

BAB III

RANCANGAN PENELITIAN

3.1 Umum

Rancangan penelitian ini dibuat untuk mengatur alur proses penelitian yang dibagi menjadi tiga tahapan utama yaitu tahap preliminari desain, tahap final desain dan tahap analisis respon in-elastis menggunakan metode *pushover* dengan program ETABS 2016.

Dimulai dengan tahap preliminari desain yang sebelumnya telah ditentukan data umum bangunan dan model strukturnya. Model yang dibuat merupakan bangunan fiktif dengan denah yang sesuai tujuan penelitian. Kemudian akan dilakukan evaluasi ketidakberaturan horizontal serta vertikal untuk mendapatkan metode analisis awal. Dilanjutkan dengan menentukan kategori desain seismik, penentuan faktor reduksi dan analisis menggunakan program ETABS. *Output* dari ETABS digunakan untuk melakukan evaluasi struktur yang bertujuan menentukan kondisi struktur telah memenuhi faktor partisipasi massa (FPM), gaya geser dasar dinamis (V_d) serta kinerja struktur dalam penggunaan efek P-delta (θ), waktu getar (T_0) dan *drift* (Δa) yang diijinkan. Setelah itu tujuan utama dari preliminari desain dapat ditentukan dengan mengevaluasi metode analisis akhir menggunakan data hasil evaluasi sebelumnya sehingga dapat digunakan dalam tahap penelitian selanjutnya.

Dalam tahap final desain digunakan hasil output dari ETABS yakni gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur berupa gaya aksial, gaya momen maupun gaya geser. Kemudian gaya-gaya tersebut digunakan untuk mendesain kebutuhan tulangan serta jarak tulangan memanjang maupun tulangan geser pada balok dan kolom. Kemudian untuk pedetailan dapat dilakukan redistribusi momen (pengaturan tulangan) baik terhadap tulangan balok maupun kolom.

Tahap analisis respon inelastis dilakukan setelah pada tahap final desain semua tipe tulangan untuk luas tulangan dibagi terhadap balok maupun kolom. Kemudian tipe tulangan yang dipakai yaitu tulangan memanjang, tulangan geser beserta jarak tulangan geser diinput pada program ETABS yang diatur dengan proses analisis *pushover*. *Output* dari analisis ini akan menghasilkan mekanisme pelelehan dari struktur tersebut serta kurva kapasitas yang digunakan untuk mengetahui respon inelastis struktur.

3.2 Model Struktur

Penelitian ini menggunakan model struktur dengan ketidakberaturan horizontal sudut dalam. Bangunan dengan coakan arah-X terjadi pada semua denah pada lantai bangunan yang memiliki luas bangunan 42x30 meter dengan tinggi lantai dasar 4 meter dan lantai tipikal 3,6 meter sehingga tinggi total menjadi 36,4 meter. Kemudian jarak antar kolom dalam arah-X sebesar 7 meter dan arah-Y sebesar 6 meter. Struktur bangunan dibuat dalam sistem rangka pemikul momen khusus dengan model 3 dimensi yang akan dianalisis dengan bantuan program ETABS.

3.2.1 Data umum bangunan

- 1) Lokasi bangunan : Maumere
- 2) Kondisi tanah : Sedang
- 3) Fungsi bangunan : Kantor
- 4) Jumlah lantai : 10 lantai
- 5) Tinggi lantai 1 : 4 m
- 6) Tinggi lantai tipikal : 3,6 m
- 7) Tinggi total bangunan : 36,4m
- 8) Lebar bangunan : 42 m
- 9) Panjang bangunan : 30 m
- 10) Struktur utama : Beton Bertulang

3.2.2 Data bahan

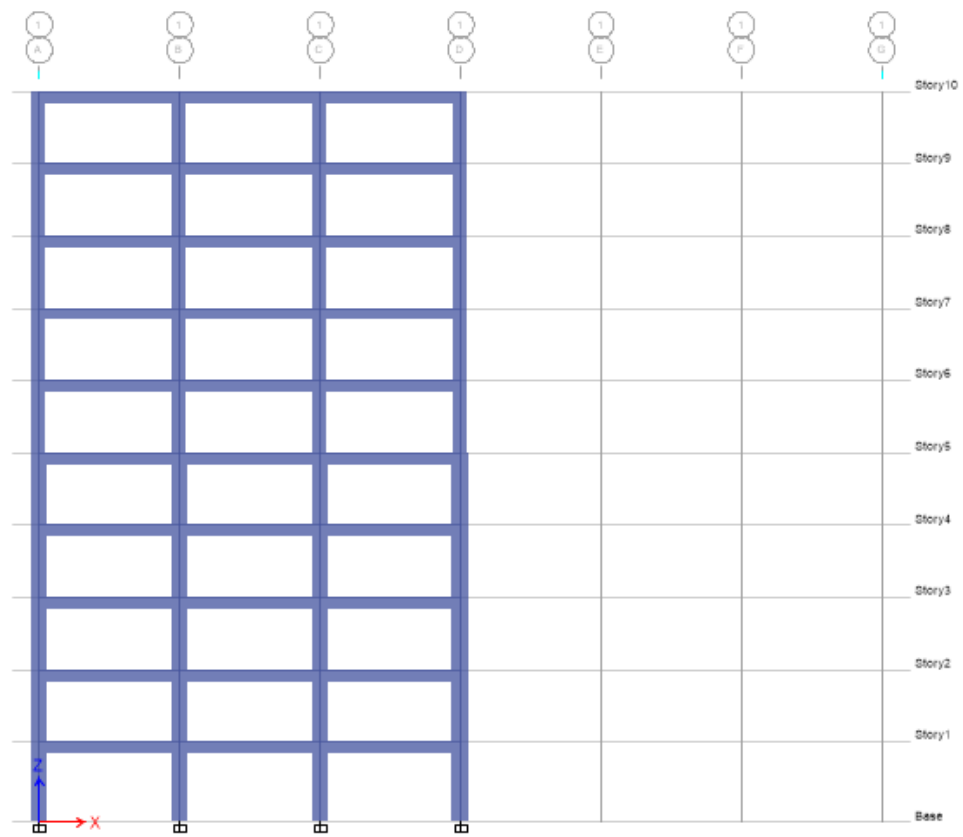
- 1) Kuat tekan beton (f_c') : 30 MPa
- 2) Kuat leleh tulangan longitudinal (f_y) : 400 MPa
- 3) Kuat leleh tulangan geser (f_{ys}) : 320 MPa (Balok) dan 420 Mpa (Kolom)

