

EVALUASI DAN PENANGANAN GEOTEKNIK PADA JALAN LINGKAR BAWEN – AMBARAWA

Geotechnical Evaluation and Remedial Work of Bawen – Ambarawa Ring Road

MOH. BINTANG KURNIAWAN, ROBI NURWANTO, INDRASTONO DA., BAMBANG PARDOYO

ABSTRAKSI

Sepanjang kurang lebih 800 meter hingga satu kilometer badan jalan Lingkar Bawen – Ambarawa disinyalir berada di atas tanah yang berstruktur lembek/lunak. Salah satu titik dengan kondisi itu tak lain berada dilokasi berdirinya Jembatan Tambakboyo, dimana timbunan oprit jembatan setinggi 11 meter ambles walaupun sudah menggunakan *geotextile* dan cerucuk bambu dan struktur abutmen Jembatan Tambakboyo yang menggunakan pondasi tiang pancang mengalami kemiringan dan terdapat rongga pada balok girder dan kepala abutmen sebesar kurang lebih 20 cm dan penurunan pada oprit sebesar $\pm 3,25$ m.

Tugas akhir ini berisi tentang perhitungan daya dukung dan penurunan tanah dasar pada timbunan oprit jembatan, serta daya dukung tiang pancang dan penurunan tiang pancang yang terjadi di Jembatan Tambakboyo. Perhitungan dalam tugas akhir ini menggunakan cara manual dan dengan cara menggunakan program plaxis. Perhitungan alternatif solusi menggunakan program plaxis dengan cara mengganti struktur abutment pondasi tiang pancang menggunakan struktur abutment pondasi *bore pile*.

Dari perhitungan plaxis didapatkan total *displacement* 1,91 m, penurunan tiang pancang 0,07741 m, penurunan oprit 0,88416 m, SF sebesar 1.1084 untuk struktur abutmen tiang pancang dan total *displacement* 0,71522 m, penurunan *bore pile* 0,00553 m, penurunan oprit 0,39316 m SF sebesar 1.5668 untuk struktur abutment *bore pile*.

Kata kunci : tanah lunak, daya dukung tanah, penurunan tanah, pondasi tiang pancang, pondasi *bore pile*.

ABSTRACT

Approximately along 800 meters to 1 kilometers of Bawen - Ambarawa ring road is alleged built on soft structure soil. One of the location in this condition is the site of bridge Tambakboyo construction, where the 11 meters connection way (oprit) of the bridge collapsed even though has used geotextile and cerucuk bamboo. And abutment structure of Tambakboyo bridge with pile foundation became tilt and was found cavities in the girder beam and head of abutment about 20 centimeters and soil degradation of bridges oprit about $\pm 3,25$ meters.

This Final Project contains about manual calculation of bearing capacity and soil degradation of Bridges oprit that happened in the location and also contains about the calculation using Plaxis program. The alternative solution using Plaxis program is to change the abutment structure from using pile foundation to bore pile foundation.

From the Plaxis Program, for Pile foundation abutment structure is obtained total of displacement about 1.91 meters, pile pondation degradation about 0.07741 meters, oprit degradation about 0,88416 meters, and safety factor (SF) amounted 1.1084. And for Bore Pile Fondation abutment structure is obtained total of displacement about 0.71522 meters, pile pondation degradation about 0.00553 meters, oprit degradation about 0,88416 meters and safety factor (SF) amounted 1.5668.

Key word : Soft soil, bearing capacity, soil degradation, pile foundation, bore pile foundation

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sepanjang lebih kurang 800 meter hingga satu kilometer badan jalan Lingkar Bawen Ambarawa ini disinyalir berada di atas tanah yang berstruktur lembek. Salah satu titik dengan kondisi lembek itu tak lain berada dilokasi berdirinya jembatan Jalan Lingkar Bawen Ambarawa di Tambakrejo yang ambles pada Sabtu, 13 Agustus 2011 lalu. (Sumber: Koran Semarang Metro, 16 Agustus 2011)

Lokasi yang ambles tersebut memanjang kira-kira 75 meter dari jembatan itu ke badan jalan di sisi baratnya jalur arah Ngampin. “Titik ambles tersebut menyebabkan lahan sawah di sisi badan jalan itu menjadi terangkat ke atas”, ungkap Pengawas Lapangan Paket Lingkar Ambarawa dari Binamarga, Suhendi. (Sumber: Koran Semarang Metro, 16 Agustus 2011)

Bapak Suhendi menjelaskan struktur tanah lembek itu lokasinya mulai dari wilayah Bejalen, ke barat melewati sekitar Jembatan Tambakrejo, hingga Tambakboyo. Panjangnya kira-kira satu kilometer. Selain itu kondisi serupa juga ditemui di jalur antara Pojoksari hingga Ngampin. “kabar berkembang, lingkungan itu dulunya Rawa Pening”, lanjutnya. Pihaknya mengakui tidak bisa memungkiri bahwa lokasi Jalan Lingkar Ambarawa tersebut, sebagian memang rawan ambles. (Sumber: Koran Semarang Metro, 16 Agustus 2011)

1.2. Maksud dan Tujuan

Judul tugas akhir ini adalah “Evaluasi Dan Penanganan Geoteknik Pada Jalan Lingkar Bawen – Ambarawa”. Yang mempunyai maksud sebagai berikut :

- a. Mengetahui kemampuan daya dukung tanah, jenis, dan karakteristik tanah dasar yang ada di lapangan.
- b. Mengetahui permasalahan geoteknik apa saja yang ada pada ruas jalan ini.

Tujuan yang hendak dicapai dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah :

- a. Untuk meningkatkan kondisi daya dukung dan kestabilan tanah dasar yang ada di lapangan agar jalan aman dan berfungsi dengan baik.
- b. Untuk memberikan solusi penanganan permasalahan tanah dasar yang sesuai dengan kondisi yang ada sehingga tanah dapat mendukung semua beban yang ada.

