

## STUDI ALTERNATIF DESAIN PONDASI RAKIT (*RAFT FOUNDATION*) PADA GEDUNG MCC MALANG

Diyah Ayu Retnaningrum<sup>1</sup>, Eding Iskak Imananto<sup>2</sup>, dan Vega Aditama<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Sipil S1 Institut Teknologi Nasional Malang  
Email : [1921095diyah.ayu@gmail.com](mailto:1921095diyah.ayu@gmail.com)<sup>1</sup>

### ABSTRACT

Soil stability is quite important in the construction of a high-rise building, to be able to support the load of the upper structure, a strong and sturdy foundation is needed. The raft foundation planning for the Malang Creative Center (MCC) Building applies the load transfer principle, where the load presentation that the raft foundation can accept is taken into account which will then be distributed to the ground. The MCC building consists of 8 floors + basement with the building function as a joint work building. As an alternative option, the foundation for the MCC building is planned again using a flat plate type raft foundation. This plan aims to determine the overall load of the building, determine the carrying capacity produced by the raft foundation, and determine the amount of settlement and stability of the structure that will occur. Based on calculations using the Etabs auxiliary program, it was obtained that the working upper structure load was 293286.83 kN, so a raft foundation was planned with a plate thickness of 1.0 m to a depth of 4.5 meters below ground level. The bearing capacity value obtained was 471400.748 kN, with a total settlement obtained of 6.445 cm < permissible settlement = 10.03 cm. The roll stability in the x direction is  $5.022 \geq 1.5$  and the roll stability in the y direction is  $5.133 \geq 1.5$ , so stability control is said to be fulfilled. Meanwhile, for shear stability, a value of  $3.699 \geq 2$  was obtained, so the safety requirements for raft foundation planning are said to have been met. The reinforcement plan uses double reinforcement with upper reinforcement in the x and y directions, namely D25-70, and lower reinforcement in the x and y directions, namely D25-70.

Keywords: *Bearing capacity, Settlement, Raft foundation, Reinforcement*

### ABSTRAK

Kestabilan tanah merupakan hal yang cukup penting dalam pembangunan suatu gedung bertingkat tinggi, untuk dapat menunjang beban dari struktur atas maka diperlukan pondasi yang kuat dan kokoh. Perencanaan pondasi rakit (*raft foundation*) pada Gedung Malang Creative center (MCC) menerapkan prinsip transfer beban, dimana diperhitungkan presentasi beban yang mampu diterima oleh pondasi rakit yang kemudian akan disalurkan ke tanah. Gedung MCC terdiri dari 8 lantai + basement dengan fungsi bangunan sebagai gedung kerja bersama. Sebagai alternatif pilihan, maka direncanakan kembali pondasi gedung MCC dengan menggunakan pondasi rakit tipe pelat datar. Perencanaan ini bertujuan untuk mengetahui beban keseluruhan gedung, mengetahui daya dukung yang dihasilkan oleh pondasi rakit, serta mengetahui besarnya penurunan dan stabilitas struktur yang akan terjadi. Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan program bantu Etabs, diperoleh beban struktur atas yang bekerja sebesar 293286,83 kN, maka direncanakan pondasi rakit dengan ketebalan pelat 1,0 m sedalam 4,5 meter di bawah muka tanah. Nilai daya dukung yang diperoleh sebesar 471400,748 kN, dengan total penurunan yang diperoleh sebesar 6,445 cm < penurunan ijin = 10,03 cm. Stabilitas guling arah x sebesar  $5,022 \geq 1,5$  dan stabilitas guling arah y sebesar  $5,133 \geq 1,5$  maka kontrol stabilitas dikatakan terpenuhi. Sedangkan untuk stabilitas geser diperoleh nilai  $3,699 \geq 2$ , maka untuk persyaratan keamanan perencanaan pondasi rakit dikatakan telah terpenuhi. Rencana penulangan digunakan tulangan rangkap dengan tulangan atas arah x dan y, yaitu D25-70, dan tulangan bawah arah x dan y, yaitu D25-70.

Kata kunci: *Kapasitas daya dukung, Penurunan, Pondasi rakit, Tulangan*

## 1. PENDAHULUAN

Secara umum pondasi merupakan bagian paling bawah konstruksi bangunan yang berfungsi untuk menempatkan bangunan dan meneruskan beban dari struktur atas ke lapisan tanah pendukung tanpa harus menyebabkan kerusakan pada sistem struktur

dan tanpa mengakibatkan penurunan pada tanah. Penggunaan pondasi gabungan antara pondasi dangkal dan pondasi dalam pada bangunan bertingkat tinggi lazim digunakan di Indonesia, hal ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi struktur

dalam mencegah penurunan tanah dengan nilai besar.

Gedung Malang *Creative Center* (MCC) merupakan salah satu gedung infrastruktur sarana di Kota Malang yang digunakan untuk menunjang sektor ekonomi kreatif. Bangunan ini terletak di Jl. Jenderal A. Yani Utara No. 53, Kecamatan Blimbing, Kota Malang, Jawa Timur. Terdiri dari 8 lantai + basement yang dilengkapi fasilitas seperti studio animasi, audio dan *motion, planning gallery, co-working space*, galeri serbaguna, *food lab, workshop* seni, bioskop, dan studio foto yang dapat diakses langsung oleh masyarakat.

Sebagai alternatif desain gedung yang awalnya dikerjakan dengan menggunakan pondasi tiang pancang, dalam studi kali ini direncanakan ulang menggunakan pondasi rakit (*raft foundation*). Konsep ini dipilih berdasarkan keadaan tanah dan lingkungan pembangunan yang telah diselidiki. Dimana diperoleh nilai N-SPT = 60 pada kedalaman antara 7,5 m – 9 m. Sedangkan untuk hasil uji sondir diperoleh nilai tekanan konus pada kedalaman 0,00 m – 6,60 m tanah berada pada golongan tanah lunak, di kedalaman 6,80 nilai tekanan konus yang dihasilkan > 40 sehingga pada kedalaman ini tanah mulai memasuki lapisan tanah keras.

Berdasarkan kajian yang telah dipaparkan, maka perlu diperhitungkan proporsi beban yang akan dilimpahkan ke pondasi rakit untuk mengetahui keefektifan daya dukung alternatif desain pondasi ini terhadap penurunan yang terjadi..

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### Pondasi Rakit (*Raft Foundation*)

Pondasi rakit adalah pelat beton berukuran besar yang digunakan untuk menentari permukaan (*interface*) antara satu atau lebih kolom di dalam beberapa garis (jalur) dengan tanah baris (Bowles, 1983 : 408). Pondasi rakit selular juga dikenal sebagai pondasi kotak atau pondasi rangka kaku, pondasi ini memiliki struktur seperti kotak berongga dimana dinding setiap kotak bertindak sebagai balok yang dihubungkan oleh pelat di bagian atas dan bawah. Pondasi jenis ini dapat menahan tegangan lentur yang sangat tinggi dan cocok untuk tanah gembur yang penurunannya tidak merata.

