



## ANALISIS PENAMBAHAN BORE PILE PADA PIER JEMBATAN AKIBAT TIDAK TERCAPAINYA KAPASITAS DAYA DUKUNG TIANG HASIL PDA TEST STUDI KASUS JEMBATAN SANJOYO RUAS TOL SEMARANG – SOLO

Hartopo<sup>1</sup>✉, Totok Apriyanto<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Universitas Darul Ulum Islamic Centre

DOI: 10.26623/teknika.v17i2.5424

### Info Artikel

*Sejarah Artikel:*

Disubmit 10 Agustus 2022  
Direvisi 25 September 2022  
Disetujui 28 Oktober 2022

*Keywords:* bearing capacity of bored pile; hard soil; PDA Test

### Abstrak

Kapasitas daya dukung tiang bor dari hasil PDA test yang lebih kecil dari kapasitas daya dukung ijin tiang secara analitis diperlukan review terhadap jumlah tiang bor untuk mendapatkan kapasitas daya dukung tiang bor kelompok guna menahan beban dari struktur atas jembatan. Hasil bacaan uji PDA di P1 Jembatan Sanjoyo, nilai kapasitas daya dukung ijin ( $Q_a$ ) dengan  $SF = 2$  sebesar 315,5 ton. Sementara kapasitas daya dukung ijin hasil analisis untuk tiang bor diameter 1,2m adalah sebesar 500 ton. Penelusuran terhadap penyebab tidak tercapainya kapasitas daya dukung bore pile dari uji PDA dilakukan dengan pengumpulan data terhadap jumlah jam pengeboran pada tiap-tiap titik tiang bor. Jumlah jam pengeboran  $\geq 2,5$  diklasifikasikan sebagai tiang bor sudah mencapai tanah keras, sedangkan jumlah jam pengeboran  $< 2,5$  jam diklasifikasikan sebagai ujung tiang bor belum mencapai tanah keras. Dari kriteria tersebut, maka terdapat 7 tiang bor yang tidak duduk di at tanah keras. Berdasarkan pembebanan yang bekerja, diketahui bahwa beban yang diterima bore pile hanya sebesar 378 ton, sehingga penambahan bore pile yang direkomendasikan sejumlah 2 titik, yaitu di titik 16 dan 17 dengan kedalaman  $\pm 11m$ .

### Abstract

*The carrying capacity of drill piles from the PDA test results which is smaller than the pile carrying capacity analytically, a review of the number of drill piles is needed to obtain the carrying capacity of group drill piles to withstand the load from the bridge superstructure. The results of the PDA test readings at P1 of the Sanjoyo Bridge, the value of the permissible carrying capacity ( $Q_a$ ) with  $SF = 2$  is 315.5 tons. While the carrying capacity of the permit analysis results for a 1.2 meter diameter drill pile is 500 tons. The search for the causes of not achieving the bearing capacity of the bore pile from the PDA test is carried out by collecting data on the number of hours of drilling at each point of the drill pile. The number of drilling hours  $\geq 2.5$  is classified as the drill pile has reached hard ground, while the number of drilling hours  $< 2.5$  hours is classified as the drill pile tip has not reached hard ground. From these criteria, there are 7 drill piles that do not sit on hard ground. Based on the working load, it is known that the load received by the bore pile is only 378 tons, so the recommended addition of bore piles is 2 points, namely at points 16 and 17 with a depth of  $\pm 11m$ .*

✉ Alamat Korespondensi:

E-mail: hartopo\_67@yahoo.com

## PENDAHULUAN

Metode pengujian dinamis pondasi tiang *Pile Driving Analyzer (PDA) Test*. memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode pengujian tiang skala penuh (SLT) yaitu: a) waktu pengujian cepat; b) membutuhkan ruang relatif kecil; c) dapat mengevaluasi daya dukung dan integritas struktural tiang; d) dapat mengevaluasi penurunan (*settlement*) tiang (Khomsianti et al., 2019).

Kapasitas dukung tiang ultimit  $R_u$  analisis terhadap  $R_u$  lapangan yang dihasilkan dari PDA sangat ditentukan dari faktor redaman di ujung tiang ( $\dot{v}$ ) yang diambil (Ardianti, 2018).