1.3. Batasan Masalah

Dalam penulisan tugas akhir ini batasan – batasan yang diberikan adalah sebagai berikut :

- a. Mengevaluasi kegagalan teknis pada proyek pembangunan jalan lingkar Bawen – Ambarawa.
- b. Menganalisis penyebab kegagalan tersebut.
- c. Memberikan penanganan permasalahan tersebut dengan memfokuskan tinjauan geotekniknya saja.
- d. Studi ini menggunakan dua cara perhitungan yaitu cara manual dan cara plaxis.

1.4. Lokasi Proyek

Jalan yang akan dievaluasi yaitu ruas jalur lingkar Bawen – Ambarawa Jawa Tengah. Peta lokasi pekerjaan dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.



Gambar Lokasi Proyek Jalan Lingkar Bawen – Ambarawa

2. STUDI PUSTAKA

2.1. Sistem Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah yang ada mempunyai beberapa versi, hal ini disebabkan karena tanah memiliki sifat-sifat yang bervariasi. Adapun beberapa metode klasifikasi tanah yang ada antara lain:

- Klasifikasi tanah berdasar tekstur.
- Klasifikasi tanah sistem AASHTO
- Klasifikasi tanah sistem USC

2.2. Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah

Daya dukung ultimate (*ultimate bearing capacity*) didefinisikan sebagai beban maksimum persatuan luas dimana tanah masih dapat mendukung beban dengan tanpa mengalami keruntuhan.

Rumus Analisa Terzaghi :

$$q_{ult} = (c \cdot N_c \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} + q \cdot N_q \cdot F_{qs} \cdot F_{qd}) + 0,5 \cdot B \cdot \gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d}$$

$$S_f = \frac{q_{ult}}{q_{beban}}$$

Keterangan :

q = tekanan efektif overbullen

S_f = faktor keamanan ($S_f > 2,5$)

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_q = \frac{a^2}{2 \cos^2(45^\circ + \frac{\phi}{2})}$$

$$a = e^{(0,75 \pi - \frac{\phi}{2}) \tan \phi}$$

$$N_\gamma = \frac{\tan \phi}{2} \left(\frac{Kp \cdot \gamma}{\cos^2 \phi} - 1 \right)$$

$$F_{cs} = 1 + (B/L) \cdot (N_q/N_c)$$

$$F_{qs} = 1 + (B/L) \cdot \tan \phi$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0,4 \cdot (B/L)$$

$$F_{cd} = 1 + 0,4 \cdot (Df/B)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \cdot \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \cdot (Df/B)$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

Tinggi Timbunan Kritis

Dengan definisi bahwa daya dukung ultimate sama dengan beban kerja maksimum dikalikan suatu faktor keamanan, maka tinggi maksimum timbunan yang dapat didirikan tanpa terjadi keruntuhan fondasi dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$H_k = \frac{5,5 \cdot c_u}{\gamma_t}$$

dimana :

H_k = tinggi timbunan kritis (m)

c_u = kuat geser *undrained*

γ = berat isi tanah timbunan (t/m^3)

Daya dukung tiang pancang

Perhitungan kombinasi :

$$P = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y \cdot X_{max}}{n_y \cdot \Sigma x^2} \pm \frac{M_x \cdot Y_{max}}{n_x \cdot \Sigma y^2}$$

Dimana :

V = beban vertikal maksimum

M_x = Momen maksimal yang bekerja arah x

M_y = Momen maksimal yang bekerja arah y

X_{max} = Lengan arah x ke pusat kelompok tiang

Y_{max} = Lengan arah y ke pusat kelompok tiang

n = jumlah tiang pancang
 n_y = jumlah pondasi tiang pancang ke arah y
 n_x = jumlah pondasi tiang pancang ke arah x
 Σy^2 = Jumlah kuadrat dari jarak tiang ke pusat kelompok tiang (arah y)
 Σx^2 = Jumlah kuadrat dari jarak tiang ke pusat kelompok tiang (arah x)
 Syarat : $P_{max} < P_{ull}$

Efisiensi daya dukung tiang gabungan :

$$E = 1 - \emptyset \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n}$$

$$\emptyset = \arctan \frac{D}{S}$$

Dimana :

D = diameter dari tiang

S = jarak antar tiang

n = jumlah kolom dalam susunan tiang

m = jumlah baris

2.3. Penurunan Tanah

Penurunan total adalah jumlah dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi. Bila dinyatakan dalam bentuk persamaan, penurunan total adalah :

$$S = S_i + S_c + S_s$$

dimana :

S = penurunan total

S_i = penurunan segera

S_c = penurunan akibat konsolidasi primer

S_s = penurunan akibat konsolidasi sekunder

Penurunan segera

Dalam menganalisis penurunan segera pada lapisan tanah lunak, digunakan rumus cara De Beer dan Marten (1965) :

$$S_i = \frac{H}{C} \ln \frac{P_o + \Delta p}{P_o}$$

$$\text{dengan } P_o = H \cdot \gamma \text{ dan } C = \frac{1,5 \cdot q_c}{P_o}$$

Keterangan :

H = tebal lapisan tanah

ΔP = tambahan tegangan vertikal

P_o = tegangan tanah

γ = berat volume tanah

q_c = tahanan ujung (*cone resistance*)

Rumus cara Steinbrenner (1934) untuk menghitung penurunan segera, yaitu :

$$S_i = \frac{q \cdot B}{E} \times I_p$$

Keterangan :

B = lebar area pembebanan

I_p = koefisien pengaruh

q = tegangan

E = 4 . q_c

q_c = tahanan ujung (*cone resistance*)

Rumus Terzaghi (1943) dimana penurunan segera pada sudut dari bentuk luasan empat persegi panjang flexibel dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$S_i = \frac{qB}{E} (1 - \mu^2) I_p$$

Keterangan :

B = lebar area pembebanan

I_p = koefisien pengaruh

μ = angka poisson

q = tegangan

E = 4 . q_c

q_c = tahanan ujung (*cone resistance*)

dengan $I_p = (1 - \mu^2) \cdot F_1 + (1 - \mu - 2 \cdot \mu^2) \cdot F_2$

F_1 dan F_2 merupakan nilai koefisien hubungan antara m' dan n' dimana $m' = L/B$ dan $n' = H/B$.

