PERENCANAAN ABUTMEN DAN PONDASI PILAR JEMBATAN *CABLE STAYED* di LEMAH IRENG, SEMARANG

Ahmad Haidzir, Dr. Ir. Djoko Untung, dan Ir. Suwarno M Eng
Jurusan Teknnik Sipil, Fakultas FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail : djoko@ce.its.ac.id, suwarno.surabaya@gmail.com, haidzir.ahmad002@gmail.com,

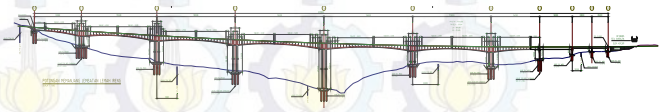
Jembatan Lemah Ireng 1 terletak pada ruas Jalan Tol Semarang – Solo Tahap I Ruas Ungaran – Bawen Paket V Tinalun – Lemah Ireng. Jembatan ini dibangun karena adanya jurang yang dalam pada Desa Lemah Ireng, sehingga diperlukan jembatan ini sebagai bagian dari jalan tol tersebut. Metode pelaksanaan yang digunakan adalah balance cantilever dengan box girder cor ditempat (cast in place). Namun pada kesempatan ini akan dicoba mendesain ulang jembatan balance cantilever menjadi cable stayed bridge.

Ketika akan merubah struktur atas dari suatu desain struktur atas, struktur bawah dari konstruksi tersebut juga mengalami perubahan mulai dari daya dukung vertikal, momen, lateral ,dan lainnya yang akan bekerja pada struktur di bawahnya. Setelah diperhitunkan pada posisi abutmen A dan abutmen B membutuhkan 5 buah tiang pondasi bored pile berdimensi diameter silinder (Ds)= 1,7m dan diameter bell (Db)= 2,75m serta jarak antar pile sebesar 5,5 m sampai kedalaman 15m untuk mencapai daya dukung vertikal pile maksimum sebesar 463,12Ton dan daya dukung lateral tiap tiang sebesar 85,42Ton.

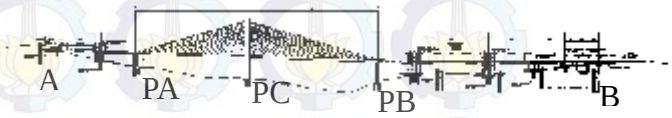
Pada posisi pilar A dan B membutuhkan 10 buah tiang dengan pemasangan 5x2 buah tiang dengan Ds= 1,7m Db=2,5m dengan kedalaman 34m untuk memenuhi daya dukung vertikal sebesar 661,99Ton dan daya dukung lateral sebesar 83,81Ton setiap tiang. Pada pilar C membutuhkan 60 buah tiang bored pile dengan Ds= 1,7 m dan Db= 2,75m sedalam 66m untuk memenuhi kebutuhan daya dukung vertikal sebesar 896,68Ton dan daya dukung horizontal sebesar 64,97Ton.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi mendorong membuat desain dari suatu struktur menjadi lebih mengagumkan dan lebih menarik, Perkembangan teknologi juga membuat aplikasi dalam suatu pembangunan menjadi bisa lebih presisi serta akurat. Maka pada lokasi Lemah Ireng Tol Ungaran-Bawen dan konstruksi eksisting berupa *cantilever bridge*. Untuk memperindah dari jembatan maka muncul konstruksi *cable stayed* dan dalam jembatan eksisting direncanakan pada bentang tengah diubah menjadi *cable stayed*. terjadi pula perubahan dalam hal desain pondasi yang dipergunakan untuk meneruskan beban-beban dari struktur atas ke tanah. Pada Tugas Akhir ini akan direncanakan mengenai abutmen dan pondasi pilar pada *Cable Stayed* tersebut. Untuk perencanaan jembatan Cable Stayed dipergunakan data stuktur atas dari Tugas Akhir "Perencanaan Ulang Jembatan Lemah Ireng (Ungaran –Bawen), Kabupaten Semarang Dengan Sistem Cable Stayed Single Plane"



Gambar 1. Kondisi eksisting jembatan.



Gambar 2. Redesain jembatan.

