

ANALISIS STABILITAS PONDASI *BORE PILE* SEBAGAI *RETAINING WALL* PADA UNDERPASS BEURAWE BANDA ACEH

Anne Novia Duana Siregar¹, Yuhanis Yunus², Faisal Abdullah³

¹Mahasiswa, Program Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Jl. Banda Aceh-Medan Km.280 Buketrata,

Email: annenovia.siregar@yahoo.com

²Dosen, Program Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Jl. Banda Aceh-Medan Km.280 Buketrata,

Email: yunusyuhanis@gmail.com

²Dosen, Program Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Jl. Banda Aceh-Medan Km.280 Buketrata,

Email: faisal011065@yahoo.com

ABSTRAK

Underpass Beurawe Banda Aceh mempunyai panjang 203 meter, tinggi 5,1 meter, dan lebar 10,4 meter. Pondasi dari *Underpass* tertutup dengan panjang 35 meter menggunakan pondasi *bore pile* dengan kedalaman 35,4 meter dan diameter 0,8 meter menjadi fokus dari penulisan ini. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisis terhadap stabilitas pondasi *bore pile* yang dilakukan melalui analisis beban konstruksi, daya dukung tanah, daya dukung material konstruksi pondasi, stabilitas terhadap geser dan penurunan pondasi *bore pile*. Hasil perhitungan didapat bahwa daya dukung tanah terhadap pondasi *bore pile* tunggal sebesar 183,32 ton dengan beban yang dipikul sebesar 120,94 ton. Untuk daya dukung tanah terhadap pondasi *bore pile* kelompok sebesar 4019,25 ton dengan beban yang dipikul sebesar 3507 ton. Besarnya daya dukung terhadap kemampuan material pondasi *bore pile* tunggal sebesar 1486 ton dengan beban gaya vertikal yang bekerja hanya sebesar 120,94 ton. Untuk daya dukung material terhadap gaya horizontal yang diterima pondasi *bore pile* tunggal sebesar 122,44 ton dengan beban gaya horizontal yang bekerja hanya sebesar 47,11 ton. Untuk stabilitas terhadap pergeseran yang bekerja sebesar 0,11 meter, sedangkan pergeseran maksimum yang diizinkan 0,19 meter dan momen maksimum yang diizinkan sebesar 8701,23 ton.m, sedangkan momen yang bekerja hanya 143,13 ton.meter. Stabilitas terhadap penurunan sebesar 4,18 mm sedangkan batas normal penurunan sebesar 8 mm. Berdasarkan hasil yang didapat memperlihatkan bahwa stabilitas konstruksi pondasi tipe *bore pile* yang digunakan pada *Underpass* Beurawe aman dalam mendukung seluruh beban yang bekerja pada pondasi *bore pile*.

Kata kunci: *Retaining Wall*, Pondasi *Bore Pile*, Daya Dukung, Stabilitas, *Underpass*

I. PENDAHULUAN

Pembangunan *Underpass* Beurawe merupakan salah satu upaya untuk mengatasi pesatnya lalu lintas pada Simpang Beurawe. Pada bagian dinding penahan tanah (*retaining wall*) pada *Underpass* haruslah benar-benar berdasarkan perhitungan kestabilan dan faktor keselamatan karena kesalahan yang terjadi dalam pembangunan *retaining wall* dapat berakibat fatal, seperti kerugian harta dan korban jiwa. Pada *Underpass Beurawe*, *retaining wall* bersatu dengan pondasi *bore pile*. Lapisan yang ada pada *retaining wall* yaitu pondasi *bore pile* itu sendiri lalu adanya beton penutup *bore pile* dan terakhir diberi *Precast Panel* (lapisan penutup *retaining wall*). Analisis ini mengambil tinjauan data tanah area *Deep Boring* dari salah satu titik, yaitu titik DB3. Alasan pemilihan titik DB3 karena lokasi titik tersebut lebih dekat dengan lokasi *underpass*, selain itu N-SPT pada titik DB3 (kedalaman 35,40 meter) nilainya 25 dan lebih kecil dari N-SPT titik DB1 (kedalaman 35,40 meter) nilainya 53. Dengan nilai N-SPT yang lebih kecil tersebut membuktikan bahwa tanah pada titik DB3 lebih kritis dari tanah pada titik DB1.

