

ANALISIS DAYA DUKUNG TANAH TERHADAP FONDASI DALAM BERDASARKAN DATA SPT PADA BANGUNAN PELIMPAH DARI BENDUNGAN TUGU

Muhammad Iqbal Hamidi^{1*}, Imam Achmad Sadisun¹

¹Program Studi Magister Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan
Institut Teknologi Bandung

*Email: iqbalhamidi@students.itb.ac.id

Abstrak

Fondasi dalam dengan jenis tiang bor menjadi alternatif dalam memenuhi kapasitas daya dukung akibat permasalahan geologi yang ada pada bangunan pelimpah dari Bendungan Tugu. Dalam penelitian ini digunakan data uji insitu SPT (Standart Penetration Test), selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan metode Reese dan Wright. Hasil dari perhitungan daya dukung izin tahanan ujung ultimate (Q_p) pada breksi vulkanik, andesit, dan basalt memiliki nilai 200,96 Ton, sedangkan untuk nilai tahanan gesek ultimate (Q_s) pada breksi vulkanik, andesit, dan basalt memiliki nilai 1,67 Ton. Untuk lapisan tanah lanau pasir terubah memiliki nilai tahanan ujung ultimate (Q_p) dan tahanan selimut gesek (Q_s) bervariasi sesuai dengan nilai rata-rata N-SPT. Kapasitas daya dukung izin tertinggi untuk tiang fondasi pada segmen satu dengan kedalaman tiang 20 meter sebesar 412 Ton, untuk segmen dua dengan kedalaman tiang 60 meter sebesar 1264 Ton, dan pada segmen tiga dengan kedalaman tiang 30 meter sebesar 699 Ton.

Kata kunci: Bangunan pelimpah, kapasitas daya dukung tanah, SPT, tahanan ujung, tahanan gesek.

Abstract

The deep foundation with the bored pile type is an alternative in carrying capacity due to geological problems that exist in the spillway building of the Tugu Dam. In this study, SPT (Standard Penetration Test) in situ test data was used, then calculations were carried out using the Reese and Wright methods. The results of the calculation of the ultimate end resistance permit bearing capacity (Q_p) on volcanic breccias, andesite, and basalt have a value of 200.96 Tons, meanwhile, the ultimate frictional resistance (Q_s) on volcanic breccia, andesite, and basalt has a value of 1.67 tons. For the altered sandy silt layer, the ultimate end resistance (Q_p) and friction blanket resistance (Q_s) varies according to the average value of N-SPT. The highest allowable bearing capacity for foundation piles in segment one with a pile depth of 20 meters is 412 tons, for segment two with a pile depth of 60 meters it is 1264 tons, and in segment three with a pile depth of 30 meters it is 699 tons.

Keywords: Spillway, soil bearing capacity, SPT, end bearing, friction resistance.

1. Pendahuluan

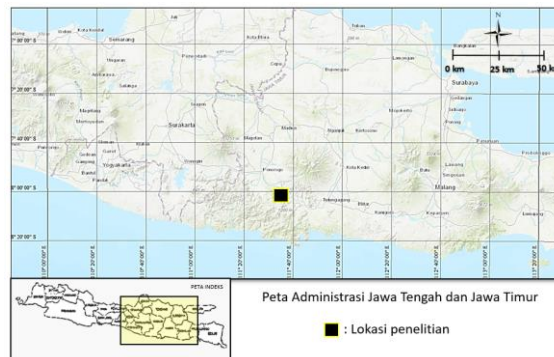
Pembangunan infrastruktur yang masif di Indonesia saat ini, seperti halnya pembangunan bangunan pelimpah dari Bendungan Tugu yang memerlukan perencanaan daya dukung fondasi yang baik dan tepat, sehingga dapat menyesuaikan dengan keadaan geologi yang ada di daerah penelitian tersebut. Dengan perencanaan yang baik dan tepat diharapkan dapat terhindar dari kegagalan konstruksi yang menimbulkan kerugian pada masa yang akan datang.

Perhatian terhadap besarnya kapasitas daya dukung fondasi sebagai tempat bertumpunya beban pada bangunan pelimpah di Bendungan Tugu menjadi perhatian pada penelitian ini dikarenakan terdapatnya lapisan koluvial dan lanau pasir pada *alignment* bangunan pelimpah yang tidak mampu menahan beban bangunan pelimpah bila menggunakan fondasi dangkal (Gambar 1). Oleh karena itu, diperlukannya perhitungan daya dukung fondasi dalam dengan jenis tiang bor dengan diameter 800 mm sebagai alternatif fondasi dari bangunan pelimpah. Pemilihan jenis fondasi dipertimbangkan karena beberapa hal yaitu (1) Kondisi tanah dan batuan (2) Keterbatasan struktur atas (3) Keterbatasan lingkungan sekitar (4) Biaya dan waktu pengerjaan [1].