### Kapasitas Daya Dukung Pondasi Rakit

Kapasitas daya dukung izin ( $q_s$ ) ditentukan dari kapasitas dukung ultimit ( $q_{ult}$ ) dibagi dengan faktor aman yang sesuai. Dalam analisa pondasi rakit terdapat beberapa metode analisis yang umum digunakan, yaitu analisa *Terzaghi* dan analisa *Mayerhof*.

### Daya Dukung Terzaghi

*Terzaghi* (1943) memberikan pengaruh bentuk daya dukung ultimit yang didasarkan pada analisa pondasi memanjang seperti pada tabel 2.1.

Tabel 1. Kapasitas dukung ultimit Terzaghi (1943) yang dipengaruhi bentuk pondasi

Bentuk pondasi	Kapasitas dukung ultimit ( $q_u$ )
Pondasi Bujur Sangkar	$1,3 c N_c + p_o N_q + 0,4 \gamma B N_\gamma$
Pondasi Lingkaran	$1,3 c N_c + p_o N_q + 0,3 \gamma B N_\gamma$
Pondasi Empat Persegi Panjang	$c N_c (1+0,3 B/L) + p_o N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma (1-0,2 B/L)$

Tabel 2. Nilai faktor kapasitas dukung Terzaghi (1943)

$\phi$	Keruntuhan Geser Umum			Keruntuhan C	
	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_c'$	$N_q'$
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6
30	37,2	22,2	19,7	19,0	8,3
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7
35	57,0	41,4	42,4	25,2	12,6

### Daya Dukung *Mayerhof*

Sedangkan *Mayerhof* (1955) dalam *Hardiyatmo* (2011) menyarankan dalam metodenya untuk menghitung kapasitas dukung perlu mempertimbangkan faktor bentuk pondasi, kemiringan beban, dan besar kuat geser tanah di atas pondasi. Sehingga persamaan *Mayerhof* menjadi seperti berikut :

$$q_{ult} = c N_c s_c i_c d_c + \gamma D N_q s_q i_q d_q + \frac{1}{2} \lambda B N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma$$

atau,

$$q_{ult} = 5,14 s_u (1 + s'_c + d'_c - i'_c + \bar{q}\bar{q})$$

### Penurunan Pondasi Rakit

Penurunan digunakan untuk menunjukkan perpindahan gerak titik tertentu pada bangunan terhadap referensi yang tetap. Walaupun pondasi rakit dan pondasi telapak dipengaruhi oleh faktor-faktor yang sama, akan tetapi pondasi rakit memiliki zona tekanan yang lebih besar dibandingkan pondasi telapak.

Terdapat 3 macam penurunan yang terjadi pada tanah ketika dibebani, yaitu penurunan segera (*immediate settlement*), penurunan konsolidasi, dan penurunan izin. Total penurunan yang terjadi merupakan jumlah total akumulasi dari beberapa penurunan tersebut, jika dinyatakan dalam persamaan, maka penurunan total dapat dihitung sebagai berikut :

$$S = S_i + S_c + S_s$$

### Penulangan Pondasi Rakit

Desain penulangan lentur pondasi rakit dapat dilakukan sebagaimana mendesain tulangan pada struktur balok menerus yang terbalik yang ditumpu

oleh kolom dan menerima beban merata dari tegangan tanah yang timbul akibat beban struktur atas (Setiawan, 2016 : 321). Untuk merencanakan kebutuhan desain tulangan lentur menurut SNI 2847-2019 dapat dilakukan beberapa tahapan sebagai berikut :

- 1) Menentukan data-data yang akan digunakan yaitu meliputi nilai d (tinggi efektif pondasi),  $f_y$  (kuat leleh tulangan baja),  $f_c$  (kuat tekan beton), dan  $M_u$  (momen ultimate).
- 2) Menentukan nilai  $\beta_1$ , sesuai dengan SNI 2847 : 2019 pasal 22.2.2.4.3 halaman 478, yaitu :

Tabel 3. Nilai  $\beta_1$  untuk distribusi tegangan beton persegi ekuivalen

$f_c', \text{MPa}$	$\beta_1$	
$17 \leq f_c' \leq 28$	0,85	a)
$28 < f_c' < 55$	$0,85 - \frac{0,05(f_c' - 28)}{7}$	b)
$f_c' \geq 55$	0,65	c)

- 3) Menentukan nilai faktor momen pikul "K"

$$K = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot (600 + f_y - 225 \cdot \beta_1) \cdot f_c}{(600 + f_y)^2}$$

Dengan syarat :  $K \leq K_{maks}$

$$K_{maks} = \frac{M_u}{b \cdot e \cdot d^2}$$

- 4) Menentukan nilai a

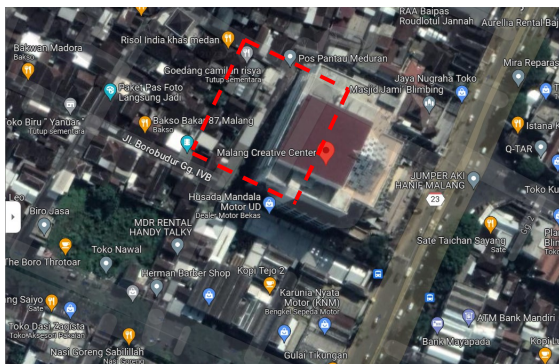
$$a = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \cdot d$$

- 5) Menghitung luas tulangan ( $A_s$  perlu)

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b}{f_y}$$

### 3. METODOLOGI PERENCANAAN

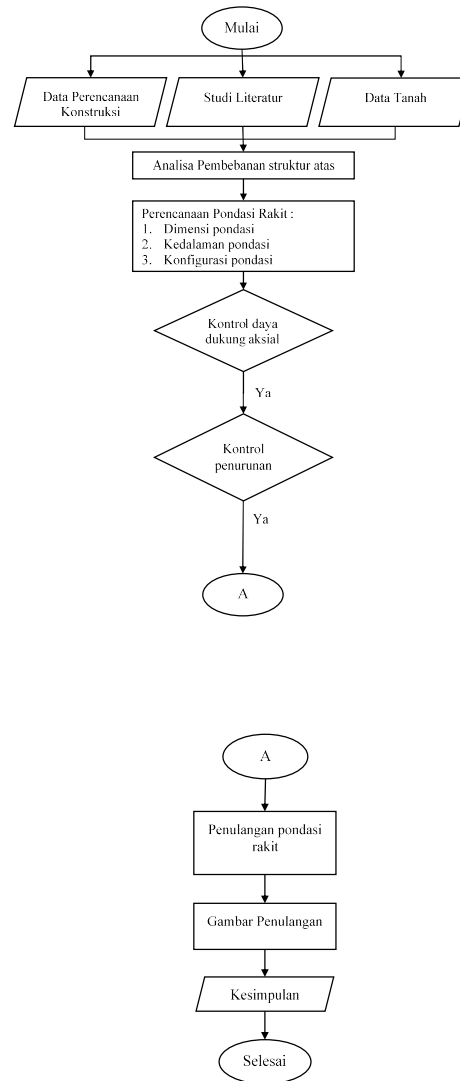
Proyek pembangunan Gedung Malang Creative Center (MCC) terletak di Jl. Jenderal Ahmad Yani Utara No.53, Gondang Legi, Kecamatan Blimbing, Kota Malang, Provinsi Jawa Timur. Gedung ini dibangun setinggi 8 lantai dengan 1 semi basement.



