

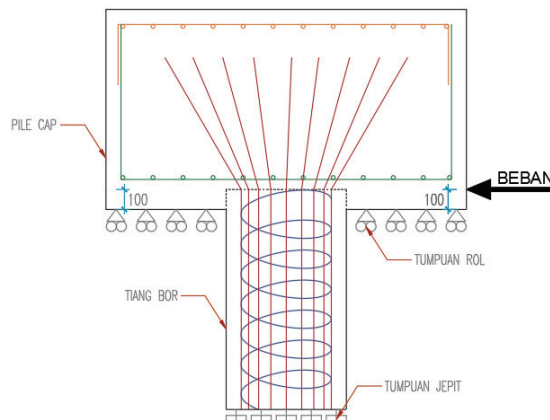
## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Metode Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian kuantitatif dengan metode komparatif, karena penelitian ini melakukan perbandingan berbagai variasi desain tulangan penghubung *bored pile* ke *pile cap* dengan data-data yang jelas, spesifik, dan terencana. Penelitian dimulai dengan mengidentifikasi permasalahan pada desain hubungan *pile cap-bored pile* terhadap gaya geser dasar. Kemudian dilakukan kajian pustaka dan perencanaan model penelitian. Setelah itu masing-masing model dianalisis dan dilanjutkan dengan membandingkan hasil analisis setiap model untuk mendapatkan desain yang paling kuat.

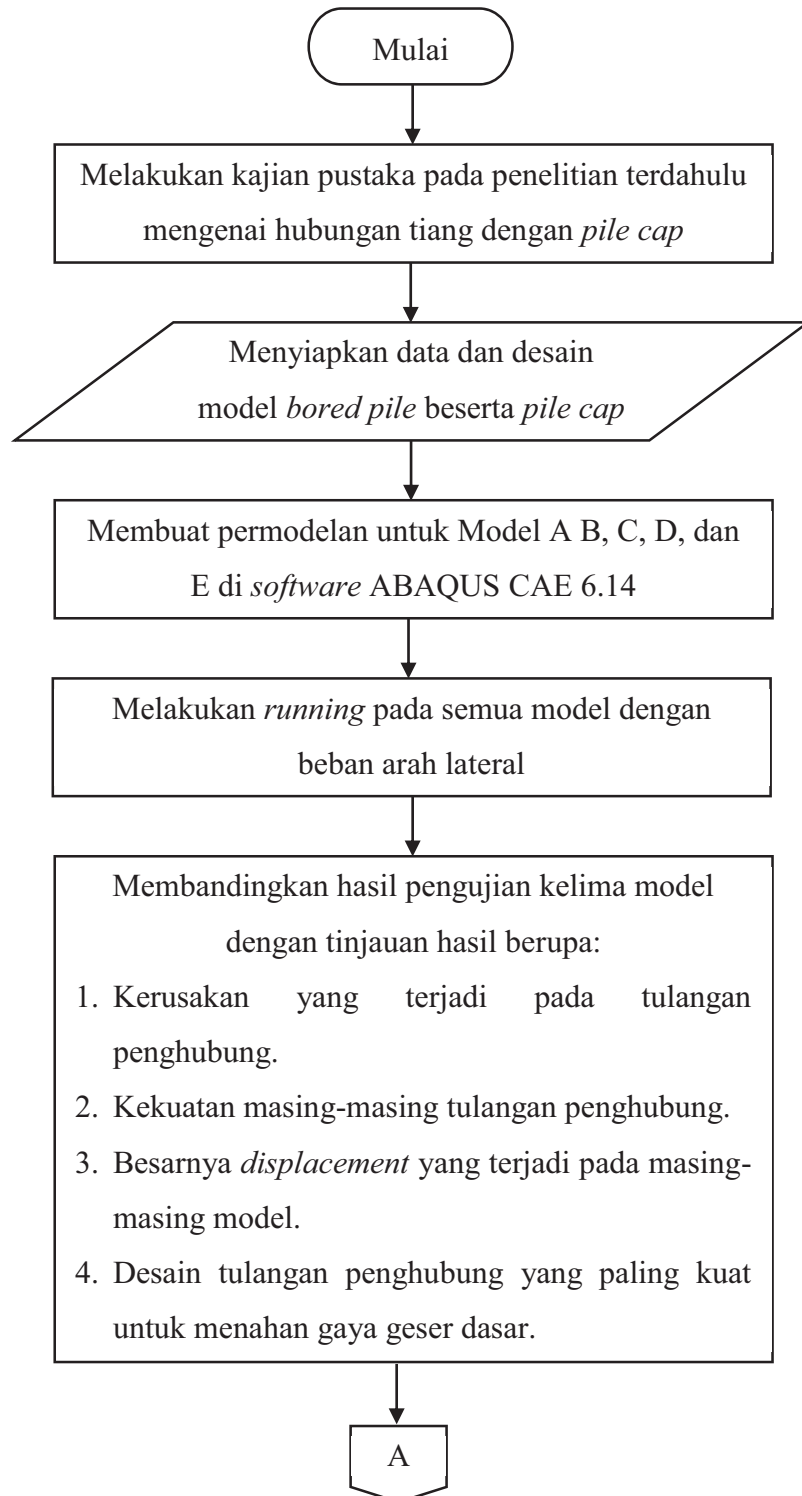
Analisis permodelan desain tulangan pada hubungan *bored pile* ke *pile cap* menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software* ABAQUS CAE 6.14 untuk mendapatkan gaya-gaya yang terjadi pada tulangan setelah diberikan pembebanan arah lateral atau gaya geser dasar. Beban lateral atau gaya geser dasar diasumsikan sebagai beban titik statik yang bekerja pada sisi samping bagian bawah *pile cap* searah sumbu Z pada ABAQUS CAE 6.14. Gaya geser dasar yang digunakan pada penelitian ini seperti yang tercantum pada Tabel 2.4 mengacu pada hasil penelitian Afriandini dan Saputro (2018) untuk bangunan tujuh lantai di Yogyakarta, yaitu sebesar 6374,92 kN. Letak pembebanan ditunjukkan pada Gambar 3.1.



