

LAPORAN PENELITIAN

***“Analisis Perkuatan Fondasi Sumuran Jembatan
Krueng Seulekat pada Ruas Jalan Nasional
Tapaktuan-Subulussalam Kabupaten Aceh
Selatan”***

Dr. Yuki Achmad Yakin



**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
BANDUNG - 2019**

Analisis Perkuatan Fondasi Sumuran Jembatan Krueng Seulekat pada Ruas Jalan Nasional Tapaktuan-Subulussalam Kabupaten Aceh Selatan

NABILA NAQYA NAZDA, YUKI ACHMAD YAKIN

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
E-mail: naqyanabila@gmail.com

ABSTRAK

Struktur bawah Jembatan Krueng Seulekat terdiri dari 2 abutment dengan fondasi yang digunakan adalah fondasi sumuran diameter 3 m. Kedalaman fondasi sumuran pada abutment 1 yaitu 5,5 m dan pada abutment 2 yaitu 6,5 m. Jembatan tersebut perlu dilakukan pelebaran, dengan adanya pelebaran maka akan berpengaruh terhadap kapasitas daya dukung fondasi jembatan. Setelah jembatan dilebarkan, fondasi yang ada tidak lagi mampu menyalurkan beban aksial yang bekerja di atasnya (9503,63 kN). Perkuatan fondasi sumuran yang dilakukan adalah dengan cara melebarkan diameter fondasi agar kapasitas daya dukungnya mampu menahan beban struktur di atasnya. Analisis daya dukung yang digunakan yaitu dengan perhitungan manual dan pemodelan program PLAXIS 2D. Perencanaan perkuatan fondasi sumuran baru yang dipilih yaitu pada abutment 1 diameter fondasi sumuran menjadi 3,6 m dan pada abutment 2 diameter fondasi sumuran menjadi 3,4 m dengan kedalaman fondasi sumuran tetap seperti awal dan jumlah fondasi sumuran di setiap abutment adalah 1 unit.

Kata kunci: fondasi sumuran, kapasitas daya dukung, pelebaran jembatan, perkuatan.

ABSTRACT

The substructure of Krueng Seulekat Bridge is consist of 2 abutment with the foundation namely a caisson foundation with a diameter of 3 m. The depth of the caisson on abutment 1 is 5,5 m and on abutment 2 is 6,5 m. The bridge needs to be widened, with the widening of the bridge structure it also affect the bearing capacity of the bridge foundations. Once the bridge is widened the foundation is no longer able to support the axial load that working on it (9503,63 kN). Reinforcement of the caisson foundation is planned by expanding the foundation diameter so that its bearing capacity is able to support the load of the upper structure after the bridge widening. Analysis is using the calculation of manual formula and modeling in software Plaxis 2D. The reinforcement planning for the new diameter of foundation is, in abutment 1 the diameter of caisson foundation becomes 3,6 m and in abutment 2 the diameter becomes 3,4 m with the depth of the caisson foundation remains as the beginning and the number of caisson foundation in each abutment is 1 unit.

Keywords: caisson foundation, bearing capacity, bridge widening, reinforcement

1. PENDAHULUAN

Jembatan Krueng Seulekat berada di ruas Jalan Nasional Tapaktuan-Subulussalam. Dalam Peraturan Pemerintah tentang Jalan Tahun 2006 menyatakan bahwa untuk jalan nasional (arteri primer) lebar badan jalan minimum adalah 11 m, sedangkan pada Jembatan Krueng Seulekat saat ini lebar jembatan hanya 7 m yang berarti dibutuhkan pelebaran struktur jembatan. Fondasi yang digunakan dalam pekerjaan Jembatan Krueng Seulekat ini adalah fondasi sumuran dengan diameter 3 m. Pelebaran jembatan yang terjadi mengakibatkan kapasitas daya dukung fondasi eksisting tidak lagi mampu menyalurkan beban yang bekerja diatasnya, sehingga perlu dilakukan analisis perkuatan struktur bawah.

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk menganalisis pengaruh pelebaran jembatan terhadap perkuatan fondasi sumuran pada Jembatan Krueng Seulekat Kabupaten Aceh Selatan, sehingga diharapkan dapat dijadikan pertimbangan dalam desain struktur bawah jembatan agar perencanaan desain jembatan tidak mengakibatkan keruntuhan terhadap struktur jembatan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fondasi Sumuran (*Caisson*)

Fondasi sumuran merupakan peralihan antara fondasi dangkal dan fondasi dalam, digunakan bila tanah dasar yang kuat terletak pada kedalaman yang relatif dalam. Menurut H. Cristady Hardiyatmo (2008) di Indonesia fondasi kaison sering dibuat berbentuk silinder sehingga umumnya disebut fondasi sumuran karena bentuknya yang mirip sumur. Istilah kaison digunakan untuk menggambarkan bentuk fondasi yang berupa silinder atau persegi, dengan atau tanpa pembesaran pada ujungnya. Fondasi sumuran dibuat dengan cara mengebor terlebih dulu untuk membuat lubang di dalam tanah, dan kemudian diisi dengan beton.