Perencanaan pondasi harus memenuhi faktor keamanan agar tidak terjadi pergerakan dinamis yang terlalu besar (Hardiyatmo, 2003). Beberapa penyebab kegagalan uji dinamis tiang bor pada tanah lunak dapat disebabkan oleh beberapa hal: pelunakan tanah di sekitar permukaan lubang, pelunakan tanah pada dasar lubang dan terjadinya penurunan tanah. Pelunakan tersebut adalah pengaruh dari bertambahnya kadar air lempung oleh pengaruh-pengaruh air pada pengecoran beton, pengaliran air tanah ke zona yang bertekanan lebih rendah di sekitar lubang bor dan air yang dipakai untuk pelaksanaan pembuatan lubang bor (Hardiyatmo, 2008).

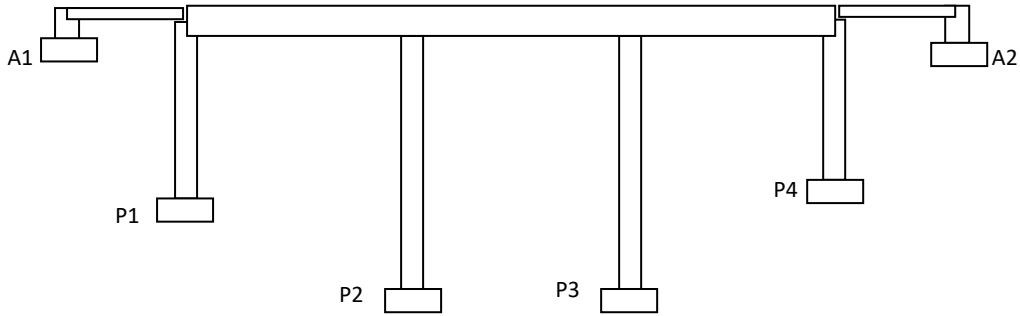
Salah satu penyebab hasil PDA Test menunjukkan kecacatan bore pile sehingga kapasitas daya dukungnya tidak memenuhi kriteria desain adalah selama proses pekerjaan konstruksi, kurangnya pengamatan dan prosedur pada saat tahap pembersihan dasar lubang sehingga sisa lumpur tercampur dengan beton *ready mix* pada saat pengecoran bisa jadi menyebabkan kerusakan pada selimut beton (Permana & Gunawan, 2020).

Pengujian borepile pada beberapa proyek konstruksi dilakukan untuk mengetahui beberapa variabel yang diperlukan sebelum bore pile menerima beban – beban konstruksi sesungguhnya. Beberapa variabel tersebut diantaranya (Rahman et al., 2020):

1. Kapasitas daya dukung tiang
2. Nilai keutuhan tiang
3. Penurunan / displacement tiang
4. Efisiensi dan transfer energi pukulan palu / *hammer* terhadap tiang

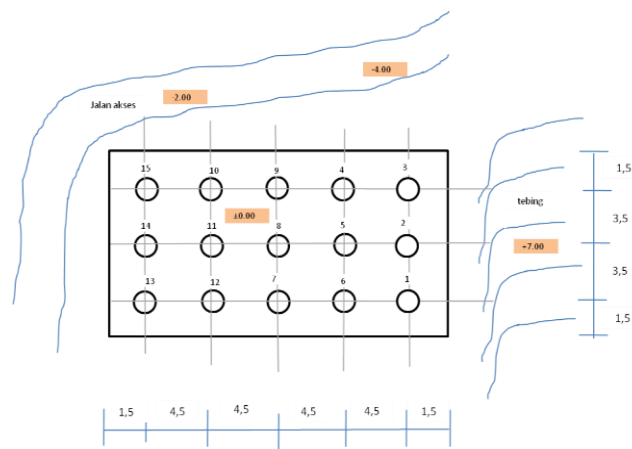
Keempat variabel tersebut di atas dapat dilakukan dengan PDA test (*Pile Driven Analyzer*). Selain dengan PDA test, nilai keutuhan tiang dapat dilakukan dengan pengujian *Pile Integrity Test (PIT)* atau *Sonic Logging* (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2016). Nilai keutuhan bore pile sangat diperlukan karena dalam pelaksanaan pekerjaan bore pile akan sangat rentan beton akan bercampur dengan lumpur sehingga akan terbentuk menjadi *bad concrete* serta adanya potensi longsor pada lubang bore pile yang berdampak pada terjadinya pengecilan penampang (*necking*) ataupun pembesaran penampang (Tjie-liong, 2011).

Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis sekaligus evaluasi terhadap tidak terpenuhinya nilai kapasitas dukung aksial bore pile dengan PDA test. Jembatan Sanjoyo merupakan bagian konstruksi jembatan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Bawen – Salatiga Paket 3.3 B dengan bentang 170m terdiri dari 2 abutment (A1 dan A2) serta 4 pier (P1, P2, P3 dan P4).



**Gambar 1.** Sketsa Long Profil Jembatan Sanjoyo

Sesuai dengan *Detil Engineering Design (DED)*, jumlah bore pile pada pier P1 berjumlah 15 tiang (3 x 5) dengan kedalaman bore pile 8 (delapan) meter dengan lay out dan formasi sebagai berikut :



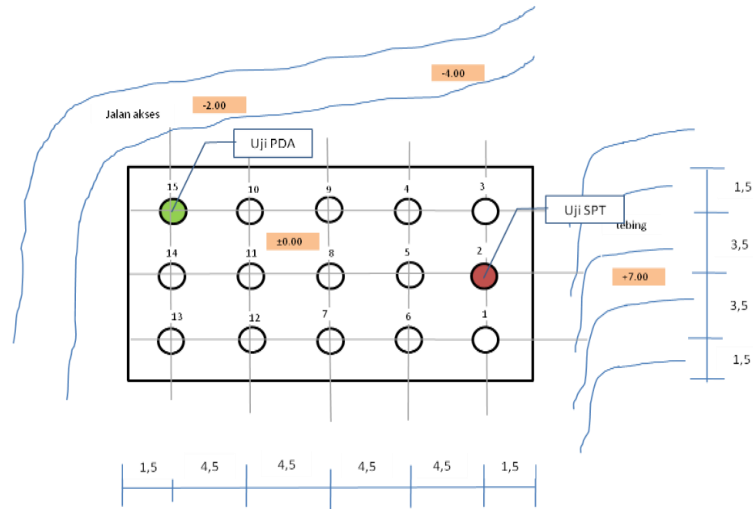
**Gambar 2.** Lay Out dan Formasi Bore Pile pada P1 sesuai DED

Sebelum dilaksanakan pekerjaan bore pile, terlebih dahulu dilakukan pengujian tanah dengan *Standard Penetration Test (SPT)* pada pier P1, yaitu di lokasi yang dekat dengan tebing (bagian kanan P1).



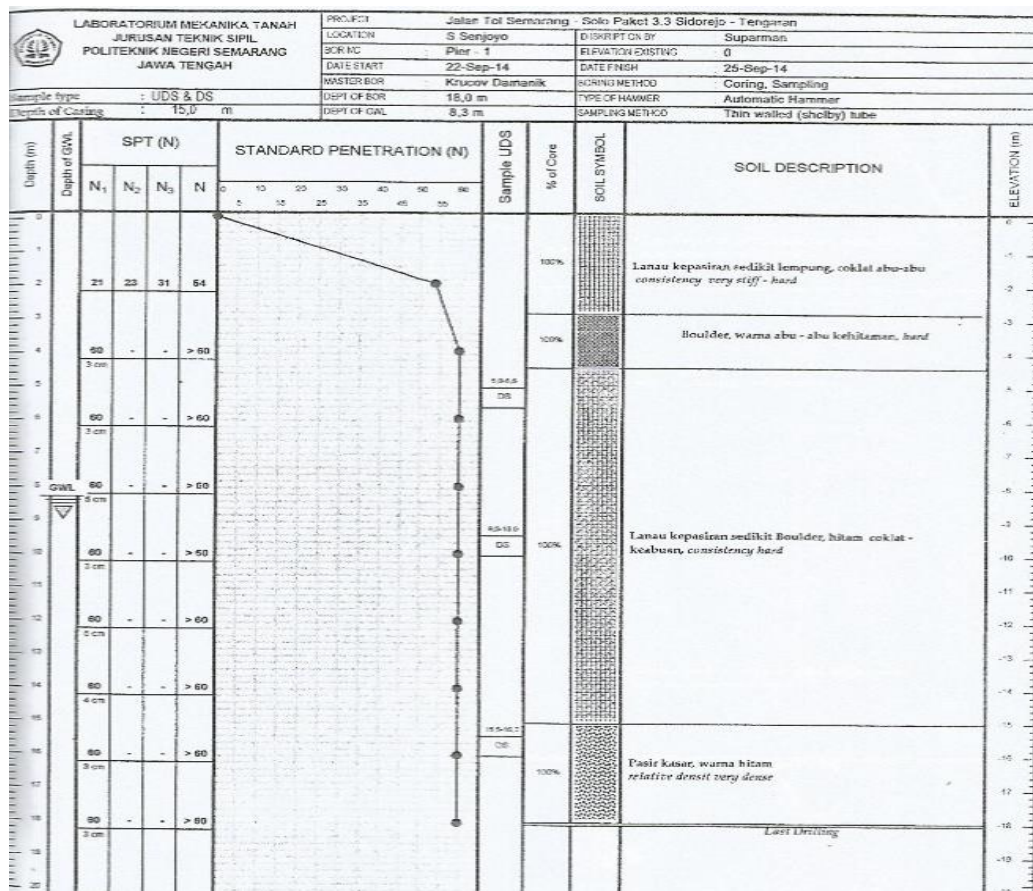
**Gambar 3.** Lokasi Pengujian SPT di P1

