung berlanau (*silty clay*) hingga kedalaman 15 meter. Kondisi ini membuat daya dukung tanah menjadi rendah, berisiko menimbulkan penurunan atau keruntuhan akibat ketidakmampuan tanah menahan beban konstruksi. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan upaya perbaikan tanah guna meningkatkan kestabilan dan keandalan struktur jalan tol.

2. Metode

Pemodelan ini dilaksanakan di Laboratorium Komputer, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Bandung (ITENAS). Tahapan dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu:

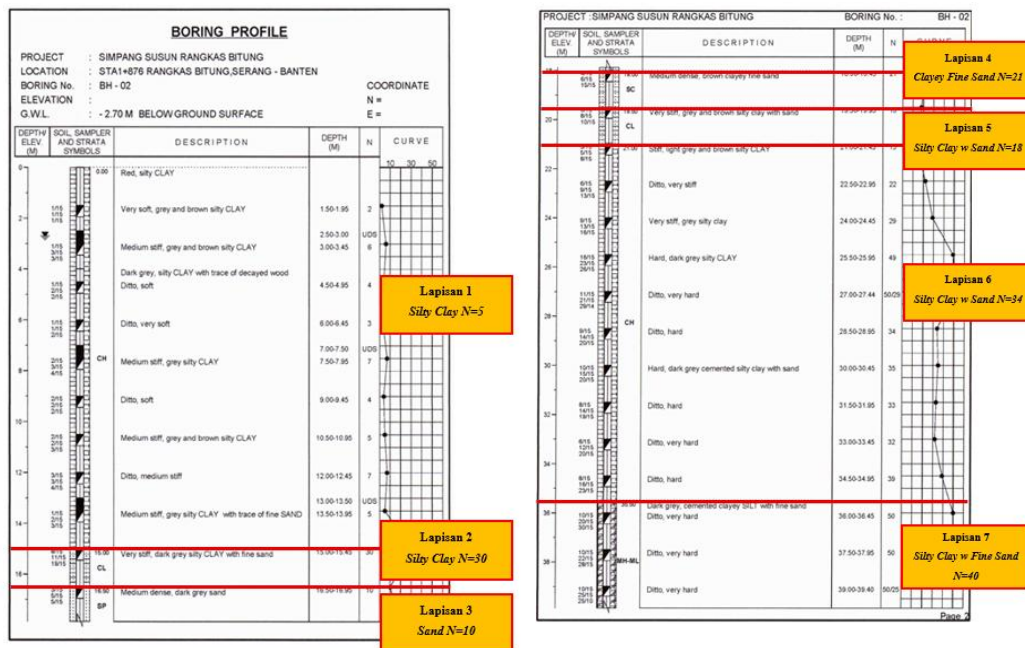
1. Rumusan Masalah – mengetahui kestabilan tanah timbunan di atas tanah lunak dengan melakukan perbaikan tanah menggunakan metode *stone column* serta mengetahui variasi diameter *stone column* dan variasi jarak antara *stone column* dan membandingkan hasil pemodelan tersebut dengan atau tanpa adanya nilai/parameter smear zone. serta membandingkan besar penurunan dan nilai faktor keamanan (*safety factor*) dengan kondisi tanpa perkuatan.
2. Studi Pustaka – diperoleh dari berbagai referensi seperti jurnal penelitian, artikel, buku, dan berbagai referensi lainnya yang berkaitan dengan topik penelitian ini.
3. Pengumpulan Data – Data yang dikumpulkan berupa data sekunder yang diperoleh dari pengujian, meliputi parameter tanah, data log bor, nilai SPT, dan hasil uji laboratorium. Data ini kemudian digunakan untuk analisis menggunakan program Plaxis 3D.
4. Pemodelan Perbaikan Tanah menggunakan Plaxis 3D - Pada tahap ini dilakukan pemodelan tanah menggunakan metode *stone column* dengan bantuan Plaxis 3D, dengan berbagai variasi untuk menentukan hasil paling efektif berdasarkan besarnya penurunan dan nilai faktor keamanan (*safety factor*). Hasil pemodelan ini kemudian dibandingkan dengan kondisi eksisting.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Parameter Tanah

