

## Pengaruh Perbedaan Elevasi Muka Air Tanah Pada Pondasi Telapak Berdasarkan Studi Numerik

Aminullah<sup>1</sup>, Miftahul Iman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Pertambangan, Politeknik Islam Syekh Salman Al Farisi Rantau, Banjarmasin

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, FT UBT, Tarakan

E-mail: [1anmifal@yahoo.com](mailto:1anmifal@yahoo.com)

Received 25 April 2019; Reviewed 27 April 2019; Accepted 30 Mei 2019

<http://jurnal.borneo.ac.id/index.php/borneoengineering>

### Abstract

*The south Kalimantan Province has various soil characteristic, the difference of ground water level included . Experimental modeling of foot plate foundations in various ground water level is too difficult to be performed. There were so many variables that need to be evaluated in the modeling. The numerical model was based on finite element method such in Abaqus allowed the modeling of foot plate foundations with the various of ground water level. This study modeled the foot plate foundation structure where located on various ground water level by giving variations of the effect of water level to the elevation of the foundation. Water level variations are determined successively below the foundation elevation, the same as the foundation elevation and above the foundation elevation. The analysis performed is static structure analysis with idealization of 2D shell idealization. The result of the research showed that the ground water level effect the stress and deformation of soil closed to foundation elevation. The stress had been evaluated at the base of the foundation for each ground water level difference correspondently 16,53 MPa, 9,34 MPa and 3,59 MPa. The lowest stresses was occurred in ground water elevation above the foundation elevation (78,28%).*

**Keywords:** peat, soil, foundation, foot plate, model

### Abstrak

*Provinsi Kalimantan Selatan memiliki berbagai jenis karakteristik tanah, termasuk perbedaan level muka air tanah. Pemodelan eksperimental fondasi telapak di berbagai permukaan air tanah terlalu sulit untuk dilakukan. Ada begitu banyak variabel yang perlu dievaluasi dalam pemodelan. Pemodelan numerik berdasarkan metode elemen hingga seperti halnya Abaqus memungkinkan untuk melakukan pemodelan pondasi telapak dengan berbagai variasi kedudukan muka air tanah. Penelitian ini memodelkan struktur pondasi telapak yang terletak di berbagai permukaan air tanah dengan memberikan variasi pengaruh elevasi muka air tanah terhadap elevasi pondasi. Variasi ketinggian air ditentukan berturut-turut di bawah ketinggian pondasi, sama dengan elevasi pondasi dan di atas elevasi pondasi. Analisis yang dilakukan adalah analisis struktur statis dengan idealisasi idealisasi cangkang 2D. Hasil penelitian menunjukkan bahwa muka air tanah berpengaruh terhadap tegangan dan deformasi tanah yang mendekati ketinggian pondasi. Tegangan telah dievaluasi di dasar pondasi untuk setiap perbedaan ketinggian air tanah secara berurutan 16,53 MPa, 9,34 MPa dan 3,59 MPa. Tegangan terendah terjadi pada ketinggian air tanah di atas ketinggian pondasi (78,28%).*

**Kata kunci:** gambut, tanah, fondasi, telapak, model

## 1. Pendahuluan

Provinsi Kalimantan Selatan memiliki berbagai jenis karakteristik tanah. Sebagian besar tanah juga memiliki variasi kedudukan muka air tanah. Pemodelan eksperimental fondasi telapak dengan variasi elevasi muka air tanah relatif sulit untuk dilakukan. Hal ini disebabkan oleh begitu banyak variabel yang perlu dievaluasi dalam pemodelan.

Pemodelan numerik dapat menjadi salah satu upaya untuk mendapatkan hasil yang optimal dengan biaya yang relatif lebih ekonomis. Pemodelan numerik berdasarkan metode elemen hingga seperti Abaqus sangat memungkinkan untuk memodelkan fondasi telapak mengikuti kondisi tanah dengan berbagai macam kedudukan (elevasi) muka air tanah. Ketersediaan fitur kriteria tegangan dalam aplikasi ini memungkinkan pemodelan fondasi telapak di atas tanah dengan kondisi muka air tanah yang bervariasi dapat dilakukan secara optimal.

