

Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Metode *Controlled Modulus Columns* (CMC) Di Tol Balikpapan Dengan Pendekatan 2D

MUHAMMAD ADITYA ERWANSYAH¹, DIAN ASTRIANI ARWAN ILYAS²

1. Mahasiswa, Institut Teknologi Nasional, Bandung, Indonesia

2. Dosen, Institut Teknologi Nasional, Bandung, Indonesia

Email : adityasyah1999@gmail.com

ABSTRAK

*Tanah lunak di wilayah Kalimantan Timur, khususnya pada proyek Tol Balikpapan, memiliki karakteristik daya dukung rendah, penurunan besar, dan waktu konsolidasi yang lama. Kondisi ini berpotensi menimbulkan kerusakan konstruksi jika tidak dilakukan perbaikan. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas metode *Controlled Modulus Columns* (CMC) dalam mereduksi penurunan dan mempercepat konsolidasi tanah. Pemodelan dilakukan dengan perangkat lunak *Plaxis 2D* menggunakan *Hardening Soil Model*, disertai *Load Transfer Platform* setebal 1,5 m. Variasi parameter yang dikaji meliputi spasi 1 m, 2 m, 3 m, diameter 0,2 m, 0,5 m, 0,7 m, dan kedalaman CMC 6 m, 8 m, 10 m. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan CMC mampu menurunkan besaran penurunan dari 0,744 m menjadi 0,234 m serta mempercepat waktu konsolidasi dari 2726 hari menjadi 1272 hari. Dengan demikian, metode CMC terbukti efektif meningkatkan kinerja tanah lunak pada pembangunan infrastruktur jalan tol.*

Kata kunci: Tol, Tanah Lunak, CMC, *Plaxis 2D*

1. PENDAHULUAN

Proyek *Toll Junction* Balikpapan dibangun untuk mempercepat mobilitas, meningkatkan konektivitas, mendukung pertumbuhan ekonomi, mengurangi biaya logistik, serta menjadi bagian strategis dalam mendukung pembangunan dan pemerataan pembangunan di Kalimantan Timur. Pada Proyek *Toll Junction* Balikpapan STA 4+350 – STA 4+750 terdapat tanah lunak dengan ketebalan 20 m didominasi oleh tanah lempung. Tanah lunak memiliki sifat seperti gaya geser rendah, kemampatan besar, permeabilitas rendah, sifat kompresibilitas tinggi, nilai kadar air yang tinggi, dan daya dukung rendah (Suryono, 1986). Tanah lunak perlu segera diperbaiki karena akan menyebabkan suatu masalah, permasalahan yang terjadi dapat berupa kelongsoran, penurunan yang cukup besar, dan beberapa permasalahan lainnya. Dengan demikian, untuk menghindari hal-hal tersebut perlu untuk menganalisis penurunan dan waktu penurunan dengan menggunakan perkuatan *Controlled Modulus Columns* (CMC) dan tanpa perkuatan *Controlled Modulus Columns* (CMC).

2. METODOLOGI

Lokasi penelitian berada di *Toll Junction* Balikpapan, Provinsi Kalimantan Timur 75723 yang disajikan pada **Gambar 1**.

Data yang digunakan merupakan data sekunder meliputi data parameter tanah, parameter *Controlled Modulus Columns* (CMC), dan *Load Transfer Platform* (LTP).