Parameter tanah merupakan acuan untuk dapat mengetahui atau menilai perubahan yang terjadi dalam tanah baik secara fisik maupun jenis tanahnya. Parameter tanah inilah yang akan menjadi data utama dalam memodelkan perbaikan tanah lunak menggunakan PLAXIS 3D. Dari hasil analisis terhadap data Borlog dapat disimpulkan bahwa lapisan tanah diklasifikasikan menjadi beberapa lapis tanah sesuai dengan NSPT yang ada. Adapun data Borlog dan Smear Zone dapat dilihat pada **Gambar 3.1** dan **Gambar 3.2** sebagai berikut.

Gambar 3.1. dan 3.2. Borlog



3.2. Data Parameter Stone Column dan Smear Zone

Berikut merupakan data parameter *Stone Column* dan *Smear Zone* yang di gunakan pada Tugass Akhir dapat diliat pada **Tabel 3.1.** dan **3.2.** dibawah ini.

Tabel 3.1. Parameter *Stone Column*

Parameter <i>Stone Column</i>		Unit
Model	Mohr Columb	-
Type	Drained	-
γ_{sat}	21	kN/m ³
γ_{unsat}	20	kN/m ³
E'	625000	kN/m ²
v	0,2	-
c	5	kN/m ²
ϕ	42	°
Kx = Ky = Kz	7,128	m/hari

Tabel 3.2. Parameter *Smear Zone*

Parameter <i>Smear Zone</i>		Unit
Model	Hardening Soil	-
Type	Drained	-
γ_{sat}	17	kN/m ³
γ_{unsat}	16	kN/m ³
E'	1500	kN/m ²
v	0,3	-
c	5,51	kN/m ²
ϕ	5	°
Kx = Ky = Kz	0,0000143	m/hari

3.3. Data Parameter *Load Transfer Platform (LTP)*

Load Transfer Platform adalah lapisan material berbahan granular yang berfungsi sebagai landasan kerja yang akan memperbaiki kinerja dari pada *Stone Column*. Dengan adanya *Stone Column* dapat menyebarkan beban secara merata. Adapun untuk parameter LTP dapat dilihat pada **Tabel 3.3.** dibawah ini.

Tabel 3.3. Parameter *Load Transfer Platform (LTP)*

Parameter <i>Load Transfer Platform (LTP)</i>		Unit
Model	Hardening Soil	-
Type	Drained	-
C'	1	kN/m ²
ϕ	33	°
γ_{unsat}	18	kN/m ³
γ_{sat}	19	kN/m ³
K _X	0,864	m/hari
K _Y	0,864	m/hari
E _{50 ref}	30000	kN/m ²
E _{oed ref}	24000	kN/m ²
E _{ur}	90000	kN/m ²

3.4. Data Paramer Timbunan

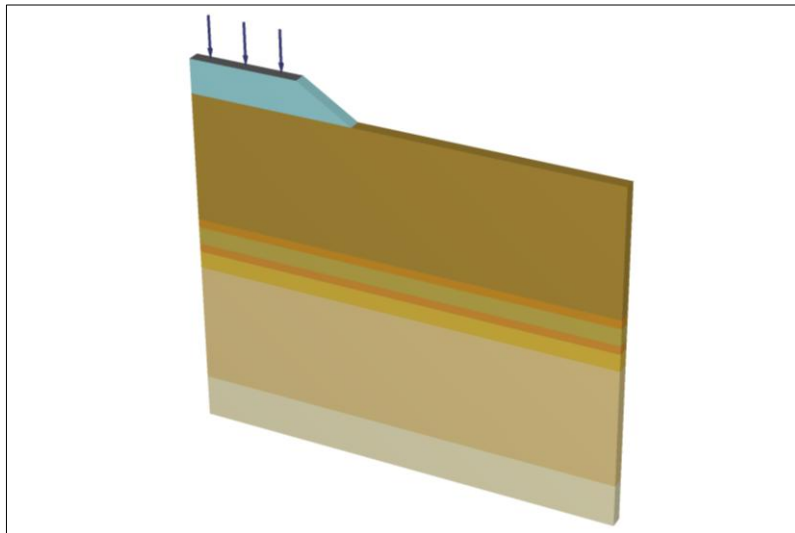
Timbunan merupakan salah satu metode perbaikan tanah secara tidak langsung yang dilakukan dengan menempatkan material pengisi di atas tanah dasar untuk memberikan beban awal atau pembebanan prakompaksi. Berikut merupakan data timbunan yang di gunakan untuk pemodelan PLAXIS 3D. dapat dilihat pada **Tabel 3.4.**

