

PENGGUNAAN REINFORCED CONCRETE SLABS UNTUK MENGURANGI PENURUNAN SESAAT PONDASI TIANG PANCANG PADA TANAH TIDAK KERAS

Andi Indianto¹, Sanju Yedo Oksa², Sukarman³, Rikki Sofyan Rizal⁴, Erlina Yanuarini⁵

^{1,2,3,4,5} Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta

^{1,2,3,4,5} Institusi Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kampus Universitas Indonesia Depok 16425

email: andi.indianto@sipil.pnj.ac.id, sanju.yedooksa.ts18@mhs.w.pnj.ac.id, sukarman@sipil.pnj.ac.id,
rikki.sofyanrizal@sipil.pnj.ac.id, erlina.yanuarini@sipil.pnj.ac.id

Abstrak

Kejadian penurunan sesaat pada pilar-pilar struktur jembatan tipe pelat tiang, pada saat kendaraan melintasi jembatan, merupakan pengaruh dari pondasi pegas. Efek ini umumnya terjadi karena pondasi tidak berada pada tanah yang keras. Penurunan sesaat tersebut menyebabkan pelebaran momen di ujung dermaga sehingga mengakibatkan peristiwa retak struktur, seperti yang terjadi pada salah satu ruas tol di Kebon Jeruk, Jakarta Barat. Pilar struktur jembatan tipe pile slab yang pondasinya berada pada tanah yang tidak keras akan mengakibatkan pilar tersebut mengalami pergerakan vertikal. Pergerakan pada pilar dapat menyebabkan keretakan pada struktur *pier head*, selanjutnya pergerakan pada *pier head* juga dapat menyebabkan kerusakan pada lantai. Dalam penelitian ini dilakukan evaluasi terhadap kekuatan dengan tujuan mengetahui kinerja kekuatan pada pondasi. Salah satu cara untuk mengatasi penurunan sesaat pada pondasi yang berfungsi sebagai pilar adalah dengan mengurangi penurunan sementara dengan cara mendistribusikan beban pada tanah di sekitar pondasi dengan menggunakan pelat beton bertulang. Hasil analisis teoritis, penanganan menggunakan pelat bertulang dengan luas 2,5 x 2,5 meter, dengan pemasangan sedalam 0,5 meter dari permukaan tanah, mampu meredam pergerakan vertikal sebesar 73,68% (penurunan sebelum kekuatan sebesar 0,76 mm, dan setelah kekuatan sebesar 0,20 mm). Sedangkan dari hasil uji lapangan dengan penanganan seperti diatas mampu menurunkan penurunan sesaat sebesar 68,75%. (penurunan sebelum kekuatan sebesar 0,80 mm, dan setelah kekuatan sebesar 0,25 mm)

Kata kunci : *concrete slabs*, penurunan sesaat, tiang pancang

Abstract

The momentary decline in the pillars of the pile slab-type bridge structure, when a vehicle crosses the bridge, are the effect of the spring foundation. This effect occurs because the foundation does not on hard soil. This momentary decrease causes a moment widening at the end of the pier, resulting in structural cracking, as happened on one of the toll roads in Kebon Jeruk, West Jakarta. Pillars of pile slab type bridge structures whose foundations are on non-hard soil will cause the pillars to experience vertical movement. Movement of the pillars can cause cracks in the pier head structure, then movement of the pier head can also cause damage to the floor. In this research, an evaluation of the reinforcement was carried out with the aim of knowing the performance of the reinforcement in the foundation. One way to overcome temporary settlement in foundations that function as pillars is to reduce temporary settlement by distributing the load on the soil around the foundation using reinforced concrete slab. The results of theoretical analysis, treatment using reinforced slab with an area of 2.5 x 2.5 meters, with installation 0.5 meters deep from the ground surface, is able to reduce vertical movement by 73.68%. (the settlement before strengthening was 0.76 mm, and after strengthening was 0.20 mm). Meanwhile, from the results of field tests, handling as above was able to reduce instantaneous decline by 68.75% (the settlement before strengthening was 0.80 mm, and after strengthening was 0.25 mm)