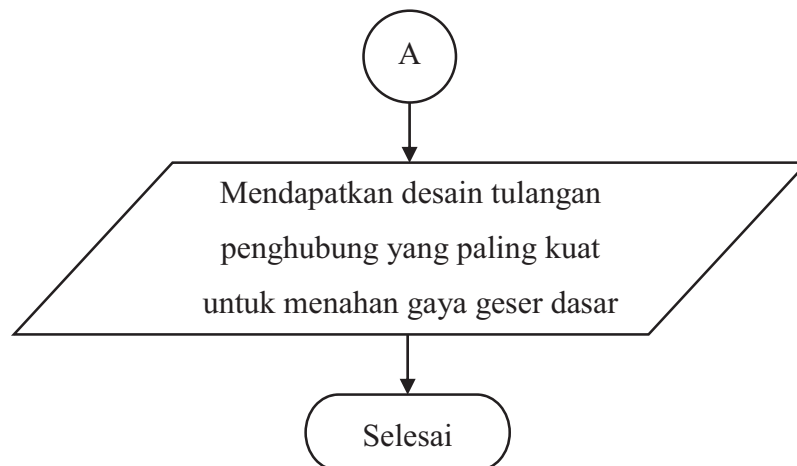
Gambar 3.1 Letak pembebanan pada model.

### 3.2. Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini diuraikan dalam bagan alir pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Bagan alir tahapan penelitian.



Gambar 3.2 Lanjutan.

### 3.3. Uraian Tahapan Penelitian

#### 3.3.1. Kajian pustaka pada penelitian terdahulu

Penelitian ini dimulai dengan melakukan kajian pustaka pada penelitian terdahulu. Kajian pustaka yang dilakukan antara lain mengenai desain tulangan penghubung antara tiang dengan *pile cap* dan mengenai permasalahan hubungan tiang dengan *pile cap* terhadap beban lateral. Kajian pustaka dilakukan untuk mempelajari tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam penelitian ini, dan apa saja hasil yang harus ditinjau saat penelitian dilakukan. Selain itu, kajian pustaka juga dilakukan untuk mendapatkan referensi desain penghubung tiang ke *pile cap*, sehingga dapat dibuat desain lain yang berbeda dan lebih beragam sesuai dengan keperluan pada saat ini.

#### 3.3.2. Data penelitian

Penelitian ini menggunakan lima model *pile cap-bored pile* dengan dimensi dan mutu material yang sama, perbedaan masing-masing model hanya terdapat pada desain tulangan penghubung *bored pile* ke *pile cap*. Jenis data yang digunakan adalah data primer dengan mengasumsikan dimensi dan mutu material *bored pile-pile cap*. Kelima model tersebut diklasifikasikan menjadi Model A, B, C, D, dan E.

Panjang tulangan penghubung yang digunakan sebesar 760 mm atau 40D (PBI N.I. 1971 Pasal 18.12.2.b.) sehingga *bored pile* termasuk dalam klasifikasi tiang ujung jepit dengan tulangan penghubung  $\geq 600$  mm (McNulty dalam

Pamungkas dan Harianti, 2013). Dimensi *pile cap* masing-masing model diuraikan pada Tabel 3.1 dan dimensi *bored pile* diuraikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Dimensi *pile cap* masing-masing model

No.	Model	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)
1	A	1800	1800	1000
2	B	1800	1800	1000
3	C	1800	1800	1000
4	D	1800	1800	1000
5	E	1800	1800	1000

Tabel 3.2 Dimensi *bored pile* masing-masing model

No.	Model	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Panjang Tulangan Penghubung (mm)	Sudut Bengkokan Tulangan Penghubung (°)
1	A	600	1100	760	45
2	B	600	1100	760	60
3	C	600	1100	760	-
4	D	600	1100	760	-
5	E	600	1100	760	-

Detail material yang digunakan pada permodelan masing-masing model adalah sama. Berat volume beton yang digunakan pada penelitian ini sebesar  $2400 \text{ kg/m}^3$  dan berat volume tulangan yang digunakan sebesar  $7850 \text{ kg/m}^3$ . Kuat tekan beton yang digunakan yaitu sebesar 30 MPa, atau termasuk dalam klasifikasi beton mutu sedang (*Pd T-07-2005-B, Pasal 4.1, Tabel 1.*). Data material untuk permodelan *pile cap* diuraikan pada Tabel 3.3 dan material untuk permodelan *bored pile* diuraikan pada Tabel 3.4.