Gambar 1. Peta Lokasi Gedung Malang Creative Center (MCC)

Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini diambil dari data lapangan proyek Gedung MCC Malang, berupa data tanah dan gambar teknis.

Untuk tahap perencanaan pondasi rakit (*raft foundation*) dapat dilihat pada *flowchart* berikut :



Gambar 2. Diagram Alir Perencanaan

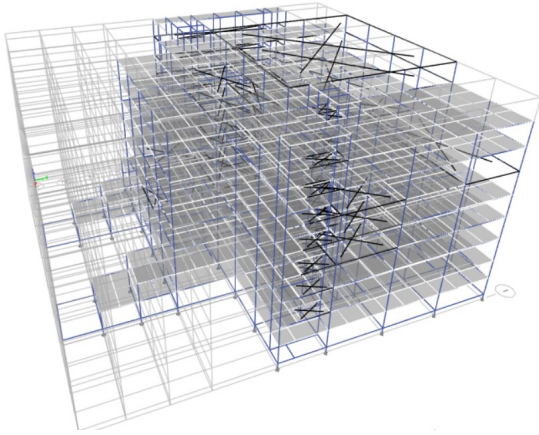
### 4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Perencanaan pondasi rakit pada gedung MCC Malang ini meliputi perhitungan pembebanan struktur atas, perhitungan resultan beban pada gedung, kapasitas dukung pondasi, penurunan, serta penulangan pada pondasi rakit.

#### Perhitungan Pembebanan Struktur Atas

Perhitungan pembebanan dari struktur atas dilakukan dengan membuat permodelan gedung melalui program bantu Etabs yang ditampilkan pada gambar 3. dengan menginput beban-beban yang bekerja pada gedung meliputi beban mati,

beban hidup, beban angin, dan selanjutnya dilakukan *run analysis*, sehingga diperoleh beban total bangunan sebesar 293286,8 kN.



Gambar 3. Pemodelan Gedung MCC pada Program bantu Etabs

### Dimensi Pondasi

Pondasi rakit direncanakan memiliki ketebalan atau kedalaman 1,00 meter di dasar *basement* gedung Malang Creative Center (MCC). Hal ini didasarkan pada hasil uji *Bor Log* di titik B-1 dimana letak kedalaman tanah keras berada pada 7,5 – 9,0 meter dengan nilai N-SPT = 60. *Basement* gedung Malang Creative Center (MCC) memiliki tinggi 3,5 meter, maka elevasi pondasi rakit, yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Dasar Pondasi} &= \text{Elv. gedung} + \text{tebal pondasi} \\ &= 3,5 \text{ meter} + 1,00 \text{ meter} \\ &= 4,5 \text{ meter} \end{aligned}$$

Dengan direncanakan dimensi penampang seluas 60 x 48 meter, sehingga :

Maka titik berat beban arah X :

$$\frac{\sum_{i=1}^n (W_i \times X_i)}{\sum_{i=1}^n W_i} = \frac{8957609,04}{293286,83} = 30,542 \text{ meter}$$

Serta titik berat beban arah Y :

$$\frac{\sum_{i=1}^n (W_i \times Y_i)}{\sum_{i=1}^n W_i} = \frac{12485878,52}{293286,83} = 23,428 \text{ meter}$$

Titik berat penampang arah X :

$$\begin{aligned} X &= \frac{(A1 \times X1) + (A2 \times X2) + (A3 \times X3)}{A1 + A2 + A3} \\ &= \frac{(2128 \times 32) + (112 \times 2) + (400 \times 24)}{2128 + 112 + 400} \\ &= \frac{77920}{2640} = 29,52 \text{ m} \end{aligned}$$

Titik berat penampang arah Y :

$$\begin{aligned} Y &= \frac{(A1 \times y1) + (A2 \times y2) + (A3 \times y3)}{A1 + A2 + A3} \\ &= \frac{(2128 \times 29) + (112 \times 24) + (400 \times 5)}{2128 + 112 + 400} \\ &= \frac{66400}{2640} = 25,15 \text{ m} \end{aligned}$$

### Perhitungan Kapasitas Dukung Pondasi Rakit

Perhitungan daya dukung pondasi rakit dilakukan menggunakan dua cara, yaitu berdasarkan Mayerhof dan Terzaghi, serta akan dihitung pada titik pengujian tanah. Nilai kohesi (c), dan sudut geser ( $\phi$ ) diambil dari data tanah yang sesuai pada perencanaan pondasi rakit selular, yaitu pada kedalaman 7,50 m.

Dari data hasil uji laboratorium pada 4 sampel tanah yang diambil di lokasi pembangunan Gedung Malang Creative Center (MCC) pada kedalaman yang berbeda diperoleh nilai-nilai sebagai berikut :

- Kedalaman 5,0 – 5,5 m

$$\begin{aligned} G_s &= 2,689 \\ w &= 50,24\% \\ c &= 26,3 \text{ kN/m}^2 \\ \phi &= 24,01^\circ \\ \gamma_m &= 1,87 \text{ gr/cm}^3 = 18,044 \text{ kN/m}^3 \\ \text{maka,} \\ \gamma_m &= \frac{G_s \times \gamma_w}{1 + e} (1 + w) \\ e &= 1,1604 \end{aligned}$$

- Kedalaman 9,0 – 9,5 m

$$\begin{aligned} G_s &= 2,999 \\ w &= 33,74\% \\ c &= 8,3 \text{ kN/m}^2 \\ \phi &= 31,16^\circ \\ \gamma_m &= 2,01 \text{ gr/cm}^3 = 19,711 \text{ kN/m}^3 \\ \text{maka,} \\ \gamma_{\text{sat}} &= \frac{(G_s + e) \gamma_w}{1 + e} \\ e &= 0,979 \end{aligned}$$

- Kedalaman 14,0 – 14,5 m

$$\begin{aligned} G_s &= 2,866 \\ w &= 42,55\% \\ c &= 14,9 \text{ kN/m}^2 \\ \phi &= 39,06^\circ \\ \gamma_m &= 1,66 \text{ gr/cm}^3 = 16,279 \text{ kN/m}^3 \\ \text{maka,} \\ \gamma_m &= \frac{G_s \times \gamma_w}{1 + e} (1 + w) \\ e &= 1,4611 \end{aligned}$$

- Kedalaman 19,0 – 19,5 m

$$\begin{aligned} G_s &= 2,954 \\ w &= 40,42\% \\ c &= 36,9 \text{ kN/m}^2 \\ \phi &= 36,9^\circ \\ \gamma_m &= 2,11 \text{ gr/cm}^3 = 20,692 \text{ kN/m}^3 \\ \text{maka,} \\ \gamma_{\text{sat}} &= \frac{(G_s + e) \gamma_w}{1 + e} \\ e &= 0,760 \end{aligned}$$



**Daya Dukung Terzaghi**

Berdasarkan tabel hubungan  $\phi$  dan  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  pada keruntuhan geser umum, setelah dilakukan interpolasi pada  $\phi$  yang digunakan adalah  $24,01^\circ$ , diperoleh nilai :

$N_c = 23,63$   
 $N_q = 11,65$   
 $N_\gamma = 8,769$

Tabel 1. Tabel Hubungan  $\phi$  dan  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  pada keruntuhan geser umum.

