

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Data

Analisis data merupakan proses dari pengolahan data yang bertujuan untuk mendapatkan informasi dari masalah yang di kaji.

1. Analisis kondisi amblesan

Berdasarkan pengamatan secara langsung di lokasi kajian amblesan terjadi dengan kedalaman 40 cm di daerah hulu dan 120 cm di daerah hilir. Jenis konstruksi badan jalan dilokasi tersebut merupakan badan jalan timbunan dengan jalur kereta api ganda. Pada jalur kereta api di jalur hulu memiliki elevasi kontur tanah yang lebih tinggi daripada jalur hilir.



Gambar V. 1 Lokasi Amblesan

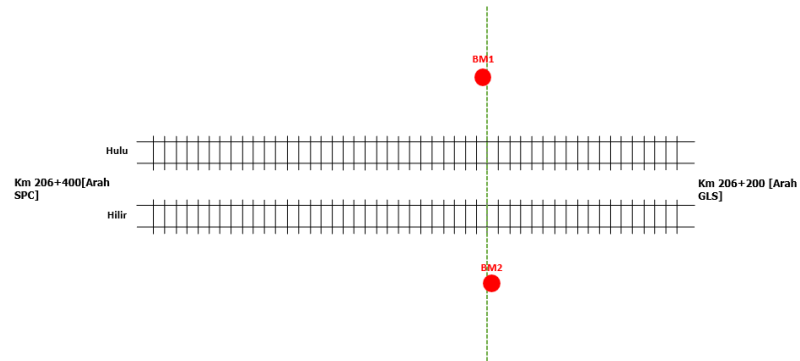
a) Identifikasi Jenis Tanah

Identifikasi jenis tanah yang ada di lapangan dilaksanakan dengan bor mesin, tes sondir dan geolistrik.

1) Bor mesin

Bor mesin dilaksanakan pada dua titik yaitu pada jalur hulu dan hilir. Dari hasil ter tersebut didapatkan hasil tanah keras dengan NSPT = 60 berada pada kedalaman 10 meter. Untuk jenis tanah di permukaan adalah lempung abu – abu lunak. Untuk jenis tanah ini tidak baik dalam pengaliran air. Pada jenis ini tanah bersifat mengikat air. Saat musim hujan jenis tanah ini akan

menyimpan air sampai kondisi jenuh. Saat jenuh tersebut apabila terus dilalui oleh kereta api maka akan mengakibatkan efek pumping dan akan menyebabkan terjadinya amblesan. Untuk jenis tanah ini massa tanah pada saat kondisi jenuh akan menyatu dengan air yang mengakibatkan menjadi lumpur cair.

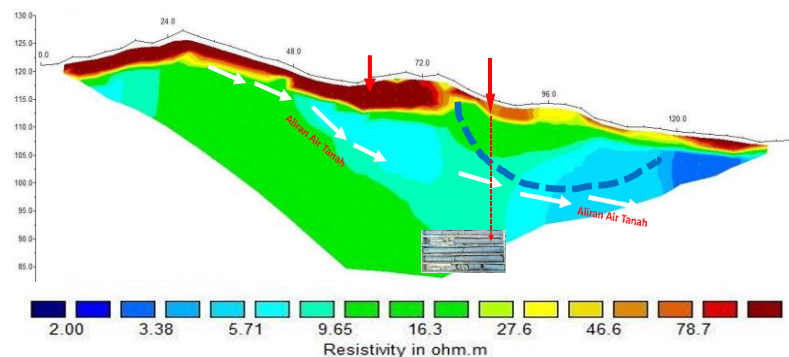


Sumber: Divisi Regional IV Tanjungkarang

Gambar V. 2 Posisi Bor Mesin

2) Metode Geolistrik

Pada lokasi amblesan di KM 206+248 – KM 206+305 dilakukan pengecekan geolistrik. Metode geolistrik merupakan metode yang digunakan untuk menyelidiki kondisi dibawah permukaan tanah dengan memanfaatkan sifat – sifat aliran listrik dengan cara mengalirkan arus listrik DC (*Direct Current*).



Sumber: Divisi Regional IV Tanjungkarang

Gambar V. 3 Hasil Geolistrik

Berdasarkan pengamatan dan pengujian jenis tanah di daerah tersebut memiliki 4 jenis lapis tanah. Berdasarkan hasil yang didapatkan untuk jenis tanah antara 0 – 3 meter adalah lempung lanau

pasiran berwarna cokelat keabu – abuan konsistensi lunak(*clays*) , untuk kedalaman 3 -5 meter lempung lanau pasiran berwarna abu – abu pekat konsistensi lunak (*silty clays*), untuk kedalaman 5 – 9 meter lempung lanau Berdasarkan hasil dilapangan, didapatkan data – data tanah seperti nilai sudut geser (ϕ), berat isi tanah (γ), nilai kohesi (C) yaitu:

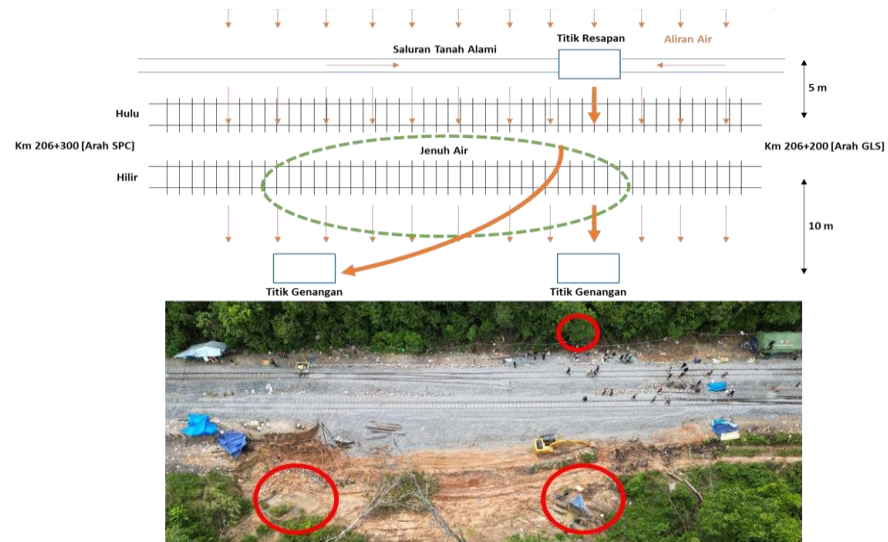
Tabel V. 1 Nilai Parameter Tanah

Jenis Tanah	Kedalaman (m)	γ (kN/m ³)	C (kN/m ²)	ϕ°
Lapisan atas, lempung lanau pasiran, warna cokelat keabu-abuan konsistensi lunak (<i>clays</i>)	0-3	13.5	20	8
Lempung lanau pasiran, warna abu – abu pekat, konsistensi lunak (<i>silty clays</i>)	3-5	13.5	20	16
Lempung, lanau, warna abu tua, konsistensi keras (<i>sandy silt</i>)	5-9	14	25	35
Lempung, lanau, warna abu tua, konsistensi sangat keras (<i>silty sands</i>)	9-20	14	28	40