Daerah penelitian termasuk ke dalam lokasi pembangunan Bendungan Tugu yang terletak di Desa Nglinggis, Kecamatan Tugu, Kabupaten Trenggalek, Provinsi Jawa Timur yang dapat dilihat pada Gambar 2. Bendungan ini membendung Kali Keser yang memiliki daerah tangkapan air dari lereng Gunung Wilis yang mengalir ke arah selatan dan timur.

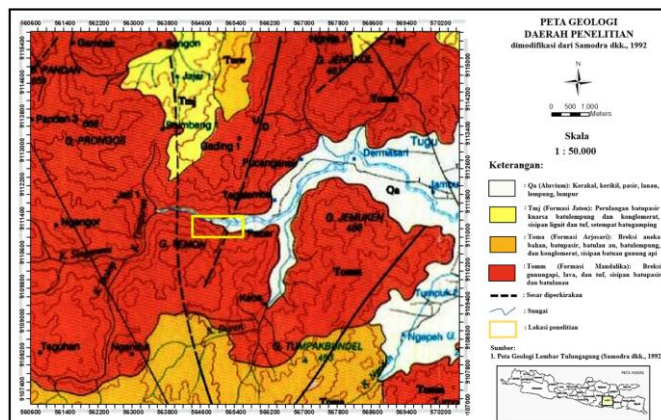


Gambar 1. Alignment bangunan pelimpah (foto mengarah ke selatan)

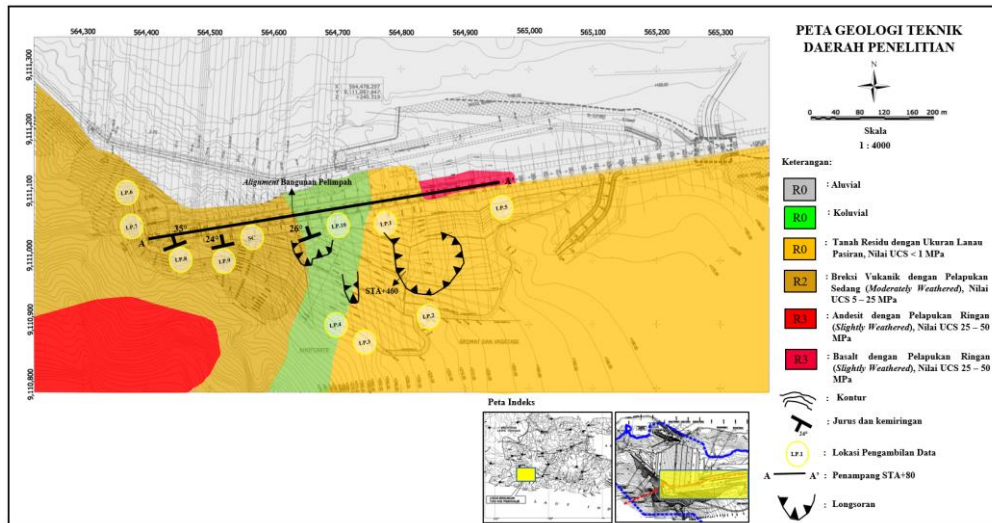


Gambar 2. Lokasi daerah penelitian

Kondisi geologi daerah penelitian berdasarkan peta geologi lembar Tulungagung [2], daerah penelitian termasuk ke dalam Formasi Mandalika. Formasi Mandalika tersusun dari perselingan breksi gunung api, lava, tufa bersisipan batupasir tufan, batulanau, dan batulempung (Gambar 3). Berdasarkan data permukaan yang meliputi pengamatan dan pemerian singkapan batuan, pengukuran kedudukan batuan, pengambilan sampel batuan, dan analisis laboratorium sifat fisik dan mekanis batuan, maka persebaran satuan batuan tersebut ditunjukkan oleh peta geologi teknik daerah penelitian yang disajikan pada Gambar 4.