Braja (1985) menjelaskan bahwa fungsi utama pondasi adalah untuk meneruskan beban konstruksi ke lapisan tanah di bawah pondasi. Fondasi pelat kaki adalah salah satu dari jenis pondasi dangkal. Braja (1985) juga menjelaskan bahwa daya dukung tanah pondasi telapak dikatakan aman jika penyelesaiannya masih dapat dibenarkan dan keruntuhan tanah di bawah pondasi tidak terjadi.

Terzaqhy (1996) memberikan persamaan kapasitas daya dukung tanah dengan melibatkan parameter parameter  $N_c$ ,  $N_q$ , dan  $N_\gamma$  yang disebut faktor daya dukung (Gambar 3). Persamaan ini juga memperhitungkan pengaruh volume berat tanah, kohesi, dan beban eksternal.

$$q_u = 1,3cN_c + qN_q + 0,4\gamma BN_\gamma \quad (1)$$

dengan  $q_u$ ,  $c$ ,  $q$ ,  $\gamma$ , dan  $B$  masing-masing adalah daya dukung tanah ultimit, kohesi, berat tanah pada fondasi setiap unit panjang, volume berat tanah, dan lebar fondasi. Persamaan 1 adalah persamaan daya dukung untuk fondasi pelat kaki persegi.

$$\gamma_e = (2H - d_w)(d_w/H^2)\gamma_{wet} + (\gamma'/H^2)(H - d_w)^2 \quad (2)$$

Strömblad (2014) meneliti perilaku mekanik struktur yang bersentuhan dengan tanah. Perilaku tersebut dipengaruhi oleh interaksi antara tanah dan struktur. Interaksi ini disebut Interaksi Tanah-Struktur (SSI). Studi ini menjelaskan bahwa beberapa struktur di mana SSI penting untuk dipertimbangkan terutama pada bangunan, jembatan dan konstruksi pengeboran minyak. Penelitian ini juga menggunakan metode elemen hingga untuk memodelkan perilaku tanah sebagai mata air nonlinier. Pemodelan menggunakan aplikasi numerik berbasis FEM Abaqus / CAE untuk tiga jenis komposisi tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam kasus beban statis kedua model menunjukkan hasil yang sama tetapi, dengan beberapa catatan tentang komposisi tanah dan sifat material tanah itu sendiri. Pemodelan kontinum tanah lebih kompleks dengan perhitungan yang relatif mahal dibandingkan dengan pemodelan pegas nonlinier.

Straughan (1990) telah melakukan penelitian yang mengembangkan tiga parameter model matematika untuk analisis pelat pada fondasi elastis. Semua persamaan yang terlibat dijelaskan secara bertahap. Tahapan analisis dilakukan menggunakan program komputer. Penelitian ini menghasilkan parameter ketiga ( $\gamma$ ) dengan menentukan nilai  $k$  dan mengabaikan parameter geser tanah untuk menghasilkan bentuk deformasi dari kontinum tanah.

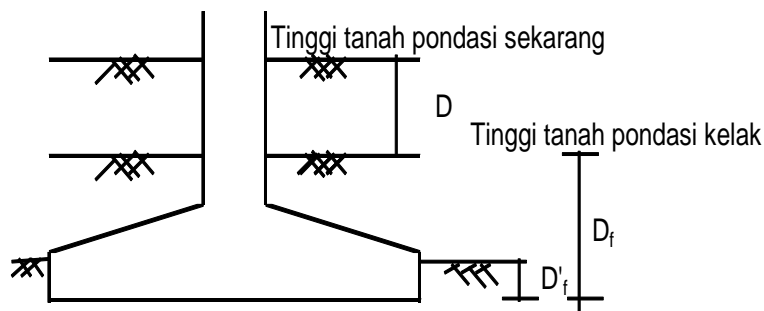
Chiroux dkk (2005) telah melakukan penelitian tentang kontak dan interaksi antara roda dan tanah saat bergerak. Penelitian ini memodelkan roda yang bergerak dengan model regangan bidang dan

menunjukkan hasil yang stabil. Hasil penelitian ini terdiri dari tiga output utama. Pertama adalah bagaimana memodelkan beban dinamis pada roda dan menggerakkan pembatasan perpindahan. Kedua, menunjukkan kemampuan model secara akurat dengan aplikasi di mana terdapat aplikasi teknik komputer di dalamnya. Hal tersebut menghasilkan perbandingan antara analisis dinamis dan analisis statis dalam menentukan *time history* roda dan interaksi tanah yang dimodelkan dalam masalah perilaku dinamis.

