

PERENCANAAN PENAHAN TANAH 15 M DENGAN DINDING KANTILEVER DI PERIMETER SWICHYARD SKYLAND JAYAPURA

oleh :

Moch. Aswanto

Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta

Email : aswanto@reyleigh.com

Abstrak : Makalah ini menyajikan perencanaan Dinding Penahan Tanah (DPT) Kantilever Beton Bertulang, dengan aplikasi *Geo5*. Penggunaan perangkat lunak analitik geoteknik, diharapkan meningkatkan efisiensi *man-hour* insinyur dalam tahap perencanaan maupun revisi desain saat pelaksanaan fisik. Topiknya adalah desain DPT untuk ketinggian urugan tanah lebih dari 16m, sepanjang lebih dari 100m, yang mana kriteria struktur DPT harus relatif ringan (terkait daya dukung tanah) dan memanfaatkan bobot massa tanah yang menumpu di kaki (*base*) DPT untuk mengimbangi gaya lateral yang timbul. Proporsional bentuk DPT mengikuti *guidance* dari RSNi Geoteknik. Tinggi dinding (*stem*) $h=10\text{m}$, tebal $w=1.1\text{m}\sim 0.7\text{m}$. Kaki (*Base slab*) tebal= 1m dan lebar=7.7m. Panjang keseluruhan DPT $L=100\text{m}$. Penyelidikan tanah, disamping parameter tanah seperti c_u , unit weight, ϕ dan klasifikasi tanah, informasi penting adalah kontur kedalaman lapisan utama yaitu lapisan tanah lempung dan irisannya dengan lapisan tanah berbatu. Hal ini untuk merencanakan tambahan pemancangan untuk menyalurkan beban gravitasi maupun lateral. Struktur DPT, dikontrol dengan Angka Keamanan terhadap *overturning*, *slip*, *bearing-capacity*, kecukupan penulangan. Kemudian analisa dan kontrol Angka Keamanan *slope stability* global terhadap beban gravitasi maupun kegempaan. Untuk mengalirkan air limpasan yang meresap dibelakang dinding, DPT dilengkapi dengan urugan pasir dibelakang dinding sebagai bagian sistim drainase. Dibawah urugan pasir dipasang pipa yang mengalirkan air rembesan keluar area DPT, sehingga dapat dihindari kejenuhan tanah dibelakang dinding penahan tanah.

Kata kunci : dinding penahan tanah kantilever, angka keamanan, kegempaan

Abstract : Detail design Cantilever Retaining Wall Reinforced Concrete (DPT) , with consideration of the criteria for soil height of more than 15m and 100m length, so that a relatively light structure (related to the carrying capacity of the soil) is needed and can utilize the weight of the ground mass that rests on the base to compensate for the lateral force of the soil. The proportional form of DPT follows guidance from RSNi Geoteknik. In addition to soil parameters such as c_u , unit weight, f and soil classification, important information is the depth contour of the clay soil layer and rocky soil layer, considering that DPT requires piles to resist both gravity and lateral loads. Detailed engineering of DPT utilizes Geo-5 software. The software helps accelerate the analyze of the best selection of dimensional DPT, by controlling the Safety Factor (SF) against over turning, slip, bearing-capacity, and adequacy of reinforcement. Then analysis and control of global slope stability against of gravity and seismicity.

Keywords : Cantilever Retaining Wall Reinforced Concrete, Safety Factor, Slope stability

Pendahuluan

Dalam pembangunan *Swichyard* di area perbukitan, seringkali terkendala dengan

kontur lahan yang tidak rata. Untuk menempatkan berbagai peralatan seperti berbagai transformator, *Neutral Grounding Resistance*, *circuit braker*,

disconnecting switch, lightning arrester, current transformer, dll perlu desain kontur lahan yang dengan sesuaian kebutuhan spesifikasi teknisnya.

Untuk itu pekerjaan sipil *cut & fill* menjadi penting untuk mempersiapkan lahan agar berkesesuaian dengan peralatan tersebut. Untuk memperkuat perbedaan kontur, konstruksi penahan tanah *retaining-wall* (DPT) menjadi penting.

Dalam hal ini struktur DPT dibangun dengan spesifikasi sebagai sub-sistem pembangkitan energi dan fasilitas publik dengan kategori resiko IV.

Paper ini menyajikan ringkasan runutan perencanaan dan pelaksanaan DPT, dengan struktur kantilever beton bertulang.

Project Discription

DPT didesain untuk menahan tinggi tanah 16m dibelakangnya, dengan struktur dinding DPTnya sendiri setinggi 10m. Struktur duduk diatas kelompok tiang-pancang beton, dimana tiang-pancang berfungsi sebagai penahan friksi lateral dan beban gravitasi dikaki DPT.

Pemanfaatan tekanan tanah aktif didapat dari urugan didepan DPT setinggi 2m diukur dari sisi-bawah pondasi.

Tanah disisi dibelakang DPT secara umum adalah lempung kepasiran dengan $c_u=18$ kpa, $\gamma = 16.5$ kN/m³, SPT sekitar 12-20.

Tanah tepat dibawah pondasi secara umum masih lempung kepasiran setebal 1-3m, dan gradasi 1-2m kebawah ditemui lapisan pasir kasar dan fragmen batuan, SPT > 40.

Beton yang digunakan K225 dan pembesian BJTD 40. Tiang pancang 20x20 panjang tertanam antara 2-6m.

Problem & Risk

Konstruksi DPT dibangun cukup panjang, lebih dari 100m. Sehingga ditemui strata tanah dibawah DPT relatif bervariasi terutama ketebalan tanah lempung kepasiran dimana dilapisan ini tiang pancang ditanam agar menyumbangkan tahanan lateral. Variasi dari ketebalan lempung antara 5m-1,5m. Layer dibawah lempung langsung bertemu dengan fragmen bebatuan yang sulit dapat ditembus tiang-pancang.

Dalam pelaksanaan dilapangan, diantisipasi dengan *test-pile* random disepanjang 100m rencana trase DPT, untuk mendapatkan data kontur lapisan fragmen-batu.

Langkah korektifnya adalah menaikkan elevasi dasar pondasi DPT, elevasi dinaikan +1m agar dapat dipastikan panjang tiang-pancang dapat maksimal terpancang.

Resiko bila kelompok tiang-pancang tidak tertanam mencukupi, maka tidak optimal mengembangkan tahanan lateralnya, dan DPT dapat bergeser.

Design Approach

Kriteria perencanaan DPT seperti pada umumnya adalah kecukupan terhadap,

Pembebanan normal :

Guling dengan SF >1.5

Slip dengan SF >1.5

Slope Stability dengan SF >1.5

Pembebanan gempa :

Guling dengan SF >1

Slip dengan SF >1

Slope Stability dengan SF >1

Perencanaan struktur beton dan detailing pembesian mengacu pada SNI 2847-2013 dan kegempaan SNI 1726-2012.

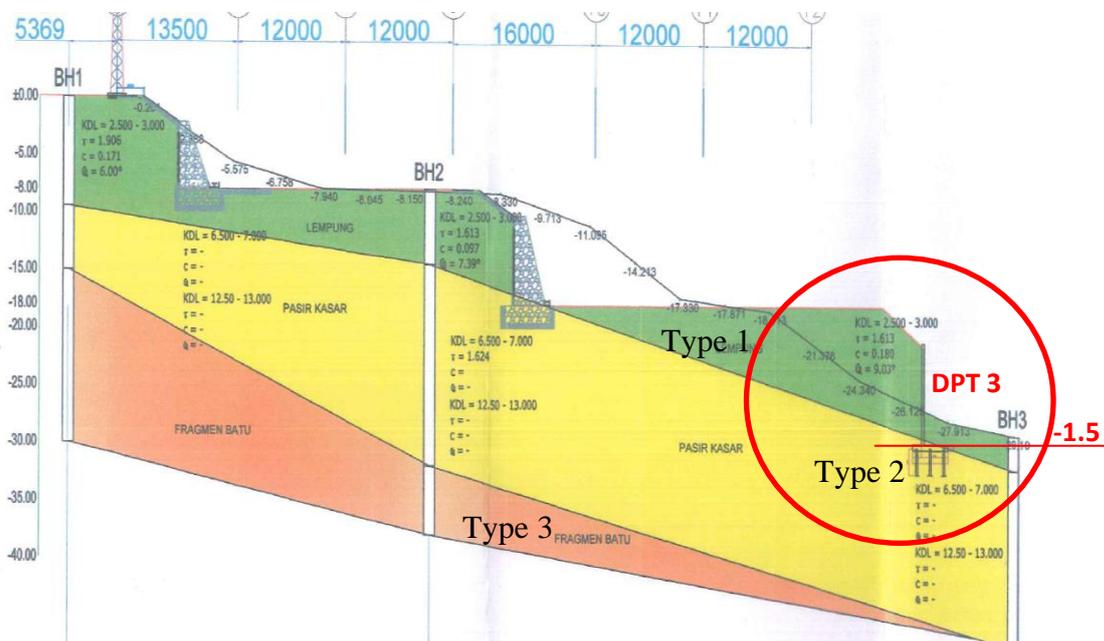
Analisa kegempaan dengan metode *Mononobe-Akabe*.

Perhitungan tekanan tanah pasif dengan metode *Coulomb* dan tekanan aktif dengan *Caquot-Kerisel*. Tekanan aktif yang dihitung 1/3 dari kapasitas aktifnya. Kapasitas lateral tiang diestimasi dengan p-y properti tanah lapisan lempung model *stiff-clay above watertable* (Reese & Welch 1975) setebal 3m. Lapis dibawah lempung dimodelkan sebagai *sand* (Reese et al 1974). Analisa *slope stability global* dengan metode *Bishop*.

Metodologi

Menentukan propertis mekanik tanah layer per layer yang berpengaruh terhadap analisa kestabilan DPT. Data tanah yang tersedia dari CPT, SPT dan tes laboratorium. Karena titik-titik test relatif jauh dari lokasi DPT, maka verifikasi adalah dengan mempelajari kondisi tanah sesungguhnya di area yang sudah di-cut dan terbangun, sehingga bisa didapatkan gambaran potongan layering dari keseragaman profil tanah. Analisa dengan kriteria diatas diinput ke perangkat lunak *Geo5 Retaining Wall*

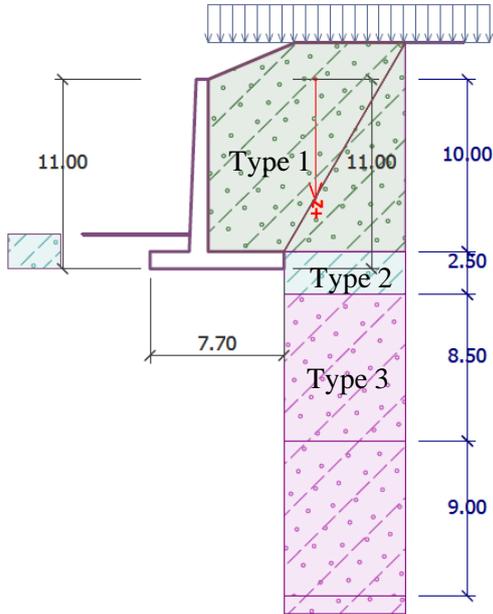
untuk mendapatkan gaya-gaya yang bekerja pada DPT. Verifikasi terhadap *slope-stability* dengan perangkat lunak *Geo5 Slope Stability*. Estimasi daya dukung tanah dibawah DPT dihitung manual dengan metode Terzaghi dengan modifikasi *bearing capacity factor* oleh Brinch Hansen dan Mayerhof dan modifikasi faktor bentuk sesuai Terzaghi & Peck. Estimasi kapasitas lateral tiang dihitung menggunakan perangkat lunak *Lpile*. Estimasi kapasitas daya dukung vertikal dihitung manual dari data CPT dan SPT (Manual Pondasi Tiang, Universitas Parahiyangan). Besaran beban horizontal yang timbul ditahan oleh friksi tanah dan pondasi, tahanan aktif dan tiang-pancang, kesesuaiannya dihitung manual dari hasil analisa *Geo5* dan hasil analisa *Lpile*. Beban yang tidak dapat ditahan oleh sistim DPT, dilimpahkan ke tiang-pancang. Besaran beban vertikal, seluruhnya ditahan oleh lapisan tanah dibawah pondasi dengan tegangan ijin 200 kpa.



Gambar 1. Lapisan Tanah DPT 3

Geotechnical Model

Tiga layer dominan dibawah lokasi *swichyard* dapat digambarkan dalam gambar 1. Input model layer-layer tanah pada perangkat lunak tersaji dalam gambar 2.



Gambar 2. Model Dan Ketebalan Layer Tanah

List dari masing-masing properties tiap layer disajikan di tabel 1. Untuk nilai dengan tanda * adalah nilai yang ditentukan berdasarkan literatur dan pendekatan evaluasi lapangan dari pekerjaan lapisan tanah yang sudah di-cut.

Tabel 1. Properti Tanah

No	Parameter	Type 1			Type 2			Type 3		
		Nama	Nilai	Satuan	Nama	Nilai	Satuan	Nama	Nilai	Satuan
1	CPT/Sondir	qc		kg/cm2	qc		kg/cm2	qc	-	kg/cm2
2	SPT	N	20		N	46		N	48	
3	Poison Ratio	v	0.25*		v	0.25*		v		
4	Compressibility Index	cc	0,187		cc			cc		
		cv	3.6E-02		cv			cv		
5	Unit Weight	γ_t	16,5	kN/m3	γ_t	18,0	kN/m3	γ_t	20,0	kN/m3
6	Cohesion undrained	cu (UU)	18,00	kpa	c	16*	kpa	c		kpa
7	Sudut Geser Dalam	f (UU)	9	°	ϕ	40*	°	ϕ	35*	°
8	Plastic Limit	PL	18,86	%	PI		%	PI		%
	Liquid Limit	LL	30,22	%	LL		%	LL		%
	Plasticity Index	PI	11,36	%	PI		%	PI		%
9	Grain Size									
	Kerikil		0	%		0	%		23,33	%
	Pasir		38,91	%		45,05	%		48,04	%
	Silt		54,82	%		54,11	%		28,63	%
	Lempung		6,27	%		0,83	%		0	%
10	Adhesion structure-soil		24*	kpa		19*	kpa			kpa
11	Soil pressure at rest		cohesive			cohesive			cohesionless	
12	Stress-state		total			effective			effective	
13	Angle of friction structure-soil			°			°		19	°
14	Diskripsi	SM, Silt Lempung pasiran, coklat abu-abu, agak padat, agak lekat, agak liat.			MS, Sandy Silt, padat sampai sangat padat			SP, Pasir kasar abu-abu, lepas sampai padat, ada fragmen batuan.		

Nilai *poison ratio* didekati dengan tabel Bowles (1968) untuk tanah lempung berpasir 0.2-0.3. Lekatan antara permukaan struktur beton dan tanah diambil dari nilai kategori *medium-stiff cohesive soil* dalam range 12-24-36 kpa. *Angle of friction structure-soil* antara tanah dan permukaan struktur beton didekati dengan tabel NAVFAC, antara *mass-concrete vs silty clay* diambil 19° .

Dimensioning DPT Beton

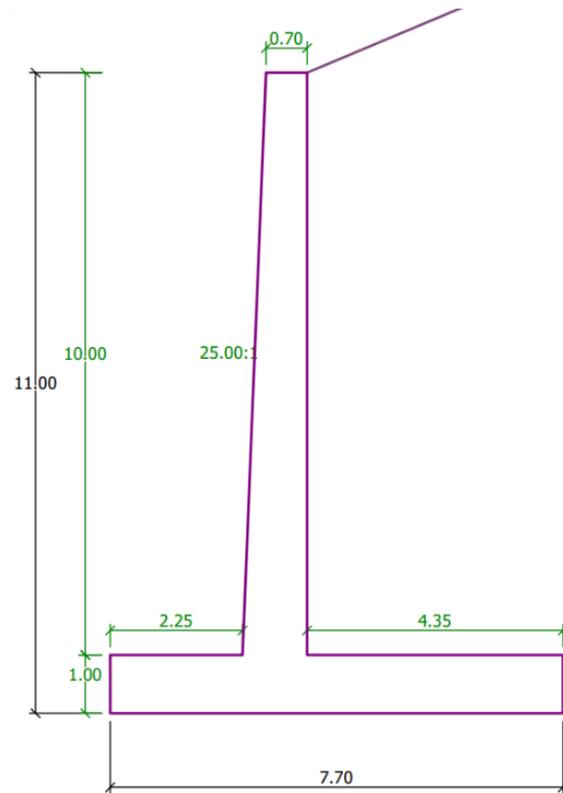
Sebagai *guidance* mengikuti RSNi Geoteknik, dimensi DPT menjadi seperti dalam Gambar 3. Kemudian dilanjutkan dengan mengaplikasikan beban dan menverifikasi SF, apakah sudah sesuai dengan kriteria yang sudah ditetapkan.

Pembebanan

Beban yang bekerja diluar beban pasif tanah adalah beban tanah timbunan diatas DPT yaitu sebesar 10kN/m yang sifatnya permanen.

Beban gempa didekati dengan kondisi-kondisi sebagai berikut :

Tanah Sedang/SD
 $S_s=1.5g, S_1=0.6g$



Gambar 3. Dimensional DPT

Keutamaan = 1.5

PGA sesuai situs = 0.7g

Metode analisa *Mononobe-Akabe*

K-horizontal =0.107

K-vertikal tidak ditinjau.

Tinggi kerja beban $kH=0.66$

Analisis

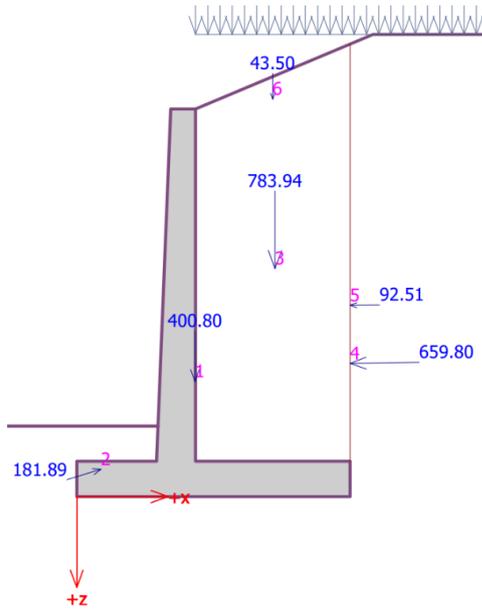
Desain DPT dengan volume beton yang relatif banyak, mencapai 1800m³, dan tulangan 210 ton, maka efisiensi dari desain menjadi ini prioritas.

Desainer harus dapat menghubungkan antara elemen struktur, pembebanan dan iteraksi keduanya dengan tanah sedetail mungkin, untuk mendapatkan SF yang optimum.

Dengan kompleksitas tersebut diatas, penggunaan perangkat lunak yang khusus diprogramasi untuk desain Dinding Penahan Tanah dan analisa *Slope-stability*-nya menjadi keniskayaan.

Hasil analisa sebagai berikut :

Gaya Yang Bekerja Di DPT



Gambar 4. Gaya beban permanen (kN)

Dari gambar 5 dapat diketahui konfigurasi, besaran dan arah dari gaya-gaya yang bekerja pada struktur DPT.

Sehingga verifikasi overturning-stability sebagai berikut :

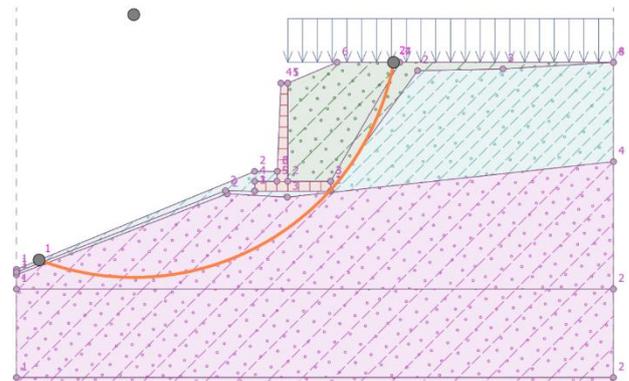
- Momen resisting = 5994 kNm/m
- Momen overturning = 2860 kN/m
- SF = 2.1 > 1.5 ok

Verifikasi Slip

- Tahanan horizontal = 1077 kN/m
- Gaya aktif horizontal = 578 kN/m
- SF = 1.86 > 1.5

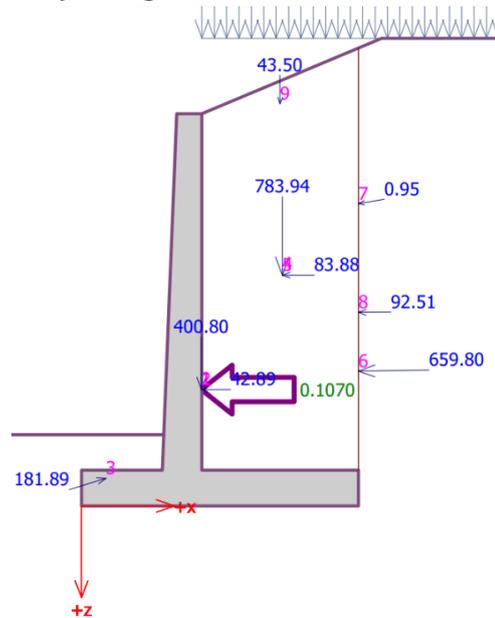
Verifikasi Slope-stability *Bishop*

- Σ active forces $F_a = 2113$ kN/m
- Σ passive forces $F_p = 3177$ kN/m
- Sliding Moment $M_a = 56602$ kNm/m
- Resisting moment $M_p = 85095$ kNm/m
- SF = 1.5 > 1.5



Gambar 5. Verifikasi slope stability SF=1.5

Gaya-gaya akibat modelisasi gempa (*pseudo*) sebagai berikut :



Gambar 6. Beban Gempa (kN)

Verifikasi *overturning stability* sebagai berikut :

- Momen resisting = 5995 kNm/m
- Momen overturning = 3552 kN/m
- SF = 1.69 > 1.0 ok

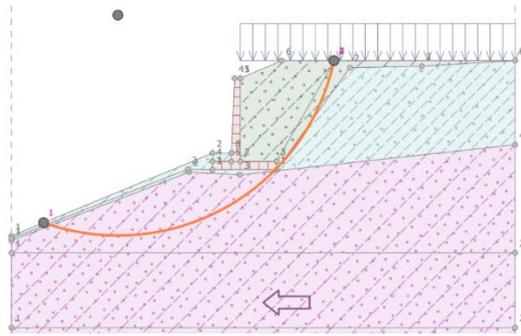
Verifikasi Slip

- Tahanan horizontal = 1059 kN/m
- Gaya aktif horizontal = 706 kN/m
- SF = 1.50 > 1.0 ok

Verifikasi Slope-stability *Bishop*

- Σ active forces $F_a = 2350$ kN/m
- Σ passive forces $F_p = 2988$ kN/m
- Sliding Moment $M_a = 62338$ kNm/m

Resisting moment $M_p=79257$
 kNm/m
 $SF = 1.27 > 1.0$ ok



Gambar 7. Verifikasi slope stability
SF=1

Penulangan DPT

Pembesian pada Wall :

Load factor pada berat sendiri beton = 1.2, tanah pasif LF=1, tanah aktif LF=1.2, beban tanah dan swichyard LF=1.6. Dipasang tulangan pokok 11 D25 per 1 meter lebar dengan $A_s=5573$ mm², sedangkan kebutuhan $A_s=4190$ mm². Selimut beton 75mm, K225 dan BJTD40. Geo5 memberikan checklist sebagai berikut :

Shear satisfactory 95,9 %

Flexure satisfactory 76,5 %

Design priciples 62 %

Pembesian pada Pondasi, tulangan sisi bawah :

Load factor pada berat sendiri beton = 1.2, tanah pasif LF=1, tanah aktif LF=1.2, beban tanah dan swichyard LF=1.6. Dipasang tulangan pokok 11 D22 per 1 meter lebar dengan $A_s=4267$ mm², sedangkan kebutuhan $A_s=3178$ mm². Selimut beton 75mm, K225 dan BJTD40. Geo5 memberikan checklist sebagai berikut :

Shear required reinforcement

Flexure satisfactory 75.6 %

Design priciples 73.8 %

Ditambahkan secara manual kebutuhan tulangan geser berupa ties/kait vertikal dengan D13. Untuk tulangan atas,

menggunakan tulangan minimum sesuai persyaratan SNI 2847.

Pembesian pada Pondasi, tulangan sisi atas dibagian depan (wall heel) :

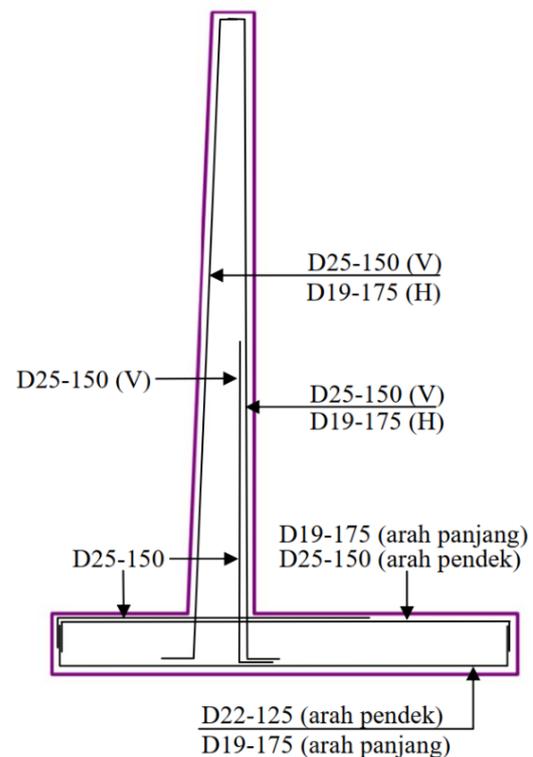
Load factor pada berat sendiri beton = 1.2, tanah pasif LF=1, tanah aktif LF=1.2, beban tanah dan swichyard LF=1.6. Dipasang tulangan pokok 14 D25 per 1 meter lebar dengan $A_s=7093$ mm², sedangkan kebutuhan $A_s=6418$ mm². Selimut beton 75mm, K225 dan BJTD40. Geo5 memberikan checklist sebagai berikut :

Shear required reinforcement

Flexure satisfactory 91.4 %

Design priciples 44.3 %

Ditambahkan secara manual kebutuhan tulangan geser berupa ties/kait vertikal dengan D13. Detail pembesian tersaji dalam gambar 8.



Gambar 8. Pembesian

Bearing Capacity

Tegangan yang terjadi pada sisi bawah pondasi adalah 223 kpa, sedangkan kapasitas ijin tanah 200 kpa, sehingga SF =

$0,89 < 2$. Sehingga beban dipikulkan ke tiang pancang untuk disalurkan kelapisan SP (type 3). Kapasitas vertikal tiang pancang 20×20 L=6m berdasarkan CPT adalah 12-20 ton (lokasi CPT 30m dari DPT) dan berdasarkan SPT adalah 19.5 ton.

Lateral Capacity

Kapasitas lateral tiang pancang berdasarkan analisa p-y yang diprogramasi dalam perangkat lunak Lpile adalah 750 kg/tiang.

Field Performance

Pelaksanaan konstruksi didahului dengan penggalian tanah dibelakang dan dibawah DPT, pada saat itu kita dapat mengevaluasi parameter mekanik tanah yang kita gunakan dalam permodelan, apakah perlu diperbaiki atau tidak.

Kemudian dilanjutkan pekerjaan pemancangan, dimana saat itu kita evaluasi seberapa dalam tiang dapat menembus lapisan pasir padat berfragmen bebatuan. Karena variasi kedalaman lapisan ini bervariasi sepanjang 100m, maka evaluasi daya dukung tanah baik lateral maupun horizontal dikerjakan pada tahapan ini. Penyesuaian desain seperti penambahan dan pengurangan pancang dikerjakan pada tahapan ini.



Gambar 9. Persiapan Lahan dan Pemancangan

Fabrikasi tulangan, pemasangan, dan pengecoran relatif tidak terjadi permasalahan dilapangan, karena ketidakterkaitannya dengan kondisi geoteknik. Pengurugan kembali, pengurugan pasir untuk drainase dan pekerjaan yang mengikutinya, dimulai setelah terpasang titik-titik paku koordinat untuk monitoring posisi DPT apakah bergerak, seberapa jauh pergerakan dan arahnya selama masa pemadatan tanah dan sepanjang umur DPT.



Gambar 10. Fabrikasi Pemesian



Gambar 11. Pengecoran



Gambar 12. Pengurugan dan Pemasangan Geotekstil

Kesimpulan

Perencanaan struktur DPT menggunakan perangkat lunak geoteknik yang khusus diperuntukan untuk desain DPT dapat membantu mempercepat waktu desain, baik dalam tahap preliminari menentukan bentuk yang paling optimal sampai menentukan pembesian tulangan-tulangan utama.

Pengetahuan detailing pembesian diperlukan untuk dapat menyelesaikan perencanaan DPT. Disamping pengetahuan geoteknik dan pendekatan numerik terhadap propertis mekanik tanah.

Proses desain tidak berhenti sampai selesainya dokumen perencanaan, tetapi berlanjut sampai pekerjaan fisik di lapangan selesai, mengingat penyesuaian desain diperlukan bila menemukan kondisi strata tanah yang berbeda dengan rencana, memastikan sistim drainase dapat berfungsi dan berbagai dinamika kendala dalam pekerjaan konstruksi yang perlu diselesaikan oleh perencana.



Gambar 13. Penanaman Rumput

Daftar Pustaka

- Badan Standarisasi Nasional, 2016. RSN12 Persyaratan Perancangan Geoteknik.
- Badan Standarisasi Nasional, 2012. SNI 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa.
- GE05, 2018. *Engineering Manual Walls & Stability Analysis*.
- Gouw Tjie-Liong, 2015. *Kestabilan Lereng, Tekanan Tanah Lateral dan Galian Dalam*, Pelatihan Geoteknik.
- M. Aswanto, 2017. *Perbaikan dan Analisa Resiko Terhadap Kelongsoran Lereng*, PT United Tractors Berau, PT AWK.
- M. Aswanto, 2015 *Analisa Stabilitas Lereng Proyek Facility PAMA di Kalteng*, PT Pamapersada Nusantara, PT MGU.