$\phi$	Keruntuhan geser umum			Keruntuhan geser lokal		
	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N'_c$	$N'_q$	$N'_\gamma$
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

Untuk perhitungan kapasitas daya dukung tanah dapat dihitung seperti berikut :

Parameter tanah :

- Kohesi (c) = 26,3 kN/m<sup>2</sup>
- Berat vol. tanah basah ( $\gamma_m$ ) = 18,044 kN/m<sup>3</sup>
- Sudut Geser ( $\phi$ ) = 24,01 °
- Kedalaman pondasi (Df) = 4 meter
- Tekanan Overburden (Po)

$Po = \gamma \times Df$   
 $= 18,044 \times 4,5$   
 $= 81,199 \text{ kN/m}^2$

$q_{ult} = c N_c (1+0,3 B/L) + po N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma (1-0,2 B/L)$   
 $= 26,3 \times 23,63 (1+0,3 \times (60/48)) + 81,199 \times 11,65 + 0,5 \times 18,044 \times 60 \times 8,769 (1-0,2 \times (60/48))$   
 $= 5361,047 \text{ kN/m}^2$

$q_{un} = q_{ult} - Df \times \gamma$   
 $= 5361,047 - 4,5 \times 18,044$   
 $= 5279,847 \text{ kN/m}^2$

$q_n = q - Po$   
 $= 163,681 - 81,199$   
 $= 82,482 \text{ kN/m}^2$

Sehingga diperoleh nilai FK :

$FK = q_{un} / q_n$   
 $= 5279,847 / 82,481$   
 $= 64,012 \geq 3$  **Memenuhi**

Kapasitas daya dukung aman ( $q_s$ )

$q_s = q_{un} / FK + Po$   
 $= 5279,847 / 64,012 + 81,199$   
 $= 163,681 \text{ kN/m}^2$

Besar kapasitas ijin tanah

Beban maksimum yang dapat ditahan oleh pondasi rakit adalah :

$P_{max} = A \times q_s$   
 $= 2880 \times 163,681$   
 $= 471400,748 \text{ kN}$

$P_u = P_u \text{ struktur atas} + \text{berat pondasi rakit}$   
 $= 293286,83 + (t. \text{ pondasi} \times A \times b_j. \text{ Beton})$   
 $= 293286,83 + (1,00 \times 2880 \times 24)$   
 $= 362406,83 \text{ kN}$

Sehingga diperoleh  $P_{max} \geq P_u \rightarrow 471400,748 \text{ kN} \geq 362406,83 \text{ kN}$ , dimana  $P_u$  merupakan beban dari struktur atas gedung, sehingga dari perhitungan di atas, analisis daya dukung pondasi rakit dengan menggunakan analisis Terzaghi pada keruntuhan geser umum dinyatakan “Memenuhi”.

**Daya Dukung Mayerhof**

Tabel 2. Nilai faktor kapasitas dukung Mayerhof (1963), Hansen (1961), dan Vesic (1973)

$\phi$	Mrehof (1963)			Hansen (1961)			Vesic (1973)		
	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
13	9,81	3,26	0,74	9,81	3,26	0,78	9,81	3,26	1,97
14	10,37	3,59	0,92	10,37	3,59	0,97	10,37	3,59	2,29
15	10,98	3,94	1,13	10,98	3,94	1,18	10,98	3,94	2,65
16	11,63	4,54	1,37	11,63	4,34	1,43	11,63	4,34	3,06
17	12,34	4,77	1,66	12,34	4,77	1,73	12,34	4,77	3,53
18	13,10	5,26	2,00	13,10	5,26	2,08	13,10	5,26	4,07
19	13,93	5,80	2,40	13,93	5,80	2,48	13,93	5,80	4,68
20	14,93	6,40	2,87	14,83	6,40	2,95	14,83	6,40	5,39
21	15,81	7,07	3,42	15,81	7,07	3,50	15,81	7,07	6,20
22	16,88	7,82	4,07	16,88	7,82	4,13	16,88	7,82	7,13
23	18,05	8,66	4,82	18,05	8,66	4,88	18,05	8,66	8,20
24	19,32	9,60	5,72	19,32	9,60	5,75	19,32	9,60	9,44
25	20,72	10,66	6,77	20,72	10,66	6,76	20,72	10,66	10,88

Sumber : Hardiyatmo (2011 : 150)

Berdasarkan tabel diatas, diatas, diperoleh nilai faktor daya dukung mayerhof dengan sudut geser sebesar  $\phi$  yang digunakan =  $24,01^\circ$  diperoleh :

$N_c = 19,32$   
 $N_q = 9,60$   
 $N_\gamma = 5,72$

Faktor bentuk pondasi

Nilai faktor bentuk pondasi menurut Mayerhof, dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$s_c = 1 + 0,2 (B/L) \text{ tg}^2 (45 + \frac{\phi}{2})$

$$= 1 + 0,2 (60/48) \operatorname{tg}^2 \left( 45 + \frac{24,01}{2} \right)$$

$$= 1,593$$

$$s_q = 1 + 0,1 (B/L) \operatorname{tg}^2 \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$= 1 + 0,1 (60/48) \operatorname{tg}^2 \left( 45 + \frac{24,01}{2} \right)$$

$$= 1,297$$

$$s_\gamma = s_q = 1,297$$

Faktor kedalaman pondasi

Nilai faktor kedalaman pondasi dapat dihitung dengan menggunakan metode perhitungan Mayerhof :

$$d_c = 1 + 0,2 (D/B) \operatorname{tg}^2 \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$= 1 + 0,2 (4,5/60) \operatorname{tg}^2 \left( 45 + \frac{24,01}{2} \right)$$

$$= 1,032$$

$$d_q = 1 + 0,1 (D/B) \operatorname{tg}^2 \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$= 1 + 0,1 (4,5/60) \operatorname{tg}^2 \left( 45 + \frac{24,01}{2} \right)$$

$$= 1,018$$

$$d_\gamma = d_q = 1,018$$

Faktor kemiringan pondasi

Berdasarkan Tabel 2.15, karena hanya terdapat beban vertikal maka nilai faktor kemiringan beban pondasi sama dengan :

