

OPTIMALISASI JARAK ANTAR *PILE CAP* DI *TRESTLE* DENGAN STUDI KASUS PADA PELABUHAN BONTANG

Kevin¹, Sunarjo Leman² dan Nani Irawati Setiawan³

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: kevin.ts@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: sunarjo@ft.untar.ac.id

³ Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: Ir.nani.setiawan@gmail.com

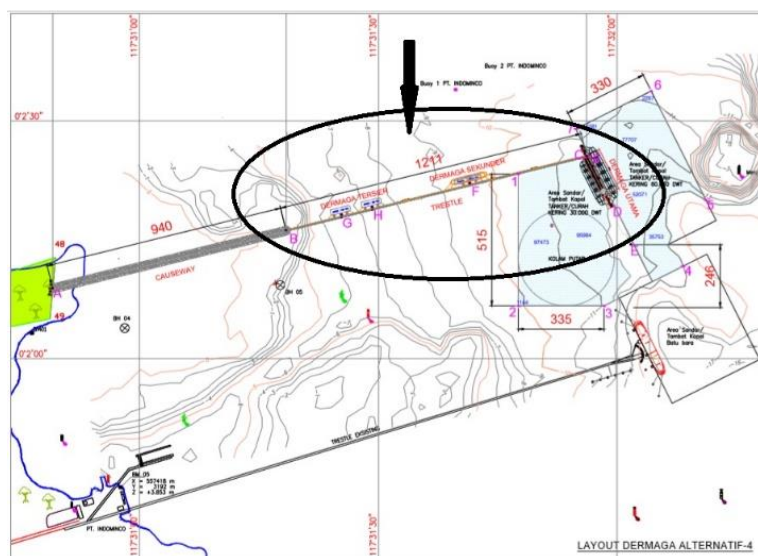
ABSTRAK

Trestle adalah struktur berupa jembatan penghubung antara dermaga dengan daratan yang terdapat pada pelabuhan. Struktur *trestle* terdiri dari struktur atas (balok, pelat dan *pile cap*) dan struktur bawah (tiang pancang). Struktur atas menggunakan bahan dasar beton bertulang dan struktur bawah menggunakan bahan dasar baja. Desain dilaksanakan menggunakan program desain analisis struktur dengan memperhatikan syarat kekuatan dan kekakuan struktur. Desain struktur *trestle* dilaksanakan pada Pelabuhan Bontang, Kalimantan Timur. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan *volume* material yang dibutuhkan pada 3 kondisi jarak segmen yang berbeda dengan panjang total yang sama. Penelitian dilakukan dengan studi kasus pada pelabuhan Bontang, Kalimantan Timur menggunakan data pendukung berupa data hasil survei konsultan perencana. Struktur di desain pada 3 bentang segmen yang berbeda-beda dengan jarak antar segmen masing-masing adalah 8 meter, 12 meter dan 15 meter dengan panjang total 120 meter. Setelah desain struktur yang paling optimal diperoleh, akan dibuat perbandingan *volume* material yang dibutuhkan. Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa yang paling sedikit membutuhkan *volume* material adalah segmen 8 meter dengan 451,3 m³ *volume* beton dan 71.403,3042 ton berat baja. Segmen *trestle* yang paling banyak membutuhkan *volume* material adalah segmen 15 meter dengan 614,1 m³ *volume* beton dan 118.102,2389 ton berat baja.

Kata kunci: *trestle*, kekuatan, kekakuan, optimal, perbandingan *volume* material

1. PENDAHULUAN

Pada penelitian ini akan dilakukan desain struktur *trestle* untuk mendapatkan perbandingan *volume* material yang dibutuhkan. Desain struktur *trestle* menggunakan 3 segmen permodelan dengan panjang 8 m, 12 m dan 15 m. Lokasi Pelabuhan Bontang dan lokasi proyek konstruksinya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Denah lokasi desain *trestle*

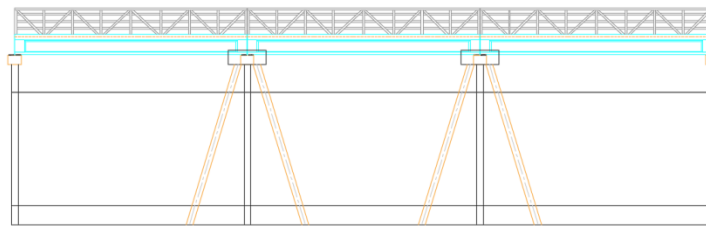
Pada Gambar 1 bisa dilihat lokasi konstruksi *trestle* pada titik B dengan koordinat $0^{\circ} 2' 16.19''$ LU - $117^{\circ} 31' 18.41''$ BT sampai titik C dengan koordinat $0^{\circ} 2' 25.59''$ LU - $117^{\circ} 31' 56.15''$ BT.

