

Perkuatan Fondasi pada Struktur Tower ATC di Kota Bandar Lampung

KAMALUDIN*, DESTI SANTI PRATIWI

Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia
Email: kamal@itenas.ac.id

ABSTRAK

Fondasi merupakan bagian struktur bawah yang harus memiliki kestabilan yang baik selain kesestabilan struktur atas. Salah satu fungsi fondasi berfungsi untuk menyalurkan beban layan dari struktur atas dan beban dari fondasi, kemudian diteruskan ke dalam tanah yang memiliki daya dukung. Pada pembangunan tower ATC direncanakan kedalaman bored pile sejauh 10 m di bawah permukaan tanah, namun pada tahap pelaksanaan oleh kontraktor hanya dilaksanakan 6 m. Penelitian ini meninjau kembali daya dukung dan menentukan solusi perkuatan fondasi akibat perubahan kedalaman pada tahap pelaksanaan. Analisis dilakukan dengan cara melihat kembali gaya yang diterima oleh fondasi akibat beban layan struktur atas dan menghitung deformasi dengan menggunakan metode elemen hingga. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa perubahan kedalaman yang dilaksanakan mengakibatkan terjadinya defleksi lateral maksimum sebesar 9,2-26,8 mm dan penurunan maksimum sebesar 42 mm. Perkuatan fondasi yang dapat dilakukan yaitu dengan cara penambahan sebanyak 2 bored pile untuk kelompok SW1, serta kelompok SW2 dan SW3 masing-masing sebanyak 1 bored pile. Berdasarkan hasil analisis terlihat bahwa dengan adanya penambahan perkuatan fondasi mampu mengurangi penurunan sebesar 22,9%-57,1% dan defleksi lateral sebesar 37,5%-42,9%.

Kata kunci: bored pile, daya dukung, defleksi lateral, metode elemen hingga, perkuatan fondasi

ABSTRACT

The foundation is part of the lower structure that must have good stability besides the upper structure. One of the foundation's functions is transmitting the service load from the superstructure and the load from this foundation into the supporting soil below it. In the construction of the ATC tower, it is planned that the depth of bored pile is 10 m, but at the implementation stage is only carried out as deep as 6 m. This study reviews the bearing capacity as a result of changes in depth applied by the contractor, and determines the solution for the underlying retrofit solution due to implementation changes. The analysis is carried out by reviewing received forces originating from the superstructure and deflection's magnitude using finite element method. The analysis results show that the maximum lateral deflection is 9.2-26.8 mm and settlement is 42 mm not only occurs due to depth changes but also exceeds the allowable deflection. The solution to reinforce the foundation is adding 2 points to the pile group SW1 and 1 point to the pile group SW2 and SW3. Based on the analysis result of the addition of foundation reinforcement can decrease settlement by 22.9%-57.1% and lateral deflection by 37.5%-42.9%.

Keywords: bored pile, bearing capacity, lateral deflection, finite element method, foundation reinforcement

1. PENDAHULUAN

Air Traffic Controller (ATC) merupakan profesi pekerjaan yang umumnya bertujuan untuk memberikan layanan pemanduan lalu lintas di udara, terutama lalu lintas penerbangan seperti pesawat terbang, helikopter dan sebagainya. Pesawat udara biasanya melalui jalur lalu lintas penerbangan yang telah ditentukan dan sama sekali tidak diperkenankan menyimpang, terkecuali sudah mendapatkan izin dari ATC. Struktur ATC umumnya memiliki tapak bangunan yang kecil, dengan tinggi bangunan yang cukup tinggi [6]. Kestabilan fondasi terhadap beban layan dan beban gempa harus memadai berdasarkan ketentuan SNI [1] [2].

Perancangan struktur ATC ini telah dirancang oleh konsultan perencana. Selain struktur atas, juga dirancang struktur bawah dengan jumlah *bored pile* seperti diperlihatkan pada **Gambar 2** dengan memiliki kedalaman 10 meter. Namun dalam pelaksanaannya oleh kontraktor dipasang hanya setinggi 6 meter setelah diperiksa oleh konsulan pengawas. Pembangunan dihentikan terlebih dahulu sebelum dilakukan perhitungan ulang atas kejadian ini. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap konfigurasi fondasi yang sama dengan kedalaman *bored pile* adalah 6 meter.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari solusi akibat pengurangan kedalaman *bored pile* oleh kontraktor. Banyak cara dilakukan untuk meningkatkan kestabilan fondasi *bored pile* ini, di antaranya dengan melakukan upaya perbaikan tanah dan atau penambahan *bored pile* [3] [5] [8]. Adapun solusi yang diambil dalam penelitian adalah dengan menambahkan *bored pile* dengan kedalaman 10 meter.