2.2 Kapasitas Daya Dukung Fondasi Sumuran

Perhitungan daya dukung ultimit (Q_u) fondasi sumuran yaitu menggunakan **Persamaan 1**.

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s \quad \dots (1)$$

Maka diperoleh persamaan daya dukung izin (Q_{all}) yaitu menggunakan **Persamaan 2**.

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} \quad \dots (2)$$

halmana:

- | | |
|-----------|---|
| Q_{ult} | = kapasitas daya dukung ultimit total [kN], |
| Q_p | = kapasitas daya dukung ultimit tahanan ujung [kN], |
| Q_s | = kapasitas daya dukung ultimit geser selimut [kN], |
| Q_{all} | = kapasitas daya dukung izin [kN], |
| SF | = faktor keamanan. |

2.2.1 Kapasitas Daya Dukung Ultimit Tahanan Ujung (Q_p)

Dalam menentukan kapasitas daya dukung ultimit ujung (Q_p) fondasi sumuran dinyatakan dengan menggunakan **Persamaan 3**.

$$Q_p = q_u \cdot A_p \quad \dots (3)$$

halmana:

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,3 c N_c + D_f \gamma N_q + 0,3 \gamma B N_\gamma \text{ [kN/m}^2\text]}, \\
 A_p &= \text{luas penampang sumuran [m}^2\text]}, \\
 B &= \text{lebar atau dimeter fondasi [m]}, \\
 D_f &= \text{kedalaman fondasi [m]}, \\
 N_c, N_q, N_\gamma &= \text{faktor daya dukung Terzaghi}.
 \end{aligned}$$

2.2.2 Kapasitas Daya Dukung Ultimit Geser Selimut (Q_s)

Kapasitas daya dukung ultimit geser selimut ditentukan oleh gaya gesekan antar fondasi dengan dinding tanah di sekitarnya. Perhitungan daya dukung selimut untuk tanah berlapis adalah dengan menggunakan **Persamaan 4**.

$$Q_s = \sum f_s \cdot A_s \quad \dots (4)$$

halmana:

$$\begin{aligned}
 A_s &= \text{luas selimut [m}^2\text]} = p \cdot \Delta L, \\
 p &= \text{keliling penampang fondasi [m]}, \\
 \Delta L &= \text{panjang segmen tiang [m]}, \\
 f_s &= \text{faktor gesek satuan antara tanah dan dinding [kN/m}^2\text]}.
 \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai tahanan gesek (f_s) pada tanah lempung dan pasir dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu:

A. Tanah Lempung

Tahanan gesek untuk kedalaman tiang di tanah kohesif dapat dinyatakan dengan menggunakan rumus seperti pada **Persamaan 5** berikut.

$$f_s = \alpha \cdot c_u \quad \dots (5)$$

halmana:

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \text{faktor adhesi}, \\
 c_u &= \text{kohesi tanah } undrained \text{ [kN/m}^2\text]}.
 \end{aligned}$$

B. Tanah Pasir

Tahanan gesek untuk kedalaman tiang di tanah berbutir kasar atau non kohesif dapat dinyatakan dengan menggunakan **Persamaan 6** berikut.

$$f_s = K_d \times \sigma'_v \times \tan \delta \quad \dots (6)$$

halmana:

$$\begin{aligned}
 K_d &= \text{koefisien tekanan tanah}, \\
 \sigma'_v &= \text{tegangan vertikal efektif tanah [kN/m}^2\text]}, \\
 \delta &= \text{sudut geser antara tanah dan tiang [°]}.
 \end{aligned}$$

Nilai δ bergantung pada material tiang yang digunakan dan berhubungan dengan sudut geser dalam tanah (φ) seperti pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Nilai δ Berdasarkan Material

Bahan Tiang	δ
Baja	20°
Beton	3/4 φ
Kayu	2/3 φ

(Sumber: Tomlinson, 1986)

2.3 Penurunan Fondasi Sumuran

Metode yang digunakan dalam perhitungan penurunan fondasi tunggal ini adalah dengan menggunakan metode semi-empiris menurut Vesic (1977) seperti pada **Persamaan 7** berikut.

$$S_e = S_s + S_p + S_{ps} \quad \dots (7)$$

halmana:

- S_e = penurunan total [m],
- S_s = penurunan elastik dari tiang [m],
- S_p = penurunan yang disebabkan oleh beban diujung tiang [m],
- S_{ps} = penurunan yang disebabkan oleh beban di sepanjang tiang [m].

Ketiga komponen tersebut dihitung secara terpisah dan kemudian dijumlahkan. Perhitungan penurunan elastik tiang seperti pada **Persamaan 8** berikut.

$$S_s = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws}) \cdot L}{A_p \cdot E_p} \quad \dots (8)$$

halmana:

- Q_{wp} = daya dukung ujung tiang dikurangi daya dukung selimut [kN]
- Q_{ws} = daya dukung geser selimut [kN]
- L = panjang fondasi [m]
- A_p = luas penampang fondasi [m^2]
- E_p = modulus elastisitas fondasi [kN/m^2]
- ξ = koefisien distribusi gesekan selimut sepanjang fondasi.