Keywords : concrete slabs, instantaneous settlement, pile foundations

I. PENDAHULUAN

Jembatan pile slab merupakan salah satu jembatan integral yang terdiri dari elemen pelat, balok, dan pondasi yang berfungsi sebagai pilar untuk menahan balok yang berfungsi sebagai pierhead. Karena kesederhanaan sistem jembatan ini, maka kekuatan dan kestabilan pondasi menjadi peranan utama dalam menunjang kekokohan struktur pelat tiang ini. Hal tersebut sejalan dengan pendapat Selfiana (2018), kestabilan suatu struktur tidak hanya ditentukan oleh struktur atas yang secara langsung memikul gaya-gaya yang bekerja pada struktur tersebut, tetapi kestabilan struktur bawah ikut andil dalam hal ini yaitu pondasi yang memegang peranan yang tidak kalah penting. Apabila pondasi tidak bertumpu pada tanah yang keras, maka jika salah satu tiang mengerem beban kendaraan yang di atasnya, maka ada kecenderungan tiang tersebut akan mengalami penurunan sesaat, dan bila kendaraan di atasnya melintas, maka tiang tersebut akan patah. Menurut Mufid (2021), permasalahan yang kerap terjadi pada pondasi biasanya berkaitan dengan *properties* tanah dan lemahnya daya dukung tanah yang mengakibatkan penurunan pondasi berlebihan dan tidak merata hingga menyebabkan keruntuhan.

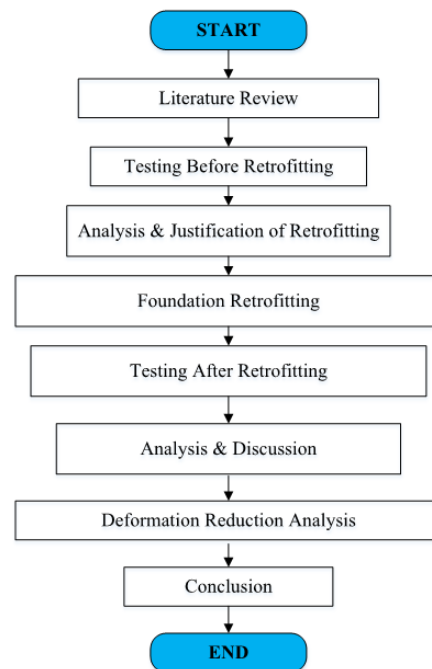
Tanah lunak bukanlah tanah yang baik untuk konstruksi bangunan sipil. Tanah lunak jika tidak dikenali dan diselidiki dengan cermat akan menimbulkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir (Naibaho dkk, 2021). Tanah yang tidak keras seringkali menimbulkan banyak masalah. Daya dukung tanah yang rendah dapat menimbulkan kerugian dalam hal biaya konstruksi yang akan semakin mahal, serta kemungkinan terganggunya stabilitas konstruksi di atasnya (Arifianto & Moestofa, 2019). Tanah tidak keras merupakan jenis tanah yang memiliki kekuatan geser yang rendah. Salah satu jenis tanah yang termasuk dalam jenis tanah lunak adalah tanah liat lunak (Sandi dkk, 2019). Tanah liat didefinisikan sebagai endapan yang mempunyai ukuran partikel lebih kecil atau sama dengan 0,002 mm dalam jumlah lebih dari 50% (Bowles, 1984). Tanah mempunyai sifat permeabilitas yang rendah, kenaikan air kapiler yang tinggi bersifat plastis dan sangat kohesif, serta tingkat penyusutan yang tinggi (Hardiyatmo, 2002). Berdasarkan SNI 1726 tahun 2019 tentang klasifikasi kelas lokasi tanah dimana definisi tanah lunak untuk rata-rata N-SPT < 15 (BNSP, 2019).

Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Shouman (2018). Menyatakan bahwa perkuatan pondasi jembatan dapat dilakukan dengan menambahkan jumlah tiang pancang. Sementara menurut Yulianti (2014), menyatakan bahwa perkuatan pondasi dapat dilakukan dengan kombinasi geotekstil dan grid bambu.