Penelitian ini memodelkan perilaku numerik dari pondasi telapak dengan kondisi tanah yang bervariasi. Variasi lapisan tanah ditentukan oleh variasi elevasi muka air tanah. Pondasi telapak telah dimodelkan dalam idealisasi cangkang 2D. Pemodelan tanah juga telah dimodelkan berturut-turut dalam cangkang 2D (*plane strain*)

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini memodelkan struktur pondasi telapak yang terletak di tanah dengan variasi elevasi muka air tanah. Semua data geometrik dan material diperoleh dari data lapangan. Pemodelan telah dilakukan dalam tiga model, yaitu, muka air tanah terletak di bawah elevasi fondasi, muka air tanah terletak pada elevasi dasar fondasi dan muka air tanah terletak di atas elevasi fondasi. Analisis yang dilakukan adalah analisis struktur statis dengan model cangkang 2D.



**Gambar 1. Prototipe pondasi telapak**

Gambar 1. menunjukkan prototipe pondasi pelat kaki yang akan dimodelkan. Penelitian ini menggunakan pelat kaki 1500 mm x 1500 mm. Skala model telah ditentukan 1: 1. Variasi yang ditentukan dalam model ini adalah variasi ketinggian permukaan air. Berturut-turut pada ketinggian di bawah fondasi, pada ketinggian pondasi pondasi, dan di atas permukaan pondasi.

**Tabel 1. Dimension**

SECTION	DIMENSION		
	B (mm)	L (mm)	$D_f$ (mm)
Foot plate	1500	1500	400
Concrete column	400	400	900
Tanah 1	2500	2500	1950
Tanah 2	2500	2500	1000

Tabel 1 menunjukkan data geometris dari struktur yang dimodelkan dalam penelitian ini. Dimensi struktur telah dinyatakan berturut-turut ( $A$ ), lebar ( $B$ ), panjang ( $L$ ), ketebalan struktur ( $D_f$ ). Semua dimensi dinyatakan dalam milimeter,

**Tabel 2. Sifat material**

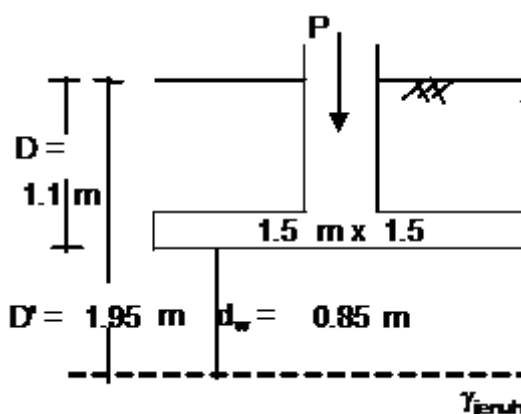
SECTIO N	MATERIAL PROPERTIES		
	$\gamma$ (N/mm <sup>3</sup> )	$E$ (MPa)	$\nu$
Foot plate	2,35E-5	23500	0,2
Concrete column	2,35E-5	23500	0,2
Tanah 1	16,48	2574	0,45
Tanah 2	8,91	2	0,35

Data material dari model struktur terdiri dari data modulus elastis ( $E$ ) dan rasio Poisson ( $\nu$ ). Seluruh data material diperoleh berdasarkan hasil tabel pengukuran standar. Koefisien dan parameter kapasitas daya dukung tanah dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 3. Semua koefisien telah ditentukan berdasarkan hasil penelitian Terzaqhy.

