

EVALUASI DESAIN PILE CAP MENGGUNAKAN METODE KONVENSIONAL, FINITE ELEMENT METHOD DAN STRUT AND TIE PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG-X

Sachio Mukhallid¹, Fajri Yusmar²

¹Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

²Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Email: sachiomukhallid29@gmail.com

Abstrak: Pada proyek pembangunan gedung-X terdapat masalah pada salah satu tiang pancang yang direncanakan menggunakan single pile, dimana pada saat pelaksanaan pemancangan terjadi pergeseran sejauh 98 cm dari garis as yang telah direncanakan. Oleh sebab itu, dibutuhkan perhitungan yang teliti untuk merencanakan pile cap dengan menggunakan metode konvensional, metode finite element, dan metode strut and tie. Berdasarkan hasil Analisa dan perhitungan yang telah dilakukan dengan ketiga metode tersebut didapatkan perbedaan luas tulangan yang cukup Jauh dari ketiga metode ini terhadap luas tulangan yang terpasang. untuk perbandingan arah x metode konvensional memiliki perbedaan sebesar 47%, metode finite element memiliki perbedaan sebesar 111% dan metode Strut and tie memiliki perbedaan sebesar 111%. selanjutnya perbandingan arah y metode konvensional memiliki perbedaan sebesar 133%, metode finite element memiliki perbedaan sebesar 67% dan metode strut and tie memiliki perbedaan sebesar 33%. Peningkatan yang cukup jauh ini disebabkan oleh struktur atas yang menggunakan kombinasi kuat lebih.

Kata Kunci : Pile Cap, Metode konvensional, metode finite element, dan metode strut and tie.

Abstract : In the X-building construction project, there was a problem with one of the piles which was planned to use a single pile, where during the piling process there was a shift of 98 cm from the planned axle line. For this reason, careful calculations are needed to plan the pile cap using conventional methods, finite element methods, and strut and tie methods. Based on the results of the analysis and calculations carried out using these three methods, it was found that there was quite a large difference in the area of reinforcement between these three methods in terms of the area of reinforcement installed. for the comparison of the x direction the conventional method has a difference of 47%, the finite element method has a difference of 111% and the Strut and tie method has a difference of 111%. Furthermore, the y-direction comparison of the conventional method has a difference of 133%, the finite element method has a difference of 100% and the strut and tie method has a difference of 33%. This considerable increase is caused by the upper structure using a stronger combination.

Keyword : Pile Cap, conventional method, finite element method, and strut and tie method.

PENDAHULUAN

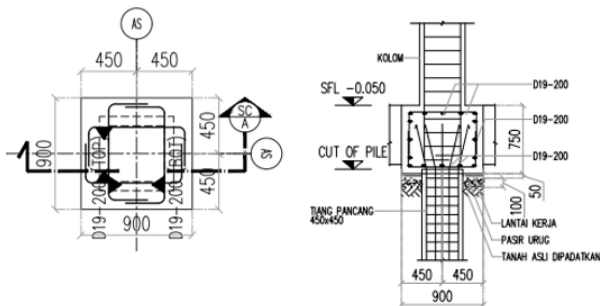
Proyek gedung-X merupakan gedung yang terletak di Kota Depok, Provinsi Jawa Barat. Gedung-X ini terdiri dari 4 lantai dan digunakan sebagai gedung belajar agar dapat menunjang proses belajar mengajar. Gedung yang digunakan sebagai sarana pendidikan harus memiliki struktur yang kuat dan kokoh. Terutama pada gedung bertingkat yang

tidak terlepas dari peranan struktur bawah yang kokoh.

Menurut Hadi (2023), Pile cap merupakan elemen struktur untuk mengikat tiang pancang, menyebarkan beban ke bawah tiang Panjang dan melayani pendistribusian beban kolom dari atas. Bentuk pile cap cukup bervariasi, apabila hanya

terdiri dari satu tiang fondasi sering di sebut dengan single pile, sedangkan untuk tiang yang lebih dari satu disebut dengan multiple pile.