Kasus pergerakan vertikal pilar saat lalu lintas di atasnya terjadi pada salah satu ruas Tol Kebon Jeruk, Jakarta Barat, yang mengakibatkan balok *pier head* dan pelat lantai di atasnya mengalami retak. Dari masalah ini, dicari solusi atau penanganannya agar pergerakan vertikal pada saat lalu lintas melintasi pelat lantai dapat dikurangi sehingga keretakan yang terjadi pada balok *pier head* dan pelat lantai dapat dikurangi.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen dan analisis numerik menggunakan *software* Sap 2000. Data yang diperoleh dari eksperimen digunakan untuk memvalidasi model numerik. Selanjutnya berdasar data tersebut lalu dianalisis untuk mendapatkan justifikasi perbaikan atau perkuatan yang sesuai dengan masalah yang terjadi. Kegiatan yang dilakukan selama penelitian dapat dilihat pada diagram alir Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Secara umum detail dari setiap kegiatan penelitian ini mencakup:

1. Mengumpulkan bahan-bahan untuk bahan kajian berupa jurnal dan referensi lain yang mendukung.
2. Survei pendahuluan pada Pilar P160 PH2 jembatan jalan tol JORR W1 Kebon Jeruk – Jakarta Barat untuk uji lapangan sesuai dengan data saat pengujian sebelum dilakukan perkuatan.
3. Melakukan pengujian dilapangan guna mendapatkan data yang berupa simpangan vertikal dari pilar.
4. Melakukan analisis data yang didapatkan dari hasil pengujian.
5. Melakukan analisa peningkatan kekuatan yang diperoleh dari hasil perkuatan dengan penyebaran gaya pada pilar melalui pembuatan plat disekitar pondasi.
6. Pengujian setelah dilakukan perbaikan struktur.
7. Menganalisis hasil teoritis dan pengujian.
8. Analisis penurunan deformasi.
9. Membuat kesimpulan.

III. ANALISIS DAN PERANCANGAN

III.1 Pembebanan Pilar Jembatan

Pembebanan pilar jembatan dalam hal ini mengacu pada peraturan pembebanan pada jembatan (BNSP, 2016), dimana pembebanan tersebut diperhitungkan dengan memperhitungkan beban mati (DL), beban mati tambahan (SDL), dan beban hidup lalu lintas (LL). Beban hidup yang digunakan merupakan beban hidup aktual yang dihasilkan dari pengukuran beban hidup di lapangan.

a. Pembebanan untuk beban standar

Berikut pembebanan untuk beban standar ($q_{II} = 0,9 \text{ t/m}^2$ dan $P_{II} = 4,9 \text{ t/m}$).

Aspal	:2,31 ton
Lantai	:17,66 ton
Pier head	:4,67 ton
Kolom	:3,83 ton
Beban hidup merata	:18,92 ton
Beban hidup garis	:27,78 ton

Sehingga beban layan untuk satu kolom (Q_a) adalah **75,17 ton**

b. Pembebanan untuk beban aktual

Berikut pembebanan untuk beban actual dimana ($T_{II} = 36,147 \text{ ton}$).

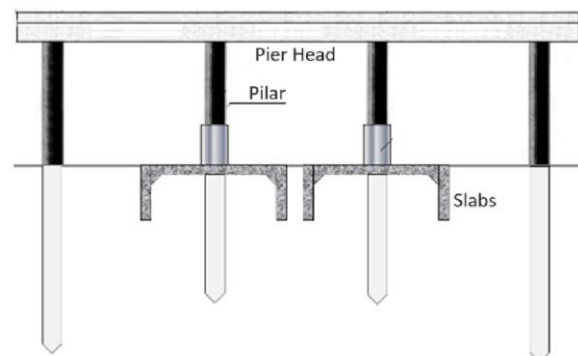
Aspal	:2,31 ton
Lantai	:17,66 ton
Pier head	:4,67 ton
Kolom	:1,04 ton
Beban hidup gandar	:70,49 ton

Sehingga beban layan untuk satu kolom (Q_a) adalah **96,17 ton**

III.2 Perkuatan

Pondasi tiang pancang berfungsi menerima dan memindahkan bebandari struktur atas ke tanah penyangga yang terletak pada kedalaman tertentu (AISC, 2004). Struktur bawah dan pondasi jembatan harus tetap dalam keadaan layan pada beban SLS (*Serviceability Limit State*) (DPW, 2018).