Penurunan konsolidasi primer

Untuk menghitung penurunan akibat konsolidasi tanah primer dapat digunakan rumus :

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_o} \log \left(\frac{P_o + \Delta p}{P_o} \right)$$

Keterangan :

Sc = besar penurunan lapisan tanah akibat konsolidasi

Cc = indeks pemampatan (*compression index*)

H = tebal lapisan tanah

eo = angka pori awal

Po = tekanan efektif rata-rata

Δp = besar penambahan tekanan

Penurunan konsolidasi sekunder

Penurunan konsolidasi sekunder terjadi setelah penurunan konsolidasi primer berhenti. Besarnya penurunan konsolidasi sekunder merupakan fungsi waktu.

$$S_s = \frac{H \cdot C_\alpha}{1 + e} \log \frac{t_{design}}{t_c}$$

Dengan,

$$t_c = \frac{H^2}{C_v} T_{90}$$

Sehingga,

$$t_c = \frac{H^2}{C_v} T_{90} = 0,848 \frac{H^2}{C_v}$$

Keterangan :

Tv = faktor waktu

Cv = koefisien konsolidasi vertikal

H = H lapisan

tc = waktu total untuk konsolidasi

2.4. Penurunan Grup Tiang Pancang

Seperti pada tipe fondasi dangkal/langsung (*shallow footing*), pada fondasi dalam (*deep footing*) ini penurunan (*settlement*) yang terjadi juga sama, yaitu dinyatakan dalam persamaan berikut ini :

$$S_r = S_i + S_c$$

Dimana :

Sr = penurunan total (*total settlement*) fondasi tiang

Si = penurunan segera (*immediate settlement*) fondasi tiang

Sc = penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*) fondasi tiang

Penurunan Segera (Immediate Settlement) Fondasi Tiang

Rumus umum untuk menghitung *immediate settlement* (rumus didasarkan atas elastisitas tanah) adalah :

$$S_i = q_n \cdot 2B \cdot ((1-\mu^2)/E_u) \cdot I_p$$

Dimana :

Si = *immediate settlement* pada pusat dari fondasi grup tiang

qn = tekanan netto fondasi

B = lebar ekivalen dari bentuk fondasi rakit yang flexibel (*foundation flexible raft*)

μ = angka poisson

Ip = Iw = faktor pengaruh

Eu = Es = modulus deformasi yang didapat dari keadaan pembebanan tak berdrainase (*undrained loading consolidation*)

Rumus perhitungan *immediate settlement* lainnya diberikan Janbu et all dalam bentuk penurunan rata-rata (*average settlement*) sebagai berikut :

$$S_i = (\mu_1 \cdot \mu_0 \cdot q_n \cdot B) / E_u$$

Dimana :

Si = besar penurunan seketika rata-rata

μ_1 = fungsi dari H/B dan L/B

μ_0 = fungsi dari D/B dan L/B

Penurunan Konsolidasi (Consolidation Settlement) Fondasi Tiang

Rumus penurunan grup tiang dihitung menggunakan persamaan berikut ini :

$$S_c = \frac{C_c}{1+e_0} \log \left(\frac{P_o + \Delta p}{P_o} \right)$$

Dimana :

Cc = *compression index*

eo = *void ratio*

Po = *effective overburden pressure* pada

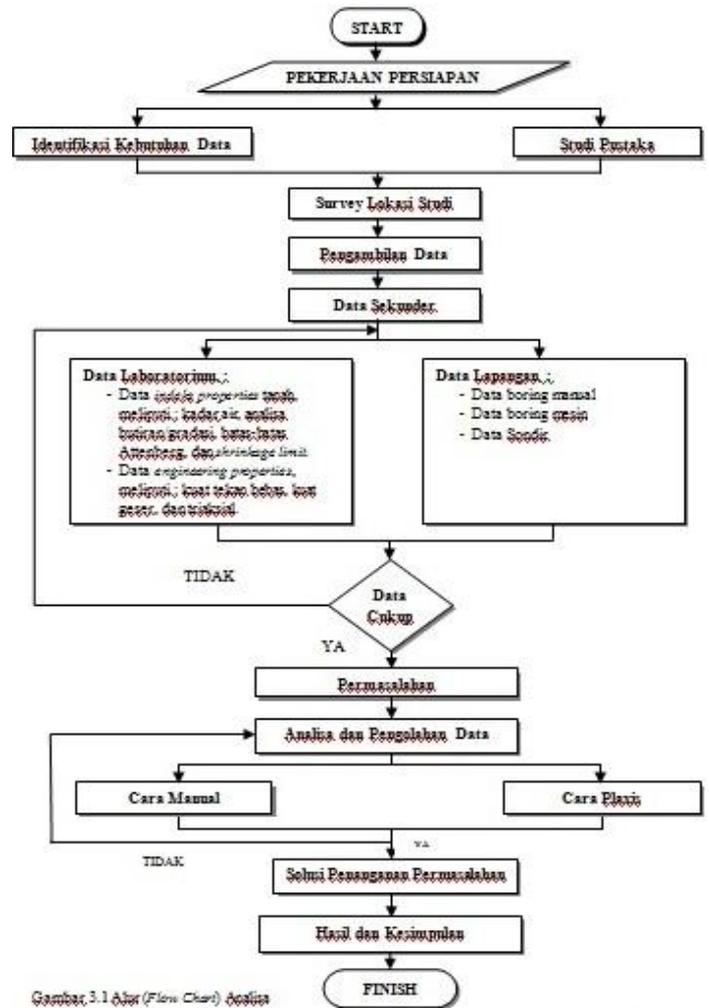
kedalaman yang dituju

ΔP = tegangan effective akibat pembebanan pada kedalaman yang ditinjau (kenaikan atau penambahan tekanan)

3. METODE PENELITIAN

Dalam mengerjakan tugas akhir ini terdapat beberapa tahapan. Dimulai dari pekerjaan persiapan, kemudian dilanjutkan dengan proses mengidentifikasi kebutuhan data, mengidentifikasi masalah, serta menyiapkan studi pustaka yang akan dipakai. Setelah itu diperlukan survey lokasi studi guna mendekati keadaan sebenarnya di lapangan. Selain itu diperlukan juga pengambilan data sekunder dari instansi terkait. Data sekunder tersebut meliputi data boring manual, boring mesin, sondir ringan, kadar air (*water content*), *soil test* (G_s , e , n , γ), analisa butiran/gradasi (*grain size analysis dan hidrometer*), batas-batas Attenberg (LL, PL, dan PI), *shrinkage limit* (SL), kuat tekan bebas (*unconfined compression test*), kuat geser (*direct shear test*), triaksial UU.