Dan apabila diplot pada layout dan formasi bore pile di P1 (gambar 2), maka titik uji SPT berada di sekitar titik 2.



Gambar 4. Ploting lokasi uji SPT pada formasi bore pile di P1

Dari hasil uji SPT pada P1, didapat bahwa tanah keras (SPT > 60) berada pada kedalaman 4 (empat) meter. Dengan demikian kedalaman bore pile 8 (delapan) meter sebagaimana tercantum dalam DED dapat diterima.



Gambar 5. Hasil Uji SPT di P1

## METODE

Data yang dibutuhkan berupa jumlah jam pengeboran, data N-SPT, Hasil PDA Test. Data – data yang dibutuhkan ini berupa data sekunder yang sudah tersedia baik di kontraktor maupun di konsultan supervisi. Data jumlah pengeboran digunakan untuk menentukan klasifikasi tanah keras dan tanah tidak keras berdasarkan jumlah jam pengeboran di tiap-tiap titik pengeboran sehingga dapat diketahui posisi bore pile sudah duduk di atas tanah keras atau belum. Data N-SPT meliputi besarnya nilai N-SPT serta lokasi dilakukannya uji N-SPT. Nilai N-SPT digunakan untuk menghitung kapasitas axial bore pile dengan asumsi bore pile duduk di atas tanah keras dan posisi uji N-SPT digunakan untuk dibandingkan dengan posisi dilakukannya uji PDA. Data uji PDA meliputi nilai kapasitas axial bore pile terpasang dan posisi dilakukannya uji PDA.

Kriteria tanah keras berdasarkan jumlah jam pengeboran ditentukan dengan menetapkan kriteria bahwa jumlah pengeboran bore pile sedalam 8 meter dimana jumlah jam pengeboran lebih dari 2,5 jam maka tanah di lokasi bore pile tersebut dikategorikan bahwa pada kedalaman 8 m tanah tersebut sebagai tanah keras. Sebaliknya, jika jumlah jam pengeboran untuk bore pile sedalam 8 m kurang atau sama dengan 2,5 jam, maka tanah di lokasi bore pile tersebut dikategorikan bahwa pada kedalaman 8 m tanah tersebut adalah tanah tidak keras. Tanah. Dengan kategori tersebut, maka dapat dibuatkan kontur pengelompokan area tanah keras dan tanah tidak keras pada kedalaman 8 m. Dengan pengelompokan tersebut, maka dapat diketahui jumlah bore pile yang berdiri di atas tanah yang tidak keras, yang tentunya kapasitas axial bore tersebut kurang dari kapasitas axial bore pile di atas tanah keras. Dengan mengetahui beban yang diterima tiap bore pile maka dapat diketahui jumlah kebutuhan bore pile tambahan sehingga secara keseluruhan kapasitas kelompok bore tersebut dapat menahan beban-beban dari atas yang diterima kelompok bore pile tersebut (Kurniawan, 2020). Analisis selanjutnya dengan mempertimbangkan perubahan titik berat kelompok bore pile terkait dengan penambahan bore pile tersebut.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