Untuk mengurangi deformasi vertikal pada tiang pancang yang tidak ditanam/dipancang pada tanah keras, digunakan penyebaran beban sesaat dengan menggunakan pelat beton bertulang yang disambungkan pada tiang pancang yang berfungsi sebagai tiang pada jembatan tipe tiang pancang. Bentuk perkuatan struktur tersebut secara detail dapat ditunjukkan pada Gambar 2.



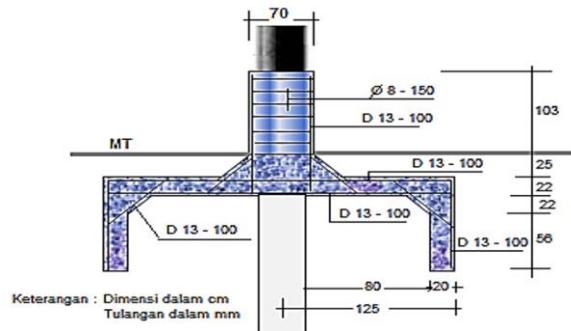
Gambar 2. Bentuk perkuatan pelat beton bertulang

III.3 Penulangan Reinforced Concrete Slabs

Pelat dapat diasumsikan sebagai rangkaian jalur yang berdekatan dengan lebar suatu satuan dan dihubungkan sepanjang keseluruhan bagian panjangnya. Pada lintasan yang semakin jauh dan panjang serta lintasan yang memusatkan beban

bekerja maka torsi dan geser yang terjadi akan semakin berkurang pada lintasan yang mendekati tepi pelat. Artinya momen internal juga berkurang. Jumlah total reaksi sama dengan total beban yang bekerja pada seluruh arah vertikal.

Rencana penulangan plat beton dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Detail dan dimensi tulangan pelat beton bertulang

III.4 Konstanta Pegas

Konstanta pegas tanah merupakan perbandingan antara tekanan tanah pada suatu titik tertentu pada permukaan kontak dengan lendutan yang dihasilkan

(Sure dkk, 2020). Persamaan yang digunakan untuk menghitung konstanta pegas untuk arah horizontal ditunjukkan pada persamaan 1, sementara untuk arah vertikal ditunjukkan pada persamaan 2 (Sasrodarsono, 1980).

$$k_h = k_{ho} \times \left(\frac{Bh}{30}\right)^{-\frac{3}{4}} \quad [1]$$

Dengan:

- K_h :konstanta pegas tanah berarah horizontal (kg/cm^3)
- K_{ho} :konstanta awal pegas tanah (kg/cm^3)
- B_h :dimensi lateral terkecil pada dasar tiang (cm)

$$k_v = 0,2 \times E_o \times D^{-\frac{3}{4}} \quad [2]$$

Dengan:

- K_v :konstanta pegas tanah berarah vertical (kg/cm^3)
- E_o :modulus deformasi tanah pondasi, diperoleh dari nilai $28 \times \text{N-SPT}$ (kg/cm^3)
- D :diameter tiang (cm)

Hasil perhitungan konstanta pegas untuk struktur tiang secara rinci dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Konstanta pegas untuk tiang pancang

Depth (m)	Thickness (m)	N60	qa (kN/m^2)	Ksv (kN/m^2)	Ksh (kN/m^2)	Kll (m)	A Pile (m^2)	Ksh (kN/m)	Ksv (kN/m)
1	1	1,67	20,83	2500	5000	1,571	0,196	217289,39	
2	1	4,17	52,08	6250	12500	1,571	0,196	543223,48	
3	1	5,83	72,92	8750	17500	1,571	0,196	760512,88	
4	1	6,67	83,33	10000	20000	1,571	0,196	869157,57	
5	1	8,33	104,17	12500	25000	1,571	0,196	1086446,97	
6	1	10,00	125,00	15000	30000	1,571	0,196	1303736,36	
7	1	10,83	135,42	16250	32500	1,571	0,196	1412381,06	
8	1	18,33	229,17	27500	55000	1,571	0,196	2390183,33	
9	1	33,33	416,67	50000	100000	1,571	0,196	4345787,87	
10	1	31,67	395,83	47500	95000	1,571	0,196	4128498,48	
11	1	30,83	385,42	46250	92500	1,571	0,196	4019853,78	
12	1	29,17	364,58	43750	87500	1,571	0,196	3802564,39	737078,20

Hasil konstanta pegas di atas dijadikan acuan dalam proses analisis model menggunakan aplikasi SAP2000.