Gambar 2. 1 Peta Lokasi Toll Junction Balikpapan

Tabel 2. 1 Parameter Tanah

Parameter Tanah	Lapisan 1 (Silt) 0 - 9	Lapisan 2 (Silt) 9 - 10.5	Lapisan 3 (Silty Sand) 10.5 - 13	Lapisan 4 (Silty Sand) 13 - 17	Lapisan 5 (Clay) 17 - 20	Lapisan 6 (Clay Rock) 20 - 22.5	Lapisan 7 (Rock) 22.5 - 24.5	Lapisan 8 (Clay Rock) 24.5 - 30	Timbunan 7	Unit
Klasifikasi Tanah	Very Soft	Stiff	Dense	Very Dense	Hard	Very Hard	Very Hard	Very Hard	Sand Well Graded	-
Drainage Type	Undrained A	Undrained A	Undrained A	Undrained A	Undrained A	Undrained A	Undrained A	Undrained A	Drained	-
N-SPT	2	8	28	49	24	48	60	>60	-	-
γ_{unsat}	15	17	17	20	19	20	21	20	20	kN/m ³
γ_{sat}	16	18	18	21	20	21	22	21	21	kN/m ³
E50 ref	2500	10000	19600	34300	30000	60000	75000	75000	20000	kN/m ²
Eoed ref	2000	8000	15680	27440	24000	48000	60000	60000	16000	kN/m ²
Eur ref	7500	30000	58800	102900	90000	180000	225000	225000	60000	kN/m ²
e	1.4	0.6	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.45	-
Kx	8.64E-05	8.64E-05	0.864	0.864	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04	0.864	m/day
Ky	8.64E-05	8.64E-05	0.864	0.864	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04	0.864	m/day
c'	5	8	5	9	5	15	15	15	5	kN/m ²
v	0.35	0.27	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-
ϕ'	25	29	32	35	32	36	36	38	28	-
Ψ	0	0	2	5	2	6	6	8	0	-
Power	1	1	0.5	0.5	1	1	1	1	0.5	m

Tabel 2. 2 Parameter CMC

Parameter CMC	D = 0.2 m	D = 0.5 m	D = 0.7 m	Unit
Model	Linear Elastic			-
γ	24	24	24	kN/m ³
Fc'	15	15	15	Mpa
E	6658773	6658773	6658773	kN/m ²
Kedalaman	9	12	15	m
Fmax	2264	7620	13368	kN
Tmax	28	69	97	kN/m

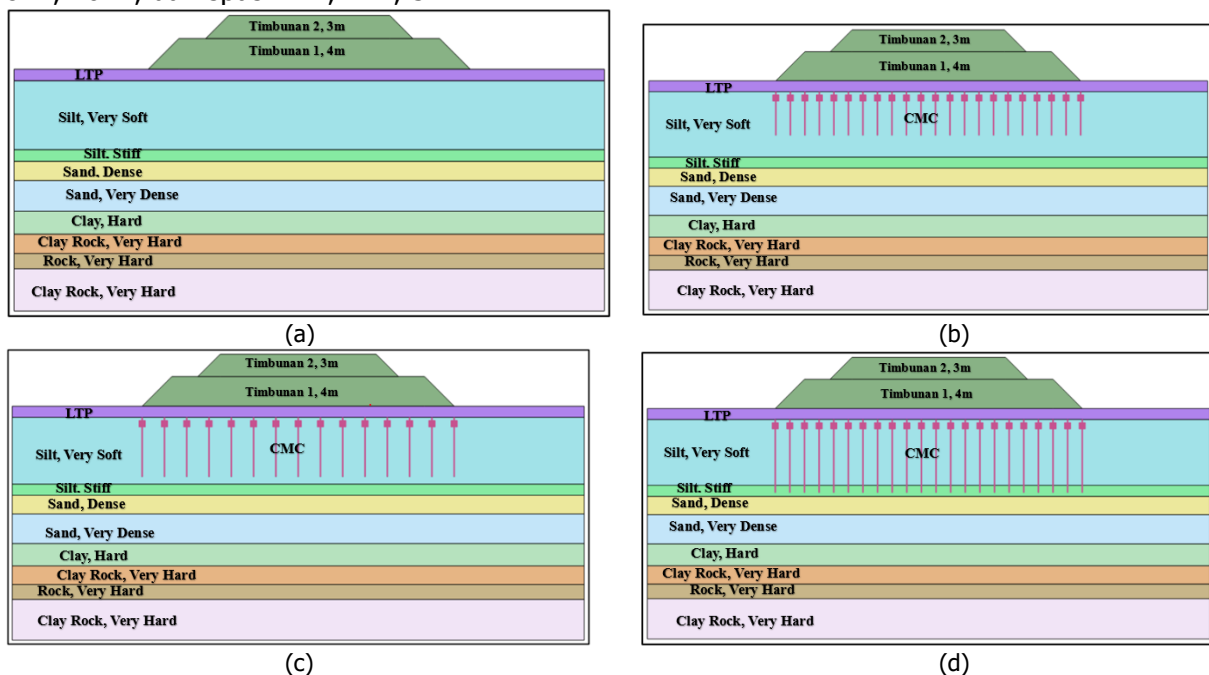
Tabel 2. 3 Parameter LTP

Model	Tebal (m)	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	E (kN/m ²)	v	ϕ	Ψ	K (m/day)
Mohr Coloumb	1.5	19	21	40000	0.4	35	5	0.864