Vesic (1977) menyatakan nilai $\xi = 0,5$ untuk distribusi gesekan yang seragam atau parabolik sepanjang tiang. Untuk distribusi berbentuk segitiga (nol dipuncak dan maksimum di dasar) nilai $\xi = 0,67$.

Perhitungan penurunan yang disebabkan oleh beban diujung tiang yaitu seperti pada **Persamaan 9** berikut.

$$S_p = \frac{Q_{wp} \cdot C_p}{D \cdot q_p} \quad \dots (9)$$

halmana:

- C_p = koefisien empiris,
- q_p = tahanan ujung tiang [kN/m^2],
- D = diameter fondasi [m].

Perhitungan penurunan akibat beban sepanjang fondasi dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan 10** sebagai berikut.

$$S_{ps} = \frac{Q_{ws}}{p \cdot L} \cdot \left(\frac{D}{E_s} \right) \cdot (1 - \mu^2) \cdot I_{ws} \quad \dots (10)$$

halmana:

- Q_{ws} = daya dukung geser selimut [kN],
- p = keliling fondasi [m],
- L = panjang fondasi [m],
- D = diameter fondasi [m],

$$\begin{aligned}E_s &= \text{modulus elastisitas tanah}, \\ \mu &= \text{angka poisson tanah}, \\ I_{ws} &= \text{faktor pengaruh} = (2 + 0,35 \sqrt{L/D}).\end{aligned}$$

2.4 Jumlah Kebutuhan Fondasi Sumuran

Jumlah kebutuhan minimal fondasi sumuran yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan 11** sebagai berikut.

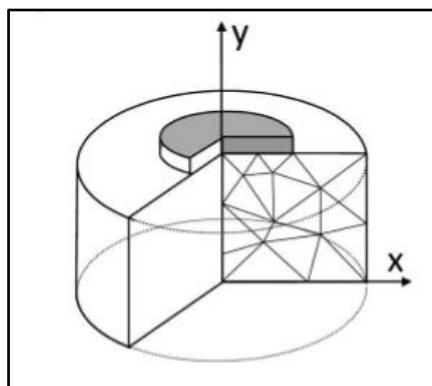
$$n = \frac{P}{Q_{all}} \quad \dots (11)$$

halmana:

$$\begin{aligned}n &= \text{jumlah kebutuhan fondasi}, \\ P &= \text{beban vertikal yang bekerja [kN]}, \\ Q_{all} &= \text{daya dukung izin pada 1 tiang [kN].}\end{aligned}$$

2.5 Program Plaxis 2D Versi 2017

PLAXIS 2D merupakan program elemen hingga (*finite element method*) dua dimensi, yang dikembangkan untuk analisis daya dukung, deformasi, stabilitas, dan aliran air tanah dalam rekayasa geoteknik. Dengan program PLAXIS 2D, tanah dapat dimodelkan dalam regangan bidang (*plain strain*) dan aksi-simetri sesuai dengan kebutuhan model. Dalam pemodelan fondasi sumuran dapat digunakan pendekatan metode elemen hingga dengan model elemen aksi-simetri. Model aksi-simetri digunakan untuk struktur berbentuk lingkaran dengan penampang melintang radial yang kurang lebih seragam dan kondisi beban mengelilingi sumbu aksial, seperti dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Model aksi-simetri pada PLAXIS 2D
(Sumber: Brinkgreve *et al*, 2016)