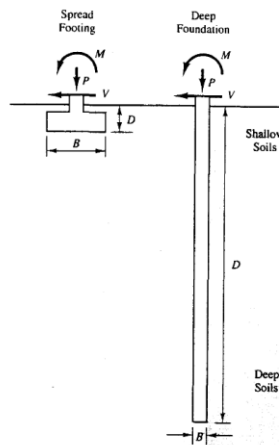


Gambar 3. Peta geologi daerah penelitian [2]

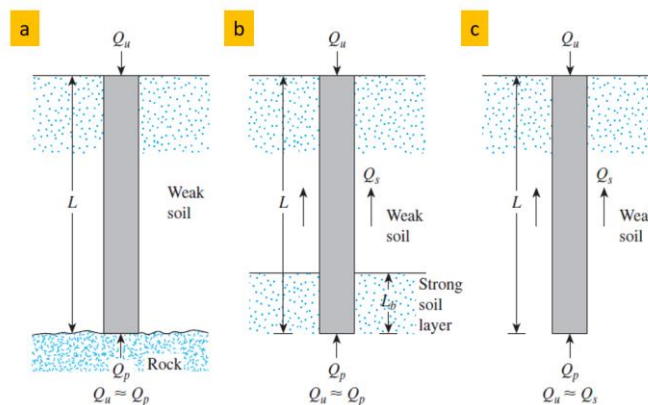


Gambar 4. Peta geologi teknik daerah penelitian

Secara umum terdapat dua jenis fondasi, yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Secara terminologi fondasi dangkal berlaku apabila fondasi tersebut memiliki kedalaman fondasi lebih kecil atau sama dengan empat kali lebar tapak fondasi, sedangkan fondasi dalam merupakan fondasi yang memiliki kedalaman fondasi lebih dari empat kali lebar tapak fondasi [3][4], perbedaan kedua fondasi terlihat pada Gambar 5. Adapun gaya - gaya yang bekerja pada fondasi dalam terdiri dari gaya gesek dan tahanan ujung yang tergambar pada Gambar 6 [5].



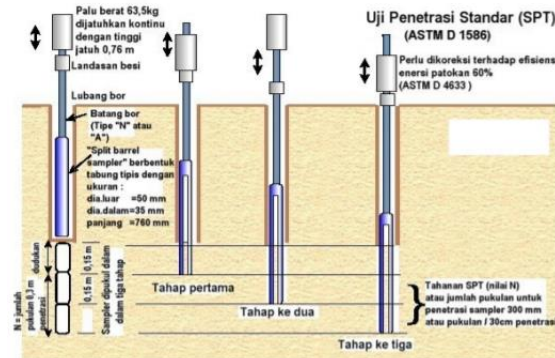
Gambar 5. Anatomi perbedaan fondasi dangkal dan fondasi dalam [4]



Gambar 6. Gaya pada tahanan ujung tiang fondasi (a) socketing (b), dan gaya gesek (c) [5]

2. Metode Penelitian

Pengujian SPT (*Standard Penetration Test*) dilakukan berdasarkan SNI 4153:2008 yang menjadi metode untuk mendapatkan nilai kerapatan relatif dari lapisan tanah yang diuji secara langsung di setiap titik pengeboran. Pengujian SPT dilakukan dengan memasukkan tabung *split barrel* berdiameter dalam 35 mm, dan memiliki panjang 760 mm, selanjutnya pelaksanaan uji SPT dilakukan dengan pemukulan landasan besi kedalam tanah pada dasar lubang bor dengan memakai suatu beban penumbuk atau *hammer* dengan berat 63,5 kg yang dijatuhkan dari ketinggian 76 cm. Setelah mencapai kedalaman tanah 15 cm, jumlah pukulan ditentukan untuk memasukkannya sedalam 30 cm berikutnya. Jumlah pukulan ini disebut nilai N (*N value*) atau *number of blows* yang dihitung pada pemukulan 30 cm terakhir (N2 dan N3) [6], terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema urutan pelaksanaan uji SPT

Setelah mendapatkan data N-SPT dari setiap titik bor yang ada, maka dilanjutkan dengan melakukan perhitungan daya dukung fondasi dengan menggunakan fondasi jenis tiang bor yang memiliki diameter 800 mm dengan metode Reese dan Wright [7][10][11][12][13]. Persamaan yang digunakan pada tanah berjenis kohesif adalah sebagai berikut:

$$q_p = 9 \times C_u \times A_p \text{ (Ton/m}^2\text{)} \quad (\text{II.1})$$

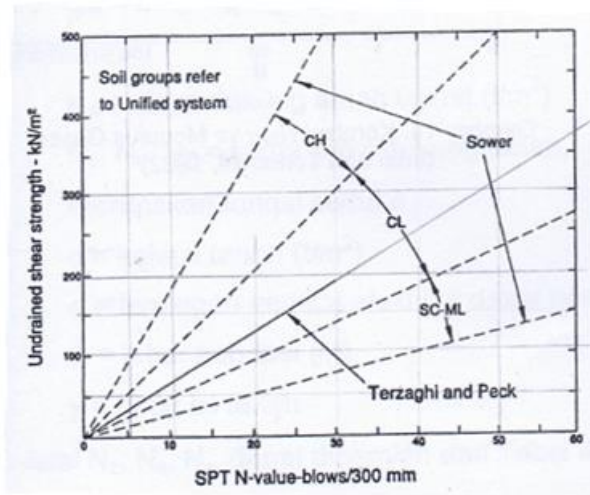
Pada metode Reese dan Wright memiliki koefisien α (faktor adhesi) untuk tiang bor sebesar 0,55 dan korelasi nilai N-SPT terhadap nilai C_u (*undrained shear strength*) dengan persamaan Terzaghi dan Peck (Gambar 8) [8] menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_u = \frac{20}{3} N_{spt} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (\text{II.2})$$

dengan:

C_u : *undrained shear strength* (kN/m²)

N_{spt} : nilai rata – rata N-SPT dari 10D sampai 4D dibawah ujung tiang

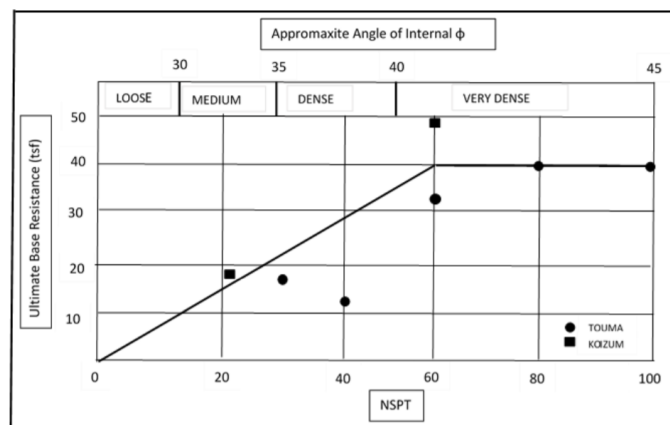


Gambar 8. Korelasi empiris N-SPT terhadap hasil Cu [8]

Pada metode Reese dan Wright [6] tahanan ujung persatuan luas (q_p) pada tanah non kohesif dijabarkan pada Gambar 9, dengan persamaan berikut:

$$\text{Untuk } N_{spt} \leq 60, \text{ maka } q_p = 7 \times N_{spt} < 400 \text{ (T/m}^2\text{)} \tag{II.3}$$

$$\text{Untuk } N_{spt} \geq 60, q_p = 400 \text{ (T/m}^2\text{)} \tag{II.4}$$



Gambar 9. Tahanan ujung ultimat pada tanah non kohesif [7]

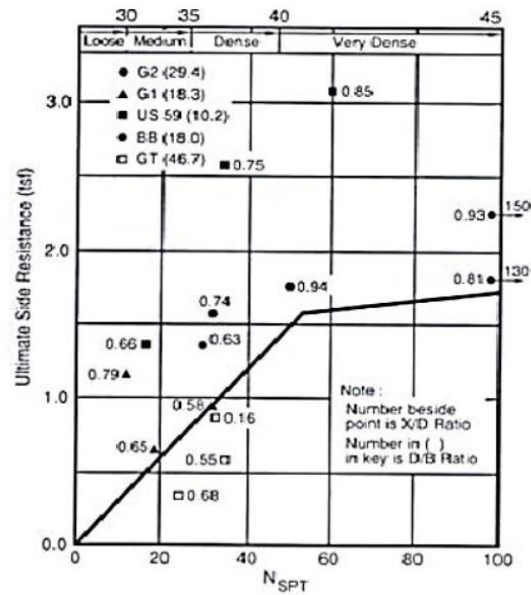
Dalam metode Reese dan Wright [7] gesekan selimut tiang persatuan luas (f_s) pada tanah kohesif dijabarkan pada Gambar 10, dengan persamaan berikut:

$$f_s = \alpha \times C_u \tag{II.5}$$

Sedangkan pada tanah non kohesif:

$$\text{Untuk } N_{spt} < 53, \text{ maka } f_s = 0,32 \cdot N_{spt} \text{ (Ton/m}^2\text{)} \tag{II.6}$$

$$\text{Untuk } N_{spt} > 53, \text{ maka } f_s = \left(\frac{N_{spt} - 53}{450} \right) \times \left(\frac{1}{0.3048^2} \right) + 16,64 \text{ (Ton/m}^2\text{)} \tag{II.7}$$



Gambar 10. Tahanan selimut ultimat pada tanah non kohesif [7]

Setelah mendapatkan tahanan ujung (q_p) dan gaya gesek persatuan luas (f_s), Maka daya dukung *ultimate* pada ujung tiang (Q_p) dan selimut tiang (Q_s) dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_p = q_p \times A_p \quad (\text{II.8})$$

$$Q_s = f_s \times P \times L_i \text{ (Ton)} \quad (\text{II.9})$$

dengan:

- Q_p = daya dukung ujung tiang (ton)
- Q_s = daya dukung selimut tiang (ton)
- q_p = daya dukung ujung (kg/cm^2)
- f_s = gesekan selimut tiang per satuan luas (ton/m^2)
- A_p = luas penampang tiang bor (m^2)
- L_i = panjang tiang (m)
- P = keliling penampang tiang (m)
- D = diameter lubang bor (m)

Mencari nilai $P = \pi \times$ diameter lubang bor

Mencari nilai $A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$

Setelah mendapatkan nilai Q_p dan Q_s maka dilanjutkan dengan menghitung nilai daya dukung fondasi *ultimate* (Q_{ult}) dengan menggunakan Metode Reese dan Wright [7][14], sebagai berikut:

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s \quad (\text{II.10})$$

dengan:

- Q_{ult} = daya dukung ultimate tiang (ton)
- Q_p = daya dukung ultimate ujung tiang (ton)
- Q_s = daya dukung ultimate selimut tiang (ton)

Untuk memperoleh daya dukung ijin fondasi (Q_{all}), maka dilakukan dengan membagi kapasitas daya dukung *ultimate* dengan faktor aman yang telah ditentukan, berdasarkan SNI 8460: 2017 untuk jenis fondasi dalam maka faktor keamanan minimum dibagi dengan 2,5 [8]. Persamaan daya dukung diijinkan dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} = \frac{(Q_p + Q_s)}{SF} \quad (II.11)$$

dengan:

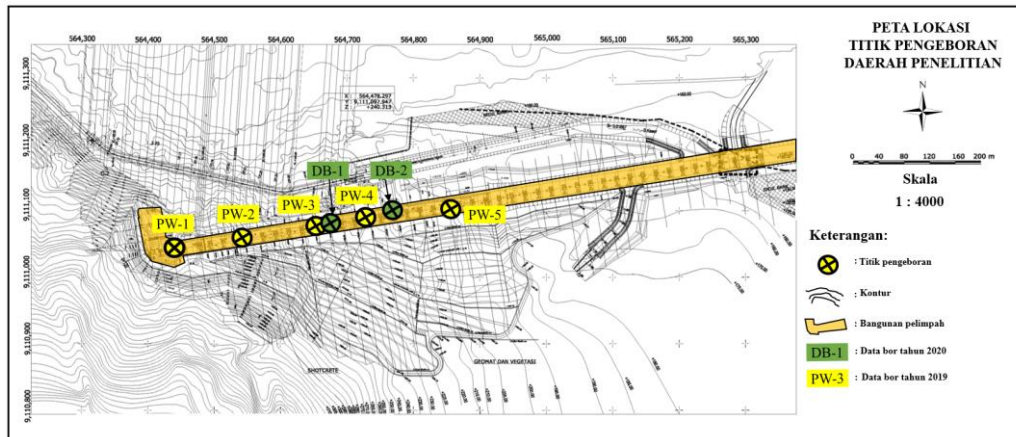
Q_{all} = daya dukung ijin tiang (Ton/m²)

SF = faktor keamanan

3. Hasil dan Analisis

3.1. Deskripsi Lapisan Tanah Hasil Pengeboran

Data lapangan yang digunakan dalam perhitungan ini adalah data N-SPT dengan kode titik pengeboran PW-1, PW-2, PW-3, PW-4, PW-5, DB-01, dan DB-02 yang berada sepanjang *alignment* dari bangunan pelimpah (terlihat pada Gambar 11).



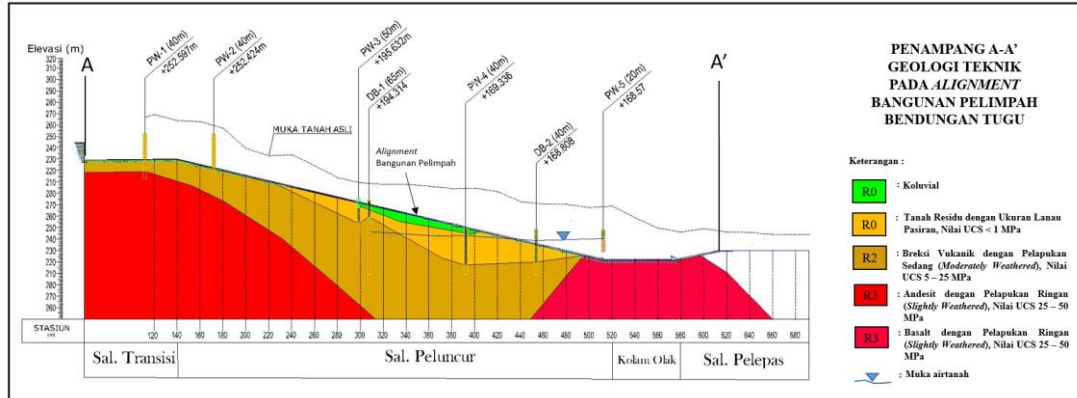
Gambar 11. Peta lokasi bangunan pelimpah