Cable Stayed tersebut didesain dengan bentang sepanjang 200 m untuk bentang kiri dan kanan pilon dan sisanya adalah desain jembatan eksisting yang berupa jembatan *Cantilever.* Akan dicoba mendesain pada bagian abutmen sisi Ungaran dan Bawen, serta pondasi pilar *cable stayed.*

II. METODE

A. Umum

Perencanaan struktur bawah adalah sesuatu hal yang penting, sebab struktur ini yang akan menyalurkan beban-beban dari struktur atas ke tanah serta struktur bawah pun akan menyangga atau menjadi tumpuan dari struktur atas. Pada perencanaan abutmen serta pondasi akan dipergunakan dari data tanah terdekat yakni data BJ, Cu, Sudut Geser yang terdapat dalam desain struktur eksisting.

Dalam penyusunan langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

B. Persiapan

Studi literatur : Studi literatur maksudnya adalah untuk mengumpulkan materi dan literatur yang digunakan sebagai acuan dalam studi suatu permasalahan.

Pengumpulan data: pada tahap ini dilakukan pengumpulan data mengenai data tanah, data struktur atas yang telah di desain dan data struktur atas eksisting dari jembatan tersebut

A. Pengumpulan Data

1. Layout lokasi Bendungan Marangkayu
2. Topografi Bendungan Marangkayu
3. Data Tanah eksisting atau tanah terdekat
4. Gambar desain jembatan eksisting
5. Gambar redesain jembatan *cable stayed*
6. Hasil reaksi perleteakan pada redesain cable stayed dan jembatan eksisting.

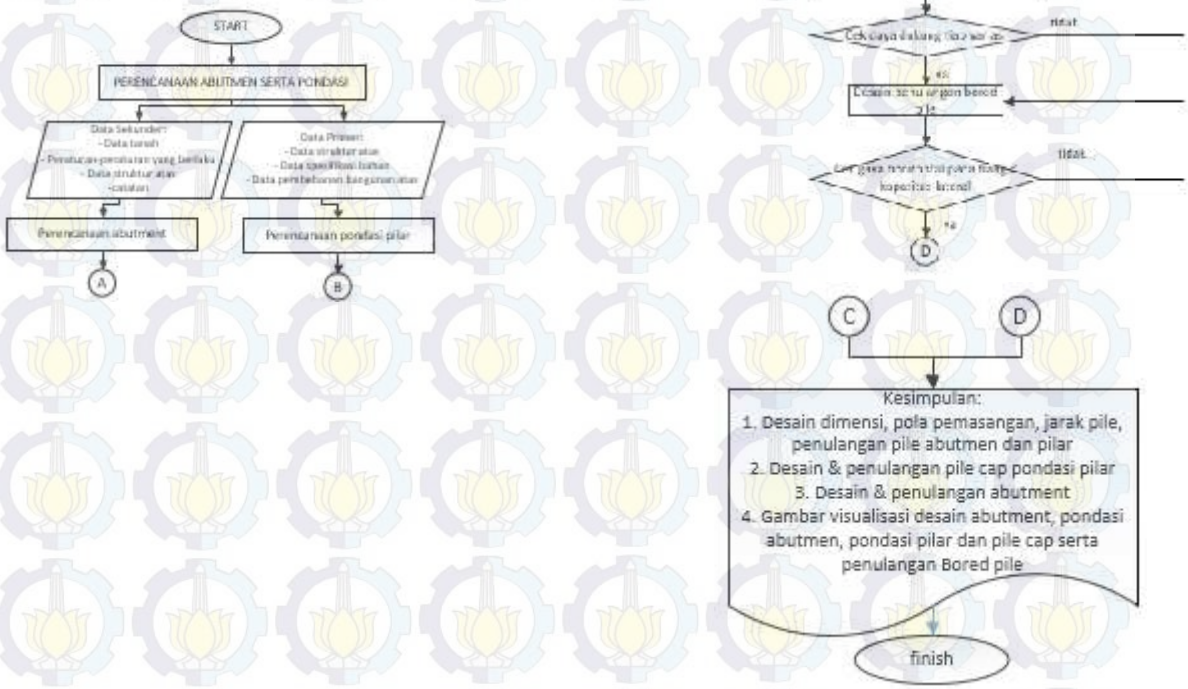
B. Tahap Analisa Perencanaan

a) Analisa Abutment
   1. Analisa data reaksi perletakan
   2. Analisa stabilitas guling
   3. Analisa stabilitas geser
   4. Analisa stabilitas sloope
   5. Aalisa stabilitas daya dukung

b) Analisa Pilar Sambungan
   1. Analisa reaksi perletakan.
   2. Analisa dimensi kolom pilar.
   3. Analisa momen pilar.
   4. Analisa tulangan pilar.
   5. Analisa daya dukung pondasi pilar.

