

Evaluasi Perilaku Penurunan Tanah Pada Konstruksi Bangunan Stone Crusher Plant Di Maloko

(Evaluation Of Settlement Behavior in Stone Crusher Plant Construction at Maloko)

Abi Maulana Hakim

Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Indonesia
Jl. Raya Puspiptek, Serpong, Kota Tangerang Selatan, 15413

Abstrak

Penurunan (settlement) pondasi harus dihitung dengan hati-hati untuk memastikan stabilitas bangunan, menara, jembatan, dan struktur yang membutuhkan biaya tinggi untuk membangunnya. Hal yang menjadi penyebab utama terjadinya penurunan adalah deformasi dari tanah. Dalam praktiknya, setiap perencanaan bangunan dilakukan analisa penurunan yang akan ditimbulkan akibat beban permanen dan operasional dari bangunan tersebut. Dari analisa tersebut dapat diketahui estimasi seberapa besar penurunan yang akan terjadi. Analisa ini dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan matematis closed-form ataupun melalui pemodelan matematis dengan menggunakan perangkat lunak komputer. Salah satu kasus penurunan tanah terjadi pada lokasi Stone Crusher Plant di Maloko, Parung, Bogor. Bangunan Stone Crusher yang sudah selesai dikonstruksi dan berdiri dengan tegak kemudian mengalami settlement tidak merata pada salah satu sisi tumpuan bawahnya, sehingga bangunan menjadi miring. Program penyelidikan tanah dan monitoring dilakukan untuk mendapatkan data primer dari lokasi penelitian. Perilaku penurunan tanah dievaluasi dengan menggunakan finite element software yaitu PLAXIS 2D, dengan berdasarkan data tanah dan monitoring yang ada. Selanjutnya, penurunan pasca-konstruksi dan saat operasional struktur diprediksikan. Desain perbaikan dengan menggunakan Jet Grouting juga dilakukan untuk mengetahui efeknya terhadap pola penurunan yang terjadi. Jet Grouting cukup efektif dalam mengurangi penurunan yang terjadi sehingga kemiringan yang akan terjadi pasca-konstruksi dan saat operasional berkurang.

Kata Kunci : Penurunan tanah, Finite Element, PLAXIS 2D, Stone Crusher Plant, Jet Grouting

Abstract

Settlement below foundation shall be estimated with extra attention to ensure the stability of building, tower, bridge, or more complex structure that required high cost to construct. The main cause occurring settlement is soil deformation. In general practice, every building is designed with settlement analysis to estimate vertical deformation induced by permanent and operational load. Hence, the predicted settlement value is obtained and the construction proceed based on that value. Settlement analysis can be performed by closed-form mathematical equation or through mathematical modeling using computer software, such as finite element method modeling. Case study is conducted in Stone Crusher Plant at Maloko, Parung, Bogor. In this case, the stone crusher structure has been constructed and stand tall. Later on, differential settlement is occurred below the its footing generating tilting in the upper structure. Soil investigation and monitoring program is implemented to obtain primary data from the case study location. Furthermore, soil settlement behaviour is evaluated using finite element software, PLAXIS 2D, based on the data. Consequently, after-construction settlement and operational settlement is analyzed and estimated. To mitigate settlement problem, soil improvement design is proposed using Jet Grouting method. Analysis is conducted to check the effect

of Jet Grouting in minimizing settlement behavior. Conclusively, Jet Grouting is considered effective to reduce settlement thus tilting of stone crusher structure can be lowered.

Keyword : Settlement, Finite Element, PLAXIS 2D, Stone Crusher Plant, Jet Grouting

*Penulis Korespondensi. Telp: +62 85691611866
Alamat E-mail : abimaulanahakim@iti.ac.id

1. Pendahuluan

Penurunan (*settlement*) merupakan salah satu aspek teknis yang penting untuk diperhatikan dalam rekayasa geoteknik. Penurunan adalah deformasi vertikal yang terjadi ketika beban diberikan diatas tanah. Beban tersebut meningkatkan tegangan efektif vertikal yang diberikan ke tanah. Tegangan ini, pada gilirannya, meningkatkan regangan vertikal di dalam tanah. Peningkatan regangan vertikal ini menyebabkan tanah bergerak ke bawah. Faktanya, sebagian besar penurunan pada bangunan terjadi berdasarkan fungsi waktu. Penurunan juga dapat terjadi jika terdapat gangguan atau perubahan kondisi pada tanah di sekitar lokasi bangunan.

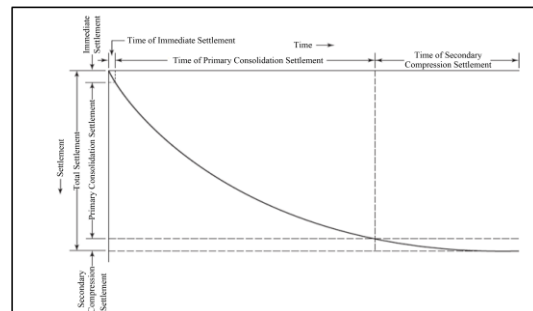
Dalam praktiknya, setiap perencanaan bangunan dilakukan analisa penurunan yang akan ditimbulkan akibat beban permanen dan operasional dari bangunan tersebut. Dari analisa tersebut dapat diketahui estimasi seberapa besar penurunan yang akan terjadi. Analisa ini dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan matematis *closed-form* ataupun melalui pemodelan matematis dengan menggunakan perangkat lunak komputer. [1] [2]

Salah satu kasus penurunan tanah terjadi pada lokasi *Stone Crusher Plant* di Maloko, Parung, Bogor. Bangunan *stone crusher* yang sudah selesai dikonstruksi dan berdiri dengan tegak kemudian mengalami *settlement* tidak merata pada salah satu sisi tumpuan bawahnya, sehingga bangunan menjadi miring. Di belakang bangunan tersebut sedang dilakukan proses penimbunan untuk menaikkan level permukaan tanah sehingga truk-truk pembawa batu besar dapat mengeluarkan isinya tepat di atas struktur *stone crusher* tersebut untuk proses penghancuran batu.

