

Evaluasi Perkuatan Fondasi *Bored Pile* pada Tower ATC Di Bandar Udara Radin Inten II Kota Bandar Lampung

MUHAMMAD IRFAN ALFANDARY¹, KAMALUDIN², DESTI SANTI PRATIWI³

1. Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
 2. Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
 3. Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
- Email: irfanalfndry@gmail.com

ABSTRAK

Fondasi merupakan bagian bawah dari bangunan yang berfungsi untuk menyalurkan beban yang berasal dari struktur atas dan disalurkan ke dalam tanah pendukung dibawahnya. Pada pembangunan tower ATC terjadi perubahan kedalaman fondasi yang pada tahap perencanaan sedalam 10 m, namun pada tahap pelaksanaan hanya sedalam 6 m. Penelitian ini meninjau daya dukung akibat terjadi perubahan kedalaman dan mengetahui solusi perkuatan fondasi dari permasalahan tersebut. Analisis dilakukan dengan cara meninjau gaya yang diterima fondasi yang berasal dari struktur atas dan meninjau besarnya deformasi menggunakan metode elemen hingga. Hasil analisis menunjukkan bahwa akibat terjadinya perubahan kedalaman, defleksi lateral maksimum yang terjadi sebesar 26.8 mm dan penurunan maksimum yang terjadi sebesar 42 mm melebihi deformasi izin. Solusi perkuatan fondasi yang dapat dilakukan adalah dengan penambahan tiang sebanyak 2 titik pada kelompok tiang SW1 dan 1 titik pada kelompok tiang SW2 dan SW3. Berdasarkan hasil analisis penambahan perkuatan dapat menurunkan nilai penurunan sebesar 38%-43%, dan menurunkan defleksi lateral sebesar 20%-40%.

Kata Kunci: *tiang bor, daya dukung, defleksi lateral, penurunan, perkuatan fondasi, metode elemen hingga*

1. PENDAHULUAN

Bandar udara sebagai prasarana perhubungan udara memegang peranan yang sangat penting di dalam suatu sistem transportasi udara. Air Traffic Controller juga berperan dalam pengaturan kelancaran arus lalu lintas penerbangan. Pada tahap perencanaan tower ATC jenis fondasi yang digunakan adalah jenis fondasi bored pile dan didesain sepanjang 10 m ke dalam tanah dengan diameter 40 cm, namun pada tahap pelaksanaan pekerjaan fondasi yang tidak selalu berjalan sesuai dengan rencana dikarenakan faktor teknis di lapangan, sehingga kedalaman yang digunakan hanya sepanjang 6 m. Dengan adanya perubahan kedalaman fondasi, maka sistem fondasi tiang juga harus dievaluasi kekuatannya agar mampu menahan beban. Pada penelitian ini akan membahas mengenai evaluasi perkuatan fondasi bored pile pada Tower ATC di Bandar Udara Radin Inten II Kota Bandar Lampung.

2. METODE PENELITIAN

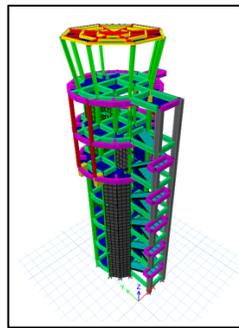
Dalam metodologi penelitian ini hal yang pertama dilakukan adalah merumuskan masalah dari penelitian, pada tahap kedua dilakukan studi pustaka hal ini dilakukan untuk merangkum teori-teori yang berkaitan dengan studi penelitian baik dari jurnal-jurnal ilmiah terkait, dari buku anjuran maupun dari penelitian-penelitian terdahulu, pada tahap ketiga dilakukan pengumpulan data untuk menunjang kebutuhan penelitian berupa data sekunder, setelah mendapatkan data data tahap selanjutnya yang dilakukan adalah melakukan pemodelan struktur atas dengan menggunakan *software ETABS 18* untuk mendapatkan *joint reaction*