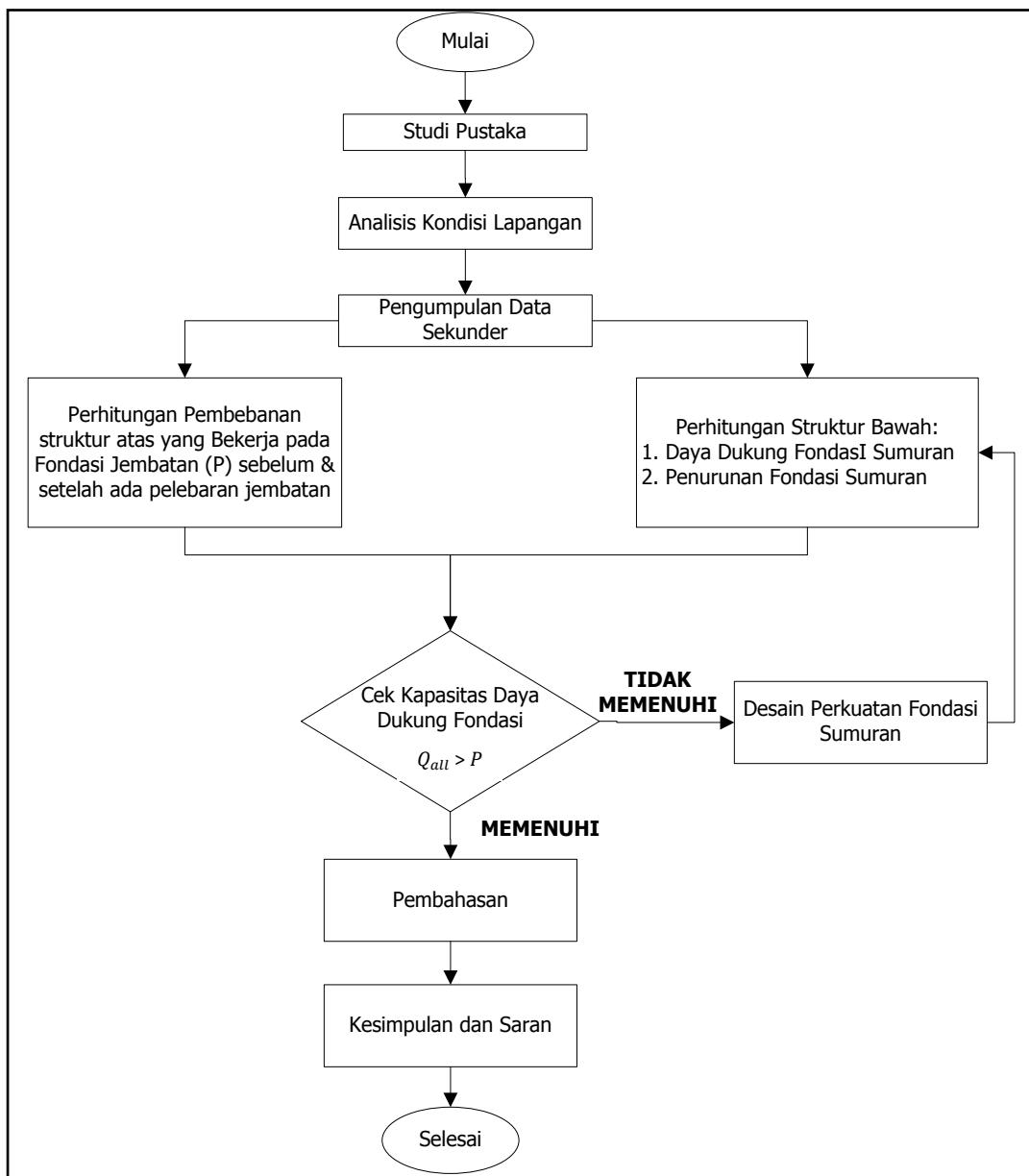
3. METODE PENELITIAN

Prosedur penelitian dalam penelitian ini dilakukan secara beberapa tahapan seperti dapat dilihat dalam bagan alir pada **Gambar 2**.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Stratifikasi Tanah

Lapisan tanah yang ada dibawah Jembatan Krueng Seulekat terdiri dari beberapa lapisan dengan tipe tanah yang berbeda sampai dengan kedalaman 10 m. Parameter tanah dan model yang digunakan dalam analisis merupakan hasil dari korelasi nilai N-SPT dan pengujian laboratorium, seperti dapat dilihat pada **Tabel 2**.



Gambar 2. Bagan alir penelitian

Tabel 2. Parameter Tanah dan Material Fondasi yang Digunakan

Parameter	Model	Tipe	Kedalaman		γ [kN/m ³]	E [kN/m ²]	μ -	c [kN/m ²]	φ [°]	ψ [°]
			[m]							
Lempung Kerikilan	<i>Mohr Column</i>	<i>Undrained</i>	±0,00 s/d -1,00		17	5×10^4	0,3	100	25	0
Pasir Kerikil Kerakal	<i>Mohr Column</i>	<i>Drained</i>	-1,00 s/d -8,00		20	$2,5 \times 10^5$	0,35	0	35	5
Breksi Vulkanik	<i>Mohr Column</i>	<i>Drained</i>	-8,00 s/d -10,00		24	6×10^5	0,4	500	45	15
Fondasi	<i>Linear Elastic</i>	<i>Non poros</i>	-		25	$2,1 \times 10^7$	0,15	-	-	-

4.2 Analisis Fondasi Sumuran Eksisting

Data Jembatan Eksisting:

Bentang jembatan = 30 m
Lebar lalu lintas = 2 x 3 m
Lebar bahu jalan = 2 x 0,5 m
Lebar total jembatan = 7 m

Beban aksial yang bekerja pada fondasi sumuran sebelum adanya pelebaran jembatan adalah sebesar 5.291,40 kN. Analisis kapasitas daya dukung izin fondasi sumuran eksisting yang dihitung menggunakan **Persamaan 2** diperoleh kapasitas daya dukung izin sebesar 6.594,83 untuk fondasi sumuran pada *Abutment 1* dan 7.642,43 kN untuk fondasi sumuran pada *Abutment 2*.