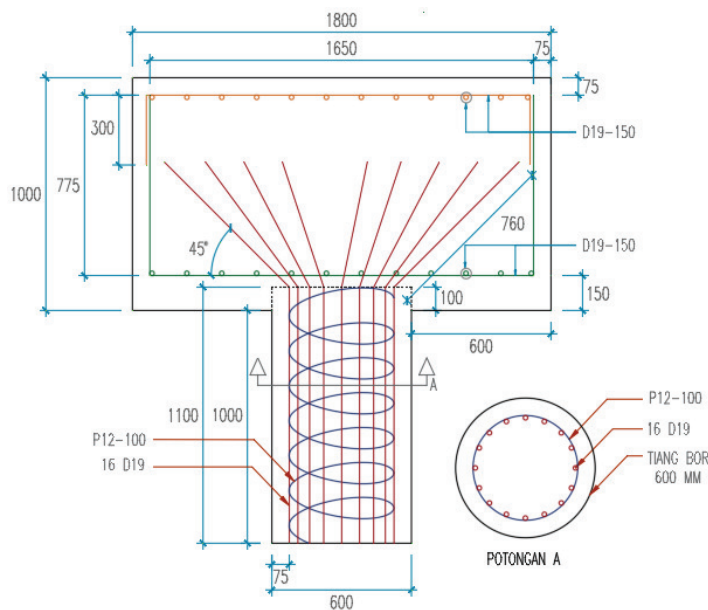
Tabel 3.3 Material yang digunakan untuk permodelan *pile cap*

No.	Model	Mutu Beton, $f_c'$ (MPa)	Mutu Baja, $f_y$ (MPa)	Tulangan yang Digunakan	
				Tulangan Sisi Atas	Tulangan Sisi Bawah
1	A	30	400	D19-100	D19-100
2	B	30	400	D19-100	D19-100
3	C	30	400	D19-100	D19-100
4	D	30	400	D19-100	D19-100
5	E	30	400	D19-100	D19-100

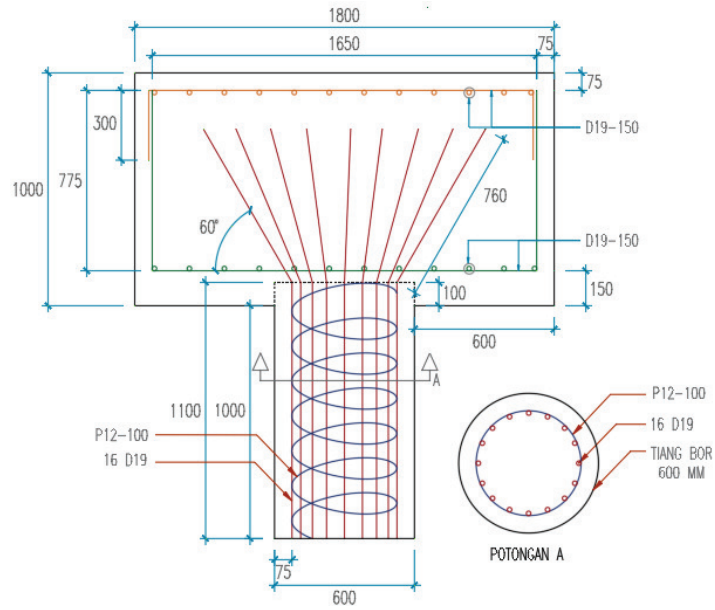
Tabel 3.4 Material yang digunakan untuk permodelan *bored pile*

No.	Model	Mutu Beton, $f_c'$ (MPa)	Mutu Baja, $f_y$ (MPa)		Tulangan yang Digunakan	
			Tulangan Utama	Tulangan Spiral	Tulangan Utama	Tulangan Spiral
1	A	30	400	240	16D19	Ø12-100
2	B	30	400	240	16D19	Ø12-100
3	C	30	400	240	16D19	Ø12-100
4	D	30	400	240	16D19	Ø12-100
5	E	30	400	240	16D19	Ø12-100

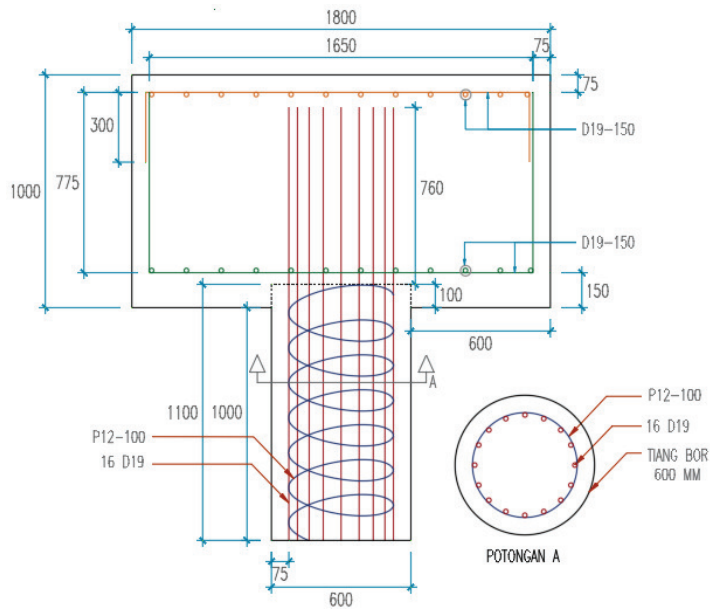
Desain masing-masing model secara lebih detail ditunjukkan pada Gambar 3.3 sampai dengan Gambar 3.7.