pada pondasi dengan menggunakan beberapa kombinasi pembebanan. Setelah mendapatkan nilai *joint reaction*, tahap selanjutnya melakukan pemodelan struktur bawah dengan menggunakan *software PLAXIS 3D* menggunakan metode analisis *Finite Element Method* (FEM), lalu tahap selanjutnya yaitu mencari daya dukung kelompok tiang dan melakukan kontrol deformasi terhadap nilai *joint reaction* yang didapat dari pemodelan struktur atas, jika deformasi yang dihasilkan melebihi deformasi izin, maka dilakukan perkuatan pondasi berupa penambahan tiang, lalu dilakukan pemodelan lagi pada struktur bawah sesuai dengan perkuatan yang akan dilakukan, analisis dilakukan hingga deformasi memenuhi deformasi izin kemudian tahap akhir yaitu menentukan nilai deformasi yang dapat direduksi setelah ditambahkan perkuatan.

3. PEMBAHASAN

3.1 Pemodelan struktur

Jenis pemodelan berupa *open frame*, dengan material utama yang digunakan adalah beton bertulang.



Gambar 1 Pemodelan Pada *Software ETABS*

3.2 Analisis struktur atas

Tabel 1 Rekapitulasi *Output Joint Reaction* Pada Setiap Kelompok Tiang Akibat Beban *Envelope Max* Layan

Kelompok	F_x [kN]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	M_z [kN.m]
SW1	341.740	586.220	7478.726	60.181	45.914	1.697
SW2	255.469	338.240	3634.909	23.656	34.482	1.482
SW3	168.820	339.152	3676.209	23.637	39.550	1.981
P1	12.010	17.638	755.919	12.115	16.928	2.087
P2	11.678	11.413	772.268	19.461	16.483	1.159

Tabel 2 Rekapitulasi *Output Joint Reaction* Pada Setiap Kelompok Tiang Akibat Beban *Envelope Max* Gempa Rencana

Kelompok	F_x [kN]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	M_z [kN.m]
SW1	332.145	538.061	7263.429	55.484	45.907	1.620
SW2	242.911	333.154	3672.417	22.026	35.086	1.430
SW3	152.490	333.421	3718.155	21.846	40.179	2.050
P1	11.746	16.082	705.185	12.843	16.683	1.592
P2	11.010	12.257	705.516	19.808	16.267	1.107

Tabel 3 Rekapitulasi Output Joint Reaction Pada Setiap Kelompok Tiang Akibat Beban Envelope Max Gempa Kuat

Kelompok	F_x [kN]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_x [kN.m]	M_y [kN.m]	M_z [kN.m]
SW1	621.073	941.244	10956.413	94.749	86.297	2.990
SW2	439.088	606.061	5519.099	35.005	62.763	2.722
SW3	349.379	605.640	5569.528	34.801	68.399	4.036
P1	22.185	27.312	1045.050	25.929	32.662	3.105
P2	22.716	19.296	1038.494	39.057	32.288	2.251

3.3 Data parameter tanah

Parameter tanah pada pemodelan diperoleh dari data sekunder dan korelasi N_{spt} pada hasil penyelidikan tanah. **Tabel 2** menunjukkan nilai parameter tanah yang digunakan pada pemodelan.

Tabel 4 Data Parameter Tanah

Jenis Tanah	Kedalaman	Type	N_{spt}	γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	C [kPa]	ϕ [°]	E [kPa]	ν
Lempung Berpasir	0 - 2	Undrained A	36	17.13	18.13	13	26.5	12000	0.3
Lempung Keabuan	2 - 4	Undrained A	26	14.66	15.66	9.3	25.6	9000	0.3
Lempung Berpasir	4 - 6	Undrained A	60	16.62	17.62	1	30.9	19000	0.3
Batuan	6 - 12	Drained	60	19	20	20	50	200000	0.2

3.4 Parameter tiang bor

Tiang bor pada PLAXIS 3D dimodelkan menggunakan *Embedded Beam* dengan diameter 0.4 m, sedangkan *pile cap* dimodelkan menggunakan *plate*.