Terkait hal ini peneliti mengkaji beberapa penelitian yang dilakukan pada tahun-tahun sebelumnya sebagai langkah awal. Kajian terhadap perkuatan fondasi berupa *pile* yang patah yaitu penambahan *pile* pengganti sebagai solusinya [10]. Penelitian yang telah dilakukan peneliti lainnya mengenai perkuatan fondasi adalah solusi pasca pelaksanaan, dengan mengkaji masalah perkuatan sambungan *pile cap* dalam rangka penambahan tiang pancang sebagai perkuatan [11]. Adapun penelitian mengenai kajian kapasitas terhadap kelompok tiang, menyimpulkan bahwa peningkatan kapasitas tiang dengan penambahan jumlah tiang dari hasil pengamatan tidak setinggi hasil analisis [9] karena terdapat kecenderungan tanah pada kelompok tiang bergerak turun secara bersama-sama, sehingga nilai kapasitas kelompok tiang pada tanah lempung lunak ternyata lebih kecil dibandingkan dengan nilai kapasitas tiang tunggal yang dikalikan dengan jumlah tiang pada kelompok tiang. Penelitian ini dilakukan dengan model tiang pancang skala kecil di laboratorium.

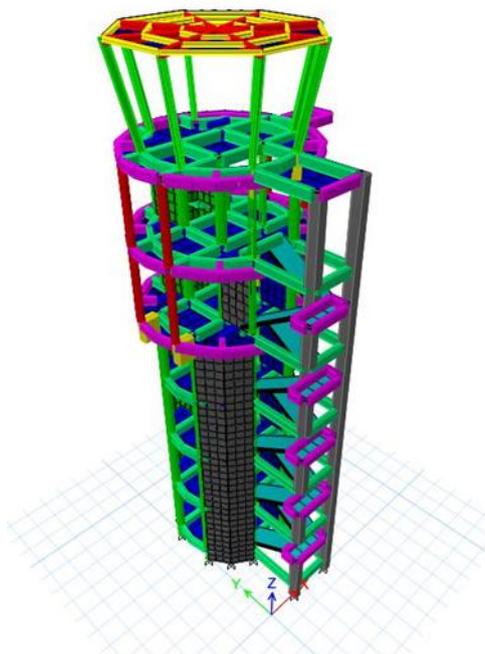
2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan uji model menggunakan bantuan *software* struktur di Institut Teknologi Nasional Bandung. Metode penelitian adalah sebagai berikut:

- a. Model struktur.
- b. Perencanaan *bored pile* 10 m oleh konsultan.
- c. Pelaksanaan pancang 6 m oleh kontraktor.
- d. Perkuatan *bored pile*.
- e. Analisis dan pembahasan.
- f. Kesimpulan.

Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan menggunakan alat bantu *software*, halmana model struktur ATC yang diteliti seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 1**. Pemodelan struktur atas menggunakan bantuan *software* ETABS bertujuan untuk mengeluarkan gaya-gaya yang akan diterima oleh fondasi kelompok tiang. Pemodelan berupa jenis *open frame*,

dengan menggunakan material utama adalah beton bertulang [7]. Pemodelan struktur atas mengacu pada data desain yang telah dibuat oleh konsultan perencana.



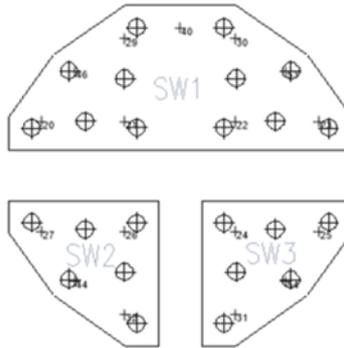
Gambar 1. Model struktur ATC pada software ETABS

Data dan konfigurasi fondasi diperlihatkan pada **Tabel 1** dan **Gambar 2**, sesuai dengan yang direncanakan oleh konsultan perencana. Material beton bertulang dengan mutu $f'_c = 25$ MPa dan *bored pile* sesuai katalog pabrikasi.