Total titik pemancangan fondasi pada gedung-X adalah sebanyak 316 titik. Dengan 3 model pile cap yang digunakan yaitu PC-1 mengikat satu tiang pancang, PC-2 mengikat dua tiang pancang, dan PC-3 mengikat sebanyak empat tiang pancang. Penggunaan pile cap ini bertujuan untuk memastikan agar lokasi kolom berada di titik pusat fondasi sehingga tidak terjadinya eksentrisitas yang menyebabkan beban tambahan pada fondasi.

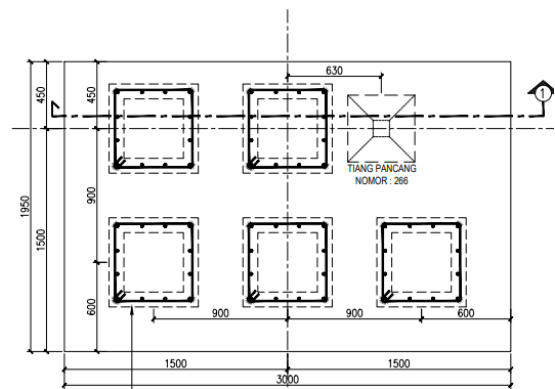


Gambar 1. Detail dan Potongan PC-1

Pada saat pelaksanaan pemancangan terdapat masalah pada salah satu tiang pancang yang direncanakan menggunakan single pile. Tiang pancang ini berukuran 45 x 45 cm yang akan ditanam dengan kedalaman 18 meter serta dihubungkan dengan pile cap ukuran 90 x 90 cm

dan ketebalan 75 cm. Sedangkan pada saat proses pelaksanaan pemancangan, tiang pancang ini mengalami pergeseran sejauh 98 cm dari garis as yang telah direncanakan.

Hal ini dapat mempengaruhi kekuatan tiang yang akan memikul beban dari struktur di atasnya. Oleh karena itu, dilakukan perubahan dalam perencanaan fondasi dengan menambahkan fondasi sumuran sebanyak 5 buah dengan masing-masing ukuran 60 x 60 cm dan kedalaman 400 cm. Penambahan fondasi ini juga berpengaruh terhadap perencanaan pile cap, sehingga dilakukan perubahan pada pile cap dengan ukuran 300 x 195 cm dan ketebalan 80 cm.



Gambar 2. Denah Perbaikan Fondasi

Dengan adanya perubahan desain fondasi tersebut maka perlu dilakukan perubahan pada perencanaan pile cap. Perencanaan pile cap terdapat tiga metode yang umum digunakan dalam perencanaan yaitu metode konvensional metode finite element dan metode strut and tie. Akan tetapi, SNI tidak menyebutkan dengan tegas metode yang paling tepat untuk digunakan.

Perencanaan Pile cap harus direncanakan dengan baik dan efisien agar pile cap tidak Mengalami kegagalan seperti patah maupun mengalami pergeseran. Perubahan desain pile cap pada kasus ini meyebabkan posisi kolom tidak lagi berada di tengah pile cap, sehingga titik resultan gaya dari struktur atas tidak berada di tengah pile cap hal ini akan berdampak kepada peningkatan gaya dalam yang terjadi pada pile cap .

METODE PENELITIAN

Perancangan tugas akhir ini terdiri dari beberapa tahapan. Pertama tahap desain dan analisis struktur atas yang meliputi proses pemodelan struktur, pembebanan dan analisis struktur, seperti disebutkan sebelumnya bahwa tahapan ini menghasilkan Joint reaction pada titik fondasi yang bermasalah. Joint reaction nantinya akan berfungsi sebagai gaya yang dihasilkan oleh kolom untuk mendesain pile cap menggunakan metode konvensional, metode finite element dan metode strut and tie. Tahapan analisis untuk metode konvensional akan dihitung secara manual, sedangkan untuk metode finite element dan metode strut and tie akan didukung oleh program komputer SAP2000 dan CAST.