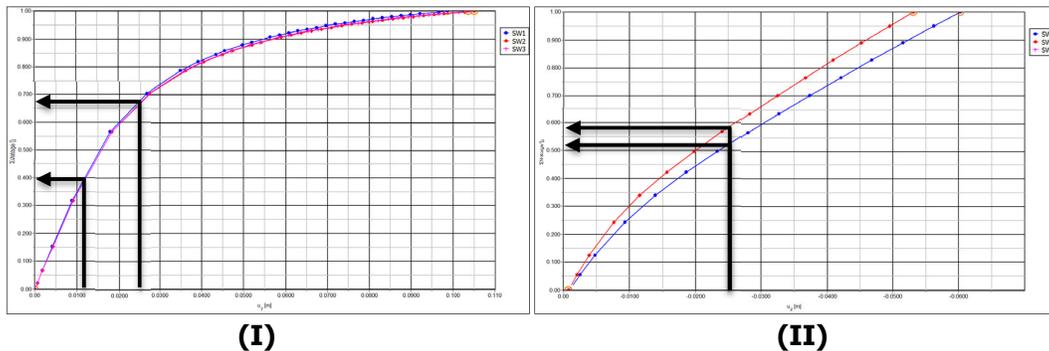
Tabel 5 Data parameter fondasi dan pilecap

	Fondasi	Pilecap
Jenis	<i>Bored Pile</i>	<i>Plates</i>
Panjang Tiang [m]	6	-
Diameter [m]	0.4	-
d [m]	-	1
Model	<i>Embedded Beam</i>	-
Material Type	<i>Elastic</i>	<i>Elastic</i>
γ [kN/m ³]	24	24
f_c [Mpa]	24.9	24.9
E [kN/m ²]	23452952	23452952
$T_{skin,start}$ [kN/m]	3.65	-
$T_{skin,end}$ [kN/m]	245.5	-
F_{max} [kN]	1430	-

3.5 Analisis Daya Dukung Kelompok Tiang

Pada analisis ini dilakukan percobaan *trial and error* pembebanan pada fondasi kelompok tiang hingga mengalami fracture, selanjutnya mencari dayang dukung kelompok tiang berdasarkan deformasi izin dengan menggunakan grafik hubungan *Mstage* dan deformasi. Beban yang digunakan dalam mencari daya dukung lateral pada fondasi kelompok tiang SW1, SW2, dan

SW3 secara berurut adalah 3000 kN, 1500 kN, dan 1500 kN pada arah horizontal dan untuk mencari daya dukung aksial pada fondasi kelompok tiang SW1, SW2, dan SW3 secara berurut adalah 20000 kN, 10000 kN, dan 10000 kN pada arah vertikal.



Gambar 2 Garfik Hubungan Antara *Mstage* Dan deformasi Pada Kelompok Tiang

Tabel 6 Rekapitulasi Hasil Analisis Daya Dukung Lateral

Kelompok Tiang	<i>Mstage</i>	Daya Dukung Lateral Kelompok [kN]	Beban Lateral Layan [kN]	Beban Lateral Gempa Rencana [kN]	Selisih Min [%]
SW1	0.40	1200	586	538	51
SW2	0.40	600	337	333	43
SW2	0.40	600	339	333	43

Tabel 7 Rekapitulasi Hasil Analisis Daya Dukung Lateral

Kelompok Tiang	<i>Mstage</i>	Daya Dukung Lateral Kelompok [kN]	Beban Lateral Gempa Kuat [kN]	Selisih Min [%]
SW1	0.6725	2017.5	941	53
SW2	0.6725	1008.75	606	40
SW2	0.6725	1008.75	605	40

