ANALISIS PENGARUH PARAMETER DEWATERING TERHADAP PENURUNAN MUKA AIR TANAH DAN TEGANGAN PADA TANAH

Denissa Permatasari¹, Gregorius Sandjaja²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: permata.den@gmail.com

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: gregoriuss@ft.untar.ac.id

ABSTRAK

Dewatering sangat dipengaruhi oleh parameter dewatering, yaitu dalam penelitian ini adalah koefisien permeabilitas dan *storage coefficient*. Penelitian ini menggunakan data dari studi kasus suatu proyek di Jl. Sudirman, Jakarta Pusat untuk menganalisis parameter-parameter tersebut. Untuk analisis akurasi rumus empiris yang digunakan sebagai sumber alternatif koefisien permeabilitas selain dari tes lapangan dan laboratorium, dilakukan pemodelan dengan program GeoStudio SEEP/W. Dari hasil pemodelan SEEP/W ditemukan bahwa muka air tanah pada model dengan nilai koefisien permeabilitas dari rumus Gustafson, yang menggunakan ukuran butir tanah, paling mendekati muka air tanah dari data lapangan. Untuk analisis *storage coefficient* ditemukan bahwa tiap 1% *storage coefficient* menghasilkan volume air sebesar 8.7104 m^3 . Penurunan muka air tanah juga menimbulkan perubahan tegangan tanah pada struktur penahan tanah yang digunakan di proyek tersebut, yaitu *D-wall*. Penelitian ini juga menganalisis efek perubahan tegangan tanah tersebut sebagai perbedaan lendutan yang terjadi pada *D-wall*. Ditemukan bahwa penurunan beda muka air tanah di kedua sisi *D-wall* sebesar 3m mengurangi lendutan di tengah bentang terpanjang *D-wall* sebesar 2.2mm.

Kata kunci: *dewatering*, hukum Darcy, koefisien permeabilitas, *storage coefficient*, *D-wall*

1. PENDAHULUAN

Adanya air tanah sangat mempengaruhi proses konstruksi fondasi dan *basement*. Bila tanah digali hingga di bawah muka air tanah (MAT), air tersebut akan terus mengalir keluar hingga habis. Agar tidak mengganggu proses konstruksi, MAT dapat diturunkan dengan cara *dewatering*. Proses *dewatering* yang dikenal ada beberapa macam, yang digunakan pada proyek X di Jl. Sudirman yang menjadi studi kasus adalah *predrainage* dan *cut-off wall* (Powers: 1981). Proses *dewatering* sangat dipengaruhi oleh berbagai parameter tanah yang berkaitan dengan *dewatering*. Parameter dewatering yang akan dianalisis adalah koefisien permeabilitas/permeability (K), dan *storage coefficient* (C_s). Penurunan MAT juga menyebabkan perubahan tegangan lateral yang bekerja pada struktur *D-wall* yang merupakan dinding penahan tanah dan *cut-off wall* yang digunakan pada proyek X.

Air yang mengalir melalui rongga di antara butiran tanah mengalami gesekan sehingga memenuhi hukum Darcy (Powers: 1981). Kecepatan aliran air melalui butiran tanah (permeabilitas) dan banyaknya air yang dapat dilepaskan oleh butiran tanah (*storage coefficient*) sangat tergantung pada tekanan kohesi antara air dengan butiran tanah (Bilskie: 2001). Sehingga, selain dari *pump test* di lapangan, nilai koefisien permeabilitas dapat diperkirakan secara empiris dengan menggunakan *soil grading* yang didapat dari tes laboratorium.

Seluruh rumus yang digunakan dalam penelitian ini berlaku untuk air tanah/aquifer tipe *water table/unconfined*, dimana nilai *specific yield* sama dengan *storage coefficient*.