4.3 Analisis Fondasi Sumuran Setelah Pelebaran

Data jembatan setelah ada pelebaran:

Bentang jembatan = 30 m
Lebar lalu lintas = 2 x 3,5 m
Lebar bahu jalan = 2 x 2 m
Lebar total jembatan = 11 m

Analisis perhitungan beban aksial yang bekerja pada fondasi sumuran setelah dilakukan pelebaran jembatan didapatkan hasil yaitu sebesar 9.503,63 kN. Kapasitas daya dukung fondasi sumuran eksisting pada *Abutment 1* dan *Abutment 2* tidak lagi mampu menyalurkan beban yang bekerja di atasnya, maka dari itu perlu dilakukan perkuatan pada fondasi sumuran agar kapasitas daya dukungnya kembali mampu menyalurkan beban yang bekerja diatasnya tanpa mengalami keruntuhan struktur jembatan.

4.4 Analisis Perkuatan Fondasi Sumuran

Analisis perkuatan fondasi sumuran yang dilakukan adalah dengan cara melebarkan diameter fondasi sumuran, agar kapasitas daya dukungnya mampu menyalurkan beban struktur atas setelah dilakukan pelebaran jembatan. Dalam analisis perkuatan fondasi sumuran dilakukan beberapa kontrol terhadap variasi diameter yang baru diantaranya yaitu kontrol terhadap daya dukung fondasi sumuran, kontrol terhadap penurunan fondasi sumuran, dan kontrol jumlah minimum fondasi sumuran.

4.4.1 Kontrol Daya Dukung Fondasi Sumuran

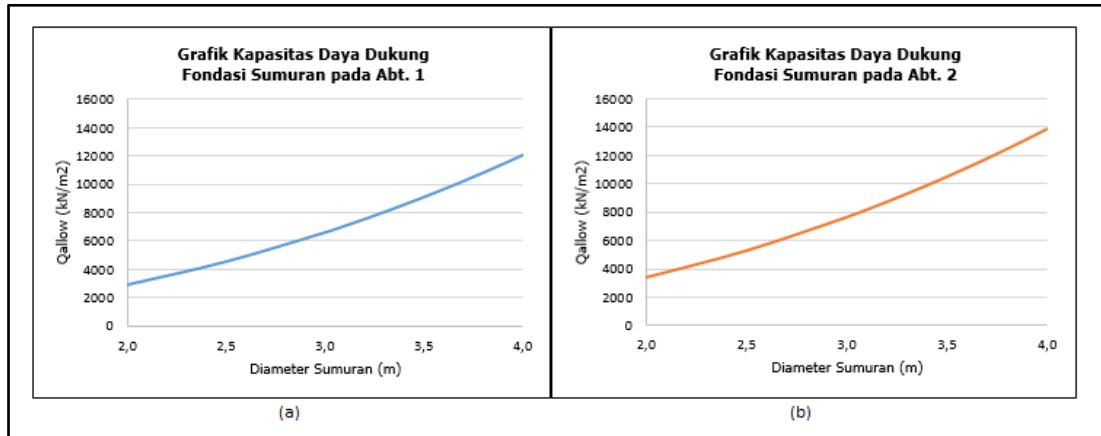
Perhitungan daya dukung fondasi sumuran pada *Abutment 1* dan *Abutment 2* disajikan dalam bentuk tabel seperti pada **Tabel 3** dan **Tabel 4** sedangkan grafik pengaruh diameter fondasi sumuran terhadap kapasitas daya dukung izin untuk fondasi sumuran yang berdiameter antara 3,0 - 3,6 m dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Tabel 3. Pengaruh Diameter Terhadap Daya Dukung Fondasi Sumuran *Abutment 1*

Diameter Sumuran	Daya Dukung Fondasi Sumuran (5,5 m)				
	Q_p	Q_s	Q_{ult}	FS	Q_{all}
3,0	18.792,54	991,94	19.784,48	3,00	6.594,83
3,1	20.162,26	1.025,01	21.187,27	3,00	7.062,42
3,2	21.586,33	1.058,07	22.644,40	3,00	7.548,13
3,3	23.065,35	1.091,14	24.156,49	3,00	8.052,16
3,4	24.599,92	1.124,20	25.724,12	3,00	8.574,71
3,5	26.190,63	1.157,27	27.347,90	3,00	9.115,97
3,6	27.838,09	1.190,33	29.028,43	3,00	9.676,14

Tabel 4. Pengaruh Diameter Terhadap Daya Dukung Fondasi Sumuran *Abutment 2*

Diameter Sumuran	Daya Dukung Fondasi (6,5 m)				
	Q_p	Q_s	Q_{ult}	FS	Q_{all}
3,0	21.718,93	1.208,37	22.927,30	3,00	7.642,43
3,1	23.287,00	1.248,65	24.535,65	3,00	8.178,55
3,2	24.915,92	1.288,93	26.204,84	3,00	8.734,95
3,3	26.606,29	1.329,21	27.935,49	3,00	9.311,83
3,4	28.358,71	1.369,49	29.728,19	3,00	9.909,40