$$i_c = i_q = i_\gamma = 1$$

Daya Dukung Tanah

$$q_{ult} = c N_c s_c i_c d_c + P_o N_q s_q i_q d_q + 0,5 \gamma B N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma$$

$$= (26,3 \times 19,32 \times 1,593 \times 1 \times 1,032) + (81,199 \times 9,6 \times 1,297 \times 1 \times 1,018) + (0,5 \times 18,044 \times 60 \times 5,72 \times 1,297 \times 1 \times 1,018)$$

$$= 5952,793 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{un} = q_{ult} - D_f \times \gamma$$

$$= 5952,793 - 4,5 \times 18,044$$

$$= 5871,594 \text{ kN/m}^2$$

$$q_n = q - P_o$$

$$= 163,681 - 81,199$$

$$= 82,482 \text{ kN/m}^2$$

Sehingga diperoleh nilai FK :

$$FK = q_{un} / q_n$$

$$= 5871,594 / 82,481$$

$$= 71,187 \geq 3 \text{ Memenuhi}$$

Kapasitas daya dukung aman (qs)

$$q_s = q_{un} / FK + P_o$$

$$= 5871,594 / 71,187 + 81,199$$

$$= 163,681 \text{ kN/m}^2$$

Besar kapasitas ijin tanah

Beban maksimum yang dapat ditahan oleh pondasi rakit adalah :

$$P_{max} = A \times q_s$$

$$= 2880 \times 163,681$$

$$= 471400,748 \text{ kN}$$

$$P_u = P_u \text{ struktur atas} + \text{berat pondasi rakit}$$

$$= 293286,83 + (t. \text{ pondasi} \times A \times b_j. \text{ Beton})$$

$$= 293286,83 + (1,00 \times 2880 \times 24)$$

$$= 362406,83 \text{ kN}$$

Sehingga diperoleh  $P_{max} \geq P_u \rightarrow 471400,748 \text{ kN} \geq 362406,83 \text{ kN}$ , dimana  $P_u$  merupakan beban dari struktur atas gedung, sehingga dari perhitungan di atas, analisis daya dukung pondasi rakit dengan menggunakan analisis Mayerhof dinyatakan "Memenuhi".

Tabel 3. Rekapitulasi Perhitungan Daya Dukung Pondasi

Titik	Metode Analisis	$q_{un}$	$q_n$	FK	Kontrol
		$\text{kN/m}^2$	$\text{kN/m}^2$		$\text{FK} \geq 3$
B-1	Mayerhof	5952,793	82,482	71,187	MEMENUHI
	Terzaghi (keruntuhan geser umum)	5361,047	82,482	64,012	MEMENUHI

Sehingga dari rekapitulasi di atas, digunakan perhitungan metode Terzaghi (keruntuhan geser umum) dimana diperoleh nilai  $q_{un}$  sebesar 5361,047  $\text{kN/m}^2$  dengan nilai FK terkecil yaitu 64,012, dengan daya dukung sebesar 471400,748 kN.

### Tegangan Tanah di Dasar Pondasi

Tegangan yang terjadi di bawah pondasi rakit harus lebih kecil daripada tegangan ijin. Hal ini bertujuan agar tanah di bawah pondasi aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung pondasi rakit. Tegangan untuk pondasi rakit dihitung menggunakan rumus :

$$q = \frac{P}{A} \left[ 1 \pm \frac{6ex}{L} \pm \frac{6ey}{B} \right]$$

$$P = 362406,83 \text{ kN}$$

$$A = 60 \text{ m} \times 48 \text{ m} = 2880 \text{ m}^2$$

$$ex = \text{pusat massa } x - \text{pusat penampang } x$$

$$= 30,542 \text{ m} - 29,52 \text{ m}$$

$$= 1,03 \text{ m}$$

$$ey = \text{pusat massa } y - \text{pusat penampang } y$$

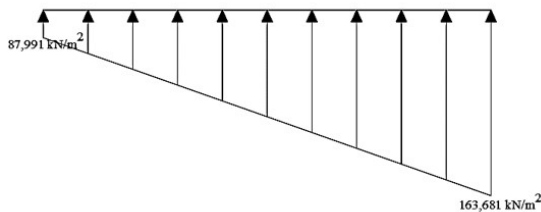
$$= 42,572 \text{ m} - 40,85 \text{ m}$$

$$= 1,72 \text{ m}$$

Sehingga besar tegangan di bawah pondasi adalah:

$$\begin{aligned} \text{Tegangan max } (q_{\max}) &= \frac{P}{A} \left[ 1 + \frac{6ex}{L} + \frac{6ey}{B} \right] \\ &= \frac{362406,83}{2880} \left[ 1 + \frac{6x \cdot 1,03}{48} + \frac{6x \cdot 1,72}{60} \right] \\ &= 163,681 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Tegangan min } (q_{\min}) &= \frac{P}{A} \left[ 1 - \frac{6ex}{L} - \frac{6ey}{B} \right] \\ &= \frac{362406,83}{2880} \left[ 1 - \frac{6x \cdot 1,03}{48} - \frac{6x \cdot 1,72}{60} \right] \\ &= 87,991 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

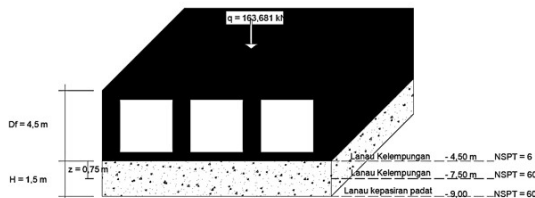
Diagram tegangan tanah maksimum dan tegangan tanah minimum di dasar pondasi rakit dapat digambar sebagai berikut :



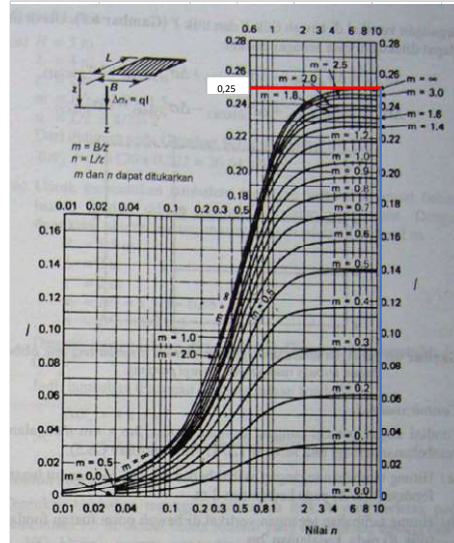
Gambar 4. Diagram Tegangan Tanah di Dasar Pondasi Rakit

### Beban Terbagi Rata Berbentuk Empat Persegi Panjang

Tambahan tegangan vertikal akibat beban terbagi rata berbentuk empat persegi panjang dengan ukuran (L) dan lebar (B) oleh Boussinesa dapat diilustrasikan seperti gambar berikut :