## 2.1 Pemodelan numerik

### 2.1.1. Muka air tanah di bawah fondasi

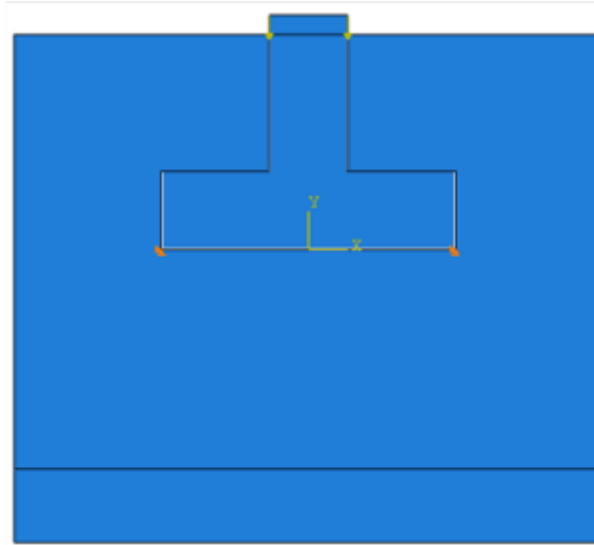
Pemodelan stuktur fondasi dengan muka air tanah terletak di bawah fondasi menggunakan prototipe fondasi telapak sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 4.



**Gambar 2. Muka air tanah di bawah fondasi**

Gambar 2 menunjukkan bahwa terdapat muka air tanah pada kedalaman 1950 mm. Dimensi fondasi telapak diketahui 1500 mm x 1500 mm. Kedalaman fondasi diketahui 1100 mm dari muka tanah. Tebal fondasi ditentukan 400 mm. Berat volume beton ( $\gamma_{\text{beton}} = 2,4 \text{ T/m}^3$  dengan rasio Poisson ( $\nu = 0,2$ ).

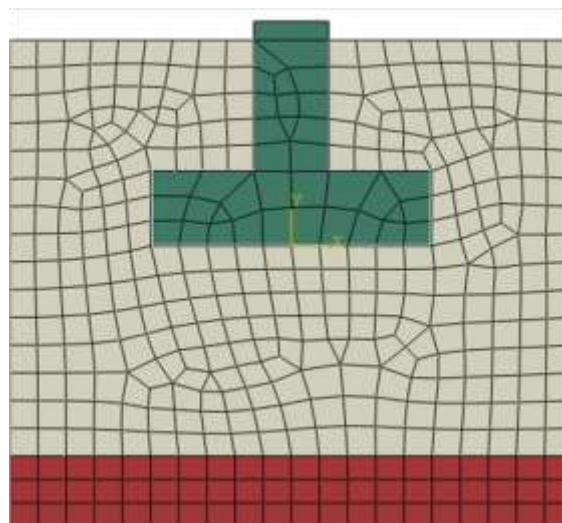
Propertis tanah 1 adalah berat volume tanah basah ( $\gamma_{\text{basah}} = 1,81 \text{ T/m}^3$ , sudut geser tanah ( $\phi_{\text{tr}} = 35^\circ$ , kohesi tanah ( $c = 0 \text{ T/m}^2$ ). Lapisan tanah 2 adalah lapisan tanah kenyang air (*saturated soil*). Propertis lapisan tanah 2 berturut-turut adalah  $\gamma_{\text{sat}} = 2,03 \text{ T/m}^3$  dan  $\gamma_e = 1,68 \text{ T/m}^3$ .