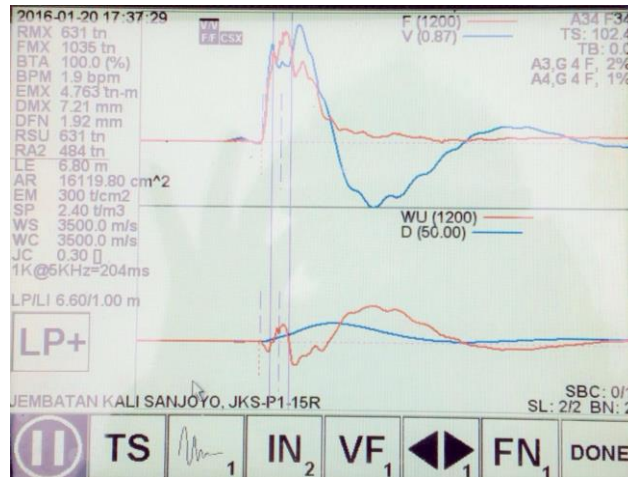
### Data Hasil Test *Pile Driven Analysis* (PDA)

Sesuai DED, kapasitas daya dukung bore pile 1 (satu) bore pile diameter 1,2 meter ditetapkan sebesar 500 ton. Dari hasil test PDA di titik 15 didapat kapasitas daya dukung ultimate ( $Q_u$ ) bore pile terpasang hanya sebesar 631 ton atau kapasitas daya dukung bore pile ijin ( $P_{ijin}$ ) adalah daya dukung ultimit dibagi dengan angka keamanan (Dewi et al., 2020).

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF}, \quad \text{dimana } SF = \text{Safety Factor}$$

$$SF = 2$$

$$Q_a = \frac{631}{2} = 315,5 \text{ ton}$$



**Gambar 6.** Hasil Test PDA di titik 15 Pier P1

Hasil test PDA juga menunjukkan tidak adanya *rebound* dari bore pile, dimana ini menunjukkan bahwa ujung bore pile belum berdiri pada tanah yang keras (Poulos & Davis, 1980).

#### Data Jumlah Jam Pengeboran Bore Pile

Data pelaksanaan pengeboran seperti disajikan pada table 1.

**Tabel 1.** Data Jumlah Jam Pengeboran

NO TITIK	PENGEBORAN			
	TANGGAL	MULAI	SELESAI	JUMLAH JAM
1	17/11/15	11.27	15.32	4 jam 5 mnt
2	16/11/15	17.00	20.00	3 jam
3	16/11/15	11.32	16.00	5 jam 28 mnt
4	17/11/15	16.20	20.00	3 jam 40 mnt
5	18/11/15	08.52	11.48	2 jam 57 mnt
6	29/11/15	10.50	14.48	3 jam 58 mnt
7	27/11/15	15.40	16.30	50 mnt
8	27/11/15	20.25	22.00	1 jam 35 mnt
9	27/11/15	16.32	20.13	3 jam 41 mnt
10	28/11/15	08.00	10.15	2 jam 15 mnt
11	28/11/15	08.00	12.00	4 jam
12	28/11/15	10.30	12.15	1 jam 45 mnt

<b>13</b>	30/11/15	11.00	12.00	1 jam
<b>14</b>	30/11/15	15.00	17.00	2 jam
<b>15</b>	30/11/15	13.05	14.30	1 jam 25 mnt

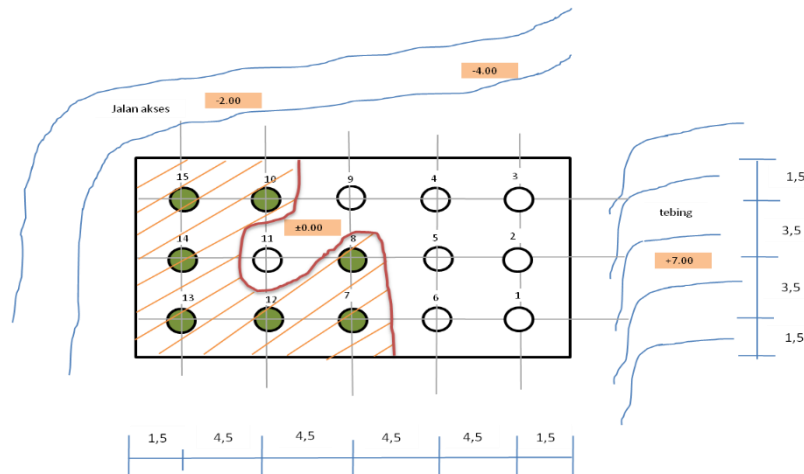
Bahwa ada hubungan proporsional antara jumlah jam pengeboran dengan kondisi tanah di bawah ujung bore pile, dimana semakin banyak jumlah jam pengeboran maka semakin keras tanah di lokasi tersebut (Yansaputra & Sekarsari, 2019). Dengan demikian dapat diklasifikasikan data jumlah jam pengeboran tersebut terhadap kondisi tanah di bawah bore pile.