Rumusan masalah yang diambil dalam Tugas Akhir ini adalah menganalisis stabilitas pondasi *bore pile* terhadap daya dukung tanah, daya dukung material, stabilitas terhadap pergeseran (*defleksi lateral*), dan stabilitas terhadap penurunan (*settlement*) pada *Underpass* Beurawe Banda Aceh.

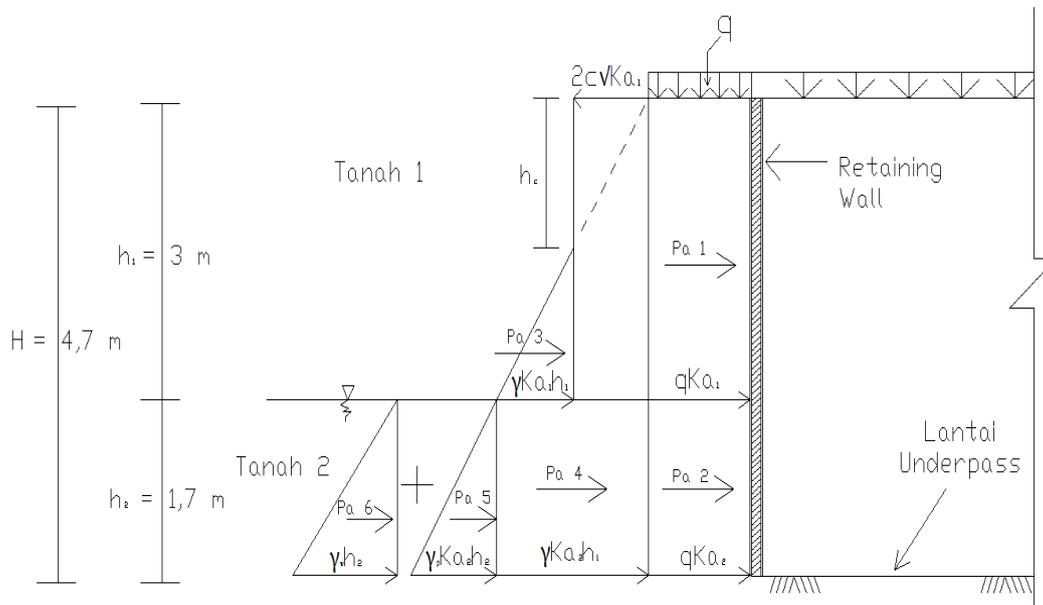
Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah menganalisis dan juga memberikan gambaran mengenai stabilitas daya dukung tanah, daya dukung material, stabilitas terhadap pergeseran (*defleksi lateral*) dan penurunan (*settlement*) pada *Underpass* Beurawe Banda Aceh. Adapun ruang lingkup Tugas Akhir ini adalah:

- Pada analisis ini memfokuskan analisis pada bagian *Underpass* tertutup.
- Data tanah yang digunakan adalah hasil pengujian tanah oleh Titik Utama Agung, PT. Digunakan data hasil borelog dan data Laboratorium pada titik DB3.
- Analisis pembebanan mengacu pada Standar Pembebanan Untuk Jembatan (RSNI T-02-2005).
- Perataan beban pada portal *Underpass* Beurawe menggunakan metode *Cross*.
- Untuk analisis daya dukung pondasi yaitu ditinjau pada pondasi *primary pile* (pondasi yang menggunakan tulangan) dengan kedalaman 29,50 meter.

II. METODOLOGI

Untuk melakukan analisis stabilitas pondasi *bore pile* sebagai *retaining wall* pada *Underpass* Beurawe, dilakukan pengumpulan data pada PPK 01 Satker Pelaksanaan Jalan Nasional yang terletak di kota Banda Aceh. Pengumpulan data berupa data sekunder yaitu gambar struktur proyek, data penyelidikan tanah yakni hasil *Bor Log*, dan *Standard Penetration Test* (SPT). Perhitungan akan didasari dari beberapa analisis sebagai berikut, yaitu:

- Analisis Pembebanan Pada *Retaining Wall*



Gambar 1. Beban-bekan yang bekerja pada *retaining wall*

Keterangan:

- h_1 = Tinggi dasar permukaan jalan ke permukaan air sungai
- h_2 = Tinggi permukaan air sungai ke dasar *retaining wall*
- H = Tinggi *retaining wall*
- q = Beban terbagi rata pada jalan setelah melewati *Underpass*
- $Pa\ 1$ = Tekanan tanah aktif akibat beban q
- $Pa\ 2$ = Tekanan tanah aktif akibat penurunan beban q
- $Pa\ 3$ = Tekanan tanah aktif akibat $\gamma_1 \cdot H_1$
- $Pa\ 4$ = Tekanan tanah aktif akibat $\gamma_1 \cdot H_2$
- $Pa\ 5$ = Tekanan tanah aktif akibat $\gamma_2 \cdot H_2$
- $Pa\ 6$ = Tekanan tanah aktif akibat γ_w