Penelitian dilakukan menggunakan *software* Plaxis 2D, model yang digunakan yaitu tipe *soil model hardening soil* dan *embedded beam row* untuk struktur kolom CMC. Proses pemodelan yang dilakukan sebagai berikut :

1. *Input* material meliputi material tanah, CMC, dan LTP.
2. *Structure* menggambar geometri tanah, CMC, LTP.
3. *Staged Construction (Calculation)*, meliputi tahap *Initial Phase*, tahap CMC, tahap LTP, aktivasi timbunan 1 tinggi 4 m, aktivasi timbunan 2 tinggi 3 m, beban jalan, dan konsolidasi MEP.
4. *Output* berupa tabel penurunan dan waktu penurunan atau berupa grafik.

Simulasi pemodelan dilakukan sebanyak 28 kali yaitu pemodelan tanah eksisting tanpa perbaikan, pemodelan dengan perbaikan CMC berupa variasi diameter 0,2 m, 0,5 m, 0,7 m, kedalaman 6 m, 8 m, 10 m, dan spasi 1 m, 2 m, 3 m.



Gambar 2. 2 (a) Tanah Eksisting (b) Tanah Eksisting, LTP, dan CMC diameter 0,5 m, kedalaman 6 m, spasi 1 m (c) Tanah Eksisting, LTP, dan CMC diameter 0,5 m, kedalaman 8 m, spasi 2 m (d) Tanah Eksisting, LTP, dan CMC diameter 0,5 m, kedalaman 10 m, spasi 2 m

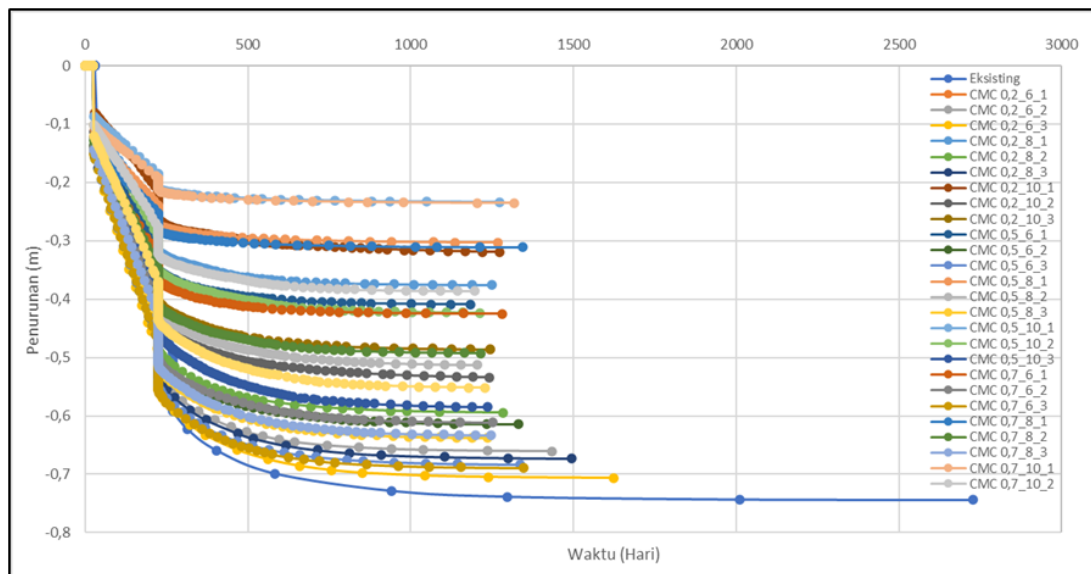
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pemodelan

Berikut hasil analisis berupa rekapitulasi besaran penurunan dan waktu konsolidasi dari 27 model yang disajikan pada **Tabel 3. 1** tujuan analisis ini dilakukan untuk mengetahui besar penurunan dan waktu tanah terkonsolidasi jika dimodelkan pada 27 model yang terdiri atas beberapa variasi diameter, kedalaman, dan spasi yang kemudian dapat dibandingkan nilai penurunan dan waktu dari variasi tersebut. Agar dapat terpilih model yang efisien apabila dilihat dari penurunan dan waktu konsolidasinya.

