
Pengaruh Penambahan Variasi Beban Terhadap Penurunan Pondasi Tiang Pancang: Studi Kasus Jembatan Aek Pardamean Baru Kabupaten Mandailing Natal

Muhammad Yasir Zuhdi Hasibuan, Emi Maulani*, Yovi Chandra

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe, Aceh, Indonesia

*Corresponding Author: emimaulani@unimal.ac.id

Abstrak

Pondasi memiliki peranan sangat penting dalam suatu konstruksi karena berfungsi untuk meneruskan beban struktur di atasnya ke lapisan tanah dibawahnya, menurut (Kadarningsih & Achmad, 2014) penurunan yang berlebihan atau melebihi penurunan yang diijinkan dapat menyebabkan kerusakan struktur pada bangunan tersebut, maka dilakukan pengujian pembebanan tiang dan berdasarkan (SNI 8460, 2017) besar beban percobaan pada pelaksanaan uji pembebanan tiang adalah 200% dikalikan daya dukung rencana atau beban rencana dengan batas penurunan menurut (AASHTO LRFD, 2007) yaitu sekitar 25 mm hingga 50 mm untuk penurunan total yang diizinkan untuk jembatan. Penelitian ini untuk mengetahui penurunan yang terjadi pada pondasi tiang pancang Jembatan Aek Pardamean Baru berdasarkan data N-SPT dan parameter tanah apabila dilakukan penambahan variasi beban dalam jangka waktu 50 tahun. Metode yang digunakan metode numerik dengan Plaxis2D untuk penurunan tiang tunggal dan metode Poulos untuk tiang kelompok serta beban di variasikan sebesar 1,5P, 2P, dan 2,5P dari beban rencana. Berdasarkan hasil analisa penurunan tiang pancang tunggal terjadi penurunan berlebihan pada penurunan langsung tiang pancang tunggal dengan penambahan variasi beban dan tidak terjadi penurunan berlebihan pada penurunan berdasarkan beban rencana dengan rata-rata selisih 150% terhadap penurunan izin, sedangkan pada penurunan langsung tiang pancang kelompok terjadi penurunan berlebihan pada penambahan variasi 2P dan 2,5P. Adapun pada penurunan konsolidasi tiang pancang tunggal dan kelompok selama 50 tahun terjadi penurunan berlebihan atau melewati batas penurunan yang diizinkan dengan rata-rata selisih 102% terhadap penurunan izin.

Kata kunci: pondasi tiang pancang, penurunan pondasi, daya dukung, N-SPT, Konsolidasi

Abstract

The foundation has a very important role in a construction, because it functions to forward the load of the structure above it to the soil layer below, according to (Kadarningsih & Achmad, 2014) excessive decline or exceeding the allowable decline can cause structural damage to the building, so pile loading testing is carried out and based on (SNI 8460, 2017) the amount of trial load in the implementation of the pile loading test is 200% multiplied by the bearing capacity of the plan or the plan load with a drop limit according to (AASHTO LRFD, 2007) which is about 25 mm to 50 mm for the total allowable settlement for the bridge. This research is to determine the decline that occurs in the pile foundation of the Aek Pardamean Baru Bridge based on N-SPT data and soil parameters when additional load variations are carried out within a period of 50 years. The method used is a numerical method with Plaxis2D for single pile settlement and the Poulos method for group piles and the load is varied by 1.5P, 2P, and 2.5P of the plan load. Based on the results of the single pile settlement analysis, there is an overloaded settlement in the immediate settlement of single piles with the addition of load variations and there is no overloaded settlement in the settlement based on the plan load with an average difference of 150% against the permit settlement, while in the immediate settlement of group piles there is an overloaded settlement in the addition of variations of 2P and 2.5P. As for the consolidation settlement of single and group piles for 50 years, there is excessive settlement or exceeds the permitted settlement limit with an average difference of 102% against the permit settlement.