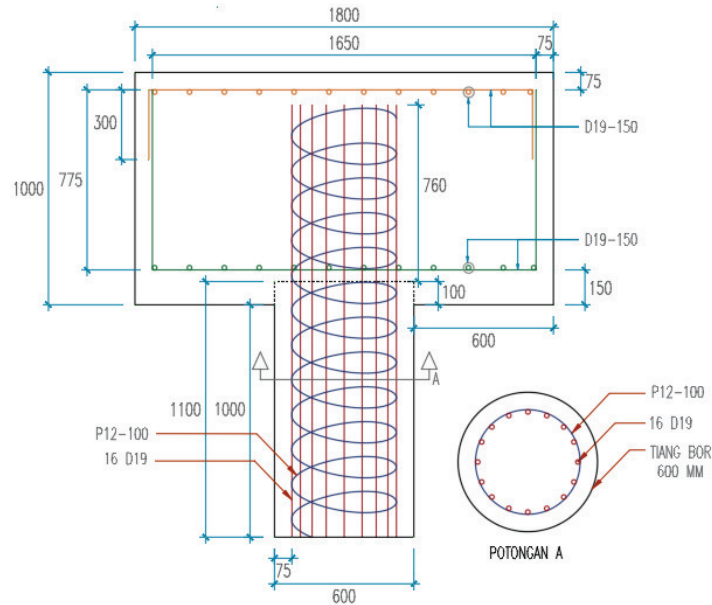
Gambar 3.3 Detail desain Model A.



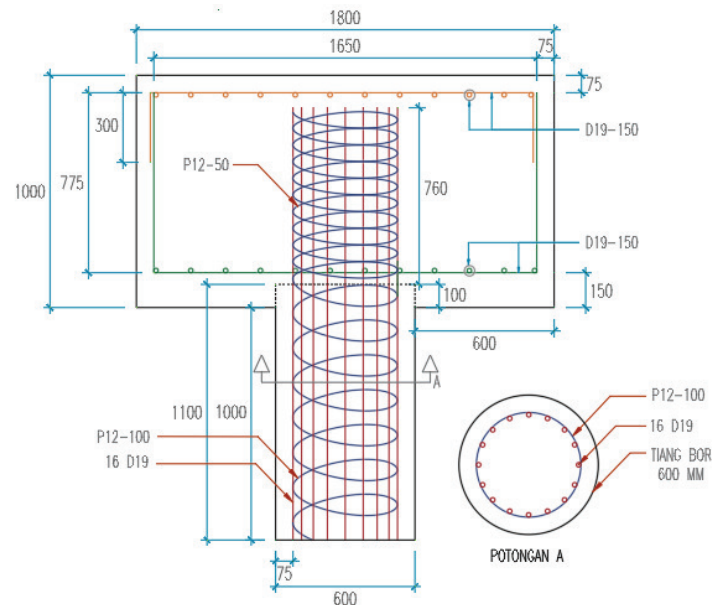
Gambar 3.4 Detail desain Model B.



Gambar 3.5 Detail desain Model C.



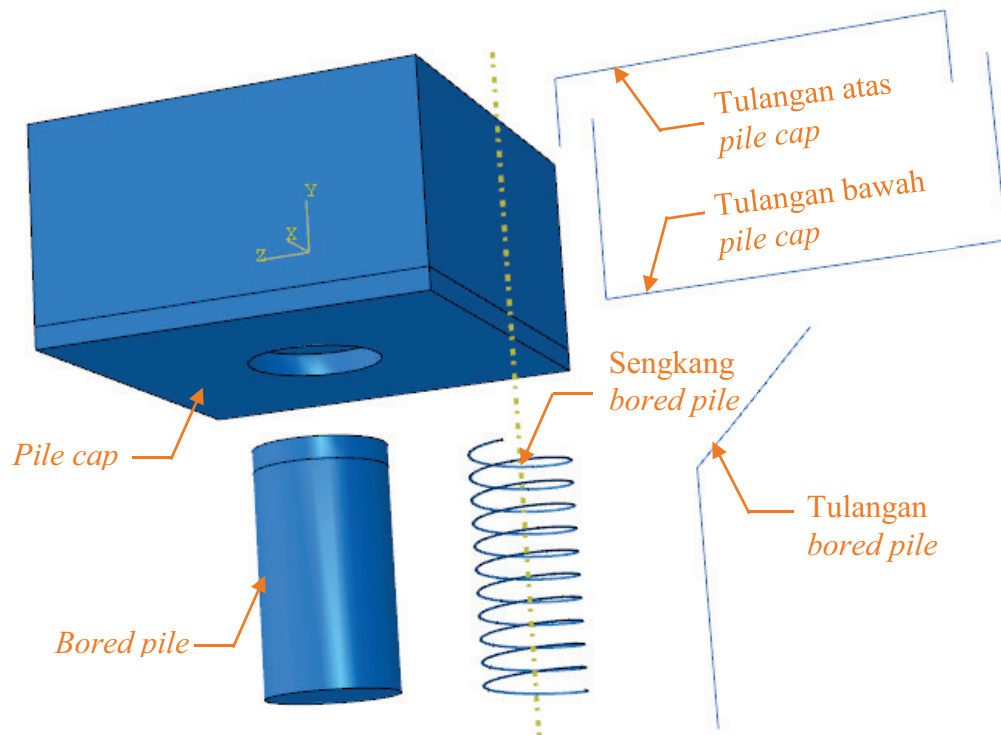
Gambar 3.6 Detail desain Model D.