Tabel 3.1 Rekapitulasi Penurunan dan Waktu

No. Model	Diameter	Kedalaman	Spasi	Hasil Pemodelan		Reduksi Penurunan (%)	Reduksi Waktu (%)
				Penurunan (m)	Waktu (hari)		
Model 0	Tanpa Perbaikan			-0,744	2726	0	0
Model 1	0.2 m	6 m	1 m	-0,486	1243	34,68	54,40
Model 2			2 m	-0,661	1432	11,16	47,47
Model 3			3 m	-0,706	1623	5,11	40,46
Model 4		8 m	1 m	-0,376	1248	49,46	54,22
Model 5			2 m	-0,595	1284	20,03	52,90
Model 6			3 m	-0,673	1494	9,54	45,19
Model 7		10 m	1 m	-0,319	1273	57,12	53,30
Model 8			2 m	-0,534	1241	28,23	54,48
Model 9			3 m	-0,628	1348	15,59	50,55
Model 10	0.5 m	6 m	1 m	-0,409	1183	45,03	56,60
Model 11			2 m	-0,614	1330	17,47	51,21
Model 12			3 m	-0,684	1335	8,06	51,03
Model 13		8 m	1 m	-0,303	1266	59,27	53,56
Model 14			2 m	-0,513	1204	31,05	55,83
Model 15			3 m	-0,638	1237	14,25	54,62
Model 16		10 m	1 m	-0,234	1272	68,55	53,34
Model 17			2 m	-0,423	1212	43,15	55,54
Model 18			3 m	-0,585	1237	21,37	54,62
Model 19	0.7 m	6 m	1 m	-0,425	1280	42,88	53,04
Model 20			2 m	-0,611	1250	17,88	54,15
Model 21			3 m	-0,689	1347	7,39	50,59
Model 22		8 m	1 m	-0,311	1343	58,20	50,73
Model 23			2 m	-0,493	1215	33,74	55,43
Model 24			3 m	-0,633	1246	14,92	54,29
Model 25		10 m	1 m	-0,235	1317	68,41	51,69
Model 26			2 m	-0,386	1196	48,12	56,13
Model 27			3 m	-0,552	1228	25,81	54,95



Gambar 3.1 Grafik Pemodelan Tanah Eksisting dan Model 1 – 27

Berdasarkan **Tabel 3. 1** dan **Gambar 3. 1** diameter yang menghasilkan penurunan kecil dan waktu reduksi yang singkat yaitu diameter 0,5 m, kedalaman 10 m, dan spasi 1 m dengan penurunan sebesar 0,234 m selama 1272 hari. Ketika dibandingkan diameter 0,5 m, kedalaman 10 m, dan spasi 1 m dengan diameter 0,2 m, kedalaman 10 m, dan spasi 1 m terdapat selisih penurunan sebesar 0,085 m atau sekitar 11,43, dan ketika dibandingkan diameter 0,5 m, kedalaman 10 m, dan spasi 1 m dengan diameter 0,7 m, kedalaman 10 m, dan spasi 1 terdapat selisih yang tidak signifikan yakni penurunan sebesar 0,001 m atau sekitar 0,14%.

Lalu untuk analisis kedalaman dengan diameter 0,5 m, kedalaman 6 m, spasi 1 m menghasilkan nilai reduksi penurunan sebesar 0,409 m selama 1183 hari. Untuk diameter 0,5 m, kedalaman 8 m, spasi 1 m menghasilkan nilai reduksi penurunan sebesar 0,303 m selama 1266 hari. dan diameter 0,5 m, kedalaman 10 m, spasi 1 m menghasilkan nilai reduksi penurunan sebesar 0,234 m selama 1272 hari. Terdapat selisih yang signifikan pada reduksi penurunan tetapi untuk reduksi waktu penurunan tidak terdapat selisih yang signifikan. Hal ini dipengaruhi oleh jenis lapisan tanahnya yaitu aliran air pori selama proses konsolidasi. Karena tanah lunak erat kaitannya dengan besar penurunan dan waktu penurunan, maka dipilih kedalaman yang efektif yaitu 8 m.