Apabila data telah mencukupi barulah kemudian dilanjutkan dengan proses analisa serta pembahasan akan data tersebut. Analisa dan pembahasan data ini mempunyai dua metode pengerjaan yaitu cara manual dan cara Plaxis (program). Hasil dari analisa di atas menghasilkan beberapa penyelesaian/solusi yang sekiranya dapat dipakai guna mengatasi permasalahan yang terjadi. Barulah kemudian diambil kesimpulan dan dipilih metode yang terbaik untuk penyelesaiannya. Alur dari tahapan-tahapan tersebut dapat dilihat pada Gambar di bawah ini tentang alur (*flowchart*) analisa.

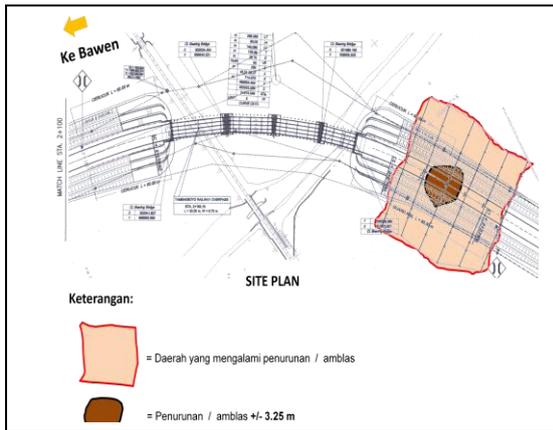


Gambar 3.1 Alur (Flow Chart) Analisa

4. PERMASALAHAN

Amblesnya Jembatan Tambak Boyo

Jembatan Tambak Boyo terletak di lingkungan Tambakrejo Kelurahan Tambak Boyo Kecamatan Ambarawa. Pada pembangunan proyek Jalan Lingkar Bawen - Ambarawa jembatan ini terletak pada STA 2 ± 140 sampai STA 2 ± 279. Jembatan ini ambles kira-kira sedalam 3,25 meter dan ambles memanjang dari STA 2 ± 279 sampai 2 ± 399 dapat. Amblesnya jembatan ini terjadi pada hari Sabtu tanggal 13 Agustus 2011 siang.



Gambar Lokasi Amblesnya Jembatan Tambak Boyo

Amblesnya jembatan ini dikarenakan di daerah tersebut merupakan daerah yang mempunyai struktur tanah yang lunak. Berkembang kabar dari warga setempat bahwa di lokasi amblesnya jembatan tersebut merupakan bagian rawa pening, titik tersebut pernah terdapat sebuah sungai yang saat ini jalur sungai itu sudah dipindahkan di sisi lainnya.

Amblesnya jembatan itu menyebabkan permukaan sawah milik warga setempat pada sisi utara jalur menjadi terangkat kurang lebih sekitar 1 – 2 meter dan terdapat retakan tanah pada sawah warga yang terletak di sekitar oprit Jembatan Tambak Boyo.



Gambar Sawah Yang Terangkat Dan Retakan Tanah Pada Sawah

Dampak lainnya yang terjadi pada struktur yaitu kondisi abutmen menjadi miring dan terdapat celah rongga pada abutmen kurang lebih 20 cm. Serta

oprit Jembatan Tambak Boyo ini mengalami amblesan turun kurang lebih 3,25 meter.



Gambar Abutmen Miring Dan Terdapat Celah Rongga 20 cm



Gambar Timbunan Oprit Ambles

Penurunan Tanah

Pada proyek pembangunan Jalan Lingkar Bawen – Ambarawa ini mengalami penurunan tanah juga sebesar $\pm 3,25$ m. Penurunan tanah ini terjadi masih pada ruas jalur yang berdekatan dengan kasus amblesnya Jembatan Tambak Boyo. Penurunan terjadi pada daerah sepanjang ± 800 meter ke arah barat dari titik amblesnya jembatan itu. Karena tanah dasar pada daerah tersebut tanah yang lunak sama seperti pada daerah Jembatan Tambak Boyo yang ambles.

Penurunan ini terjadi akibat tanah dasar yang tidak kuat menahan beban material timbunan dengan tinggi kurang lebih 11 meter serta akibat dari kendaraan dan alat berat yang digunakan pada saat proyek berjalan.

5. ANALISA DATA

5.1. Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah ini bertujuan untuk mengetahui jenis tanah, dimana klasifikasi tanah dibagi menjadi 3 yaitu:

Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur

Permasalahan yang terjadi terletak disekitar STA 2+250 (BM-5). Dari data *grain size analysis* yang sudah terdapat pada Tabel 5.3 didapat persentase rata-rata lempung (*clay*) 48,86 %, lanau (*silt*) 47,03 %, pasir (*sand*) 4,11 %, dan kerikil (*gravel*) 0 %. Jenis tanahnya yaitu lempung berlanau.

Klasifikasi tanah berdasarkan AASTHO

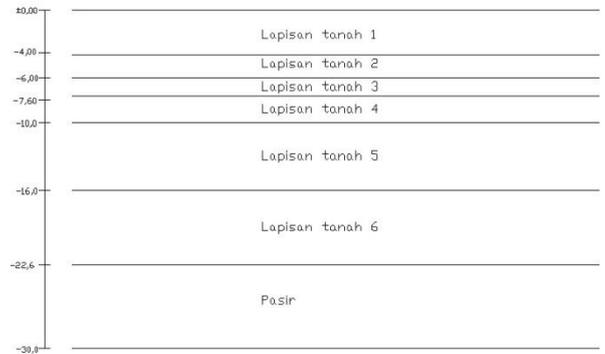
Permasalahan yang terjadi terletak di STA 2+250 (BM-5) dimana dari rata-rata data *Grain size* dan data *Atterberg limit* didapat agregat lolos ayakan no.200 adalah 95,887% > 35% dan Batas Cair (LL) = 72% > 41%, Indeks Plastisitas (IP) = 26,927% > 11%. Maka jenis tanah berlempung dengan penilaian sebagai bahan tanah dasar jelek.