c) Analisa pondasi pilar utama *cable stayed*
   1. Merencankan kelompok tiang pondasi.
   2. Menghitung P pada tiang pondasi.
   3. Menghitung dimensi pile yang akan digunakan.
   4. Menghitung tebal pile cap.
   5. Menghitung tulangan pile cap

C. Bagan Alir



Gambar 3. Bagan alir penyusunan Tugas Akhir

III. PEMBAHASAN

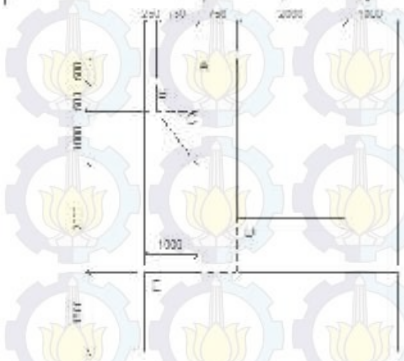
A. Data Reaksi Perletakan

Gambar 4. Letak abutment A & B.

Reaksi pada perletakan A dan B

Tabel 1. Reaksi perletakan abutment A

	fx	fy	fz	mx	my
	t	t	t	tm	tm
c1		1,75	1162,55	244,79	
c2		-2,72	756,06	738,1	
c3		-35,25	1183,55	508,72	
c4		35,13	1190,65	718,95	
c5		-3,73	756,05	738,1	



Gambar 5. Tampak melintang abutment A

Perencanaan abutmen pada titik A.

Stabilitas struktur Abutmen

1. Guling

   Gaya lateral tanah

   Mguling = Ea Tanah x Jarak dasar abutment ke titik berat gaya tekan tanah aktif

   Mguling = 9,658*1,85 = 17,90 T m/m

   Momen Penahan

   Tabel 2. Perhitungan momen penahan abutment A.

Segmen	Dimensi B (m)	Dimensi H (m)	Bj (t/m3)	Berat segmen (t)	Xa (m)	Mr (t m)
A	0,75	4,00	2,40	7,20	3,38	24,30
B	0,75	0,50	2,40	0,90	4,17	3,75
C Δ	0,75	1,00	2,40	1,80	4,00	7,20
D	2,00	1,00	2,40	4,80	2,00	9,60
E	4,75	1,50	2,40	17,10	2,38	40,61
I	0,23	3,50	1,80	1,58	4,63	7,28
J Δ	0,75	1,00	1,80	1,35	4,25	5,74
J	0,75	2,00	1,80	2,70	4,13	11,14

   ΣM_{tahan} = 109,58 T m/m

   SF = M_{tahan} / M_{guling}

   = 109,58 / 17,90

   = 6,12 > 1,5 " OK "

2. Geser

   a = Karakteristik adhesi tanah dengan abutment

   = (0.5 ~ 0.7) C , C = 0

   = 0.6 x 0 = 0

   b = Lebar pondasi

   = 28m

   W = Komposisi vertical dari R

   = Wabutmen + tanah

   = 1003,80 ton

   Px = Komposisi horizontal dari tanah (ΣEa tanah)

   = 270,42 ton

   Py = Komposisi horizontal dari perletakan max

   = 181,82 ton

   Δ = factor lekatan / hambatan antara tanah dan pondasi. Menurut bowless koefisien gesekan antara basis tanah boleh di ambil sebagai (tg φ 0,6 tg φ) dengan φ = 30

   SFx = (a x b+ W x tg φ)/P = (0 x 28+ 1003,80 x tg 30)/241,6

   = 2,398 > 1,5 "Ok"