Fenomena ini menimbulkan kegelisahan pemilik lahan dan bangunan apakah konstruksi penimbunan tersebut dapat dilanjutkan dengan kekhawatiran yang dapat membuat bangunan semakin miring atau bahkan rusak. Melihat hal ini, penelitian perlu dilakukan untuk mengevaluasi perilaku penurunan tanah pada konstruksi bangunan *stone crusher plant* di Maloko tersebut.

2. Teori Dasar

Penurunan merupakan kriteria penting dalam desain pondasi bangunan. Penurunan pondasi harus dihitung dengan hati-hati untuk memastikan stabilitas bangunan, menara, jembatan, dan struktur yang membutuhkan biaya tinggi untuk membangunnya. Hal yang menjadi penyebab utama terjadinya penurunan adalah deformasi dari tanah. Menurut [3], penurunan diklasifikasikan sebagai berikut:



Gambar 1. Hubungan penurunan terhadap waktu (*Immediate settlement, consolidation, dan secondary compression settlement*)

Penurunan segera (elastis)

Ini terjadi dengan cepat setelah penambahan beban tanpa ada perubahan dalam kadar air dan volume tanah.

Penurunan konsolidasi

Jenis ini mencakup dua fase:

- 1) Fase konsolidasi primer:

Fase ini merupakan penurunan konsolidasi akibat perubahan volume karena ekstrusi air dari rongga tanah. Ini terjadi pada tanah kohesif jenuh dan perubahannya terjadi lambat dan berlangsung dalam jangka waktu yang lama.

- 2) Fase konsolidasi sekunder:

Fase ini adalah penurunan kompresi yang dianggap sebagai penyesuaian plastis diamati pada tanah kohesif jenuh. Ini adalah deformasi ekstra tanah yang terjadi karena penambahan konstan beban. Ini mengikuti fase konsolidasi primer.

Faktor utama yang mempengaruhi penurunan pondasi dangkal adalah: beban yang diterapkan,

kekakuan tanah, lebar, kedalaman, dan bentuk pondasi. [3] [5]

Penurunan pondasi (segera, konsolidasi) diperkirakan tergantung pada perhitungan tegangan di massa tanah yang berhubungan dengan tekanan pondasi. Distribusi penurunan dan tegangan serta nilainya adalah perhitungan dengan asumsi model tanah homogen, isotropik, dan elastis linier. Hal-hal ini yang bermain peran penting dalam desain pondasi. [6]

Penurunan langsung biasanya diperkirakan menurut teori elastis, yang mengasumsikan bahwa tanah mungkin berperilaku elastis di bawah tekanan pada setiap titik dalam massa tanah. Biasanya ada tiga jenis metode untuk menghitung penurunan elastis. [7] [8]

Metode empiris: tergantung pada penyelesaian pengamatan struktur dan pengujian skala penuh. Metode ini juga tergantung pada korelasi hasil dari tes standar in situ seperti uji penetrasi sondir (CPT) dan uji penetrasi standar (SPT). Selain itu, metode ini berisi langkah-langkah yang ditingkatkan oleh Terzaghi dan Peck (1948, 1967), Meyerhof (1956, 1965), DeBeer dan Martens (1957), Hough (1969), Peck dan Bazaraa (1969), dan Burland dan Burbidge (1985). [8]

Metode semi-empiris: didasarkan pada integrasi studi teoritis dan pengamatan lapangan. Metode ini berisi langkah-langkah yang digariskan oleh Schmertmann (1970), Schmertmann dkk. (1978), Briaud (2007), dan Akbas dan Kulhawy (2009) (Das, 2015). Metode hubungan teoritis: berhubungan dengan teori elastisitas. Perhitungan penyelesaian tergantung pada Modulus Elastisitas (E_s). [8]

Penurunan konsolidasi diperkirakan dari uji konsolidasi (triaksial atau oedometer). Tes-tes ini adalah cara memperkirakan besar dan waktu konsolidasi untuk mendapatkan penurunan untuk konsolidasi normal dan di atas tanah kohesif terkonsolidasi. [3] [9]

Tujuan dari makalah ini adalah mengevaluasi penurunan pada struktur stone crusher plant di Maloko. Evaluasi dilakukan menggunakan model elemen hingga (PLAXIS 2D).

3. Metodologi

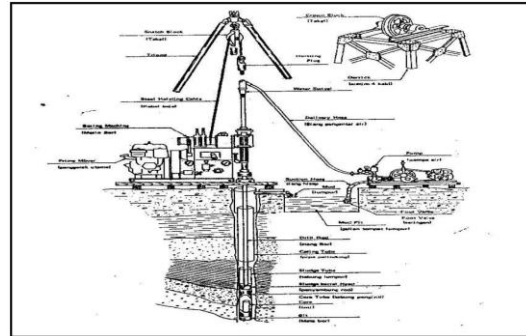
Pengambilan data tanah

Penyelidikan tanah dilakukan dengan menggunakan:

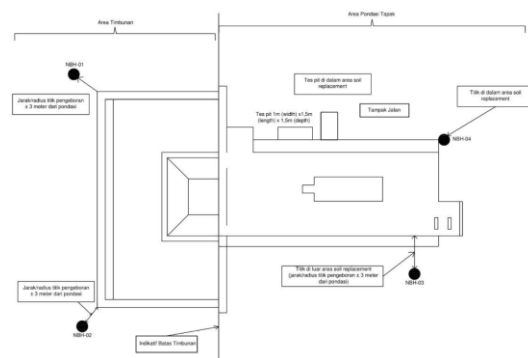
- 1) Pengeboran Dalam, dilaksanakan di 4 (empat) titik dengan lokasi pada Gambar 3. Pengeboran dilaksanakan dengan mengacu pada ASTM D 2113 dan D 1452 (Gambar 2).
- 2) Standard Penetration Test (SPT) ini dilakukan bersamaan dengan pekerjaan

pemboran. Pekerjaan SPT didasarkan pada ASTM standard D 1586 – 84.