Gambar 3. Grafik hubungan diameter sumuran dengan kapasitas dukung izin
 (a) fondasi sumuran pada *Abutment 1*; (b) fondasi sumuran pada *Abutment 2*

4.4.2 Kontrol Penurunan Fondasi Sumuran

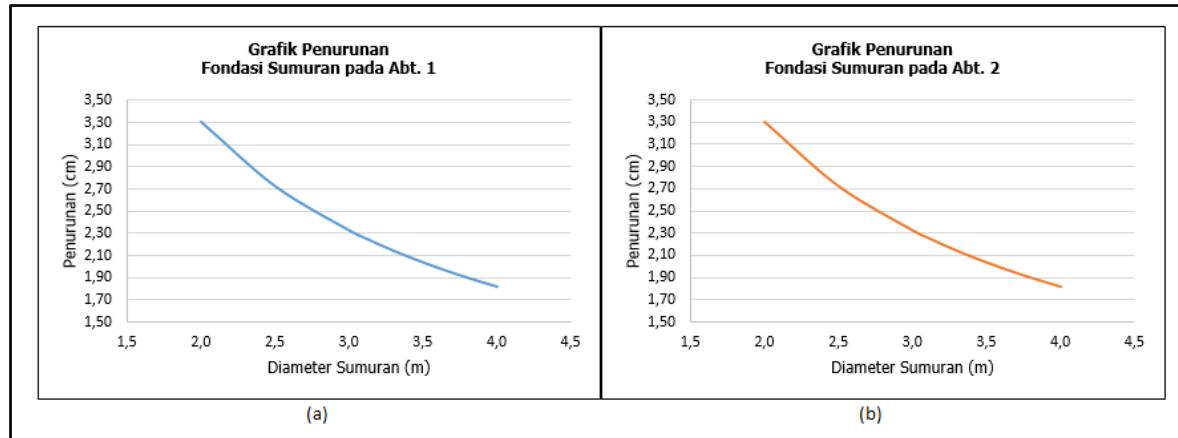
Perhitungan penurunan elastik fondasi sumuran tunggal pada *Abutment 1* dan *Abutment 2* berdasarkan metode semi-empiris Vesic (1977) seperti pada **Persamaan 7** disajikan dalam bentuk tabel seperti pada **Tabel 5** dan **Tabel 6** sedangkan untuk grafik pengaruh diameter fondasi terhadap penurunan dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Tabel 5. Pengaruh Diameter Terhadap Penurunan Fondasi Sumuran *Abutment 1*

Diameter Sumuran [m]	Penurunan Fondasi [cm]
3,0	2,33
3,1	2,26
3,2	2,20
3,3	2,14
3,4	2,09
3,5	2,04
3,6	1,99

Tabel 6. Pengaruh Diameter Terhadap Penurunan Fondasi Sumuran *Abutment 2*

Diameter Sumuran [m]	Penurunan Fondasi [cm]
3,0	2,35
3,1	2,28
3,2	2,22
3,3	2,17
3,4	2,11



Gambar 4. Grafik hubungan diameter sumuran dengan penurunan fondasi
(a) fondasi sumuran pada *Abutment 1*; (b) fondasi sumuran pada *Abutment 2*

Analisis penurunan yang diperoleh berdasarkan metode semi-empiris Vesic (1977) didapat bahwa perhitungan penurunan fondasi sumuran dengan variasi diameter 3,0 – 3,6 m telah memenuhi syarat penurunan maksimum yaitu kurang dari 1 inch (2,5 cm).

4.4.3 Jumlah Minimum Fondasi Sumuran

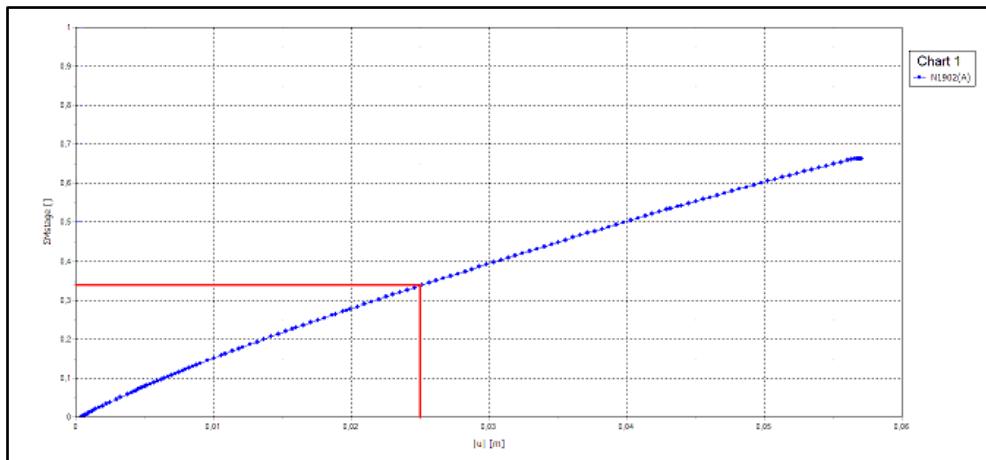
Perhitungan jumlah minimum fondasi sumuran yang diperlukan berdasarkan variasi diameter sumuran mulai dari diameter 3,0–3,6 dapat dilihat pada **Tabel 7** yang dihitung menggunakan **Persamaan 11**.