Kombinasi pembebanan yang digunakan untuk penelitian ini sesuai dengan Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SNI 2847:2019 yaitu:

$$U = 1,4 D$$

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$$

$$U = 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (1,0 L \text{ atau } 0,5 W)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 E + 1,0 L$$

$$U = 0,9 D + 1,0 W$$

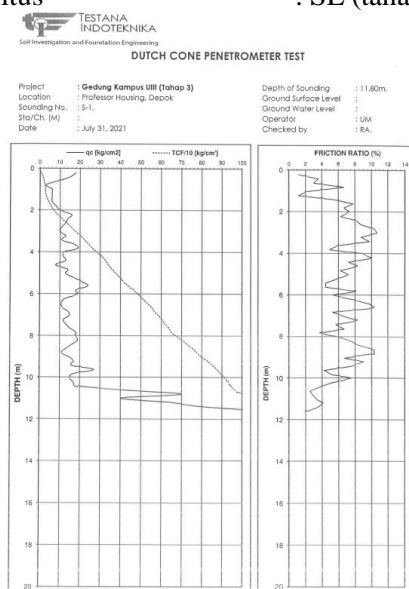
$$U = 0,9 D + 1,0 E$$

Data yang menjadi acuan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian ini

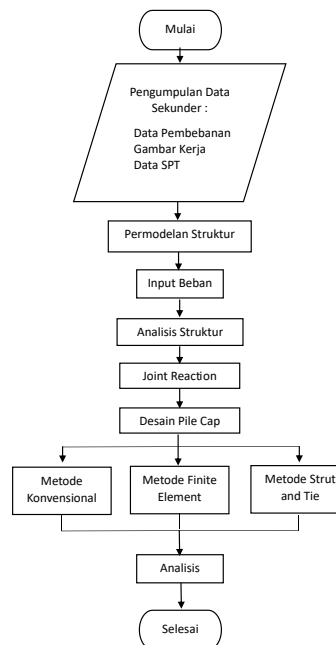
- Jenis Bangunan : Pembangunan Gedung
- Fungsi Bangunan : Perkuliahan
- Lokasi Bangunan : Kota Depok, Jawa Barat.
- Jumlah Lantai : 4 lantai
- Luas Lantai 1 : 5626 m²
- Luas Lantai 2 : 5855 m²
- Luas Lantai 3 : 3025 m²
- Luas Lantai 4 : 299 m²
- Luas Lantai Atap : 2874 m²

Data hasil penyelidikan tanah digunakan untuk menentukan kelas situs tanah dalam menghitung beban gempa pada suatu struktur berdasarkan nilai conus resistance (qc) yang didapatkan. Beban gempa direncanakan menggunakan standar beban gempa 2019, dengan property sebagai berikut:

- Lokasi/kota : Depok
- Spektral percepatan, SS : 0,756
- Spektral percepatan, S1 : 0,319
- Faktor keutamaan gempa, Ie : 1,50
- Koefisien modifikasi respon, R : 8
- Kategori resiko : IV
- Kelas Situs : SE (tanah lunak)



Gambar 3. Grafik Pengujian Sondir



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gedung terdiri dari 3 lantai dengan tinggi masing-masing lantai yaitu 4 meter. Elemen yang akan digunakan dalam permodelkan Gedung-X yaitu balok dan kolom sebagai frame serta plat lantai dan plat atap sebagai shell. Setelah dilakukan permodelan menggunakan SAP 2000, didapatkan tampilan extrude bangunan seperti Gambar 5 dibawah ini.

