

## ANALISIS *FINITE ELEMENT* DEFORMASI *RIGID INCLUSION* DENGAN DAN TANPA *INCLUSION CAPS* DI TIMBUNAN BATUBARA

Muhammad Farrel Mahran Arry<sup>1</sup>, Giovanni Pranata<sup>2</sup>, dan Ali Iskandar<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
*muhammad.325180147@stu.untar.ac.id*

<sup>2</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
*Giovannip@ft.untar.ac.id*

<sup>3</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
*ali.iskandar1999@gmail.com*

Masuk: 14-01-2022, revisi: 10-02-2022, diterima untuk diterbitkan: 22-02-2022

### ABSTRACT

*The large energy demand for this nation makes business people try the mining business. Not all coal mining sites are located on supportive soil, there are also areas located on soft soil. Soft soil is an infrastructure constraint that should not be underestimated because the deformation caused by soft soil can be fatal to a building structure. To overcome these problems, there are many soil improvement methods that can be used, one of which is rigid inclusion. This method takes the basic principle of load transfer by being channeled to a load transfer platform which is the hallmark of this method. The addition of inclusion caps is also one of the modeling options of this method which can increase efficiency in rigid inclusion. With this method, the processing time will be faster and more efficient and the soil deformation that occurs is not large.*

*Keywords: coal, soft soil, rigid inclusion, load transfer platform, inclusion caps, deformation*

### ABSTRAK

Kebutuhan energi yang besar untuk bangsa ini membuat para pelaku usaha mencoba bisnis pertambangan. Tidak semua tempat penambangan batubara berada di tanah yang mendukung ada juga di daerah yang berada pada tanah lunak. Tanah lunak menjadi kendala infrastruktur yang tidak boleh dipandang sebelah mata karena deformasi yang diakibatkan tanah lunak dapat berakibat fatal bagi suatu struktur bangunan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut banyak metode perbaikan tanah yang bisa digunakan salah satunya adalah *rigid inclusion*. Metode ini mengambil prinsip dasar yaitu transfer beban dengan disalurkan ke *load transfer platform* yang merupakan ciri khas dari metode ini. Penambahan *inclusion caps* juga merupakan salah satu opsi pemodelan dari metode ini dimana dapat meningkatkan efisiensi di *rigid inclusion*. Dengan metode ini waktu pengerjaan akan lebih cepat dan efisien serta membuat deformasi tanah yang terjadi tidak besar.

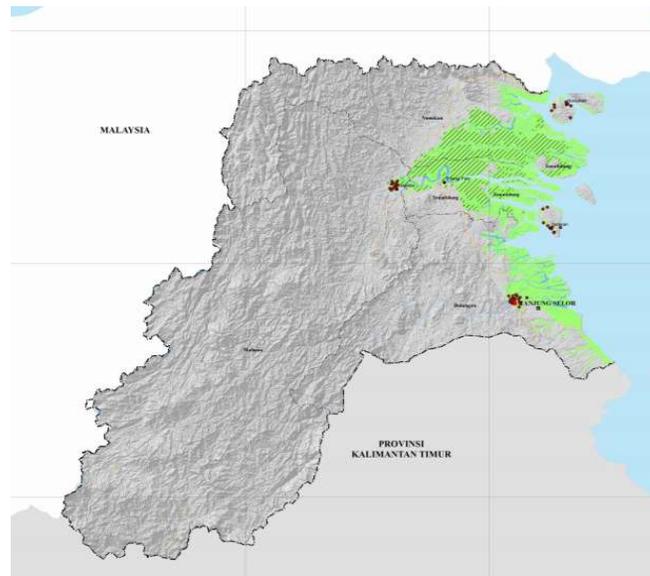
Kata kunci: batubara, tanah lunak, *rigid inclusion*, *load transfer platform*, *inclusion caps*, deformasi.

### 1. PENDAHULUAN

Kalimantan Utara merupakan salah satu daerah di Indonesia yang memiliki batubara yang cukup besar dan sebaran tanah lunak, untuk itu infrastruktur pertambangan yang dibangun disana memiliki banyak tantangan khususnya dibagian fondasi. Dengan kondisi tersebut maka beberapa macam metode perbaikan tanah digunakan guna menunjang infrastruktur yang ada, salah satunya adalah metode *rigid inclusion*. Dengan menggunakan metode tersebut maka dalam pelaksanaannya harus dianalisis secara efektif. Untuk itu tujuan dalam penelitian ini akan dilihat efektifitas dari penggunaan *rigid inclusion* dengan dan tanpa *inclusion caps* untuk kasus timbunan batubara dilihat dari analisis deformasinya.