3.2.3 Data Dimensi Struktur

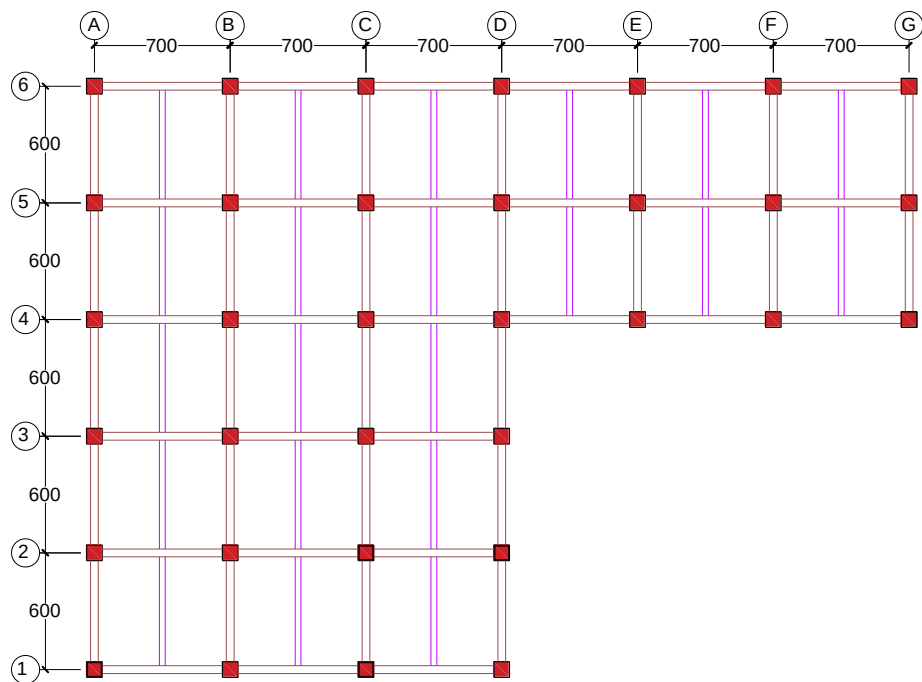
Perhitungan dimensi ditetapkan sesuai dengan ijin pendekatan menurut *Vis dan Gideon*, di mana perhitungan dimensi dilakukan berdasarkan panjang bentang yang bersesuaian. Hal ini untuk menghindari dimensi yang terlampau besar dari syarat yang diijinkan oleh peraturan yang berlaku.

3.2.4 Pembebanan Pada Struktur

Perencanaan pembebanan terhadap struktur menggunakan Pedoman Perencanaan Pembangunan Untuk Rumah dan Gedung (PPPURG) 1987, di mana pembebanan yang direncanakan melingkupi beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