Trestle

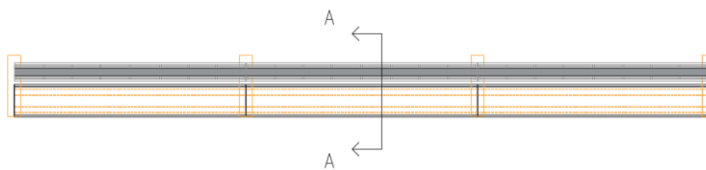
Trestle merupakan jalan/akses dari dermaga menuju darat yang berupa jembatan dan digunakan untuk menghubungkan daratan dengan dermaga. *Trestle* berupa jembatan penghubung antara daratan dan dermaga bermaterial beton yang dibangun di atas tiang pancang. *Trestle* biasanya dibangun di perairan yang cukup dangkal. *Trestle* merupakan bagian dari konstruksi *jetty* yang merupakan suatu fasilitas dalam pelabuhan yang terdiri atas jembatan penghubung berupa *trestle* sampai ke kepala *jetty* ataupun dermaga.

Struktur *trestle*

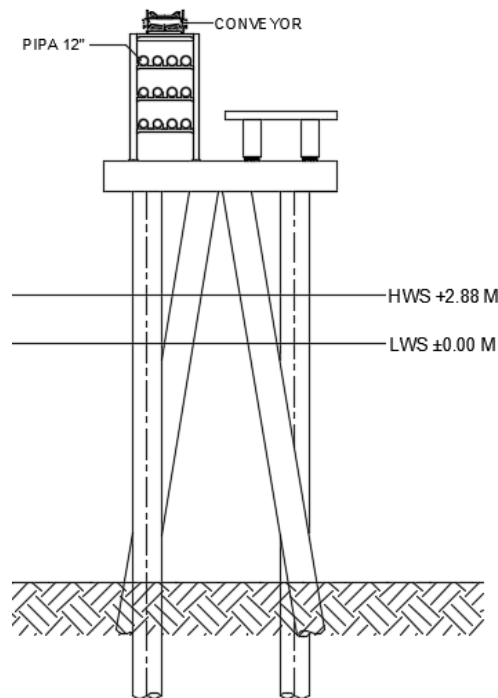
Komponen struktur pada *trestle* terbagi atas struktur atas yang terdiri dari balok, pelat dan *pilecap*, serta struktur bawah yang terdiri dari tiang pancang. Tampak atas, tampak samping dan tampak depan struktur *trestle* dapat dilihat secara berturut-turut pada Gambar 2 sampai Gambar 4.



Gambar 2. Tampak samping *trestle*



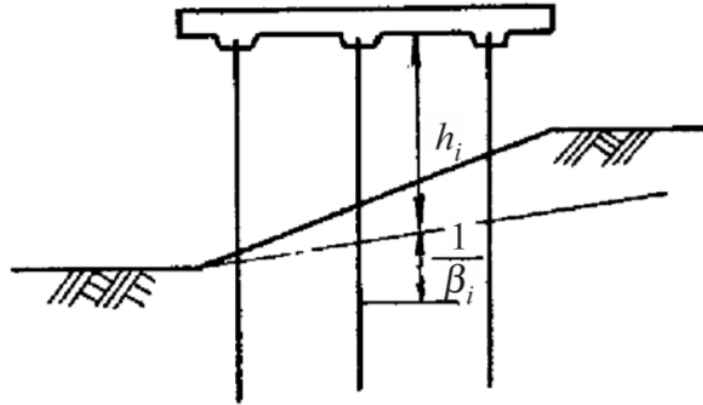
Gambar 3. Tampak atas *trestle*



Gambar 4. Tampak depan *trestle*

Virtual fixed point

Untuk melakukan analisa *trestle* perlu diasumsikan *virtual fixed point* di bawah dasar laut. Asumsi *virtual fixed point* ini bertujuan agar dapat melakukan perhitungan untuk mendapatkan panjang tiang permodelan. Dalam perhitungan ini, tiang pancang diasumsikan berada pada kedalaman $1/\beta_i$ dibawah permukaan *virtual ground* seperti dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Virtual ground surface

Sumber: The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI), 2002

Perhitungan untuk mendapatkan kedalaman *virtual ground* dicari dengan menggunakan persamaan berikut (OCDI, 2002):

$$KCH = 1,5 * N \quad (1)$$

dengan KCH = koefisien *subgrade* dan N = nilai rata-rata N - SPT tanah.