Dan untuk analisis spasi dengan diameter 0,5 m, kedalaman 8 m, spasi 1 m nilai reduksi penurunan sebesar 0,303 m selama 1266 hari. Untuk diameter 0,5 m, kedalaman 8 m, spasi 2 m nilai reduksi penurunan sebesar 0,513 m selama 1204 hari. Lalu diameter 0,5 m, kedalaman 8 m, spasi 3 m nilai reduksi penurunan sebesar 0,638 m selama 1237 hari. Terdapat selisih reduksi penurunan yang signifikan tetapi untuk reduksi waktu selisihnya tidak signifikan. Diameter 0,5 m, kedalaman 8 m, spasi 1 m dengan diameter 0,5 m, kedalaman 8 m, spasi 2 m selisih reduksi penurunannya sebesar 0,21 m atau sekitar 28,22%. Dan diameter 0,5 m, kedalaman 8 m, spasi 1 m dengan diameter 0,5 m, kedalaman 8 m, spasi 3 m selisih reduksi penurunannya sebesar 0,335 m atau sekitar 45,02%. Oleh karena itu, spasi yang efektif adalah spasi 1 m.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisis pada kondisi eksisting terdapat potensi penurunan sebesar 0,744m selama 2726 hari atau sekitar 7,5 tahun, sehingga perlu dilakukan perbaikan tanah.

2. Berdasarkan hasil analisis perbaikan tanah menggunakan CMC dengan diameter 0,5 m, kedalaman 10 m, dan jarak spasi 1 m, dapat diketahui bahwa terjadi penurunan yang kecil dari sebelumnya tanpa dilakukan perbaikan, yang diperoleh hasil penurunan sebesar 0,744 m menjadi 0,234 m.

3. Berdasarkan hasil analisis variasi diameter, dapat diketahui bahwa nilai yang paling mereduksi penurunan dan mereduksi waktu adalah dengan diameter 0,5 m, kedalaman 10 m, spasi 1 m dengan nilai reduksi penurunan sebesar 68,55% dan nilai reduksi waktu sebesar 53,34%. Sedangkan ketika dibandingkan dengan diameter 0,7 m, kedalaman 10 m, spasi 1 m dengan nilai reduksi penurunan sebesar 68,41% dan nilai reduksi waktu sebesar 51,69%. Terjadi selisih reduksi waktu sebesar 45 hari atau sekitar 0,14%.

4. Berdasarkan hasil analisis variasi kedalaman, dapat diketahui bahwa nilai yang paling mereduksi penurunan dan mereduksi waktu adalah kedalaman 8 m dan 10 m. Untuk diameter 0,5 m, kedalaman 8 m, spasi 1 m mereduksi penurunan sebesar 59,27% dan waktunya 53,56%. Sedangkan untuk diameter 0,5 m, kedalaman 10 m, spasi 1 m mereduksi penurunan sebesar 68,55% dan waktunya 53,34%. Terdapat selisih reduksi penurunan dan waktu reduksi yang disebabkan oleh lapisan tanahnya, kedalaman 8 m berada pada tanah lanau yang sangat *soft* dengan nilai N-SPT 2 dan kedalaman 10 m berada pada tanah lanau yang *stiff* dengan nilai N-SPT

8 dan mendapat dukungan tambahan dari lapisan pasir padat di bawahnya dengan nilai N-SPT 28.

5. Berdasarkan hasil analisis variasi spasi, dapat diketahui bahwa nilai yang mereduksi penurunan dan mereduksi waktu adalah spasi 1 m dan 2m. Untuk diameter 0,5 m, kedalaman 8 m, dan spasi 1 m menghasilkan reduksi penurunan sebesar 59,27% dan reduksi waktu 53,56% sedangkan diameter 0,5 m, kedalaman 8 m, dan spasi 2 m menghasilkan reduksi penurunan sebesar 31,05% dan reduksi waktu 55,83%. Terdapat selisih waktu reduksi sebesar 62 hari atau sekitar 2,27%. Spasi 1 m paling mereduksi penurunan, tetapi jika dilihat reduksi waktu spasi 2 m yang paling mereduksi waktu.

DAFTAR RUJUKAN

- Das, B. M., Ameratunga, J., & Sivakugan, N. (2016). *Correlation of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering*. India: Springer.
- Das, Braja M (2011). *Principles of Foundation Engineering, SI* (Edisi 7). Stamford: I cengage Learning.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I Edisi 3*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah II Edisi 3*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.