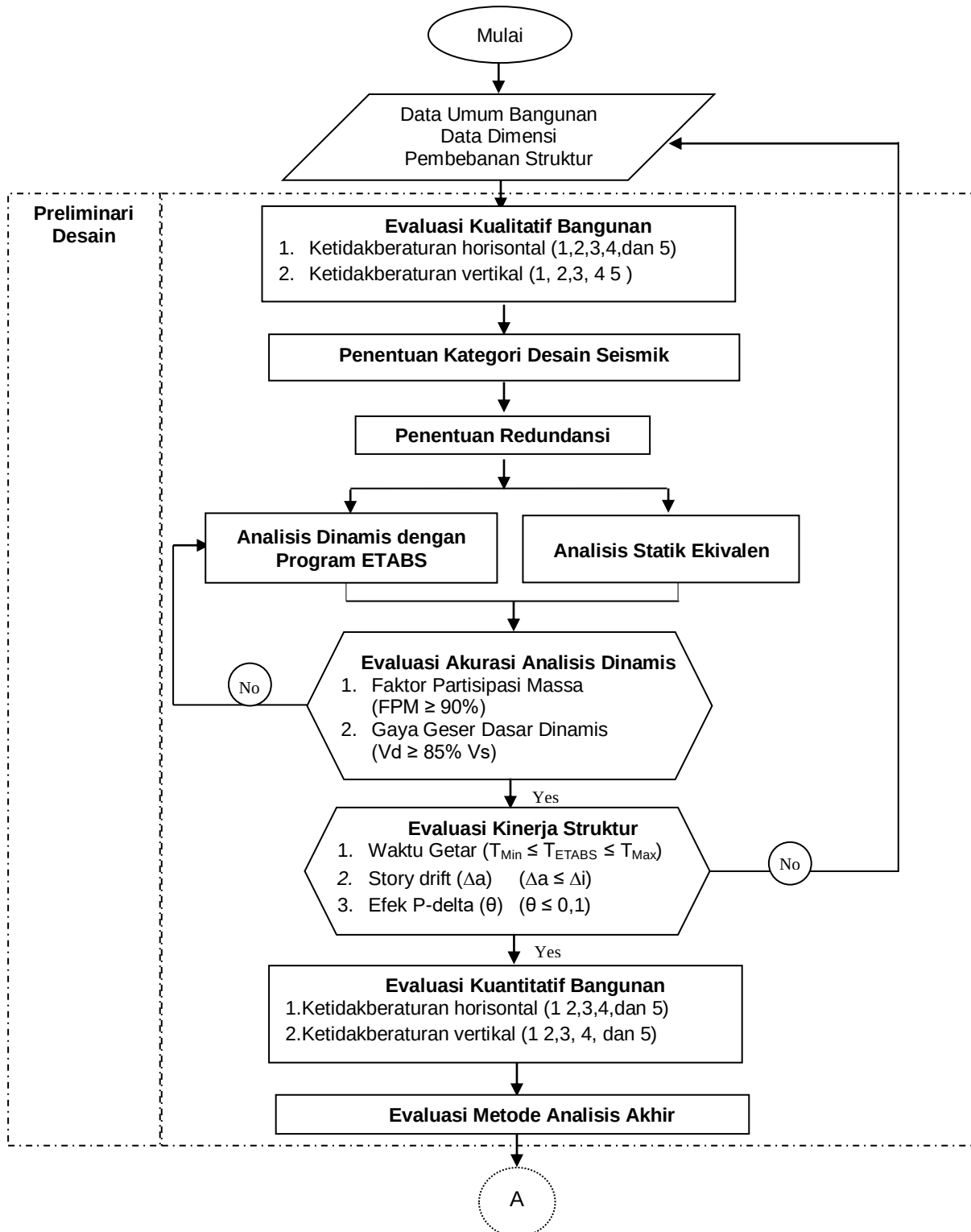


Gambar 3.1 Frame AS 1

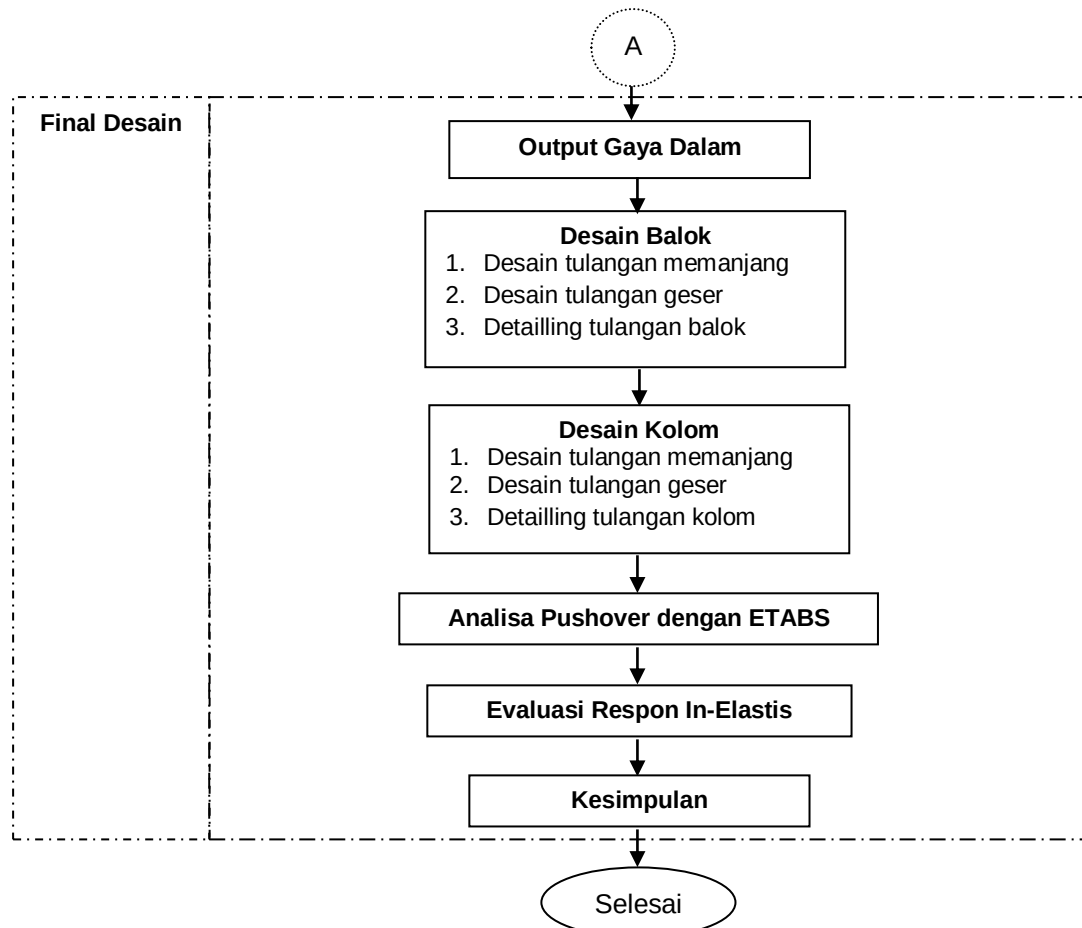


Gambar 3.2 Denah Struktur Lantai Typikal

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

3.4 Penjelasan Diagram Alir

Pada penelitian ini pengolahan data akan dilakukan melalui tiga fase utama yakni tahap preliminari desain, tahap final desain, dan tahap analisis reapon in-elastis, dari ketiga tahapan tersebut dapat dirincikan sebagai berikut :

3.4.1 Preliminari Desain

Tahap preliminari desain merupakan proses desain awal dari struktur. Pada tahap ini akan dilakukan proses perhitungan yang hasilnya dapat digunakan pada tahap final desain maupun tahap analisis *pushover*. Adapun tujuan dari tahap preliminari desain untuk menentukan metode analisis akhir yang digunakan dalam penelitian ini.

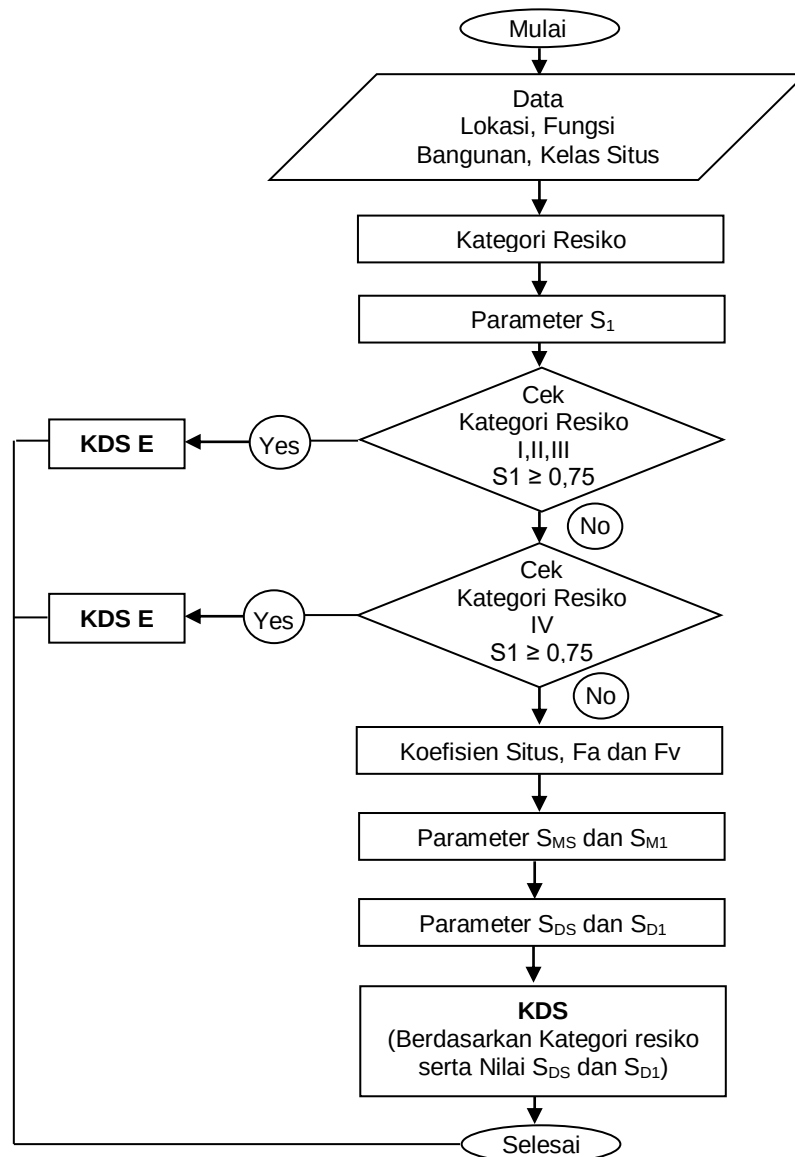
3.4.1.1 Evaluasi Kualitatif Bangunan

Evaluasi ini dilakukan untuk menentukan jenis ketidakberaturan yang dialami struktur tersebut. Konfigurasi bangunan dapat ditentukan berdasarkan baik buruknya bentuk bangunan sesuai dengan ijin yang telah ditetapkan walaupun tidak melakukan

perhitungan secara spesifik terhadap ketidakberaturan dari bangunan tersebut. Evaluasi dilakukan terhadap ketidakberaturan horizontal tipe 1a, 1b, 2, 3, 4, dan 5, serta ketidakberaturan vertikal tipe 1, 2, 3, 4, 5a dan 5b. Tujuan utama evaluasi kualitatif bangunan adalah untuk menentukan ketidakberaturan yang terjadi pada bangunan yang dapat digunakan pada evaluasi kuantitatif selanjutnya.

3.4.1.2 Penentuan Kategori Desain Seismik (KDS)

Untuk menentukan kategori desain seismik menggunakan kategori resiko gedung dan parameter percepatan spektral desain pada periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}). Berikut adalah diagram alir dalam menentukan kategori desain seismik.



Gambar 3.5 Diagram Alir Penentuan Kategori Desain Seismik

Tujuan dari kategori desain seismik adalah untuk menetapkan sistem atau tipe struktur yang akan di desain. Berikut penjelasan dari diagram alir di atas:

1. Menentukan lokasi, fungsi dan kelas situs dari bangunan yang dijadikan data awal.
2. Memilih kategori resiko berdasarkan fungsi bangunan yang kemudian dipakai untuk menentukan faktor keutamaan gempa (I_e).
3. Menentukan parameter percepatan spektral pada periode 1 detik (S_1) sesuai lokasi penelitian, dapat dilihat pada gambar 2.13
4. Lakukan pengecekan pada kategori resiko I, II, III. Apakah bangunan memiliki parameter $S_1 > 0,75$, jika ya maka bangunan masuk dalam KDS E.
5. Lakukan pengecekan pada kategori resiko IV. Apakah bangunan memiliki parameter $S_1 > 0,75$, jika ya maka bangunan masuk dalam KDS E.
6. Jika tidak memenuhi langkah 4 dan 5, maka KDS dapat ditentukan berdasarkan nilai SDS dan SD1 dan kategori resiko. Sebelum itu, ditentukan terlebih dahulu koefisien situs F_a dan F_v sesuai tabel 2.4 dan 2.5
7. Kemudian lakukan perhitungan parameter spektrum respon percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) sesuai persamaan 2.3 dan 2.4
8. Tentukan nilai parameter S_{DS} dan S_{D1} sesuai persamaan 2.5 dan 2.6
9. Setelah itu menentukan kategori desain seismik berdasarkan data kategori resiko bangunan serta nilai S_{DS} dan S_{D1} sesuai tabel 2.6, 2.7, dan 2.8