   SFy = (a x b+ W x tg φ)/P = (0 x 28+ 1003,80 x tg 30)/181,82

   = 3,188 > 1,5 "Ok"

3. Sliding

   SF = $\frac{(c+w.\cos\frac{\theta}{Ln}.\ tg\emptyset)\ R}{w.\sin\theta/_{Ln}.\ R}$

   Dimana :

   w = Berat tanah irisan

   Ln = Panjang garis kelongsoran di bawah irisan

   θ = Sudut lingkaran

   C = Kohesi tanah

   $\emptyset$ = Sudut geser tanah

   R = Jari-jari lingkaran = $\frac{Hcr}{(2\sin\alpha.\sin\theta/2}$

   Dari grafik Braja M.Das hal. 180 diperoleh:

   B = 90° diperoleh

   α = 48°

   θ = 30°

   R = $\frac{b,5}{2\sin 48.\sin 30/_2}$ = 14,30 m

   L = $\frac{Hcr}{\sin\alpha}$ = $\frac{b,5}{\sin 48}$ =7,401 m

   w = ½ . $\gamma t.H^2.Ka$

   = 0,5 x 1,8 x $5,5^2$ x 0,333

   = 9,07 t/m

   Wt = w.L

   = 9,07 x 7,401 = 67,13 ton

   SF = $\frac{(0+67,13.\cos 30/_{7,401}.\tan 30]\ x\ 14,30}{67,13.\sin 30/7,401\ x\ 14,30}$

   = 8,15 > 1,5 " OK "

4. Daya dukung abutment

   V1 = reaksi perletakan jembatan

   = 1190,65 T

   V2 = beban abutment dan tanah timbunan

   = 1003,80 T

ΣV = 1190,65 + 1003,80
= 2194,45 T
ΣM = (ΣMtahan - ΣMguling) x Lebar
= (45,92 - 17,90) x 28
= 784,56 T m/m
Teg tanah:
q =2194,45/28x4,75+784,56/(1/2 x 〖4,75〗^2 x28)=
= 18,98 T/m
Lapisan tanah di bawah abutment (data digunakan dengan data tanah timbunan)
γ t = 1,64 T/m2
γ ' = 1,64-1 = 0,64 T/m2
ϕ = 0
c = 0,4 kg/cm2 = 4 T/m2
Untuk φ = 0 didapatkan data :
Nc = 5,7
Nq = 0
NΥ = 1
ql =[(4.5,7) + 1,64*5*0 + 0,4*1,64*26*1]
= 39,86 T/m2
SF = ql/q >3
= 39,86 / 18,98 = 2,1 < 3

Safety Factor tidak terpenuhi maka daya dukung vertikal akan dipergunakan perencanaan tiang pondasi.

Perhitungan daya dukung tiang :

Tabel 3. Beban kombinasi dari str atas dan abutment

	fx	fy	fz	mx	my
	T	T	T	Tm	Tm
c1	0,00	1,76	2166,35	244,79	0,00
c2	270,42	-2,72	1759,86	738,10	500,28
c3	270,42	-35,25	2187,35	508,72	500,28
c4	427,11	219,95	2194,45	939,02	942,74
c5	121,21	179,09	1759,85	958,16	330,09

Gambar 6. Tampak atas pola pemasangan pondasi tiang abutment A.

Tabel 4. Nilai P pada masing-masing tiang pada kombinasi 1-5.

	Kombinasi				
	1	2	3	4	5
	(T)	(T)	(T)	(T)	(T)
P A5	442,33	378,56	452,76	476,50	386,56
P A1	424,21	325,38	422,18	401,28	317,38
P A4	437,80	365,27	445,12	457,70	369,27
P A2	428,74	338,88	427,82	420,08	334,87
P A3	433,27	351,97	437,47	438,89	351,97

Perencanaan tiang pondasi *bored pile*.