Keywords: pile foundation, settlement, bearing capacity, N-SPT, Consolidation

Pendahuluan

Pondasi sebagai pendukung utama dari konstruksi sipil yang memiliki peranan sangat penting dalam suatu konstruksi, karena berfungsi untuk meneruskan beban struktur di atasnya ke lapisan tanah dibawahnya. Pemilihan jenis pondasi tergantung pada jenis konstruksi dan jenis tanah, untuk konstruksi beban ringan dengan kondisi tanah yang cukup baik biasanya menggunakan pondasi dangkal dan untuk konstruksi beban berat dan tanah keras berada jauh di bawah permukaan tanah biasanya menggunakan pondasi dalam (Bowles, 1993). Tiang pancang merupakan salah satu contoh jenis pondasi dalam. Fungsi utama dari pondasi tiang adalah untuk mentransfer beban ke lapisan tanah yang lebih dalam yang dapat memikul beban kerja dengan factor keamanan yang cukup agar tidak terjadi keruntuhan dan tanpa menyebabkan penurunan yang dapat mengurangi fungsi struktur yang dipikulnya (SNI 8460, 2017). Salah satu kegagalan utama dalam konstruksi adalah umumnya karena penurunan itu tidak diantisipasi dan tidak dimonitor

sehingga perubahan elevasi permukaan tanah tidak dapat dibaca (Rahardjo, 2000).

Penurunan adalah suatu hal yang umum yang terjadi karena sifat pemampatan tanah akibat beban di atasnya, akan tetapi penurunan yang berlebihan atau melebihi penurunan yang diizinkan dapat menyebabkan kerusakan struktur pada bangunan tersebut (Kadarningsih & Achmad, 2014). Penurunan terdiri atas penurunan langsung (seketika) dan penurunan konsolidasi, yang dimana penurunan langsung akan terjadi saat beban diberikan dan penurunan konsolidasi atau jangka panjang mulai terjadi beberapa saat setelah pemberian beban. Besarnya penurunan konsolidasi lempung sangat bergantung pada sejarah geologi lapisannya, yaitu apakah lempung terkonsolidasi normal (*normally consolidated*) atau terkonsolidasi berlebihan (*over consolidated*).

Menurut (SNI 8460, 2017) besar beban percobaan pada pelaksanaan uji pembebanan tiang adalah 200% dikalikan daya dukung rencana atau beban rencana. Sehingga penelitian ini menganalisis pengaruh penambahan variasi beban terhadap penurunan tiang pancang langsung dan dalam jangka waktu lama.

Penelitian ini dilakukan pada jembatan Aek Pardamean Baru kabupaten Mandailing Natal, tiang pancang yang ditinjau nomor 12 di abutment 01 karena pada titik tersebut dilakukan uji PDA. Analisa dilakukan secara numerik dengan metode elemen hingga menggunakan *Plaxis2D* untuk penurunan tiang tunggal dan secara analitik menggunakan metode *Poulos* untuk penurunan tiang kelompok.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan ialah metode numerik dengan *Plaxis2D* dan metode analitik dengan metode *Poulos* dengan tujuan untuk mengetahui penurunan langsung dan konsolidasi selama 50 tahun pada pondasi tiang pancang tunggal dan kelompok apabila dilakukan penambahan variasi beban. Adapun penurunan konsolidasi masih dapat dibedakan lagi menjadi penurunan akibat konsolidasi primer dan penurunan konsolidasi sekunder (Hardiyatmo, 2015). Bila dinyatakan dalam bentuk persamaan total adalah.

$$S = S_i + S_c + S_s \quad (1)$$

Keterangan :

S = Penurunan total pondasi tiang tunggal
 S_i = Penurunan segera
 S_c = Penurunan akibat konsolidasi primer
 S_s = Penurunan akibat konsolidasi sekunder

Pada analisis penurunan pondasi tiang pancang menggunakan metode numerik dengan *Plaxis2D* didapat penurunan langsung tiang tunggal dan penurunan konsolidasi tiang tunggal selama 50 tahun. Untuk memperkirakan penurunan pondasi tiang pancang tunggal dapat menggunakan metode semi-empiris yaitu dengan persamaan berikut (Rahardjo, 2000).

$$S = S_s + S_p + S_{sp} \quad (2)$$

$$S_s = \frac{(Q_p + \alpha \cdot Q_s)L}{A_p \cdot E_p} \quad (3)$$

$$S_p = \frac{C_p \cdot Q_p}{D \cdot q_p} \quad (4)$$

$$S_{ps} = \left(\frac{Q_s}{p \cdot L} \right) \frac{D}{E_s} (1 - V_s^2) I_{ws} \quad (5)$$

Keterangan :