3.4.1.3 Penentuan Faktor Redudansi

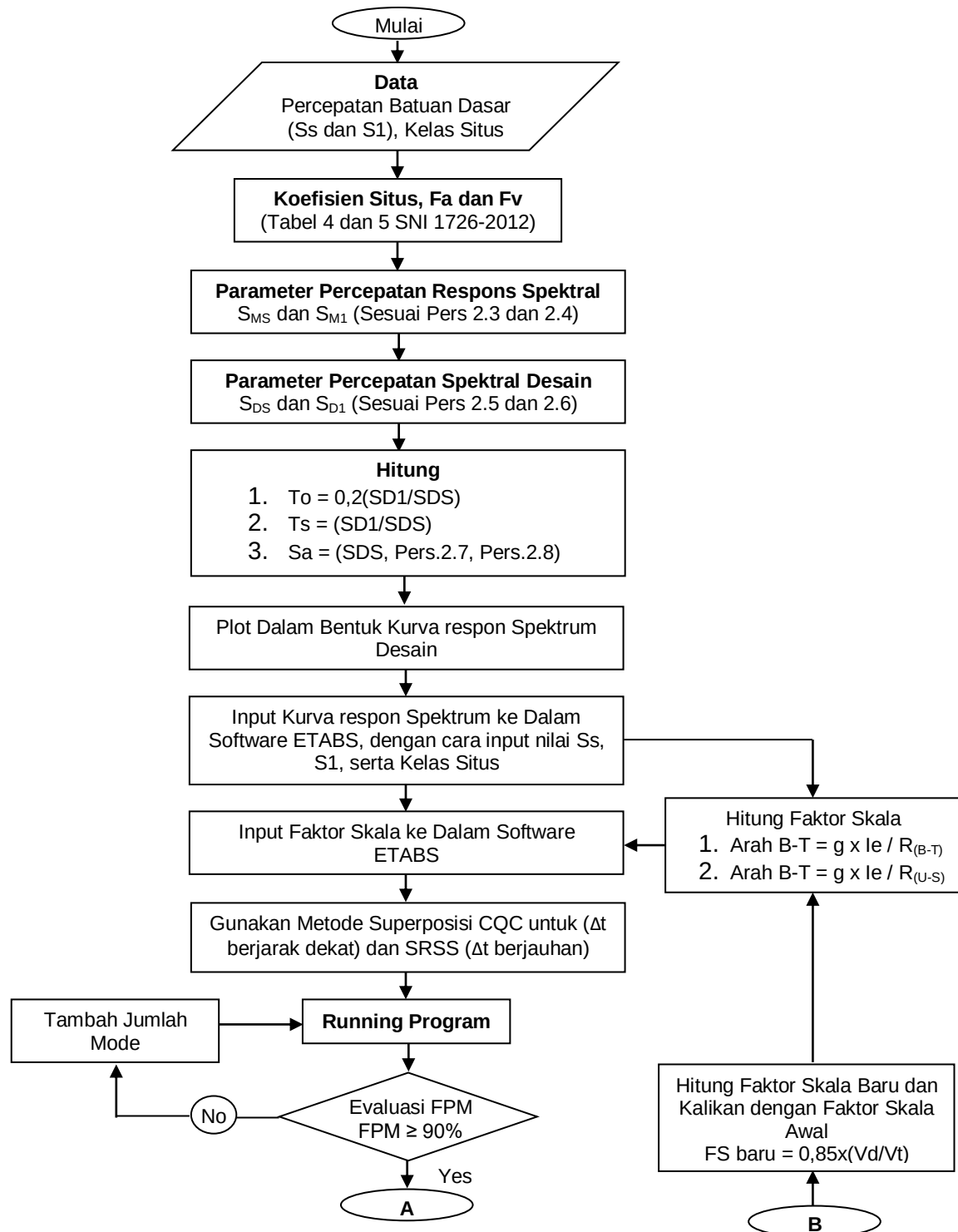
Faktor redudansi ditentukan berdasarkan kategori desain seismik mengacu SNI 1726-2012 pasal 7.3.4.2, di mana untuk struktur dengan kategori B dan C menggunakan nilai 1, sedangkan untuk kategori D, E, F digunakan nilai 1,3. Kecuali pada kategori D, E, F memiliki salah satu dari 2 kondisi berikut ada maka nilai redudansi dapat diambil 1.

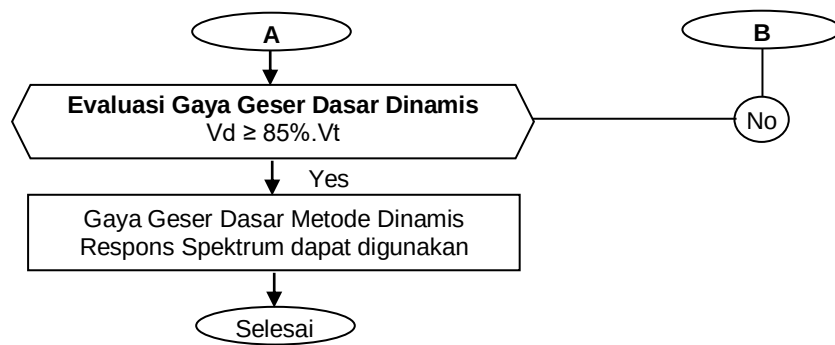
1. Terjadi reduksi tahanan momen lebih dari 35% dan terdapat ketidakberaturan horizontal torsi berlebihan (tipe 1b).
2. Merupakan denah beraturan dengan struktur penahan beban gempa lebih dari 35% gaya geser dasar.

3.4.1.4 Analisis Dinamis dengan Program ETABS

Analisis dinamis dengan program ETABS untuk mendapatkan respon struktur yang digunakan untuk evaluasi selanjutnya. Tahap-tahapnya berikut: 1) Pendefinisian

material yang dipakai, penggunaan dimensi struktur, definisi beban kerja, parameter beban, dan menginput kombinasi pembebanan. 2) Penggambaran model struktur. 3) Pengaplikasian data struktur pada model struktur. 4) *Running* program ETABS dilakukan untuk menganalisis model struktur sehingga menghasilkan respon pada struktur. 5) *Output* hasil analisis program.