**Tabel 2.** Klasifikasi jumlah jam pengeboran vs kondisi tanah di bawah bore pile

No	Jumlah jam pengeboran	Kondisi tanah di bawah bore pile (BP)
1	≤ 2,5 jam	Ujung BP belum mencapai tanah keras
2	> 2,5 jam	Ujung BP telah mencapai tanah keras

Dari table 2 tersebut, maka dapat diidentifikasi sebagai berikut :

1. Bore pile titik 7,8,10,12,13,14,15 belum mencapai tanah keras
2. Bore pile titik 1,2,3,4,5,6,9,11 sudah berdiri di tanah keras

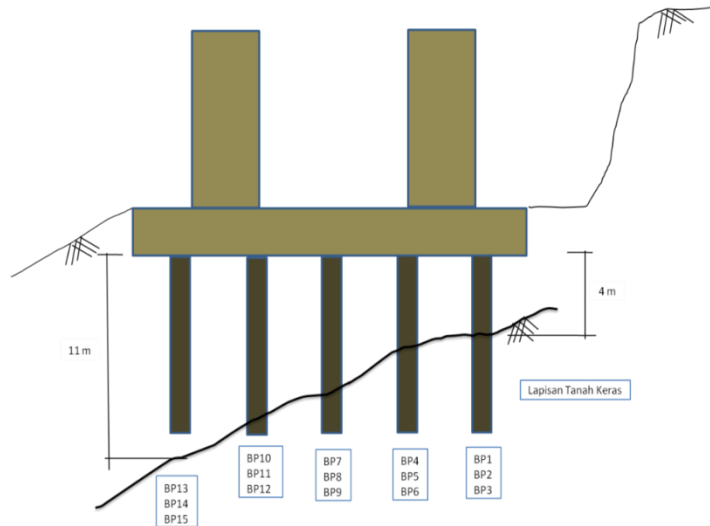


**Gambar 8.** Posisi bore pile yang belum dan yang sudah berdiri di tanah keras

Keterangan :

- = Titik bore pile yang belum berdiri di tanah keras
- = Titik bore pile yang sudah berdiri di tanah keras

Dengan pelaksanaan uji SPT di titik 2 dan tanah keras (SPT > 60) berada pada kedalaman 4 (empat) meter, sementara test PDA dilaksanakan pada titik 15 maka ada kecenderungan bahwa kontur tanah keras pada lokasi P1 semakin ke arah kiri (titik 13,14 dan 15) semakin turun di bawah kedalaman 4 (empat) meter.



**Gambar 7.** Ilustrasi kontur tanah keras di lokasi P1

#### Analisis Penambahan Bore Pile

Berdasarkan pembebanan yang bekerja pada jembatan Sanjoyo, diketahui bahwa kapasitas daya dukung bore pile terpakai hanya sebesar 387 ton (dibulatkan menjadi 400 ton). Dari hasil PDA test didapat bahwa bore pile yang belum berdiri di tanah keras mempunyai daya dukung sebesar 315,5 ton (dibulatkan menjadi 315 ton), maka penambahan bore pile yang direkomendasikan adalah :

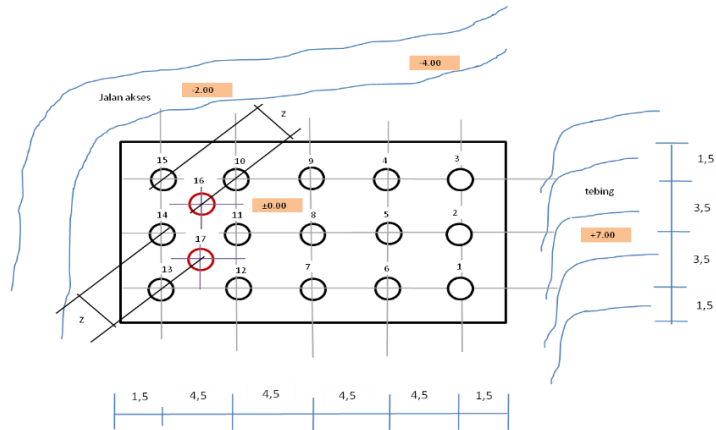
$$n = \frac{(400 - 315) * 7}{315} = 1,9 \cong 2$$

Kedalaman bore pile tambahan (titik 16 dan 17) direkomendasikan mencapai tanah keras, yaitu pada kedalaman ± 11 (sebelas) meter.