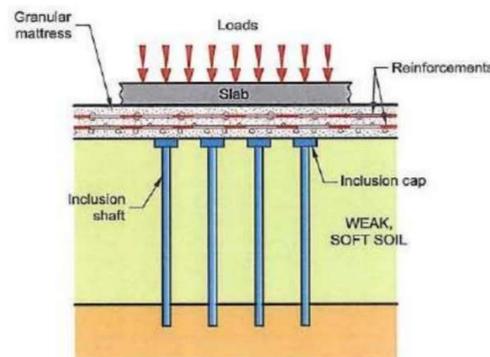
Tanah lunak adalah tanah yang umumnya terdiri dari tanah lempung termasuk material fondasi yang sangat jelek karena kadar airnya yang tinggi, permeabilitas rendah dan tanah yang secara visual dapat ditembus dengan ibu jari minimum sedalam  $\pm 25$  mm, atau mempunyai kuat geser 40 kPa berdasarkan uji geser baling lapangan. Tanah lunak merupakan tanah yang memiliki kadar air  $> 40\%$ , nilai sudut geser atau  $S_u < 50$  kPa dan memiliki indeks plastisitas  $> 20$ . (Badan Standardisasi Nasional, 2019)

Kalimantan Utara sendiri memiliki sebaran tanah lunak seperti gambar 1 di bawah ini, sebaran tanah lunak tersebut dapat berpotensi menimbulkan kendala dalam pelaksanaan konstruksi karena umumnya memiliki daya dukung yang rendah.



Gambar 1 Peta Sebaran Tanah Lunak Kalimantan Utara (Sumber: Badan Geologi ESDM, 2019)

Metode *rigid inclusion* pertama kali dikembangkan di Perancis di tahun 1990-an sebagai alternatif dari fondasi tiang dan *stone columns*. Pada dasarnya beban akan disalurkan ke tiang fondasi melalui *load transfer platform* (LTP) yang mana bahan LTP sendiri bisa berupa granular atau bahan pengikat lain seperti gambar 2. Keuntungan dari cara ini adalah *stress reduction* atau pengurangan tegangan terutama di bagian kepala tiang. (Bohn, 2016) Berdasarkan prinsip dasarnya *rigid inclusion* dapat diterapkan di berbagai macam tipe tanah tetapi dalam praktiknya banyak dipakai untuk tanah lunak atau menengah yang biasa sering terjadi kompresibilitas sebagai contoh yaitu tanah liat, tanah gambut, dan tanah lanau. (ASIRI, 2011)



Gambar 2 Komponen-komponen *rigid inclusion* (Sumber : ASIRI National Project, 2011)

*Load transfer platform* (LTP) adalah ciri khas dari metode *rigid inclusion*. *Load transfer platform* adalah sebuah lapisan yang letaknya memisahkan antara *inclusion caps* dengan struktur atasnya. Biasanya *Load transfer platform* terbuat dari bahan granular yang dipadatkan. Umumnya tebal dari *Load transfer platform* sendiri berkisaran antara 40 sampai 80 cm dan bertujuan untuk mengurangi momen lentur. *Inclusion caps* terletak di atas tiang dari *rigid inclusion*. Berdasarkan ASIRI National Project (2011) *inclusion caps* hanya menambah efisiensi penampang sebesar 2-10% maka dari itu kebanyakan kasus perbaikan tanah yang menggunakan *rigid inclusion* tidak menggunakan *inclusion caps*.