1. Beban pada arah vertikal (P)

Dalam analisa pembebanan digunakan pedoman sebagai standard pembebanan yaitu Standard Pembebanan untuk Jembatan RSNI T-02-2005. Pembebanan yang ada dibagi menjadi dua bagian, yaitu:

- Beban Primer,

Terdiri dari beban mati (*Dead Load*): untuk perhitungan beban mati terbagi atas dua bagian diantaranya: berat struktur atas (*Upper Structure*) meliputi beton sandaran, berat aspal, plat lantai kendaraan, girder, dst. Berat struktur bawah meliputi berat dinding penahan tanah, berat aspal, plat lantai kendaraan, precast panel, serta berat pondasi itu sendiri. Sedangkan Beban Hidup (*Live Load*): adalah beban lalu lintas yang bekerja pada struktur *underpass*, meliputi: Beban Terbagi Rata (UDL) dan Beban Garis (KEL).

- Beban Sekunder

Terdiri dari beban angin, beban gempa, dan beban rem. Untuk beban angin dihitung dengan menentukan koefisien seret (C_w), selanjutnya menentukan kecepatan rencana angin (V_w), dan terakhir didapat beban angin. Beban gempa dihitung dengan terlebih dahulu menentukan berat struktur jembatan, selanjutnya penentuan zona wilayah gempa sesuai dengan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk jembatan (SNI-2833-2008). Beban rem yang bekerja pada *underpass* dapat dihitung dengan anggapan bahwa gaya rem bekerja horizontal arah sumbu *underpass* dengan titik tangkap 1.8 m diatas permukaan lantai.

- Kombinasi Pembebanan

Setelah semua beban diperoleh, selanjutnya dapat dilakukan kombinasi pembebanan yang mengacu pada standard pembebanan untuk jembatan (RSNI T-02-2005).

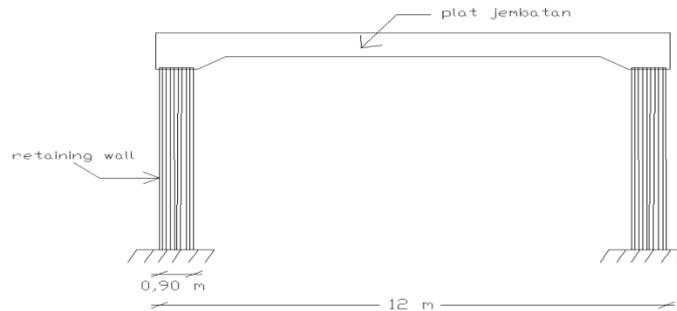
2. Beban pada arah horizontal (V)

Beban yang bekerja pada arah horizontal yaitu tekanan tanah aktif saja karena bagian sebelah lagi kosong yang merupakan jalan lintasan *underpass*. Pada *Underpass* Beurawe terdapat beban terbagi rata yang berada di atas *Underpass* tersebut, maka untuk hal ini perlu adanya penambahan tekanan tanah aktif.

3. Perataan beban

Portal *underpass* ini memiliki beban dari arah vertikal dan juga beban horizontal. Maka, untuk perataan bebannya digunakan perhitungan dengan Metode *Cross* yang pada

akhirnya akan didapat hasil beban vertikal, horizontal, dan momen yang ditahan oleh satu pondasi *bore pile* yang menggunakan tulangan (*primary pile*).