Tabel 3.4. Parameter Data Timbunan

Klasifikasi Tanah	Timbunan	Unit
Ketinggian	4	m
Model	Mohr Coulomb	-
Type	Drained	-
C'	10	kN/m ²
ϕ	30	-
γ_{unsat}	20	kN/m ³
γ_{sat}	21	kN/m ³
K _x	0,864	m/hari
K _y	0,864	m/hari
E _s = E ₅₀	30000	kN/m ²
m	0,5	-
v	0,2	-
Ψ	0	-

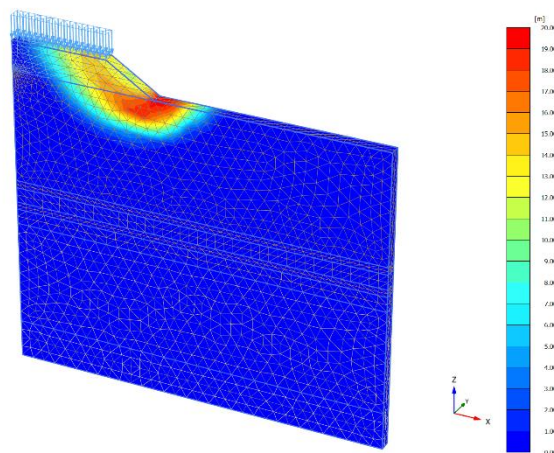
3.5 Analisis Kondisi Eksisting

Analisis pada kondisi eksisting dilakukan untuk menggambarkan kondisi awal tanah lunak sebelum dilakukan perbaikan. Pemodelan ini bertujuan untuk mengetahui besarnya penurunan tanah yang terjadi tanpa perbaikan, sehingga dapat digunakan sebagai pembandingan terhadap kondisi setelah dilakukan perbaikan tanah dengan metode *stone column*. Geometri kondisi eksisting tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3.3**.

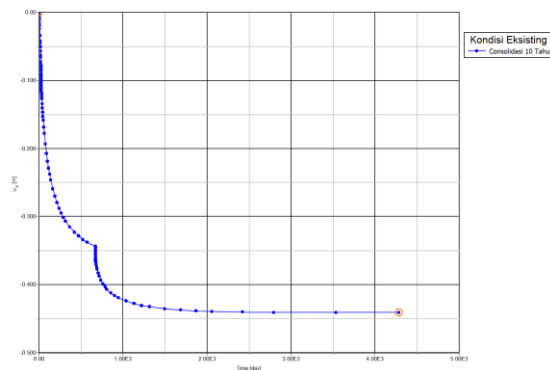


Geometri Kondisi Eksisting

Pada kondisi eksisting, tanah diberikan beban timbunan setinggi 4 meter yang kemudian dilanjutkan dengan penambahan beban akibat jalan sebesar 15 kPa. Pemodelan ini dilakukan untuk mengetahui besarnya penurunan yang terjadi apabila tidak dilakukan perbaikan tanah menggunakan metode *stone column*.