Klasifikasi tanah berdasarkan USC

Dimana dari rata-rata data *Grain size* dan data *Atterberg limit* didapat agregat lolos ayakan no.200 adalah 95,887% > 50% dan Batas Cair (LL) = 72 % > 50%, Indeks Plastisitas (IP) = 26,927% > 11%. Maka didapat simbol MH or OH yaitu Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi.

5.2. Daya Dukung Tanah

Perhitungan daya dukung tanah dari data bore log STA 2+250 (BH-5) yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar Lapisan Tanah

Tabel Hasil Analisa Daya Dukung Tanah Akibat Beban Timbunan

Lapisan Tanah	γ (T/m ³)	C (T/m ²)	q Tanah (T/m ²)	q (T/m ²)	ϕ (derajat)	Tan ϕ	Sin ϕ	B (m)	L (m)	Df (m)	Nc	Nq
1	1,710	2,188	6,840	15,698	2,312	0,040	0,040	8,300	8,500	4,000	5,700	1,230
2	1,290	0,977	2,580	22,538	1,576	0,028	0,028	12,300	12,500	6,000	5,450	1,120
3	1,480	2,698	2,368	25,118	8,315	0,146	0,145	15,500	15,700	7,600	7,650	2,100
4	1,470	2,187	3,528	27,486	2,631	0,046	0,046	20,300	20,500	10,000	5,750	1,250
5	1,570	3,557	9,420	31,014	10,214	0,180	0,177	32,300	32,500	16,000	8,450	2,520
6	1,390	1,712	9,174	40,434	4,992	0,087	0,087	45,500	45,700	22,600	6,810	1,570
pasir	2,050	18,000	15,170	49,608	41,000	0,869	0,656	60,300	60,500	30,000	46,120	33,300

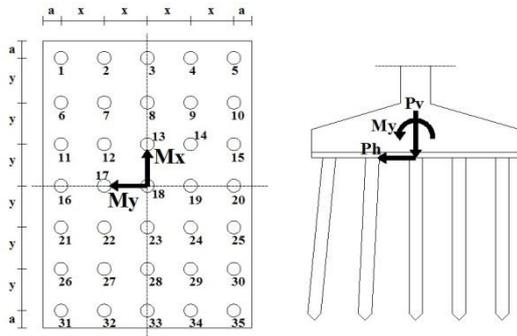
Lapisan Tanah	Ny	Fcs	Fqs	Fys	Fcd	Fqd	Fyd	Qult (T/m ²)	Qall (T/m ²)	FS	Keterangan
1	0,013	1,211	1,039	0,609	1,193	1,036	1,000	21,951	7,317	0,466	Tidak Aman
2	0,005	1,202	1,028	0,606	1,195	1,026	1,000	10,525	3,508	0,156	Tidak Aman
3	0,230	1,271	1,144	0,605	1,196	1,105	1,000	67,896	22,632	0,901	Tidak Aman
4	0,016	1,215	1,046	0,604	1,197	1,041	1,000	25,919	8,640	0,314	Tidak Aman
5	0,039	1,296	1,179	0,602	1,198	1,121	1,000	109,569	36,523	1,178	Tidak Aman
6	0,070	1,230	1,087	0,602	1,199	1,072	1,000	45,363	15,121	0,374	Tidak Aman
Pasir	37,150	1,720	1,866	0,601	1,199	1,102	1,000	6388,528	2129,509	42,927	Aman

5.3. Daya Dukung Tiang

Tabel Hasil Perhitungan Gaya Aksial Yang Diterima Masing-masing Tiang

Nama	Pv (T)	N Tiang	Mx (Tm)	My (Tm)	X (m)	Y (m)	Nx	Ny	Σx^2	Σy^2	P axial (T)
P1	1976,655	35	2212,227	-8288,562	-2,9	4,35	5	7	147,175	294,35	86,346
P2	1976,655	35	2212,227	-8288,562	-1,45	4,35	5	7	147,175	294,35	74,680
P3	1976,655	35	2212,227	-8288,562	0	4,35	5	7	147,175	294,35	63,014
P4	1976,655	35	2212,227	-8288,562	1,45	4,35	5	7	147,175	294,35	51,349
P5	1976,655	35	2212,227	-8288,562	2,9	4,35	5	7	147,175	294,35	39,683
P6	1976,655	35	2212,227	-8288,562	-2,9	2,9	5	7	147,175	294,35	84,167
P7	1976,655	35	2212,227	-8288,562	-1,45	2,9	5	7	147,175	294,35	72,501
P8	1976,655	35	2212,227	-8288,562	0	2,9	5	7	147,175	294,35	60,835
P9	1976,655	35	2212,227	-8288,562	1,45	2,9	5	7	147,175	294,35	49,169
P10	1976,655	35	2212,227	-8288,562	2,9	2,9	5	7	147,175	294,35	37,503
P11	1976,655	35	2212,227	-8288,562	-2,9	1,45	5	7	147,175	294,35	81,987
P12	1976,655	35	2212,227	-8288,562	-1,45	1,45	5	7	147,175	294,35	70,321
P13	1976,655	35	2212,227	-8288,562	0	1,45	5	7	147,175	294,35	58,655
P14	1976,655	35	2212,227	-8288,562	1,45	1,45	5	7	147,175	294,35	46,990
P15	1976,655	35	2212,227	-8288,562	2,9	1,45	5	7	147,175	294,35	35,324
P16	1976,655	35	2212,227	-8288,562	-2,9	0	5	7	147,175	294,35	79,807
P17	1976,655	35	2212,227	-8288,562	-1,45	0	5	7	147,175	294,35	68,142
P18	1976,655	35	2212,227	-8288,562	0	0	5	7	147,175	294,35	56,476
P19	1976,655	35	2212,227	-8288,562	1,45	0	5	7	147,175	294,35	44,810
P20	1976,655	35	2212,227	-8288,562	2,9	0	5	7	147,175	294,35	33,144
P21	1976,655	35	2212,227	-8288,562	-2,9	-1,45	5	7	147,175	294,35	77,628
P22	1976,655	35	2212,227	-8288,562	-1,45	-1,45	5	7	147,175	294,35	65,962
P23	1976,655	35	2212,227	-8288,562	0	-1,45	5	7	147,175	294,35	54,296
P24	1976,655	35	2212,227	-8288,562	1,45	-1,45	5	7	147,175	294,35	42,631
P25	1976,655	35	2212,227	-8288,562	2,9	-1,45	5	7	147,175	294,35	30,965
P26	1976,655	35	2212,227	-8288,562	-2,9	-2,9	5	7	147,175	294,35	75,448
P27	1976,655	35	2212,227	-8288,562	-1,45	-2,9	5	7	147,175	294,35	63,783
P28	1976,655	35	2212,227	-8288,562	0	-2,9	5	7	147,175	294,35	52,117
P29	1976,655	35	2212,227	-8288,562	1,45	-2,9	5	7	147,175	294,35	40,451
P30	1976,655	35	2212,227	-8288,562	2,9	-2,9	5	7	147,175	294,35	28,785
P31	1976,655	35	2212,227	-8288,562	-2,9	-4,35	5	7	147,175	294,35	73,269
P32	1976,655	35	2212,227	-8288,562	-1,45	-4,35	5	7	147,175	294,35	61,603
P33	1976,655	35	2212,227	-8288,562	0	-4,35	5	7	147,175	294,35	49,937
P34	1976,655	35	2212,227	-8288,562	1,45	-4,35	5	7	147,175	294,35	38,271
P35	1976,655	35	2212,227	-8288,562	2,9	-4,35	5	7	147,175	294,35	26,606