Berdasarkan analisis pembebanan terhadap gedung-X, didapatkan nilai maksimum joint reaction pada titik fondasi sumuran nomor 18

Tabel 1. Joint Reaction pada Titik Fondasi Nomor 18

Gaya Dalam	Kombinasi	F3 (kN)	MX (KNM)	MY (KNM)
F3	COMB5	828,92	831,84	439,94
M1 MAX	COMB3	778,77	831,99	-342,30
M1 MIN	COMB14	-12,57	-803,13	304,19
M2 MAX	COMB17	533,40	257,56	1307,63
M2 MIN	COMB8	232,80	-228,71	-1345,74

Setelah mendapatkan beban yang akan akan dipikul oleh pile cap maka dilakukan desain penulangan menggunakan beberapa metode.

Metode Konvensional.

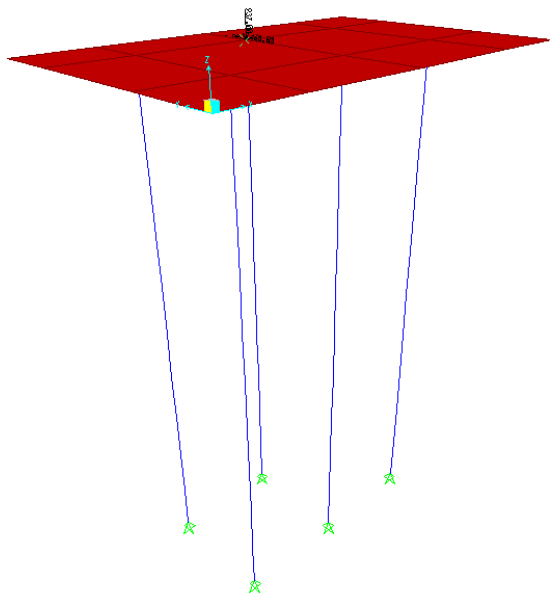
Reaksi dari masing-masing sumuran dikalikan dengan lengan atau jarak dari kolom dengan as sumuran dengan nilai untuk arah x 0,9 m dan arah

y 0,525 m. Momen maksimum yang diperoleh dari kedua arah (Arah X dan Arah Y) adalah 448,35 kNm dan 375,36 kNm. Selanjutnya dilakukan perhitungan kebutuhan luas tulangan perlu ($A_{s,req}$) berdasarkan momen maksimum yang diperoleh sebelumnya, sebesar 1857,11 mm²/m dan 1554,77 mm²/m. Tulangan arah x yang dapat digunakan adalah D19-150 ($A_s=1983,70$ mm²/m) dan tulangan arah y yang dapat digunakan adalah D19-150 ($A_s= 1983,70$ mm²/m).

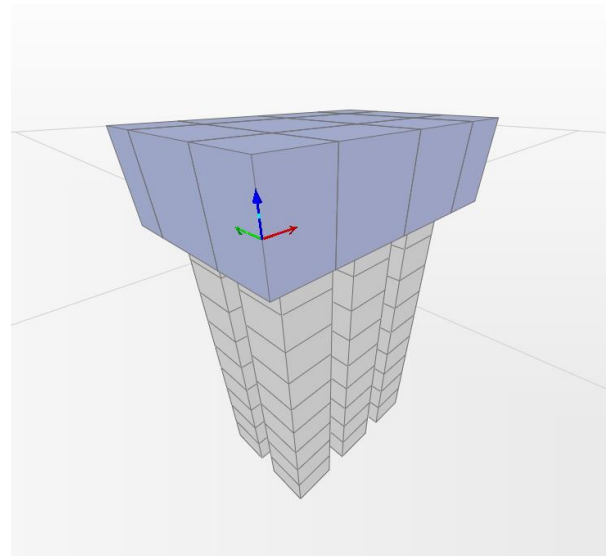
Selanjutnya adalah pemeriksaan terhadap gaya geser satu arah dan dua arah. Kapasitas geser satu arah dan dua arah didapatkan masing-masingnya adalah 3375 kN dan 2829,33 kN, sedangkan gaya geser yang terjadi adalah 828,92 kN. Dengan demikian tebal pile cap yang direncanakan masih mampu memikul gaya geser satu arah dan gaya geser dua arah yang terjadi.