Total *Deformasi* Pada Kondisi Konsolidasi 10 Tahun



Grafik Penurunan Kondisi Eksisting

Nilai penurunan pada kondisi eksisting atau sebelum diberi perbaikan adalah sebesar 0,44 meter. Grafik penurunan dapat dilihat pada **Gambar 3.4**. Nilai penurunan ini sangat penting untuk diketahui agar dapat memperkirakan seberapa besar penurunan yang masih dianggap aman ketika tanah diberi beban timbunan. Berdasarkan SNI 8460:2017 tentang Tata Cara Perencanaan Teknis Timbunan Jalan di atas Tanah Lunak, batas penurunan yang diizinkan adalah maksimum 25 cm dalam jangka waktu 10 tahun. Oleh karena itu, penurunan sebesar 0,44 meter melebihi batas toleransi yang ditetapkan, sehingga diperlukan perbaikan tanah.

3.6. Analisis Perbaikan Tanah Menggunakan *Stone Column* dengan *Smearzone*

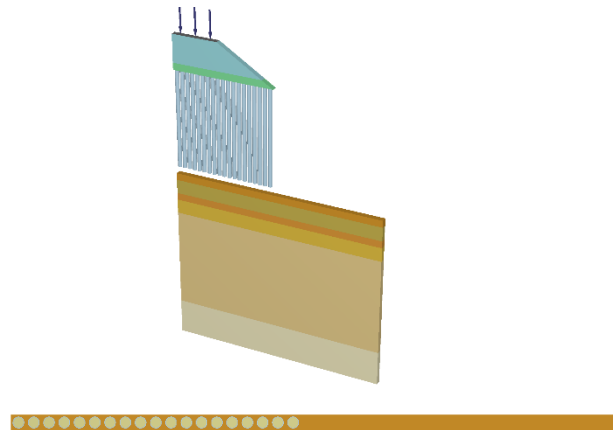
Pada bagian ini dilakukan pemodelan perbaikan tanah lunak menggunakan metode *stone column* dengan mempertimbangkan efek zona terganggu (*smear zone*). Analisis difokuskan pada variasi diameter kolom dan spasi antar kolom untuk mengevaluasi besarnya penurunan tanah yang terjadi. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui konfigurasi perkuatan yang paling efektif dalam mengurangi penurunan tanah pada kondisi yang lebih realistis, yaitu dengan mempertimbangkan pengaruh zona terganggu akibat proses instalasi *stone column*.

3.6.1 Pengaruh Variasi Spasi terhadap Penurunan Tanah Pada *Stone Column* Diameter 0,5 m dengan *Smear Zone*

Analisis pada bagian ini difokuskan pada penurunan tanah akibat penggunaan *stone column* berdiameter 0,5 m dengan variasi spasi 1,5D dan 2D, dengan mempertimbangkan pengaruh *smear zone*. Variasi konfigurasi ini dilakukan untuk melihat pengaruh zona terganggu terhadap efektivitas perbaikan dalam mengurangi penurunan tanah pada kondisi tanah lunak.

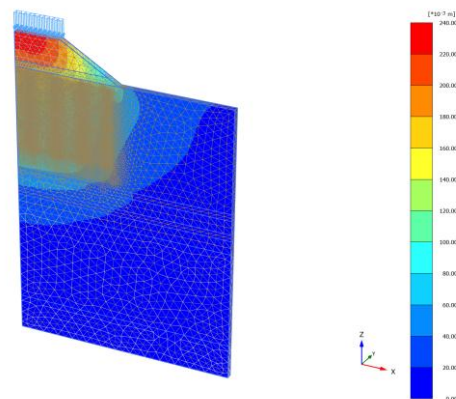
1. Spasi 1.5D

Berikut merupakan geometri yang dimodelkan pada PLAXIS 3D dengan diameter 0,5 dan spasi 1,5D.