S = Penurunan total pondasi tiang tunggal
 S_s = Penurunan akibat deformasi axial tiang tunggal
 S_p = Penurunan dari ujung tiang
 S_{ps} = Penurunan tiang akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang
 Q_p = Beban yang didukung ujung tiang
 Q_s = Beban yang didukung selimut tiang
 A_p = Luas penampang tiang
 E_p = Modulus elastis tiang
 α = 0,5 untuk distribusi gesekan seragam atau parabolik sepanjang tiang sedangkan untuk distribusi berbentuk segitiga nilai $\alpha = 0,33$.
 C_p = Koefisien empiris
 E_s = Modulus elastisitas tanah
 V_s = *Poisson's ratio* tanah
 I_{ws} = Faktor pengaruh
 $= 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}}$

Dalam menganalisis penurunan langsung dan konsolidasi tiang kelompok dengan penambahan variasi beban menggunakan metode *Poulos* yang dilakukan setelah didapatkan hasil analisis dari *Plaxis2D* yaitu penurunan tiang pancang tunggal dengan penambahan variasi beban. Penurunan kelompok tiang dihitung dengan menjumlahkan pengaruh semua tiang dalam kelompok menggunakan factor interaksi (Poulos & Davis, 1980).

$$S_g = S_s \times \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \right) \quad (6)$$

Keterangan :

- S_s = Penurunan total pondasi tiang tunggal
- S_g = Penurunan kelompok tiang
- n = Jumlah tiang
- α_{ij} = Faktor interaksi antara tiang i dan j

Faktor interaksi antar tiang dalam kelompok dihitung menggunakan rumus yang mempertimbangkan jarak antar tiang dan panjang tiang (Poulos & Davis, 1980).

$$\alpha_{ij} = \frac{1}{1+(\frac{S_{ij}}{L})^m} \tag{7}$$

Keterangan :

- α_{ij} = Faktor interaksi antara tiang i dan j
- L = Kedalaman pondasi tiang / panjang tiang
- S_{ij} = Jarak antar tiang
- M = antara 0,5 dan 1,0 untuk tanah kohesif

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini memberikan hasil dan pembahasan mengenai pengaruh penunanan pondasi langsung dan konsolidasi tiang pancang tunggal dan kelompok jika dilakukan penambahan variasi beban. Perhitungan didasarkan pada data parameter tanah menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *Plaxis2D* untuk penurunan tiang pancang tunggal dan untuk penurunan tiang pancang kelompok didasarkan dari penurunan tiang pancang tunggal menggunakan metode analitik dengan metode *Poulos*. Perhitungan - perhitungan tersebut dilakukan sesuai dengan teori yang telah dipaparkan sebelumnya.

Hasil penurunan tiang pancang tunggal pada pondasi tiang pancang nomor 12 di jembatan Aek Pardamean baru berdasarkan metode perhitungan manual, metode numerik, dengan *Plaxis2D* dan hasil uji PDA seperti pada Tabel 1. Untuk penurunan berdasarkan perhitungan manual diperoleh sebesar 4,491 cm, untuk penurunan berdasarkan metode numerik dengan *Plaxis2D* diperoleh sebesar 4,119 cm dan untuk penurunan berdasarkan hasil PDA diperoleh sebesar 4,420 cm.