Metode Finite Element

Untuk mendesain pile cap dengan metode finite element akan dilakukan menggunakan aplikasi SAP 2000. Pile cap akan didesain menggunakan elemen shell thick dan sumuran akan dimodelkan sebagai elemen frame.

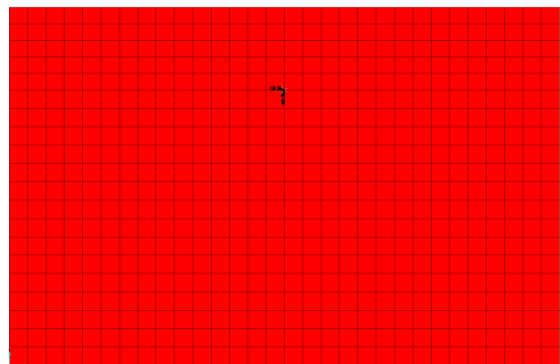


Gambar 7. Permodelan Pile Cap dan Sumuran



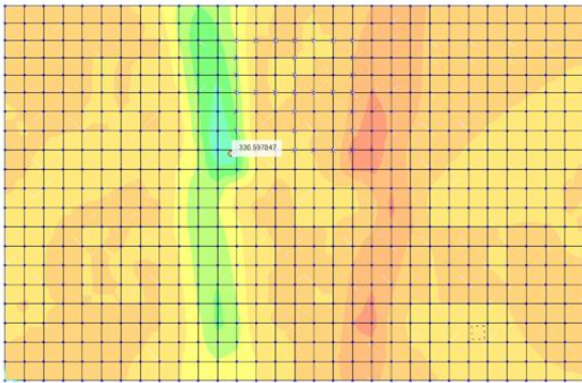
Gambar 8. Tampilan Extrude Pile Cap

Untuk mendapatkan respon struktur yang lebih akurat, maka elemen shell dibagi menjadi elemen-elemen yang lebih kecil (meshing).

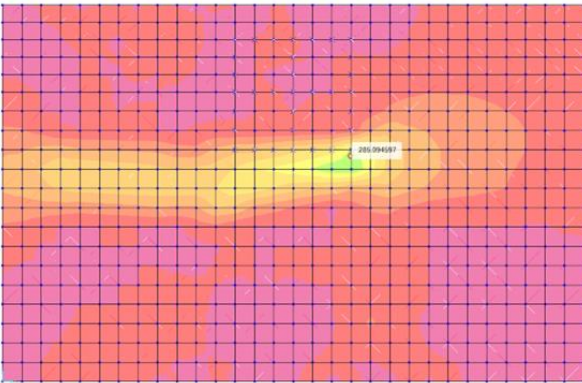


Gambar 9. Meshing Shell Elemen Pile Cap

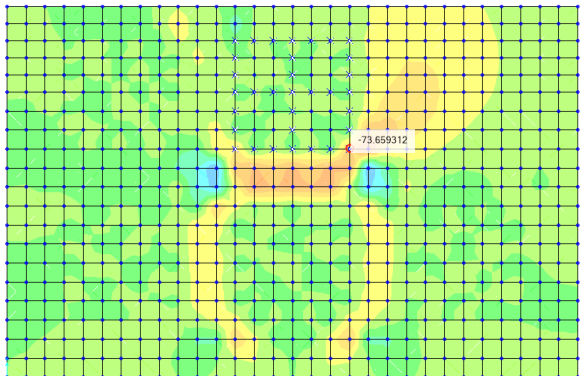
Selanjutnya, untuk menggambarkan kondisi tanah sumuran dimodelkan menjadi elemen batang (frame), dengan masing-masing panjang elemen 4 m, sesuai dengan kedalaman sumuran. Kemudian untuk menghubungkan elemen bored pile, elemen pile cap, dan elemen pier, maka digunakan body constraint. Body constraint dapat menyebabkan respon struktur (translasi dan rotasi) terjadi secara bersamaan sebagai suatu kesatuan rigid body. Langkah selanjutnya dilakukan analisis struktur untuk mendapatkan gaya dalam momen lentur dan gaya dalam geser pada pile cap.