Setelah dilakukannya verifikasi terhadap hasil foto *corebox*, nilai N-SPT, dan dari data geologi yang ada, maka hasil deskripsi dari setiap titik pengeboran dapat dijelaskan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Deskripsi litologi dari titik pengeboran

Titik bor	Litologi	Kedalaman (m)	N-SPT	N-SPT rata-rata
PW-1	Breksi Vulkanik	0 - 33.5	60,00	60,00
	Andesite	33.5 - 40	60,00	60,00
PW-2	Breksi Vulkanik	0 - 38.5	60,00	60,00
	Koluvial	0 - 8	10 - 30	20,00
PW-3	Lanau Pasiran Terubah	8 - 18	38 - 47	42,50
	Breksi Vulkanik	18 - 50	60,00	60,00
PW-4	Lanau Pasiran Terubah	0 - 32	60,00	60,00
	Breksi Vulkanik	32-40	60,00	60,00
PW-5	Lanau Pasiran Terubah	0 - 2	37,00	37,00
	Basalt	2 - 20	60,00	60,00
DB-1	Lanau Pasiran Terubah	0 - 2	8,00	8,00
	Breksi Vulkanik	2 - 12	11 - 26	18,50
DB-2	Lanau Pasiran Terubah	12 - 65	60,00	60,00
	Breksi Vulkanik	0 - 29	60,00	60,00
DB-2	Lanau Pasiran Terubah	0 - 29	60,00	60,00
	Breksi Vulkanik	29-40	60,00	60,00

Penampang stratigrafi bawah permukaan dari keseluruhan data titik bor ditampilkan pada penampang geologi teknik yang terlihat pada Gambar 12. Berdasarkan penampang A-A' terdapat lima jenis satuan litologi yang menjadi penopang fondasi dari bangunan pelimpah, yaitu satuan koluvial, lanau pasiran terubah, breksi vulkanik, andesit, dan basalt.



Gambar 12. Penampang geologi teknik bangunan pelimpah

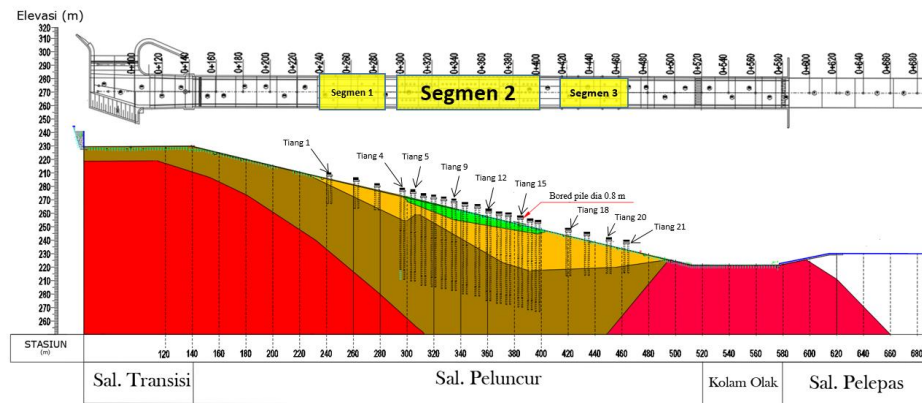
Perhitungan daya dukung fondasi dengan metode Reese dan Wright pada setiap titik pengeboran dengan menggunakan data SPT dapat dilihat pada Tabel 2. Rekapitulasi perhitungan daya dukung diasumsikan fondasi tiang bor dengan diameter 800 mm.