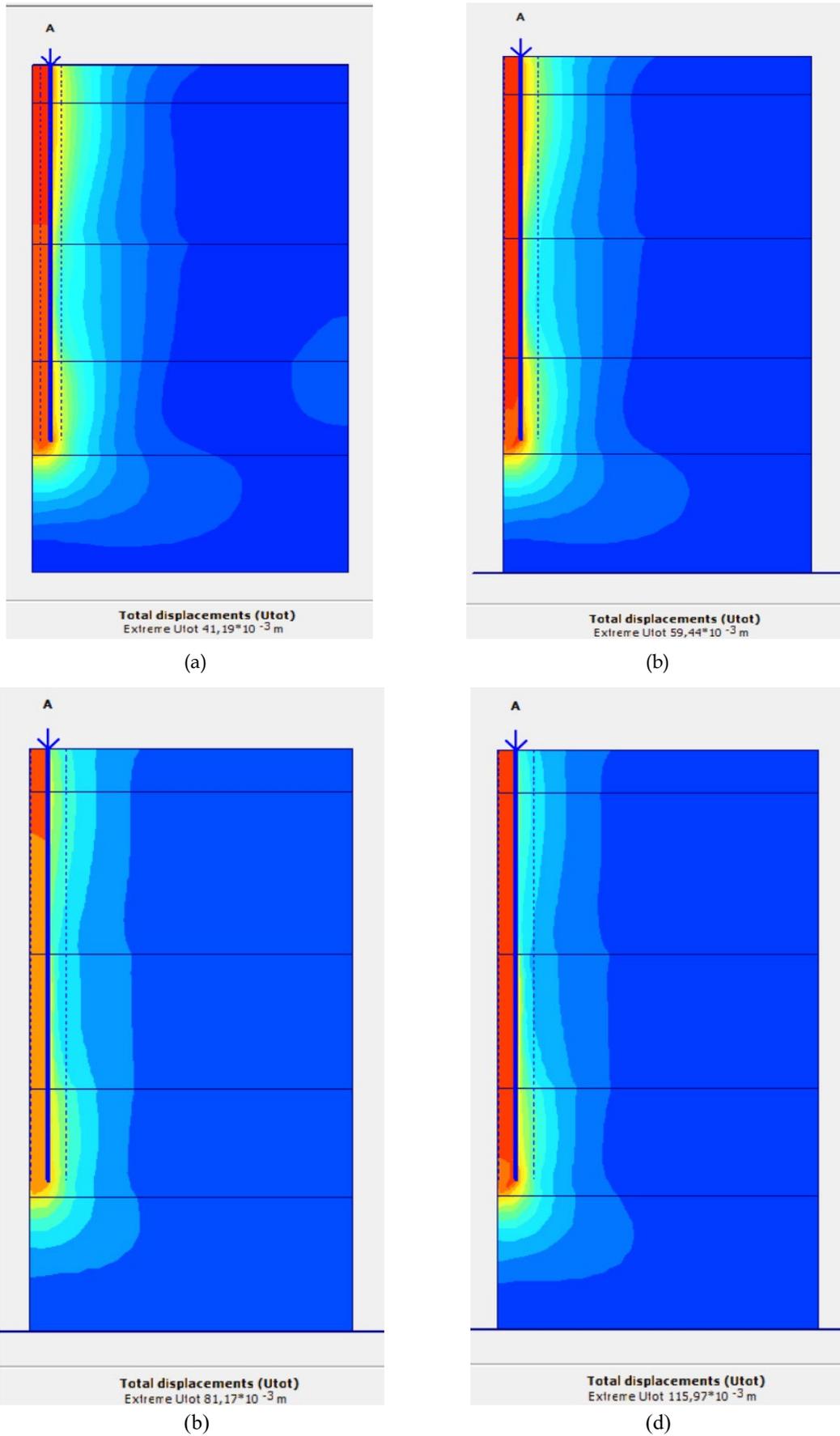
Tabel 1. Penurunan tiang pancang tunggal dengan beberapa metode

Titik	Metode	Penurunan (cm)	Batas izin = 5 (cm)
P12 - ABT 01	Semi Empiris	4,491	Aman
	PDA	4,420	Aman
	<i>Plaxis2D</i>	4,119	Aman

Penurunan langsung tiang pancang tunggal dengan penambahan tiang pancang tunggal dengan penambahan variasi beban sebesar 1,5P, 2P, dan 2,5P dari beban rencana menggunakan metode numerik dengan *Plaxis2D* seperti pada Tabel 2 dan Gambar 1. Hasil penurunan langsung tunggal tunggal pada beban normal sebesar 4,119 cm, untuk penambahan variasi 1,5P dari beban rencana sebesar 5,955 cm, untuk penambahan variasi 2P dari beban sebesar 8,133 cm dan untuk penambahan variasi 2,5P dari beban rencana sebesar 11,615 cm.