Direncanakan menggunakan tiang bored pile dengan mutu beton f'c = 30 MPa dan mutu tulangan 400 MPa

Ds = 2,257* √ ((476,50*9,8)/(30*1000))
= 0,89 m

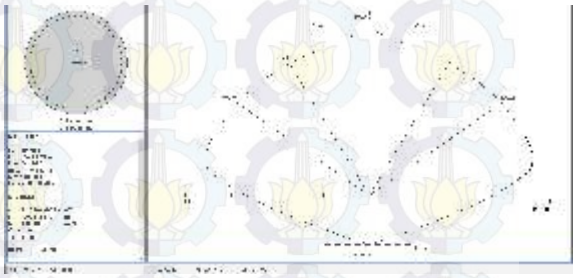
Dipergunakan :
Ds = 1,7 m
Db = Ds ≤ Db ≤ 3 Ds
= digunakan 2,50m
Direncanakan akan dipasang hingga kedalaman 15m
Qu = Qe + Qf
Qelemp.
= 5,94*299,00kN/m2*9
= 15983,29 kN
Qf = 675,17+97,73+516,14+788,22+1871,95
= 3949,22 kN
Qu = 19932,50 kN
Qd = Qu/SF, Dipergunakan SF = 3
= 19932,50 / 3
= 677,98 T
Cek Qd > Qw
677,98 T > 476,50 T, OK

Efektifitas daya dukung pile dengan rumus Converse Labare :
Co = 1-(arc tan (2,75/5,5))/90*(2-1/5-1/1)
= 0,7638662118
Vd = Qd*Co
= 677,98*0,763866
= 517,89 T > Pmax "476,50" OK

Cek tiang panjang atau pendek:
L > 2T
15 > 9,24 , maka termasuk tiang elastis

Momen maksimum pada pile
Hmax = 427,11 / 5 = 85,42T~837,97kN
Mmax = H(e+Zf)/2 = 837,97(0+8,32)/2
= 3485,96 kN m

Dengan menggunakan program bantu analisa diagram interaksi dicacari Momen Lentur izin pile dengan data-data sebagai berikut:
Tulangan= 46D36, As = 46822 mm2, p = 2%
f'c = 30 MPa
fy = 400 MPa
sb = 80 mm



Gambar 7. Diagram Interaksi Pile linglaran dengan nilai Mn = ±10854 kN m.

Daya dukung lateral menggunakan rumus Broms.
Kategori tiang
Dengan data-data:
D = 1,7 m
Cu rerata = 139,11 kN/m2
H = 427,11 T / 5 = 85,42 T

= 837,99 kN

L1 =[10854/(4,5*139,11*1,7)+2,25 〖1,7〗^2]^(1/2)

= 4,09 m < L “15 m”, maka cek nilai L2

L2 = 1,5D+f2+g2

f2 =-1,5*1,7+[〖(1,5*1,7)〗 ^2+(10854/(2,25*139,11*1,7))]^0,5

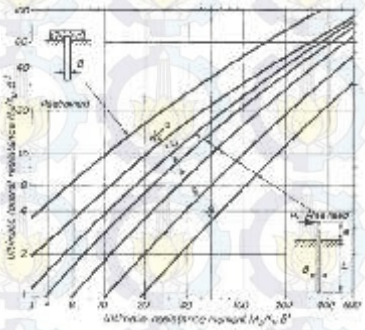
= 2,64 m

g2 = [10854/(2,25*139,11*1,7)]^0,5

= 4,52 m

L2 = 1,5*1,7+2,64+4,52

L2 = 9,70 < L “15 m” maka tiang merupakan tiang panjang cek daya dukung lateral (QL) dengan menggunakan grafik broms didapat berikut:



Gambar 8. Grafik daya dukung lateral untuk tiang panjang.

X = My/(Cu D^3)

= 10854/(139,11* 〖1,7〗^3)

= 15,88

Y = $\frac{Ql}{Cu\,D^2}$ = 13,4

Ql = $Y * Cu * D^2$

= $13{,}4 * 139{,}11 * 1{,}7^2$

= 5387,28 kN

- Efisiensi daya dukung lateral :

  Dengan jarak antar tiang 5,5 m dan Db 2,75 m maka S = 5,5 / 2,75= 2 Db

  Maka El dengan nilai S = 2Db = 25%

  Maka Ql izin :