- 3) Pekerjaan sampling, dilakukan untuk keperluan pengujian tanah di laboratorium. Pelaksanaan pekerjaan sampling dilakukan sesuai dengan ASTM D 1587 – 67.
- 4) Uji properties dan kekuatan tanah di laboratorium.



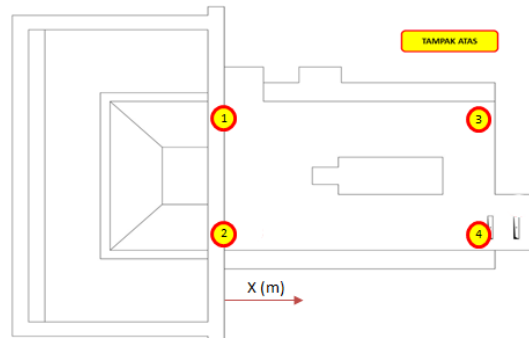
Gambar 2. Simulasi pekerjaan pengeboran



Gambar 3. Lokasi penyelidikan tanah

Pembacaan data pergerakan struktur

Pembacaan data monitoring dilakukan untuk mengetahui deformasi ataupun penurunan pada struktur. Data diambil melalui pengukuran pada beberapa titik di bangunan yang diamati, sebagai berikut:



Gambar 4. Lokasi Pembacaan Monitoring Penurunan

4. Hasil dan Pembahasan

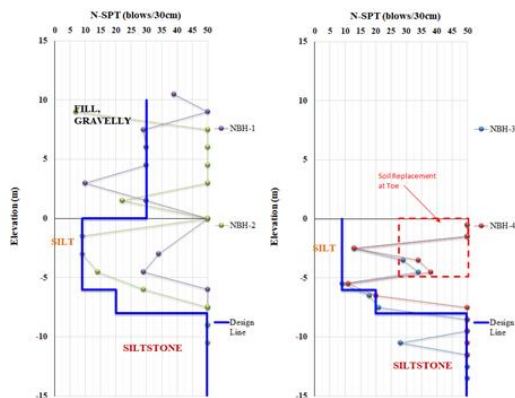
Hasil penyelidikan tanah dan penentuan parameter tanah

Penyelidikan tanah dilakukan pada lokasi stone crusher plant dengan total 4 titik *borehole*. Terdapat 2 *borehole* NBH-1 & NBH-2 yang dilakukan di bagian *intake stone*, dimana penyelidikan tanah dimulai pada elevasi timbunan tanah. Sedangkan 2 *borehole* lagi, NBH-3 & NBH-4 dilakukan dibagian depan pada elevasi yang lebih rendah. Dari hasil penyelidikan tersebut didapatkan nilai SPT N tanah seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Diagram alir penelitian

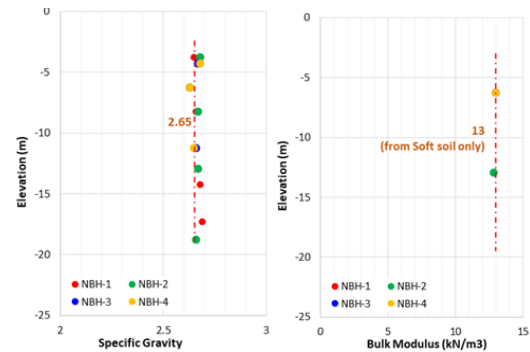
Nilai *specific gravity* tanah di Maloko kurang lebih sebesar 2.65 yang mana angka ini adalah tipikal untuk kondisi tanah berbatu. Sedangkan unit weight tanah dari hasil pengujian sebesar 13 kN/m³ yang didapatkan dari sample UDS untuk kondisi tanah soft saja, sehingga unit weight ini tidak merepresentasikan kondisi keseluruhan tanah. (Gambar 7)



Gambar 6. Nilai N-SPT tanah

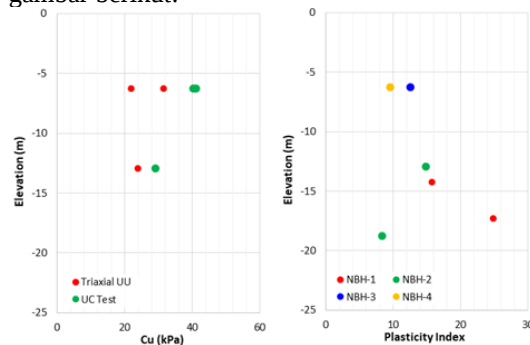
Pada *borehole* NBH-03 pengeboran dilakukan pada tepi bangunan dimana *full soil replacement* dilakukan untuk menggantikan kondisi tanah lunak dengan batuan. Dari *borehole*, terlihat bahwa gravel ditemukan hingga kedalaman 4m saja dan di bawahnya masih ditemukan lapisan tanah halus dengan konsistensi medium stiff to stiff, dengan SPT bervariasi antara

9 – 18. Hal ini masih sejalan dengan informasi yang diberikan, dimana penggantian tanah dilakukan hingga kedalaman 3 – 5 m dan di bawahnya terdapat lapisan tanah halus namun dengan konsistensi yang cukup baik. Lapisan tanah berbutir halus ini juga terlihat pada semua *borehole* dimana dijumpai tanah lunak setebal 1 – 2 m.