Gambar 2. Bentuk portal *underpass*

B. Analisis Pembebanan Pada Pondasi Bore Pile

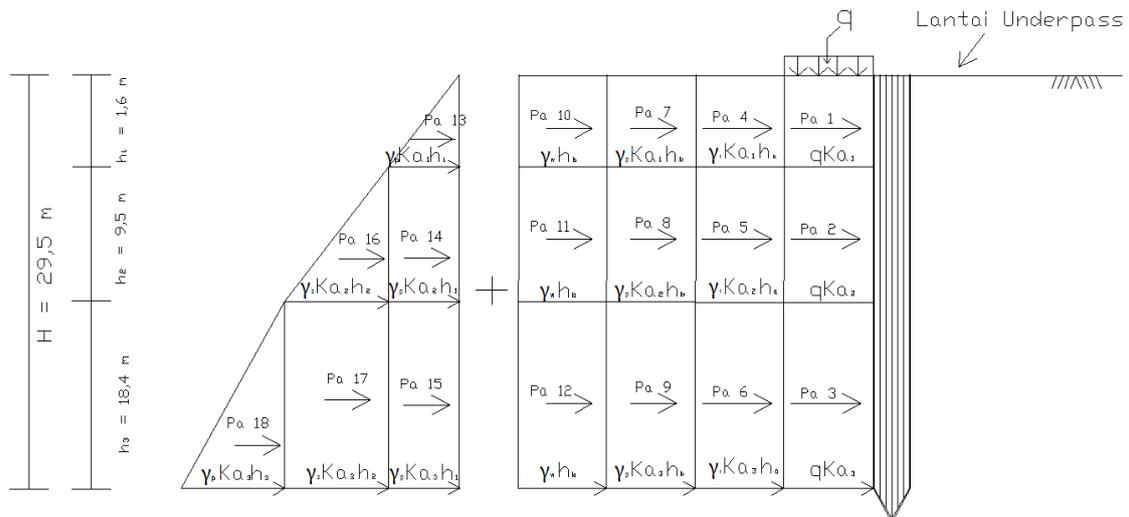
Pembebanan pada pondasi *bore pile* ini meliputi pembebanan akibat berat lantai *underpass* itu sendiri, lalu tekanan tanah aktif yang berada di sebelah kiri pondasi *bore pile* dan tekanan tanah pasif yang berada di sebelah kanan pondasi *bore pile*.

1. Beban Pada Lantai Underpass

Beban pada lantai *underpass* meliputi: Plat lantai *underpass* yang terdiri dari lapisan AC-WC, lapisan rigid pavement, lapisan lean concrete, dan lapisan LPA kelas A. Trotoar *underpass*. Berat air hujan. Dan berat kendaraan yang melintasi *underpass*.

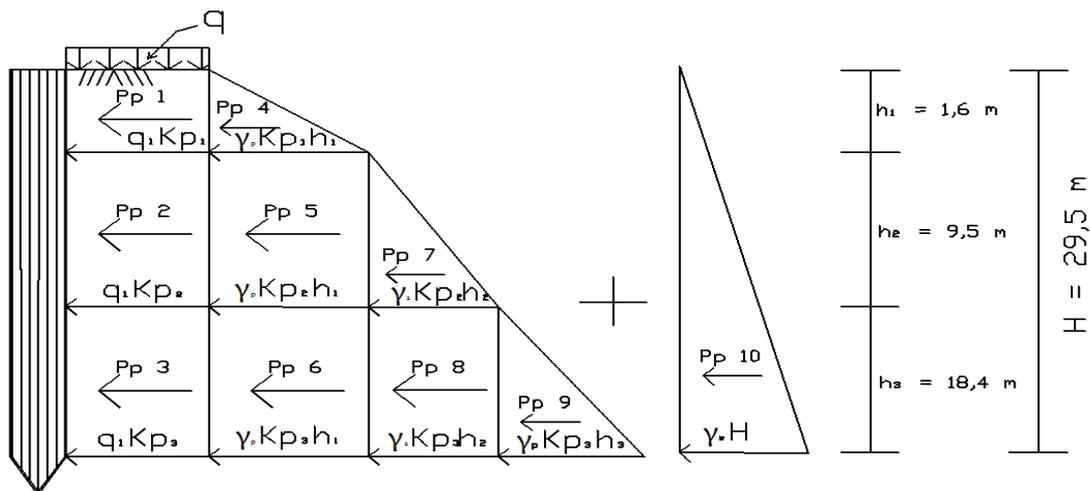
2. Tekanan Tanah Aktif

Tekanan tanah pada pondasi berada dibawah muka air tanah, maka berat jenis tanahnya merupakan γ_{sub} (γ basah). Untuk uraian tekanan tanah aktif yang timbul pada pondasi *bore pile* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Tekanan tanah aktif yang timbul pada pondasi *bore pile underpass*

3. Tekanan Tanah Pasif



Gambar 4. Tekanan tanah pasif yang timbul pada pondasi *bore pile underpass*

C. Analisis Daya Dukung Tanah

Dalam menganalisis daya dukung tanah untuk pondasi *bore pile* daya dukung yang perlu dihitung, yaitu:

1. Daya Dukung Pondasi Bore Pile Tunggal

Untuk menganalisis daya dukung tanah untuk pondasi *bore pile* tunggal yang ditinjau yaitu pada daya dukung ijin tekan (*Downward Capacity*). Daya dukung ijin tekan menggunakan data N-SPT pada titik DB3, dengan menggunakan metode α dan β .