2. STUDI KASUS PROYEK X DI JL. SUDIRMAN

Proyek X yang menjadi studi kasus penelitian ini adalah proyek gedung perkantoran di Jl. Sudirman dengan basement 5 lantai (kedalaman -17.6 m). Sumber data untuk proyek ini adalah wawancara dengan subkontraktor *dewatering*, hasil tes lapangan dan laboratorium *Soil Report*, data *monitoring* harian *dewatering Piezometer Report* dengan informasi MAT dan debit pompa *dewatering*, dan laporan Analisis Pergerakan *D-wall* oleh manajemen konstruksi proyek sebagai sumber data posisi lantai basement dan kekakuan *D-wall*.

Data dari semua *Piezometer Report* yang telah diolah dan disusun menjadi grafik untuk memudahkan pemilihan data dapat dilihat sebagai berikut:

Gambar 1. Grafik data dari semua *Piezometer Report* dan periode yang dianalisis

Hasil wawancara

- *D-wall* yang digunakan impermeabel karena berfungsi sebagai dinding penahan galian *basement* yang menggunakan sistem *top-down*
- Pengawasan pompa dilakukan 24 jam dan rutin dibersihkan secara berkala
- Sebagian air yang dipompa dikembalikan ke *recharge well* (RW) untuk menjaga kondisi MAT stabil
- Tidak ada/minim komunikasi dengan proyek yang mengerjakan konstruksi *tower* di kavling yang berdekatan, sehingga efek *dewatering* pada kondisi tanah di proyek tetangga tidak diketahui

3. ANALISIS PARAMETER DEWATERING

Parameter *dewatering* yang akan dianalisis yaitu koefisien permeabilitas/*permeability* (K), dan *storage coefficient* (C_s). Digunakan data lapangan yang sudah ada sebagai perbandingan terhadap hasil yang didapat secara empiris.

Analisis 1: Koefisien permeabilitas (K)

Digunakan program GeoStudio SEEP/W untuk memodelkan MAT yang terjadi pada nilai koefisien permeabilitas tertentu. Kondisi lapangan dan data *Piezometer Report* dari April 29 – Mei 9, 2017 digunakan untuk menyusun model SEEP/W dan data tanah dari DB2 dalam *Soil Report* pada kedalaman 26 m – 27.5 m sebagai *input* parameter pada *soil region*. Dalam *manual* untuk program tersebut diharuskan membuat model yang sesederhana mungkin agar hasil simulasi lebih konsisten (GEO-SLOPE International Ltd: 2012), sehingga digunakan satu lapisan tanah yang dapat mewakili seluruh model hingga lapisan tanah keras/lantai dasar *aquifer* pada kedalaman -36 m. Menggunakan lebih dari satu lapisan untuk analisis *dewatering* tidak berpengaruh secara signifikan (Demirbas: 2012). Data-data tersebut dapat dilihat pada tabel-tabel berikut ini:

Tabel 1. Data *boundary condition* MAT dan debit dari *Piezometer Report* untuk model SEEP/W

Tanggal (2017)	OW1	OW2	OW3	DW8
		(m)		(m3)
Apr 29	-23.600	-25.000	-12.700	15
30	-23.600	-25.100	-12.700	12
Mei 1	-23.600	-25.100	-12.700	11
2	-23.600	-25.200	-12.800	13
3	-23.600	-25.200	-12.800	12
4	-23.700	-25.000	-12.800	18
5	-23.700	-25.100	-12.800	18
6	-23.700	-25.200	-12.800	16
7	-23.700	-25.100	-12.700	12
8	-24.700	-25.000	-12.500	11
9	-24.900	-25.100	-12.700	23
Rata2:	-23.700	-25.100	-12.700	15

Tabel 2. Data tanah pada kedalaman 26 m – 27.5 m dari DB2 Soil Report

D_{10}	0.001 mm
D_{60}	0.008 mm
<i>Saturated water content</i>	$0.7234 \text{ m}^3/\text{m}^3$
<i>Residual water content</i>	$0.4 \text{ m}^3/\text{m}^3$

Denah *dewatering* sebagai posisi boundary condition titik-titik MAT yang diketahui dan titik pompa, dan juga penjelasan tebal elemen 1m dan jarak titik pompa ke potongan model sebesar 16.7426m sehingga debit pompa dibagi dengan jarak tersebut, dapat dilihat sebagai berikut:

Gambar 1. Denah *dewatering* dan potongan 1m (kiri) & 2. Tampak model SEEP/W (kanan)

Model SEEP/W membutuhkan kondisi awal *steady state* sebelum dapat dilakukan analisis *transient state* selama beberapa hari untuk melihat pergerakan MAT pada nilai koefisien permeabilitas tertentu. Dalam Analisis 1 akan diperbandingkan hasil MAT dalam model SEEP/W dari 3 nilai koefisien permeabilitas, dari pump test dalam Soil Report, rumus Gustafson, dan rumus Darcy yang dimodifikasi oleh Vesilind untuk *unconfined aquifer*.

Kondisi awal *steady state* model dan hasil MAT pada model SEEP/W dengan nilai K dari Soil Report: 6.82×10^{-4} m/detik dapat dilihat sebagai berikut:

Gambar 3. Model kondisi awal *steady state* (kiri) & 4. Kondisi MAT dengan K dari Soil Report (kanan)

Dibandingkan dengan kondisi lapangan sebenarnya, model dengan K dari *Soil Report* 6.82×10^{-4} m/detik banjir secara drastis. Dengan rumus Gustafson, didapat K secara empiris menggunakan *soil grading*, sebagai berikut:

Coefficient of uniformity (C_u) untuk ukuran butir tanah:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.008}{0.001} = 8 \quad (1)$$

Dengan D_{60} = ukuran butir tanah pada fraksi lolos 60%, dan D_{10} = ukuran butir tanah pada fraksi lolos 10%.

$g(C_u)$, E, dan $E(C_u)$ sebagai variabel tanpa satuan dengan fungsi sebagai berikut:

$$g(C_u) = \frac{1.3}{\log_{10} C_u} \cdot \frac{C_u^2 - 1}{C_u^{1.8}} = \frac{1.3}{\log_{10} 8} \cdot \frac{8^2 - 1}{8^{1.8}} = 2.181877 \quad (2)$$

$$E = 0.8 \cdot \frac{1}{2 \cdot \ln(C_u)} - \frac{1}{C_u^2 - 1} = 0.8 \cdot \frac{1}{2 \cdot \ln(8)} - \frac{1}{8^2 - 1} = 0.176486 \quad (3)$$

$$E(C_u) = 10.2 \cdot 10^6 \cdot \frac{E^3}{1+E} \cdot \frac{1}{g(C_u)^2} = 10.2 \cdot 10^6 \cdot \frac{0.176486^3}{1+0.176486} \cdot \frac{1}{2.181877^2} = 1011.1924 \quad (4)$$

K dari rumus Gustafson (Svensson: 2014):

$$K = E(C_u) \cdot \left(\frac{D_{10}}{1000}\right)^2 = 1011.1924 \cdot \left(\frac{0.001}{1000}\right)^2 = 1.00112 \times 10^{-8} \text{ mm/detik} \quad (5)$$

Dalam m/hari = $K = 1.00112 \times 10^{-5}$ m/detik.

Dengan rumus Darcy/Vesilind, digunakan data rata-rata pada Tabel 1 untuk Q = debit air dan h = jarak MAT ke lantai dasar *aquifer* di suatu titik, dan denah sebagai berikut untuk mendapatkan r = jarak dari suatu titik ke pompa:

Gambar 5. Denah dan data untuk rumus Darcy/Vesilind

K dari rumus Darcy/Vesilind (Vesilind: 1994) dapat dilihat sebagai berikut:

$$K = \frac{Q \ln \frac{r_1}{r_2}}{\pi (h_1^2 - h_2^2)} = \frac{15 \ln \frac{21.6}{60}}{\pi (10.9^2 - 12.3^2)} = 0.150185 \text{ m/hari} \quad (6)$$