Tabel 1. Data Bored Pile

Jenis	Bored Pile
Panjang <i>bored pile</i> [m]	6
Diameter [m]	0,4
Tipe material	Elastic
γ [kN/m ³]	24
f'_c [MPa]	25
E [kN/m ²]	23.452.952

Perancangan fondasi diperlihatkan pada **Gambar 2**, *pile cap* diberi tanda SW1 dengan jumlah *bored pile* sebanyak 12 buah. *Pile cap* SW2 dan SW3 mempunyai masing-masing 6 buah *bored pile*. Kedalaman rencana *bored pile* ini oleh konsultan perencana sebesar 10 meter. Saat implementasi, kontraktor hanya melaksanakan kedalaman *bored pile* setinggi 6 meter sehingga perlu dilanjutkan dengan penelitian mengenai perkuatan fondasi agar pembangunan dapat berlangsung. Selain menggunakan alat bantu *software* ETABS, *software* PLAXIS 3D juga digunakan untuk mencari besarnya penurunan dan defleksi arah lateral pada kepala tiang.

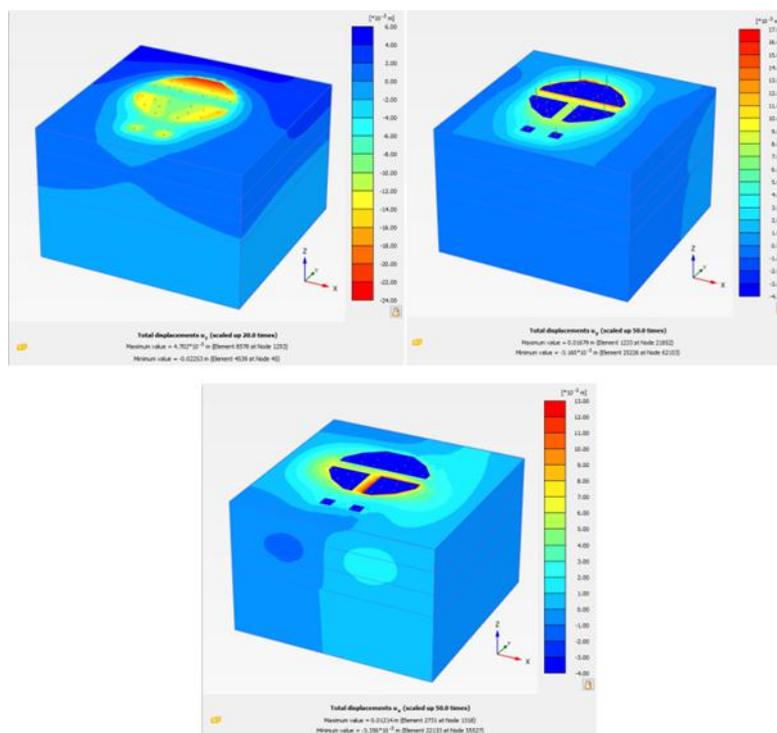


Gambar 2. Model struktur fondasi ATC

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Struktur dengan *Bored Pile* 6 meter

Pada model *bored pile* 6 m dilakukan peninjauan deformasi pada setiap kelompok tiang dengan cara memberi beban-beban pada setiap sambungan kolom dan *pile cap*, beban yang digunakan adalah beban kombinasi layan, gempa rencana dan gempa kuat yang didapat dari hasil analisis struktur atas. Analisis dilakukan dengan 2 tipe pembebanan yaitu pembebanan aksial dan pembebanan lateral. Pembebanan lateral dilakukan dengan 4 pemodelan arah untuk mencari deformasi yang paling kritis sesuai arah gempa [4]. Pemodelan dan nilai deformasi aksial dan lateral maksimum pada setiap kelompok tiang dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Total deformasi UZ, UY, UX akibat kombinasi layan

Deformasi yang terjadi akibat gempa kuat, diperlihatkan pada **Gambar 3**, terlihat gradasi warna yang tidak cukup kuat akibat pengurangan kedalaman *bored pile*, secara numerik diperlihatkan pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**.

Tabel 2. Rekapitulasi Maksimum Untuk Defleksi Lateral pada Setiap Kelompok *Bored Pile*

Kombinasi Beban	SW1		SW2		SW3	
	UX [mm]	UY [mm]	UX [mm]	UY [mm]	UX [mm]	UY [mm]
Layan	4,80	12,50	7,30	9,70	12,10	9,80
Gempa Kuat	9,20	26,80	26,80	21,30	19,90	26,70
Layan dan Gempa Rencana Izin adalah 12 mm dan Gempa Kuat Izin adalah 25 mm	Tidak Terpenuhi					

Tabel 3. Rekapitulasi Defleksi Lateral Maksimum pada Setiap Kelompok *Bored Pile*