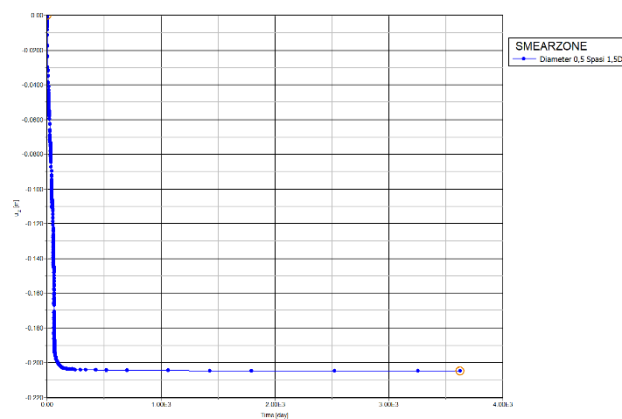


Geometri Perbaikan Menggunakan *Stone Column* pada Diameter 0,5 m dan Spasi 1,5D dengan *Smearzone*

Berikut merupakan hasil penurunan dengan diameter 0,5 spasi 1,5D.



Total *Deformasi* pada Diameter 0,5 m dan Spasi 1,5D



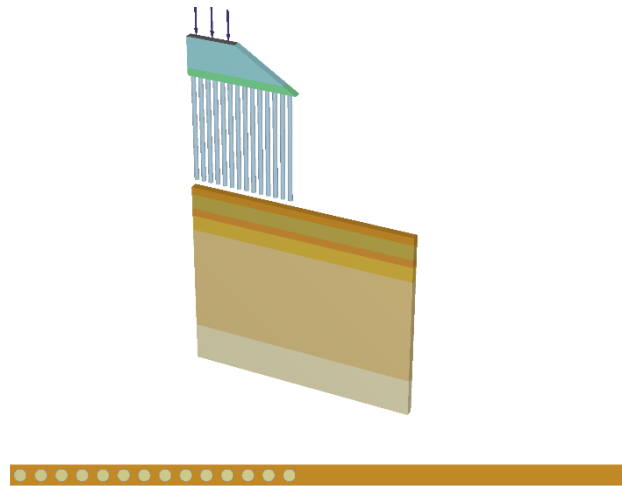
Grafik Penurunan pada Diameter 0,5 m dan Spasi 1,5D

Pada **Gambar 3.5** ditampilkan kurva penurunan (*settlement*) terhadap waktu untuk kondisi dengan *smear zone* menggunakan *stone column* berdiameter 0,5 m dan spasi 1,5D. Berdasarkan grafik, penurunan terjadi dengan cepat pada tahap awal konsolidasi dan mulai mencapai kondisi stabil setelah sekitar 1.000 hari. Nilai maksimum penurunan yang tercatat adalah sekitar 0,205 m atau 20,5 cm.

Penurunan ini masih berada dalam batas toleransi menurut SNI 8460:2017, yaitu tidak melebihi 25 cm dalam jangka waktu 10 tahun. Dengan demikian, konfigurasi *stone column* berdiameter 0,5 m dan spasi 1.5D pada kondisi dengan *smear zone* dapat dinyatakan aman untuk digunakan dalam perbaikan tanah lunak.

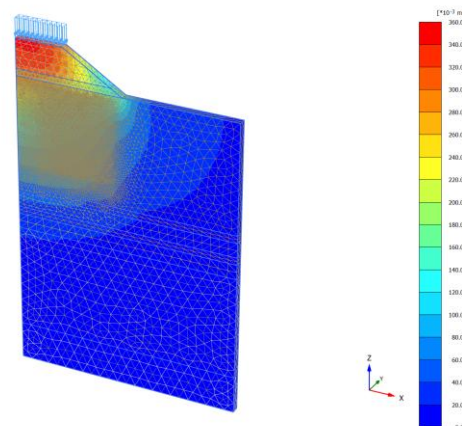
2. Spasi 2D

Berikut merupakan geometri yang dimodelkan pada PLAXIS 3D dengan diameter 0,5 dan spasi 2D.