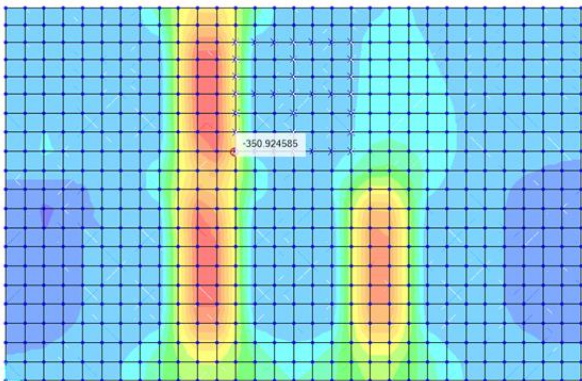
Gambar 10. Momen M11 (330,60 kNm)



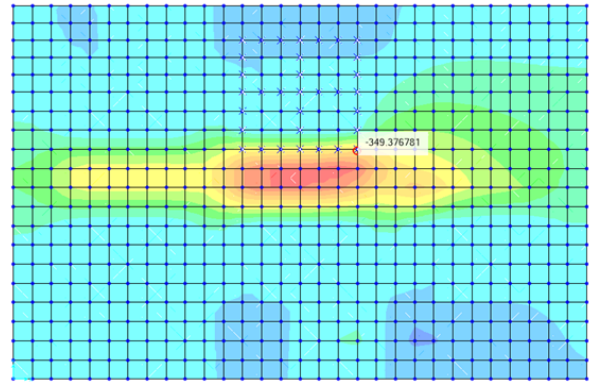
Gambar 11. Momen M22 (285,09 kNm)



Gambar 12. Momen M12 (73,66 kNm)



Gambar 13. Gaya Geser v13 (350,92 kN)



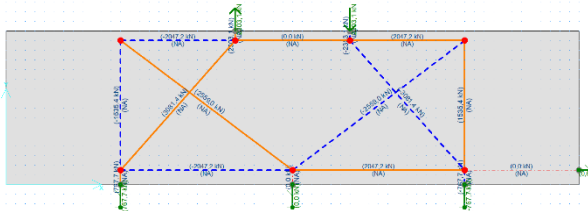
Gambar 14. Gaya geser v23 (349,38 kN)

Berdasarkan penjumlahan momen untuk arah X ($M11+M12$) dan arah Y ($M22+M12$), diperoleh momen maksimum untuk penulangan pile cap adalah 615,69 kNm dan 358,75 kNm. Selanjutnya dilakukan perhitungan kebutuhan luas tulangan perlu ($A_{s_{req}}$) berdasarkan momen maksimum yang telah diperoleh sebelumnya, sebesar 2833,85 mm²/m dan 1485,97 mm²/m. Direncanakan tulangan yang digunakan untuk arah x adalah D19-100 ($A_s = 2833,85$ mm²/m) dan arah y adalah D19-200 ($A_s = 1416,93$ mm²/m).

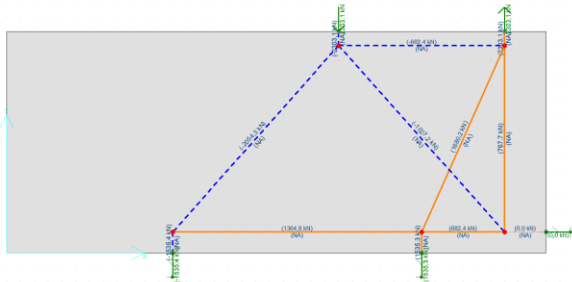
selanjutnya pemeriksaan geser satu arah yang diperoleh dari metode sebelumnya gaya dalam maksimum geser pada pile cap yaitu, 350,92 kN. Sedangkan kapasitas gaya geser satu arah dan gaya gese dua arah yang terjadi adalah 2122 kN dan 3375 kN. Sehingga dapat disimpulkan berdasarkan pemeriksaan terhadap gaya geser ketebalan pile cap yang direncanakan masih mampu memikul gaya geser satu arah dan gaya geser dua arah yang terjadi.