Tabel 2. Penurunan langsung tiang pancang tunggal

Titik	Variasi Beban	Penurunan (cm)	Batas izin = 5 (cm)
P12 - ABT 01	Normal	4,119	Aman
	1,5P	5,955	Tidak Aman
	2P	8,133	Tidak Aman
	2,5P	11,615	Tidak Aman



Gambar 1 Hasil Penurunan dengan Plaxis2D

- (a) Variasi beban normal
- (b) Variasi 1,5P dari beban

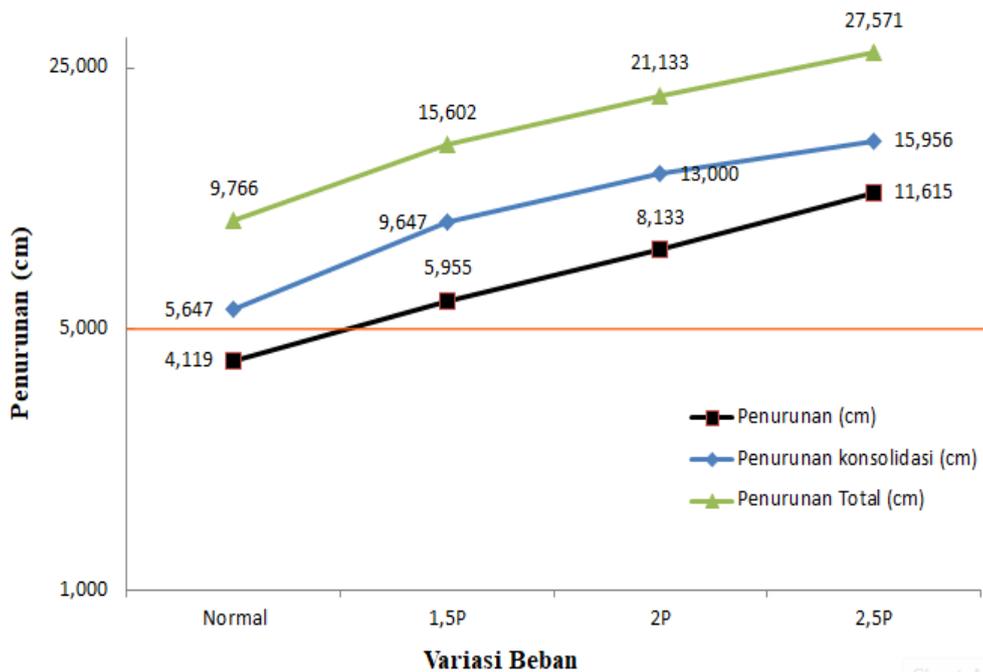
- (c) Variasi 2P dari beban
- (d) Variasi 2,5P dari beban

Penurunan konsolidasi tiang pancang tunggal dalam jangka waktu 50 tahun dengan penambahan variasi beban sebesar 1,5P, 2P, dan 2,5P dari beban rencana seperti pada Tabel 3. Hasil penurunan konsolidasi tiang pancang tunggal pada beban normal sebesar 5,467 cm dan total sebesar 9,766 cm, untuk penambahan variasi 1,5P dari beban rencana sebesar 9,467 cm dan penurunan total sebesar 15,602 cm, untuk penambahan variasi 2P dari beban rencana sebesar 13 cm dan penurunan total sebesar 21,133 cm, serta untuk penambahan variasi 2,5P dari beban rencana sebesar 15,956 cm dan penurunan total sebesar 27,571 cm.

Tabel 3. Penurunan konsolidasi tiang pancang tunggal selama 50 tahun

Titik	Variasi Beban	Penurunan konsolidasi (cm)	Penurunan total (cm)	Batas izin = 5 (cm)
P12 - ABT 01	Normal	5,647	9,766	Tidak Aman
	1,5P	9,647	15,602	Tidak Aman
	2P	13,000	21,133	Tidak Aman
	2,5P	15,956	27,571	Tidak Aman

Pengaruh penambahan variasi beban pada pondasi tiang pancang yaitu terjadi penurunan yang signifikan baik terhadap penurunan langsung atau penurunan konsolidasi dengan rata-rata selisih 150% terhadap penurunan yang diizinkan. Pada penurunan langsung tiang pancang tunggal berdasarkan beban rencana masih dalam batas yang diizinkan dan pada penambahan variasi beban terjadi penurunan berlebihan atau melewati batas yang diizinkan. Pada penurunan konsolidasi jangka waktu 50 tahun tiang pancang tunggal terjadi penurunan berlebihan atau melewati batas yang diizinkan baik berdasarkan beban rencana atau berdasarkan beban rencana atau penambahan variasi beban. Adapun grafik dari penurunan langsung dan konsolidasi tiang pancang tunggal dengan penambahan variasi beban dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik penurunan tiang pancang tunggal

Penurunan langsung tiang pancang kelompok dengan penambahan variasi beban sebesar 1,5P, 2P, dan 2,5P dari beban rencana secara analitik menggunakan metode *Poulos* seperti pada Tabel 4. Hasil penurunan langsung tiang pancang kelompok pada beban normal sebesar 3,211 cm, untuk penambahan variasi 1,5P dari beban rencana sebesar 4,642 cm, untuk penambahan variasi 2P dari beban rencana sebesar 6,340 dan untuk penambahan variasi 2,5P terhadap beban rencana sebesar 9,054 cm.