Denah pondasi tiang pancang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar Denah Pondasi Tiang Pancang

5.4. Penurunan Tanah

Dari perhitungan di atas didapatkan beberapa jumlah penurunan total, yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Stotal}_1 &= S_i + S_c + S_s \\ &= 3,552 + 1,291 + 0,127 \\ &= 4,970 \text{ m (De Beer Marten)} \\ \text{Stotal}_2 &= S_i + S_c + S_s \\ &= 0,088 + 1,291 + 0,127 \\ &= 1,506 \text{ m (Terzaghi)} \\ \text{Stotal}_3 &= S_i + S_c + S_s \\ &= 0,118 + 1,291 + 0,127 \\ &= 1,536 \text{ m (Steinbrenner)} \end{aligned}$$

5.5. Penurunan Tiang Pancang Grup

Dari perhitungan penurunan tiang pancang yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Rumus umum} &= 0,034 + 0,045 \\ &= 0,079 \text{ m} \\ \text{Rumus Janbu et al} &= 0,016 + 0,045 \\ &= 0,061 \text{ m} \end{aligned}$$

5.6. Analisa Dengan Plaxis

Penentuan Parameter Tanah

Perilaku tanah dan batuan dibawah beban umumnya bersifat non-linier. Perilaku ini dapat dimodelkan dengan berbagai persamaan, yaitu model *Mohr Coulomb*, *Hardening Soil Model*, *Soft Soil Model*, dan *Soft Soil Creep Model*. Pada analisis ini digunakan model *Mohr-Coulomb* yang memerlukan 5 buah parameter :

1. Kohesi (c)
2. Sudut geser dalam (ϕ)
3. Modulus Young (E_{ref})
4. *Poisson Ratio* (ν)
5. Berat isi tanah kering (γ_{dry})
6. Berat isi tanah jenuh air (γ_{sat})
7. Permeabilitas (k)

Nilai nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) didapat dari hasil pengujian tanah *direct shear* (geser langsung), dikarenakan elemen tanah telah mengalami deformasi jauh melewati tegangan puncak sehingga tegangan yang tersisa adalah tegangan sisa (*residual strength*). Dalam hal ini kuat geser yang representatif adalah kuat geser residual. Sedangkan modulus *Young* (E_{ref}) didapat dari pengujian *Unconfined Compression Test*. Nilai *Poisson's ratio* untuk tanah lempung adalah berkisar antara 0,4-0,5. Sedangkan nilai sudut dilatasi (ψ) = 0° , untuk nilai sudut geser kurang dari 30° . Pada tabel di bawah ini diberikan penjelasan mengenai parameter-parameter tanah yang digunakan pada analisa stabilitas lereng.

Tabel Parameter Tanah

No	PARAMETER	NAMA	TIMBUNAN	CLAY 1	PEAT 1	CLAY 2	SATUAN
1	MODEL MATERIAL	MODEL	MC	MC	MC	MC	-
2	JENIS PRILAKU MATERIAL	JENIS	Undrained	Undrained	Drained	Drained	-
3	BERAT ISI TANAH DIATAS MAT	Γ_{unsat}	14,4	14,48	10,22	12	KN/m ³
4	BERAT ISI TANAH DIBAWAH MAT	Γ_{sat}	16,4	16,48	12,22	14,17	KN/m ³
5	PERMEABILITAS HORIZONTAL	K_x	0,000864	0,00035424	0,002	0,00035424	m/day
6	PERMEABILITAS VERTIKAL	K_y	0,000864	0,00035424	0,001	0,00035424	m/day
7	MODULUS YOUNG	E	2943	2060	294,3	2060	KN/m ²
8	ANGKA POISON	V	0,3	0,45	0,45	0,45	-
9	KOHESI	C	20	21,46	9,58	26,47	KN/m ²
10	SUDUT GESER	Θ	26	2,312	1,576	8,315	°
11	SUDUT DILATASI	Ψ	0	0	0	0	°

No	PARAMETER	NAMA	CLAY 3	CLAY 4	PEAT 2	SAND	SATUAN
1	MODEL MATERIAL	MODEL	MC	MC	MC	MC	-
2	JENIS PRILAKU MATERIAL	JENIS	Drained	Drained	Drained	Drained	-
3	BERAT ISI TANAH DIATAS MAT	γ_{unsat}	12,21	13,32	11,23	17,64	KN/m ³
4	BERAT ISI TANAH DIBAWAH MAT	γ_{sat}	14,21	15,32	13,23	19,64	KN/m ³
5	PERMEABILITAS HORIZONTAL	k_x	3,54E-04	0,00035424	0,002	8,64	m/day
6	PERMEABILITAS VERTIKAL	k_y	0,00035424	0,00035424	0,001	8,64	m/day
7	MODULUS YOUNG	E	2616	3924	2943	98100	KN/m ²
8	ANGKA POISON	V	0,45	0,45	0,45	0,25	-
9	KOHESI	C	21,45	35,09	16,79	176,58	KN/m ²
10	SUDUT GESER	Θ	2,361	10,214	4,992	41	°
11	SUDUT DILATASI	Ψ	0	0	0	0	°

No	PARAMETER	NAMA	BETON	SATUAN
1	MODEL MATERIAL	MODEL	LE	-
2	JENIS PRILAKU MATERIAL	JENIS	Non-Porous	-
3	BERAT ISI TANAH DIATAS MAT	γ_{unsat}	24	KN/m ³
4	BERAT ISI TANAH DIBAWAH MAT	Γ_{sat}	24	KN/m ³
5	PERMEABILITAS HORIZONTAL	k_x		m/day
6	PERMEABILITAS VERTIKAL	k_y		m/day
7	MODULUS YOUNG	E	3×10^7	KN/m ²
8	ANGKA POISON	V	0,2	-
9	KOHESI	C		KN/m ²
10	SUDUT GESER	θ		°
11	SUDUT DILATASI	ψ		°

Tabel Parameter Desain Tiang Pancang

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
<i>Material Type</i>	-	<i>Elastic</i>	-
Kekakuan Normal (<i>Normal Stiffness</i>)	EA	$7,588 \times 10^6$	kN/m
Kekakuan Lentur (<i>Flexural Rigidity</i>)	EI	$1,282 \times 10^5$	kNm ² /m
Tebal Ekuivalen (<i>Equivalent Thickness</i>)	d	0,45	m
<i>Weight</i>	w	4,050	kN/m ²
<i>Poisson's Ratio</i>	ν	0,250	-

Tabel Parameter Desain *Bor Pile*

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
<i>Material Type</i>	-	<i>Elastic</i>	-
Kekakuan Normal (<i>Normal Stiffness</i>)	EA	3,395 x10 ⁷	kN/m
Kekakuan Lentur (<i>Flexural Rigidity</i>)	EI	2,567x10 ⁶	kNm ² /m
Tebal Ekuivalen (<i>Equivalent Tickness</i>)	d	0.953	m
<i>Weight</i>	w	9	kN/m ²
<i>Poisson's Ratio</i>	v	0,250	-

Tabel Parameter Desain Cerucuk Bambu

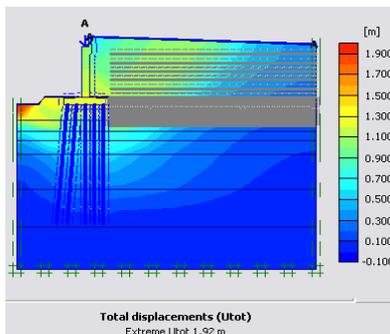
Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
<i>Material Type</i>	-	<i>Elastic</i>	-
Kekakuan Normal (<i>Normal Stiffness</i>)	EA	5,40 x10 ⁶	kN/m
Kekakuan Lentur (<i>Flexural Rigidity</i>)	EI	3,04x10 ⁹	kNm ² /m
Tebal Ekuivalen (<i>Equivalent Tickness</i>)	d	0,087	m
<i>Weight</i>	w	0,06	kN/m ²
<i>Poisson's Ratio</i>	v	0,3	-

Tabel Parameter Desain *Geotextile*

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
<i>Material Type</i>	-	<i>Elastic</i>	-
Kekakuan Normal (<i>Normal Stiffness</i>)	EA	60	kN/m

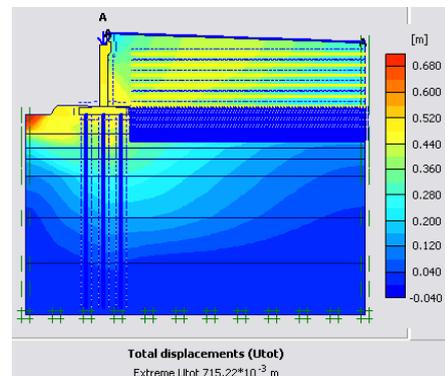
Hasil running dengan menggunakan PLAXIS diperoleh bidang longsor seperti gambar berikut:

Tahap Tiang Pancang + Cerucuk Bambu + Geotextile



Gambar *Total Displacement* Tahap Tiang Pancang + Cerucuk Bambu + *Geotextile*

Tahap Bore Pile + CerucukBambu + Geotextile



Gambar *Total Displacement* Tahap Bore Pile + Cerucuk Bambu + *Geotextile*

Tabel Rangkuman Hasil Perhitungan

NO.	Perhitungan Plaxis	Identification	Durasi Konsolidasi (hari)	Displacement (meter)	SF
1.	Penanganan Di Lapangan Tiang Pancang + Crucuk Bambu + Geotextile	Gravity Loading	7300	0,53971	
		Vertical Loading	7300	1,92	
	a. Hanya pada abutmen	Abutmen	7300		3,6024
		a. Total Displacement :		0,56637	
		b. Penurunan Tiang Pancang :		0,02419	
	b. Saat 20 tahun	Penanganan :	7300		1,1084
		a. Total Displacement :		1,91	
		b. Penurunan Tiang Pancang :		0,07741	
		c. Penurunan Timbunan :		0,88416	
	c. Saat 2 tahun	Penanganan :	730		1,1083
	a. Total Displacement :		1,83		
	b. Penurunan Tiang Pancang :		0,07166		
	c. Penurunan Timbunan :		0,84393		
2.	Alternatif Solution Bore Pile + Crucuk Bambu + Geotextile				
	a. Saat 20 tahun	Penanganan :	7300		1.5668
		a. Total Displacement :		0,71522	
		b. Penurunan Bore Pile :		0,00553	
	c. Penurunan Timbunan :		0,39316		
b. Saat 2 tahun	Penanganan :	730		1.5607	
	a. Total Displacement :		0,56372		
	b. Penurunan Bore Pile :		0,00445		
	c. Penurunan Timbunan :		0,23642		