Metode Strut and Tie

Analisis strut and tie dilakukan melalui pendekatan 2D untuk arah memanjang dan melintang pile cap. Dari hasil joint reaction struktur atas, dapat dihitung besar gaya tarik dan gaya tekan yang bekerja pada pile cap. Kedua gaya tersebut diperoleh dari superposisi gaya aksial dengan momen yang bekerja. Nilai yang diperoleh untuk gaya Tarik dan gaya tekan potongan x adalah 2286,84 kN dan 1872,38 kN. Kemudian nilai yang diperoleh untuk gaya Tarik dan gaya tekan untuk potongan y didapatkan adalah 2041,45 kN dan 3135,72 kN. Selanjutnya adalah membuat pemodelan strut and tie dengan bantuan software CAST.



Gambar 15. Permodelan strut and tie arah x



Gambar 16. Permodelan strut and tie arah y

Setelah dimodelkan dan didefinisikan karakteristik dari elemen strut, tie dan nodal, dilakukan analisis struktur untuk mendapatkan gaya dalam. Gaya dalam harus memenuhi persyaratan kekuatan dengan perbandingan gaya dalam dan kapasitas (stress ratio) kurang dari 1. Selanjutnya dilakukan perhitungan kapasitas dan pemeriksaan kapasitas strut, tie dan nodal terhadap gaya dalam yang terjadi

Tabel 2. Desain Tulangan Pada potongan X

Elemen	Gaya (kN)	Asperlu (mm ²)
1	949	3012,70
3	2032,7	6453,02
4	167,7	532,38
5	711,8	2259,68
8	2255,4	7160,00

Tabel 3. Desain Tulangan Pada potongan y

Elemen	Gaya (kN)	Asperlu (mm ²)
1	14,6	46,35
2	266,6	846,35
3	281,2	892,70
7	316,4	1004,44

Tabel 4. Desain Elemen Strut pada Potongan X

Elemen	Gaya (kN)	ϕ fce (Mpa)	f _{cu} (Mpa)	SR
2	1083,7	19,13	0,48	0,76
6	3059,7	19,13	0,57	0,89
7	1186,3	19,13	0,53	0,83
8	252,4	19,13	0,28	0,44

Tabel 5. Desain Elemen Strut pada Potongan Y

Elemen	Gaya (kN)	ϕ fce (Mpa)	f _{cu} (Mpa)	SR
4	401,4	19,13	0,45	0,7
5	423,3	19,13	0,47	0,74
6	36	19,13	0,10	0,13

Tabel 6. Desain Elemen Nodal pada Potongan X

Nodal	ϕ fce (Mpa)	f _{cu} (Mpa)	SR
N1	15,30	0,552	1,44
	15,30	0,414	1,08
	15,30	0,527	1,38
N2	11,48	0,48	0,94
	11,48	0,55	1,08
	11,48	0,57	1,11
N3	11,48	0,48	0,94
	11,48	0,28	0,55
	11,48	1,31	2,57
N4	15,30	1,18	3,09
	15,30	0,41	1,08
	15,30	0,57	1,48
N5	15,30	1,18	3,09
	15,30	0,10	0,26
	15,30	0,53	1,38
	15,30	1,31	1,31
N6	15,30	0,10	0,19
	15,30	0,28	0,55