Dijadikan m/detik, $K = 1.73826 \times 10^{-6}$ m/detik

Hasil MAT pada model SEEP/W dengan nilai K dari rumus Gustafson (1.00112×10^{-5} m/detik) dan dari rumus Darcy/Vesilind dapat dilihat sebagai berikut:

Gambar 6. Hasil MAT pada model SEEP/W dari rumus Gustafson (kiri) & 7. Dari rumus Darcy/Vesilind (kanan)

Rangkuman hasil MAT dalam model dari 3 nilai K yang berbeda dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 3. Rangkuman hasil pemodelan SEEP/W dengan nilai K tertentu

Kondisi	K (m/detik)	MAT (m)	Beda (m)
Lapangan		-25.1	-
Soil report	6.82×10^{-4}	banjir	-
Gustafson	1.00112×10^{-5}	-25.1	0
Vesilind	1.73826×10^{-6}	-28.2	-3.1

Dari hasil simulasi model SEEP/W, nilai K yang menghasilkan MAT yang paling mendekati kondisi MAT sebenarnya di lapangan adalah nilai K dari rumus empiris Gustafson. Sementara itu nilai K dari *Soil Report* dan dari rumus Darcy/Vesilind jauh dari kondisi lapangan.

Dalam tabel berikut dilakukan perhitungan nilai K dari referensi yang menggunakan *grain size analysis* dari DB2 kedalaman 26.5 m – 27 m (Quinion: 1987):

Tabel 4. Nilai K fraksional

Soil type	Grading (mm)	K (m/s)	Fraction	K Fractional
Fine sand	0.2-0.05	$> 10^{-4}$	10%	1×10^{-5}
Coarse silt	0.05-0.02	$> 10^{-5}$	20%	2×10^{-6}
Medium silt	0.02-0.005	$> 10^{-6}$	30%	3×10^{-7}
Fine silt	0.005-0.002	$> 10^{-7}$	20%	2×10^{-8}
Clays	< 0.002	$< 10^{-7}$	20%	2×10^{-9}
		Total	100%	1.2322×10^{-5}

Dapat disimpulkan bahwa nilai K dari Soil Report sebesar 6.82×10^{-4} jauh lebih besar dari nilai kisaran K untuk jenis tanah *silty clay* yaitu $> 10^{-5}$.

Analisis 2: Storage coefficient (C_s)

Untuk menganalisis *storage coefficient* digunakan rumus Darcy/Vesilind untuk menggambar kurva MAT pada tanah setelah penurunan yang signifikan untuk menghitung volume tanah yang mengeluarkan air dengan cara integral benda putar.

Tabel 5. Kondisi awal dan kondisi akhir debit dan MAT (Januari 2017)

Kondisi Awal			Kondisi Akhir		
Tanggal	OW2 (m)	DW8 (m ³)	Tanggal	OW2 (m)	DW8 (m ³)
10	-25	12	15	-25	15
11	-24.8	11	16	-25.1	14
12	-24.8	13	17	-25.25	18
13	-25	12	18	-25.4	15
14	-25	14	19	-25.75	15

Untuk mendapatkan kurva MAT dengan kordinat x dan y, rumus Darcy/Vesilind disusun menjadi berikut:

$$y = \sqrt{h_1^2 - \frac{Q \ln \frac{r_1}{x}}{\pi K}} \quad (7)$$

dimana $y = h_2$ (MAT pada posisi $x = r_2$), dan Q = debit air.

Denah yang digunakan sebagai luas daerah dan titik-titik untuk rumus Darcy/Vesilind dapat dilihat sebagai berikut:

Gambar 8. Denah luas daerah didalam *D-wall* dengan OW2 sebagai r_1

Dari denah tersebut diketahui bahwa $r_1 = 21.6$ m. Untuk menghitung kurva dengan rumus (7) digunakan rata-rata dari data kondisi awal dan kondisi akhir, dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 6. Rata-rata data kondisi awal dan akhir untuk menggambar kurva MAT