Sumber: Divisi Regional IV Tanjungkarang

2. Analisis penanganan amblesan

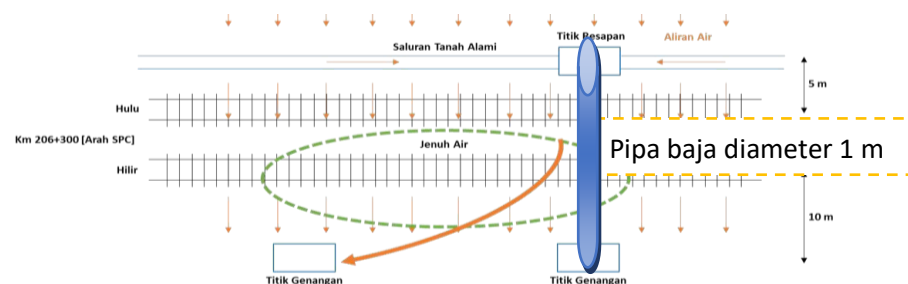
Untuk penanganan amblesan dengan memperhatikan saluran air pada lokasi amblesan. Pada KM 206+248 – 206+305 antara petak jalan Stasiun Gilas – Stasiun Sepancar hanya memiliki saluran air alami. Saluran ini tidak berfungsi dengan baik. Sehingga terjadi titik resapan air pada daerah hulu.



Sumber: Divisi Regional IV Tanjungkarang

Gambar V. 4 Titik Genangan Air Pada Lokasi Amblesan

Dari skema aliran air pada lokasi amblesan pihak Balai Teknik Perkeretaapian Kelas II Palembang dan Divisi Regional IV Tanjungkarang melakukan perbaikan darianase. Untuk jenis drainase yang digunakan merupakan drainase bawah tanah. Pada ujung pipa dibangun saluran air yng mengalirkan air sampai dengan ke daerah sungai.



Sumber: Divisi Regional IV Tanjungkarang

Gambar V. 5 Drainase Pada Lokasi Amblesan

Pada awalnya sebelum terjadi amblesan belum dibangun drainase sehingga terjadi genangan air pada daerah hulu yang mengakibatkan tanah jenuh air. Selanjutnya terjadi porositas tanah yang membawa material badan jalan dari sisi hulu ke sisi hilir yang diakibatkan oleh hujan deras pada 27 april 2023. Terdapat data curah hujan tahun 2019 – 2020 di Ogan Komering Ulu Timur yaitu:

Tabel V. 2 Data Curah Hujan Ogan Komering Ulu Timur

BULAN	INTENSITAS RATA – RATA CURAH HUJAN (MM)		TOTAL (MM)	RATA RATA
	2019	2020		
JANUARI	304	212	516	258
FEBRUARI	354	327	681	340,5
MARET	236	233	469	234,5
APRIL	288	282	570	285
MEI	160	95	255	127,5
JUNI	80	184	264	132
JULI	154	180	334	167
AGUSTUS	82	44	126	63
SEPTEMBER	35	137	172	86
OKTOBER	150	244	394	197
NOVEMBER	46	176	222	111
DESEMBER	134	236	370	185

Sumber: Badan Pusat Statistik Ogan Komering Ulu Timur

Dari curah hujan tersebut, intensitas hujan terbesar yaitu pada bulan Februari 354 mm dengan rata – rata 340,5 mm. untuk menentukan debit air hujan pada lokasi amblesan yaitu:

Menentukan waktu konsentrasi

Pertama,

Diketahui : $I_1 = 1\%$ $V = 0,60$ m/detik

$$t_{01} = L_1/V_1$$

$$= 2 \text{ m} / 0,60 \text{ m/detik}$$

$$= 3,3 \text{ detik}$$

Maka waktu yang diperlukan untuk air mengalir dari muka tanah menuju ke drainase adalah 3,3 detik

KEDUA,

Diketaui : $I_2 = 1\%$ $V = 0,60$ m/detik

$$\begin{aligned} t_{02} &= L_2/V_2 \\ &= 3 \text{ m} / 0,60 \text{ m/detik} \\ &= 5 \text{ detik} \end{aligned}$$

Maka waktu yang diperlukan untuk air mengalir dari muka tanah menuju ke drainase adalah 5 detik.

KETIGA

Diketahui, $I_3 = <1\%$ $V = 0,40$ m/detik

$$\begin{aligned} t_{03} &= L_3/V_3 \\ &= 4 \text{ m} / 0,40 \text{ m/detik} \\ &= 10 \text{ detik} \end{aligned}$$

Maka waktu yang diperlukan untuk air mengalir dari muka tanah menuju ke drainase adalah 10 detik.

$$\begin{aligned} \Sigma t_0 &= t_{01} + t_{02} + t_{03} \\ &= 3,3 + 5 + 10 \\ &= 18,3 \text{ detik} \end{aligned}$$

Maka untuk jumlah keseluruhan untuk waktu yang diperlukan untuk air mengalir dari muka tanah menuju ke drainase adalah 18,3 detik.

Diketahui Isaluran = 5%, $V = 0,40$ m/detik

$$\begin{aligned} T_d &= L_{\text{saluran}} / V_{\text{saluran}} \\ &= 200 / 0,40 \\ &= 500 \text{ detik} \end{aligned}$$

Maka waktu yang diperlukan untuk air mengalir disepanjang saluran sampai titik kontrol dihilir adalah 500 detik.

$$\begin{aligned}
 t_c &= \Sigma t_0 + T_d \\
 &= 18,3 + 500 \\
 &= 518,3 \text{ detik} \\
 &= 518,3/3600 \\
 &= 0,144 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

$$R = 354 \text{ mm/etmal}$$

$$\begin{aligned}
 R &= 354/24 \\
 &= 14,57 \text{ mm/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 i_t &= (R/24) \cdot (24/t_c)^{2/3} \\
 &= (14,57/24) \cdot (24/0,144)^{2/3} \\
 &= 0,607 \cdot 30,28 \\
 &= 18,38 \text{ mm/jam}
 \end{aligned}$$

Maka didapatkan untuk intensitas hujan adalah 18,38 mm/jam

Untuk luas area < 4 km maka $f = 0,75$

$$\begin{aligned}
 Q &= 1/3,6 \cdot C \cdot I \cdot A \\
 &= 1/3,6 \cdot 0,75 \cdot 18,38 \cdot \\
 &= 7,65 \text{ m}^3/\text{detik}
 \end{aligned}$$

Maka didapatkan untuk debit hujan pada daerah tersebut adalah 7,65 m³/detik

a. Penanganan darurat pada saat terjadi amblesan

Penanganan darurat amblesan dilakukan sebagai Langkah awal untuk mencegah terjadinya kerusakan lebih banyak pada badan jalan kereta api. Adapun penanganan yang dilaksanakan yaitu:

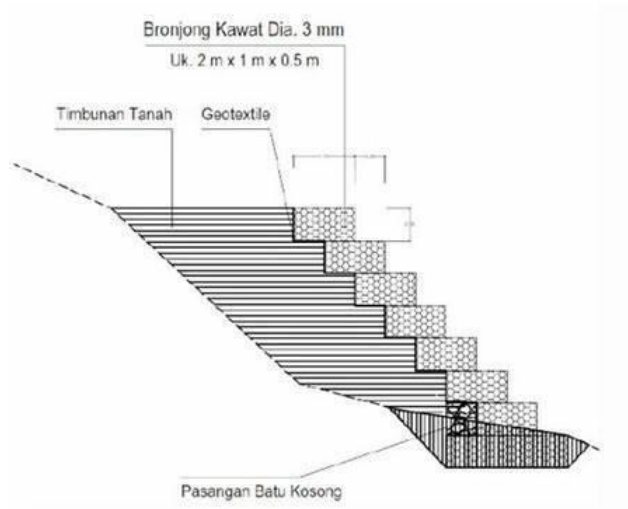
- 1) Pemancangan trুক rel
- 2) Penambahan ballas
- 3) Profiling ballas dengan mesin MTT
- 4) Pemasangan perancah dibawah bantalan rel

- 5) Penahanan rel dengan susunan bantalan bekas
(Gambangan)
 - 6) pemasangan pompa pembuangan air
3. Analisis Pemilihan Metode kestabilan tanah

Untuk penentuan metode yang tepat untuk penanggulangan pergerakan tanah disesuaikan dengan kondisi yang ada di lapangan. Penanggulangannya di pertimbangkan berdasarkan dengan tipe gaerakan, faktor penyebab, serta kemungkinan untuk dapat dikerjakan. Terdapat juga faktor – faktor yang terkait dengan pelaksanaan di lapangan. Seperti tingkat kepentingan, 5 aspek sosial, dan ketersediaan material di lokasi.

a. Metode Bronjong

Metode bronjong merupakan metode yang digunakan untuk menstabilkan tanah dan mencegah terjadinya erosi. Metode ini dengan memasukkan batu batu-batu kedalam keranjang dengan ukuran tertentu.



Sumber: Simantu

Gambar V. 6 Bronjong

b. Metode Sheet Pile

Metode ini sering disebut dengan metode turap baja. Metode ini bertujuan sebagai dinding penahan tanah untuk menghindari terjadinya erosi pada lereng. Salah satunya adalah daerah timbunan kereta api.



Sumber: simantu

Gambar V. 7 *Sheet Pile*

c. Metode Sumuran

Pada metode ini pondasi tersusun secara vertikal seperti pipa raksasa. Metode ini efektif apabila tanah keras berada pada kedalaman 3-5 meter. Keuntungan dari penggunaan metode ini tidak perlu dilakukan pemadatan tanah dan pasir. Untuk isian dari dari pondasi sumuran ini beton dan batu belah.



Sumber: simantu

Gambar V. 8 Sumuran

d. Metode tiang pancang (*pile foundation*)

Cara kerja dari metode ini dengan mentransfer beban yang diterima pada bagian atas kedalam tanah tertentu agar saat tanah diberikan beban tetap stabil. Daya dukung tiang pancang berpengaruh dari daya dukung ujung dan daya dukung gesek. Untuk tiang pancake ini dapat disesuaikan dengan pondasi

dangkal dan pondasi dalam disesuaikan dengan keadaan di lokasi.

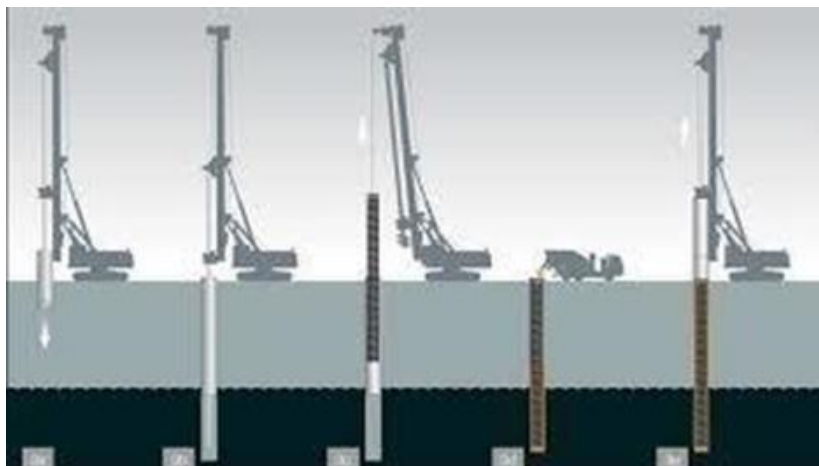


Sumber: simantu

Gambar V. 9 *Pile Fondation*

e. Bore Pile

Pondasi tiang bor atau bore pile merupakan pondasi yang digunakan untuk pondasi dalam. Untuk bentuk dari bore pile ini berbentuk tabung pada dalamnya berisi beton bertulang. Untuk diameter dari bore pile dapat disesuaikan dengan lokasi di lapangan. Diameter bore pile ini mulai dari 30 cm – 150 cm dan dapat mencapai 30 mete dibawah permukaan tanah.



Sumber: Simantu

Gambar V. 10 *Bore Pile*

B. Pembahasan

Berdasarkan analisis yang telah dilaksanakan dengan pengamatan secara visual dan data – data yang diperoleh oleh Balai Teknik Perkeretaapian Kelas II Palembang dan Divisi Regional IV Tanjungkarang dan Pegawai Resort Jalan dan Jembatan Sungai Tuha. Penanganan yang dilkaukan yaitu:

1. Analisis penanganan darurat

Penanganan darurat merupakan langkah awal yang dilakukan untuk mengurangi keparahan yang terjadi akibat amblesan. Untuk penanganan darurat yang dilaksanakan untuk daerah amblesan pada KM 206+248 – 206+305 antara petak jalan Stasiun Gilas – Stasiun Sepancar yaitu:

a. Pemancangan trুক rel

Trুক el digunakan untuk meningkatkan tahanan geser tanah. Apabila tahanan geser meningkat maka daya dukung dari tanah ikut meningkat.

Menurut Rusdiansyah (2016), penggunaan trুক yang efektif degan menghambat pergesaran tanah aibat dari gaya horizontal yang bekerja. Pemasangan tiang secara vertikal untuk mengatasi *overall stability*.

Pada lokasi amblesan KM 206+248 – 206+305 antara petak jalan Stasiun Gilas – Stasiun Sepancar Trুক rel mengguankan rel R.54 bekas, panjang tiang 6.8 M, disepanjang 80 meter dengan jarak antar trুক adalah 1 meter dan dipasang 3 lapis dengan jarak 1 meter.



Gambar V. 11 Pemancangan Trুক Rel

b. Penambahan dan pemadatan ballas

Ballas berfungsi sebagai penahan getaran, mengurangi guncangan, dan menyebarkan beban yang bekerja pada rel kereta api. Batu ballas akan aus karena gesekan yang diterima. Sehingga volume ballas akan semakin kecil. Maka terjadi penurunan dan penyusutan ballas.

Penambahan dan pemadatan ballas menggunakan MTT (Multi Tie Tamper) dilakukan untuk menambah ketinggian lapisan hingga setinggi bantalan. Mengisi rongga antar bantalan, dan ditabar disisi rel jarak minimal 50 cm. untuk ketebalan minimal 150 mm hingga 500 mm agar ballas tidak tergabung dengan tanah saat menggunakan mesin pemecok.



Gambar V. 12 Penambahan dan Pemadatan ballas

c. Profiling ballas dengan MTT

Profiling ballas merupakan kegiatan merapikan dari ballas. Ballas dapat berpindah akibat dari laju kereta. Agar ballas tetap berada pada tempatnya maka dilakukan profiling ballas.