Gambar 3.7 Detail desain Model E.

### 3.3.3. Permodelan di *software* ABAQUS CAE 6.14

Permodelan pada *software* ABAQUS CAE 6.14 dimulai dengan pembuatan *part* atau bagian-bagian model yang akan dianalisis, *part* yang dibuat antara lain *pile cap*, *bored pile*, tulangan atas *pile cap*, tulangan bawah *pile cap*, tulangan utama *bored pile*, dan sengkang *bored pile*. *Part* pada permodelan ABAQUS CAE 6.14 ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 *Part Model A* pada permodelan ABAQUS CAE.

Permodelan dilanjutkan dengan pembuatan jenis dan mutu material yang digunakan. Material yang dibuat terdiri dari beton 30 MPa, tulangan ulir diameter 19 mm, dan tulangan polos diameter 12 mm. Mutu material yang dimasukkan pada *software* ABAQUS CAE 6.14 antara lain berat volume beton dan tulangan, kuat tekan beton, kuat tarik beton, dan kuat tarik baja. Kemudian dilanjutkan dengan penggabungan setiap *part*. Penggabungan setiap *part* atau *assembly* dilakukan sedemikian rupa agar posisi masing-masing *part* sesuai dengan model yang direncanakan.

Tahapan selanjutnya adalah pembuatan *step* atau langkah-langkah analisis yang akan dilakukan, tipe *step* yang digunakan adalah *static general* dengan mengasumsikan bahwa beban yang diberikan pada permodelan merupakan beban statik. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan penghubung antar *part*. Untuk penghubung *pile cap* dengan *bored pile* menggunakan tipe *tie (surface to surface)*, dan penghubung antara tulangan dengan beton menggunakan tipe *embedded region*, sedangkan penghubung antara beban dengan permukaan *pile cap* menggunakan tipe *kinematic coupling*, karena menurut Hardiyatmo (2008), dalam



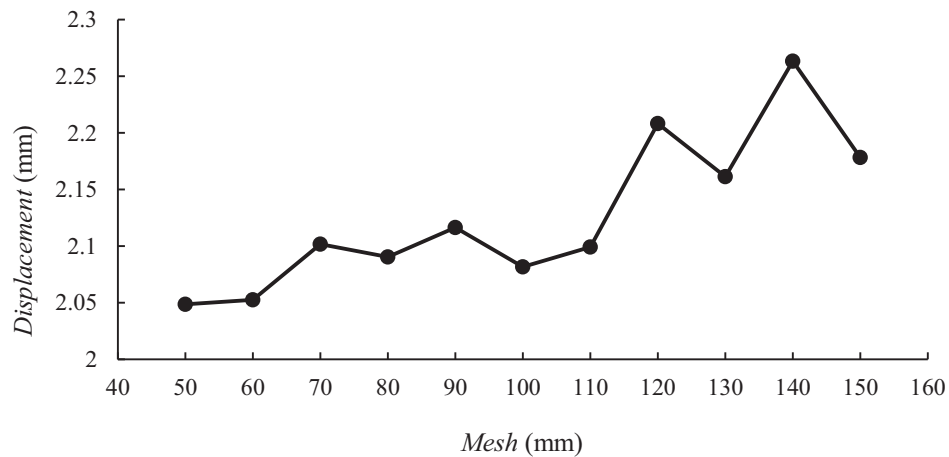
perencanaan *pile cap* dianggap cukup kaku, sehingga tidak mengizinkan terjadinya perubahan bentuk saat diberikan beban. Beban pada permodelan dibuat dengan tipe *concentrated force* searah sumbu Z (CF3).

Tumpuan yang digunakan pada permodelan ada dua macam, yaitu tumpuan rol dan jepit. Tumpuan rol diberikan pada permukaan bagian bawah *pile cap* untuk mengabaikan tahanan gesek antara bagian bawah *pile cap* dengan tanah, karena menurut Hardiyatmo (2008), dalam perancangan sebaiknya tahanan gesek yang timbul akibat gesekan plat penutup tiang (*pile cap*) dengan permukaan tanah diabaikan, karena tanah di bawah *pile cap* tersebut akan mengalami penurunan yang menyebabkan terjadinya rongga diantara *pile cap* dan permukaan tanah. Kemudian tumpuan jepit diberikan pada permukaan bagian bawah *bored pile* agar tidak terjadi pergeseran pada model.