Tabel 4. Penurunan langsung tiang pancang kelompok

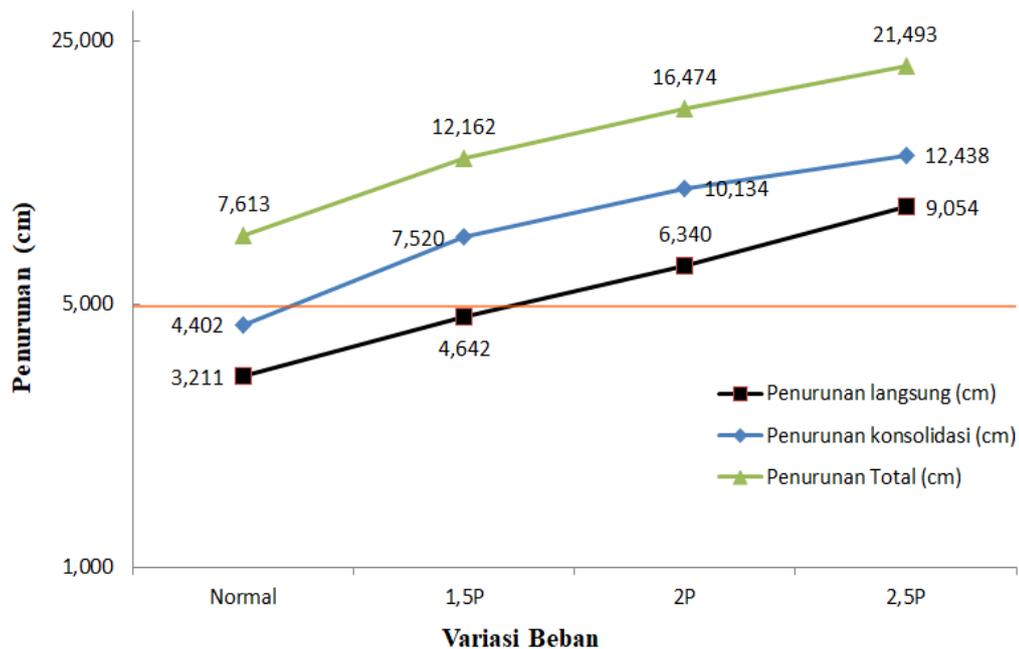
Titik	Variasi Beban	Penurunan kelompok (cm)	Batas izin = 5 (cm)
P12 - ABT 01	Normal	3,211	Aman
	1,5P	4,642	Aman
	2P	6,340	Tidak Aman
	2,5P	9,054	Tidak Aman

Penurunan konsolidasi tiang pancang kelompok dalam jangka waktu 50 tahun dengan penambahan variasi beban sebesar 1,5P, 2P dan 2,5P dari beban rencana secara analitik menggunakan metode *Poulus* seperti pada Tabel 5. Hasil penurunan konsolidasi tiang pancang kelompok selama 50 tahun pada beban normal sebesar 4,402 cm dan penurunan total sebesar 7,613 cm, untuk penambahan variasi beban 1,5P dari beban rencana sebesar 7,520 cm dan penurunan total sebesar 12,162 cm, untuk penambahan variasi 2P dari beban rencana sebesar 10,134 cm dan penurunan total sebesar 16,474 cm, serta untuk penambahan variasi 2,5P dari beban rencana sebesar 12,438 cm dan penurunan total sebesar 21,493 cm.