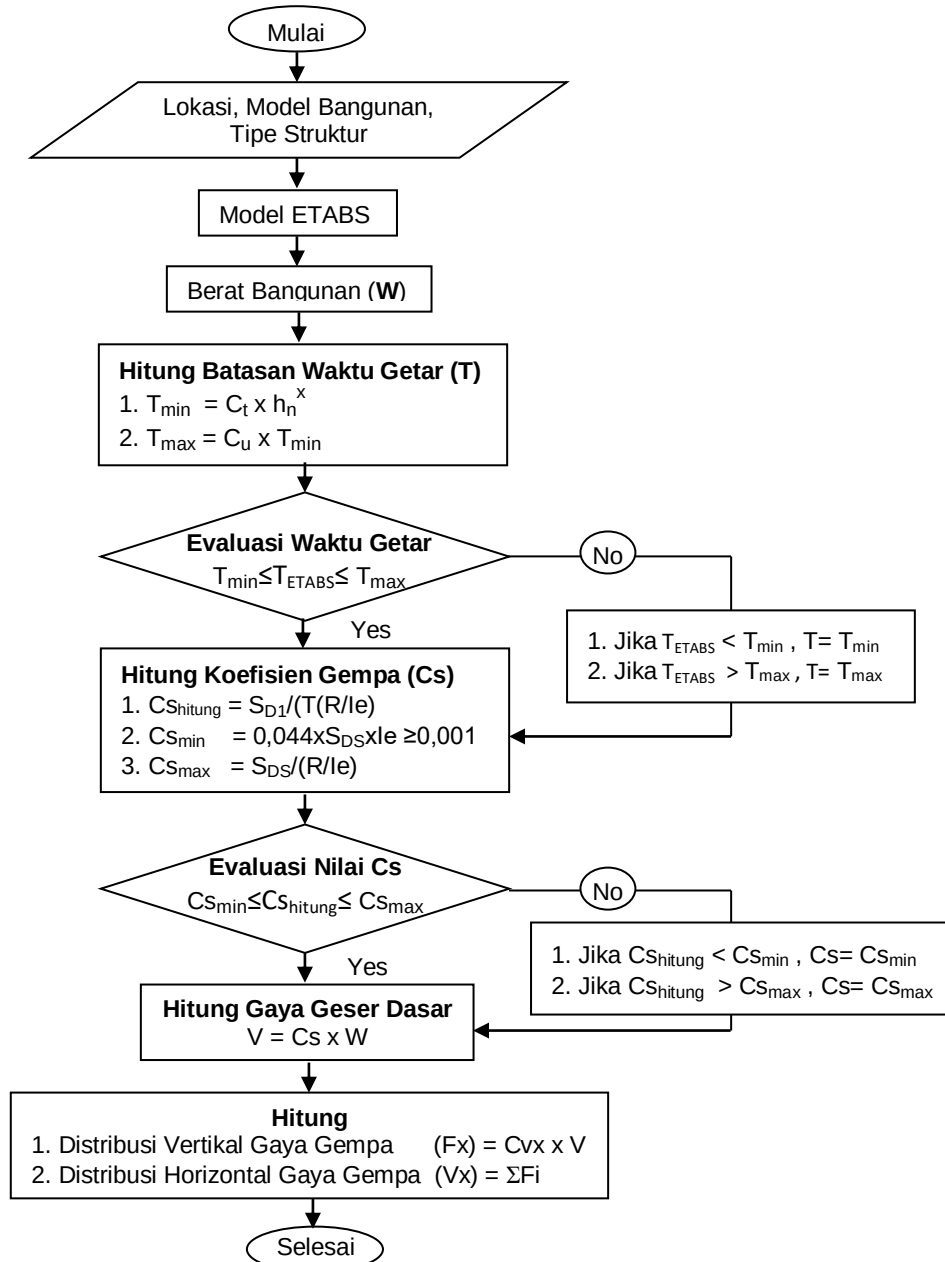
Gambar 3.6 Diagram Alir Metode Analisis Dinamis

Analisis ETABS akan dilakukan untuk dua metode yaitu analisis dinamis respon spektrum dan analisis statik ekuivalen. Berikut penjelasan dari diagram alir metode analisis dinamis pada gambar 3.6 :

1. Menyiapkan data awal yaitu percepatan batuan dasar, nilai S_s dan S_1 sesuai lokasi bangunan, serta kelas situs bangunan.
2. Menentukan koefisien situs F_a dan F_v berdasarkan nilai S_s dan S_1 serta kelas situs mengacu tabel 2.4 dan 2.5
3. Menghitung nilai parameter percepatan respons spektrum S_{MS} dan S_{M1} sesuai persamaan 2.3 dan 2.4
4. Menghitung nilai parameter percepatan spektral desain S_{DS} dan S_{D1} sesuai persamaan 2.5 dan 2.6
5. Menghitung parameter T_0 , T_s dan respon percepatan S_a sesuai persamaan 2.7, 2.8, 2.9, 2.10 untuk menentukan tiga kondisi waktu getar.
6. Menginput nilai respon percepatan dan waktu getar pada kurva respon spektrum pada saat kondisi elastis.
7. Menginput respon spektrum pada kondisi elastis pada program ETABS, dengan menggunakan nilai S_s , S_1 dan kelas situs bangunan.
8. Setelah itu menghitung nilai faktor skala untuk mendesain respon spektrum yang hasilnya diinput pada program ETABS.
9. Analisis pada ETABS menggunakan metode CQC untuk waktu getar yang berjarak dekat, dan metode SRSS untuk waktu getar yang berjauhan.
10. Menjalankan program untuk menghasilkan respon struktur.
11. Lakukan evaluasi faktor partisipasi massa (FPM) yang memenuhi persyaratan. Jika belum memenuhi, lakukan penambahan mode pada ETABS.
12. Jika memenuhi, lakukan evaluasi gaya geser dasar hasil analisis dinamis.

3.4.1.5 Analisis Statik Ekuivalen

Analisis statik ekuivalen biasanya digunakan pada konfigurasi bangunan sederhana, khususnya untuk mengevaluasi gaya geser dasar dibutuhkan gaya geser dasar yang menggunakan metode statik ekuivalen. Sehingga perhitungan dengan metode statik ekuivalen diperlukan untuk dibandingkan dengan analisis dinamis. Berikut tahap analisis statik ekuivalen pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Diagram Alir Perhitungan Analisis Statik Ekuivalen

Berikut penjelasan diagram alir metode analisis statik ekuivalen pada gambar 3.7 :

1. Menyiapkan data awal berupa lokasi bangunan, model bangunan dan tipe struktur.
2. Membuat model struktur pada program ETABS sesuai data struktur.
3. Menentukan berat bangunan yang diambil dari output ETABS.
4. Menghitung koefisien batasan waktu getar, periode fundamental pendekatan $T_{min}=C_t \times h_n^x$ dan koefisien batas atas $T_{max}=C_u \times T_{min}$ sesuai persamaan 2.24 dan persamaan 2.25
5. Mengevaluasi waktu getar, di mana waktu getar hasil analisis ETABS harus berada di antara nilai T_{min} dan T_{max} . Jika nilai $T_{ETABS} < T_{min}$ yang digunakan T_{min} dan jika $T_{ETABS} > T_{max}$ yang digunakan T_{max}
6. Menghitung koefisien respon seismik $C_{shitung}$, C_{smin} dan C_{smax} berdasarkan formula pada persamaan 2.19, 2.20, dan 2.21
7. Melakukan evaluasi koefisien respon seismik (C_s) dengan syarat apabila nilai $C_{shitung} < C_{smin}$ yang digunakan $C_s = C_{smin}$, dan jika $C_{shitung} > C_{smax}$ yang digunakan $C_s = C_{smax}$
8. Menghitung gaya geser (V) yang bekerja pada dasar bangunan.
9. Menghitung distribusi gaya gempa vertikal (F_x) dan distribusi gaya gempa horizontal (V_x), yang digunakan sebagai gaya gempa statik.

3.4.1.6 Evaluasi Akurasi Analisis Dinamis

Evaluasi akurasi analisis dinamis dilakukan dalam mengevaluasi faktor partisipasi massa (FPM) dan gaya geser dasar dinamis (V_d).

1. Faktor Partisipasi Massa ($FPM \geq 90\%$)

Evaluasi ini dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh sistem struktur dapat secara bersama merespon beban gempa yang diberikan. Dalam hal ini batasan yang harus dicapai massa bangunan sekurang-kurangnya 90% dari massa aktual pada kedua arah. Jika partisipasi massa belum mencapai 90%, maka dapat dilakukan penambahan jumlah mode pada ETABS dan dapat dianalisis ulang menggunakan metode analisis dinamis sampai tercapai batasan partisipasi sama dengan atau lebih besar dari 90% ($FPM \geq 90\%$).