Nilai β_i dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$\beta_i = \sqrt[4]{\frac{K_h * D}{4 * EI}} \quad (2)$$

dengan K_h = koefisien *horizontal subgrade reaction*, D = diameter/lebar tiang pancang dan EI = kekakuan lentur tiang pancang.

Untuk menentukan inersia penampang tiang pancang dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$I = \frac{\pi}{64} * D^4 \quad (3)$$

dengan I = momen inersia tiang pancang dan D = diameter tiang pancang.

Beban Arus

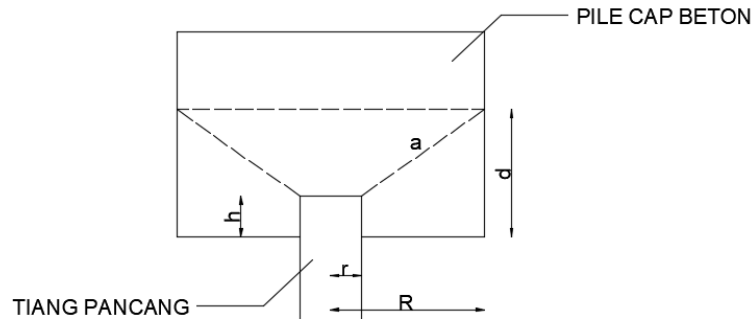
Beban arus yang bekerja pada tiang pancang yang berhubungan langsung dengan air harus diperhitungkan pada saat perencanaan. Gaya arus (*drag force*) bekerja searah dengan arus. Berdasarkan *OCDI (The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan) 2002 drag forces* dapat ditentukan menggunakan rumus berikut ini :

$$FD = \frac{1}{2} * CD * \rho_0 * A * U^2 \quad (4)$$

dengan FD = gaya searah arus, CD = *coefficient drag*, ρ_0 = berat jenis air, A = luas objek yang terekspose air searah arus dan U = kecepatan arus (m/s)

Geser pons

Pada saat mendesain *pile cap*, gaya geser akibat gaya aksial dari tiang pancang harus diperhatikan agar tidak terjadi kegagalan dalam pembuatan *pile cap*. Pada desain, gaya aksial maksimum harus disesuaikan dan tidak boleh melebihi tegangan izin. Gambar untuk pengerjaan geser pons dan panjang tiang pancang yang masuk ke atas bagian *pile cap* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Geser *pons* pada *pile cap*

Perhitungan V ijin dapat ditentukan dengan rumus berikut ini. Perhitungan V ijin dapat ditentukan dengan rumus berikut ini.

$$b_o * d = \pi * a * (r + R) \quad (5)$$

$$Vc = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f'c} * b_o * d}{6} \quad (6)$$

$$Vc = \left(\frac{\alpha_s * d}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f'c} * b_o * d}{12} \quad (7)$$

$$Vc = 1/3 \times \sqrt{f'c} * b_o * d \quad (8)$$

dengan Vc = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton, b_o = keliling penampang geser, $f'c$ = mutu beton, d = jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal dan r = radius girasi penampang komponen struktur tekan.

h = Panjang tiang masuk dalam *pile cap* (m)

Nilai Vc diambil dari nilai terkecil dari ketiga rumus diatas. Nilai Vc terkecil dikalikan 0,6 adalah tegangan izin untuk gaya aksial maksimum.