2. Daya Dukung Pondasi Bore Pile Kelompok

Dalam menganalisis daya dukung pondasi *bore pile* kelompok yang perlu dihitung yaitu penentuan jumlah tiang *bore pile* yang diperlukan, efisiensi kelompok tiang, dan terakhir daya dukung pondasi *bore pile* kelompok.

- Penentuan Jumlah Tiang *Bore pile* yang diperlukan

Dalam menentukan jumlah tiang *bore pile* yang diperlukan tentu berkaitan dengan beban yang akan dipikul oleh pondasi *bore pile* tersebut dan besaran daya dukung untuk setiap tiang tunggal pondasi.

- Efisiensi Kelompok Tiang

Pengurangan daya dukung kelompok tiang yang disebabkan oleh *group action* disebut angka efisiensi.

- Daya Dukung Pondasi *Bore Pile* Kelompok

Daya dukung pondasi *bore pile* kelompok merupakan kemampuan *bore pile* dalam memikul beban secara berkelompok.

D. Analisis Daya Dukung Material

Menurut buku *Foundation Design Principles and Practices*, Donald P. Coduto dengan menggunakan metode ACI perhitungan kekuatan daya dukung material untuk gaya horizontal dan vertikal pada *retaining wall* dapat dihitung. Daya dukung material untuk gaya vertikal dan juga horizontal yang telah didapat dari perataan beban dengan menggunakan metode *Cross* pada perhitungan analisis pembebanan *retaining wall* tentunya harus lebih kecil dari gaya vertikal dan gaya horizontal yang mendukung.

E. Analisis Stabilitas Pondasi *Bore Pile*

Dalam menganalisis stabilitas pondasi *bore pile* yang akan ditinjau yaitu stabilitas terhadap:

1. Stabilitas Terhadap Pergeseran

Gaya tanah aktif selain menimbulkan terjadinya momen juga menimbulkan gaya dorong sehingga pondasi akan bergeser. Perlawanan terhadap gaya dorong ini terjadi pada bidang kontak antara tanah dengan dasar pondasi.

2. Penurunan Pondasi *Bore Pile* (*Settlement*)

Penurunan pondasi *bore pile* kelompok terjadi akibat beban yang bekerja pada pondasi tersebut, selain pembebanan, kedalaman pondasi, dan daya dukung tanah juga ikut berperan dalam penurunan pondasi *bore pile* kelompok.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam menganalisis *underpass* Beurawe ini difokuskan pada *underpass* tertutup, karena pada *underpass* tertutup mempunyai beban yang harus dipikul lagi di bagian atasnya. Dari analisis perhitungan yang telah dilakukan, terdapat beberapa poin penting yang mencakup pembebanan struktur, kombinasi pembebanan, daya dukung pondasi *bore pile* hingga stabilitas pondasi *bore pile*. Untuk lebih jelasnya akan ditunjukkan pada subbab dibawah ini:

A. Analisis Pembebanan Pada *Retaining Wall*

1. Pembebanan vertikal

Tabel 1. Hasil pembebanan vertikal

| Pembebanan | No | Jenis Beban | Beban (ton) |
|------------|----|-------------|-------------|
| Primer | 1 | Beban Mati | 1498,02 |
| | 2 | Beban Hidup | 149,91 |
| Sekunder | 3 | Beban Angin | 0,44 |
| | 4 | Beban Gempa | 94,12 |