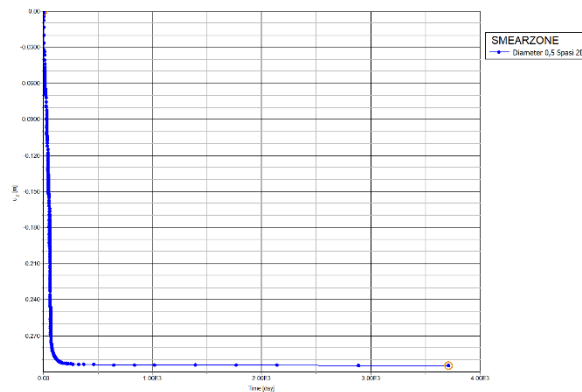


Geometri Perbaikan Menggunakan *Stone Column* pada Diameter 0,5 m dan Spasi 2D dengan *Smearzone*

Berikut merupakan hasil penurunan dengan diameter 0,5 spasi 2D.



Total *Deformasi* pada Diameter 0,5 m dan Spasi 2D



Pada **Gambar 3.6.** ditampilkan kurva penurunan (*settlement*) terhadap waktu untuk kondisi dengan *smear zone* menggunakan *stone column* berdiameter 0,5 m dan spasi 2D. Berdasarkan grafik, penurunan terjadi dengan cepat pada tahap awal proses konsolidasi dan mulai mencapai kondisi stabil dalam waktu kurang dari 1.000 hari. Nilai maksimum penurunan yang tercatat adalah sekitar 0,295 m atau 29,5 cm.

Nilai ini melebihi batas toleransi yang ditetapkan dalam SNI 8460:2017, yaitu maksimum 25 cm selama 10 tahun. Oleh karena itu, konfigurasi *stone column* berdiameter 0,5 m dan spasi 2D dengan *smear zone* tidak direkomendasikan karena tidak memenuhi kriteria penurunan yang diperbolehkan.

Jika dibandingkan dengan spasi 1.5D pada diameter yang sama, peningkatan jarak antar kolom menjadi 2D menyebabkan penurunan yang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lebar spasi antar kolom, efektivitas perkuatan dalam mengurangi penurunan tanah menjadi lebih rendah, khususnya ketika pengaruh *smear zone* turut diperhitungkan.

5. Kesimpulan

Konfigurasi *stone column* dengan diameter 0,5 meter dan spasi 1,5D dipilih sebagai metode perkuatan yang paling efektif dan efisien. Konfigurasi ini tidak hanya mampu menghasilkan penurunan di bawah batas toleransi baik pada kondisi dengan maupun tanpa *smear zone*, tetapi juga unggul dari segi efisiensi biaya dan kemudahan pelaksanaan di lapangan. Oleh karena itu, variasi ini direkomendasikan sebagai pilihan paling optimal untuk mengurangi penurunan tanah lunak pada lokasi penelitian

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Komputer, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Bandung (ITENAS) atas fasilitas dan dukungan yang diberikan selama penelitian ini berlangsung.

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing Bapak Indra Noer Hamdhan yang telah memberikan arahan, serta rekan-rekan mahasiswa yang turut membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir ini. Tanpa dukungan dan kerjasama dari berbagai pihak, penelitian ini tidak dapat terselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

- Badan Standarisasi Nasional, 2008, SNI 4153:2008 Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Bowles, J. E. (1984). Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah. Jakarta: PT. Erlangga.
- Briaud, J. L. (2013). *Geotechnical EGINEERING Unsaturated and Saturated Soil*. United States: Wiley.
- Das, Braja M. (2010). *Principle of Geotechnical Engineering (7th ed)*. USA: Cengage Learning.
- Das, Braja M. (1995). *Mekanika Tanah, Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M. (1993). *Mekanika Tanah Prinsip - Prinsip Rekayasa Geoteknis Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M. (1993). *Mekanika Tanah, Prinsip - Prinsip Rekayasa Geoteknis, Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Han, J. (2015). *Principles and Practice of Ground Improvement*. United States of America: Wiley.
- Hardiyatmo, G. C. (2002). *Mekanika Tanah Jilid 1*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Look, B. G. (2014). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design tables*. Netherlands: Balkema.
- SNI 8460. (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Badan Standarisasi Nasional.
- Wesley.L.D. (2017). *Mekanika Tanah: Edisi Baru*. Yogyakarta: CV ANDI OFFSET.