2. Gaya Geser Dasar Dinamis ($V_d \geq 85\% \cdot V_s$)

Nilai akhir gaya geser dasar dengan menggunakan metode dinamis pada kedua arah perlu sama dengan atau lebih besar dari 85% gaya geser dasar yang dihitung dengan metode statik ekuivalen ($V_d \geq 85\% \cdot V_s$). Apabila belum

memenuhi, gaya geser dasar perlu dikalikan dengan faktor skala sesuai persamaan 2.32. Atau dengan kata lain evaluasi ini harus memenuhi syarat $85\% \times V/V_t \leq 1$, Jika $85\% \times V/V_t$ lebih besar dari 1 maka hasil tersebut harus dikalikan dengan faktor skala yang lama untuk mendapatkan gaya geser dasar yang baru.

3.4.1.7 Evaluasi Kinerja Struktur

Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan struktur dalam menerima pembebanan gempa. Evaluasi kinerja struktur mencakup waktu getar (T), *story drift* (Δa) dan efek P-delta (θ).

3.4.1.8 Waktu Getar Struktur (T_o)

Waktu getar struktur fundamental (T) didapat dari Program ETABS yang dievaluasi terhadap waktu getar minimum dan waktu getar maksimum sesuai persamaan 2.24 dan 2.25 dengan persyaratan $T_{\min} \leq T_{\text{ETABS}} \leq T_{\max}$, jika $T_{\text{ETABS}} < T_{\min}$ maka digunakan $T_{\min}$ dan bila $T_{\text{ETABS}} > T_{\max}$ maka gunakan $T_{\max}$

3.4.1.9 Evaluasi Simpangan Antar Lantai (Δa)

Evaluasi simpangan antar lantai atau *story drift* (Δa), diawali dengan menggunakan nilai perpindahan total *drift* (δx_e) yang dihasilkan program ETABS untuk masing-masing lantai. Nilai ini digunakan untuk menghitung simpangan atau perpindahan antar lantai sebagai nilai dari selisih antara *drift* (δx_e) lantai yang ditinjau dan drift lantai dibawahnya. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai perpindahan antar lantai (*story drift*) yang diperbesar dengan menggunakan persamaan 2.33 dan periksa hasil *story drift* dengan *story drift* izin ($\Delta a < \Delta i$). Bila ketentuan ini tidak terpenuhi maka kekakuan dari struktur perlu ditingkatkan dengan cara memperbesar dimensi dari komponen struktur.

3.4.1.10 Efek P-delta (θ)

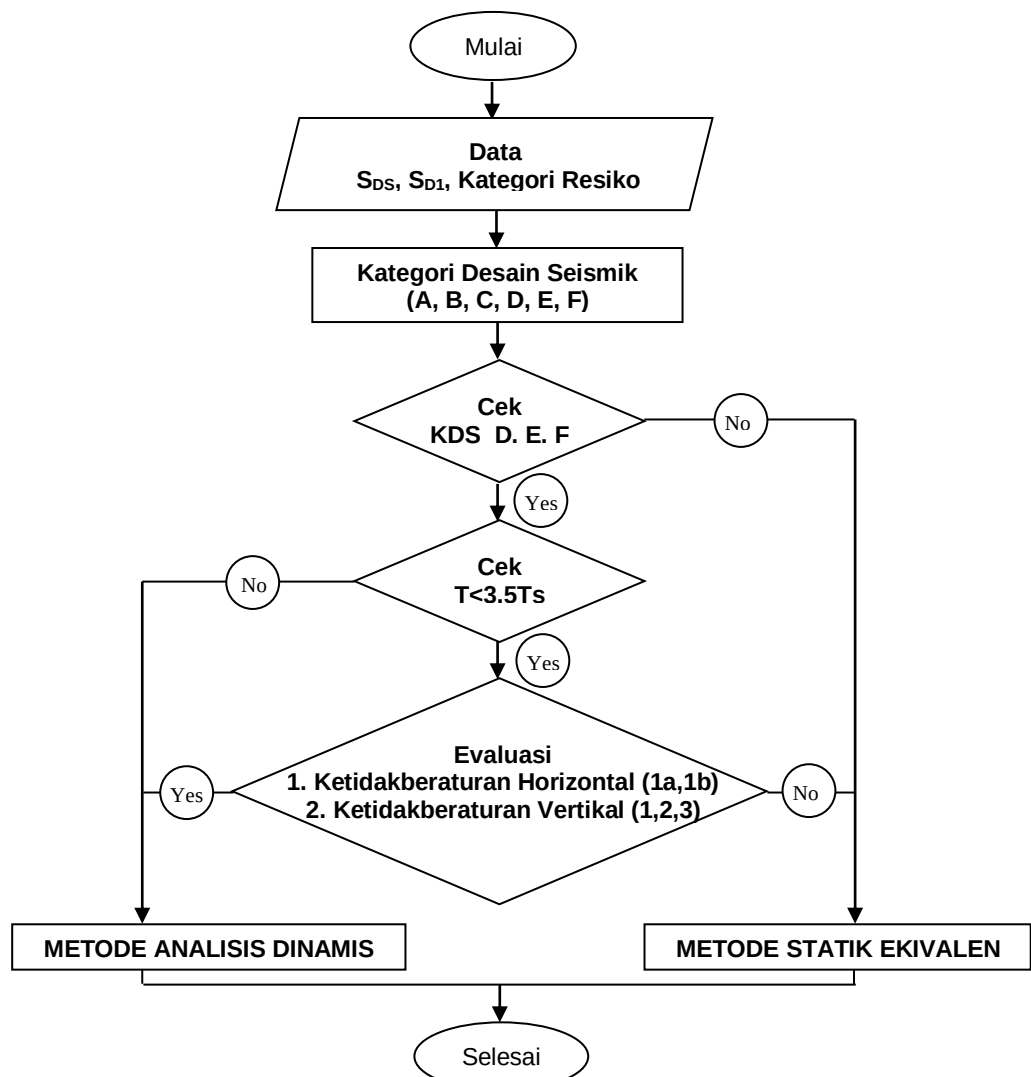
Evaluasi struktur terhadap efek P-delta bertujuan untuk mengetahui momen tambahan yang mungkin terjadi pada struktur akibat gaya aksial yang terjadi pada struktur. Evaluasi ini diawali dengan menghitung koefisien stabilitas struktur (θ) yaitu koefisien yang menunjukkan kestabilan yang terjadi pada struktur. Apabila koefisien stabilitas kurang dari 0,1 sesuai persamaan 2.16, maka struktur dikategorikan sudah stabil sehingga pengaruh efek p-delta tidak perlu diperhitungkan.

3.4.1.11 Evaluasi Kuantitatif Bangunan

Evaluasi kuantitatif bangunan dilakukan dengan memperhitungkan ketidakberaturan yang terjadi. Perhitungan tersebut dilakukan secara detail untuk mendapatkan ketidakberaturan pada bangunan baik secara vertikal maupun horizontal.

3.4.1.12 Penentuan Metode Analisis Akhir

Penentuan metode analisis akhir dilakukan dengan tujuan untuk memastikan metode analisis awal yang digunakan telah sesuai. Penentuan metode analisis ini ditentukan berdasarkan hasil evaluasi kategori desain seismik bangunan, waktu getar struktur dan evaluasi kuantitatif bangunan.



Gambar 3.8 Diagram Alir Penentuan Metode Analisis

Berdasarkan diagram alir diatas metode analisis yang akan digunakan

ditentukan berdasarkan ketidakberaturan yang terjadi pada bangunan, kategori desain seismik dan waktu getar bangunan. Apabila pada suatu bangunan terdapat ketidakberaturan horisontal tipe 1a dan 1b serta ketidakberaturan vertikal tipe 1, 2, dan 3 maka metode analisis dapat langsung ditentukan yaitu menggunakan metode analisis dinamis.