Tabel 7. Jumlah Fondasi Sumuran yang Dibutuhkan

Diameter Sumuran [m]	Jumlah Minimum Fondasi			
	Pada Abt.1	Unit	Pada Abt.2	Unit
3,0	1,44	2	1,24	2
3,1	1,35	2	1,16	2
3,2	1,26	2	1,09	2
3,3	1,18	2	1,02	2
3,4	1,11	2	0,96	1
3,5	1,04	2	0,90	1
3,6	0,98	1	0,85	1

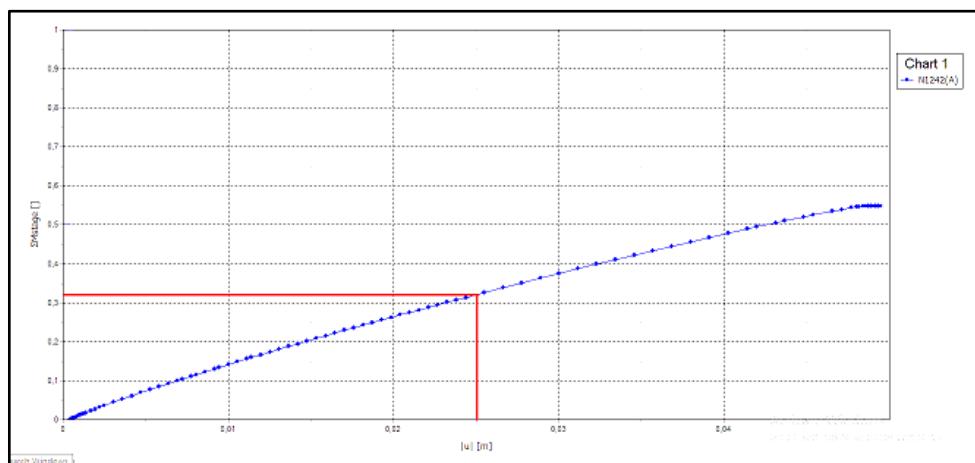
4.5 Analisis Daya Dukung Fondasi Sumuran Menggunakan PLAXIS 2D

Hasil *output* yang didapat menggunakan program PLAXIS 2D versi 2017 berupa grafik penurunan dan pembeban yang akan menghasilkan nilai kapasitas daya dukung ultimit fondasi sumuran pada *Abutment 1* dan *Abutment 2* dapat dilihat pada **Gambar 5** dan **Gambar 6**.



Gambar 5. Output PLAXIS 2D fondasi sumuran ($D= 3,6 \text{ m}$) pada *Abutment 1*

Didapat $Q_{all} = Q_{ult} / SF = 32.116,08 / 3 = 10.705,36 \text{ kN}$.



Gambar 6. Output Plaxis 2D fondasi sumuran ($D= 3,4 \text{ m}$) pada *abutment 2*

Didapat $Q_{all} = Q_{ult} / SF = 34.151,74 / 3 = 11.383,91 \text{ kN}$.

Rekapitulasi hasil daya dukung fondasi berdasarkan grafik penurunan seperti pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Hasil Daya Dukung Fondasi pada Program Plaxis 2D

Diameter Sumuran [m]	Daya Dukung Fondasi pada Abutment 1		Daya Dukung Fondasi pada Abutment 2
	Q_{all} [kN]	Q_{all} [kN]	Q_{all} [kN]
3,0	6.740,51		8.016,48
3,2	7.694,23		9.313,48
3,4	9.261,30		11.383,91
3,6	10.705,36		12.507,76

4.6 Pembahasan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, beban aksial yang diperoleh dari jembatan eksisting adalah sebesar 5.291,40 kN dan setelah dilakukan pelebaran jembatan beban aksial yang diperoleh menjadi sebesar 9.503,63 kN. Fondasi sumuran yang ada (eksisting) dengan diameter 3,0 m tidak lagi mampu menyalurkan beban aksial yang bekerja, maka perlu dilakukan perkuatan pada struktur fondasi sumuran salah satunya dengan cara merancang

ulang diameter fondasi sumuran agar kembali mampu menahan beban yang bekerja diatasnya. Perencanaan penampang fondasi sumuran baru yang dipilih dari beberapa variasi yaitu pada *Abutment* 1 direncanakan menggunakan diameter sumuran sebesar 3,6 m dengan kedalaman 5,5 m dan pada *Abutment* 2 direncanakan menggunakan diameter sumuran sebesar 3,4 m dengan kedalaman 6,5 m dengan jumlah fondasi sumuran masing-masing 1 unit di tiap *Abutment*. Hasil analisis fondasi sumuran pada *Abutment* 1 dapat dilihat pada **Tabel 9** dan hasil analisis fondasi sumuran pada abutment 2 dapat dilihat pada **Tabel 10**.