III.5 Hasil Analisis Teoritis

Analisis teoritis menggunakan bantuan aplikasi SAP2000. Dengan membuat pemodelan struktur baik

pada kondisi sebelum *retrofitting* dan setelah *retrofitting* (seperti pada Gambar 5), pembebanan, dan konstanta pegas sebagai tahanan pondasi, sehingga terjadi deformasi vertikal sebagaimana telah disajikan pada Tabel 2.



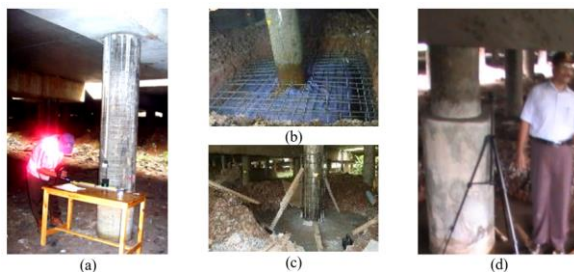
Gambar 5. Pemodelan struktur dengan SAP200 sebelum retrofitting (kiri) dan sesudah retrofitting (kanan)

Tabel 2. Rekapitulasi deformasi vertikal pada tiang pancang analisis SAP2000

Deformasi Vertikal	Sebelum Retrofitting (mm)	Setelah Retrofitting (mm)
Hasil Analisis SAP2000	0,76	0,20

III.6 Hasil Pengujian atau Eksperimen

Uji besaran deformasi vertikal dilakukan dengan memasang LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) di bawah *pier head* di samping pilar yang mengalami deformasi vertikal pada saat kendaraan melintasi jembatan. LVDT yang digunakan merupakan *Dial digital* (lihat Gambar 6.a) yang dapat mengganggu pergerakan vertikal saat lalu lintas melintasi jembatan. Selanjutnya hasil deformasi mengacu data pengujian atau eksperimen disajikan pada Tabel 3.



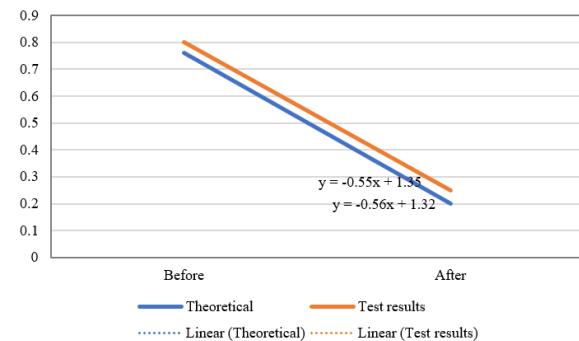
Gambar 6. (a) Proses pengujian; (b) Proses perakitan perkuatan pondasi *footplate*; (c) Proses pengecoran pondasi dan pemasangan tulangan perkuatan tiang; (d) Hasil perbaikan pilar

Tabel 3. Rekapitulasi deformasi vertikal pada tiang pancang Uji Lapangan

Deformasi Vertikal Hasil Uji Lapangan	Sebelum Retrofitting (mm)	Setelah Retrofitting (mm)
1	0,60	0,10
2	0,39	0,12
3	0,43	0,05
4	0,56	0,05
5	0,80	0,06
6	0,56	0,25
7	0,63	0,10
8	0,39	0,08
Nilai max	0,80	0,25

III.7 Pembahasan

Hasil kajian teori menunjukkan deformasi vertikal sebelum perkuatan sebesar 0,76 mm, sedangkan deformasi vertikal setelah perkuatan sebesar 0,20 mm, artinya terjadi penurunan deformasi vertikal sebesar $((0,76-0,2)/0,76)100\% = 73,68\%$. Sementara hasil pengujian atau eksperimen menunjukkan deformasi vertikal sebelum perkuatan sebesar 0,80 mm, sedangkan deformasi vertikal setelah perkuatan sebesar 0,25 mm, artinya terjadi penurunan deformasi vertikal sebesar $((0,80-0,25)/0,80)100\% = 68,75\%$. Secara detail hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hubungan antara hasil pengujian atau eksperimen dengan Teoritis