**Gambar 3. Muka air tanah di bawah fondasi (Model 1)**

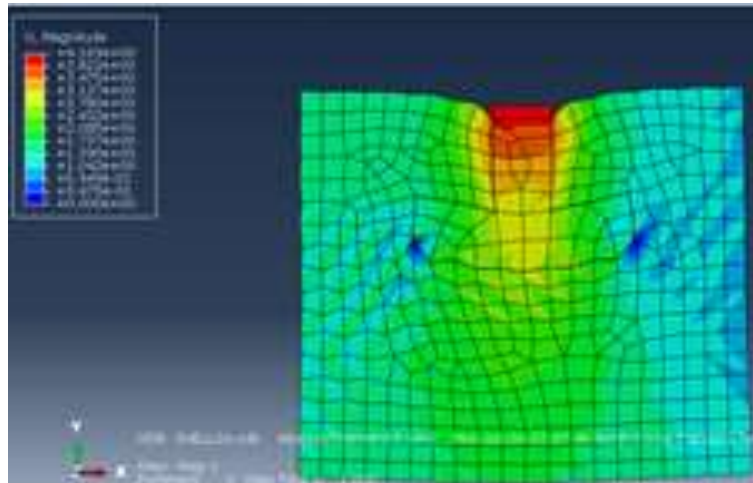
Gambar 3. Menunjukkan pemodelan fondasi dengan elemen cangkang 2D pada Abaqus. Elevasi muka air tanah terletak di bawah elevasi fondasi yaitu pada kedalaman -1950 mm dari elevasi muka tanah. Pemodelan elemen pada fondasi menggunakan model plane stress sementara pada pemodelan tanah menggunakan model plane strain.

Gambar 3 juga menunjukkan model kondisi batas yang diberikan pada alas fondasi. Sistem dukungan alas fondasi telah diidealisasikan sebagai dukungan sendi.



**Gambar 4 Pemodelan foot plate (shell 2D)**

Gambar 4 menunjukkan gradasi meshing pada model 1. Elemen yang digunakan adalah kombinasi antara elemen *quadrilateral* dan *triangle shell* yang lebih didominasi oleh elemen *quadrilateral*. Lapisan kedua tanah adalah lapisan tanah kenyang air (*saturated soil*). Seluruh elemen yang digunakan pada model ini adalah linier dengan *reduced integration*.



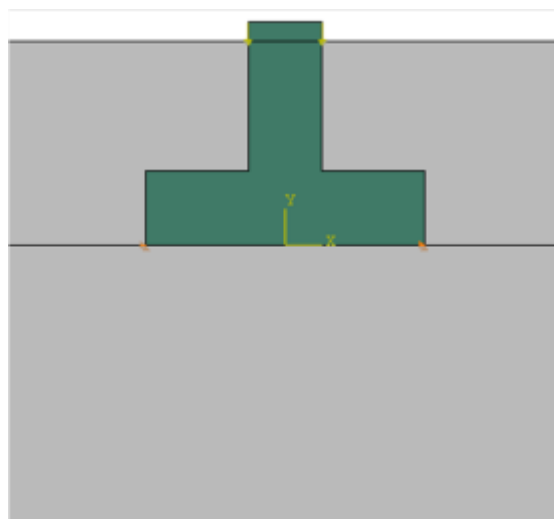
**Gambar 5 Deformasi model 1**

Gambar 5 menunjukkan deformasi footplate yang terjadi pada model 1. Model ini tidak melibatkan parameter konstanta pegas. Deformasi yang dihasilkan dari beban statis diteruskan oleh kolom beton 400 mm x 400 mm.

Gambar 5 juga menunjukkan kontur tegangan yang terjadi (tegangan pada cacat) ketika beban diterapkan. Tekanan terbesar terjadi pada dasar fondasi. Model belum menunjukkan deformasi signifikan yang terjadi di lapisan tanah. Kontak tanah (SCI) dalam model belum didefinisikan secara jelas.

### 2.1.2. Muka air tanah pada elevasi fondasi

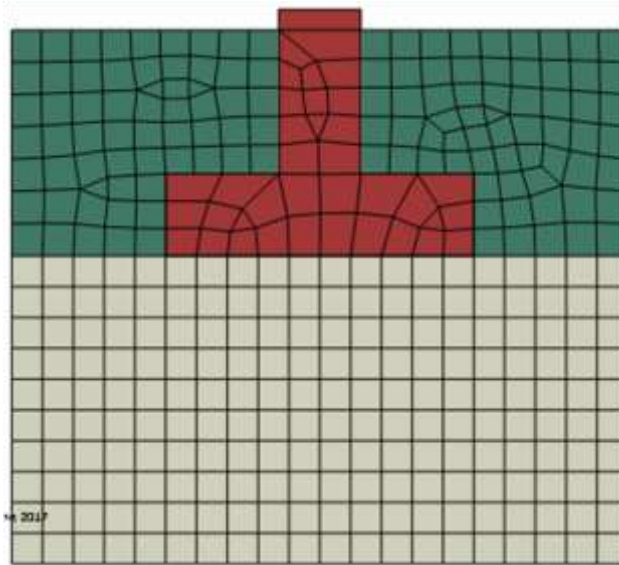
Model ini menggunakan elevasi muka air tanah yang diletakkan sama dengan elevasi alas fondasi. Elevasi fondasi telah ditentukan sama dengan -1100 mm dari elevasi muka tanah.