Begitu pula saat mendesain pelat yang akan digunakan sebagai jalannya kendaraan, harus di cek keruntuhan gesernya. Tipe keruntuhan geser yang perlu dicek dalam desain pelat yaitu geser dua arah (*punching shear*). Desain geser dua arah untuk kondisi tanpa transfer momen adalah sebagai berikut.

$$V_u \leq V_n \quad (10)$$

Dimana V_u dihitung sesuai luas tributari geser yang ditinjau.

$$V_n = V_c + V_s \quad (11)$$

Pada desain pelat, V_s umumnya 0. Sedangkan perhitungan V ijin dapat ditentukan dengan rumus berikut ini.

$$Vc = \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{3\beta_c}\right) \sqrt{f'c} * b_o * d \quad (12)$$

$$Vc = \left(\frac{\alpha_s d}{12b_o} + \frac{1}{6}\right) \sqrt{f'c} * b_o * d \quad (13)$$

$$Vc = \frac{1}{3} \sqrt{f'c} * b_o * d \quad (14)$$

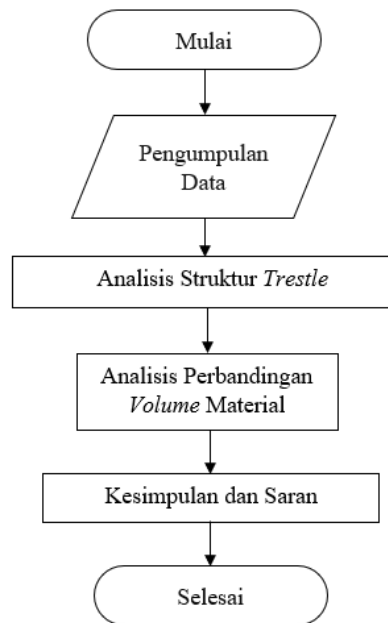
dengan Vc = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton, b_o = keliling penampang kritis, β_c = ratio sisi terpanjang dan sisi terpendek kolom, d = tinggi efektif penampang dan $\alpha_s = 40$ untuk kolom interior, 30 untuk kolom tepi, 20 untuk kolom sudut.

Nilai Vc diambil dari nilai terkecil dari ketiga rumus diatas. Nilai Vc terkecil dikalikan 0,6 adalah tegangan izin untuk gaya aksial maksimum. Nilai V_u dikalikan dengan 1,6 lalu dibandingkan dengan nilai 0,6 Vc tersebut.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Alur penelitian

Alur penelitian menjadi acuan dalam melakukan penelitian agar proses dapat berjalan dengan baik. Penelitian dilaksanakan dengan mengacu pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram alir penelitian

Pengumpulan data

Kondisi alam dapat mempengaruhi pembangunan sebuah proyek maupun kelangsungannya, karena itu pada tahap perencanaan ini diperlukan data yang lengkap dan akurat agar dapat terciptanya perencanaan yang baik. Data proyek yang digunakan untuk analisis *trestle* menggunakan data hasil *survey* penelitian konsultan perencana.

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Kriteria desain

Penelitian menggunakan program analisis struktur dan desain struktur *trestle* mengacu pada peraturan – peraturan antara lain, OCDI (2002) *Technical Standards and Commentaries For Port and Harbour Facilities In Japan*, SNI 2847:2013 mengenai persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan SNI 1726:2012 mengenai tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

Data umum proyek

1. Lokasi proyek : Pelabuhan Bontang, Kalimantan Timur
2. Umur rencana proyek : ± 30 Tahun
3. Data pasang surut
Data pasang surut untuk desain perencanaan pada Pelabuhan Bontang menggunakan nilai HWS = +2,88 m; MSL = +1.36 m; dan LWS = +0,00 m.
4. Data tanah
Data tanah digunakan *borehole* 5 yang terletak pada koordinat 3982 m N dan 558043 m E.
5. Jenis material :
 - a. Tiang Pancang Baja
Tiang pancang menggunakan *standard* ASTM A252 Grade 2. Untuk segmen 8 m digunakan tiang diameter 812,8 mm dengan tebal 16 mm; segmen 12 m digunakan tiang diameter 914,4 mm dengan tebal 14 mm; dan segmen 15 m digunakan tiang diameter 1016 mm dengan tebal 12 mm.
 - b. Beton Bertulang
Mutu beton digunakan 30 Mpa dengan berat jenis beton = 2400 kg/m³.
 - c. Tulangan Baja
Tulangan baja menggunakan *standard* JIS 3112.

Penentuan *virtual fixed point*

Hasil perhitungan *virtual fixed point* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. *Virtual fixed point*

Segmen	<i>Virtual fixed point</i>	Satuan
<i>Trestle</i> 8 m	53,2574	m
<i>Trestle</i> 12 m	53,3608	m
<i>Trestle</i> 15 m	53,4210	m

Pembebanan

1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah berat sendiri struktur. Beban mati untuk beton bertulang adalah 2.400 kg/m³ dan untuk baja adalah 7.850 kg/m³.