Gambar V. 13 Profiling Ballas

d. Pemasangan perancah dibawah bantalan rel

Perancah merupakan suatu struktur sementara yang digunakan untuk menyanggah jalan rel pada saat terjadi amblesan. Tujuan dari pemasangan perancah untuk mengurangi kerusakan pada jalan rel.



Gambar V. 14 Perancah Rel

e. Penahanan rel dengan susunan bantalan bekas (gambangan)

Fungsi dari gambangan yaitu sama dengan perancah. Gambangan digunakan untuk menahan dari jalan rel agar tidak terjadi kerusakan yang lebih parah. Gambangan merupakan bantalan bekas yang disusun.

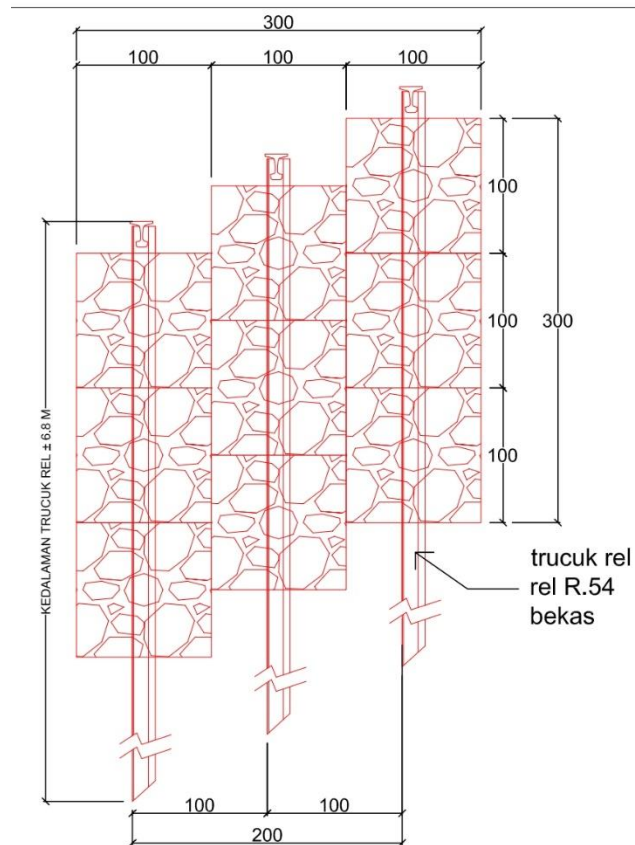


Gambar V. 15 Gambangan

2. Analisis penanganan sementara

Penanganan sementara dilakukan dengan metode bronjong. Pemilihan metode ini dengan mempertimbangkan beberapa faktor yaitu biaya, Teknik pelaksanaan, kemampuan pelaksanaan, material, serta peralatan yang digunakan. Bronjong dapat bertahan lebih dari satu tahun apabila dilakukan perawatan dan pemeliharaan dengan baik.

- a. Bronjong merupakan konstruksi yang terbuat dari anyaman kawat baja berlapis zenk yang berbentuk persegi/persegi panjang.
- b. Bronjong dibuat setelah pengerjaan tiang pancang. Untuk batu yang digunakan antara 15-25 mm
- c. Batu ditata pada keranjang dengan celah seminimal mungkin. Keranjang disatuakan dengan keranjang lainnya dan diikat dengan kawat pada tiap tepinya.
- d. Setiap pemasangan diikuti dengan tanah timbunan disesuaikan dengan sesuai dengan lapis bronjong yang digunakan.



Sumber: Divisi Regional IV Tanjungkarang

Gambar V. 16 Desain Bronjong

3. Analisis penanganan permanen

Penanganan permanen dilakukan dengan metode Bore Pile. Metode ini dipilih berdasarkan pengamatan dilapangan serta wawancara kepada pihak Balai Teknik Perkeretaapian Kelas II Palembang dan Pihak Jalan dan Jembatan Sungai Tuha di Divisi Regional IV Tanjungkarang. Adapun kelebihan dari bore pile yaitu:

- Tidak menimbulkan gangguan suara pada saat pengeboran.
- Kedalaman tiang bore pile dapat divariasikan
- Tanah dapat diperiksa dan dicocokkn dengan data dari laboratorium.
- Bore Pile dapat dilakukan sampai menembus batuan.
- Diameter tiang dapat dibuat besar sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan.
- Tidak ada resiko dari kenaikan muka tanah.

Pada lokasi tersebut dapat dilakukan pemasangan bore pile untuk penanganan secara permanen. Untuk perhitungan yang dilaksanakan yaitu:

a. Menghitung koefisien tekanan tanah aktif dan tanah pasif

Diketahui:

$$0-3 \text{ meter } \phi_1 = 8^\circ, \quad \gamma_1 = 1,35 \text{ Ton/m}^3$$

$$3-5 \text{ meter } \phi_2 = 16^\circ, \quad \gamma_2 = 1,35 \text{ Ton/m}^3$$

$$5-9 \text{ meter } \phi_3 = 35^\circ, \quad \gamma_3 = 1,4 \text{ Ton/m}^3$$

$$9-20 \text{ meter } \phi_4 = 40^\circ, \quad \gamma_4 = 1,4 \text{ Ton/m}^3$$

Perhitungan:

$$Ka_1 = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$= \tan^2 \left(45 - \frac{8}{2} \right)$$

$$= \tan^2 (41)$$

$$= 0,755$$

Maka koefisien tanah aktif pada lapisan satu adalah 0,755

$$Kp_1 = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$= \tan^2 \left(45 + \frac{8}{2} \right)$$

$$= \tan^2 (49)$$

$$= 1,323$$

Maka koefisien tanah pasif pada lapisan satu adalah 1,323

$$Ka_2 = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$= \tan^2 \left(45 - \frac{16}{2} \right)$$

$$= \tan^2 (37)$$

$$= 0,421$$

Maka koefisien tanah aktif pada lapisan kedua adalah 0,421

$$Kp_2 = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$= \tan^2 \left(45 + \frac{16}{2} \right)$$

$$= \tan^2 (53)$$

$$= 1,761$$

Maka koefisien tanah pasif pada lapisan kedua adalah 1,761

$$Ka_3 = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$= \tan^2 \left(45 - \frac{35}{2} \right)$$

$$= \tan^2 (27,5)$$

$$= 0,27$$

$$Kp_3 = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$= \tan^2 \left(45 + \frac{35}{2} \right)$$

$$= \tan^2 (62,5)$$

$$= 3,68$$

Maka koefisien tanah aktif pada lapisan ketiga adalah 0,27

$$K_{a4} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$= \tan^2 \left(45 - \frac{40}{2} \right)$$