Gambar 5. Tegangan di bawah beban terbagi merata



Gambar 6. Faktor pengaruh I untuk tegangan vertikal di bawah sudut luasan beban terbagi rata berbentuk empat persegi panjang

Dengan :

$$Q = \frac{P_{maks}}{A} = \frac{471400,748}{2880} = 163,681 \text{ kN}$$

$$m = \frac{B/2}{z} = \frac{60/2}{0,75} = 40$$

$$n = \frac{L/2}{z} = \frac{48/2}{0,75} = 32$$

sehingga,

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_z (\Delta P) &= 4Iq \\ &= 4 \times 0,25 \times (P_{maks}/A) \\ &= 4 \times 0,25 \times (471400,748/2880) \\ &= 163,681 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

### Penurunan Pondasi

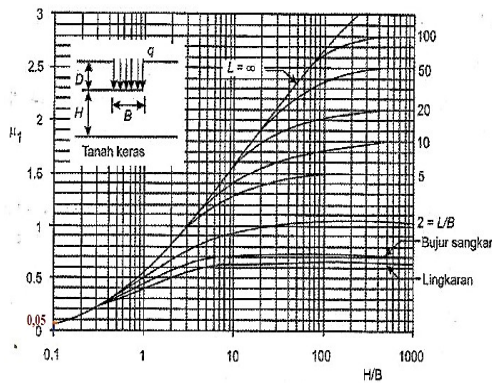
Lapisan tanah pada proyek pembangunan gedung Malang Creative center (MCC) terdiri dari lapisan lanau serta pasir dengan muka air tanah yang dalam, sehingga perhitungan penurunan akan ditinjau dengan menggunakan penurunan segera dan penurunan konsolidasi. Penjumlahan kedua penurunan tersebut menghasilkan penurunan total pada perencanaan pondasi rakit. Adapun penurunan yang ditinjau adalah titik B-1.

### Penurunan Segera

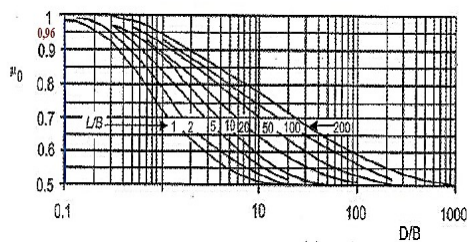
Penurunan segera yang terjadi pada pondasi rakit terhadap tanah lanau kepasiran dengan tebal terbatas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Janbu et al (1956)

$$S_i = \mu_1 \mu_0 \frac{q B}{\bar{\sigma}}$$

Faktor koreksi lapisan tanah dapat diperoleh dari Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Faktor Koreksi Lapisan Kedalaman Tanah  $\mu_1$  Janbu et al



Gambar 8. Grafik Faktor Koreksi Lapisan Kedalaman Pondasi  $\mu_0$  Janbu et al

Penurunan lapisan lanau kepasiran pada kedalaman -7,5 m sampai dengan -9,0 m

- $L/B = 60/48 = 1,250$
- $D_f/B = 4,5/48 = 0,094$
- $H/B = 1,5/48 = 0,031$
- Faktor koreksi lapisan tanah ( $\mu_1$ ) = 0,05 (dari grafik)
- Faktor koreksi  $D_f$  ( $\mu_1$ ) = 0,96 (dari grafik)
- Modulus elastisitas ( $E$ ) = 20000 kN/m<sup>3</sup>
- Tekanan *overburden* ( $P_o$ ) =  $\gamma \times D_f$   
 $= 18,044 \times 4,5$   
 $= 81,199 \text{ kN/m}^3$
- Luas Pondasi ( $A$ ) = 2880 m<sup>2</sup>
- Tegangan Maksimum ( $q$ ) =  $\frac{\Sigma P}{A}$   
 $= \frac{471400,748}{2880}$   
 $= 163,681 \text{ kN/m}^2$
- Tegangan Netto ( $q_n$ ) =  $q - P_o$   
 $= 163,681 - 81,199$   
 $= 82,482 \text{ kN/m}^2$
- Penurunan segera ( $S_i$ )  

$$\mu_1 \mu_0 \frac{q \times B}{E}$$

$$= 0,05 \times 0,96 \times \frac{82,482 \times 60}{20000}$$

$$= 0,012 \text{ m}$$

$$= 1,188 \text{ cm}$$

**Penurunan Konsolidasi (*consolidation settlement*)**

Penurunan lapisan tanah yang diakibatkan oleh keluarnya air dari pori tanah dinamakan penurunan

konsolidasi. Tanah yang memiliki butiran halus (*fine grained soils*) seperti tanah lempung, kecepatan keluarnya air dari pori tanah sangat kecil dibandingkan dengan kecepatan keluarnya air dari tanah yang berbutir kasar (*coarse grained soils*) seperti tanah lanau dan pasir. Penurunan lapisan lanau kepasiran padat pada kedalaman -7,5 m sampai dengan -9,0 m.

- Berat Volume lapisan ( $\gamma_1$ ) = 18,044 kN/m<sup>3</sup>
- Berat Volume lapisan ( $\gamma_2$ ) = 19,711 kN/m<sup>3</sup>
- Tebal lapisan tanah = 0,75 m
- Angka pori ( $e$ ) = 1,1604
- Tegangan efektif awal ( $P_o$ ) =  $\gamma_1 \times h_1 + \gamma_2 \times h_2$   
 $= (18,04 \times 6,0) + (19,71 \times 3,0)$   
 $= 167,4 \text{ kN/m}^2$
- Tambahan tegangan tiap lapisan ( $\Delta P$ )  
 $\Delta \sigma_z = 163,681$
- Indeks pemampatan ( $C_c$ )  
 $= 0,156 \times e_0 + 0,0107$   
 $= 0,156 \times 1,1604 + 0,0107$   
 $= 0,192$
- Penurunan Konsolidasi ( $S_c$ )  

$$= \frac{\Delta e}{1 + e_0} H$$

$$= \frac{H}{1 + e} C_c \text{ Log} \frac{P_o + \Delta p}{P_o}$$

$$= \frac{2}{1 + 1,1604} \times 0,192 \times \text{Log} \frac{167,4 + 163,68}{167,4}$$

$$= 0,0526 \text{ m}$$

$$= 5,257 \text{ cm}$$

**Penurunan Total**

Penurunan total merupakan hasil jumlah dari dua jenis penurunan di atas, yaitu penurunan segera (*immediate settlement*) dan penurunan konsolidasi (*consolidation settlement/longterm settlement*) yang dirumuskan sebagai berikut :

$$S_t = S_i + S_c$$

$$= 1,188 + 5,257$$

$$= 6,445 \text{ cm}$$

**Penurunan Ijin**

Sesuai SNI Geoteknik (2017 : 178), pasal 9.2.4.3 besarnya penurunan ijin untuk bangunan tinggi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_t < 15 + (b/600)$$

$$6,445 < 15 + (6000/600)$$

$$6,445 < 10,03 \text{ OKE!}$$

**Kontrol Stabilitas Pondasi**

Bangunan gedung bertingkat tinggi yang menggunakan pondasi dangkal perlu dikontrol stabilitasnya terhadap gaya-gaya yang menyebabkan terjadinya keruntuhan. Beberapa stabilitas yang dikontrol, yaitu stabilitas terhadap gaya guling dan stabilitas terhadap gaya geser. Berikut perhitungan kontrol stabilitas yang ditinjau.