Tabel 2. Perhitungan daya dukung fondasi dalam pada keseluruhan titik bor

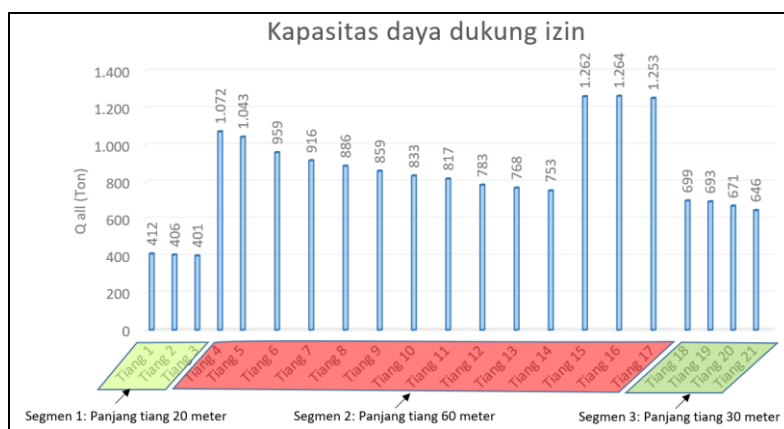
Titik bor	Litologi	Kedalaman (m)	Ap (m ²)	qp (Ton/m ²)	Qp (Ton)	fs (Ton/m ²)	Li (m)	Qs (Ton)	Qu (Ton)	Qa (Ton)
PW-1	Breksi Vulkanik	0 - 33.5	0,50	400,00	200,96	1,67	33,50	140,90	341,86	136,75
	Andesite	33.5 - 40	0,50	400,00	200,96	1,67	6,50	27,34	228,30	91,32
PW-2	Breksi Vulkanik	0 - 38.5	0,50	400,00	200,96	1,67	38,50	161,93	362,89	145,16
	Koluvial	0 - 8	0,50	120,00	60,29	7,33	8,00	147,37	207,66	83,06
PW-3	Lanau Pasiran Terubah	8 - 18	0,50	255,00	128,11	15,58	10,00	391,45	519,57	207,83
	Breksi Vulkanik	18 - 50	0,50	400,00	200,96	1,67	32,00	134,59	335,55	134,22
PW-4	Lanau Pasiran Terubah	0 - 32	0,50	360,00	180,86	22,00	32,00	1768,45	1949,31	779,72
	Breksi Vulkanik	32-40	0,50	400,00	200,96	1,67	8,00	33,65	234,61	93,84
PW-5	Lanau Pasiran Terubah	0 - 2	0,50	222,00	111,53	13,57	2,00	68,16	179,69	71,88
	Basalt	2 - 20	0,50	400,00	200,96	1,67	18,00	75,71	276,67	110,67
DB-1	Lanau Pasiran Terubah	0 - 2	0,50	48,00	24,12	2,93	2,00	14,74	38,85	15,54
	Breksi Vulkanik	2 - 12	0,50	111,00	55,77	6,78	10,00	170,40	226,16	90,47
DB-2	Breksi Vulkanik	12 - 65	0,50	400,00	200,96	1,67	53,00	222,92	423,88	169,55
	Lanau Pasiran Terubah	0 - 29	0,50	360,00	180,86	22,00	29,00	1602,66	1783,52	713,41
	Breksi Vulkanik	29-40	0,50	400,00	200,96	1,67	11,00	46,27	247,23	98,89

3.2. Daya Dukung Fondasi Tiang Bor Berdasarkan Uji SPT.

Dari penampang geologi teknik bangunan pelimpah, diasumsikan elevasi top dari fondasi tiang bor menyesuaikan dari batas galian rencana bangunan pelimpah sedangkan untuk kedalaman rencana fondasi tiang bor dibagi menjadi tiga segmen yang memiliki perbedaan pada panjang tiang bor (Gambar 13). Pada segmen pertama terdiri tiga baris tiang yang memiliki panjang 20 meter, segmen dua terdiri dari 14 tiang yang memiliki panjang 60 meter, dan untuk segmen tiga terdiri dari empat tiang yang memiliki panjang 30 meter. Rekapitulasi perhitungan daya dukung rencana fondasi terlihat pada Gambar 14.



Gambar 13. Penampang tiang bor rencana sepanjang *alignment* bangunan pelimpah



Gambar 14. Kapasitas daya dukung izin pada rencana fondasi tiang bor

4. Kesimpulan

Hasil pengujian SPT (*Standard Penetration Test*) menunjukkan karakteristik bawah permukaan sepanjang *alignment* bangunan pelimpah didominasi oleh koluviyal, lanau pasiran terubah, dan breksi vulkanik. Intrusi andesit hanya terlihat pada titik bor PW-1 pada kedalaman 33.5 – 40 m, sedangkan batuan basalt dijumpai pada titik bor PW-5 dan juga dijumpai tersingkap pada badan sungai dari Kali Keser.

Dari perhitungan daya dukung tahanan ujung *ultimate* (Q_p) dengan diameter 800 mm pada breksi vulkanik, basalt dan andesit memiliki nilai 200,96 Ton. Sedangkan untuk nilai tahanan gesek *ultimate* (Q_s) per meter pada breksi vulkanik, basalt, dan andesit ini memiliki nilai 1,67 Ton, nilai tahanan gesek *ultimate* ini akan bertambah sesuai kedalaman dari fondasi.