$$= \tan^2 (25)$$

$$= 0,217$$

Maka koefisien tanah aktif pada lapisan keempat adalah 0,217

Maka koefisien tanah pasif pada lapisan ketiga adalah 3,68

$$K_{p4} = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

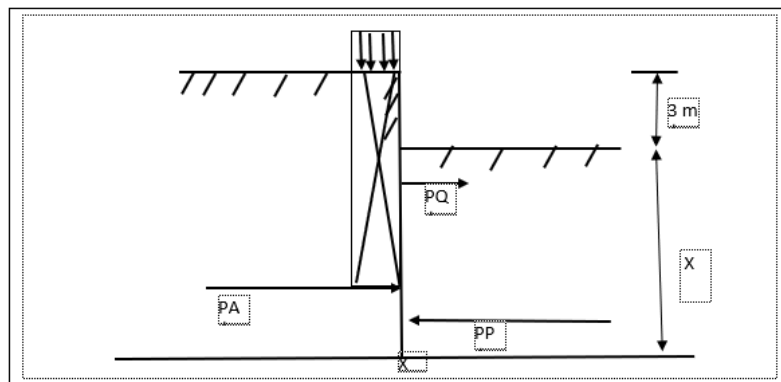
$$= \tan^2 \left(45 + \frac{40}{2} \right)$$

$$= \tan^2 (65)$$

$$= 4,597$$

Maka koefisien tanah pasif pada lapisan keempat adalah 4,597

konstruksi bore pile dipasang tegak lurus dengan kedalaman X,



Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2023

Gambar V. 17 Mencari Kedalaman Bore Pile

diketahui :

$$k_p = 4,597$$

$$k_a = 0,217$$

$$k_{ph}' = \frac{k_p}{f_s} \text{ untuk } F_s \geq 1,5 \text{ 1,5 (aman)}$$

$$K_{ph}' = \frac{4,597}{1,5}$$

$$= 3,064$$

$$Q = 36 \text{ ton}$$

$$Y = 1,4 \text{ ton/m}^3$$

b. Menghitung komponen gaya pada diagram tanah

$$\begin{aligned}P_q &= Q \cdot K_a \\&= 36 \cdot 0,217 \\&= 7,812 \text{ ton/m}^2\end{aligned}$$

Maka komponen gaya tekan beban adalah 7,812 ton/m²

$$\begin{aligned}P_a &= Y \cdot h \cdot K_a \\&= 1,4 \cdot (3+x) \cdot 0,217 \\&= (4,2 + 1,4x) \cdot 0,217 \\&= 0,91 + 0,3X \text{ ton/m}^2\end{aligned}$$

Maka komponen gaya tekan tanah aktif adalah 0,91 + 0,3X ton/m²

$$\begin{aligned}P_p &= Y \cdot k_{ph}' \cdot X \\&= 1,4 \cdot 3,064 \cdot X \\&= 4,29X \text{ ton/m}^2\end{aligned}$$

Maka komponen gaya tekan tanah pasif adalah 4,29X ton/m²

c. Menghitung gaya perhitungan tekanan tanah

$$\begin{aligned}P_Q &= P_q \cdot (h + x) \\&= 0,217 \cdot (3 + x) \\&= 23,436 + 7,812x \text{ ton/m}^2\end{aligned}$$

Maka tekanan beban yang bekerja adalah 23,436 + 7,812x ton/m²

$$\begin{aligned}P_A &= \frac{1}{2} \cdot P_a \cdot (h + x) \\&= \frac{1}{2} (0,91 + 0,3x) \cdot (3 + x) \\&= \frac{1}{2} (2,73 + 0,91x + 0,9x + 0,3x^2) \\&= \frac{1}{2} (2,73 + 1,81 + 0,3x^2) \\&= 1,365 + 0,91x + 0,15x^2 \text{ ton/m}^2\end{aligned}$$

Maka tekanan tanah aktif yang bekerja adalah 1,365 + 0,91x + 0,15x² ton/m²

$$\begin{aligned}P_P &= \frac{1}{2} \cdot P_p \cdot X \\&= \frac{1}{2} \cdot 4,29X \cdot X \\&= 2,145 X^2 \text{ ton/m}^2\end{aligned}$$

Maka tekanan tanah pasif yang bekerja adalah $2,145 X^2 \text{ ton/m}^2$

d. Perhitungan momen

$$\begin{aligned}MPQ &= \frac{1}{2} \cdot PQ \cdot (h + x) \\&= \frac{1}{2} \cdot (23,436 \cdot 7,812) \cdot (3 + x) \\&= \frac{1}{2} (70,308 + 23,436X + 23,436X + 7,812X^2) \\&= \frac{1}{2} (70,308 + 46,872 + 7,812 X^2) \\&= 35,154 + 23,436X + 3,906X^2 \text{ ton/m}^2\end{aligned}$$

Maka momen yang bekerja pada tekanan yang diberikan oleh beban adalah $35,154 + 23,436X + 3,906X^2 \text{ ton/m}^2$

$$\begin{aligned}MPA &= \frac{1}{3} \cdot PA \cdot (h + X) \\&= \frac{1}{3} \cdot (1,365 + 0,91X + 0,15X^2) \cdot (3 + X) \\&= \frac{1}{3} \cdot (4,095 + 2,73X + 0,45X^2 + 1,365X + 0,91X^2 + 0,15X^3) \\&= \frac{1}{3} (4,095 + 4,095X + 1,36X^2 + 0,15X^3 \text{ ton/m}^2) \\&= 1,365 + 1,365X + 0,453X^2 + 0,05X^3 \text{ ton/m}^2\end{aligned}$$

Maka momen yang bekerja pada tekanan yang diberikan oleh tanah aktif adalah $1,365 + 1,365X + 0,453X^2 + 0,05X^3 \text{ ton/m}^2$

$$\begin{aligned}MPP &= \frac{1}{3} \cdot X \cdot PP \\&= \frac{1}{3} \cdot X \cdot (2,145 X^2) \\&= \frac{1}{3} \cdot 2,145X^3 \\&= 0,715X^3 \text{ ton/m}^2 \text{ (tanda (-) berlawanan arah)}\end{aligned}$$

Maka momen yang bekerja pada tekanan yang diberikan oleh tanah pasif adalah $0,715X^3 \text{ ton/m}^2$

$$\begin{aligned}\text{Konstanta} &= 35,154 + 1,365 \\X &= 23,436X + 1,365X \\X^2 &= 3,906^2 + 0,453X^2 \\X^3 &= 0,05X^3 - 0,716X^3\end{aligned}$$

$$\sum M = 0$$

$$36,789 + 24,801X + 4,359X^2 - 0,665X^3 = 0$$

Berdasarkan perhitungan diatas di dapatkan nilai X adalah 10,57 dibulatkan menjadi 11 meter. Dengan kondisi amblesan yang terjadi di petak jalan antara Stasiun Gilas – Stasiun Sepancar KM 206+248 – 206+305 maka kedalaman Bore Pile dari muka tanah adalah 11 + 3 adalah 14 meter.

e. Menghitung kapasitas daya dukung *bore pile*

$$\text{Diameter (D)} = 0,8 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Keliling (P)} &= \pi \cdot D \\ &= 3,14 \cdot 0,8 \\ &= 2,512 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas bore pile (Ap)} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,8)^2 \\ &= 0,502 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

a. Untuk lapisan tanah (0-3 m) tanah kohesif

Diketahui $C = 2 \text{ ton/m}^2$

$q_p = 9 \cdot C$ $= 9 \cdot 2$ $= 18 \text{ ton/m}^2$ Maka tahanan ujung tiang persatuan luas adalah 18 ton/m ²	$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$ $= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,8)^2$ $= 0,502 \text{ m}^2$ Maka luas penampang tiang bor adalah 0,502 m ²
--	--

$$\begin{aligned} Q_p &= q_p \cdot A_p \\ &= 18 \cdot 0,502 \\ &= 9,043 \text{ ton} \end{aligned}$$

Maka daya dukung ujung tiang pada lapis pertama adalah 9,043 ton

Daya dukung selimut:

$f = \alpha \cdot C$ $= 0,55 \cdot 2$ $= 1,1 \text{ ton/m}^2$ Maka tahanan satuan skin friction adalah 1,1 ton/m ²	$Q_s = f \cdot L \cdot P$ $= 1,1 \cdot 3 \cdot 2,512$ $= 8,289 \text{ ton}$	$Q_u = Q_p + Q_s$ $= 9,043 + 8,289$ $= 17,332 \text{ ton}$
---	---	--

	Maka daya dukung selimut tiang adalah 8,289 ton	Maka kapasitas daya dukung ultimit tiang adalah 17,332 ton
--	---	--

b. Untuk lapisan tanah (3 -5 m) tanah kohesif, $C = 2 \text{ ton/m}^2$

$q_p = 9 \cdot C$ $= 9 \cdot 2$ $= 18 \text{ ton/m}^2$ Maka tahanan ujung tiang persatuan luas adalah 18 ton/m ²	$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$ $= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,8)^2$ $= 0,502 \text{ m}^2$ Maka luas penampang tiang bor adalah 0,502 m ²
--	---

$$Q_p = q_p \cdot A_p$$

$$= 18 \cdot 0,502$$

$$= 9,043 \text{ ton}$$

Maka daya dukung ujung tiang pada lapis kedua adalah 9,043 ton

Daya dukung selimut:

$f = \alpha \cdot C$ $= 0,55 \cdot 2$ $= 1,1 \text{ ton/m}^2$ Maka tahanan satuan skin friction adalah 1,1 ton/m ²	$Q_s = f \cdot L \cdot P$ $= 1,1 \cdot 2 \cdot 2,512$ $= 5,526 \text{ ton}$ Maka daya dukung selimut tiang adalah 5,526 ton	$Q_u = Q_p + Q_s$ $= 9,043 + 5,526$ $= 14,569 \text{ ton}$ Maka kapasitas daya dukung ultimit tiang adalah 14,569 ton
--	--	--

c. Untuk lapisan tanah (5-9 m) tanah non kohesif, $N = 52$

$q_p = 7N \cdot A_p$ $= 7 \cdot 52 \cdot 0,502$ $= 182,73 \text{ ton/m}^2$	$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$ $= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,8)^2$ $= 0,502 \text{ m}^2$ Maka luas penampang tiang bor adalah 0,502 m ²
--	---

	Maka tahanan ujung tiang persatuan luas adalah 182,73 ton/m ²		
--	--	--	--

$$\begin{aligned}
 Q_p &= q_p \cdot A_p \\
 &= 182,73 \cdot 0,502 \\
 &= 91,73 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Maka daya dukung ujung tiang pada lapis ketiga adalah 91,73 ton

$f = 0,32 \cdot N$ $= 0,32 \cdot 52$ $= 16,64 \text{ ton/m}^2$ Maka tahanan satuan skin friction adalah 16,64 ton/m ²	$Q_s = f \cdot L \cdot P$ $= 16,64 \cdot 4 \cdot 2,512$ $= 167,19 \text{ ton}$ Maka daya dukung selimut tiang adalah 167,19 ton	$Q_u = Q_p + Q_s$ $= 91,73 + 167,19$ $= 258,91 \text{ ton}$ Maka kapasitas daya dukung ultimit tiang adalah 258,91 ton
---	--	---

d. Untuk lapisan tanah (9-14 m) tanah non kohesif

$q_p = 7N \cdot A_p$ $= 7 \cdot 60 \cdot 0,502$ $= 210,84 \text{ ton/m}^2$ Maka tahanan ujung tiang persatuan luas adalah 210,84 ton/m ²	$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$ $= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,8)^2$ $= 0,502 \text{ m}^2$ Maka luas penampang tiang bor adalah 0,502 m ²
--	---

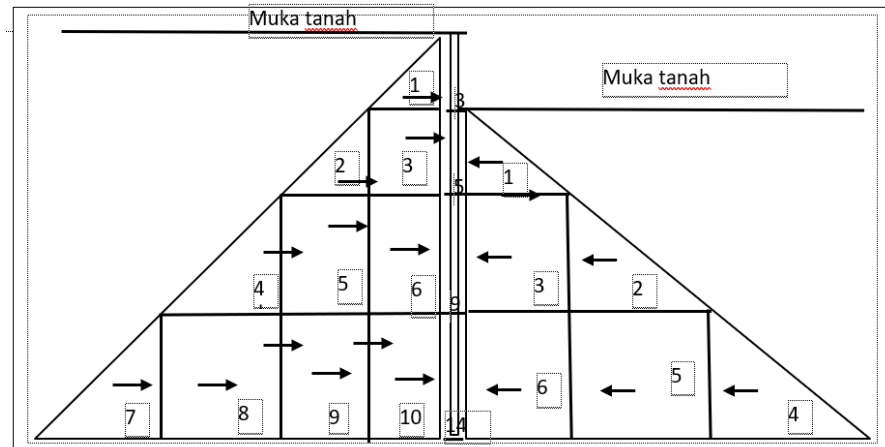
$$\begin{aligned}
 Q_p &= q_p \cdot A_p \\
 &= 210,84 \cdot 0,502 \\
 &= 105,84 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Maka daya dukung ujung tiang pada lapis keempat adalah 105,84 ton

$f = \left(\frac{N-53}{450} \right) \times \left(\frac{1}{0,3048^2} \right)$ $= \left(\frac{60-53}{450} \right) \times \left(\frac{1}{0,3048^2} \right)$ $= 0,1674 \text{ ton/m}^2$	$Q_s = f \cdot L \cdot P$ $= 0,1674 \cdot 4 \cdot 2,512$ $= 2,097 \text{ ton}$ Maka daya dukung selimut tiang adalah 2,097 ton	$Q_u = Q_p + Q_s$ $= 91,73 + 167,19$ $= 221,946 \text{ ton}$ Maka kapasitas daya dukung ultimit tiang adalah 221,946 ton
---	---	---

Maka tahanan satuan skin friction adalah 0,1674 ton/m ²		
--	--	--

f. Perhitungan tekanan tanah aktif dan tanah pasif



Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2023

Gambar V. 18 Tekanan tanah aktif dan pasif

$$\begin{aligned}
 Pa1 &= \frac{1}{2} \cdot ka1 \cdot Y1 \cdot H1^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 0,755 \cdot 1,35 \cdot 3^2 \\
 &= 4,587 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

Maka tekanan tanah aktif pertama adalah 4,587 ton/m

$$\begin{aligned}
 Pa2 &= \frac{1}{2} \cdot ka2 \cdot Y2 \cdot H2^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 0,421 \cdot 1,35 \cdot 2^2 \\
 &= 1,137 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

Maka tekanan tanah aktif kedua adalah 1,137 ton/m

$$\begin{aligned}
 Pa3 &= ka2 \cdot Y3 \cdot H1^2 \\
 &= 0,421 \cdot 1,35 \cdot 3^2 \\
 &= 5,115 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

Maka tekanan tanah aktif ketiga adalah 5,115 ton/m

$$\begin{aligned}
 Pp1 &= \frac{1}{2} \cdot kp2 \cdot Y2 \cdot H2^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1,716 \cdot 1,35 \cdot 2^2 \\
 &= 4,633 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

Maka tekanan tanah pasif pertama adalah 4,633 ton/m

$$\begin{aligned}
 Pp2 &= \frac{1}{2} \cdot kp3 \cdot Y3 \cdot H3^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 3,68 \cdot 1,4 \cdot 4^2 \\
 &= 41,216 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

Maka tekanan tanah pasif kedua adalah 41,216 ton/m

$$\begin{aligned}
 Pp3 &= kp3 \cdot Y2 \cdot H2^2 \\
 &= 3,68 \cdot 1,35 \cdot 2^2 \\
 &= 19,872 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

Maka tekanan tanah pasif ketiga adalah 19,872 ton/m

Pa4 = $\frac{1}{2} \cdot ka3 \cdot Y3 \cdot H3^2$ = $\frac{1}{2} \cdot 0,27 \cdot 1,4 \cdot 4^2$ = 3,024 ton/m Maka tekanan tanah aktif keempat adalah 3,024 ton/m	Pp4 = $\frac{1}{2} \cdot kp4 \cdot Y4 \cdot H4^2$ = $\frac{1}{2} \cdot 4,597 \cdot 1,4 \cdot 5^2$ = 80,44 ton/m Maka tekanan tanah pasif keempat adalah 80,44 ton/m
Pa5 = $ka3 \cdot Y2 \cdot H2^2$ = $0,27 \cdot 1,35 \cdot 2^2$ = 1,458 ton/m Maka tekanan tanah aktif kelima adalah 1,458 ton/m	Pp5 = $kp4 \cdot Y3 \cdot H3^2$ = $4,597 \cdot 1,4 \cdot 4^2$ = 102,97 ton/m Maka tekanan tanah pasif kelima adalah 102,97 ton/m
Pa6 = $ka3 \cdot Y1 \cdot H1^2$ = $0,27 \cdot 1,35 \cdot 3^2$ = 3,281 ton/m Maka tekanan tanah aktif keenam adalah 3,281 ton/m	Pp6 = $kp4 \cdot Y2 \cdot H2^2$ = $4,597 \cdot 1,35 \cdot 2^2$ = 24,823 ton/m Maka tekanan tanah pasif keenam adalah 24,823 ton/m
Pa7 = $\frac{1}{2} \cdot ka4 \cdot Y4 \cdot H4^2$ = $\frac{1}{2} \cdot 0,217 \cdot 1,4 \cdot 5^2$ = 3,79 ton/m Maka tekanan tanah aktif ketujuh adalah 3,79 ton/m	
Pa8 = $ka4 \cdot Y3 \cdot H3^2$ = $0,217 \cdot 1,4 \cdot 4^2$ = 4,861 ton/m Maka tekanan tanah aktif kedelapan adalah 4,861 ton/m	
Pa9 = $ka4 \cdot Y2 \cdot H2^2$ = $0,217 \cdot 1,35 \cdot 2^2$ = 1,172 ton/m Maka tekanan tanah aktif kesembilan adalah 1,172 ton/m	
Pa10 = $ka4 \cdot Y1 \cdot H1^2$ = $0,217 \cdot 1,35 \cdot 3^2$	

$$= 2,637 \text{ ton/m}$$

Maka tekanan tanah aktif

kesepuluh adalah 2,637 ton/m

$$\begin{aligned}\Sigma Pa &= Pa1 + Pa2 + Pa3 + Pa4 + Pa5 + Pa6 + Pa7 + Pa8 + Pa9 + Pa10 \\ &= 4,586 + 1,136 + 5,115 + 3,024 + 1,458 + 3,281 + 3,79 + 4,861 + 1,172 + \\ &\quad 2,637 \\ &= 31,062 \text{ ton}\end{aligned}$$

Maka jumlah tekanan aktif keseluruhan adalah 31,062 ton

$$\begin{aligned}Pa \text{ air} &= \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot h_w \cdot K_w \\ &= \frac{1}{2} \cdot 9,8 \cdot 14 \cdot 1 \\ &= 68,8 \text{ KN} \\ &= 6,88 \text{ ton}\end{aligned}$$

Maka tekanan air pada tanah aktif adalah 6,88 ton

$$\begin{aligned}Pa \text{ total} &= \Sigma Pa + Pa \text{ air} \\ &= 31,062 + 6,88 \\ &= 37,942 \text{ ton/m}\end{aligned}$$

Maka tekanan tanah aktif total yaitu jumlah tekanan tanah aktif keseluruhan ditambah dengan tekanan air adalah 37,942 ton/m

$$\Sigma Pp = Pp1 + Pp2 + Pp3 + Pp4 + Pp5 + Pp6 = 333,47 \text{ ton}$$

Maka jumlah tekanan tanah pasif keseluruhan adalah 333,47 ton

$$\begin{aligned}Pp \text{ air} &= \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot h_w \cdot K_w \\ &= \frac{1}{2} \cdot 9,8 \cdot 11 \cdot 1 \\ &= 53,9 \text{ KN} \\ &= 5,39 \text{ ton}\end{aligned}$$

Maka tekanan air pada tanah pasif adalah 5,39 ton

$$\begin{aligned}Pp \text{ total} &= \Sigma Pp + Pp \text{ air} \\ &= 333,47 + 5,39 \\ &= 338,86 \text{ ton/m}\end{aligned}$$

Maka tekanan tanah pasif total yaitu jumlah tekanan tanah pasif keseluruhan ditambah dengan tekanan air adalah 338,86 ton/m

g. Titik berat tekanan tanah aktif

$$\begin{aligned}Xa1 &= (1/3 \cdot H1) + Hx \\ &= (1/3 \cdot 3) + 11 \\ &= 12 \text{ m}\end{aligned}$$

Maka titik berat tanah aktif pertama adalah 12 m

$$\begin{aligned} X_{a2} &= (1/3 \cdot H_2) + H_x \\ &= (1/3 \cdot 2) + 9 \\ &= 9,76 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka titik berat tanah aktif kedua adalah 9,76 m

$$\begin{aligned} X_{a3} &= (1/2 \cdot H_2) + H_x \\ &= (1/2 \cdot 2) + 9 \\ &= 10 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka titik berat tanah aktif ketiga adalah 10 m

$$\begin{aligned} X_{a4} &= (1/3 \cdot H_2) + H_x \\ &= (1/3 \cdot 2) + 5 \\ &= 5,33 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka titik berat tanah aktif keempat adalah 5,33 m

$$\begin{aligned} X_{a5} &= (1/2 \cdot H_3) + H_x \\ &= (1/2 \cdot 4) + 5 \\ &= 7 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka titik berat tanah aktif kelima adalah 7 m

$$\begin{aligned} X_{a6} &= (1/2 \cdot H_3) + H_x \\ &= (1/2 \cdot 4) + 5 \\ &= 7 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka titik berat tanah aktif keenam adalah 7 m