3.4.2 Final Desain

Tahap final desain adalah tahapan akhir dari desain struktur bangunan yaitu menghitung kebutuhan tulangan pada balok, kolom, dan pendetailan pada setiap elemen struktur.

3.4.2.1 Output Gaya Dalam

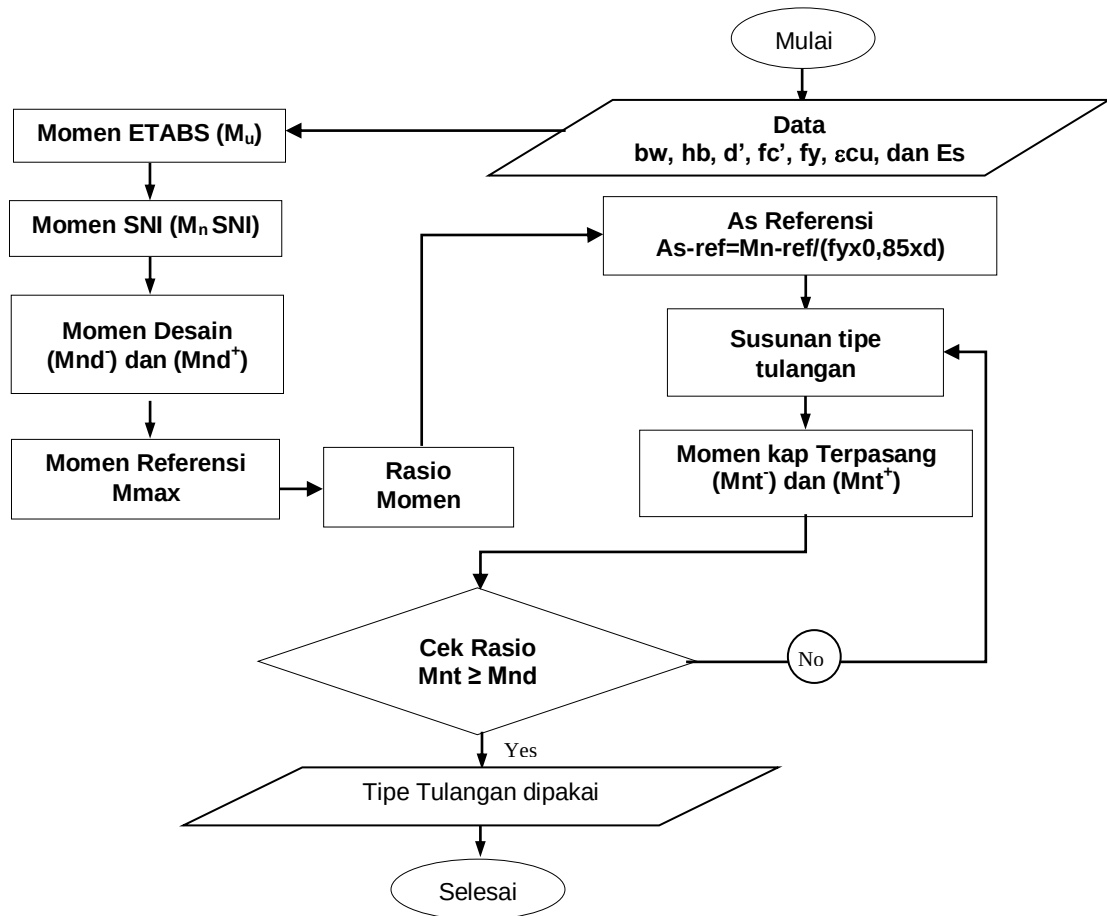
Output gaya dalam merupakan hasil analisis dari program ETABS berupa reaksi akibat beban gravitasi dan beban lateral yakni momen, gaya geser dan gaya aksial. *Output* gaya dalam ini akan digunakan sebagai data dalam perencanaan tulangan memanjang (*longitudinal*) dan tulangan geser (transversal) komponen struktur.

3.4.2.2 Desain Balok

Desain elemen struktur balok dilakukan dua tahap yaitu tahap pertama menghitung tulangan dalam arah memanjang menggunakan momen lentur dari output ETABS dan tahapan kedua menghitung tulangan dalam arah melintang dengan memanfaatkan momen nominal *overstrenght* dari tulangan *longitudinal* balok serta beban gravitasi.

3.4.2.2.1 Desain Tulangan Memanjang Balok

Perencanaan tulangan memanjang dilakukan untuk menahan momen yang terjadi pada balok. Desain dilakukan berdasarkan output gaya dalam ETABS berupa momen ultimit, kemudian dicari momen nominal desain berdasarkan SNI beton. Berdasarkan momen nominal desain tersebut maka dilakukan perhitungan tulangan memanjang balok.



Gambar 3.9 Prosedur Desain Tulangan Memanjang Balok

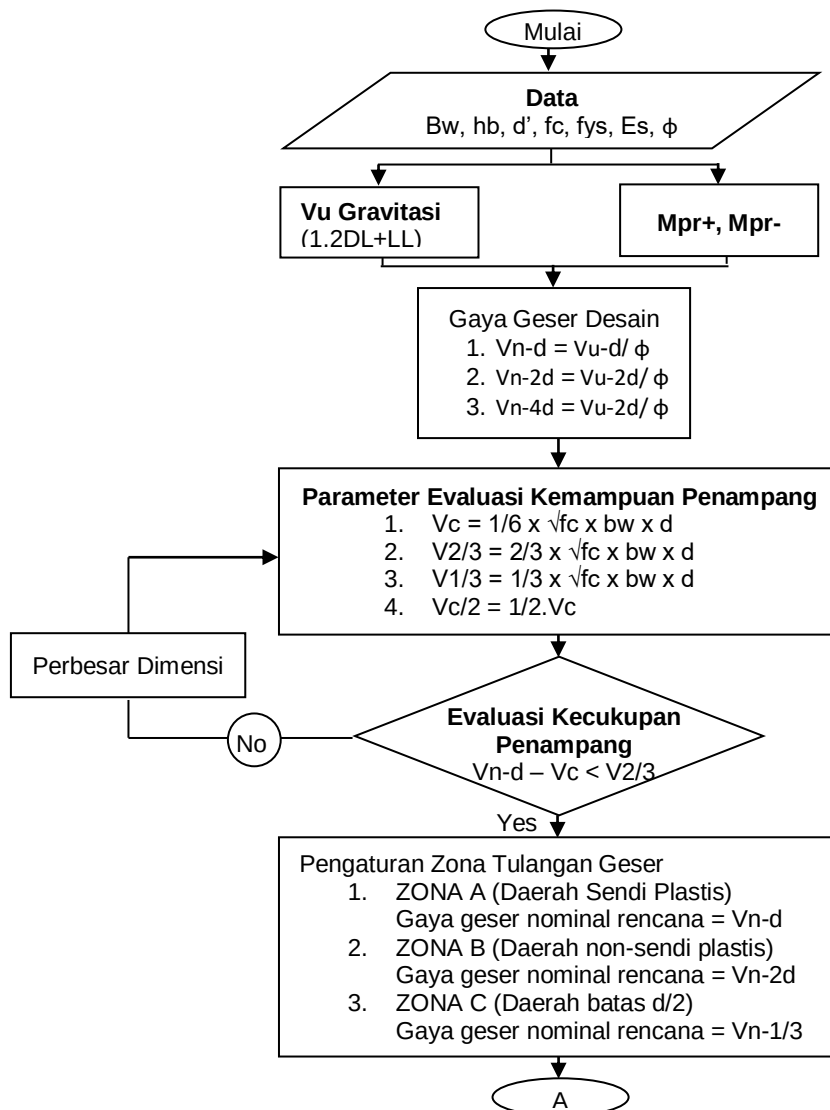
Berikut penjelasan dari diagram alir desain tulangan memanjang balok pada gambar 3.9 :