  QlI = 5387,28 kN * 25%

  = 1346,82 kN ~ 137,29 T

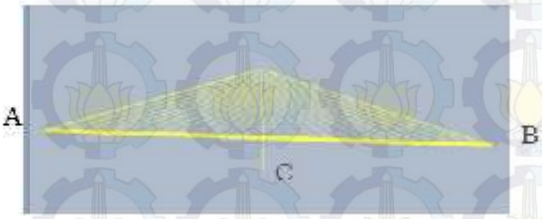
- Daya dukung gaya horizontal :

  Ql_I > H

  137,29 > 85,42OK

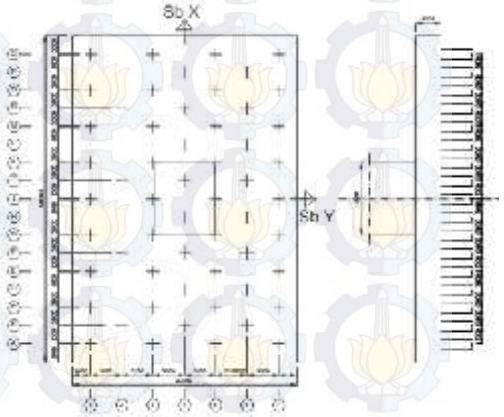
  Daya dukung horizontal 1 tiang > dari gaya horizontal pada 1 tiang.

Perencanaan Pondasi Pilar C



Gambar 9. Tampak samping jembatan cable stayed.

	fx	fy	fz	mx	my	mz
	t	t	t	tm	tm	tm
c1	-8,90	32,13	18029,64	1337,23	-2177,92	55,70
c2	1141,87	1159,39	15398,19	32807,60	8805,46	2033,74
c3	-970,45	-1157,44	18038,25	32821,48	-18491,81	48,22
c4	3898,22	1401,57	16038,80	41448,74	63220,73	2042,29
c5	2931,77	216,01	16017,19	72752,99	16906,84	2023,29



Gambar 10. Pola pemasangan pile pada pilar C.

Tabel 5. Nilai Pmax dan Pmin pada kombinasi 1-5.

	Pmax	Pmin
	(ton)	(ton)
C1	669,84	654,31
C2	708,55	527,89
C3	771,81	552,63
C4	860,30	397,50
C5	896,68	361,40

Ds = 2,25* √ (Qw/f'c) = 0,87

Ds = 1,70 m

Db = Ds ≤ Db ≤ 3 Ds

= digunakan 2,75 m

Dengan kedalaman hingga 66m didapat daya dukung :

Qu = Qe + Qf = 15637,53 kN+35861,94 kN

= 51499,47 kN

Qd = 51499,47 kN / 3 = 17166,49 kN/9,81 =

= 1749,90 Ton

Cek Qd > Qw

1749,90 T > 896,68 T, OK

Efektifitas daya dukung pile dengan rumus Converse Labare :

Co = 1-(arc tan (2,75/6))/90*(2-1/10-1/6)

= 0,525768

Vd = Qd*Co

= 1749,90*0,525768

= 920,04

Momen maksimum pada pile

Hmax = 3898,22 / 60 = 64,97T~637,36kN

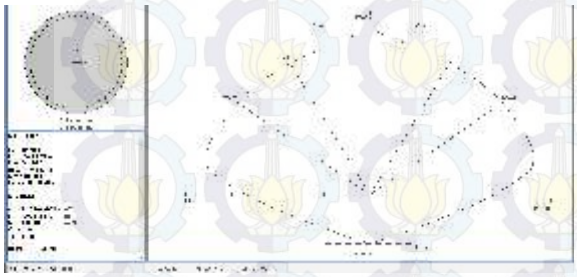
Mmax = H(e+Zf)/2 = 637,36 (0+8,32)/2

= 2649,92 kN m

Dengan menggunakan program bantu analisa diagram interaksi dicacari Momen Lentur izin pile dengan data-data sebagai berikut:

Tulangan= 35D28, As = 21551,33 mm2, p = 0,95%

f'c = 30 MPa
fy = 400 MPa
sb = 80 mm



Gambar 7. Diagram Interaksi Pile linglaran dengan nilai Mn = ±4175kN m.