$$\begin{aligned} X_{a7} &= (1/3 \cdot H_4) + H_x \\ &= (1/3 \cdot 5) + 0 \\ &= 1,6 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka titik berat tanah aktif ketujuh adalah 1,6 m

$$\begin{aligned} X_{a8} &= (1/2 \cdot H_4) + H_x \\ &= (1/2 \cdot 5) + 0 \\ &= 2,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka titik berat tanah aktif kedelapan adalah 2,5 m

$$\begin{aligned} X_{a9} &= (1/2 \cdot H_4) + H_x \\ &= (1/2 \cdot 5) + 0 \\ &= 2,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka titik berat tanah aktif kesembilan adalah 2,5 m

$$X_{a10} = (1/2 \cdot H_4) + H_x$$

$$= (1/2 \cdot 5) + 0$$

$$= 2,5 \text{ m}$$

Maka titik berat tanah aktif kesepuluh adalah 2,5 m

$$\bar{x}Pa = \frac{(Pa1 \cdot Xa1 + Pa2 \cdot Xa2 + Pa3 \cdot Xa3 + Pa4 \cdot Xa4 + \dots + Pa10 \cdot Xa10)}{\Sigma Pa}$$

$$= \left(\frac{194,218}{31,062} \right)$$

$$= 6,25 \text{ meter}$$

Maka titik berat tekanan tanah aktif adalah 6,25 meter Dari dasar tanah

h. Titik berat tekanan tanah pasif

$$Xp1 = (1/3 \cdot H2) + Hx$$

$$= (1/3 \cdot 2) + 9$$

$$= 9,67 \text{ m}$$

Maka titik berat tanah pasif pertama adalah

$$9,67 \text{ m}$$

$$Xp2 = (1/3 \cdot H3) + Hx$$

$$= (1/3 \cdot 4) + 5$$

$$= 6,33 \text{ m}$$

Maka titik berat tanah pasif kedua adalah 6,33

m

$$Xp3 = (1/2 \cdot H3) + Hx$$

$$= (1/2 \cdot 4) + 5$$

$$= 7 \text{ m}$$

Maka titik berat tanah pasif ketiga adalah 7 m

$$Xp4 = (1/3 \cdot H4) + Hx$$

$$= (1/3 \cdot 5) + 0$$

$$= 1,6 \text{ m}$$

Maka titik berat tanah pasif keempat adalah 1,6

m

$$Xp5 = (1/2 \cdot H4) + Hx$$

$$= (1/2 \cdot 5) + 0$$

$$= 2,5 \text{ m}$$

Maka titik berat tanah pasif kelima adalah 2,5 m

$$\begin{aligned} X_{p6} &= (1/2 \cdot H_3) + H_x \\ &= (1/2 \cdot 5) + 0 \\ &= 2,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka titik berat tanah pasif keenam adalah 2,5 m

$$\begin{aligned} \bar{x}_{Pp} &= \frac{(P_{p1} \cdot X_{p1} + P_{p2} \cdot X_{p2} + P_{p3} \cdot X_{p3} + P_{p4} \cdot X_{p4} + \dots + P_{p10} \cdot X_{p10})}{\Sigma P_p} \\ &= \left(\frac{1309,983}{333,47} \right) \\ &= 3,93 \text{ meter} \end{aligned}$$

Maka titik berat tekanan tanah pasif dari kedalaman tanah dasar adalah 3,93 meter

i. Momen pada tekanan tanah aktif dan tanah pasif

$$M_{Pa} = \bar{x}_{Pa} \cdot P_a$$

$$\begin{aligned} &= 6,25 \cdot 31,062 \\ &= 194,137 \end{aligned}$$

Maka momen tekanan tanah aktif adalah 194,137

$$M_{Pp} = \bar{x}_{Pp} \cdot P_p$$

$$\begin{aligned} &= 3,928 \cdot 333,46 \\ &= 1.309,854 \end{aligned}$$

Maka momen tekanan tanah aktif adalah 1.309,854

j. Stabilitas terhadap geser

$$\begin{aligned} &= \frac{\Sigma P_p}{\Sigma P_a} \\ SF &= \frac{338,86}{37,942} \end{aligned}$$

$$= 8,93 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

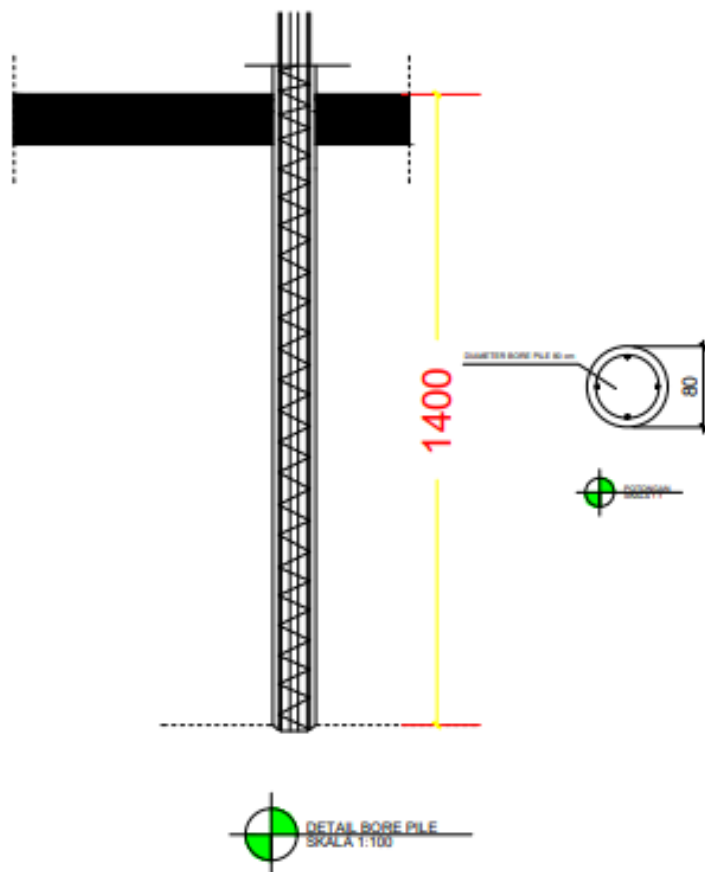
Maka stabilitas terhadap geser adalah 8,93 stabilitas tersebut dalam keadaan stabil.

k. Stabilitas terhadap guling

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{MPp}{MPa} \\
 &= \frac{1.309,85}{194,137} \\
 &= 6,751 \geq 2 \text{ (aman)}
 \end{aligned}$$

Maka stabilitas terhadap guling adalah 6,751 stabilitas tersebut dalam keadaan stabil.

Dari analisis perhitungan stabilitas dinding penahan tanah jenis Bore Pile diperoleh nilai tekanan aktif sebesar 31,062 ton/m² dan nilai tekanan pasifnya sebesar 333,47 ton/m². dengan titik berat (resultan) tekanan tanah aktif sebesar 6,25 meter dari dasar dinding penahan tanah, sedangkan titik berat tekanan tanah pasif sebesar 3,93 meter dari dasar dinding penahan tanah.



Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2023

Gambar V. 19 Desain Bronjong