Penempatan bore pile pada titik 16 dan 17 dengan pertimbangan :

1. Pada area sebelah kiri dari as pile cap merupakan area dengan kondisi bore pile belum berdiri di tanah keras sehingga kapasitas daya dukung bore pile masih di bawah kapasitas daya dukung ijin ( $P_{ijin}$ ).
2. Penempatan di sela – sela antar bore pile yang terpasang, secara normative jarak antar bore pile masih memenuhi syarat.

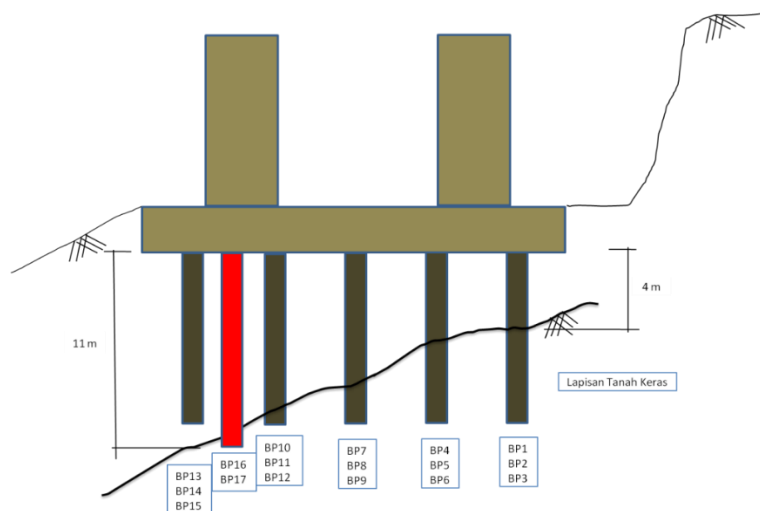




**Gambar 9.** Jarak antar bore pile tambahan

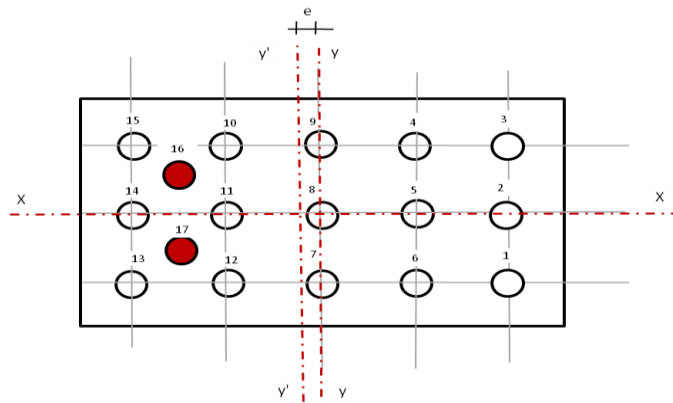
Jarak antar bore pile ( $z$ ) :

$$z = \frac{\sqrt{(3,5^2 + 4,5^2)}}{2} = 2,85 \text{ m} > 2 * D = 2 * 1,2 = 2,4 \text{ m} \quad (OK)$$



**Gambar 10.** Tampak depan ilustrasi penambahan tiang bor

3. Penempatan 2 (titik) bore pile harus tetap mempertahankan sumbu x-x sebagai system sumbu koordinat, karena gaya – gaya yang bekerja dari upper structure jembatan diperhitungkan terhadap sumbu x-x tersebut. Dengan demikian penambahan bore pile tersebut tidak mempengaruhi keseimbangan beban yang sudah diperhitungkan dalam perencanaan. Pergeseran sumbu y-y tidak akan berpengaruh secara signifikan terhadap struktur jembatan, karena beban arah melintang jembatan relative kecil dan masih mampu diatasi oleh kapasitas bore pile dalam arah sumbu y-y.



**Gambar 11.** Pergeseran garis berat kelompok bore pile

## SIMPULAN

Dari hasil analisis dan evaluasi secara mendalam sehubungan dengan kapasitas daya dukung bore pile terpasang (hasil test PDA) yang tidak mencapai kapasitas daya dukung aksial ijin, didapat hasil sebagai berikut : (1). Kedalaman tanah keras mengalami penurunan dari kanan ke kiri arah melintang jembatan dengan sebaran kedalaman antara 6 – 11 m, (2). Untuk mendapatkan kapasitas daya dukung kelompok tiang, maka penambahan 2 titik bore pile dengan kedalaman 11 m sehingga mencapai tanah keras, (3) Penempatan bore pile tambahan dengan tetap mempertahankan posisi sumbu-x pada sistem sumbu koordinat garis berat kelompok bore pile. Pergeseran sumbu hanya terjadi pada sumbu y yang tidak berpengaruh secara signifikan karena komposisi beban dalam arah sumbu-y relative kecil, (4). Penambahan bore masih menjamkin jarak antar bore pile tambahan terhadap bore pile yang sesuai DED masih memenuhi persyaratan.