Kondisi	OW2	h_1	Q	K
Awal	-25.00 m	11 m	12 m ³ /hari	0.864968 m/hari
Akhir	-25.75 m	10.25 m	77 m ³ /5 hari	4.3248 m/5 hari

Dari data tersebut didapatkan fungsi kurva untuk kondisi awal:

$$y_{awal} = \sqrt{121 - 4.416024 \ln \frac{21.6}{x}} \quad (7)$$

Dan rumus untuk kondisi akhir:

$$y_{akhir} = \sqrt{105.0625 - 5.667231 \ln \frac{21.6}{x}} \quad (7)$$

Sehingga dapat digambarkan kurva MAT untuk mencari luas integral:

Gambar 9. Luas integral MAT yang melepaskan air dari rumus Darcy/Vesilind

Volume tanah yang melepaskan air didapat dengan mencari volume integral benda putar sebagai berikut:

$$V = \pi \int_0^{21.6} (y_{awal}^2 - y_{akhir}^2) dx = 1161.39 \text{ m}^3 \quad (8)$$

Dikurangi luas daerah diluar *D-wall* sebesar 25%, volume tanah didapat = 871.043 m³

Diketahui volume air yang dikeluarkan 77 m³, sehingga dapat dihitung *storage coefficient*:

$$C_s = 77 \text{ m}^3 / 871.043 \text{ m}^3 = 0.088 = 8.8\%$$

Dengan hasil dari perhitungan volume tanah $C_s = 8.8\%$, dibandingkan dengan nilai C_s dari *Soil Report* dan dari referensi *Specific Yield Analysis* (Johnson: 1967) dalam tabel rangkuman sebagai berikut:

Tabel 7. Rangkuman perbandingan nilai C_s

Sumber	C_s
Analisis rumus	8.8%
<i>Soil Report</i>	7%
Referensi	7-8%

Nilai C_s dari volume tanah dengan rumus Darcy/Vesilind lebih tinggi hampir 2% dari nilai C_s pada *Soil Report*. Dari referensi, C_s untuk tanah jenis silty clay berkisar 7-8%.

Pada luasan dan penurunan MAT yang sama, efek perbedaan C_s sebesar 1% terhadap volume air yang dikeluarkan:

$$Q = 871.043 \text{ m}^3 \times 0.01 = 8.7104 \text{ m}^3$$

4. PENGARUH PERUBAHAN MAT TERHADAP TEGANGAN LATERAL PADA D-WALL

Analisis 3 pada penelitian ini berfokus pada efek penurunan MAT pada kedua sisi *cut-off wall* yang digunakan pada Proyek X di Jl. Sudirman, yaitu *D-wall*. Dilakukan perbandingan lendutan pada *D-wall* dari kondisi awal dan kondisi akhir. Digunakan Rankine *earth pressures* sebagai pembebanan pada *D-wall* yang dimasukkan ke program GRASP untuk mencari lendutan pada tengah bentang terpanjang *D-wall*.

Data posisi MAT dimana terjadi perubahan paling drastis ditemukan pada Mei 2017 sebagai berikut:

Tabel 8. Data MAT pada 12 dan 17 Mei 2017

Tanggal	OW2 (m)	OW3 (m)
12 Mei	-25.15	-12.65
17 Mei	-24.65	-15.15
Perubahan	+ 0.50	-2.50

Posisi lantai basement yang digunakan sebagai perletakan sendi pada model *D-wall* dapat dilihat sebagai berikut:

Gambar 10. Model *D-wall* dalam GRASP

Total panjang *D-wall* 36 m (mencapai kedalaman lapisan tanah keras) dengan asumsi lebar potongan 1m. Digunakan asumsi tanah keras sebagai perletakan sendi sesuai dengan teori *fixed earth support* (Bowles: 1997).