Kombinasi Beban	SW1	SW2	S3
	UZ [mm]	UZ [mm]	UZ [mm]
Layan	22,50	16,00	18,20
Gempa Kuat	42,00	37,00	35,00
Gempa Kuat Izin adalah 25 mm	Tidak Terpenuhi	Tidak Terpenuhi	Tidak Terpenuhi

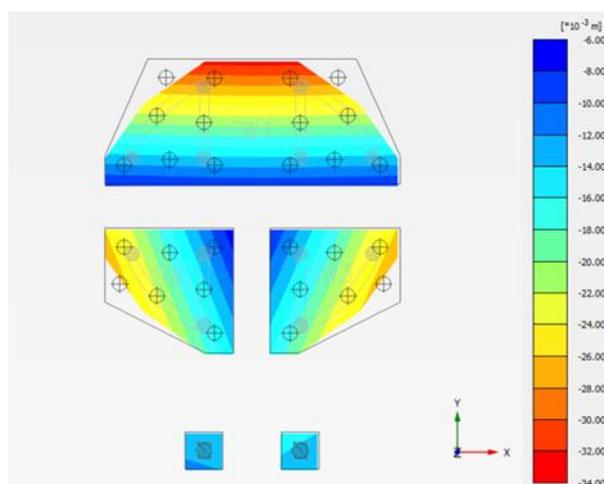
Hasil analisis defleksi terhadap beban rencana dapat dilihat pada **Tabel 2** dan **Tabel 3** bahwa seluruh kelompok tiang mengalami defleksi maksimum yang melebihi izin pada kombinasi pembebanan gempa kuat. Pada **Gambar 3** menunjukkan terjadi *differential settlement* untuk semua kelompok *bored pile*. Terjadi Penurunan yang tidak merata pada kelompok *bored pile*, hal ini disebabkan oleh adanya beban yang bekerja tidak terdistribusi secara baik ke seluruh fondasi, terjadi defleksi maksimum pada bagian tertentu kelompok *bored pile* yang menderita beban terbesar.

Seluruh kelompok tiang membutuhkan perkuatan untuk meningkatkan daya dukung agar defleksi maksimum yang terjadi tidak melebihi defleksi izin. Perkuatan direncanakan adalah menambah jumlah *bored pile* pada masing-masing *pile cap*.

3.2 Analisis Struktur dengan Perkuatan *Bored Pile*

Salah satu cara perkuatan berupa penambahan jumlah *bored pile* pada masing-masing *pile cap* dengan diameter tiang 0,40 m dan sejauh 12 m sampai tanah keras. Tujuan ditambahnya jumlah tiang adalah untuk meningkatkan daya dukung dan memperkecil deformasi maksimum yang terjadi. Akan tetapi juga diiringi pelebaran *pile cap* bersamaan dengan menambahkan tiang. Konfigurasi penambahan *bored pile* dapat dilihat pada **Gambar 5**, dengan menentukan posisi penambahan *bored pile* mengacu pada bagian fondasi yang menderita deformasi maksimum.

Tabel 4 dan **Tabel 5** memperlihatkan perkuatan pondasi dengan menambah 2 buah *bored pile* di SW1 dan 1 titik *bored pile* pada masing-masing SW2 dan SW3 akan mampu menghasilkan penurunan nilai defleksi sehingga terjadi di bawah defleksi izin.



Gambar 3. Grafik pengaruh kedalaman kolom kapur terhadap penurunan

Tabel 4. Rekapitulasi Maksimum Untuk Defleksi Lateral pada Setiap Kelompok Perkuatan *Bored Pile*

Kombinasi Beban	SW1		SW2		SW3	
	UX [mm]	UY [mm]	UX [mm]	UY [mm]	UX [mm]	UY [mm]
Layan	3,70	7,80	5,00	7,20	7,30	7,20
Gempa Kuat	8,70	16,50	11,50	16,30	14,20	16,80
Layan dan Gempa Rencana Izin adalah 12 mm dan Gempa Kuat Izin adalah 25 mm	Terpenuhi	Terpenuhi	Terpenuhi	Terpenuhi	Terpenuhi	Terpenuhi

Tabel 3. Rekapitulasi Defleksi Lateral Maksimum pada Setiap Kelompok Perkuatan *Bored Pile*

Kombinasi Beban	SW1	SW2	S3
	UZ [mm]	UZ [mm]	UZ [mm]
Layan	13,70	10,00	10,90
Gempa Kuat	25,00	21,70	20,00
Gempa Kuat Izin adalah 25 mm	Terpenuhi	Terpenuhi	Terpenuhi

Berdasarkan **Tabel 6** dan **Tabel 7** perbedaan defleksi dengan adanya penambahan *bored pile* sebanyak 2 buah titik pada kelompok *bored pile* SW1 dan penambahan 1 buah titik untuk SW2 dan SW3 dapat menghasilkan pengurangan 22,9% - 57,1% dari penurunan maksimum serta akan mereduksi sekitar 37,5% - 42,9% defleksi lateral maksimum. Hal ini diakibatkan adanya penambahan perkuatan pada setiap kelompok tiang.