Kedua sebaran data tersebut menghasilkan pola yang sama, sehingga dapat disimpulkan bahwa perkuatan dengan mendistribusikan beban ke dalam tanah di sekitar pondasi dapat meredam pergerakan vertikal sehingga mengurangi keretakan yang terjadi pada balok dan lantai akibat pergerakan vertikal pondasi.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Secara teoritis perkuatan dengan pelat beton bertulang yang dipasang di sekeliling tiang, mampu mereduksi penurunan sesaat sebesar 73,68%. Sementara mengacu Hasil pengujian atau eksperimen perkuatan dengan memasang pelat beton di sekeliling tiang dapat mengurangi perbaikan seketika sebesar 68,75%. Sehingga Penerapan perkuatan menggunakan slab beton dapat diterapkan pada pondasi jembatan yang ujung tiangnya tidak menyentuh tanah keras karena penyebaran beban di sekeliling tiang dapat tersebar secara merata.

Saran yang diberikan setelah dilakukan penelitian diantaranya perlu dilakukan penelitian lebih mendalam terkait metode lain terkait *retrofitting* struktur. Perlu ditinjau terhadap pembebanan gempa, baik statik maupun dinamik.

REFERENSI

- AISC. (2004). 1583220064 Foundation Testing Guidelines. 1±78. LRFD.
- Arifianto, B., & Moestofa, B. (2019). Evaluation of the Carrying Capacity of Soft Soils from Chemical Stabilization with Terra Firma in the Gedebage Area, Bandung City, West Java Province. (Pp. 93-109). RekaRacana: Journal of Civil Technology, 5(4), 99. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v5i4.99>
- Bowles, J. E. (1984). Physical and Geotechnical Properties of Soil (Soil Mechanics). Erlangga.
- Department of Public Works. (2018). Bridge Planning and Bridge Loading Criteria. Bridge Planning and Bridge Loading Criteria, 1±66.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). Soil Mechanics 1. Gajah Mada University.
- Mufid, F., Munirwansyah, & Yunita, H. (2021) Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Dengan Metode Formula Dinamis Pada Jembatan Nasional Alue Lamteh – Aceh. Journal of The Civil Engineering Student. Vol. 3. No. 3, Desember 2021, Halaman 294-300.
- Naibaho, A. G., & Waruwu, A. (2021). Study of Pole Group Capacity on Soft Soils Using Small Scale Laboratory. 27(2), 179±186.
- Sandi S, A. R., Setiawan, B., & Djarwanti, N. (2018). Single loading of a modified chicken claw model (cam) quadrilateral pattern on a variation in distance using the finite element method. Civil Engineering Matrix, 6(4), 690±697. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v6i4.36543>
- Sasrodarsono, S., Kazuto, N., & Taulu, I. (1980). Soil Mechanics and Foundation Engineering. Pradnya Paramita. http://opac.uma.ac.id:80/index.php?p=show_detail&id=7440.
- Selfiana. 2018. “Evaluasi Perkuatan Pondasi Pada Apartemen The City Square”. Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil, Vol. 1, 45-51.
- Shouman, Muhammad. 2018. “Perancangan Perkuatan Fondasi Tiang Pasca Pelaksanaan Jembatan Kalanggeta, Kabupaten Serang, Provinsi Banten”. IRONS, 454-462.
- SNI 1725. (2016). Loading for Bridges. National Standardization Agency, 1± 63.
- SNI 1726. (2019). Sni 1726:2019. Earthquake Resistance Planning Procedures for Building and Non-Building Structures, 8, 254.
- Sure, Y. A., Pratiwi, D. S., & Bilaldy, B. F. (2020). Analysis of Spring Constants on Pole Foundations (Case Study: Building Type B DPRD Surabaya). RekaRacana: Journal of Civil Technology, 6(1), 42. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v6i1.42>
- Yulianti, Putri. 2014. “Studi Pemodelan Perkuatan Pondasi Dangkal Pada Tanah Lempung Lunak Menggunakan Kombinasi Geotekstil Woven Dan Grid Bambu Dengan Bantuan Program Plaxis”. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, Vol. 2, 320-328.