

PENGARUH MUKA AIR TANAH TERHADAP PEKERJAAN GALIAN BASEMENT SWISS-BELHOTEL PONTIANAK

Sukaryanto ¹⁾, Eka Priadi ²⁾, Aswandi ²⁾

Abstrak

Air adalah salah satu komponen yang tidak terpisahkan dari segala ilmu pengetahuan. Jauh di dalam tanah juga terdapat air, di Bumi hampir sekitar 70 % luasan permukaannya dipenuhi oleh perairan. Air tanah adalah air yang terdapat dalam lapisan tanah atau bebatuan di bawah permukaan bumi. Tinggi muka air tanah setiap wilayah tentu berbeda-beda disesuaikan dengan kondisi di mana daerah tersebut berada. Khusus daerah pesisir pantai dengan tanah lunaknya seperti Pontianak, Kalimantan Barat ketinggian air sangat berpengaruh terhadap pekerjaan konstruksi yang berkaitan dengan galian tanah. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pekerjaan galian yaitu : kestabilan tanah galian dipengaruhi oleh sifat-sifat material dari tanah tersebut, tinggi permukaan air tanah, kedalaman galian, jenis struktur penahan tanah yang digunakan, prosedur dan metode penggalian, metode pengeringan (*dewatering*) yang dipilih. Analisa perhitungan selain dengan perhitungan manual, juga dilakukan dengan program Plaxis dengan membuat berbagai macam jenis permodelan kasus tahapan pekerjaan dan jenis material yang digunakan guna membandingkan hasil analisisnya. Hasil perhitungan menyimpulkan pada pekerjaan galian tanah dengan adanya air tanah menyebabkan deformasi horizontal tanah yang cukup besar, disamping itu penanganan nilai deformasi bisa minimalisir dengan menggunakan turap yang diberi penyangga (*struts*) dan galian bertahap yang *didewatering* secara berkelanjutan.

Kata-kata kunci: galian tanah, muka air tanah, turap, *dewatering*

1. PENDAHULUAN

Masalah pekerjaan galian harus mendapat perhatian khusus terutama bila dilakukan pada daerah padat penduduk sehingga resiko galian menjadi sangat besar. Resiko galian menjadi lebih kritis bila kondisi tanah merupakan tanah lunak dalam kondisi muka air tanah yang tinggi. Galian untuk *basement* dapat dilakukan dengan beberapa metode tergantung kondisi tanah, geometri galian dan terutama kondisi lapangan dalam arti luas area yang tersedia dan bangunan-bangunan yang ada disekitarnya. Daerah Kalimantan Barat

khususnya Pontianak dengan kondisi daerah rawa (lahan basah) dengan muka air tanah yang tinggi tentu menjadi pertimbangan tersendiri dalam melaksanakan kegiatan konstruksi sehingga memerlukan analisa yang tepat mengenai pengaruh muka air tersebut terhadap pekerjaan-pekerjaan konstruksi seperti pekerjaan galian.

Tanah di Pontianak ketebalan tanah lunak relatif cukup dalam dengan ketebalan mencapai lebih kurang 30 meter, serta muka air yang relatif tinggi menyebabkan pekerjaan pondasi dan struktur penahan

1) Alumni Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura

2) Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura

tanah menjadi sulit dan mahal. Pekerjaan *basement* memerlukan galian tanah dengan kedalaman lebih dari 1 meter dan diperlukan struktur penahan tanah. Galian tanah ini dapat menjadi tidak stabil dan akan terjadi kelongsoran dan berpengaruh terhadap bangunan eksisting disekitarnya

Maksud dan tujuan dari penulisan penelitian ini untuk menganalisis pengaruh apa saja yang mempengaruhi pekerjaan galian *basement*, mendesain struktur penahan tanah dan menganalisis bentuk jaringan aliran air tanah, serta untuk mengetahui cara penanganan muka air tanah terhadap pekerjaan galian di lokasi tanah proyek hotel *Swiss-Belhotel* Pontianak

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pekerjaan penggalian tanah hal-hal yang harus diperhitungkan meliputi data-data tanah ; berat isi tanah diatas muka air tanah (γ), berat isi tanah di bawah muka air tanah (γ_{sat}), sudut geser tanah (ϕ), nilai kohesi tanah (c) dan kadar air tanah (w), nilai permeabilitas rembesan tanah dan besaran tegangan efektifnya dll.

Tabel 1 Nilai koefisien permeabilitas dan rembesan tanah pada umumnya

Jenis Tanah	k (cm/det)
Kerikil bersih, Butiran kasar	100 - 1
Pasir kasar, Kerikil halus, butiran kasar bercampur pasir butiran sedang	1 - 0,01
Pasir halus, lanau longgar	0,01 - 0,001
Lanau padat, lanau berlempung	0,001 - 0,00001
Lempung, lempung berlanau	< 0,000001

2.1 Seepage dan Flownet

Aliran air yang melewati suatu tanah bergerak dari tempat yang tinggi ke tempat

yang lebih rendah. Rembesan air dalam (*seepage*) tanah bergerak melawati celah-celah pori butiran tanah. Aliran air tanah umumnya dibuat dengan menggunakan grafik-grafik yang dinamakan jaringan aliran (*flow net*).

2.2 Tegangan Efektif

Tegangan efektif merupakan gaya per satuan luas yang dipikul oleh butir-butir tanah, perubahan volume dan kekuatan tanah tergantung pada tegangan efektif di dalam massa tanah. Makin tinggi tegangan efektif suatu tanah, makin padat tanah tersebut.

2.3 Struktur Penahan Tanah

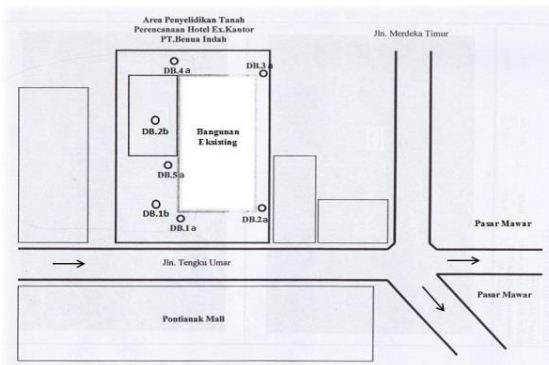
Tanah yang tidak stabil akibat adanya perbedaan elevasi tanah di depan dan belakang struktur penahan tanah maka diperlukan analisis desain struktur turap yang kuat dan aman yang disesuaikan dengan kondisi tanah tersebut. Besar dan penyebaran gerakan-gerakan tanah tergantung pada tipe tanah, dimensi galian, rincian prosedur pembangunan dan standar pekerjaanya.

2.4 Metode Pengeringan (*Dewatering*)

Pekerjaan galian untuk *basement*, sering kali terganggu oleh adanya air. Oleh karena itu sebelum galian tanah untuk *basement* dimulai sudah harus dipersiapkan pekerjaan pengeringan (*dewatering*) agar air tanah yang ada tidak mengganggu proses pelaksanaan pekerjaan penggalian *basement*.

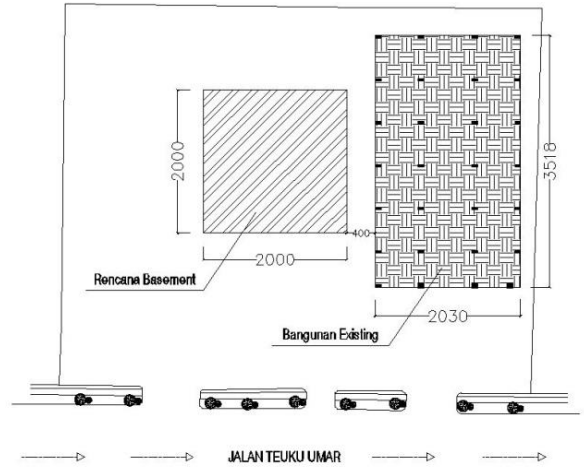
3. METODE PENELITIAN

Lokasi kegiatan penelitian berada di Jalan Teuku Umar, Pontianak dekat bangunan eksisting 11 lantai. Data tanah yang didapat dari hasil penyelidikan oleh tim lab mekanika tanah Universitas Tanjungpura, Pontianak dimana meninjau 5 (lima) titik pekerjaan bor dalam (*Deep Boring*) masing-masing : DB.1a, DB.2a, DB.3a, DB.4a dan DB.5a dan tim lab mekanika tanah Tarumanegara Bumiayasa, Jakarta dimana meninjau 2 (dua) titik bor dalam (*Deep Boring*) masing-masing : DB.1b dan DB.2b seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1



Gambar 1 Denah area penyelidikan tanah

Penggalian *basement* dapat dilakukan dengan galian sedalam -3,30 m yang diproteksi dinding penahan tanah yang relatif kedap air dan kaku dengan sistem penunjang tertentu untuk mengamankan galian tanah.



Gambar 2 Denah rencana penggalian *basement*

Tahapan metode penelitian meliputi :

- 1) Pengumpulan data sekunder berupa data tanah, dan data primer berupa data bangunan eksisting.
- 2) Analisa data dengan perhitungan manual untuk didapatkan nilai kedalaman pemancangan turap.
- 3) Analisa data dengan program *software* Geoteknik dengan dibuatkan berbagai jenis permodelan antara lain : permodelan galian langsung tanpa muka air tanah, galian langsung dengan m.a.t, galian bertahap dengan turap yang di *dewatering kan*, serta galian bertahap dengan turap, penopang yang di *dewatering kan*.
- 4) Analisa hasil dari masing-masing permodelan.
- 5) Kesimpulan dan saran.

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data Tanah

Hasil rekapitulasi nilai N-SPT yang digambarkan pada setiap kedalaman tanah berupa data borlog sebagai berikut.

Tabel 2 Tabel Bor Log setiap titik bor

Nilai SPT (N)		Kedalaman (m) pada Titik Bor ke-						
		DB.1a	DB.2a	DB.3a	DB.4a	DB.5a	DB.1b	DB.2b
0 - 2	<i>Very soft</i>	6,00	8,00	10,00	12,00	10,00	8,00	10,00
2 - 5	<i>Soft</i>	16,00	12,00	18,00	18,00	12,00	14,00	16,00
5 - 10	<i>Medium stiff</i>	18,00	20,00	20,00	21,00	18,00	16,00	22,00
10 - 20	<i>Stiff</i>	20,00	23,00	21,00	22,00	21,00	26,00	26,00
20 - 30	<i>Very stiff</i>	22,00	24,00	28,00	24,00	22,00	37,00	37,00
> 30	<i>Hard</i>	35,00	34,00	32,00	32,00	30,00	38,00	38,00

Dari hasil data tanah dan hasil analisa didapatkan kumpulan data yang diperlukan dalam analisis dengan program Geoteknik seperti Plaxis adalah sebagai berikut.

Tabel 3 Sifat-sifat material untuk *input* kumpulan data material tanah dan antarmuka

No.	Parameter	Nama	Lapisan ke-				Satuan
			1	2	3	4	
1.	Kedalaman		0,00 - 5,00	5,00 - 9,00	9,00 - 11,00	11,00 - 17,00	m
2.	Model material	<i>Model</i>	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	-
3.	Jenis perilaku material	<i>Jenis</i>	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	-
4.	Berat isi tanah di atas m.a.t	γ_{unsat}	15,269	14,329	15,593	14,309	kN/m ³
5.	Berat isi tanah di bawah m.a.t	γ_{sat}	15,269	16,301	15,593	17,656	kN/m ³
6.	Permeabilitas arah horizontal	k_x	0,060	0,500	0,600	0,400	m/hari
7.	Permeabilitas arah vertikal	k_y	0,060	0,500	0,600	0,400	m/hari
8.	Modulus Young	E_{ref}	824,040	1206,630	637,650	1597,629	kN/m ²
9.	Angka Poisson	ν	0,200	0,300	0,400	0,400	-
10.	Kohesi	c_{ref}	9,908	11,314	7,995	17,331	kN/m ²
11.	Sudut geser	ϕ	6,897	5,313	4,914	14,140	°

4.2 Analisa Data Bangunan Eksisting

Bangunan eksisting ini direncanakan dan telah dibangun untuk perkantoran dengan jumlah lantai 11 (sebelas) lantai.



Gambar 3 Kondisi bangunan eksisting

Dead load:

Lantai ke-1	=	933,723 Ton
Lantai ke-2	=	390,715 Ton
Lantai ke-3	=	390,715 Ton
Lantai ke-4	=	381,307 Ton
Lantai ke-5	=	381,307 Ton
Lantai ke-6	=	381,307 Ton
Lantai ke-7	=	381,307 Ton
Lantai ke-8	=	381,307 Ton
Lantai ke-9	=	399,535 Ton
Lantai ke-10	=	399,535 Ton
Lantai ke-11	=	381,307 Ton
<u>Lantai atap</u>	=	<u>111,594 Ton +</u>
Total beban mati		4913,658 Ton

Dengan luas bidang pondasi bangunan eksisting = $1074,519 \text{ m}^2$

Tekanan pada tanah =

= Total beban mati / Luas bidang bangunan

$$= \frac{4913,658 \text{ Ton}}{1074,519 \text{ m}^2}$$

$$= 4,573 \text{ Ton/m}^2$$

$$= 44,861 \text{ kN/m}^2$$

Jadi dari hasil perhitungan didapatkan hasil tekanan beban mati bangunan eksisting adalah sebesar = $4,573 \text{ ton/m}^2$ atau $44,861 \text{ kN/m}^2$.

4.3 Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Berdasarkan Data SPT

Kapasitas daya dukung dari data *deep boring*, dapat ditentukan menggunakan persamaan Metode Meyerhof (1956), sebagai berikut :

$$q_{ult} = 40 N_b . A_p + 0,2 N_s . A_s$$

Jadi kesimpulan daya dukung izin dari tiang *spun pile* diameter 45 cm dimana rencana kedalaman sampai 40 m dengan menggunakan metode Meyerhof didapat nilai rata-ratanya $Q_{all} = 172,078 \text{ ton}$

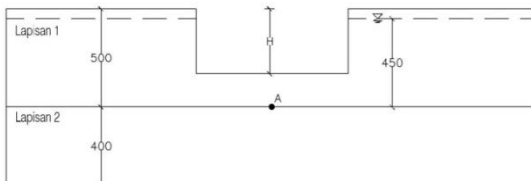
4.4 Perhitungan Turap (*Sheet Pile*)

Analisis perhitungan digunakan metode perhitungan turap *cantilever* dengan tanah pasir dan perhitungan turap *cantilever* dengan tanah lempung.

Hasil perhitungan didapatkan untuk perhitungan turap *cantilever* pada tanah pasir didapat kedalaman pemancangan turap $D_{aktual} = 87,471$ m sedangkan hasil perhitungan turap pada tanah lempung nilai $D_{aktual} = 36,148$ m. Hasil kesimpulan awal bahwa bila disinkronisasikan dengan data tanah pada kedalaman pemancangan yang didapat adalah tidak mungkin untuk direalisasikan karena pertimbangan pelaksanaan di lapangan yang akan mengalami kendala.

4.5 Perhitungan Heave dan Keruntuhan Hidrolik

Heave adalah peristiwa penggelembungan tanah dimana tekanan air hidrostatik pada tanah di bawah dasar galian naik sehingga memberikan tekanan yang cukup besar pada dasar galian.



Gambar 4 Lapisan tanah 1 dan lapisan tanah 2 dengan galian H

Pada tanah lapisan 1 diketahui $\gamma = 1,557$ ton/m³ dengan tebal lapisan ini = 5 m dan muka air tanah berada -0,5 m. Pada tanah lapisan 2 diketahui $\gamma = 1,461$ ton/m³ dengan tebal lapisannya = 4 m. Kedalaman galian adalah H pada titik dimana dasar galian akan mengalami penggelembungan (*heave*), maka keseimbangan dari titik A :

$$\sigma_A = (5 - H) \gamma \text{ (lapisan tanah 1)}$$

$$u_A = 4,5 \gamma_w$$

Jika terjadi penggelembungan, maka $\sigma'_A = 0$

$$\begin{aligned} \sigma_A - u_A &= 0 \\ (5 - H) \gamma \text{ (lapisan tanah 1)} - 4,5 \gamma_w &= 0 \\ (5 - H) 1,557 - 4,5 \times 1 &= 0 \\ 1,557 H &= 3,285 \\ H &= 2,109 \text{ m} \end{aligned}$$

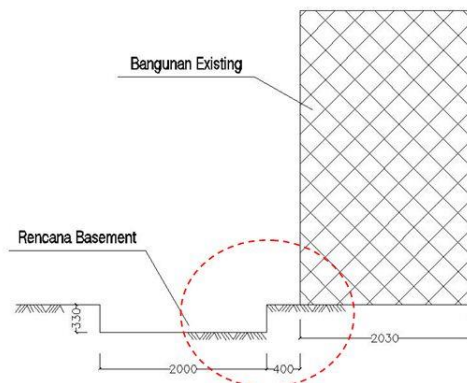
Jadi dari hasil perhitungan di atas didapat bahwa tanah akan mengalami penggelembungan (*heave*) bila kedalaman galian $\geq 2,109$ m.

4.6 Permodelan dengan Program Plaxis v8.6

Permodelan ini akan dibahas detail model cara kerja jenis dan tahap-tahap pekerjaan galian. Permodelan ini akan dibagi menjadi 4 (empat) yaitu :

- Permodelan 1 : Penggalian langsung - 3,30 m tanpa turap dan muka air tanah jauh di bawah dasar galian atau galian kering.
- Permodelan 2 : Penggalian langsung - 3,30 m tanpa turap dengan muka air tanah +0,50m yang di *dewatering* kan.
- Permodelan 3a & 3b : Penggalian bertahap dengan 2 (dua) tahap galian dari -1,50 m lalu -3,30 m dengan turap *corrugated* ada 2 tipe : W-350-A-1000 dan W-500-A-1000 kedalaman 12,00 m dan muka air tanah di *dewatering* kan per lapis galian.

- d) Permodelan 4a & 4b : Penggalian bertahap dengan 2 (dua) tahap galian dari -1,5 m lalu -3,30 m dengan turap *corrugated* W-350-A-1000 kedalaman 12,00 m ditambah penopang *strut* baja WF ada 2 tipe : Baja WF 300.300.10.15 dan Baja WF 400.400.13.21 pada setiap tahapan galian dan dianalisis terhadap pengaruh muka air tanah pada proses *dewatering* bertahap sesuai tahapan galian.



Gambar 5 Tampak potongan area galian

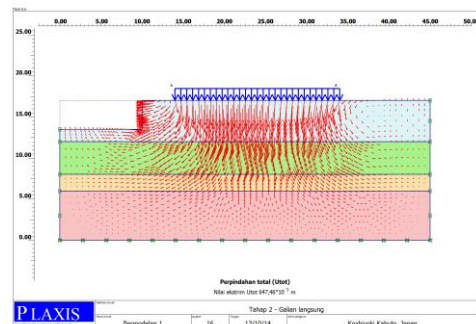
Di dalam program Plaxis satuan-satuan yang penulis pakai antara lain :

- 1) Satuan panjang digunakan meter (*m*)
- 2) Satuan gaya digunakan kilonewton (*kN*)
- 3) Satuan waktu digunakan hari

4.7 Hasil Analisa Permodelan

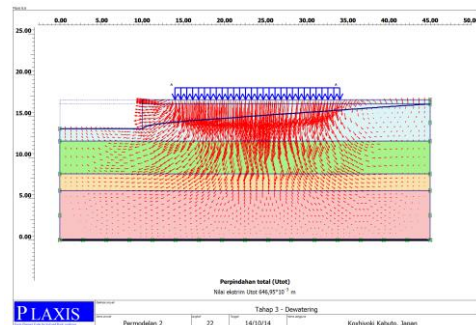
Hasil permodelan-permodelan dengan program Plaxis :

- a) Permodelan 1 : Penggalian langsung - 3,30 m tanpa tuap dan tanpa pengaruh muka air tanah atau galian kering.



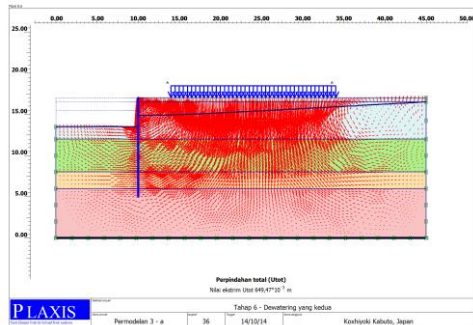
Gambar 6 Arah pergerakan dan perpindahan total pada permodelan 1

- b) Permodelan 2 : Penggalian langsung - 3,30 m tanpa turap dengan muka air tanah yang di *dewatering* kan.

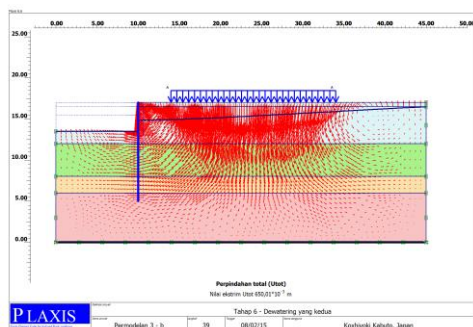


Gambar 7 Arah pergerakan dan perpindahan total pada permodelan 2

- c) Permodelan 3a & 3b : Penggalian bertahap dengan 2 (dua) tahap galian dari -1,50 m lalu -3,30 m dengan turap *corrugated* ada 2 tipe : W-350-A-1000 dan W-500-A-1000 kedalaman 12,00 m dan muka air tanah di *dewatering* kan per lapis galian.

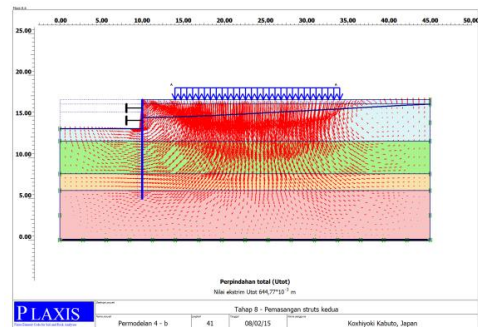


Gambar 8 Arah pergerakan dan perpindahan total pada permodelan 3a

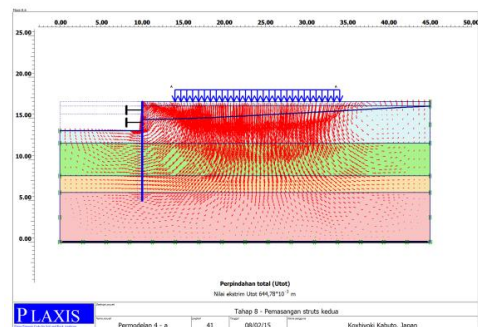


Gambar 9 Arah pergerakan dan perpindahan total pada permodelan 3b

- d) Permodelan 4a & 4b : Penggalian bertahap dengan 2 (dua) tahap galian dari -1,5 m lalu -3,30 m dengan turap *corrugated* W-350-A-1000 kedalaman 12,00 m ditambah penopang *strut* baja WF ada 2 tipe : Baja WF 300.300.10.15 dan Baja WF 400.400.13.21 pada setiap tahapan galian dan dianalisis terhadap pengaruh muka air tanah pada proses *dewatering* bertahap sesuai tahapan galian.



Gambar 10 Arah pergerakan dan perpindahan total pada permodelan 4a



Gambar 11 Arah pergerakan dan perpindahan total pada permodelan 4b

Dari hasil-hasil permodelan-permodelan program Plaxis ini bisa disimpulkan kembali pada Tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4 Hasil rekapitulasi nilai-nilai dari analisis permodelan Plaxis

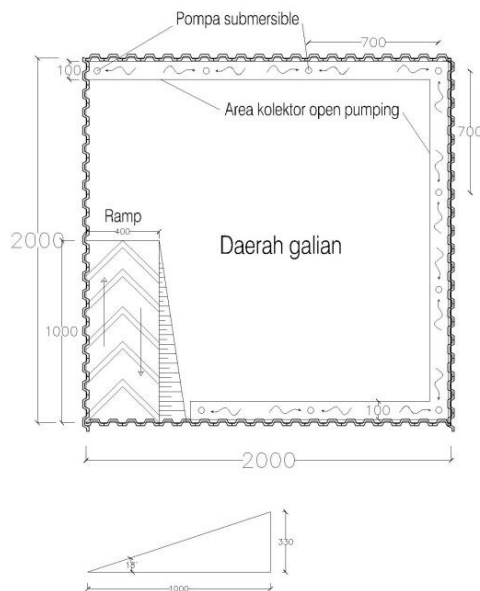
No.	Hasil Nilai	Permodelan Plaxis						Satuan
		1	2	3		4		
				3.a.	3.b.	4.a.	4.b.	
Gali gus kering	Gali gus + Muka air tanah + <i>Dewatering</i>	Gali tahap + M.a.t. + Turap 35 + <i>Dewatering</i>	Gali tahap + M.a.t. + Turap 50 + <i>Dewatering</i>	Gali tahap + M.a.t. + Turap 35 + <i>Struts</i> 30 + <i>Dewatering</i>	Gali tahap + M.a.t. + Turap 35 + <i>Struts</i> 40 + <i>Dewatering</i>			
1.	Perpindahan tanah secara vertikal	64,725	64,670	64,930	64,975	64,466	64,465	cm
2.	Perpindahan tanah secara horizontal	14,386	20,276	13,886	13,825	13,718	13,718	cm
3.	Tegangan efektif	-	51,150	49,080	48,520	48,330	48,330	kN/m ²
4.	Momen lentur	-	-	26,100	29,470	5,210	5,170	kNm
5.	Gaya geser	-	-	12,610	13,240	6,400	6,420	kN
6.	Perpindahan turap secara horizontal	-	-	10,558	10,663	9,870	9,872	cm

5. KESIMPULAN

Hasil dari analisa-analisa data pada bahasan skripsi ini akan dijelaskan kembali dari setiap poin penting yang bisa diambil diantaranya :