**Gambar 6. Muka air tanah pada elevasi fondasi (Model 2)**

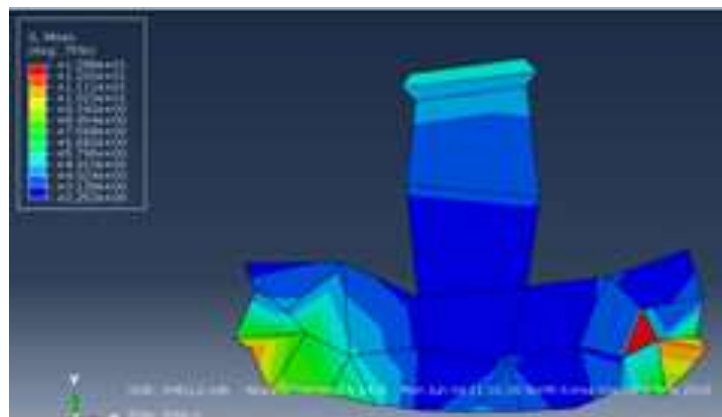
Gambar 6. Menunjukkan pemodelan pondasi telapak dengan elevasi muka air teletak pada elevasi fondasi (Model 2). Lapisan tanah kenyang air (*saturated soil*) berada pada elevasi fondasi (-1100 mm)

dengan tebal lapisan adalah 850 mm ( $2d_f$ ). Idealisasi tumpuan pada model ini juga menggunakan idealisasi dukungan sederhana (*simply supported*).



**Gambar 7. Muka air tanah pada elevasi fondasi (Model 2)**

Gambar 7 menunjukkan diskretisasi elemen *quad-tetron shell elemen* pada model 2 Seperti halnya pemodelan fondasi telapak model satu



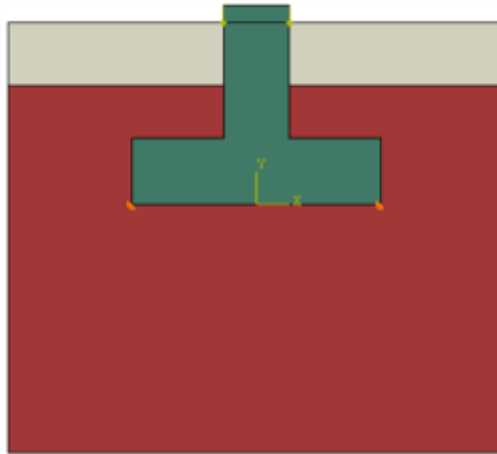
**Gambar 8. Deformasi dan kontur tegangan (Model 2)**

Gambar 8 menunjukkan deformasi pada struktur fondasi telapak akibat beban *gravity*. Deformasi pada model 2 yang terjadi sama dengan deformasi yang terjadi pada model 1.

Gambar 8 juga menunjukkan kontur tegangan yang terjadi pada model 2. Tegangan yang terjadi pada alas fondasi model 2 relatif lebih besar daripada model 1. Lapisan tanah dibawah fondasi tidak menunjukkan deformasi yang berarti seperti halnya yang terjadi pada model 1.