Permodelan dilanjutkan dengan pembuatan *mesh* atau pembagian model menjadi bagian-bagian yang lebih kecil untuk dianalisis. Semakin kecil ukuran *mesh*, maka hasil pengujian juga semakin detail, namun proses *running* akan semakin lama. Sebelum menentukan ukuran *mesh*, perlu dilakukan uji konvergensi untuk mendapatkan ukuran *mesh* yang efektif dengan hasil yang stabil dalam pengujian. Uji konvergensi dilakukan untuk semua bagian permodelan, mulai dari model *bored pile-pile cap*, tulangan *pile cap*, tulangan *bored pile*, dan sengkang *bored pile*. Hasil uji konvergensi untuk model *bored pile-pile cap* ditunjukkan pada Tabel 3.5 dan Gambar 3.9.

Tabel 3.5 Hasil uji konvergensi model *bored pile-pile cap*

<i>Mesh</i> (mm)	<i>Displacement</i> (mm)
150	2.17848
140	2.26336
130	2.16146
120	2.20823
110	2.09926
100	2.08172
90	2.11651
80	2.09053
70	2.10178
60	2.05254
50	2.04878

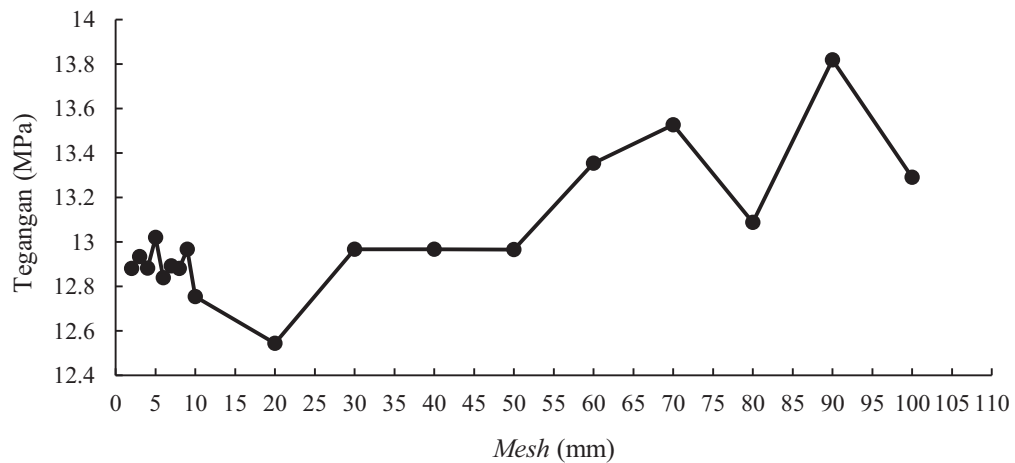


Gambar 3.9 Hasil uji konvergensi model *bored pile-pile cap*

Tabel 3.5 dan Gambar 3.9 menunjukkan hasil uji yang cukup stabil pada ukuran *mesh* 50 mm – 110 mm karena tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, sehingga ukuran *mesh* 100 mm dipilih untuk digunakan pada model *bored pile-pile cap*. Sedangkan hasil uji konvergensi untuk model tulangan *pile cap* ditunjukkan pada Tabel 3.6 dan Gambar 3.10.

Tabel 3.6 Hasil uji konvergensi model tulangan *pile cap*

Mesh (mm)	Tegangan (MPa)
100	13.291
90	13.82
80	13.0886
70	13.5273
60	13.3539
50	12.9666
40	12.9672
30	12.9671
20	12.5448
10	12.754
9	12.9671
8	12.8817
7	12.8925
6	12.8392
5	13.0204
4	12.8819
3	12.9351
2	12.8818

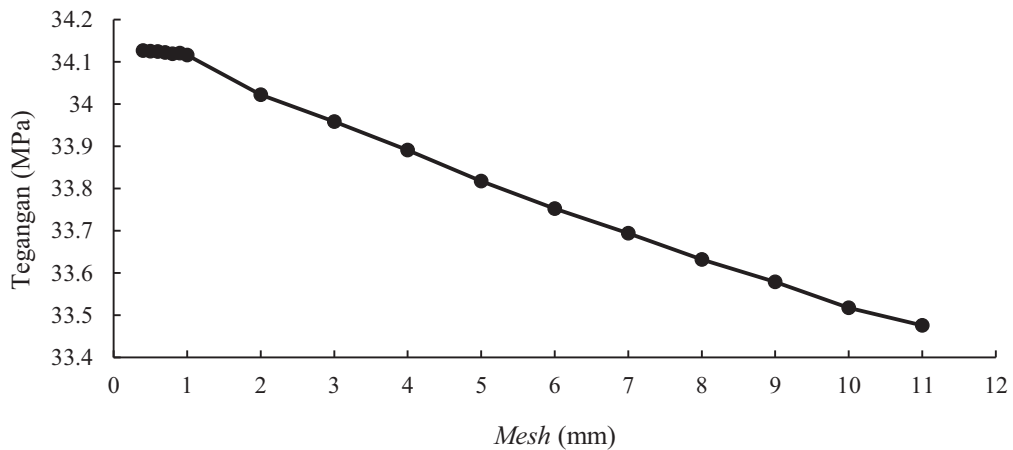


Gambar 3.10 Hasil uji konvergensi model tulangan *pile cap*

Tabel 3.6 dan Gambar 3.10 menunjukkan hasil uji yang cukup stabil pada ukuran *mesh* 2 mm – 50 mm karena menunjukkan perbedaan hasil yang sangat kecil, sehingga ukuran *mesh* 50 mm dipilih untuk digunakan pada model tulangan *pile cap*. Kemudian hasil uji konvergensi untuk model tulangan utama *bored pile* ditunjukkan pada Tabel 3.7 dan Gambar 3.11.