Tabel 9. Hasil Analisis Fondasi Sumuran pada *Abutment* 1

Diameter Sumuran [m]	Daya Dukung pada <i>Abutment</i> 1 [kN]				Penurunan [cm]	Jumlah Fondasi [unit]
	Q_p	Q_s	Q_{all} Manual	Q_{all} PLAXIS 2D		
3	18.792,54	991,94	6.594,83	6.740,51	2,33	2
3,2	21.586,33	1.058,07	7.548,13	7.694,23	2,20	2
3,4	24.599,92	1.124,20	8.574,71	9.261,30	2,09	2
3,6	27.838,09	1.190,33	9.676,14	10.705,36	1,99	1

Tabel 10. Hasil Analisis Fondasi Sumuran pada *Abutment* 2

Diameter Sumuran [m]	Daya Dukung pada <i>Abutment</i> 2 [kN]				Penurunan [cm]	Jumlah Fondasi [unit]
	Q_p	Q_s	Q_{all} Manual	Q_{all} PLAXIS 2D		
3	21.718,93	1.208,37	7.642,43	8.016,48	2,35	2
3,2	24.915,92	1.288,93	8.734,95	9.313,48	2,22	2
3,4	28.358,71	1.369,49	9.909,40	11.383,91	2,11	1

Berdasarkan analisis kapasitas daya dukung yang telah dilakukan baik pada fondasi sumuran *Abutment* 1 maupun *Abutment* 2 diperoleh nilai kapasitas daya dukung ujung (Q_p) lebih dominan daripada nilai kapasitas daya dukung geser selimut (Q_s). Gesekan selimut diperoleh sebagai akibat adhesi atau perlawanan gesekan antara selimut tiang dengan tanah disekitarnya, sedangkan tahanan ujung timbul akibat desakan ujung tiang terhadap tanah dasar.

Hasil analisis penurunan fondasi berdasarkan perhitungan metode Vesic (1977) untuk penurunan fondasi sumuran pada *Abutment* 1 dan *Abutment* 2 dengan diameter 3,0–3,6 m telah memenuhi syarat penurunan izin maksimum karena semua penurunan yang terjadi tidak lebih dari 1 inch (2,5 cm).

5. KESIMPULAN

- Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:
1. Nilai beban aksial yang bekerja pada Jembatan Krueng Seulekat sebelum adanya pelebaran adalah sebesar 5.291,40 kN dan setelah dilakukan pelebaran jembatan beban aksial menjadi 9.503,63 kN.
 2. Nilai total beban aksial struktur jembatan setelah dilakukan pelebaran meningkat sebesar 79,60 % dan perlu dilakukan perkuatan pada struktur fondasi.
 3. Perkuatan fondasi sumuran yang dilakukan adalah dengan cara melebarkan diameter penampang sumuran tanpa merubah kedalaman fondasi sumuran.
 4. Dipilih perencanaan penampang fondasi sumuran yang baru pada *Abutment* 1 yaitu menggunakan fondasi sumuran diameter 3,6 m kedalaman 5,5 m dengan penurunan sebesar 1,99 cm.

5. Pada *Abutment* 2 dipilih penampang fondasi sumuran yang baru yaitu menggunakan diameter 3,4 m kedalaman 6,5 m dengan besar penurunan yang terjadi sebesar 2,11 cm.
6. Jumlah kebutuhan fondasi sumuran di setiap *Abutment* adalah 1 unit.
7. Nilai kapasitas daya dukung ujung (Q_p) lebih dominan daripada nilai kapasitas geser selimutnya (Q_s).
8. Berdasarkan hasil yang diperoleh, analisis daya dukung menggunakan Program PLAXIS 2D menghasilkan nilai kapasitas daya dukung yang lebih besar daripada analisis menggunakan perhitungan manual dengan persentase perbandingan berkisar antara 3-12 %.
9. Perhitungan kapasitas daya dukung ultimit (Q_{ult}) yang digunakan pada Program PLAXIS 2D menggunakan *output* grafik penurunan aksial sebesar 1 inch (2,5 cm).

DAFTAR RUJUKAN

- Brinkgreve, R., Kumarswamy, S., & Swolfs, W. (2016). *PLAXIS 2 Manual*. Netherland: PLAXIS B.V.
- Hardiyatmo, H. C. (2008). *Teknik Fondasi 2 Edisi 4*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Pemerintah Pusat. (2006). *Peraturan Pemerintah No. 34 Tentang Jalan*. Jakarta: Peraturan Pemerintah (PP).
- Tomlinson, M. J. (1986). *Foundation design and construction, 5th Ed.* London: Longman.
- Vesic, A. S. (1977). Design of Pile Foundations, in National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Practice. *Transportation Research Board, 42(_)*, 32-48.