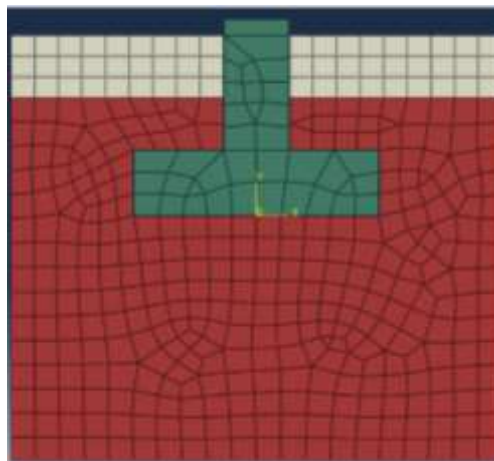
### 2.1.2. Muka air tanah di atas elevasi fondasi

Model 3 adalah model pondasi pelat kaki yang memiliki ketinggian air tanah di atas ketinggian fondasi. Ketinggian air tanah pada -400 mm ditentukan dari elevasi tanah. Lapisan tanah jenuh tanah berada di atas lapisan tanah basah dengan lapisan tebal 400 mm.



Gambar. 9. Model 3

Gambar 9 menunjukkan pemodelan struktur pondasi dengan ketinggian air tanah di atas ketinggian pondasi. Seperti dengan dua model sebelumnya, idealisasi kondisi batas yang digunakan pada struktur pondasi sederhana didukung. Struktur pondasi diberi beban terpusat pada kedua nodal model kolom beton.



Gambar 10. Meshing model 3

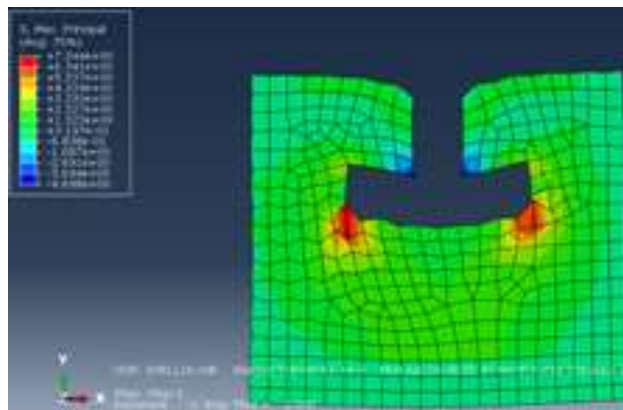
Gambar 11 menunjukkan deformasi yang terjadi pada struktur pondasi pelat kaki model 3. Deformasi dalam model 3 sama dengan deformasi yang terjadi pada kedua model sebelumnya. Namun demikian, lapisan tanah di bawah fondasi menunjukkan deformasi yang relatif lebih besar dari dua model sebelumnya. Ini karena tambahan beban kelembaban tanah (tanah jenuh).

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Muka air tanah di bawah fondasi

Berdasarkan hasil numerik yang telah dibuat permukaan struktur pondasi dengan ketinggian muka air tanah yang berada di bawah ketinggian pondasi memiliki tegangan yang relatif lebih kecil dibandingkan dua model lainnya.



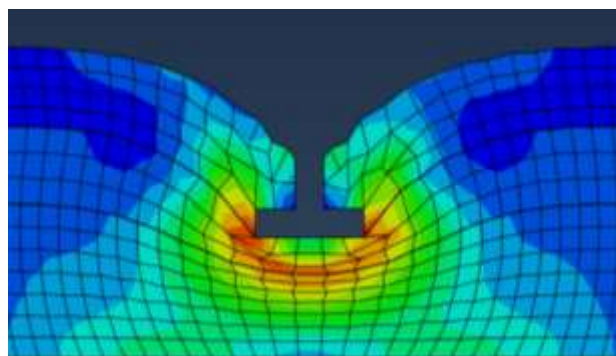


**Gambar 11. Kontur tegangan (Model 1)**

Gambar. 11 menunjukkan bahwa lapisan tanah kenyang tidak memiliki efek yang signifikan pada deformasi struktur pondasi pelat kaki. Ini ditunjukkan oleh tanah di bawah elevasi fondasi. Tegangan yang terjadi pada elevasi dasar pondasi adalah 16,53 Mpa.

### 3.1.2. Muka air tanah pada elevasi fondasi

Berdasarkan hasil numerik yang telah dilakukan muka struktur fondasi dengan muka air tanah yang terletak di bawah elevasi fondasi memiliki tegangan yang relatif lebih kecil daripada kedua model lainnya.