Tabel 8 Rekapitulasi Hasil Analisis Daya Dukung Aksial

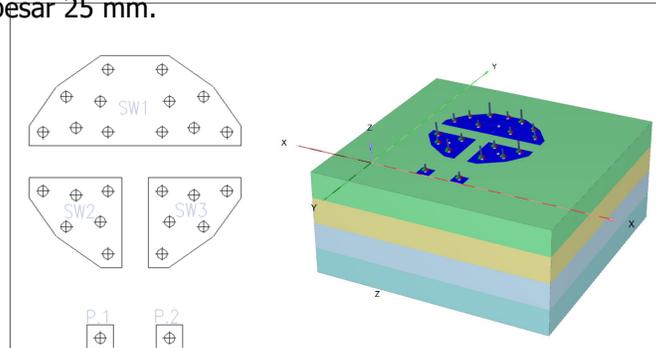
Kelompok Tiang	<i>Mstage</i>	Daya Dukung Aksial [kN]	Beban Aksial Layan [kN]	Beban Aksial Gempa Rencana [kN]	Beban Aksial Gempa Kuat [kN]	Selisih Min [%]
SW1	0.525	10500	7478	7263	10956	-4
SW2	0.584	5840	3634	3672	5519	5
SW2	0.584	5840	3676	3718	5569	5

Berdasarkan **Tabel 6** dan **Tabel 7** didapatkan bahwa pada beberapa kelompok tiang daya dukung lateral maupun aksial memiliki nilai lebih besar dari beban yang bekerja dengan selisih minimum pada daya dukung lateral dan beban lateral sebesar 40%, dan pada daya dukung aksial nilai beban aksial berdasarkan kombinasi gempa kuat melebihi daya dukung aksial dengan selisih 4%.

3.6 Analisis Deformasi struktur bawah

Pada Analisis ini dilakukan pemodelan struktur bawah menggunakan software PLAXIS 3D, dengan input pembebanan menggunakan hasil analisis struktur atas dan menghasilkan nilai deformasi yang disajikan pada gambar dibawah. Berdasarkan SNI 8460:2017 defleksi ijin

untuk gempa rencana sebesar 12mm dan untuk gempa kuat sebesar 25mm, dan dan penurunan ijin sebesar 25 mm.



Gambar 3 Pemodelan Menggunakan Beban Kombinasi

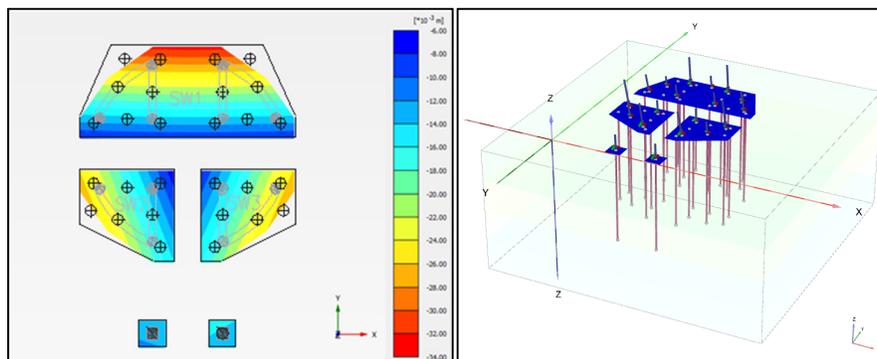
Tabel 9 Rekapitulasi Defleksi Lateral Maksimum pada Setiap Kelompok Tiang

Kombinasi	SW1			SW2			SW3		
	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]	Ux [mm]	Ux [mm]	Uz [mm]	Ux [mm]	Ux [mm]	Uz [mm]
Layan	5	13	22	7	9	18	12	9	18
Gempa Rencana	5	13	22	7	9	18	12	9	18
Gempa Kuat	9	28	45	19	21	34	21	26	35
Keterangan	Tidak Aman			Tidak Aman			Tidak Aman		

Hasil analisis deformasi maksimum kelompok tiang dapat dilihat pada **Tabel 17**, berdasarkan hasil tersebut perlu dilakukan perkuatan pada fondasi kelompok tiang karena melebihi deformasi ijin. Perkuatan fondasi dapat dilakukan dengan penambahan tiang.