Daya dukung lateral menggunakan rumus Broms.
Daya lateral menggunakan rumus Broms.
Kategori tiang
Dengan data-data:
D = 1,7 m
Cu rerata = 139,11 kN/m2
L1 = 3,23m < L "66 m", maka cek nilai L2
L2 = 1,5D+f2+g2
f2 = 1,24 m
g2 = 2,80 m
L2 = 1,5*1,7+1,24+2,80 = 6,57
X = 4175/(139,11*〖1,7〗^3)
= 6,11
Ql = 6,5*(139,11*$1,7^2$)
Ql = 2613,18 kN

- Efisiensi daya dukung lateral :

Dengan jarak antar tiang 6 m=2,18Db
Maka El dengan nilai S = 2,18Db =
EI
S=2D = 25%
S=3D = 50%
S=2,8D = $25 + \frac{(2,18-2)}{(3-2)}(50-25)$
= 29,5%
Maka Ql izin :
Ql_I = 2613,18 kN * 29,5%
= 770,89 kN ~ 78,58 T
Ql_I > H
78,58 T > 64,97 T, OK

KESIMPULAN

Setelah diperhitungkan pada posisi abutmen A dan abutmen B membutuhkan 5 buah tiang pondasi bored pile berdimensi Diameter silinder (Ds)= 1,70m, Diameter bell (Db)= 2,75m, jarak antar pile sebesar 5,5m dan kedalaman hingga 15,00m untuk mencapai daya dukung vertikal pile maksimum sebesar 476,50Ton dan daya dukung lateral tiap tiang sebesar 85,42Ton pada abutment A, daya dukung vertikal pile maksimum sebesar 485,38Ton dan daya dukung lateral tiap tiang sebesar 103,96Ton pada abutment B.

Pada posisi pilar A diperlukan 10 buah pile dengan Ds=1,70m, Db= 2,50m dengan kedalaman hingga 33,00m untuk memenuhi daya dukung vertikal sebesar 643,91Ton dan daya dukung lateral sebesar 54,38Ton setiap tiang. Pada pilar B diperlukan 10 buah tiang dengan Ds=1,70m, D= 2,50m dengan kedalaman hingga 34,00m untuk memenuhi daya dukung vertikal sebesar 661,99Ton dan daya dukung lateral sebesar 83,81Ton. Pada pilar C dengan desain pola pemasangan mengacu pada pondasi jembatan Suramadu membutuhkan 60 buah tiang bored pile dengan dimensi Ds=1,70m dan Db=2,75m sedalam 66,00m untuk memenuhi kebutuhan daya dukung vertikal sebesar 896,68Ton dan daya dukung horizontal sebesar 64,97Ton.

6.2 Saran

1. Dapat dilakukan loading test untuk melihat daya dukung lebih maksimal dan juga dapat diperhitungkan pula dengan menggunakan rumus lain atau juga dengan data lain seperti contoh NSPT dan sondir.
2. Pemasangan kelompok tiang dapat lebih divariasikan.
3. Untuk lebih detail dapat dipergunakan program analisa SAP untuk menghitung gaya yang disalurkan dari pilar atau kolom ke masing-masing tiang pondasi.
4. Pada perancangan abutment dapat pula dipergunakan tiang pancang selain bored pile sebagai pondasi tiang.

DAFTAR PUSTAKA

-Bowles, J.E. 1983. Analisa dan Desain Pondasi Jilid I. Jakarta: Erlangga.
-Bowles, J.E. 1983. Analisa dan Desain Pondasi Jilid II. Jakarta: Erlangga.
-Das, Braja M., (translated by Mochtar N.E, and Mochtar I.B.). 1985. Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid I. Jakarta: Erlangga.
-Das, Braja M., (translated by Mochtar N.E, and Mochtar I.B.). 1985. Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid II. Jakarta: Erlangga.
-Rekayasa Pondasi I (Konstruksi Penahan Tanah), Penerbit Gunadarma.
-Rekayasa Fundasi II (Fundasi Dangkal dan Fundasi Dalam), Penerbit Gunadarma.
-Untung, Djoko. 2012. Bahan Ajar Rekayasa Pondasi dan Timbunan. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.
-Cahyo A, Hanggoro Tri Cahyo. 2006. "Handout Rekayasa Pondasi 2". Semarang: Jurusan Teknik Sipil-FT Universitas Negeri Semarang.