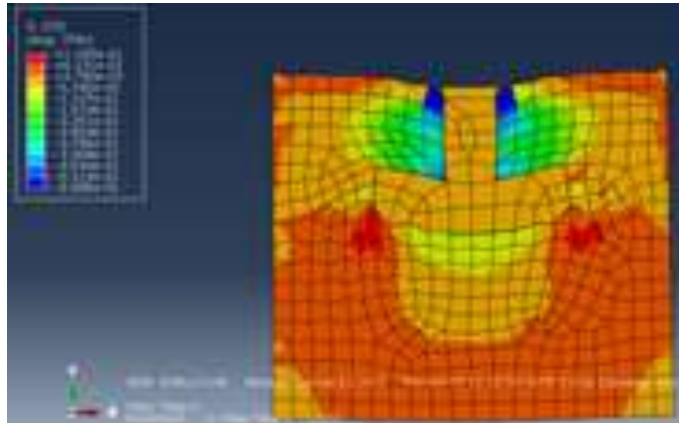


**Gambar 12. Muka air di elevasi fondasi (Model 2)**

Gambar 12 menunjukkan bahwa lapisan tanah kenyang air tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap deformasi struktur fondasi telapak secara signifikan tetapi memberikan dampak yang cukup signifikan terhadap defrmasi tanah di bawah elevasi fondasi. Hal tersebut ditunjukkan dengan kontur tegangan tanah di bawah elevasi fondasi (Gambar 12). Tegangan yang terjadi pada elevasi dasar pondasi 3,59 Mpa.

### 3.1.3. Muka air tanah di atas permukaan fondasi

Gambar 13 menunjukan deformasi yang terjadi pada struktur fondasi telapak model 3. Deformasi pada model 3 sama dengan deformasi yang terjadi pada kedua model sebelumnya. Meskipun demikian lapisan tanah yang berada di bawah fondasi menunjukkan deformasi yang relatif lebih besar dari kedua model sebelumnya. Hal ini disebabkan oleh adanya beban tambahan dari lapisan tanah kenyang air (*saturated soil*).



**Gambar 15. Kontur tegangan (Model 3)**

Tegangan yang terjadi pada elevasi dasar pondasi untuk setiap perbedaan ketinggian muka air tanah adalah 9,34 Mpa. Tegangan terendah terjadi pada kondisi ketinggian air tanah yang terletak di atas ketinggian fondasi (78,28%).

#### **4. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pemodelan numerik maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut

1. Perbedaan elevasi muka air tanah terhadap elevasi pondasi mempengaruhi deformasi tanah secara signifikan.
2. Tegangan yang terjadi pada elevasi dasar pondasi untuk setiap perbedaan ketinggian muka air tanah adalah 16,53 MPa, 9,34 MPa dan 3,59 MPa
3. Tegangan terendah terjadi pada kondisi ketinggian air tanah yang terletak di atas ketinggian fondasi (78,28%).
4. Pemodelan numerik model shell 2D memberikan hasil yang baik untuk peninjauan struktur pondasi, tetapi tekanan pada lapisan tanah perlu dievaluasi dengan mempertimbangkan kondisi interaksi antara lapisan tanah.

#### **Ucapan Terima Kasih**

Ucapan terima kasih diberikan kepada Dr-Eng. Fikri Haris, S.T., M.Eng kepala Laboratorium Komputer Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada atas masukan pertimbangan terhadap parameter-parameter tanah yang dilibatkan dalam pemodelan numerik ini.

#### **Daftar Pustaka**

- R.C. Chiroux, W.A. Foster Jr., C.E. Jhonson, S.A. Shoop, R.L. Raper. 2005. Science Direct. **162**, 707-722
- Braja M. Das. 1991. *Mekanika Tanah*, Erlangga, Indonesia
- Karl Terzaghy, Ralph B. Peck, Gholamreza Mesri, 1996. *Soil Mechanics in Engineering Practice* Jhon Wiley and Son, New York
- Strömblad Nicholas. 2014. *Modeling of Soil and Structure Interaction Subsea*. Master's thesis in Applied Mechanics, Chalmers University of Technology Go`teborg, Sweden