3.7 Perkuatan Fondasi Dengan Penambahan Pile

Pada analisis ini perkuatan yang dilakukan adalah menambahkan jumlah tiang pada masing-masing kelompok tiang dengan diameter tiang 0.4m dan kedalaman tiang 6m.



Gambar 4 Konfigurasi Fondasi Penambahan Pile

Berdasarkan **Gambar 6** dapat dilihat terjadi *differential settlement* pada semua kelompok tiang. Penurunan yang tidak merata pada kelompok tiang disebabkan oleh beban yang bekerja tidak terdistribusi dengan baik ke seluruh fondasi, deformasi maksimum terjadi pada bagian tertentu kelompok tiang yang mendapatkan beban terbesar sehingga pemilihan posisi penambahan tiang mengacu pada bagian fondasi yang mengalami deformasi maksimum.

Tabel 10 Rekapitulasi Defleksi Lateral Maksimum pada Setiap Kelompok Tiang

Kombinasi	SW1			SW2			SW3		
	Ux	Uy	Uz	Ux	Ux	Uz	Ux	Ux	Uz

	[mm]								
Layan	3	7	13	5	6	10	6	6	10
Gempa Rencana	3	7	13	5	6	10	6	6	10
Gempa Kuat	8	16	25	11	16	19	14	16	20
Keterangan	Aman			Aman			Aman		

Berdasarkan **Tabel 18** perkuatan fondasi dengan menambah 2 titik pile di SW1 dan 1 titik pile dimasing masing SW2 dan SW3 mampu menurunkan nilai deformasi sehingga memenuhi deformasi ijin.

Tabel 11 Rekapitulasi Perbedaan Deformasi Setelah Adanya Perkuatan

Kombinasi	SW1			SW2			SW3		
	Ux	Uy	Uz	Ux	Ux	Uz	Ux	Ux	Uz
Layan	23%	38%	39%	32%	26%	38%	40%	27%	40%
Gempa Rencana	23%	38%	39%	32%	26%	38%	40%	27%	40%
Gempa Kuat	5%	38%	39%	41%	23%	41%	29%	37%	43%

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pada beberapa kelompok tiang nilai daya dukung aksial dan lateral lebih besar dari nilai kombinasi pembebanan, hanya pada kelompok tiang SW1 nilai daya dukung aksial lebih kecil dari kombinasi beban gempa kuat. Berdasarkan hasil analisis deformasi terjadi *differential settlement* pada semua kelompok tiang akibat beban yang tidak terdistribusi dengan baik pada kelompok tiang. Perkuatan pondasi pada daerah deformasi maksimum dengan penambahan tiang sebanyak 2 titik pada kelompok tiang SW1 dan penambahan 1 titik pada SW2 dan SW3 dapat mereduksi penurunan maksimum sebesar 38%-43%, dan mereduksi defleksi lateral maksimum sebesar 20%-40%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih sebesar-besarnya ditujukan kepada Institut Teknologi Nasional sebagai tempat peneliti mencari ilmu serta mengembangkan kemampuan dalam bidang akademik maupun dalam bidang pengembangan diri juga untuk Bapak Kamaludin Ir.,M.T., M.kom. dan Ibu Desti Santi Pratiwi, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing dalam penelitian ini dan Kepada orang tua serta keluarga besar peneliti yang memberikan dorongan baik secara moral dan materil.

DAFTAR RUJUKAN

- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8740:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Bowles. (1997). *Analisis dan Desain Fondasi Edisi Keempat Jilid 1*. Jakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Analisis dan Perancangan Fondasi bagian I*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Look, B. (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. Taylor Francis Grup , London. ISBN 9780415430388.