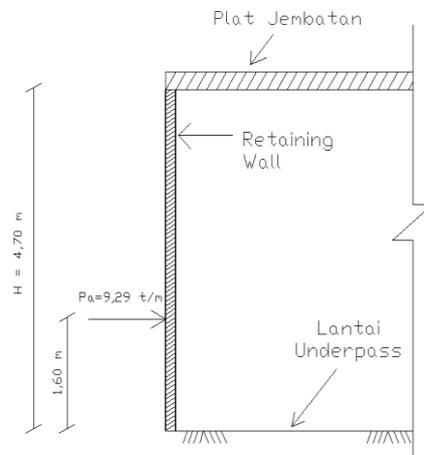
Tabel 2. Hasil kombinasi pembebanan vertikal

| Aksi | Beban (ton) | Kombinasi | | | | | | |
|---------------------|-------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Beban Mati | 1498,02 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Beban Hidup | 149,91 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | - | ✓ |
| Pengaruh Temperatur | 0 | - | ✓ | - | ✓ | - | - | - |
| Arus/Daya Apung | 0 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | - |
| Beban Angin | 0,44 | - | - | ✓ | ✓ | - | - | - |
| Beban Gempa | 94,12 | - | - | - | - | ✓ | - | - |
| Beban Tumbukan | 0 | - | - | - | - | - | - | - |
| Beban Pelaksanaan | 0 | - | - | - | - | - | ✓ | - |
| Tegangan Izin | | 0% | 25% | 25% | 40% | 50% | 30% | 50% |
| Total | | 1647,93 | 2059,91 | 2060,46 | 2307,72 | 2388,21 | 1947,43 | 2471,90 |

Dari semua jenis kombinasi tersebut, kombinasi ke-7 lah yang paling besar, sehingga dalam perencanaan nantinya yang digunakan adalah kombinasi ke-7 dengan total beban sebesar 2471,90 ton.

2. Pembebanan horizontal

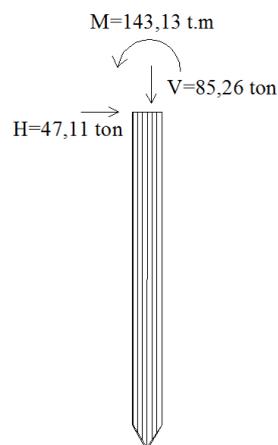
Untuk beban horizontal yang bekerja pada *retaining wall* yaitu hanya tekanan tanah aktif saja (tekanan tanah yang berada di luar *underpass*) karena bagian dalam *underpass* kosong (tanpa tanah) yang digunakan sebagai lantai jalan *underpass*. Total perhitungan tekanan tanah aktif pada *Gambar 1*, diperoleh nilai tekanan tanah aktifnya seperti gambar berikut.



Gambar 5. Letak resultan tanah aktif pada *retaining wall*

3. Perataan beban

Portal pada *Underpass* Beurawe (dapat dilihat pada *Gambar 2*) memikul beban merata vertikal sebesar $14,21 \text{ t/m}^2$ dan beban terpusat horizontal sebesar $9,29 \text{ ton}$. Untuk perataan beban tersebut dihitung dengan menggunakan metode *Cross*, hasil dari perhitungan tersebut maka didapatkan beban pada arah vertikal (bidang N) sebesar $85,26 \text{ ton}$, horizontal (bidang D) sebesar $47,11 \text{ ton}$, dan Momen (bidang M) sebesar $143,13 \text{ ton.m}$. Jadi, ketiga pembebanan tersebut nantinya akan diteruskan dan dipikul oleh pondasi *bore pile*.



Gambar 6. Hasil perataan beban dari metode *Cross*

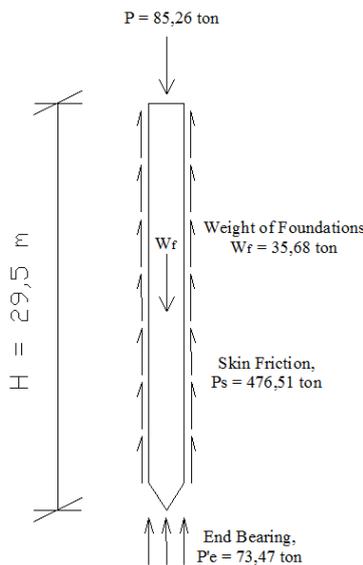
B. Analisis Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah terhadap pondasi *bore pile* tunggal dalam menahan beban aksial yang terjadi dilakukan perhitungan menggunakan Metode α dan β . Bila menggunakan metode ini maka harus diperhatikan terhadap kondisi tanah di setiap lapisan. Untuk

menganalisis daya dukung tanah ini dibedakan antara pondasi *bore pile* tunggal dan pondasi *bore pile* kelompok.

1. Daya dukung pondasi *bore pile* tunggal

Untuk menghitung daya dukung pondasi *bore pile* tunggal pertama yaitu dihitung terhadap daya dukung pada ujung tiang pondasi *bore pile* (*end bearing*) yaitu sebesar 73,47 ton. Selanjutnya dihitung daya dukung dari kulit pondasi *bore pile* (*skin friction*) sebesar 476,51. Total nilai daya dukung pondasi *bore pile* tunggal sebesar 183,32 ton dan telah menggunakan faktor keamanan sebesar 2,5. Dengan nilai daya dukung tersebut, maka pondasi *bore pile* tunggal mampu menahan beban aksial (beban vertikal) yang hanya sebesar 85,26 ton ditambah berat satu tiang pondasi *bore pile* yaitu 35,68 ton, maka total beban aksial yang terjadi sebesar 120,94 ton.



Gambar 7. Daya dukung tanah terhadap beban pondasi *bore pile* tunggal

2. Daya dukung pondasi *bore pile* kelompok

Untuk daya dukung tanah terhadap pondasi *bore pile* kelompok juga mampu menahan gaya aksial kelompok yang terdiri dari 29 tiang. Nilai daya dukung tanah terhadap pondasi *bore pile* kelompok sebesar 4019,25 ton sedangkan nilai beban yang diterima dan berat sendiri dari pondasi *bore pile* kelompok sebesar 3507 ton, maka pondasi *bore pile* kelompok aman dan terbukti di lapangan bahwa *Underpass* Beurawe sudah beroperasi selama kurang lebih tujuh bulan tidak terjadi permasalahan pada *underpass* tersebut.

C. Analisis Daya Dukung Material

1. Daya dukung material untuk gaya vertikal (P_n)

$$\begin{aligned}
 P_n &= \beta \cdot [0,85 \cdot f'_c (A_g - A_s) + A_s \cdot f_y] \\
 &= 0,85 \cdot [0,85 \cdot 350 (5024 - 120,58) + 120,58 \cdot 2400] \\
 &= 1485936 \text{ kg} \\
 &= 1486 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Pada pondasi *bore pile* dengan menggunakan K-350 dan jumlah tulangan 15 buah dalam satu tiang mampu menahan beban dari gaya vertikal (P_n) yang bekerja. Pasalnya

beban dari gaya vertikal (P_n) bekerja sebesar 120,94 ton, sedangkan beton K-350 tersebut mampu menahan beban vertikal hingga 1486 ton. Dengan demikian, beton tersebut sangat mampu menahan beban dari gaya vertikal (P_n) bekerja.

2. Daya dukung material untuk gaya horizontal (V_n)

$$\begin{aligned} V_n &= 0,54 \cdot \sigma_r \cdot A_v \left(1 + \frac{P_u}{144 \cdot A_g \cdot \sigma_r} \right) \sqrt{\frac{f_c}{\sigma_r}} \\ &= 0,54 \cdot 1 \cdot 4772,80 \left(1 + \frac{1114500}{144 \cdot 5024 \cdot 1} \right) \sqrt{\frac{350}{1}} \\ &= 122442 \text{ kg} \\ &= 122,44 \text{ ton} \end{aligned}$$

Untuk daya dukung material terhadap gaya horizontal (V_n) yang bekerja juga dipastikan aman, karena besarnya gaya horizontal yang bekerja hanya 47,11 ton sedangkan daya dukung material mampu menahan beban gaya horizontal sebesar 122,44 ton. Maka, dari hasil analisis daya dukung terhadap material dengan K-350 dan jumlah tulangan sebanyak 15 buah dalam satu tiang terbukti mampu untuk menahan beban dari gaya horizontal (V_n).

D. Analisis Stabilitas Terhadap Pergeseran

1. Pergeseran pondasi *bore pile* (y_t)

Diketahui dari perhitungan metode Cross (*Gambar 6*) didapat nilai gaya lintang sebesar $V = 47,11$ ton yang berada di atas pondasi *bore pile* dan $\varepsilon_{50} = 0,01$ (untuk tanah lempung). Maka dihitung perbandingan nilai gaya lintang (V) tersebut dengan nilai beban geser karakteristik (V_c). $\frac{V}{V_c} = \frac{47,11 \text{ ton}}{632,599 \text{ ton}} = 0,03$. Dengan perbandingan V/V_c maka digunakan kurva beban geser dan momen maksimum (untuk tanah kohesif) dari buku Donald P. Coduto (*Foundation Design, Principles and Practices*).

$$\frac{y_t}{B} = 0,14 \longrightarrow y_t = 0,14 \times B = 0,14 \times 0,80 \text{ m} = 0,11 \text{ m}$$