No.	Perhitungan Manual	Perencanaan Umur Rencana (tahun)	Displacement (meter)
1.	Timbunan	20	4,970 (De Beer Marten) 1,506 (Terzaghi) 1,536 (Steinbrenner)
2.	Tiang Pancang	20	0.078 (Rumus Umum) 0.069 (Rumus Janbu et all)

Hcr (tinggi kritis) timbunan oprit jembatan = 7,215 m

6. PENUTUP

6.1. Kesimpulan

- Oprit jembatan abutmen 2 Jembatan Tambakboyo ini berdiri di atas tanah lunak, yang dulunya merupakan aliran sungai yang menuju Rawa Pening, sehingga lokasi ini dulunya pernah diurug. Keadaan tanah urugan belum tentu baik, sehingga jika terkena beban yang begitu besar dengan tinggi timbunan oprit mencapai 11 m terjadi amblesan karena tanah dasar tidak kuat menahan beban. Dari perhitungan dalam tugas akhir ini didapatkan tinggi kritis sebesar 7,215 m yang lebih kecil dari tinggi timbunan yang ada dilokasi tersebut 11 m, sehingga akan terjadi keruntuhan tanah dasar.
- Abutmen 2 Jembatan Tambakboyo ini ambles dan terjadi kemiringan. Dari perhitungan menggunakan program Plaxis 8.5 dengan menghilangkan beban oprit jembatan dan hanya menghitung beban pada bagian abutmen 2 jembatannya saja dikan SF = 3,6024 (syarat FK > 1,5), dengan hasil ini dapat terlihat dengan tidak adanya beban oprit jembatan dapat disimpulkan bahwa tanah dalam kondisi aman. Sedangkan untuk perhitungan beban gabungan antara oprit jembatan dengan beban pada bagian abutment 2

secara keseluruhan dengan menggunakan program Plaxis 8.5 didapatkan SF = 1,1084 (syarat FK > 1,5), dengan hasil ini dapat disimpulkan bahwa tanah dalam kondisi tidak aman. Dari kedua perhitungan ini kemungkinan besar permasalahan ini disebabkan karena tanah dasar pada oprit jembatan ini mengalami amblesan, sehingga terdapat gaya dorong lateral tanah dasar akibat amblesnya oprit jembatan ini yang mengarah ke pondasi tiang pancang serta mendorong abutmen ke arah oprit jembatan.

- Alternatif penanganan yang dihitung menggunakan program Plaxis 8.5 yaitu dengan mengganti pondasi tiang pancang dengan pondasi *bore pile* dengan diameter 1 meter, dan kondisi lainnya masi tetap sama menggunakan *geotextile* dan cerucuk bambu pada oprit jembatannya didapatkan nilai SF = 1,5668 yang mana melebihi nilai angka keamanan yang disyaratkan dalam program komputer FK > 1,5, sehingga aman.

6.2. SARAN

- Perlu diadakan studi lapangan dengan teliti dan cermat sebelum melaksanakan pekerjaan konstruksi di lapangan.

2. Diperlukan tahapandan juga waktu yang cukup dalam pelaksanaan timbunan untuk menunggu peningkatan daya dukung tanah. Jika ada ketersediaan waktu dalam kontrak yang cukup dalam memberikan kesempatan dicapainya penurunan yang diinginkan, dapat dilakukan pemasangan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* atau *Preloading* yang fungsinya untuk mempercepat proses konsolidasi dan penurunan (*settlement*).
3. Dengan keadaan tanah dasar yang berstruktur lembek/ lunak, tidak seharusnya memberikan beban berat pada tanah dasar, tinggi timbunan oprit yang 11 m yang melebihi tinggi kritis 7,215 m. Jika memang harus dilakukan, harus mencari metode yang tepat dan juga harus memperhatikan proses pelaksanaan dalam menjalankan metode tersebut. Misalnya dengan memotong tinggi timbunan 11 m menjadi 6 m yang tidak melebihi tinggi kritis 7,215 m, serta menambah struktur kaki seribu pada bagian opritnya agar didapat elevasi jalan yang sesuai dengan keinginan.
4. Dilakukan *trial embankment* sebelum pelaksanaan pekerjaan timbunan oprit, agar dapat mengetahui besarnya penurunan dan waktu penurunan yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bahan-bahan Mata Kuliah atau Buku Ajar Mekanika Tanah 1 dan 2, UNDIP.
- Bahan-bahan Mata Kuliah atau Buku Ajar Rekayasa Pondasi 1 dan 2, UNDIP.
- Bahan-bahan Mata Kuliah atau Buku Ajar Stabilisasi Tanah, UNDIP.
- Kh, V Sunggono, 1995, *Buku Teknik Sipil*, Nova, Bandung.
- Das, Braja M, 1998, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*, Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja M, 1995, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*, Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2006, *Teknik Pondasi 1*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2007, *Mekanika Tanah 2*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1987, *Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya*, Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta.
- Djojonegoro, Wardiman, 1997, *Rekayasa Fundasi II (Fundasi Dangkal dan Fundasi Dalam)*, Gunadarma, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1987, *Petunjuk Perencanaan Penanggulangan Longsoran*, Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta.
- Terzaghi, Karl, Peck, B., Ralph, 1991, *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa Jilid-2*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Brinkgreve, R.B.J. and Vermeer, P.A, 1998, *PLAXIS Version 8.2*, PLAXIS B.V and University Of Stuttgart, A.A. Balkema / Rotterdam / Brookfiel.