Gambar 7. *Specific gravity* dan unit weight tanah

Besarnya shear strength dan index plastisitas tanah berbutir halus ini bisa dilihat pada gambar berikut:

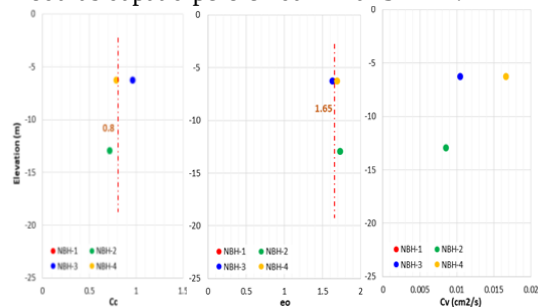


Gambar 8. Kuat geser dan index plastisitas tanah

Dari grafik tersebut terlihat tanah halus tersebut memiliki nilai plastisitas yang cukup rendah dengan PI rerata sebesar 10-16%. Nilai undrained shear strength tanah juga relatif kecil dengan Cu sebesar 23 kPa. nilai kompresibilitas tanah juga termasuk sedang dengan angka kompresibilitas *Cc* sebesar 0.8 (Gambar 9). Namun untuk tanah halus dengan ketebalan hanya 2 m, maka besarnya penurunan akibat konsolidasi akan menjadi tidak signifikan. Meski demikian, perlu untuk dilakukan analisis mendalam untuk mengetahui tingkat penurunan yang sebenarnya.

Tidak ada pengukuran langsung dari modulus tanah, dan dengan demikian, nilainya perlu dikorelasikan dengan hasil pengukuran yang lain. Salah satu cara untuk mendapatkan modulus tanah berbutir halus adalah dengan menggunakan grafik dari [10] menggunakan nilai indeks plastisitas tanah. Dari grafik pada Gambar 13, terlihat bahwa korelasi sebesar $E_u = 600 C_u$ bisa digunakan untuk plastisitas tanah $PI < 30$.

Untuk tanah granular, modulus dapat diturunkan menggunakan grafik dari [11], di mana modulus dapat diperoleh dari nilai SPT-N.

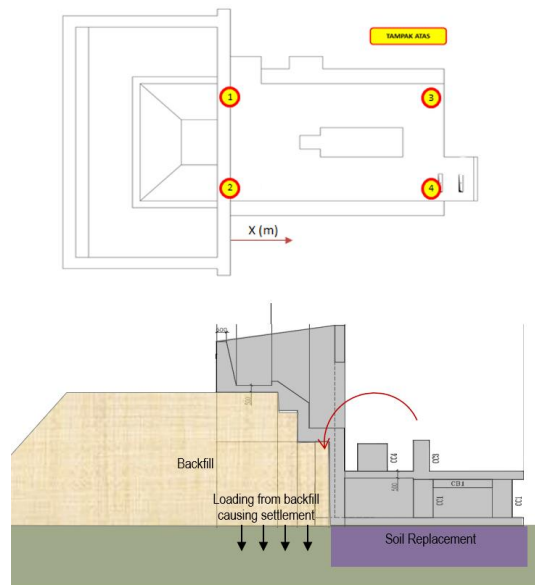


Gambar 9. Kompresibilitas tanah halus

Dari data yang diberikan tersebut kemudian disusun parameter tanah untuk digunakan sebagai acuan analisis sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Hasil bacaan monitoring pergerakan

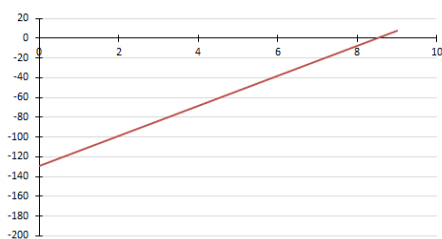
Data monitoring penurunan yang telah dicatat pada lokasi stone crusher kemudian disajikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 10, 11 dan Tabel 2.



Gambar 10. Lokasi pembacaan monitoring penurunan dan kemungkinan mekanisme penurunan

Tabel 1. Parameter tanah desain

No	Jenis Tanah	Elevasi		NSPT desain blows/ft	k (m/day)	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ	Cu (kPa)	E ₅₀ (kPa)	E _{oed} (kPa)	E _{ur} (kPa)
		Atas	Bawah									
1	Fill Gravel	10.50	0.00	30	1.00	19	3	37		30,000	24,000	90,000
2	Silt (N=9)	0.00	-6.00	9	7.40E-03	17	5	23	54	9,000	7,200	27,000
3	Silt (N=20)	-6.00	-8.00	20	7.40E-03	17	7	25	120	20,000	16,000	60,000
4	Silt stone (N=50)	-8.00	-15.00	50	7.40E-03	18	7	32	300	50,000	40,000	150,000



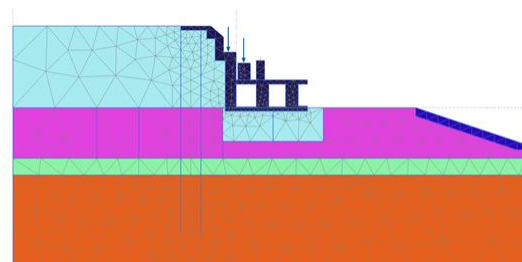
Gambar 11. Grafik penurunan terhadap jarak