Jadi, pergeseran yang terjadi pada pondasi *bore pile* yaitu 0,11 m dari letak awal pondasi *bore pile* tersebut. Sedangkan syarat dari pergeseran maksimum untuk *soft clay* sebesar $= 0,04 \times H$ (sumber: buku Donald P. Coduto)

$$\begin{aligned} y_t \text{ max} &= 0,04 \cdot H_{\text{retaining wall}} \\ &= 0,04 \cdot 4,70 \\ &= 0,19 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_t &< y_t \text{ max} \\ 0,11 \text{ m} &< 0,19 \text{ m} \dots\dots \text{ (AMAN)} \end{aligned}$$

2. Momen maksimum pada pondasi *bore pile* (M_{max})

Dengan perbandingan V/V_c dengan M_{max}/M_c maka digunakan kurva beban geser dan momen maksimum (untuk tanah kohesif) dari buku Donald P. Coduto (*Foundation Design, Principles and Practices*). Jadi, momen maksimum yang diizinkan pada pondasi *bore pile* yaitu 8701,23 ton.m. Diketahui dari perhitungan metode Cross pada (*Gambar 6*) didapat nilai momen maksimum yang terjadi sebesar $M = 143,13$ ton.m.

$$\begin{aligned} M &< M_{\text{max}} \\ 143,13 \text{ ton.m} &< 8701,23 \text{ ton.m} \dots\dots \text{ (AMAN)} \end{aligned}$$

E. Analisis Stabilitas Terhadap Penurunan (*Settlement*)

Penurunan pondasi *bore pile* kelompok dihitung menggunakan metode empiris dari *Meyerhof*. Dalam menganalisis penurunan pondasi *bore pile* kelompok terlebih dahulu diperlukan nilai beban tiang grup (P_g) sebesar 2471,90 ton, tekanan ujung ekivalen ($q'e$) yaitu didapat sebesar 78,47 t/m², nilai $N_{60'}$ sebesar 4,54, lebar referensi (Br) sebesar 0,30 meter. Penurunan tiang grup (*settlement*) yaitu sebesar:

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{0.17 \cdot Br \cdot q'e \cdot l \cdot \sqrt{Bg/Br}}{\sigma_r \cdot N_{60'}} \\ &= \frac{0.17 \cdot 0,30 \cdot 78,47 \cdot 0,94 \cdot \sqrt{0,90/0,30}}{1000 \cdot 4,54} \\ &= 0,00418 \text{ m} \\ &= 4,18 \text{ mm}\end{aligned}$$

Menurut pengamatan **Meyerhof** pada buku *Foundation Design, Principles and Practices* (Donald P. Coduto), *settlement* tidak pernah lebih besar dari 0,30 inch (8 mm) dari prediksi perhitungan. Jadi, *settlement* yang terjadi pada grup tiang pondasi *bore pile* di *Underpass* Beurawe: $\delta \leq 8 \text{ mm}$

$$4,18 \text{ mm} \leq 8 \text{ mm} \quad \dots \quad (\text{AMAN})$$

IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis perhitungan dan pembahasan terkait daya dukung dan juga stabilitas pondasi *bore pile* maka kesimpulan yaitu bahwa *Underpass* Beurawe stabil terhadap daya dukung tanah, daya dukung material, stabil terhadap pergeseran dan momen maksimum yang terjadi, dan juga stabil terhadap penurunan (*settlement*).

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E. 1993. *Analisa dan Desain Pondasi*: Edisi Keempat Jilid 2. Erlangga. Jakarta.
- Coduto, Donald P. 2001. *Foundation Design Principles and Practices*. Prentice Hall. New Jersey.
- Craig, R. F., dan Soepandji, S. F. 1987. *Mekanika Tanah*. Edisi Keempat. Erlangga. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung* (SNI 03-2874-2002). Departemen Pekerjaan Umum.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2005. *Standar Pembebanan untuk Jembatan* (RSNI T-02-2005). Departemen Pekerjaan Umum.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2008. *Teknik Pondasi 2 Edisi Ke-4*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Maulidin, Alpin. 2017. *Analisa Stabilitas Pondasi Bored Pile Pada Fly Over Simpang Surabaya Banda Aceh*. Jurusan Teknik Sipil. Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- M. Das, Braja, 1988. *Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Erlangga. Surabaya.
- Sardjono, H.S. 1988. *Pondasi Tiang Pancang Jilid I*. Sinar Jaya Wijaya. Surabaya.