### Stabilitas Guling

Kontrol stabilitas terhadap gaya duling dihitung dengan menggunakan rumus :

a) Kontrol guling arah X  
 Momen pengguling (Mgl) = gaya tiap lantai x h  
 Tinggi gedung (h) = 37 m  
 Momen pengguling (Mgl) =  $F_x \times h_x$   
 =  $1621,836 \times 37$   
 = 60007,932 kNm  
 Momen akibat eksentrisitas =  $P_{maks} \times e_x$   
 =  $471400,748 \times 1,03$   
 = 484125,74 kNm

Gaya angkat (*uplift*) =  $U \times \text{jarak titik}$   
 =  $57600 \times 29,52$   
 = 1700072,727 kNm  
 Gaya akibat pondasi =  $(\gamma \times h \times A) \frac{1}{2} \times h$   
 =  $(18,04 \times 4,5 \times 2880) \frac{1}{2} \times 4,5$   
 = 526169,92 kNm  
 Momen guling = 60007,932 +  
 484125,74 +  
 1700072,727 +  
 526169,92  
 = 2770376,32 kNm

Momen penahan guling (Mw)  
 Berat struktur = 471400,784 kN  
 Jarak ke titik berat x = 29,52 m  
 Momen penahan guling =  $P_u \times \text{jarak}$   
 =  $471400,784 \times 29,52$   
 = 13913464,51 kNm

Stabilitas guling (SF) =  $\frac{\text{Momen penahan guling (Mw)}}{\text{Momen pengguling (Mgl)}}$   
 =  $\frac{13913464,51}{2770376,32}$   
 = 5,022  $\geq$  1,5  
**(terpenuhi)**

b) Kontrol guling arah Y  
 Momen pengguling (Mgl)  
 Tinggi gedung (h) = 37 m  
 Momen pengguling (Mgl) = gaya tiap lantai x h  
 =  $F_x \times h_x$   
 =  $1621,836 \times 37$   
 = 60007,932 kNm  
 Momen akibat eksentrisitas =  $P_{maks} \times e_y$   
 =  $471400,748 \times 1,72$   
 = 812581,41 kNm  
 Gaya angkat (*uplift*) =  $U \times \text{jarak titik y}$   
 =  $57600 \times 40,85$   
 = 2352872,727 kNm  
 Gaya akibat pondasi =  $(\gamma \times h \times A) \frac{1}{2} \times h$   
 =  $(18,04 \times 4,5 \times 2880) \frac{1}{2} \times 4,5$   
 = 526169,92 kNm

Momen guling = 60007,932 +  
 812581,41 +  
 2352872,727 +  
 526169,92  
 = 3751631 kNm

Momen penahan guling (Mw)  
 Berat struktur = 471400,784 kN  
 Jarak ke titik berat y = 40,85 m  
 Momen penahan guling =  $P_u \times \text{jarak}$   
 =  $471400,784 \times 40,85$   
 = 19256006,33 kNm

Stabilitas guling (SF) =  $\frac{\text{Momen penahan guling (Mw)}}{\text{Momen pengguling (Mgl)}}$   
 =  $\frac{19256006,33}{3751631,99}$   
 = 5,133  $\geq$  1,5  
**(terpenuhi)**

### Stabilitas Geser

Kontrol stabilitas gedung terhadap gaya geser dihitung menggunakan gaya penyebab geser dari hasil perhitungan gaya gempa dasar, sehingga stabilitas geser ditinjau sebagai berikut :

Luas area geser (A) = luas pondasi  
 = 2880 m<sup>2</sup>

Beban struktur (W) =  $P_{maks} = 471400,748$  kN

Kohesi (C) = 26,3 kN/m<sup>2</sup>

Sudut geser ( $\phi$ ) = 24,01°

Gaya penahanan geser (Rh) =  $C \times A + W \tan(\phi)$   
 =  $26,3 \times 2880 + 471400,748 \tan(24,01)$   
 = 142861,86 kN

Gaya penyebab geser (Ph) = V (base shear)  
 = 38623,626 kN

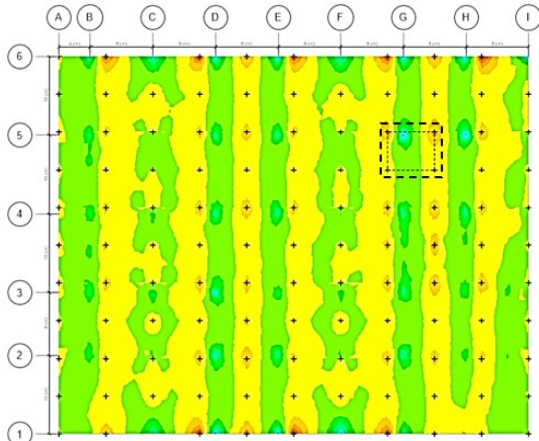
Stabilitas Geser =  $\frac{\text{Gaya penahan geser (Rh)}}{\text{Gaya penyebab geser (Ph)}}$   
 =  $\frac{142861,86}{38623,626}$   
 = 3,699  $\geq$  2 **(Terpenuhi)**

### Penulangan Pondasi Rakit

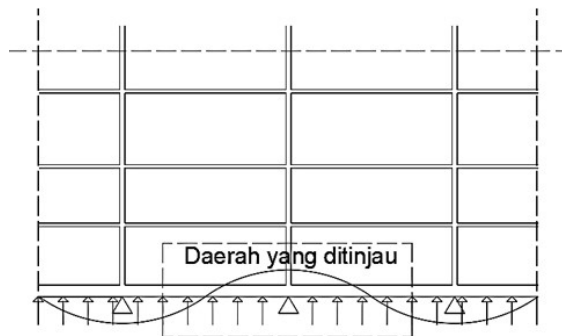
Perhitungan momen pada pelat pondasi diperoleh dari output program bantu *Etabs 2020*. Pelat lantai telah dianalisa dengan beban tegangan izin yang berdasar untuk perencanaan struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen pondasi sesuai dengan SNI 1727 : 2019 pasal 4.2.3.1 hal. 27, yaitu:

1. D
2. D + L
3. D + (Lr atau R)

4.  $D + 0,75 L + 0,75 (Lr \text{ atau } R)$
5.  $D + 0,6W$
6.  $D + 0,75 (0,6W) + 0,75L + 0,75 (Lr \text{ atau } R)$
7.  $0,6D + 0,6W$