Metode *finite element* adalah salah satu metode terbaik dalam melakukan Analisis terhadap sebuah permasalahan praktis dan merupakan prosedur numeris yang dapat dipakai untuk menyelesaikan masalah-masalah dalam bidang rekayasa. Dasar dari metode *finite element* adalah merubah persoalan rumit menjadi hal yang sederhana. Metode *Finite*

*Element* awalnya diusulkan dalam literatur oleh Courant pada tahun 1943. Awalnya literatur Courant ini diabaikan, tetapi lambat laun metode ini terus dikembangkan sampai akhirnya metode yang dimanfaatkan untuk analisis metode struktur (Erhunmwun and Ikponmwosa, 2017). Metode *finite element* dalam aplikasi geoteknik diterapkan untuk mensimulasikan perilaku tanah terhadap suatu beban struktural untuk model kompleks (Abdulnafaa, 2020). Metode *finite element* dalam juga berfungsi untuk mengetahui analisis stabilitas dan deformasi pada bidang geoteknik. (Wadino et al., 2018). Maka dari ini didalam penelitian ini akan dilakukan analisis deformasi yang terjadi pada timbunan batubara untuk model *rigid inclusion* dengan *inclusion caps* ataupun tidak dengan *inclusion caps*.

## 2. METODE PENELITIAN

### Sumber data

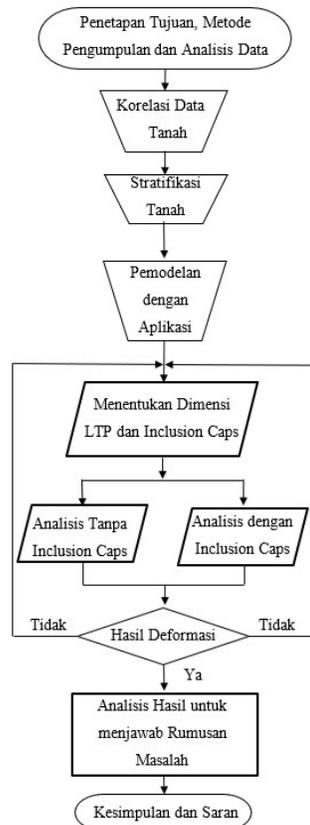
Sumber data berasal dari studi pustaka buku, jurnal, dan internet serta data yang didapat tetapi tidak bisa dipublikasikan karena bersifat rahasia. Adapun studi pustaka buku, jurnal, dan internet berfungsi untuk dapat mengetahui teori-teori yang membantu dalam pekerjaan analisis. Dan untuk parameter data tanah berupa data borlog, data lab, dan data sondir. menggunakan data yang sifatnya rahasia.

### Metode analisis data

Analisis yang dilakukan dengan bantuan program elemen hingga untuk pemodelan yang dilakukan analisis adalah konsolidasi pada timbunan, timbunan dengan *rigid inclusion* tanpa *inclusion caps*, timbunan dengan *rigid inclusion* dengan *inclusion caps*, dan , timbunan dengan *rigid inclusion* dengan *inclusion caps* LTP sebesar 1 m. Untuk kasus pemodelan *rigid inclusion* tanpa *inclusion caps* dan *inclusion* dengan *inclusion caps* dilakukan juga analisis factor keamanannya untuk melihat seberapa aman dari model yang dibuat.

### Diagram alir

Adapun diagram alir penelitian seperti gambar 3 berikut ini:



Gambar 3 Diagram alir penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Pemodelan

Tabel 1 & tabel 2 menunjukkan data tanah sementara untuk tabel 3 menunjukkan pembebanan timbunan batubara yang dimodelkan pada aplikasi *finite element* 3D:

Tabel 1 Parameter Material *Soft Soil*

Model Material <i>Soft Soil</i>							
Penamaan	Tipe Tanah	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$e_0$	$C_c$	$C_s$	$\phi'$ (°)	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )
PEAT	Organic	11	5	4	0,8	30	2
AC	Clay	15,5	1,6	0,6	0,12	28	3
TC1	Clay	15,5	1,5	0,55	0,11	24	10