Tabel 3.7 Hasil uji konvergensi model tulangan utama *bored pile*

Mesh (mm)	Tegangan (MPa)
11	33.4756
10	33.5176
9	33.5787
8	33.6322
7	33.6943
6	33.7524
5	33.8179
4	33.8909
3	33.9584
2	34.0223
1	34.1162
0.9	34.1209
0.8	34.1193
0.7	34.1222
0.6	34.1249
0.5	34.1253
0.4	34.1266

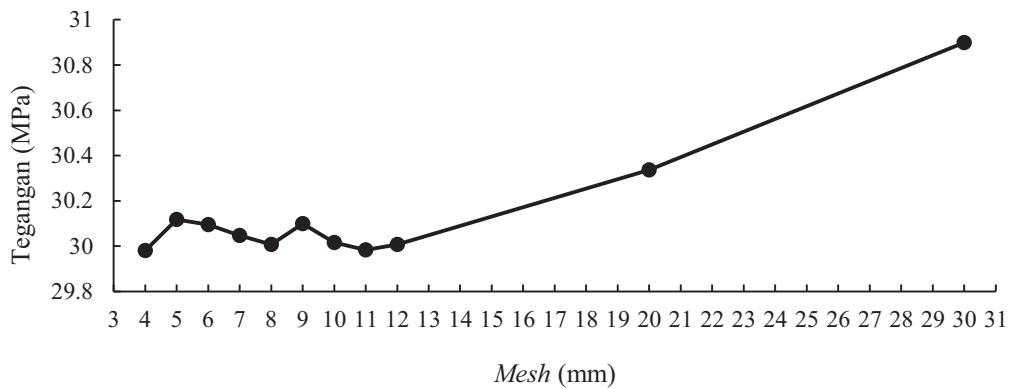


Gambar 3.11 Hasil uji konvergensi model tulangan utama *bored pile*

Tabel 3.7 dan Gambar 3.11 menunjukkan hasil uji yang cukup stabil pada ukuran  $mesh \leq 1$  mm, sehingga ukuran  $mesh$  1 mm dipilih untuk digunakan pada model tulangan utama *bored pile*. Sedangkan hasil uji konvergensi untuk model sengkang *bored pile* ditunjukkan pada Tabel 3.8 dan Gambar 3.12.

Tabel 3.8 Hasil uji konvergensi model sengkang *bored pile*

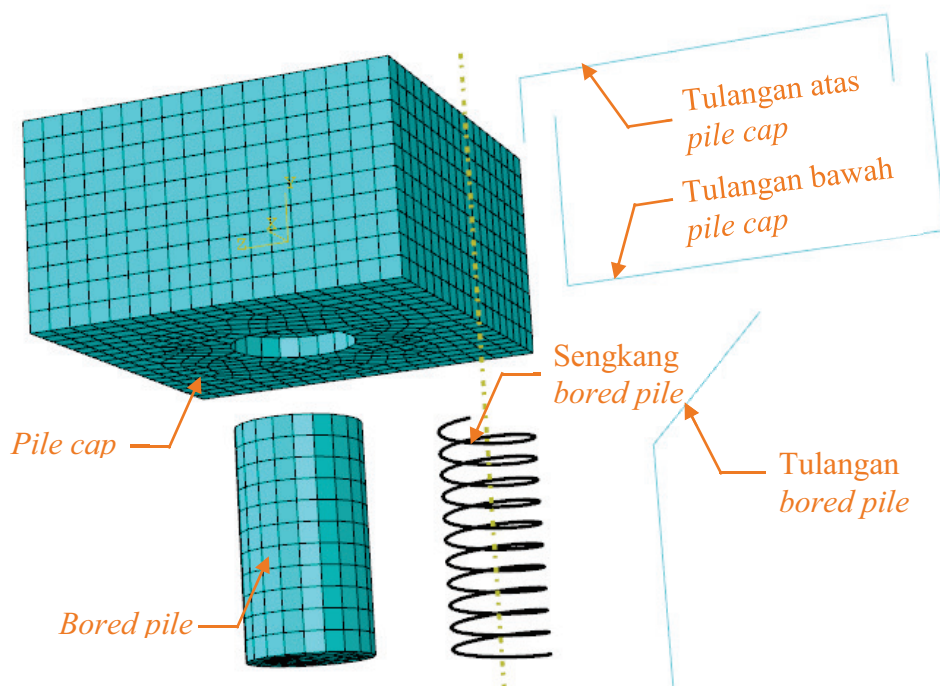
Mesh (mm)	Tegangan (MPa)
30	30.8982
20	30.3373
12	30.0074
11	29.9831
10	30.0153
9	30.0988
8	30.0076
7	30.0468
6	30.0945
5	30.1178
4	29.9801



Gambar 3.12 Hasil uji konvergensi model sengkang *bored pile*

Tabel 3.8 dan Gambar 3.12 menunjukkan hasil uji yang cukup stabil pada ukuran  $mesh \leq 12$  mm karena tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, sehingga ukuran  $mesh$  10 mm dipilih untuk digunakan pada model tulangan sengkang *bored pile*.