Data kekakuan *D-wall*: $EA = 1.8762 \times 10^7 \text{ kN/m}$ dan $EI = 3.1437 \times 10^6 \text{ kNm}^2/\text{m}$

Digunakan 5 lapisan tanah untuk perhitungan pembebanan Rankine seperti berikut:

Tabel 9. Data 5 lapisan tanah untuk pembebanan Rankine

Lapisan	H (m)	ΔH (m)	Tipe	γ (kN/m ³)	PI	ϕ_r (°)	Ka
1	10.2	10.2	<i>silty clay</i>	18.17	42	16.1336	0.565094
2	7.4	17.6	<i>clayey silt</i>	14.07	62	12.5411	0.643196
3	4.9	22.5	<i>silty clay</i>	14.80	66.8	11.9277	0.657443
4	5	27.5	<i>clayey silt</i>	15.04	46	17.3253	0.541073
5	8.5	36	<i>silty clay</i>	17.49	29.2	19.4584	0.500238

Digunakan data dari DB1 dan DB2, dengan rumus empiris untuk ϕ = sudut geser (Carter: 2016), dan K_p (tekanan lateral pasif akibat kohesi) tidak diperhitungkan karena pada lapisan dengan nilai kohesi yang signifikan, posisi *D-wall* memiliki tanah pada kedua sisinya sehingga terjadi K_p yang simetris dan saling menghilangkan.

Contoh perhitungan untuk sudut geser dan K_a = tekanan lateral aktif (Terzaghi: 1996):

$$\phi'_r = \phi = 0.084 PI^{1.4} - 0.75 PI + 31.9 = 0.084 \times 42^{1.4} - 0.75 \times 42 + 31.9 = 16.1336^\circ \quad (9)$$

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{16.1336^\circ}{2} \right) = 0.565094 \quad (10)$$

Beban lateral akibat tekanan air dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 10. Pembebanan lateral tekanan air (P_w)

Tanggal	Posisi	MAT (m)	H_i (m)	P_w (kN/m)
12 Mei	OW2	-25.15	10.85	108.5
	OW3	-12.65	23.35	233.5
17 Mei	OW2	-24.65	11.35	113.5
	OW3	-15.15	20.85	208.5

Contoh perhitungan pembebanan Rankine untuk tanggal 17 Mei 2017 dapat dilihat pada Tabel 11:

Tabel 11. Pembebanan lateral Rankine 17 Mei 2017

17 MEI	Depth (m)	OW2	Pa (kN/m)	Depth (m)	OW3	Pa (kN/m)
Layer 1	0 - 10.2	-	-	0 - 10.2	1-1	104.7312
Layer 2	10.2 - 17.6	-	-	10.2 - 15.15	1-2	119.2061
					2-2 dry	44.7964
	15.15 - 17.6			1-2	119.2061	
					2-2 dry	44.7964
					2-2 wet	6.4136
Layer 3	17.6 - 22.5	3-3	47.6778	17.6 - 22.5	1-3	121.8466
					2-3	52.3443
					3-3	15.4631
Layer 4	22.5 - 24.65	3-4	39.2386	22.5 - 27.5	1-4	100.2792
		4-4 dry	17.4961		2-4	43.0792
	24.65 - 27.5	3-4	39.2386		3-4	12.7260
		4-4 dry	17.4961		4-4	13.6350
		4-4 wet	7.7720			
Layer 5	27.5 - 36	3-5	36.2773	27.5 - 36	1-5	92.7112
		4-5	23.3611		2-5	39.8280
		5-5	31.8477		3-5	11.7656
					4-5	12.6060
					5-5	31.8477

Beban merata yang berbentuk segitiga ditegaskan dan dimiringkan, sisanya berupa beban merata biasa.