Tabel 6. Penurunan Defleksi Setelah Diperkuat pada Setiap Kelompok *Bored Pile*

Kombinasi Beban	SW1		SW2		SW3	
	[%]		[%]		[%]	
	UX [mm]	UY [mm]	UX [mm]	UY [mm]	UX [mm]	UY [mm]
Layan	22,92	37,60	31,51	25,77	39,67	26,53
Gempa Kuat	5,43	38,43	57,09	23,47	28,64	37,08

Tabel 7. Penurunan Defleksi Lateral Setelah Diperkuat pada Setiap Kelompok Bored Pile

Kombinasi Beban	SW1	SW2	S3
	UZ	UZ	UZ
	[mm]	[mm]	[mm]
Layan	39,11	37,50	40,11
Gempa Kuat	40,48	41,35	42,86

4. KESIMPULAN

Nilai defleksi lateral maksimum berdasarkan kombinasi gempa rencana pada kelompok tiang SW1 sebesar 12,5 mm melebihi nilai defleksi izin yaitu 12 mm; dan nilai defleksi lateral maksimum berdasarkan kombinasi gempa kuat untuk setiap kelompok *bored pile* sebesar 9,2 – 26,8 mm dan kelompok *bored pile* SW3 sebesar 26,7 mm melebihi nilai defleksi izin yaitu 25 mm. Penurunan maksimum berdasarkan kombinasi gempa kuat untuk kelompok *bored pile* SW1 adalah 42,0 mm; untuk kelompok *bored pile* SW2 adalah 37,0 mm; dan pada kelompok *bored pile* SW3 adalah 35 mm melebihi nilai penurunan izin yaitu 25 mm. Metode penambahan *bored pile* sebanyak 2 buah titik untuk kelompok *bored pile* SW1 dan penambahan 1 titik pada SW2 dan SW3 mampu menurunkan 22,9% - 57,1% dari penurunan maksimum serta mampu menurunkan 37,5% - 42,9% dari defleksi lateral maksimum.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [2] Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [3] Bowles, J.E. (1997). *Analisis dan Desain Pondasi Edisi Keempat Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- [4] Hanidah, K.M. (2018). *Analisis Faktor Efisiensi dan Perilaku Kelompok Tiang Akibat Beban Lateral Menggunakan Metode Finite Difference dan Metode Elemen Hingga. Tugas Akhir*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
- [5] Hardiyatmo, H.C. (2010). *Analisis dan Perancangan Pondasi Bagian I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [6] Haryati, E. (2008). *Perancangan Pondasi Tiang Bor pada Menara Pemancar di Jakarta Barat. Tugas Akhir*. Jakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Mercu Buana.
- [7] Imran, I. & Hendrik, F. (2010). *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*. Bandung: ITB Press.
- [8] Look, B.G. (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. London: Taylor Francis Group.
- [9] Naibaho, A.G. & Waruwu, A. (2021). Kajian Kapasitas Kelompok Tiang pada Tanah Lunak Menggunakan Skala Kecil Laboratorium. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 27(2), 179-186.
- [10] Selfiana, Hadiwidjaja, M. & Diana, N.A. (2018, Maret). Evaluasi Perkuatan Pondasi pada Apartemen The City Square. *GeSTRAM (Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil)*, 1(1), 45-51.
- [11] Shouman, M., Hendry, Yuswandono, M. & Febriansya, A. (2018). Perancangan Perkuatan Fondasi Tiang Pasca Pelaksanaan Jembatan Kalanggeta, Kabupaten Serang, Provinsi Banten. *9th Industrial Research Workshop and National Seminar Peran Peneliti dan*

Kamaludin, Desti Santi Pratiwi

Inovasi di Era Industri 4.0 dalam Mewujudkan Pembangunan Berkelanjutan Menuju Kemandirian Bangsa (pp. 454-462). Bandung: Polban.