Berdasarkan hasil pengujian di atas, *part bored pile-pile cap* dalam permodelan menggunakan  $mesh$  100 mm, tulangan *pile cap* menggunakan  $mesh$  50 mm, tulangan utama *bored pile* menggunakan  $mesh$  1 mm, dan sengkang menggunakan  $mesh$  10 mm. *Mesh* masing-masing *part* ditunjukkan pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 *Mesh* masing-masing *part* Model A.

### 3.3.4. *Running* model pada software ABAQUS CAE 6.14

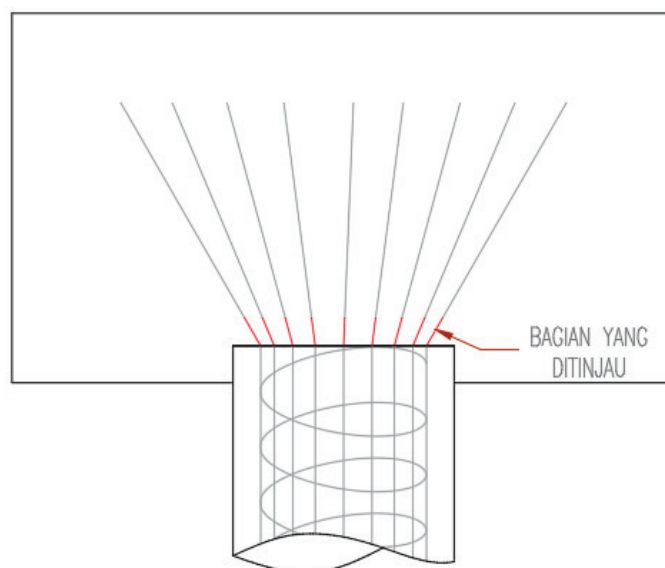
Sebelum proses *running* dilakukan, diperlukan pengecekan data permodelan terlebih dahulu. Apabila terdapat eror saat pengecekan data, maka permodelan perlu diperbaiki, namun apabila pengecekan data sudah komplit dan tidak ada eror yang muncul, maka proses *running* dapat dilakukan. Saat proses *running* berlangsung perlu diperhatikan lagi apakah ada data yang eror atau tidak, apabila pada saat proses *running* muncul eror maka permodelan perlu diperbaiki lagi, kemudian proses *running* diulang kembali sampai muncul status *complete*.

### 3.3.5. Membandingkan hasil pengujian masing-masing model

Hasil analisis setiap model dibandingkan untuk mendapatkan desain tulangan penghubung tiang ke *pile cap* yang paling kuat untuk menahan gaya geser dasar. Perbandingan dilakukan dengan meninjau hasil berupa:

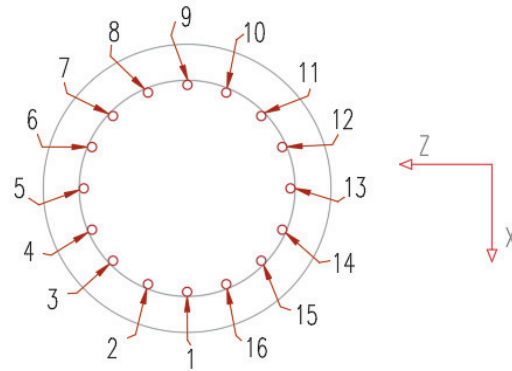
- kerusakan yang terjadi pada tulangan penghubung,
- kekuatan masing-masing tulangan penghubung,
- besarnya *displacement* yang terjadi pada masing-masing model, dan
- desain tulangan penghubung yang paling kuat untuk menahan gaya geser dasar.

Bagian tulangan penghubung yang ditinjau untuk mendapatkan nilai tegangan yang terjadi pada tulangan ditunjukkan pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Bagian tulangan penghubung yang ditinjau.

Penomoran pada tulangan penghubung diperlukan untuk mempermudah dalam membandingkan hasil tegangan masing-masing model. Urutan penomoran tulangan dimulai dari tulangan pada sumbu X kemudian berlanjut sesuai dengan arah jarum jam, untuk lebih jelasnya ditunjukkan pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Urutan penomoran tulangan penghubung.

### 3.3.5. Menentukan desain yang paling kuat

Penentuan desain yang paling kuat untuk menahan gaya geser dasar dilakukan dengan menganalisis kerusakan dan kekuatan masing-masing tulangan penghubung dalam menahan gaya geser dasar, serta menganalisis *displacement* yang terjadi pada masing-masing model. Analisis kekuatan pada tulangan penghubung digunakan untuk mengetahui seberapa besar beban yang dapat diterima model hingga tulangan yang ditinjau mencapai tegangan lelehnya. Sedangkan nilai *displacement* digunakan untuk melihat seberapa besar perpindahan posisi penampang *pile cap* saat menerima gaya geser dasar. Sehingga dapat disimpulkan model mana yang memiliki desain paling kuat untuk menahan gaya geser dasar.