2. Beban Mati Tambahan (*SDL*)

Superimposed Dead Load merupakan beban mati tambahan yang dipengaruhi oleh beban dari luar (bukan dari struktur itu sendiri) dan bersifat statis. Beban yang termasuk *SDL* pada struktur *trestle* terdapat pada struktur *pipe rack*-nya yaitu beban akibat pipa jenis *schedule* 40 dengan diameter 12 *inch*. Berat pipa adalah 81,0667 kg/m.

3. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup yang direncanakan bekerja pada *trestle* merupakan beban kendaraan berat berupa truk dengan kapasitas muatan 45 Ton. Berdasarkan Ditjen Bina Marga, pembagian beban sumbu kendaraan truk 45 Ton disesuaikan dengan input beban hidup kendaraan dibagi di tiap sumbu roda, sehingga untuk pembagian beban sumbu kendaraan pada truk 45 Ton adalah sebagai berikut.

Sumbu depan = 13% * 45 ton / 2 = 2.925 Ton
 Sumbu tengah = 40% * 45 ton / 2 = 9 Ton
 Sumbu belakang = 47% * 45 ton / 2 = 10.575 Ton

4. Beban Arus (*Current Load*)

Kecepatan arus digunakan pada permodelan *trestle* adalah sebesar 19 cm/detik. Beban arus di *input* ke program analisis struktur dalam bentuk beban merata/*distributed load* sepanjang bentang tiang dari elevasi *seabed* sampai elevasi *HWS* yaitu sepanjang 13,88 m. Beban arus digunakan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Beban arus

Segmen	Besar Beban Arus	Satuan
<i>Trestle</i> 8 m	0,0236	Ton/m
<i>Trestle</i> 12 m	0,0266	Ton/m
<i>Trestle</i> 15 m	0,0295	Ton/m

5. Gaya Gempa

Data digunakan merupakan hasil perhitungan gempa pada Kabupaten Bontang, Kalimantan Timur dengan kondisi tanah lunak. Hasil perhitungan gempa berdasarkan aplikasi desain spektra dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan gempa

Sumber : Aplikasi Desain Spektra Indonesia

Variabel	Nilai
PGA (g)	0,088
SS (g)	0,203
S1 (g)	0,118
CRS	1,026
CR1	1,341
FPGA	2,5
FA	2,5
FV	3,445
PSA (g)	0,22
SMS (g)	0,507

Lanjutan Tabel 5. Hasil perhitungan gempa

SM1 (g)	0,408
SDS (g)	0,338
SD1 (g)	0,272
T0 (detik)	0,161
TS (detik)	0,805

Kombinasi pembebanan

Kombinasi pembebanan mengacu pada *Unified Facilities Criteria (UFC) 4-152-01*.

Hasil analisis

1. Kontrol *PMM ratio* (kekuatan tiang)

Kontrol terhadap *PMM ratio* perlu dilakukan untuk menganalisis apakah tiang mampu menahan beban yang bekerja pada struktur. *PMM ratio* masing-masing segmen *trestle* tidak boleh melebihi nilai 1 sehingga tiang masih kuat menahan beban. Nilai *PMM ratio* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. *PMM ratio*

Segmen	Nilai Maksimum	Nilai Minimum
<i>Trestle</i> 8 m	0,9395	0,5129
<i>Trestle</i> 12 m	0,9837	0,6291
<i>Trestle</i> 15 m	0,9169	0,3253

2. Kontrol terhadap lendutan (defleksi) struktur dan balok

Kontrol terhadap lendutan/defleksi struktur mengacu pada SNI 1729-2013. Batas defleksi struktur untuk kondisi layan adalah $L/200 = 0,27$ m dan kondisi gempa adalah $0,02L/\rho = 0,8308$ m. Lendutan bekerja pada arah horizontal. Hasil lendutan layan dan gempa maksimum yang terjadi pada struktur dan balok dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai lendutan maksimum arah horisontal

Segmen	Struktur		Balok		Satuan
	Layan	Gempa	Layan	Gempa	
<i>Trestle</i> 8 m	0,0513	0,06362	0,0517	0,1602	m
<i>Trestle</i> 12 m	0,0048	0,1349	0,0052	0,135	m
<i>Trestle</i> 15 m	0,0193	0,1665	0,0193	0,1665	m