Tabel 5. Penurunan konsolidasi tiang pancang kelompok selama 50 tahun

Titik	Variasi Beban	Penurunan konsolidasi (cm)	Penurunan total (cm)	Batas izin = 5 (cm)
P12 - ABT 01	Normal	4,402	7,613	Tidak Aman
	1,5P	7,520	12,162	Tidak Aman
	2P	10,134	16,474	Tidak Aman
	2,5P	12,438	21,493	Tidak Aman

Pengaruh penambahan variasi beban pada pondasi tiang pancang yaitu terjadi penurunan yang signifikan, baik terhadap penurunan langsung atau penurunan konsolidasi dengan rata-rata selisih 102% terhadap penurunan yang diizinkan. Pada penurunan langsung tiang pancang tunggal berdasarkan beban rencana dan variasi beban 1,5P masih dalam batas yang diizinkan dan pada variasi beban 2P dan 2,5P terjadi penurunan berlebihan melewati batas yang diizinkan. Pada penurunan konsolidasi jangka waktu 50 tahun tiang pancang tunggal terjadi penurunan berlebihan atau melewati batas yang diizinkan, baik berdasarkan beban rencana atau berdasarkan penambahan variasi beban. Adapun grafik dari penurunan langsung dan konsolidasi tiang pancang kelompok dengan penambahan variasi beban dapat dilihat pada Gambar 3 sebagai berikut.



Gambar 3 Grafik penurunan tiang pancang kelompok

Kesimpulan

Hasil analisa penurunan langsung tiang pancang tunggal dengan penambahan variasi beban didapat penurunan 4,119 cm untuk beban normal, variasi 1,5P = 5,955 cm, variasi 2P = 8,133 cm, variasi 2,5P = 11,615 cm dan hasil penurunan konsolidasi tiang pancang tunggal jangka waktu 50 tahun didapat penurunan 9,766 cm untuk beban normal, variasi 1,5P = 15,602 cm, variasi 2P = 21,133 cm, variasi 2,5P = 27,571 cm.

Adapun hasil analisa penurunan langsung tiang pancang kelompok dengan penambahan variasi beban didapat penurunan 3,211 cm untuk beban normal, variasi 1,5P = 4,642, variasi 2P = 6,340 cm, variasi 2,5P = 9,054 cm dan hasil penurunan konsolidasi tiang pancang tunggal jangka waktu 50 tahun didapat penurunan 7,613 cm untuk beban normal, variasi 1,5P = 12,162 cm, variasi 2P = 16,474 cm, variasi 2,5P = 21,493 cm.

Berdasarkan hasil analisa penurunan tiang pancang tunggal terjadi penurunan berlebihan pada penurunan langsung tiang pancang tunggal dengan penambahan variasi beban dan tidak terjadi penurunan berlebihan pada penurunan berdasarkan beban rencana, sedangkan pada penurunan langsung tiang pancang kelompok terjadi penurunan berlebihan pada penambahan variasi 2P dan 2,5P. Adapun pada penurunan konsolidasi tiang pancang tunggal dan kelompok selama 50 tahun terjadi penurunan berlebihan atau melewati batas penurunan yang diizinkan.

Saran

Dari hasil analisis dan kesimpulan di atas, saran yang dapat diambil yaitu diperlukan data-data teknis yang lengkap seperti data pengujian laboratorium ataupun data material sebelum melakukan penelitian untuk menunjang dalam membuat rencana analisa perhitungan, sesuai dengan standar dan syarat-syaratnya dan dalam perhitungan penurunan konsolidasi tiang pancang menggunakan aplikasi untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat harus memiliki acuan atau perbandingan dari pengujian langsung atau perhitungan manual.

References

- AASHTO LRFD. (2007). Bridge Design Specifications. In *American Association of State Highway and Transportation Officials*.
- Bowles, J. E. (1993). *Analisis dan Desain Pondasi*. Erlangga.
- Hardiyatmo, H. C. (2015). *Analisis dan Perancangan Fondasi II*. Gramedia Pustaka Utama.
- Kadarningsih, R., & Achmad, F. (2014). *Evaluasi Penurunan Pondasi Gedung Auditorium Universitas Negeri Gorontalo Berdasarkan Data Sondir*. September.
- Poulos, H. ., & Davis, E. . (1980). *Pile Foundation Analysis And Design*. The University of Sidney.
- Rahardjo, P. P. (2000). *Manual Pondasi Tiang*. Program Pacea Sarjana Teknik Sipil.
- SNI 8460. (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik SNI 8460:2017*. Badan Standarisasi Nasional, 8460.