## SARAN

Terhadap kapasitas tiang bor hasil PDA test yang di bawah kapasitas daya dukung ijin, maka perlu dilakukan PDA tes lagi pada titik tiang bor lain untuk memperkuat analisis review terhadap penambahan tiang bor. Perbandingan jumlah jam pengeboran antar tiang bor bisa menjadi data awal untuk segera mendapatkan justifikasi terhadap penambahan kedalaman tiang bor hingga mencapai tanah keras.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ardianti, A. (2018). *Evaluasi Kapasitas Dukung Fondasi Bore Pile Pada Tanah Pasir di Yogyakarta Terhadap Hasil PDA Test di Lapangan* [Universitas Gadjah Mada]. <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/155442>
- Dewi, K., Lukman, H., & Nugraha, T. N. (2020). Perbandingan Analisa Daya Dukung Pondasi Bored Pile Menggunakan Metode Luciano Decourt dan Software Plaxis dengan Pile Driving Analyzer (PDA) Test Pada Pembangunan Apartemen La Montana Bogor. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Sipil*, 1(1). <https://jom.unpak.ac.id/index.php/tekniksipil/article/view/1420>
- Direktorat Jenderal Bina Marga, K. P. U. dan P. R. (2016). *Ketentuan Praktis Uji Pondasi Tiang Jembatan*. Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. <https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/pedoman-ketentuan-praktis-uji-pondasi-tiang-jembatan>
- Hardiyatmo, H. C. (2003). *Mekanika Tanah II* (3 th). Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2008). *Teknik Fondasi 2* (4th ed.). Gadjah Mada University Press.
- Khomsianti, N. L., Jirna, I. W., & Setyawan, E. (2019). Perbandingan Daya Dukung Aksial Pondasi Tiang Tunggal Menggunakan Data Standard Penetration Test (SPT) dan Pile Driving Analyzer (PDA) Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Pandaan Malang. *Jurnal Bangunan*, 24(1), 25–32.
- Kurniawan, R. (2020). *Analisis Kuat Dukung Penambahan Bore Pile Berdasarkan Data Pengujian Lapangan*

- Standard Penetration Test (SPT) Pada Zona Barat Titik Q1 Proyek Fly Over Tanjung Barat Jakarta Selatan* [Universitas Gadjah Mada]. <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/191011>
- Permana, S., & Gunawan, A. (2020). Evaluasi Pondasi Bored Pile pada Proyek Kolam Ponds dengan Pile Driving Analyze Test. *Jurnal Konstruksi*, 18(2), 51–61. <https://jurnal.itg.ac.id/index.php/konstruksi/article/view/805>
- Poulos, H. G., & Davis, E. H. (1980). Dynamic Loads on Piles. In T. W. Lambe & R. V. Whitman (Eds.), *Pile Foundation Analysis and Design*. Wiley.
- Rahman, A. A., Hariati, F., Chayati, N., & Taqwa, F. M. L. (2020). Korelasi Hasil Analisis Daya Dukung Ultimit Tiang Bor Dengan Hasil Pengujian PDA (Studi Kasus: Pembangunan Jalan Tol Bogor Ring Road Seksi III A Ruas Simpang Yasmin - Simpang Salabenda). *Jurnal Komposit*, 4(2). <http://ejournal.uika-bogor.ac.id/index.php/komposit/article/view/3468/2163>
- Tjie-liong, G. (2011). Sonic Logging vs PIT Untuk Mendeteksi Integritas Pondasi Tiang. *ComTech*, 2(2), 1031–1045. <https://doi.org/https://doi.org/10.21512/comtech.v2i2.2853>
- Yansaputra, R., & Sekarsari, J. (2019). Pengaruh Konsistensi Tanah Terhadap Durasi Pelaksanaan Pondasi Tiang Bor. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(4), 249–257. <https://journal.untar.ac.id/index.php/jmts/article/view/6306>