3. Kontrol gaya tiang terhadap daya dukung tanah

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan bahwa kekuatan tanah tarik dan tekan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Kontrol terhadap daya dukung tanah

<i>Trestle Section</i>	Elevasi	Gaya Tiang Tekan	Daya Dukung Tanah Tekan	Gaya Tiang Tarik	Daya Dukung Tanah Tarik	Satuan
8 meter	-44 m	93,9536	150,97	7,2147	59,35	Ton
12 meter	-44 m	111,69	180,80	18,8397	64,08	Ton
15 meter	-44 m	163,341	209,29	19,8448	68,24	Ton

Setelah dilihat pada Tabel 8, karena gaya tiang lebih kecil dari gaya tekan tanah, sehingga tanah mampu menahan gaya tiang.

4. Kontrol terhadap geser *pons* pada *pile cap*

Saat melakukan desain *pile cap*, gaya geser akibat gaya aksial dari tiang pancang perlu diperhatikan agar tidak terjadi kegagalan pada struktur *pile cap*. Gaya aksial maksimum yang terjadi pada tiang pancang miring adalah 939,536 KN untuk *trestle* 8 m, maka dari itu untuk melewati kontrol geser *pons*. Gaya aksial tiang pancang tidak boleh lebih dari 0,6 Vc.

$$1.879,072 \text{ KN} < 3.017,4021 \text{ KN}$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa *trestle* 8 m sudah memenuhi kontrol terhadap gaya geser *pons*. Untuk perhitungan gaya geser *pons* pada *trestle* 12 meter, gaya aksial maksimum yang terjadi pada tiang pancang miring adalah 1.116,9 KN untuk *trestle* 12 m, maka dari itu untuk melewati kontrol geser *pons*. Gaya aksial tiang pancang tidak boleh lebih dari 0,6 Vc.

$$2.233,8 \text{ KN} < 3.085,93 \text{ KN}$$

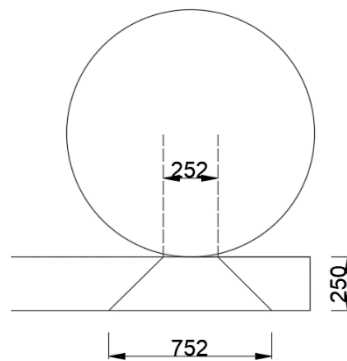
Sehingga dapat disimpulkan bahwa *trestle* 12 m sudah memenuhi kontrol terhadap gaya geser *pons*. Untuk perhitungan gaya geser *pons* pada *trestle* 15 meter, gaya aksial maksimum yang terjadi pada tiang pancang miring pada *trestle* 15 m adalah 1.633,41 KN, maka dari itu untuk melewati kontrol geser *pons* gaya aksial tiang pancang tidak boleh lebih dari 0,6 Vc. Berikut adalah perhitungan kontrol untuk *trestle* 15 m.

$$3.266,82 \text{ KN} < 5.520,8072 \text{ KN}$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa *trestle* 15 m sudah memenuhi kontrol terhadap gaya geser *pons*.

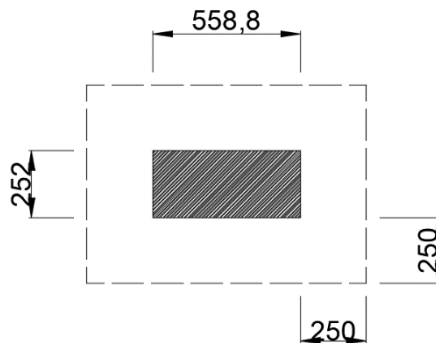
5. Kontrol terhadap geser *pons* pada pelat

Selain *pile cap*, pelat juga perlu di cek kemampuannya untuk menahan gaya geser akibat beban kendaraan. Beban sumbu kendaraan terberat pada truk ini terletak pada bagian paling belakang dengan adalah 10,58 ton atau 105,8 KN, yang mana akan di cek apakah pelat ini mampu menahan. Penggunaan ban adalah merek *dupro truck tire 295/75 11r22.5*. Pada kasus ini, karena tributari area geser tidak mengenai sisi tegak pelat, maka digunakan seluruh tebal pelat, yaitu 250 mm. Tampak samping tributari area geser dapat dilihat pada Gambar 8.