Contoh perhitungan untuk 17 Mei dapat dilihat sebagai berikut:

$$P_{a\ 1-1} = 0.565094 \times 18.17 \times 10.2 = 104.7312 \text{ kN/m} \quad (10)$$

$$P_{a\ 2-2\ wet} = 0.643196 (14.07 - 10) 2.45 = 6.4139 \text{ kN/m} \quad (11)$$

Diagram pembebanan dan posisi MAT untuk kondisi awal dan kondisi akhir dapat dilihat sebagai berikut:

Gambar 11. Diagram pembebanan Rankine dan posisi MAT pada kedua sisi *D-wall*

Hasil perhitungan lendutan dalam program GRASP dapat dilihat sebagai berikut:

Gambar 12. Hasil perhitungan GRASP 12 Mei 2017 (49.964 mm)

Gambar 13. Hasil perhitungan GRASP 17 Mei 2017 (46.767 mm)

Rangkuman perbedaan lendutan di tengah bentang terpanjang *D-wall* akibat perubahan MAT di kedua sisi *D-wall* dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 13. Lendutan di tengah bentang terpanjang *D-wall* akibat perubahan MAT

Tanggal	Lendutan (mm)	Δ MAT (m)
12 Mei	-49.964	12.5
17 Mei	-47.767	9.5

Perubahan beda tinggi MAT sebanyak 3 m di kedua sisi *D-wall* (dari 12.5 m pada 12 Mei menjadi 9.5 m pada 17 Mei) mengakibatkan berkurangnya lendutan pada tengah bentang terpanjang *D-wall* sebesar 2.2 mm. Hal tersebut disebabkan oleh berkurangnya beban lateral air yang bekerja pada *D-wall*.

5. KESIMPULAN

Dari ketiga analisis yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan berikut:

Analisis 1: Koefisien permeabilitas (K)

- Rumus K yang paling akurat adalah rumus Gustafson karena hasil MAT pada model SEEP/W persis sesuai dengan kondisi asli lapangan (-25.1 m).
- Nilai K dari rumus Darcy/Vesilind menghasilkan kondisi MAT pada model SEEP/W yang jauh dari kondisi asli lapangan (-28.2 m).

Analisis 2: Storage coefficient (C_s)

- Nilai C_s pada tanah *silty clay* hasil analisis volume tanah dengan rumus Darcy/Vesilind (8.8%) sedikit lebih tinggi dari nilai C_s pada *Soil Report* (8%) dan dari referensi (7-8%).
- Untuk luasan tanah dan penurunan MAT yang sama, perbedaan C_s sebesar 1% pada volume tanah 871.043 m³ mempengaruhi volume air yang harus dikeluarkan sebesar 8.7104 m³.

Analisis 3: Tegangan lateral Rankine

- Perubahan beda tinggi MAT (3 m) pada kedua sisi *D-wall* mengakibatkan berkurangnya tekanan lateral air sehingga lendutan pada tengah bentang terpanjang *D-wall* berkurang sebesar 2.2 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- Bilskie J. (2001). "Soil Water Status: Content and Potential". Campbell Scientific, Inc.
- Bowles, J.E. (1997). *Foundation Analysis and Design*. 5th ed. Singapore: McGraw-Hill.
- Carter, M., Bentley, S.P. (2016). *Soil Properties and their Correlations*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Demirbas, K., A.B. Altan-Sakarya, and H. Onder. (2012). "Optimal Dewatering of an Excavation Site". *Water Management* Volume 165 Issue WM6 (Juni 2012). ICE Publishing.
- GEO-SLOPE International Ltd. (2012). *Seepage Modeling with SEEP/W*. July 2012 ed., Calgary, Alberta.
- Johnson, A.I. (1967). *Specific Yield - Compilation of Specific Yields for Various Materials*. Washington: United States Government Printing Office.
- Powers, J.P. (1981). *Construction Dewatering: A Guide to Theory and Practice*. New York: John Wiley & Sons.
- Quinion, D.W. and Quinion, G.R. *ICE Works Construction Guides: Control of Groundwater*. London: ICE Publishing, 1987.
- Svensson, A. (2014). "Estimation of Hydraulic Conductivity from Grain Size Analyses". *Disertasi*, Chalmers University of Technology, Sweden.
- Terzaghi, K., R.B. Peck, and G. Mesri. (1996). *Soil mechanics in engineering practice*, 3rd ed. New York: Wiley.
- Vesilind, P.A., R.F. Weiner, and J.J. Peirce. (1994). *Environmental Engineering*. 3rd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann