

JURNAL

**PERENCANAAN PENANGANAN PERGERAKAN TANAH DENGAN
METODE *SOLDIER PILE* DI STA. 07+100
JALUR PIPA PENYALUR KM. 53 – SKG BONTANG**



**Diajukan Oleh :
Lalu Elham Budiman
14.11.1001.7311.201**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SAMARINDA
SAMARINDA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN PUBLIKASI

**PERENCANAAN PENANGANAN PERGERAKAN TANAH
DENGAN METODE *SOLDIER PILE* DI STA. 07+100
JALUR PIPA PENYALUR KM. 53 – SKG BONTANG**

Disusun dan Dipersiapkan Oleh :

Lalu Elham Budiman

14.11.1001.7311.201

Disetujui Oleh :

Susunan Dosen Pembimbing :

1. Purwanto, S.T., M.T. Pembimbing I
2. Musrifah Tohir, S.T., M.T. Pembimbing II

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan

Untuk memperoleh gelar Sarjana

Tanggal :

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Viva Octaviani, S.T., M.T.

NIDN.11-081065-01

**PERENCANAAN PENANGANAN PERGERAKAN TANAH DENGAN
METODE *SOLDIER PILE* DI STA. 07+100 JALUR PIPA PENYALUR
KM. 53 – SKG BONTANG**

Lalu Elham Budiman¹⁾

Purwanto²⁾

Musrifah Tohir³⁾

Jurusan Teknik Sipil

Fakultas Teknik

Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda

ABSTRACT

Gas Pipeline Right of Ways KM. 53 - Bontang SKG (Gas Compressor Station) owned by PT. Pertamina Gas (Pertagas) has a potential landslide. There are 3 gas pipelines in the line, which are 2 carbon steel pipes with a diameter of 16 "and 1 carbon steel pipe with a diameter of 20". The gas pipeline is embedded in the soil with a depth of at least 100 cm from the ground. This causes gas pipelines to be vulnerable to risks caused by land movements. On February 7, 2017 found fault in this area. To prevent the spread of land movement areas, it is feared to affect the integrity of the nearest pipeline. Therefore, fast and precise handling is needed to overcome the movement of the land.

The method used to collect soil data using the Cone Penetration Test. While the slope analysis method using the Slope / W Geo Studio 2018 R2 program with the analysis method used is the Bishop slice method.

From the results of the analysis and calculation, it can be concluded that the handling of the movement of land at Sta. 07,100 Gas Line Pipes Km. 53 - SKG Bontang can be used Soldier Pile with specifications: Length of Pile Soldier 12 Meters, Diameter 50 cm, Main reinforcement 8D26, Shear reinforcement D12 - 145 mm and concrete quality K - 250 (20.75 Mpa). This Soldier Pile is effective as a method of slope reinforcement because it has cut the maximum landslide area of 6.193 meters.

Keywords : Landslide, Pipeline Right Of Ways, Soldier Pile

-
- 1). Karya Siswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda
 - 2). Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda
 - 3). Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda

PERENCANAAN PENANGANAN PERGERAKAN TANAH DENGAN METODE *SOLDIER PILE* DI STA. 07+100 JALUR PIPA PENYALUR

KM. 53 – SKG BONTANG

PENDAHULUAN

Jalur Pipa Penyalur Gas KM. 53 – SKG (Stasiun Kompresor Gas) Bontang milik PT. Pertamina Gas (Pertagas) memiliki potensi longsor. Terdapat 3 buah pipa penyalur gas yang tertanam dengan kedalaman ± 100 cm pada jalur tersebut, yaitu 2 buah pipa *carbon steel* berdiameter 16" dan 1 buah pipa *carbon steel* berdiameter 20". Pada tanggal 25 Desember 2013 sore sekitar pukul 17.00 Wita terjadi longsor di Jalur Pipa Penyalur Gas KM. 53 – SKG Sta.07+100. Panjang titik longsor pada waktu itu mencapai 100 meter lebih. Patahan pada longsor tersebut berada sekitar 15 meter dari pipa terluar Jalur Pipa Penyalur Gas KM. 53 – SKG Bontang. Hal ini sangat beresiko terhadap integritas pipa penyalur bertekanan tinggi di area tersebut. Untuk mencegah semakin luasnya area patahan, maka dilakukan penanganan dengan cara pemasangan tiang pancang menggunakan pipa (*Piling Pipe*) berdiameter 6" sedalam 12 meter. Metode ini merupakan salah satu metode yang biasa dipakai pada penangan tanah longsor di jalur pipa (*Pipeline Right of Ways*).

Pada 7 Februari 2017 kembali ditemukan patahan di area ini. Untuk mencegah meluasnya area pergerakan tanah, sehingga dikhawatirkan berpengaruh terhadap integritas pipa penyalur terdekat. Oleh karena itu diperlukan penanganan yang cepat dan tepat untuk mengatasi pergerakan tanah tersebut. Mitigasi dengan pemasangan tiang pancang tidak bisa dilakukan, karena area tersebut sudah ada perumahan warga. Jika menggunakan *piling pipe*, dinilai akan menimbulkan isu eksternal. Efek tumbukan tiang pancang dikhawatirkan bisa merusak rumah warga yang ada di sekitar area longsor. Penggunaan *Soldier Pile* sebagai metode penanganan pergerakan tanah dipilih untuk menggantikan metode mitigasi dengan *piling pipe* yang biasanya dijadikan alternatif penangan longsor di area perlintasan pipa (*Right of Way*).

DASAR TEORI

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal dan tidak terlindungi (Das 1985). Analisis stabilitas lereng merupakan suatu analisis guna memeriksa keamanan lereng alamiah, lereng galian maupun lereng timbunan. Untuk menganalisa kestabilan lereng, perlu terlebih dahulu diketahui sistem tegangan yang bekerja pada tanah atau batuan serta sifat fisik dan mekanik dari tanah atau batuan tersebut. Tegangan di dalam massa batuan dalam keadaan alamiahnya adalah tegangan vertikal, tegangan horizontal, dan tekanan air pori. Sedangkan sifat mekanik yang mempengaruhi kestabilan suatu lereng adalah kohesi, sudut geser dalam, dan bobot isi. Secara prinsipnya, pada suatu lereng berlaku dua macam gaya yaitu gaya yang membuat massa batuan bergerak (gaya penggerak) dan gaya yang menahan massa batuan bergerak (gaya penahan). Suatu lereng akan longsor jika gaya penggerak lebih besar dari gaya penahannya. Secara matematis, kestabilan suatu lereng dapat dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (FK), dimana :

$$FK = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (2.1)$$

Keterangan :

FK = angka keamanan

τ_f = kekuatan tanah untuk menahan kelongsoran

τ_d = gaya dorong yang bekerja sepanjang bidang longsor

ANALISA STABILITAS LERENG DENGAN SOFTWARE GEOSLOPE

Geo-slope adalah suatu program dalam bidang geoteknik dan *modeling geo-environment* yang dibuat oleh Geo-slope Internasional, Kanada pada tahun 2002. Program Geo-slope ini sendiri terdiri dari Slope/W, Seep/W, Sigma/W, Quake/W, Temp/W dan Ctran/W yang mana satu sama lainnya saling berhubungan sehingga dapat dianalisa dalam berbagai jenis permasalahan dengan memilih jenis program yang sesuai untuk tiap – tiap masalah yang berbeda. Slope/W adalah program yang memiliki kualitas ketajaman gambar 32- bit, software gratis yang beroperasi di bawah Microsoft Windows. Dengan lingkungan aplikasi windows yang sangat dikenal banyak orang dengan konsep yang simple dan dinamis, maka dimungkinkan setiap orang dengan mudah belajar dan menggunakan Slope/W baik secara tutorial maupun aplikatif. Slope/W merupakan suatu software yang menggunakan teori keseimbangan batas (limit equilibrium theory) yang digunakan dalam menganalisa stabilitas lereng dan menghitung nilai faktor keamanan tanggul.

Secara umum, metode analisis stabilitas lereng yang digunakan dalam Slope/W mengikuti beberapa metode yang ada, diantaranya Metode Ordinary (Fellenius), Metode Bishop, Metode Janbu, Metode Spencer, Metode Morgenstern-Price, Metode Crops of Engineering, Metode Lowe-Karafiath, Metode Keseimbangan Batas, dan Metode Tekanan Terbatas. Dari hasil akhir program Slope/W dapat diketahui besar nilai faktor keamanan suatu lereng dan mengetahui kondisi stabilitas lereng yang ada, sehingga diharapkan dapat menyelesaikan masalah-masalah geoteknik yang berhubungan dengan kestabilan tanah atau lereng.

PENYELIDIKAN TANAH DI LAPANGAN

Penyelidikan di lapangan adalah pokok untuk memutuskan apakah suatu usulan pekerjaan rekayasa layak/patut dan cukup secara ekonomis untuk direncanakan. Penyelidikan lapangan sangat perlu untuk menganalisa keamanan atau kasus keruntuhan pekerjaan yang ada, untuk memilih bahan-bahan dan menentukan metoda konstruksi untuk direncanakan yang kemudian dilaksanakan. Penyelidikan tanah dilakukan untuk mengetahui parameter tanah yang dalam hal ini antara lain adalah komposisi tanah (soil properties), sifat-sifat teknik tanah (soil engineering) serta kandungan mineralogi yang dimiliki oleh tanah. Pengetahuan akan parameter-parameter tanah tersebut sangat di perlukan untuk perencanaan awal desain stabilisasi tanah. Metoda penyelidikan lapangan sangat luas dalam lingkungan proyek rekayasa dan macam lapangan. Pada umumnya, beberapa penyelidikan akan dimulai dengan mengumpulkan dan mempelajari semua data tentang keadaan tanah dan kondisi geologi di lapangan.

TEKANAN TANAH LATERAL

Tekanan lateral tanah adalah tekanan oleh tanah pada bidang horizontal. Contoh aplikasi teori tekanan lateral adalah untuk desain-desain seperti dinding penahan tanah, dinding basement, terowongan, dll.

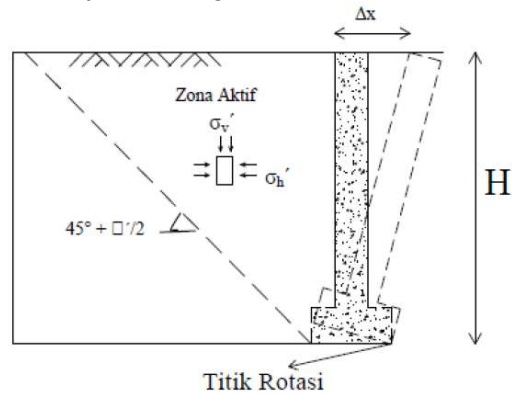
1. Teori Rankine (1857)

Teori Rankine berasumsi bahwa:

- Tidak ada adhesi atau friksi antara dinding dengan tanah (friksi sangat kecil sehingga diabaikan).
- Tekanan lateral terbatas hanya untuk dinding vertikal 90° .
- Kelongsoran (pada urugan) terjadi sebagai akibat dari pergeseran tanah yang ditentukan oleh sudut geser tanah (ϕ').
- Tekanan lateral bervariasi linier terhadap kedalaman dan resultan tekanan yang berada pada sepertiga tinggi dinding, diukur dari dasar dinding.
- Resultan gaya bersifat paralel terhadap permukaan urugan.

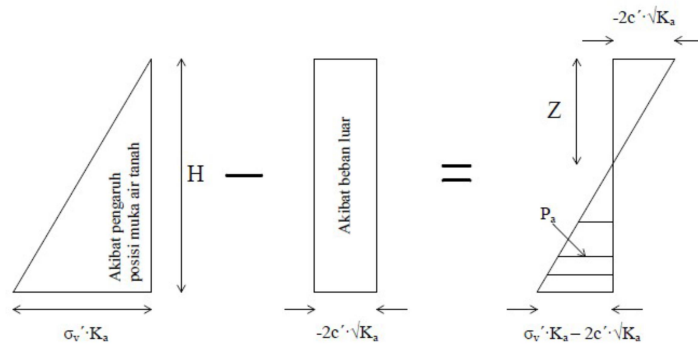
2. Tekanan Tanah Aktif (K_a) Menurut Rankine

Disebut tekanan tanah aktif jika tekanan yang bekerja mengakibatkan dinding menjauhi tanah yang ditahan, seperti ditunjukkan oleh gambar di bawah ini :



Gambar 2.1 Tekanan Tanah Aktif.

Resultan tekanan aktif akibat beban luar dan pengaruh air dapat dideskripsikan oleh gambar berikut ini :



Gambar 2.2 Resultan Tekanan Tanah Aktif

Total tekanan tanah yang bekerja dirumuskan mengikuti :

$$P_a = 0,5 \cdot \gamma' \cdot H \cdot K_a - 2c' \cdot \sqrt{K_a} \quad (2.2)$$

Keterangan :

P_a : total tekanan tanah aktif

σ_v' : tekanan efektif tanah

c' : kohesi tanah

H : tinggi dinding penahan tanah

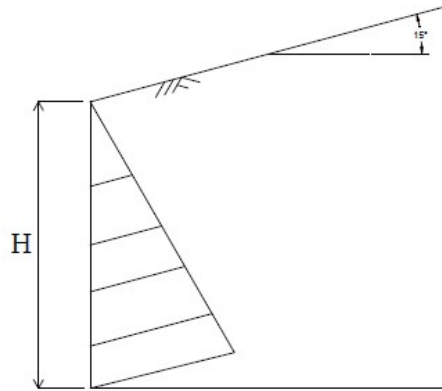
K_a : koefisien tekanan tanah aktif, $K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right)$

Jika permukaan tanah yang ditahan, pada permukaan atas elevasinya meningkat, maka rumus mencari K_a adalah sebagai berikut :

$$K_a = \cos \alpha \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha + \cos^2 \phi}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha + \cos^2 \phi}} \quad (2.3)$$

Keterangan :

- ϕ : sudut geser tanah
- α : sudut elevasi tanah di permukaan atas dinding tekanan efektif tanah
- K_a : koefisien tekanan tanah aktif, $K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right)$



Gambar 2.12 Contoh Dinding Penahan Tanah Dengan Permukaan Atas Yang Meningkatkan Elevasinya

Total tekanan tanah yang bekerja dirumuskan mengikuti:

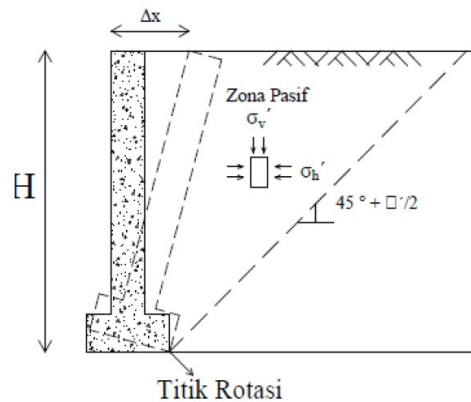
$$P_a = 0,5 \cdot \gamma' \cdot H^2 \cdot K_a \quad (2.4)$$

Keterangan :

- P_a : total tekanan tanah aktif
- H : tinggi dinding penahan tanah
- K_a : koefisien tekanan tanah aktif, $K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right)$

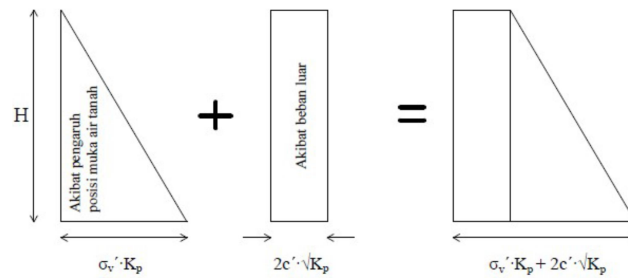
3. Tekanan Tanah Pasif (K_p) Menurut Rankine

Disebut tekanan tanah pasif jika tekanan yang bekerja mengakibatkan dinding mendekati tanah yang ditahan.



Gambar 2.3 Tekanan Tanah Pasif

Resultan tekanan pasif akibat beban luar dan pengaruh air dapat dideskripsikan sebagai berikut:



Gambar 2.4 Resultan Tekanan Tanah Pasif

Total tekanan tanah yang bekerja dirumuskan sebagai berikut:

$$P_p = 0,5 \cdot \gamma' \cdot H \cdot K_p - 2c' \cdot \sqrt{K_p} \quad (2.5)$$

Jika permukaan tanah yang ditahan, pada permukaan atas elevasinya meningkat, maka rumus mencari K_p adalah:

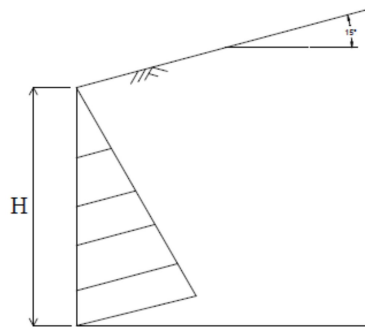
$$K_p = \cos \alpha \frac{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}} \quad (2.6)$$

Keterangan :

ϕ : sudut geser tanah

α : sudut elevasi tanah di permukaan atas dinding tekanan efektif tanah

K_p : koefisien tekanan tanah pasif, $K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$



Gambar 2.5 Kasus Permukaan atas yang meningkat elevasinya

Total tekanan tanah yang bekerja dirumuskan mengikuti:

$$P_p = 0,5 \cdot \gamma' \cdot H^2 \cdot K_a \quad (2.7)$$

Keterangan :

P_p : total tekanan tanah aktif

H : tinggi dinding penahan tanah

K_p : koefisien tekanan tanah pasif, $K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$

4. Tekanan Tanah Diam (K_0)

Untuk tanah berbutir, koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam dapat diwakili oleh hubungan empiris yang diperkenalkan oleh Jaky (1944).

$$K_0 = 1 - \sin \phi \quad (2.8)$$

DINDING PENAHAN TANAH

Dinding penahan tanah adalah struktur yang didesain untuk menjaga dan mempertahankan dua muka elevasi tanah yang berbeda (Coduto, 2001). Dinding penahan tanah berfungsi untuk menyokong tanah serta mencegahnya dari bahaya kelongsoran baik akibat air hujan, berat tanah itu sendiri, maupun akibat beban yang bekerja di atasnya.

Jenis-jenis dinding penahan tanah bermacam-macam disesuaikan dengan keadaan lapangan dan aplikasi yang akan digunakan. Menurut O'Rourke dan Jones (1990) dinding penahan tanah dapat dibedakan atas 2 bagian yakni Sistem Stabilisasi Eksternal (*Externally Stabilized System*) yang terbagi atas *Gravity Walls* dan *In-Situ* atau *Embedded Walls* dan Sistem Stabilisasi Internal (*Internally Stabilized System*) yang terbagi atas *Reinforced Soil Walls* dan *In-Situ Reinforcement*.

TURAP

Konstruksi turap adalah satu konstruksi yang banyak digunakan dalam rekayasa sipil, yang bisa berupa konstruksi sederhana hingga konstruksi sangat berat. Modul ini berisi uraian tentang jenis-jenis turap yang biasa digunakan dan perhitungan untuk perencanaan turap dalam jenis cantilever. Turap cantilever merupakan jenis turap yang paling sederhana dalam metode pelaksanaannya.

KONSEP PENGGUNAAN CERUCUK UNTUK MENINGKATKAN DAYA DUKUNG TANAH

Penggunaan cerucuk dimasukkan untuk menaikkan tahanan geser tanah. Bila tahanan tanah terhadap geser meningkat, daya dukung tanah juga meningkat.

Untuk menghitung kebutuhan cerucuk per-meter, terlebih dahulu ditentukan kekuatan 1 (satu) tiang/cerucuk untuk menahan gaya horisontal. Kemudian berdasarkan perbandingan dari besarnya momen penggerak dengan momen penahan yang dibutuhkan ditentukan jumlah tiang/cerucuk yang diperlukan. Sesuai dengan syarat kestabilan lereng, maka dengan pemberian cerucuk harga angka keamanan dari kestabilan lereng harus dibuat menjadi sekurang-kurangnya 1.10 untuk kondisi dengan beban sementara (kendaraan) dan sekurang-kurangnya 1.50 untuk kondisi hanya beban timbunan embankment saja.

SOLDIER PILE

Soldier Pile adalah dinding penahan tanah pada suatu galian yang terdiri dari rangkaian/barisan *bored pile* yang terbuat dari beton yang dicor di tempat (*cast in situ*). Sebagai struktur penahan tanah, *soldier pile* dapat digunakan pada hampir semua jenis tanah dan segala jenis lapangan.

Soldier pile merupakan *bored pile* yang akan difungsikan sebagai penahan tanah dan akan diaplikasikan menerima/menahan gaya atau beban horizontal yang ditimbulkan dari tekanan tanah maupun air yang ditahannya serta bangunan yang ada di sebelahnya. Kedalaman dan diameter *soldier pile* tergantung dari perhitungan kekuatan, berdasarkan ketinggian lereng, jenis tanah dan perkiraan beban horizontal yang ada.

METODE PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Secara geografis letak area pergerakan tanah ini berlokasi di Jalan Pipa Kusnodo Kelurahan Belimbing, Kecamatan Bontang Barat, Kota Bontang, Kalimantan Timur 75321. Lokasi pergerakan tanah ini merupakan Jalur *Right of Way* wilayah operasional VICO Indonesia yaitu Pipa Penyalur Jalur KM. 53 – SKG (Stasiun Kompresor Gas) milik PT.Pertamina Gas di Sta. 07.100 Bontang.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Proyek Mitigasi Tanah Longsor
(Sumber: Google Map 2018)

DATA PENELITIAN

Rekapitulasi hasil pengujian tes sondir yang digunakan pada pemaparan tulisan ini disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Rekapitulasi hasil pengujian tes sondir
(Sumber: Laporan Pengujian Tanah Sta. 7.100 Km 53. SKG, th. 2017)

| No. | Titik | Kedalaman (m) | Cone Resistance Konus (Kg/Cm ²) | Accumulative JHL (Kg/Cm) | Keterangan |
|-----|-------|---------------|---|--------------------------|------------|
| 1 | S.01 | 2 | 7,91 | 24,54 | Cerah |
| | | 4 | 62,3 | 87,63 | |
| | | 8 | 202,72 | 592,36 | |
| 2 | S.02 | 2 | 26,7 | 40,31 | Cerah |
| | | 4 | 53,4 | 115,67 | |
| | | 8 | 122,62 | 471,43 | |
| | | 11 | 197,77 | 911,32 | |

Dengan menggunakan data tanah di atas, dari program Slope/W Geo Studio 2018 R2, diperoleh $SF > 1$, ini berarti kondisi lereng tidak akan mengalami longsor. Namun kondisinya dengan di lapangan berbeda. Nilai $SF < 1$ diperoleh dengan menganggap tanah sebagai pasir (*behaving like sand*). Maka pada perencanaan ini lereng direncanakan dalam kondisi terburuk,

jadi data tanah yang digunakan adalah data tanah *behaving like sand*.

1. Data Tanah *Behaving Like Sand*

Data tanah dianalisa dengan asumsi *behaving like sand* untuk menyesuaikan dengan kondisi di lapangan. Perbedaan antara data tanah asli dengan data tanah behaving like sand adalah terdapat pada nilai c dan ϕ . Pada data tanah asli, tanahnya sesuai dengan hasil pengeboran, sedangkan pada *behaving like sand* data tanahnya menyerupai pasir. Dalam kasus ini tanah yang mengalami perubahan hanya setinggi lereng yaitu pada elevasi 1 s/d 7,35 meter. Dari asumsi tersebut diambil nilai c adalah 0, sedangkan nilai ϕ diasumsikan 30° , dianggap bersifat seperti pasir. Berikut adalah data tanah asli dari titik 02 menurut tipe tanah *behaving like sand*.

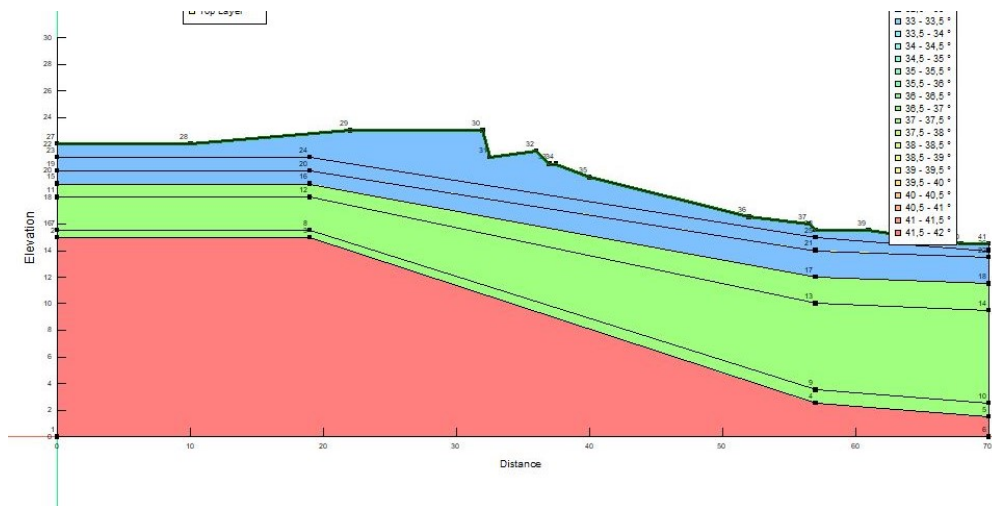
Tabel 4.2 Data tanah *behaving like sand* Titik 02

| DEPTH (m) | q_c (kg/cm ²) | q_c (bar) | FR (%) | N-SPT (blows/ft) | Consistency | C kPa | Φ (°) | γ (kN/m ³) | γ_{sat} (kN/m ³) | γ' (kN/m ³) | |
|--------------|--------------------------------|----------------|-----------|---------------------|-------------|----------|---------------|----------------------------------|--|-----------------------------------|----|
| 0 - 3,2 | 3,2 | 21,35 | 20,94 | 1,21 | 3,69 | Loose | 0 | 30 | 16 | 17 | 8 |
| 3,2 - 7,6 | 7,6 | 79,51 | 23,39 | 1,27 | 7,55 | Medium | 0 | 30 | 17 | 18 | 9 |
| 7,6 - 11 | 11 | 147,05 | 25,84 | 1,15 | 7,55 | Dense | 32,938 | 20 | 18 | 20 | 10 |

2. Pemodelan Lereng dalam Slope/W

Pemodelan dari lereng dalam program Slope/W Geo Studio 2018 R2, menggunakan beberapa ketentuan sebagai berikut:

1. Geometri Lereng yang didapat dari data perencanaan. Geometri lereng yang dianalisa setinggi 7,35 meter seperti terlihat pada Gambar 4.1
2. Metode analisa yang digunakan adalah metode irisan Bishop.
3. Bidang longsor lereng yang dianalisa untuk jangkauan bidang longsor yaitu stabilitas keseluruhan (*overall stability*).

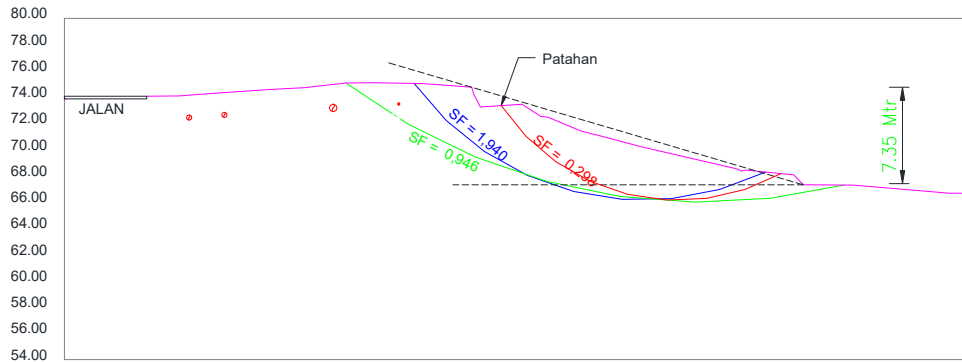


Gambar 4.1 Permodelan Lereng dengan Software Slope/W

3. Bidang Longsor Lereng

Pada analisa kelongsoran lereng digunakan data tanah dengan kedalaman muka air tanah

-5 m, didapat bahwa bidang longsor yang paling membutuhkan perkuatan adalah bidang longsor dengan SF = 0,946, jari – jari kelongsoran = 45,084 m dan MR min = 17.606,00 kNm dan Mid Height max. = 5,494 meter. Maka data ini yang digunakan untuk merencanakan perkuatan. Gambar 4.2 berikut ini adalah gambar bidang longsor lereng yang diperoleh dari hasil Slope/W. Kemudian dicari juga bidang longsor dengan SF=1. Panjang *bored pile* harus memotong bidang longsor dengan SF>1 untuk memastikan tidak terjadinya longsor. Bidang longsor dengan SF=1,940 terletak pada kedalaman (*Mid Height max*) 6.193 m, maka perencanaan kedalaman bored pile harus lebih besar dari 6.193 m. Berikut gambar bidang longsor yng direncanakan perkuatan (SF=0,946) dan bidang dengan SF=1.



Gambar 4.2 Bidang longsor lereng dengan SF=1. yang diperoleh dari hasil Slope/W

PERENCANAAN SOLDIER PILE

Perencanaan *Soldier Pile* dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Data Tanah

| | | |
|--------------------------------------|------------------------|--|
| Sudut Kemiringan Lereng (α) | = 16° | |
| Sudut Geser Tanah Aktif (ϕ_a) | = 27° | |
| Sudut Geser Tanah Pasif (ϕ_p) | = 27° | |
| Berat Jenis Tanah (γ) | = 16 kN/m^3 | $\rightarrow \gamma' = 8 \text{ kN/m}^3$ |
| Tinggi (h) | = 3.75 Meter | |
| Koefisien Tanah (c) | = 26.685 kPa | |
| q (<i>Gaya</i> Gravitasi) | = 10 kN/m^2 | |

2. Perhitungan Koefisien Tanah

Koefisien tekanan tanah aktif dan pasif diperoleh dengan menggunakan rumus Rankine yaitu:

a. Koefisien Tekanan Tanah Aktif

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right)$$

dan untuk kondisi tanah miring:

$$K_{a1} = \cos \alpha \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha + \cos^2 \phi}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha + \cos^2 \phi}}$$

$$= 0,961 \times \frac{0,961 - \sqrt{0,924 + 0,794}}{0,961 + \sqrt{0,924 + 0,794}}$$

$$K_{a1} = 0,437$$

$$\begin{aligned}
K_{a2} &= \tan^2 \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right) \\
&= \tan^2 \left(45 - \frac{27}{2} \right) \\
\mathbf{K_{a2}} &= \mathbf{0,376}
\end{aligned}$$

b. Koefisien Tekanan Tanah Pasif

$$\begin{aligned}
K_p &= \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) \\
&= \tan^2 \left(45 + \frac{27}{2} \right) \\
\mathbf{K_p} &= \mathbf{2,663}
\end{aligned}$$

3. Perhitungan Tekanan Tanah

a. Aktif

$$\begin{aligned}
\text{(i) Titik 1} \\
\sigma_v &= q = 10 \text{ kN/m}^2 \\
\sigma_h &= q \times K_{a1} \\
&= 10 \times 0,437 \\
&= 4,37 \text{ kN/m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{(ii) Titik 2 atas} \\
\sigma_v &= (\gamma \times h) + q \\
&= 16 \times 3,75 + 10 \\
&= 70 \text{ kN/m}^2 \\
\sigma_h &= \sigma_v \times K_{a1} \\
&= 70 \times 0,437 \\
&= 30,567 \text{ kN/m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{(iii) Titik 2 bawah} \\
\sigma_v &= (\gamma \times h) + q \\
&= 16 \times 3,75 + 10 \\
&= 70 \text{ kN/m}^2 \\
\sigma_h &= (((\gamma \times h) + q) \times K_{a2}) - 2c \sqrt{K_{a2}} \\
&= (16 \times 3,75 + 10 \times 0,376) - (2 \times 26.685 \times \sqrt{0,376}) \\
&= -6.419 \text{ kN/m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{(iv) Titik 3} \\
\sigma_v &= ((\gamma \times h) + q) + (\gamma' \times D_o) \\
&= ((16 \times 3,75) + 10) + (8 \times D_o) \\
&= 70 + 8 D_o \text{ kN/m}^2 \\
\sigma_h &= (((\gamma \times h) + q) + ((\gamma' \times D_o) \times K_{a2})) - (2c \sqrt{K_{a2}}) \\
&= (((16 \times 3,75) + 10) + ((8 \times D_o) \times 0,376)) - (2 \times 26.685 \times \sqrt{0,376}) \\
&= -6.42 + 3,004 D_o \text{ kN/m}^2
\end{aligned}$$

b. Pasif

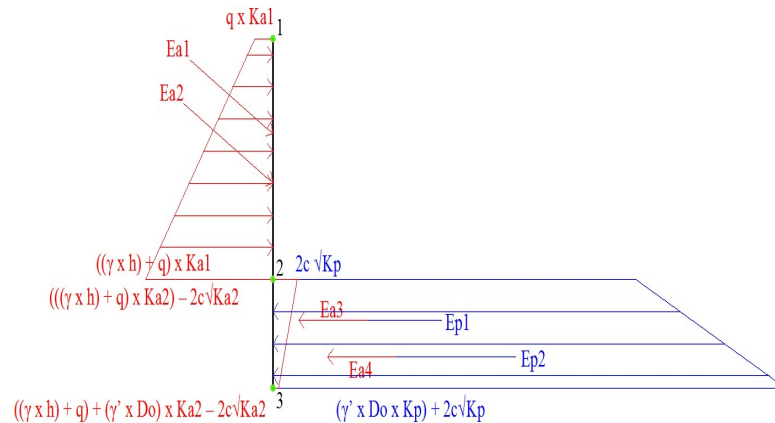
$$\begin{aligned}
\text{(i) Titik 2 bawah} \\
\sigma_v &= 0 \\
\sigma_h &= 2c \sqrt{K_p} \\
&= 2 \times 26.685 \times \sqrt{2,663} \\
&= 87.093 \text{ kN/m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{(ii) Titik 3} \\
\sigma_v &= (\gamma' \times D_o) \\
&= 8,00 D_o \text{ kN/m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_h &= (\gamma' \times D_o \times K_p) + (2c \sqrt{K_p}) \\ &= (8,00 \times D_o \times 2,663) + (2 \times 26,685 \times \sqrt{2,663}) \\ &= 21,3 D_o + 87,09 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

4. Perhitungan Gaya Yang Bekerja (E)

- a. $E_{a1} \cos \alpha = q \times K_{a1} \times h \times \cos 27^\circ$
 $= 10 \times 0,437 \times 3,75 \times 0,961$
 $= 15,740 \text{ kN/m}$
- b. $E_{a2} \cos \alpha = \frac{1}{2} \times (\gamma \times h) \times K_{a1} \times h \times \cos 27^\circ$
 $= 0,5 \times (16 \times 3,75) \times 0,437 \times 3,75 \times 0,961$
 $= 47,221 \text{ kN/m}$
- c. $E_{a3} = ((\gamma \times h) + q) \times K_{a2} - 2c \sqrt{K_{a2}} \times D_o$
 $= (((16 \times 3,75) + 10) \times 0,376) - (2 \times 26,685 \times 0,613 \times D_o)$
 $= 26,29 - 32,71 \times D_o \text{ kN/m}$
 $= -6,419 D_o \text{ kN/m}$
- d. $E_{a4} = \frac{1}{2} \times (\gamma' \times D_o) \times K_{a2} \times D_o$
 $= 0,5 \times (8 \times D_o) \times 0,376 \times D_o$
 $= 1,502 D_o^2 \text{ kN/m}$
- e. $E_{p1} = 2c \sqrt{K_p}$
 $= (2 \times 26,685 \times \sqrt{2,663})$
 $= 87,093 \text{ kN/m}$
- f. $E_{p2} = \frac{1}{2} \times (\gamma' \times D_o \times K_p) + (2c \sqrt{K_p}) \times D_o$
 $= 0,5 \times ((8 \times D_o \times 2,663) + (2 \times 26,685)) \times D_o$
 $= 10,652 D_o^2 + 87,093 D_o \text{ kN/m}$



Gambar 4.3 Diagram Tekanan Tanah Lateral

5. Perhitungan Kedalaman Tiang

$$\begin{aligned} \Sigma M_3 &= 0 \\ \Sigma M_3 &= ((E_{a1} \cos \alpha \times (h/2) + D_o)) \\ &\quad + (E_{a2} \cos \alpha \times ((h/3) + D_o)) \\ &\quad + (E_{a3} \times (D_o/2)) \\ &\quad + (E_{a4} \times (D_o/3)) \\ &\quad - (E_{p1} \times (D_o/2)) \\ &\quad - (E_{p2} \times (D_o/3)) \\ &= (15,740 \times (1,875 + D_o)) \\ &\quad + (47,221 \times (1,25 + D_o)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&+ (-6,419 \text{ Do} \times (0,5 \text{ Do})) \\
&+ (1,502 \text{ Do}^2 \times (0,33 \text{ Do})) \\
&- (87,093 \times (0,5 \text{ Do})) \\
&- ((10,652 \text{ Do}^2 + 87,093 \text{ Do}) \times (0,33 \text{ Do})) \\
&= - 3,05 \text{ Do}^3 - 25,82 \text{ Do}^2 + 19,41 \text{ Do} + 88,539
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Do} &= 1,997 \text{ Mtr} \rightarrow 2 \text{ Mtr} \\
\text{D} &= 1,2 \times \text{Do} \\
&= 2,4 \text{ Mtr} < 6,193 \text{ Mtr (SF 1,940)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Panjang Tiang} &= \text{D} + \text{h} \\
&= 6,193 + 3,75 \\
&= \mathbf{9,943 \text{ Meter} \rightarrow 10 \text{ Meter} \times 1,2 = 12 \text{ Meter}}
\end{aligned}$$

6. Mencari Nilai Momen Maksimum

Menentukan Lokasi Zero Pressure

$$M_x = - 3,05 \text{ Do}^3 - 25,82 \text{ Do}^2 + 19,41 \text{ Do} + 88,54$$

$$M_x/Dx = 0$$

$$M_x/Dx = -9,15 \text{ Do}^2 - 51,64 \text{ Do} + 76,10$$

$$x = 0,35$$

$$\begin{aligned}
M_{\text{maks}} &= - 3,05 (0,35^3) - 25,82 (0,35^2) + 19,41 (0,35) + 88,54 \\
&= 92,04 \text{ kNm/m}
\end{aligned}$$

Jarak Pemasangan Bored Pile

$$S = 2,4 \text{ Mtr}$$

$$M_{\text{maks}} = 220,90 \text{ kNm}$$

7. Perencanaan Tulangan

Dalam penelitian ini penulis menggunakan Beton dengan tulangan *rebar* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

a. Tulangan Utama

Untuk keperluan perencanaan, ditentukan :

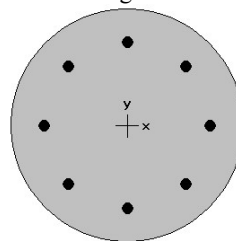
Mutu Beton (f'_c) : 20,75 Mpa (K-250)

Mutu Tulangan : 400 Mpa.

P_u : 267 kN

M_{maks} : 220,90 kNm

Direncanakan *bored pile* berukuran 500 mm dengan tulangan utama diameter 18 – 36 mm dan jumlah tulangan utama 8 – 20 buah. Dengan menggunakan program PCA-Coloumn, didapat hasil rencana penulangan dengan tulangan utama diameter D26 mm dan jumlah tulangan sebanyak 8 buah. Gambar 4.4 berikut ini adalah gambar rencana penulangan dari PCA Coloumn.



Gambar 4.4 Rencana penulangan dengan program PCA Coloumn.

b. Tulangan Geser

Dipakai pembebanan gaya geser terbesar pada *bored pile*, yaitu pada ujung bawah *bored pile*, dimana $V_u = 406901$ N.

$$\begin{aligned}
 V_u &= 406901 \text{ N} \\
 \phi V_c &= \phi \frac{1}{6} x \sqrt{f'c} x \frac{1}{4} x \pi x D^2 \\
 \phi V_c &= \phi \frac{1}{6} x \sqrt{20,75} x \frac{1}{4} x \pi x 500^2 \\
 &= 119303,297 \text{ N} \\
 V_u - \phi V_c &= 406901 \text{ N} - 119303,297 \text{ N} \\
 &= 1427902 \text{ N} \\
 \frac{1}{6} x \frac{1}{4} x \pi x D^2 &= \frac{1}{6} x \frac{1}{4} x \pi x 500^2 \\
 &= 32738,095 \text{ N} \\
 V_u - \phi V_c &< \frac{1}{6} x \frac{1}{4} x \pi x D^2, \text{ maka hitung } V_s \\
 V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\
 &= \frac{406901}{0,8} - 119303,297 \\
 &= 389322,953 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Menentukan Jarak Sengkang (S)

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_v x f_y x D}{V_s} \\
 \text{Digunakan sengkang D12} \\
 A_v &= \frac{1}{4} \pi 12^2 \\
 &= 283.53 \text{ mm}^2 \\
 F_y &= 400 \text{ MPa} \\
 \therefore S &= \frac{283.53 x 400 x 500}{389322,953} \\
 &= 145,65 \text{ mm} \rightarrow 145 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Digunakan sengkang D12 – 145 mm.

8. Perencanaan Soldier Pile Sebagai Cerucuk

Perencanaan *soldier pile* sebagai cerucuk dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut

a. Parameter yang digunakan:

- (i) Panjang bored pile di bawah bidang longsor $L = 6,25$ meter
- (ii) Gaya Penahan (resisting) :
 - Faktor Modulus Tanah (f)
Dari grafik NAVFAC, DM-7, 1971 diperoleh:
 $f = 0.032 \times 40$
 $= 1.28 \text{ kg/cm}^3$
 - Momen Inersia (I):
 $I = \frac{\pi}{64} D^4$, dimana: $D = 50 \text{ cm}$
 $= 0,049 \times 50^4$
 $= 10178760.2 \text{ cm}^4$
 - Modulus Elastisitas
 $E_w = 4700 \times \sqrt{f_c}$
 $= 4700 \times \sqrt{20,75}$
 $= 214095,189 \text{ kg/cm}^2$
 - Faktor Kekakuan Relatif (T):

$$\begin{aligned}
T &= \left(\frac{EI}{f}\right)^{\frac{1}{5}} \\
&= \left(\frac{214095,189 \times 10178760,2}{1,28}\right)^{\frac{1}{5}} \\
&= (51335952327)^{\frac{1}{5}} \\
&= 138,70 \text{ cm}
\end{aligned}$$

- Koefisien Momen Akibat Gaya Lateral:
 Dari grafik NAVFAC, DM-7, 1971, diperoleh:
 $L/T = 625 / 138,70$
 $= 4,51$
 $Z = 0$
 $F_m = 0,9$

b. Gaya horizontal yang mampu dipikul 1 cerucuk:

$$P = M \times F_{kg} / T \cdot F_m$$

Perencanaan Cerucuk:

| | |
|-----------------|--------------|
| Diameter | = 500 mm |
| F'c | = 20,75 Mpa |
| Fy | = 400 Mpa |
| D | = 26 mm |
| Jumlah tulangan | = 8 tulangan |

Dengan menggunakan PCA-Coloumn didapat:

$$\begin{aligned}
M_n &= 1.225 \text{ kNm} \\
&= 12.250.000 \text{ kgcm} \\
M_{ult} &= 0,8 \times M_n \\
&= 0,8 \times 12250000 \\
M &= 9.800.000 \text{ kgcm}
\end{aligned}$$

$$F_{kg} = 2.30 \times Y_t \times Y_s \times Y_n \times Y_d$$

Dimana :

- $Y_t = \text{Variasi rasio tancap}$
 $= 0.09 (X_t) - 0.35 (5 < X_t < 20)$
 $X_t = L/D$
 $= 625 / 50$
 $= 12,5$

$$\begin{aligned}
\therefore Y_t &= 0.09 (12,5) - 0.35 (5 < X_t < 20) \\
&= 1,125 - 0.35 \\
&= 0,775
\end{aligned}$$

- $Y_s = \text{Variasi spasi}$
 $= - 0.057 (X_s)^2 + 0.614 (X_s) - 0.658$
 $X_s = \text{Spasi (S/D), diasumsikan 5,5}$
 $= - 0.057 (5,5)^2 + 0.614 (5,5) - 0.658$
 $\therefore Y_s = 0,99$

- $Y_n = \text{variasi jumlah sejajar}$
 $= 1.051 - 0.047(X_n)$
 $X_n = \text{Jumlah Cerucuk, disumsikan 1}$
 $= 1.051 - 0.047(1)$

$$\therefore Y_n = 1$$

- $Y_d = \text{Variasi diameter}$
- $X_d = D/T$
- $= 50 / 138,70$
- $= 0,361 > 0,12$
- $\therefore Y_D = 2$

$$\begin{aligned} F_{kg} &= 2,30 \times 0 \times Y_s \times Y_n \times Y_d \\ &= 2,30 \times 0,775 \times 0,99 \times 1 \times 2 \\ &= 3,529 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\max 1 \text{ cerucuk}} &= M \times F_{kg} / T \cdot F_m \\ P_{\max 1 \text{ cerucuk}} &= 9.800.000 \times 3,529 / 0,9 \times 138,70 \\ &= 277072,849 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Jumlah Cerucuk yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} SF_{\min} &= 0,946 \\ MR_{\min} &= 17.606 \text{ kNm} \\ R &= 45,084 \text{ m} \\ SF_{\text{rencana}} &= 1,940 \\ M_{\text{dorong}} &= MR_{\min} / SF_{\min} \\ &= 17.606 \text{ kNm} / 0,946 \\ &= 18611 \text{ kNm} \\ \Delta MR &= (SF_{\text{Ren}} - SF_{\text{Min}}) \times M_{\text{dorong}} \\ &= (1,940 - 0,946) \times 18611 \text{ kNm} \\ &= 18499,33 \text{ kNm} \\ n &= \left(\frac{\Delta MR}{P_{\max 1 \text{ cerucuk}} \times R} \right) \\ &= \left(\frac{18499,33}{277072,849 \times 45,084} \right) \\ &= \left(\frac{18499,33}{12491552,33} \right) \\ &= \mathbf{0,002} \end{aligned}$$

Diperlukan 1 cerucuk. Dengan kedalaman bored pile 8,25 m memenuhi syarat dari perhitungan dengan konsep cerucuk, juga telah memotong bidang longsor dengan SF=1,940 pada kedalaman 6,193 m. Panjang total bored pile adalah 12 m.

KESIMPULAN

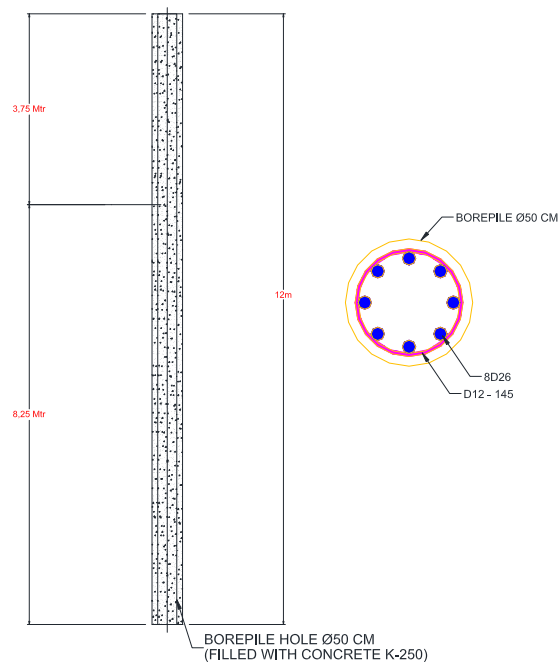
Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Penanganan pergerakan tanah di Sta. 07.100 Jalur Pipa Penyalur Gas Km. 53 – SKG Bontang dapat digunakan *Soldier Pile* dengan spesifikasi
 - Panjang Soldier Pile : 12 Meter
 - Diameter : 50 cm
 - Tulangan Utama : 8D26
 - Tulangan geser : D12 – 145 mm
 - Mutu Beton : K – 250 (20,75 Mpa)
2. *Soldier Pile* efektif sebagai metode perkuatan lereng karena memotong telah memotong bidang longsor maksimum yaitu 6,193 meter

SARAN

Berdasarkan perencanaan yang telah dilakukan, maka disarankan:

1. Sta 07.100 Jalur Pipa Penyalur Gas KM. 53 – SKG Bontang perlu dijadikan salah satu area yang dinilai potensi longsohnya secara berkala dalam program *Re-Assesment Of Implemented Landslide Protection Methods And Re-Evaluation Of Pipeline Right-Of-Way Condition* karena memiliki potensi longsor (SF : 0,298)
2. Sta 07.100 Jalur Pipa Penyalur Gas KM. 53 – SKG Bontang perlu dipasang Piezometer dan Inclinometer agar secara rutin bisa diketahui nilai pergerakan tanahnya serta kadar air yang terkandung di area tersebut
3. Perencanaan dinding penahan tanah dengan konsep perhitungan seperti turap juga harus dikontrol dengan konsep perkuatan cerucuk, karena walaupun kedalaman dinding penahan tanah yang direncanakan dengan konsep perhitungan turap sudah memenuhi, belum tentu kedalaman turap tersebut sudah memotong bidang longsor lereng dengan $SF \geq 1$ dari konsep perhitungan cerucuk, sehingga longsor tetap bisa terjadi



Gambar 5.1 *Soldier Pile* dan Detail Penulangan

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E. (1988). *Foundation Analysis and Design, 4th ed.*, Mc-Graw-Hill, New York.
- Coduto, Ronald.P. (2001). *Foundation Design Principles And Practices, 2nd Edition*, Upper Saddle River, New Jersey.
- Das, Braja M., (translated by Mochtar N.E, and Mochtar I.B.). 1985. *Mekanika Tanah (Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M., (translated by Mochtar N.E, and Mochtar I.B.). 1985. *Mekanika Tanah (Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid II*. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H.C., 2006, *Teknik Fondasi I*, Yogyakarta, Beta Offset.
- Hardiyatmo, H.C., 1994, *Teknik Fondasi II*, Yogyakarta, Beta Offset.
- SNI 03-3440, 1994, *Pelaksanaan Stabilitas Tanah*, Pusjatan-Balitabang PU
- SNI 03-4267, 1999, *Teknis Perencanaan dan Penanganan Longsoran*, Balitbang PU.
- SNI 03-6348-2000, 2000, *Identifikasi Tanah Longsor dan Upaya Penanggulangannya*, Balitabang PU, Surakarta.
- Trenching and Shoring Manual State of California* Department of Transportation.