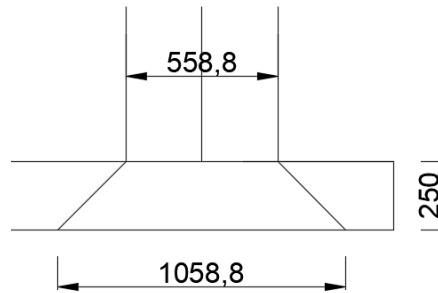
Gambar 8. Tampak samping tributari area geser

Gambar tributari area geser beban kendaraan dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Tributari area geser beban kendaraan

Tampak depan tributari area geser dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Tampak depan tributari area geser

Maka dari ketiga nilai V_c diambil yang paling kecil lalu dikalikan dengan 0,6, kemudian dibandingkan dengan 1,6 kali beban kendaraan. Berikut perbandingannya.

$$838,2346 \text{ KN} \geq 169,28 \text{ KN}$$

Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa pelat dapat memenuhi kontrol terhadap gaya geser *pons*.

Perhitungan volume material beton dan berat baja

Perhitungan volume material beton dan berat baja berdasarkan dimensi struktur yang digunakan, yaitu:

1. Balok
Trestle 8 m menggunakan balok dengan dimensi 0,4 m x 0,8 m, *trestle* 12 m menggunakan balok dengan dimensi 0,6 m x 1,2 m dan *trestle* 15 m menggunakan balok dengan dimensi 0,75 m x 1,5 m.
2. Pelat
Tebal pelat digunakan pada ketiga segmen adalah 250 mm.
3. *Pile Cap*
Tebal *pile cap* digunakan pada segmen *trestle* 8 m dan 12 m adalah 1000 mm dan tebal *pile cap* pada segmen *trestle* 15 m adalah 1100 mm.
4. Tiang Pancang
Dimensi tiang pancang pada *trestle* 8 m adalah 812,8 mm, *trestle* 12 m adalah 914,4 mm dan *trestle* 15 m adalah 1016 mm.

Kesimpulan perbandingan

Hasil perbandingan volume material beton dan berat baja total yang digunakan pada tiap segmen akan dibandingkan pada Tabel 9 berikut ini.

Perbandingan Volume Beton dan Berat Baja Terhadap Panjang <i>Trestle</i> Total				
	<i>Trestle</i> 8 meter	<i>Trestle</i> 12 meter	<i>Trestle</i> 15 meter	Satuan
Volume beton total	451,3	499,08	614,1	m ³
Berat baja total	71.403,3042	73.450,1936	118.102,2389	ton

Dari hasil perhitungan, didapatkan bahwa kebutuhan volume material paling sedikit digunakan pada *trestle* 8 m dengan 451,3 m³ beton dan 71.403,3042 ton baja dan yang membutuhkan volume material terbanyak pada *trestle* 15 m dengan 614,1 m³ beton dan 118.102,2389 ton baja.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan

Setelah analisis desain struktur dan dilakukan perbandingan volume pada masing-masing *trestle*, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah:

1. *Trestle* 8 m membutuhkan material beton dan baja yang paling sedikit dan *trestle* 15 m membutuhkan material beton dan baja yang paling banyak.

2. Ditinjau dari *volume* material strukturnya, semakin jauh jarak antar tiang pada permodelan struktur *trestle*, maka *volume* material akan semakin boros dalam perencanaan.
3. Penulangan pada struktur pada *trestle* dengan jarak antar tiang paling jauh (15 m) memerlukan tulangan lebih banyak dibandingkan dengan *trestle* yang memiliki jarak antar tiang lebih dekat (8 m dan 12 m).

DAFTAR PUSTAKA

- U.S. Army Corps of Engineer. (2017). Unified Facilities Criteria (UFC) 4-151-01 Design: Piers and Wharves.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, (1983). "Manual Perkerasan Jalan dengan Alat Benkelman Beam", Manual No. 01/MN/BM/83, Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum. 1983.
- Badan Standarisasi Nasional, (2013). Standar Nasional Indonesia: "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung", (SNI) 2847:2013, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional, (2012). Standar Nasional Indonesia, "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung", (SNI) 1726:2012, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Y. Goda, T. Tabata and S. Yamamoto, (2002) "The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan: Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan". Tokyo: Daikousha Printing Co., Ltd.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman Kementrian PU. (2011). Aplikasi Desain Spektra Indonesia, Cileunyi, Jawa Barat.