Tabel 2. Data bacaan monitoring penurunan

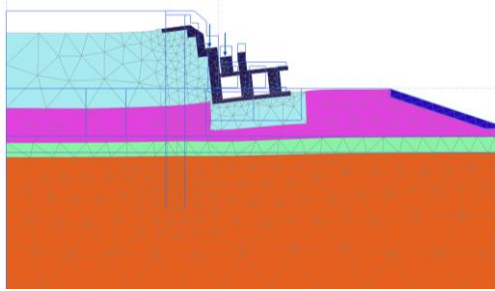
Sisi Belakang (X = 0 m)		Sisi Depan (X = 9 m)	
Penurunan (mm)	Rata-rata (mm)	Penurunan (mm)	Rata-rata (mm)
[1] [2]		[3] [4]	
-136.5 -122.5	-129.5	-1 -16	7.5

Pemodelan dan evaluasi dengan PLAXIS 2D V20 CE

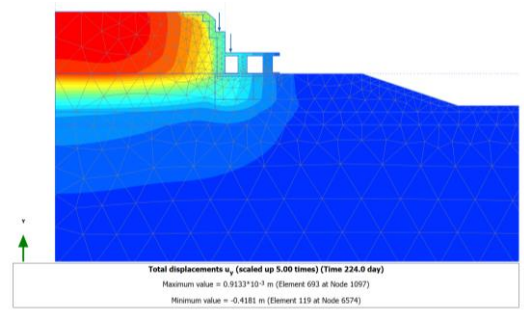
Selanjutnya, pemodelan dengan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D V20 CE dilakukan. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan parameter tanah seperti pada Tabel 1. Kemudian, pemodelan dilakukan seperti pada gambar berikut ini:



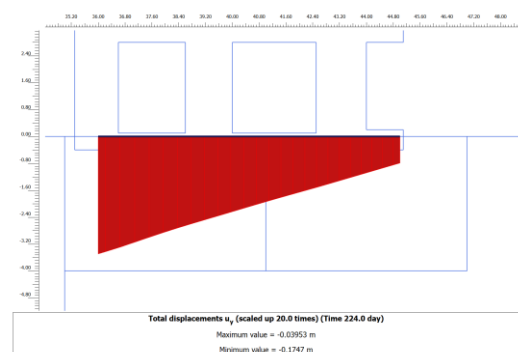
Gambar 12. Pemodelan kondisi eksisting PLAXIS 2D V20 CE



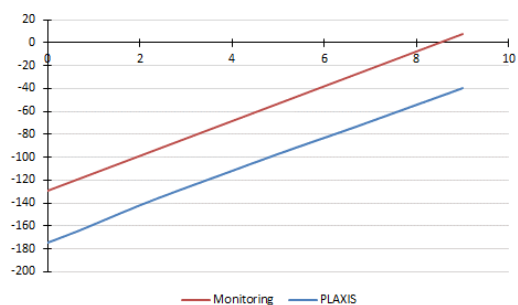
Gambar 13. Pola deformasi kondisi eksisting – global



Gambar 14. Pola penurunan kondisi eksisting – global



Gambar 15. Profil penurunan kondisi eksisting – pondasi stone crusher



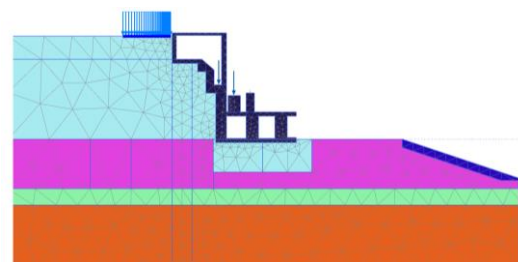
Gambar 16. Grafik penurunan terhadap kedalaman – data monitoring & PLAXIS

Hasil analisa menunjukkan bahwa pola deformasi penurunan diakibatkan oleh besarnya beban timbunan di belakang struktur *stone crusher* yang kemudian menyebabkan struktur *stone crusher* ikut mengalami penurunan.

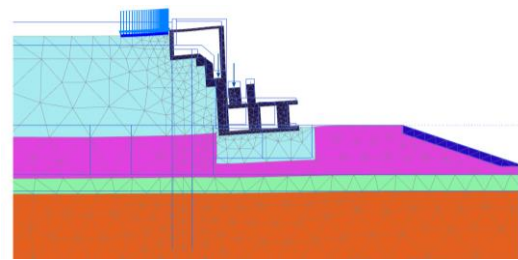
Dari hasil profil penurunan pada lokasi struktur *stone crusher* yang didapatkan dari hasil pemodelan, dapat evaluasi bahwa pola profil penurunan dari hasil pemodelan mendekati dan serupa dengan bacaan monitoring. Hanya saja terjadi perbedaan dalam segi besaran/*magnitude* penurunan. Hasil pemodelan menunjukkan nilai penurunan yang lebih besar dari monitoring. Hal ini wajar, dalam arti bahwa model yang dibangun memberikan hasil yang lebih konservatif dibandingkan dengan hasil bacaan monitoring penurunan aktual. Sehingga dapat disimpulkan, bahwa model yang dibangun dapat digunakan untuk memprediksi penurunan yang akan terjadi pada tahapan penimbunan selanjutnya.

Analisa dan prediksi penurunan akhir konstruksi dan operasional

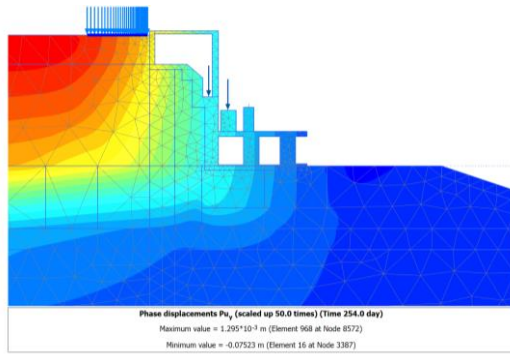
Tahap akhir dari konstruksi adalah penimbunan sampai final level dan pengecoran akhir struktur *stone crusher*. Kemudian, tahap operasional adalah dengan mengaplikasikan beban operasional tambahan pada *hooper* dan pada *point load* reaksi dari *stone crusher*. Pemodelan dilanjutkan dengan menggunakan model yang telah dievaluasi dengan menggunakan data monitoring untuk mendapatkan prediksi penurunan yang akan terjadi setelah konstruksi akhir selesai dan tanah operasional tanpa perbaikan tanah. Dari hasil pemodelan, estimasi penurunan yang terjadi pada lokasi pondasi *stone crusher* pada masing-masing tahap setelah konstruksi dan tahap operasional sebesar 25.3 mm dan 33.6 mm. Total penurunan pada kedua tahap adalah 58.9 mm. Pemodelan dilakukan seperti yang tersaji pada gambar-gambar berikut ini:



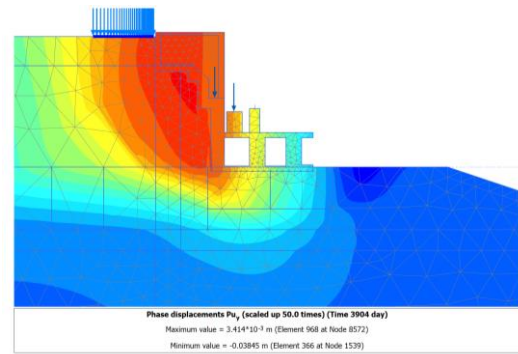
Gambar 17. Model kondisi akhir konstruksi – tanpa perbaikan



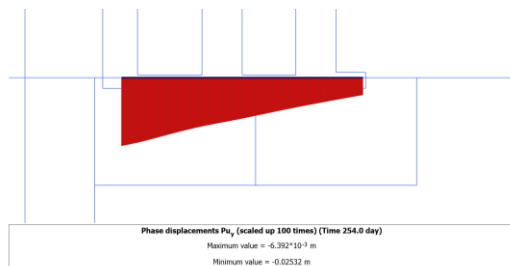
Gambar 18. Pola deformasi kondisi akhir konstruksi – tanpa Perbaikan – global



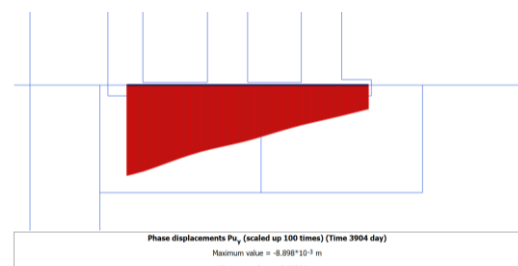
Gambar 19. Pola penurunan kondisi akhir konstruksi – tanpa perbaikan – global



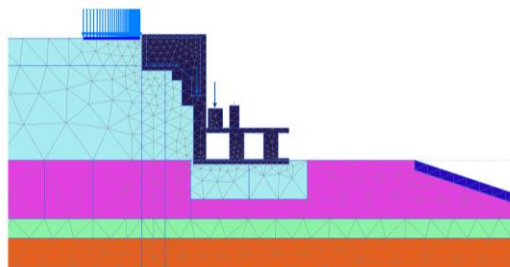
Gambar 23. Pola penurunan kondisi tahap operasional – tanpa perbaikan – global



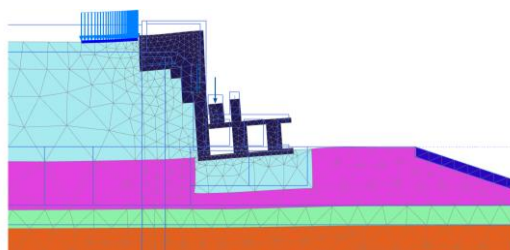
Gambar 20. Profil penurunan kondisi akhir konstruksi – tanpa perbaikan – pondasi *stone crusher*



Gambar 24. Profil penurunan kondisi tahap operasional – tanpa perbaikan – pondasi *stone crusher*



Gambar 21. Model kondisi tahap operasional – tanpa perbaikan



Gambar 22. Pola deformasi kondisi tahap operasional – tanpa perbaikan – global

Hasil analisa perbaikan tanah dengan *jet grouting*

Jet Grouting dapat meningkatkan karakteristik mekanis tanah dengan menginjeksikan *grout* ke dalam tanah. Perbedaannya adalah dalam proses instalasinya. *Jet grouting* meningkatkan karakteristik mekanis tanah menggunakan *fluid jetting* dengan energi kinetik yang tinggi yang memecah struktur tanah dan campuran tanah partikel in-situ dengan *grout* untuk menciptakan massa homogen material perkuatan tanah-semen dengan kekuatan tinggi.

Alat dari metode ini terdiri dari *plant* produksi *fixed grout* (silo, pencampur *grout*, pompa bertekanan tinggi) melekat kepada *rig* pengeboran yang bertekanan tinggi. *Bit* untuk pengeboran dilengkapi dengan *nozzle* untuk menginjeksi yang karakteristiknya bergantung kepada jenis tanah dan bentuk geometris dan karakteristik mekanis kolom (bentuk, diameter, kekuatan tekan,dll).

Dalam desain, *jet grouting* dipilih sebagai *single column grout* untuk membantu mengurangi penurunan tanah yang terjadi. Parameter desain untuk *jet grouting* dapat dilihat pada Tabel 3.

Dalam analis, perbaikan tanah dengan *jet grout* dimodelkan sebagai material komposit *JG-Soil* berdasarkan *area treatment ratio* yang digunakan. Parameter komposit yang didapatkan disajikan pada Tabel 4.

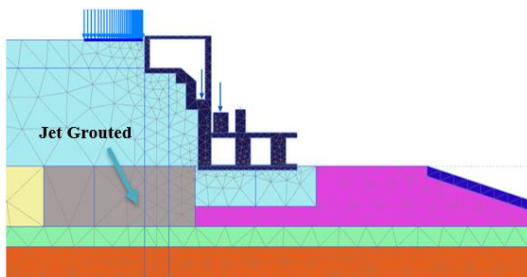
Tabel 3. Parameter desain *jet grouting*

Parameter	Nilai	Satuan
UCS	1.2	MPa
Cu	500	kPa
E	100,000	kPa
Area Treatment Ratio	19.5	%

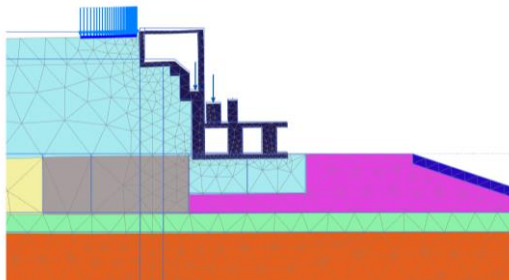
Tabel 4. Parameter desain *composite material*

Layer	Composite JG-Soil		
	c (kPa)	E ₅₀ (kPa)	γ (kN/m ³)
1	141	26,700	18

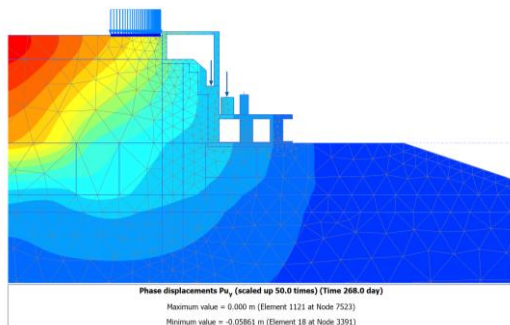
Dari hasil pemodelan, estimasi penurunan yang terjadi setelah diperbaiki dengan *jet grouting* adalah sebesar 14.8 mm pada lokasi pondasi *stone crusher*. Pemodelan dilakukan seperti yang tersaji pada gambar-gambar berikut ini:



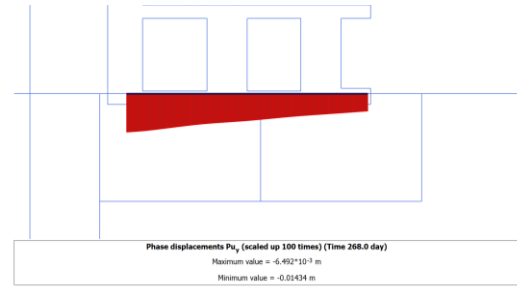
Gambar 25. Model kondisi akhir konstruksi – *jet grouting*



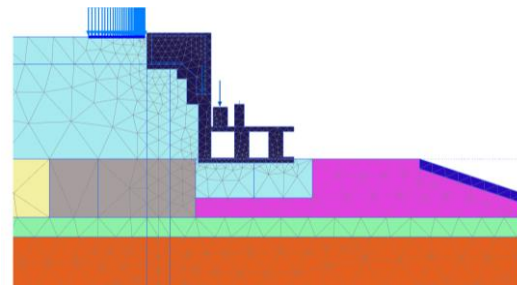
Gambar 26. Pola deformasi kondisi akhir konstruksi – *jet grouting* – global



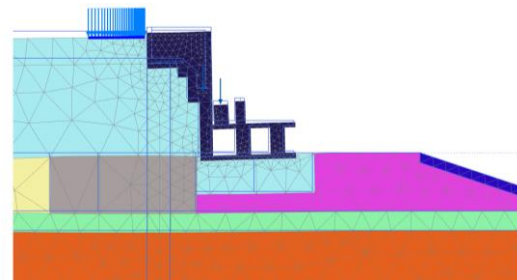
Gambar 27. Pola penurunan kondisi akhir konstruksi – *jet grouting* – global



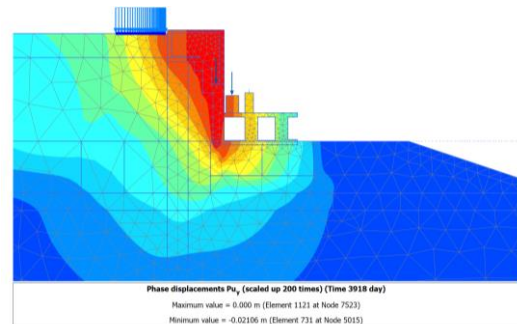
Gambar 28. Profil penurunan kondisi akhir konstruksi – *jet grouting* – pondasi *stone crusher*



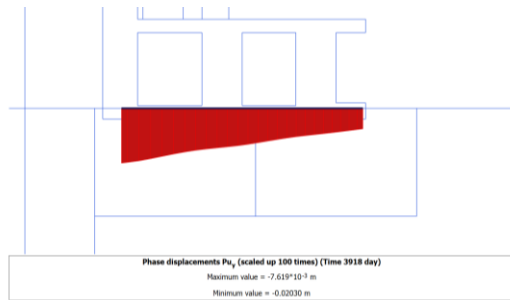
Gambar 29. Model kondisi tahap operasional – *jet grouting*



Gambar 30. Pola deformasi kondisi tahap operasional – *jet grouting* – global



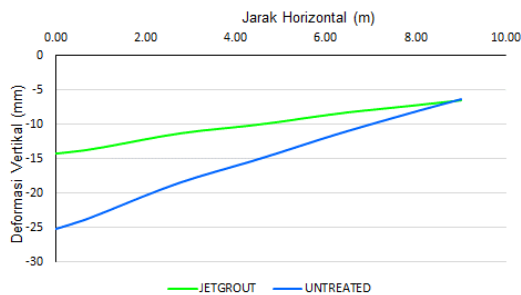
Gambar 31. Pola penurunan kondisi tahap operasional – *jet grouting* – global



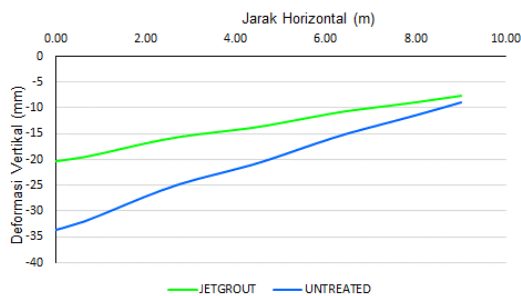
Gambar 32. Profil penurunan kondisi tahap operasional – *jet grouting* – pondasi *stone crusher*

Rangkuman hasil dan pembahasan

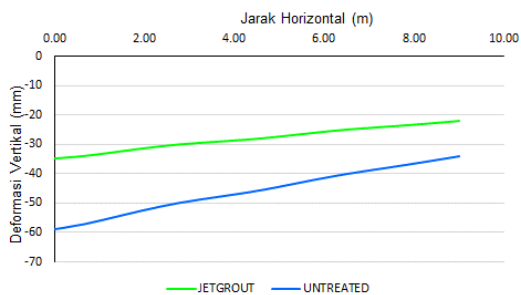
Dari hasil analisa prediksi penurunan akhir dengan dan tanpa perbaikan, dapat dirangkum hasil profil penurunan pada pondasi *stone crusher* seperti pada grafik berikut ini:



Gambar 33. Profil penurunan kondisi akhir konstruksi di pondasi *stone crusher* – rangkuman



Gambar 34. Profil penurunan kondisi tahap operasional di pondasi *stone crusher* –rangkuman



Gambar 35. Profil penurunan total tahap konstruksi dan operasional di pondasi *stone crusher* – rangkuman

Rangkuman penurunan kondisi akhir menunjukkan bahwa perbaikan dengan *jet grouting* akan mengurangi penurunan yang terjadi pada struktur *stone crusher* dengan besaran yaitu 35 mm secara total tahap konstruksi dan operasional. Estimasi penurunan dengan tanpa perbaikan akan memberikan penurunan total sekitar 60 mm.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Terjadinya fenomena penurunan (*settlement*) tidak merata yang menimbulkan kemiringan pada struktur *stone crusher* disebabkan oleh adanya pekerjaan penimbunan/*backfill* yang berada di sisi belakang/inlet dari *stone crusher* tersebut,
- 2) Kasus penurunan tidak merata ini ditimbulkan akibat perilaku tanah di belakang struktur *stone crusher* yang diberikan beban timbunan dengan tinggi sampai 10 m mengalami penurunan signifikan sehingga menyebabkan pondasi *stone crusher* pada sisi belakang struktur mengikuti penurunan pada tanah di belakangnya tersebut. Sementara tanah pada sisi depan tidak mengalami penurunan yang signifikan karena tidak terdapat *backfill* pada sisi depan struktur.
- 3) Penurunan yang terjadi dapat diantisipasi dengan melakukan perkuatan dengan metode *Jet Grouting*. Penurunan total dapat berkurang dari 60 mm dengan tanpa perkuatan menjadi 35 mm jika dilakukan perbaikan tanah dengan metode *Jet Grouting*.

Daftar Pustaka

- [1] Salahudeen, A. B., (2018) *Evaluation of foundation settlement characteristics and analytical model development*. Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, December 2018.
- [2] Salahudeen, A. B., Ijimdiya, T. S., Eberemu, A. O. & Osinubi, K. J. (2019) *Assessment of Foundation Settlement Prediction using Analytical and Numerical Techniques*. Nigerian Research Journal of Engineering and Environmental Sciences 4(1) 2019 pp. 152-165.
- [3] Liu, C. and Evett, J.B. (2008) *Soils and Foundations*. 7th Edition, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River.

- [4] Bowles, .E. (1996) *Foundation Analysis and Design*. 5th Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc., New York.
- [5] Shahriar, M.A., Sivakugan, N., Urquhart, A., Tapiolas M. and Das, B.M. (2013) *A Study on the Influence of Ground Water Level on Foundation Settlement in Cohesionless Soil*. The 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, 2-6 September 2013, 216-229
- [6] Al-Ramthan, A.Q.O. (2012) Using Matlab with Quadrilateral Finite Elements in Analysis of Multi-Layered Nonhomogeneous Soils under Strip Footing. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 4, 717-723..
- [7] Murthy, V.N.S. (2002) *Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Marcel Dekker Inc., New York.
- [8] Das, B.M. (2015) *Elastic Settlement of Shallow Foundations on Granular Soil: A Critical Review*. [http://gle.wisc.edu/wp-content/uploads/2013/07/Elastic-Settlement-Shallow-Foundations A-Critical-Review-2.pdf](http://gle.wisc.edu/wp-content/uploads/2013/07/Elastic-Settlement-Shallow-Foundations-A-Critical-Review-2.pdf).
- [9] Smith, G.N. and Smith, I.G.N. (1998) *Elements of Soil Mechanics*. 7th Edition, Blackwell Science, Great Britain.
- [10] Duncan, J. M. and Buchignani, A. L. (1976). *An engineering manual for settlement studies*, University of California at Bekeley, Bekeley, California
- [11] Callanan, J. F., and Kulhawy, F. H. (1985). *Evaluation of procedures for predicting foundation uplift movements*, Rpt EL-4107, Electric Power Research Institute, Palo Alto, 124 pp.