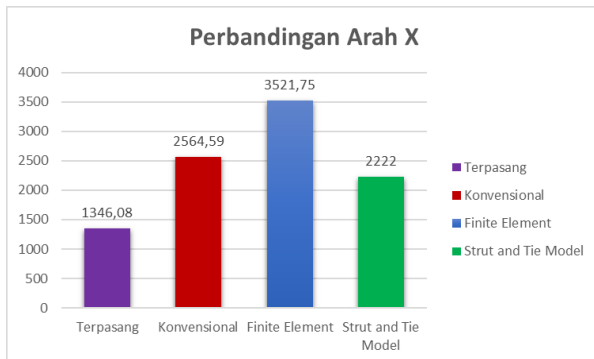
Tabel 7. Desain Elemen Nodal pada Potongan Y

Nodal	ϕ fce (Mpa)	f _{cu} (Mpa)	SR
N1	15,30	0,00	0,00
	15,30	0,45	0,87
	15,30	0,47	0,92
N2	11,48	0,03	0,08
	11,48	0,08	0,21
	11,48	0,00	0,00
N3	15,30	0,03	0,05
	15,30	0,45	0,87
N4	11,48	0,26	0,07
	11,48	0,25	0,07
	11,48	0,80	0,21
N5	11,48	0,03	0,07
	11,48	0,03	0,08

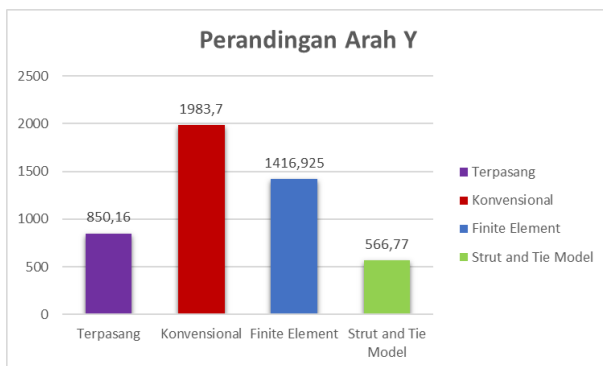
	11,48	0,47	1,23
--	-------	------	------

berdasarkan momen maksimum yang telah diperoleh dari desain element tie maka didapatkan tulangan yang digunakan untuk potongan x adalah D19-100 ($A_s = 2833,85 \text{ mm}^2/\text{m}$) dan potongan y adalah D19-500 ($A_s = 566,77 \text{ mm}^2/\text{m}$).

Setelah mendapatkan kebutuhan tulangan dari masing-masing metode maka didapatkan nilai perbandingan seperti pada gambar berikut.



Gambar 17. Perbandingan Luas Tulangan Arah X



Gambar 18. Perbandingan Luas Tulangan Arah Y

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil Analisa dan perhitungan yang telah dilakukan, terdapat perbedaan luas tulangan yang cukup Jauh dari ketiga metode ini terhadap luas tulangan yang terpasang. untuk perbandingan arah x metode konvensional memiliki perbedaan sebesar 47%, metode finite element memiliki perbedaan sebesar 111% dan metode Strut and tie memiliki perbedaan sebesar 111%. selanjutnya perbandingan arah y metode konvensional memiliki perbedaan sebesar 133%, metode finite element memiliki perbedaban sebesar 67% dan metode strut and tie memiliki perbedaan sebesar 33%. Peningkatan yang cukup jauh ini disebabkan oleh struktur atas yang menggunakan kombinasi kuat lebih.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Gedung dan Penjelasan*. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta: BSN.
- Hadi, R. R., & Yasin, N. (2023). Perhitungan Volume Beton Pile Cap pada Proyek Pembangunan Struktur Parkir (Elevated) Taman Mini Indonesia Indah (TMII). *UG JURNAL*, 28-44.
- Hardjasaputra, H. (2016). *Perancangan Beton Struktural*. Jakarta: Universitas Pelita Harapan
- Imran, I., & Hendrik, F. (2014). *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.