- a) Dalam analisa data tanah di lokasi proyek Swiss-Belhotel diketahui bahwa lapisan tanah sangat kaku terletak pada kedalaman > 35 m dengan nilai N-SPT >> 30 pada lapisan jenis tanah pasir sangat padat, dan elevasi muka air tanah berada pada -0,50 m dari permukaan tanah setempat.
- b) Tanah di Pontianak disimpulkan termasuk dalam kawasan distribusi lahan gambut dengan kedalaman > 2 m.
- c) Daya dukung izin dari tiang *spun pile* diameter 45 cm dimana rencana kedalaman sampai 40 m @10 m per tiang dengan menggunakan metode Meyerhof didapat rata-rata 172,078 ton.
- d) Pada perhitungan *heave* peristiwa penggelembungan tanah dimana tekanan air hidrostatik pada tanah dibawah dasar galian naik terjadi pada galian dengan kedalaman > 2,109 m.
- e) Untuk mencegah gaya *uplift* terhadap rencana bangunan, maka saat bobot bangunan masih lebih kecil daripada gaya *uplift* dari tekanan air, *dewatering* harus tetap dijalankan hingga bobot mati dari bangunan melebihi gaya *uplift* tersebut.
- f) Pengaruh daripada ada tidaknya muka air tanah pada pekerjaan galian cukup mempengaruhi besaran deformasi horizontal tanah, seperti pada hasil analisis Plaxis pada permodelan 1 (Galian langsung 3,30m dengan muka air tanah jauh di bawah dasar galian atau galian kering) deformasi horizontal yang didapat 14,386 cm dan pada permodelan 2 (Galian langsung 3,30m dengan muka air tanah +0,50m dan galian di *dewatering* kan) deformasi horizontalnya 20,276 cm. Sehingga muka air tanah pada pekerjaan galian sangat mempengaruhi besaran nilai deformasi yang terjadi.
- g) Dari berbagai permodelan analisa program Plaxis v8.6 didapat bahwa pada permodelan 4 lah yang terbaik karena pergerakan dari pada turap *corrugated precast concrete* K-600 tipe W-350-A-1000 secara horizontal dengan ada penahan dinding turap dan penopang (*struts*) baja WF 300.300.10.15 cukup mengurangi pergerakan dan nilai gaya geser daripada dinding turap sehingga cukup aman.
- h) Metode *dewatering* atau pekerjaan pengeringan agar air tanah tidak mengganggu proses pekerjaan galian. Metode yang umum sering

digunakan adalah *open pumping* dimana metode ini air dikumpulkan pada kolektor yang tentu saja posisi peletakkannya mengikuti elevasi galian dengan kedalaman ± 50 cm. Fungsi kolektor sendiri untuk mengumpulkan dan membuang air keluar galian. Berikut gambaran rencana *dewatering*nya.



Gambar 12 Gambar rencana area *dewatering* dan ramp sirkulasi.

Daftar Pustaka

Andini, Firda. 2009. *Desain Galian Dalam dan Basement Pondasi Hotel Kini Pontianak*. Pontianak: Universitas Tanjungpura.

Bowless, J.E. 1988. *Analisis dan Desain Pondasi*. (Jilid 2, Edisi ke-4). Jakarta: Erlangga.

Bowless, J.E., Hainim, J.K. 1993. *Sifat-Sifat dan Geoteknis Tanah*. (Edisi ke-2, cetakan ke-4). Jakarta: Erlangga.

Brinkgreve, R.B.J. 2007. *Plaxis versi 8.6. Model Acuan dan Latihan*. Belanda: Delft Universitas Teknologi & Plaxis b.v.

Craig, R.F., Soepanji, Budi, S. 1987. *Mekanika Tanah (Edisi ke-4)*. Jakarta: Erlangga.

Dyatama, Lingga. 2008. *Simulasi Plaxis Low Strain Integrity Testing*. Jakarta: Universitas Indonesia.

Hardiyatmo, H.C. 1992. *Mekanika Tanah 1*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

Hardiyatmo, H.C. 2011. *Analisis dan Perancangan Fondasi II*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

Hutapea, Bigman. *Seepage and Consolidation*. Tesis Master.

Kempfert, Hans-Georg., Gebreselassie, Berhane. 2006. *Excavations and Foundations in Soft Soils*. Jerman: Springer.

M. Das, Braja., Endah, N., Mochtar, I.B. 1988. *Mekanika Tanah (Jilid 1)*. Jakarta: Erlangga.

Nakazawa, Kazuto. 1981. *Mekanika Tanah & Teknik Pondasi*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Soenantyo, R.M. Rustamaji. 2013. *Tanah Gambut*. Pontianak: Universitas Tanjungpura.