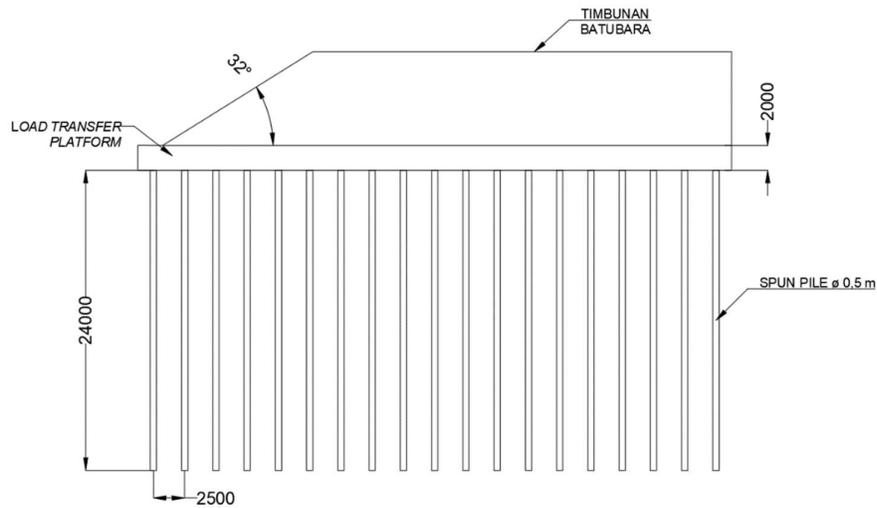
Tabel 2 Parameter Material *Mohr-Coulomb*

Model Material <i>Mohr-Coulomb</i>							
Penamaan	Tipe Tanah	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$e_0$	E (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$	$\phi'$ (°)	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )
FILL	Sand	18	0,53	4	0,3	32	1
TC2	Clay	18	1	0,6	0,35	24	50

Tabel 3 Parameter Material Timbunan Batubara

Parameter Batubara ( <i>linear elastic</i> )	
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	10
E (kN/m <sup>2</sup> )	8000
$\phi'$ (°)	40
$c'$ (kPa)	1
$\nu$	0,3

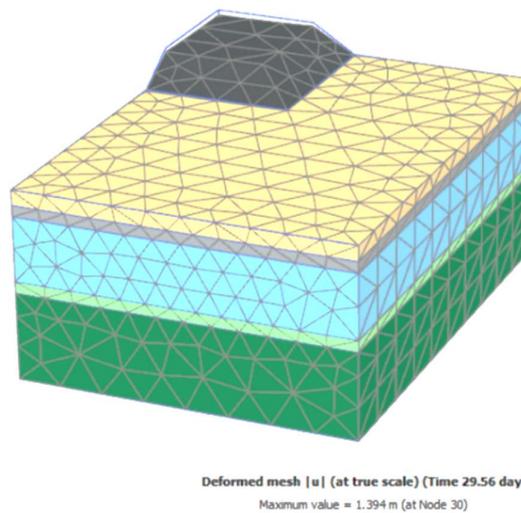
Untuk pemodelan *rigid inclusion* dapat dilihat pada gambar 4, tinggi timbunan batubara yang dimodelkan adalah 7,5 m dengan tebal LTP 2 m. tiang dalam perbaikan *rigid inclusion* mengacu pada ASIRI 2011 yaitu sepanjang tanah lunak dan memiliki N-SPT kecil yang mana pada kasus ini dari kedalaman 2 m s/d 24 m Ukuran tiang yang dipakai adalah spun pile diameter 0,5 m dan memiliki jarak antar tiang 2,5 m mengacu pada JGJ 79-2002 *Chapter 9.2 section 9.2.2* yaitu lima kali ukuran dari diameter tiangnya. Pemodelan tiang sendiri dimodelkan sebagai *embedded beam* dengan parameter yang dibutuhkan adalah mutu beton yaitu 35 MPa, daya dukung ujung tiang ( $F_{maks}$ ) sebesar 210 kN, daya dukung selimut tiang minimum 21,01 kN/m dan daya dukung selimut maksimum 46,57 kN/m. Model *inclusion caps* dibuat menggunakan *plate* pada aplikasi *finite element* dengan mutu dan poisson's ratio yang sama seperti beton. Ukuran *inclusion caps* yang dipakai adalah 1x1 m dengan tebal 0,35 m nilai itu didapat dari referensi-referensi data yang di dapat.



Gambar 4 Dimensi ukuran model *rigid inclusion*

### Hasil Analisis Tanpa *Rigid inclusion*

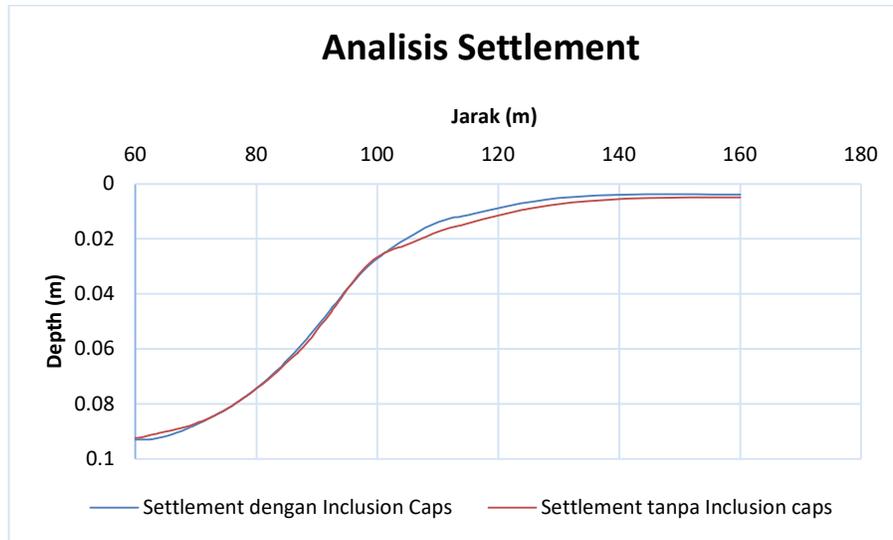
Berdasarkan hasil perhitungan settlement dengan perhitungan aplikasi *finite element* pada gambar 5 timbunan batubara tanpa perbaikan tanah menunjukkan bahwa terjadi penurunan yang cukup besar pada tanah lunak yang menjadi area timbunan batubara. Penurunan yang terjadi sebesar 1,394 m dari hasil analisis konsolidasi dengan waktu penurunan 29,56 hari. Berikut adalah gambar hasil penurunan tanah di timbunan batubara:



Gambar 5 Deformasi Tanah di daerah timbunan batubara

### Hasil Analisis Dengan *Rigid inclusion*

Setelah melakukan analisis pada timbunan batubara tanpa perbaikan tanah *rigid inclusion* maka dilakukan pemodelan lanjut dengan perbaikan tanah pada kondisi tanpa dan dengan *inclusion caps* kemudian yang menggunakan *inclusion caps* dilakukan analisis tambahan dengan memperkecil LTP menjadi 1 m berikut adalah hasil analisis yang dilakukan menggunakan metode *finite element*:



Gambar 6 Grafik perbedaan analisis deformasi penurunan tambunan batubara

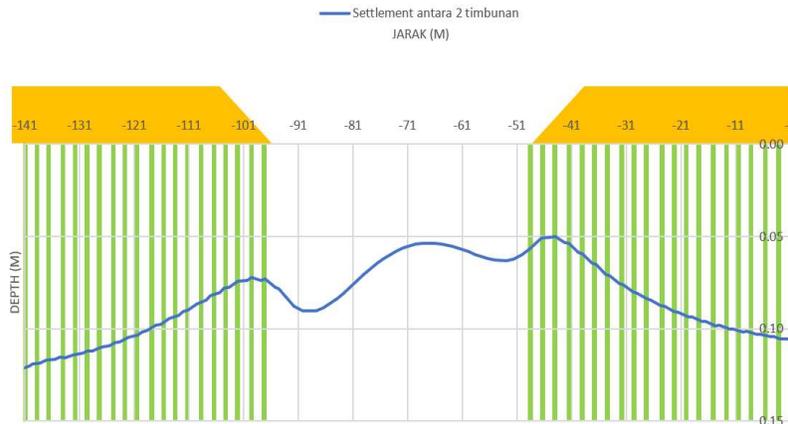
Tabel 4 Perbedaan hasil deformasi keseluruhan model

Pemodelan	Deformasi <i>Settlement</i> (m)
Timbunan	1,3944
<i>Rigid inclusion</i> tanpa <i>inclusion caps</i>	0,09975
<i>Rigid inclusion</i> dengan <i>inclusion caps</i>	0,09733
<i>Inclusion caps</i> dengan LTP 1 m	0,09339

Berdasarkan grafik pada gambar 6 dan hasil analisis tabel 4 dapat dilihat bahwa hasil deformasi penurunan yang terjadi setelah menambahkan perbaikan tanah *rigid inclusion* berkurang. Untuk model tanpa *inclusion caps* terdapat efisiensi pengurangan penurunan 92,8443% sementara dengan *inclusion caps* deformasi tanah lunak yang terjadi berkurang sebesar 93,0179%. Dari kedua model mengacu pada ASIRI 2011 terlihat bahwa ada efisiensi 2,2461% yaitu dari 0,09975 m menjadi 0,09733 m pada deformasi yang terjadi.

Pemodelan selanjutnya yang di analisis adalah pemodelan *inclusion caps* dengan LTP yang diperkecil menjadi 1 m. berdasarkan hasil yang didapat terdapat penurunan 0,09339 m. Hasil tersebut lebih kecil dari ukuran LTP 2 m dan jika di cek dari *punching effect*-nya tidak terbentuk. Model terakhir yang dilakukan adalah ketika ada tambunan batubara lagi berjarak 50 m dari tambunan yang dianalisa pada kasus ini, model ini bertujuan untuk melihat bagaimana deformasi yang terjadi ketika ada dua tambunan batubara bersebelahan. Berikut hasil dari pemodelan ini dibuat dalam bentuk grafik pada gambar 7 dan menggunakan bantuan aplikasi *finite element* 2D dikarenakan ukurannya yang besar:

**ANALISIS SETTLEMENT DUA TIMBUNAN**



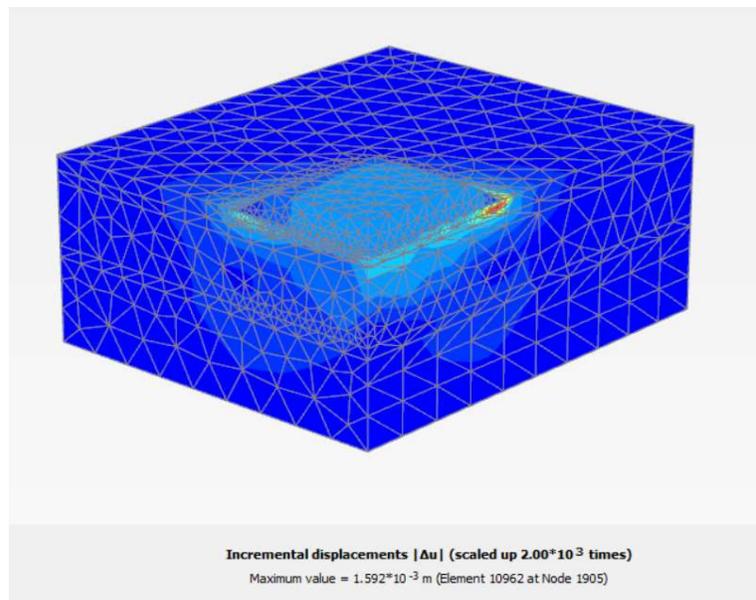
Gambar 7 Grafik perbedaan analisis deformasi penurunan timbunan batubara

**Analisis Safety Factor**

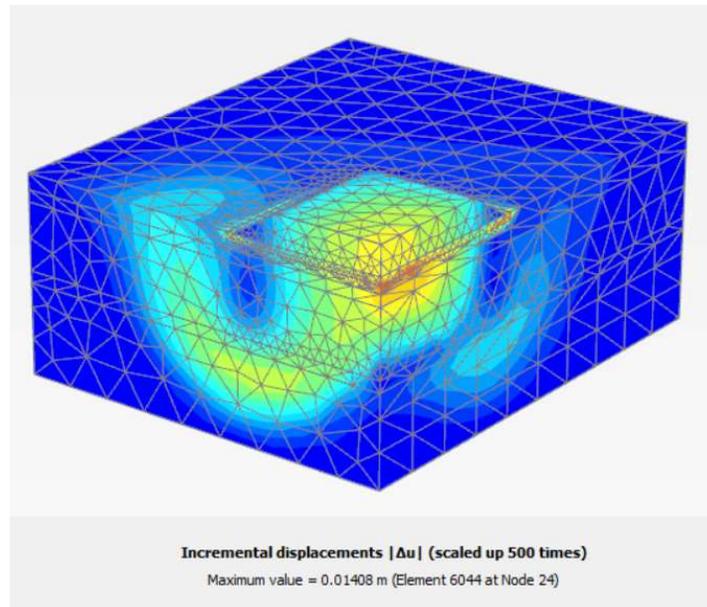
Faktor keamanan berfungsi untuk melihat apakah model perbaikan tanah yang dibuat memiliki design yang aman. Pemodelan *safety factor* dilakukan juga di aplikasi *finite element* 3D seperti pada gambar 8 dan 9 dengan peninjauan di kedua model yaitu tanpa *inclusion caps* dan juga dengan *inclusion caps* yang menggunakan LTP 2 m. Tabel 2 merupakan hasil analisis *safety factor* berdasarkan iterasi dari aplikasi *finite element* 3D:

Tabel 2 Hasil *Safety Factor*

Pemodelan	Faktor Keamanan
<i>Rigid inclusion</i> tanpa <i>inclusion caps</i>	6,393
<i>Rigid inclusion</i> dengan <i>inclusion caps</i>	9,796



Gambar 8 Hasil analisis *safety factor* tanpa *Inclusion caps*



Gambar 9 Hasil analisis *safety factor* dengan *Inclusion caps*

## 2. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tebal Load Transfer Platform pada perbaikan tanah *Rigid inclusion* yang dipakai dalam penelitian ini adalah 2 m.
2. Berdasarkan hasil analisis terhadap timbunan batubara di tanah lunak Kalimantan Utara, terlihat bahwa terdapat deformasi settlement yang cukup besar di area timbunan batubara sebesar 1,394 m dengan waktu konsolidasi 29,56 hari.
3. Dari hasil analisis yang dilakukan metode perbaikan tanah *rigid inclusion* tanpa *inclusion caps* mampu mengurangi deformasi yang terjadi pada tanah lunak di daerah timbunan batubara sebesar 92,8443% sementara dengan *inclusion caps* deformasi tanah lunak yang terjadi berkurang sebesar 93,0179%.
4. Berdasarkan hasil analisis deformasi penggunaan *inclusion caps* membuat penurunan berkurang sebesar 2,2461% yaitu dari 0,09975 m menjadi 0,09733 m.
5. Hasil analisis deformasi penggunaan *inclusion caps* dengan LTP 1 m membuat penurunannya menjadi 0,09339 m.
6. *Safety factor* yang dicapai dari pemodelan *rigid inclusion* tanpa *inclusion caps* adalah 6,393 sebesar sementara dengan *inclusion caps* *safety factor* yang dicapai adalah 9,796
7. Berdasarkan seluruh hasil Analisa yang telah dilakukan dapat dikatakan bahwa yang lebih cocok digunakan pada timbunan batubara di tanah lunak Kalimantan utara adalah *rigid inclusion* tanpa *inclusion caps* karena dari deformasi sudah aman dan dengan menambahkan *inclusion caps* perbedaan dari penurunan yang dihasilkan pada timbunan batubara ini tidak signifikan.

### Saran

1. Pemodelan tanpa *inclusion caps* dapat dicoba juga dengan memperkecil load transfer platform-nya untuk dapat dibandingkan apakah deformasi yang terjadi dengan pemodelan dengan *inclusion caps* LTP 1 m.
2. Melakukan analisis *safety factor* untuk pemodelan dengan *inclusion caps* LTP 1 m agar dapat diketahui seberapa amannya pemodelan yang dilakukan.
3. Meshing model dapat dilakukan dengan distribusi elemen yang lebih kecil sehingga hasil deformasi yang dihasilkan bisa lebih presisi.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- ASIRI. (2011). *Recommendation for the Design, Construction and Control of Rigid inclusion Ground Improvements*. France: IREX.
- Bohn, C. (2016). *Serviceability and Safety in The Design of Rigid inclusions and Combined Pile-Raft Foundations*. Paris: HAL.
- Abdulnafaa, Muhamd D. "Comparison of Results of Pre-Consolidation of Soft Soil Using Analytical and Finite Element Software." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 737, no. 1, 2020, doi:10.1088/1757-899X/737/1/012098.
- Badan Standardisasi Nasional. "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung." *Sni 1726:2019*, no. 8, 2019, p. 254.
- Erhunmwun, I. D., and U. B. Ikponmwo. "Review on Finite Element Method." *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, vol. 21, no. 5, 2017, p. 999, doi:10.4314/jasem.v21i5.30.
- Wadino, Frando. "Analisis Deformasi Dinding Basement Pada Salah Satu Proyek Di Sudirman Menggunakan Metode Back Analysis Dari Hasil Monitoring." *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, vol. 1, no. 1, 2018, p. 251, doi:10.24912/jmts.v1i1.2264.