Gambar 9. Analisa Struktur pada pelat pondasi



Gambar 10. Distribusi momen pada pelat pondasi

Tabel 4. Hasil output Etabs momen yang bekerja pada pelat

No	Momen	Story	Kombinasi	M11 (kNm)	M22 (kNm)
1	Mtx	Base	Kombinasi 2	-14369,23	
2	Mlx	Base	Kombinasi 2	13086,08	
3	Mty	Base	Kombinasi 2		-10582,66
4	Mly	Base	Kombinasi 2		13049,2

Catatan :

M11 = momen arah y (kNm)

M22 = momen arah x (kNm)

Tabel 5. Rekapitulasi Penulangan pada Pondasi Rakit

	Tulangan Arah X		Tulangan Arah Y	
	Tul. Bagi	Tul. Tumpuan	Tul. Bagi	Tul. Tumpuan
Atas	D25 - 70	D25 - 70	D25 - 70	D25 - 70
Bawah	D25 - 70	D25 - 70	D25 - 70	D25 - 70

### Kontrol Terhadap Geser

Perhitungan geser pons bertujuan untuk mengetahui apakah ketebalan pondasi yang direncanakan cukup kuat untuk menahan beban terpusat dari struktur atas yang diterima pondasi rakit. Perhitungan kuat

geser dikontrol atas geser satu arah dan dua arah sebagai berikut :

### Kontrol Kuat Satu Arah

$$V_u = P_{ult} \times \text{area efektif} \times$$

$$= 2103,751 \times 2,073 \times 4,8$$

$$= 20928,115 \text{ kN}$$

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times 1,0 \times \sqrt{40} \times 4800 \times 887,50$$

$$= 4580242,963 \text{ N}$$

$$= 4580,243 \text{ kN}$$

$$V_s = V_u / \phi$$

$$= 20928,115 / 0,75$$

$$= 27904,153 \text{ kN}$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$= 4580,243 + 27904,153$$

$$= 32484,396 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,75 \times 32484,396$$

$$= 24363,197 \text{ kN} \geq V_u = 20928,115 \text{ kN (OKE)}$$

### Kontrol Kuat Geser Dua Arah

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Kontrol Kuat Geser Dua Arah

Posisi	$V_u$	$V_c$	$\phi V_c$	Kontrol $\phi V_c \geq V_u$
Area Tengah	6470,7053	12873,514	9655,1355	OKE
Area Tepi	880,935	12873,514	9655,1355	OKE

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pembahasan, maka dapat diperoleh kesimpulan :

1. Beban struktur atas dari Gedung MCC Malang yang terdiri dari 8 lantai + 1 semibasement yang dihasilkan dari analisa menggunakan program bantu Etabs adalah sebesar 293286,83 kN, dengan berat sendiri pondasi rakit sebesar 69120 kN, sehingga total seluruh beban yang ditampung adalah **362406,83 kN**.
2. Pondasi rakit direncanakan dengan dimensi 60 m x 48 m, dengan ketebalan pelat 1,00 m, dengan kedalaman 4 meter dari muka tanah. Digunakan mutu beton ( $f_c$ ) 40 Mpa dan mutu baja ( $f_y$ ) 420 Mpa, maka diperoleh tulangan rencana sebagai berikut :  
 Tul. bagi untuk rangka atas = D25-70  
 Tul. tumpuan untuk rangka atas = D25 - 70  
 Tul. bagi untuk rangka bawah = D25 - 70  
 Tul. tumpuan untuk rangka bawah = D25 - 70
3. Dari perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh nilai daya dukung yang mampu dihasilkan oleh pondasi rakit pada titik DB-1, yaitu : Analisa Mayerhof sebesar : 5952,793 kN, dengan nilai FK = 71,187 .Analisa Terzaghi (keruntuhan geser umum) sebesar 5361,047 kN, dengan nilai FK = 64,012, dari kedua metode analisis ini digunakan daya dukung dengan angka Faktor Keamanan terkecil, yaitu metode Analisa Terzaghi (keruntuhan geser

umum). Pondasi telah memenuhi kontrol daya dukung ijin, sehingga tidak dilaksanakan lagi perhitungan dan perencanaan pondasi tambahan.

4. Total Penurunan yang terjadi pada pondasi rakit adalah sebesar **6,445** cm, dimana nilainya lebih kecil dari penurunan izin bangunan tinggi yang diisyaratkan sebesar 23 cm.

## DAFTAR PUSTAKA

- Daftar Asiyanto. (2009). *Metode Konstruksi Untuk Pekerjaan Pondasi*. Universitas Indonesia (UI-Press).
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik SNI 8460-2017*. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional. <https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/sni-bidang-gl>
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2847-2019*. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726-2019*. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain SNI 1727-2020*. I Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- Bowles, J. E. (1997). *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 1*. Edisi ke 4. Jakarta : Erlangga.
- Cholid, M. I., Winarto, S., Cahyo, Y., & Candra, A. I. (2020). Perencanaan Pondasi Sumuran Pada Proyek Pembangunan Gedung Asrama Balai Pembangunan Sdm Dan Pertanian Bantul Diy. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 3(1), 45. <https://doi.org/10.30737/jurmateks.v3i1.888>
- Frans, R., & Kalangi, H. T. (2020). Analisis Penggunaan Combined Pile Raft Foundations (CPRF) Tipe Mini Pile dan Tipe Caisson. *Adpertia*.
- Grandis, Z. K. (2023). *Perencanaan Pondasi Rakit Selular (Cellular Raft Foundation) pada Proyek Pembangunan Gedung Malang Creative Center (MCC)*. [Skripsi, Universitas Muhammadiyah Malang], 4(1), 88–100.
- Gunadarma. (2009). *Rekayasa Fondasi II*. Universitas Gunadarma.
- Hardiyatmo, H. C. (2003). *Mekanika tanah II*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2008). *Teknik Fondasi II*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Pamungkas, A., & Harianti, E. (2002). *Desain Pondasi Tahan Gempa*. Yogyakarta : C.V Andi Offset.
- Sariman, S., & Panguriseng, D. (2022). *Rekayasa Pondasi Dangkal*. Makassar : Tohar Media. <https://www.researchgate.net/publication/367220328>
- Simalango, S. P., Purba, A., & Sawito, K. (2021). Studi Perencanaan Pondasi Sumuran Pada Pembangunan Gedung Bertingkat Tinggi (Perbandingan Antara Pondasi Tiang Pancang dan Pondasi Sumuran). *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, 04, 21–29. <https://doi.org/10.54367/jrkms.v4i1.1226>
- Sosrodarsono., S., & Kazuto, N. (2000). *Mekanika Tanah & Teknik Pondasi*. Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- Utami, N. C., Surjandari, N. S., & Dananjaya, R. H. (2018). Analisis Penurunan Fondasi Gabungan Telapak Dan Sumuran (Telasur) Pada Tanah Lempung Homogen. *Matriks Teknik Sipil*, 6(3), 478–484. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v6i3.36554>