Untuk lapisan lanau pasiran terubah memiliki tahanan ujung *ultimate* (Q_p) dan tahanan selimut gesek (Q_s) bervariasi sesuai dengan nilai rata-rata N-SPT. Adanya perbedaan nilai N-SPT pada lapisan tanah yang sama disebabkan adanya proses geologi yang disebut dengan proses sistem hidrotermal yang diduga terjadi pada kala oligosen. Akibat dari proses hidrotermal ini membentuk lapisan tanah menjadi heterogen yang mudah berubah secara sifat fisik dan mekanis dalam jarak dekat, sedangkan untuk lapisan koluviyal merupakan tanah pelapukan dari batuan andesit dan breksi vulkanik yang mengalami transportasi dengan jarak yang masih dekat dari sumbernya.

Kapasitas daya dukung izin tertinggi untuk tiang fondasi pada segmen satu dengan kedalaman tiang 20 meter sebesar 412 Ton, untuk segmen dua dengan kedalaman tiang 60 meter sebesar 1264 Ton, dan pada segmen tiga dengan kedalaman tiang 30 meter sebesar 699 Ton.

Perhitungan daya dukung pada penelitian ini hanya terbatas menghitung kapasitas aksial fondasi yang diambil dari nilai uji insitu SPT pada titik pengeboran, selanjutnya dibutuhkan perhitungan daya dukung dari kapasitas lateral untuk mengetahui kestabilan fondasi pada bangunan pelimpah.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terimakasih banyak kepada BBWS Brantas, konsultan INNAKO, dan PT.Pratama Widya, Tbk atas bantuan selama ini, serta teman - teman yang telah membantu penulis dalam mengambil data di lapangan dan juga bantuan lainnya yang telah diberikan kepada penulis hingga terciptanya artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] Sanjaya A, Aseanto R. Analysis of Carrying Capacity of the Bored Pile Foundation in Cibubur Transpark Project. In *Journal of World Conference (JWC)* 2020 Mar 31 (Vol. 2, No. 3, pp. 63-68).
- [2] Samodra H, Gafoer S, Tjokrosapoetro S. Geologi Lembar Tulungagung, Jawa. Puslitbang Geologi Bandung. 1992.
- [3] Sophia Alta EP, Prakoso J, Zakaria Z, Sophiaan I. Daya Dukung Pondasi Dalam Daerah Panyipatan, Tanah laut, Kalimantan Selatan Berdasarkan Hasil Standart Penetration Test. *Geoscience Journal*. 2019; 10(1): 1-8.
- [4] Coduto DP. Foundation design: principles and practices. USA: Prentice Hall; 2001.
- [5] Das BM. Principles of foundation engineering. Eighth Edition. Cengage learning. 2015.
- [6] Badan Standarisasi Nasional Indonesia. SNI-4153:2008. *Standart Penetrasi Test*. Indonesia. 2008.
- [7] Reese LC, Wright SJ, Allen JD. Drilled shaft design and construction guidelines manual. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Offices of Research and Development, Implementation Division. 1977.
- [8] Terzaghi K, Peck RB, Mesri G. Soil mechanics in engineering practice. John Wiley & Sons; 1996 Feb 7.
- [9] Badan Standarisasi Nasional Indonesia. SNI 8460: 2017 *Persyaratan Perancangan Geoteknik.*, Jakarta. 2017.
- [10] Fadilah UN, Tunafiah H. Analisa Daya Dukung Pondasi Bored Pile Berdasarkan Data N-SPT Menurut Rumus Reese & Wright dan Penurunan. *IKRA-ITH TEKNOLOGI: Jurnal Sains & Teknologi*. 2018; 18(3):7-13.
- [11] Nurachim L, Yakin YA. Analisis Daya Dukung Kelompok Tiang Bor pada Jembatan Moh Toha (di Proyek Penambahan Lajur Tol Kopo–Buah Batu). *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*. 2017; 3(4): 104
- [12] Lastiasih Y, Irsyam M, Sidi ID, Toha FX. Reabilitas daya dukung pondasi tiang bor berdasarkan formula Reese dan Wright dan usulan load resistance factor design dalam perencanaan pondasi tiang bor studi kasus proyek Jakarta. *Media Komunikasi Teknik Sipil*. 2013; 19(2): 135-140.
- [13] Livia L, Suhendra A. Studi kapasitas tiang bor berdasarkan metode Pile Driving Analyzer (PDA) dan Load Cell. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*. 2018; 1(1): 82-91.
- [14] Reese LC, Isenhower WM, Wang ST. Analysis and design of shallow and deep foundations. John Wiley & Sons; 2005 Nov 25: 326-327.