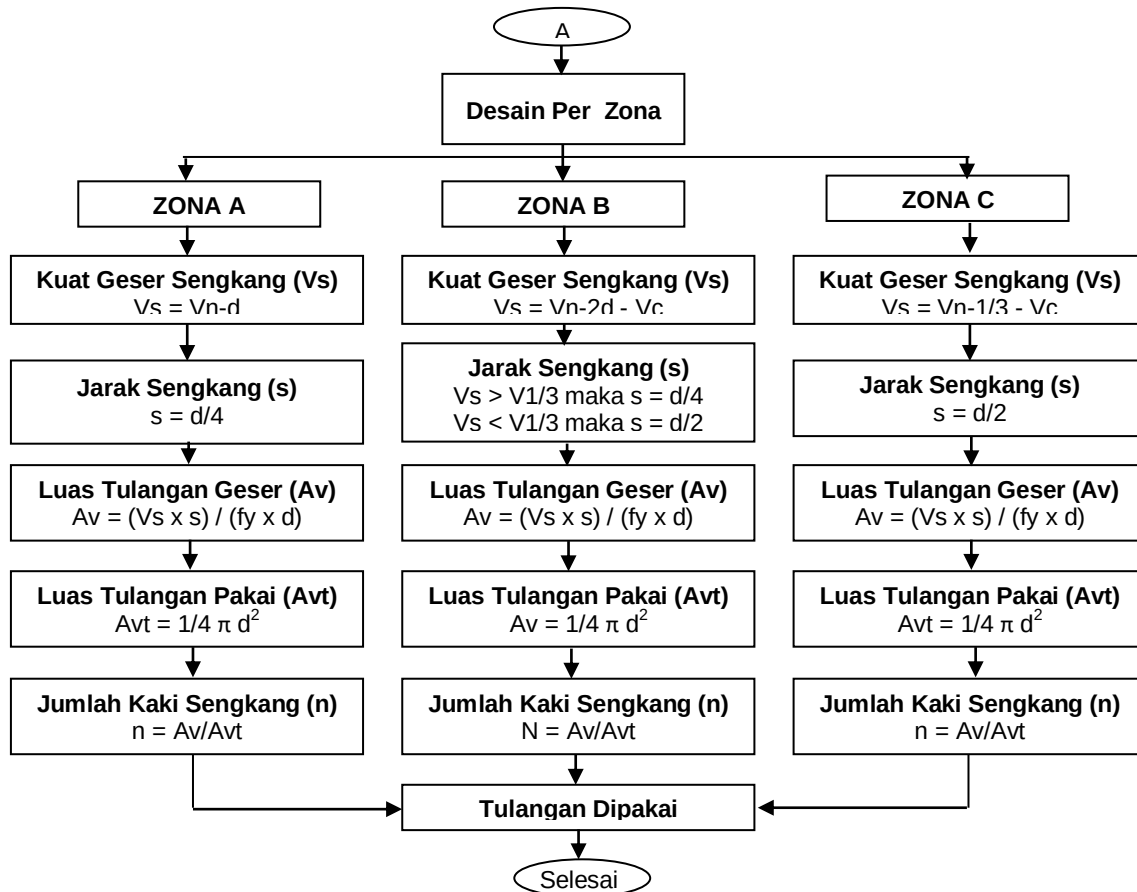
1. Data awal dimensi balok (bw,hb), tebal selimut beton (d'), mutu bahan (fc', fy,Es) dan regangan beton ultimit.
2. Hasil output gaya dalam Etabs berupa Mu pada setiap balok dengan kombinasi gabungan digunakan sebagai beban dalam mendesain tulangan memanjang.
3. Menghitung momen nominal SNI sesuai ketentuan gambar 2.21
4. Menentukan momen nominal desain dari nilai terbesar antara Mn SNI dan Mn ETABS.
5. Momen referensi merupakan momen terbesar yang dijadikan patokan untuk mendapatkan jumlah tulangan pada section balok lain.
6. Rasion momen didapatkan dari pembagian momen balok tinjau dengan momen terbesar dari momen referensi.
7. Menghitung luas tulangan referensi sesuai persamaan: $As-ref = Mn-ref / (fy \times 0,85 \times d)$
8. Tipe tulangan didapat dari hasil perkalian rasio momen balok tinjau dengan jumlah tulangan hasil momen referensi.

9. Menghitung momen kapasitas terpasang sesuai sub bab 2.7.3.1
10. Lakukan evaluasi rasio $M_{nt} \geq M_{nd}$, di mana kekuatan penampang momen terpasang harus lebih besar atau sama dengan momen desain. Jika tidak memenuhi maka diperlukan pemasangan ulang pada tipe tulangan yang dipakai.
11. Jika sudah memenuhi persyaratan maka tipe tulangan dapat dipakai.

3.4.2.2.2 Desain Tulangan Geser Balok

Perencanaan tulangan geser balok bertujuan menahan gaya geser yang terjadi pada balok dengan memanfaatkan momen nominal *overstrenght* dari tulangan memanjang balok serta beban gravitasi. Penulangan dilakukan pada daerah sendi plastis yaitu sejauh d dari muka kolom dan daerah diluar sendi plastis yaitu sejauh $2d$ dan $4d$ dari muka kolom. Prosedur perhitungan gaya geser dapat dilihat pada diagram alir 3.10.





Gambar 3.10 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Geser Balok

Berikut penjelasan diagram alir desain tulangan geser balok pada gambar 3.10 :

1. Data awal dimensi balok (b_w , h_b), tebal selimut beton (d'), mutu bahan (f_c' , f_y , E_s) dan faktor reduksi geser (ϕ).
2. Menentukan hasil gaya geser balok akibat beban gravitasi dari output ETABS.
3. Menentukan momen probable (M_{pr}) hasil perkalian momen kapasitas dengan faktor *overstrength*.
4. Gaya geser desain diperoleh dari hasil gaya geser ultimit (V_u) sejauh d dan $2d$ dari muka kolom dibagi dengan faktor reduksi geser (ϕ).
5. Menghitung parameter-parameter untuk mengevaluasi kemampuan penampang, serta syarat penggunaan jarak sengkang yaitu nilai V_c (batas daerah perlu tulangan geser minimum, $V/3$ (batas kekuatan geser maksimum yang mampu dipikul balok), $V/3$ (batas penggunaan sengkang $s=d/2$), $V_c/2$ (batas daerah tanpa tulangan geser).
6. Evaluasi kecukupan penampang, dengan persamaan $V_{n-d} - V_c < V/3$. evaluasi ini bertujuan memastikan penampang mampu memikul gaya geser yang bekerja. Jika belum maka diperlukan pembesaran dimensi.

7. Pengaturan zona tulangan geser dibagi menjadi 3 yaitu zona A (daerah sendi plastis), zona B dan zona C (daerah non sendi plastis). Untuk bentangan balok yang pendek dapat menggunakan 2 zona.
8. Menghitung kuat geser sengkang per masing-masing zona. Di mana zona A (daerah sendi plastis) seluruh kekuatan geser disumbangkan tulangan geser dan pada daerah non sendi plastis, kekuatan geser disumbangkan oleh tulangan geser dan beton.
9. Menghitung jarak sengkang tiap zona sesuai persamaan pada diagram alir.
10. Menghitung luas tulangan geser tiap zona dengan formula $A_v = (V_s x s) / (f_y x d)$
11. Menghitung jumlah kaki sengkang (n)
12. Jika perhitungan tipe tulangan, jarak, serta jumlah kaki selesai maka dapat digunakan sebagai tulangan geser.

3.4.2.2.3 Detailing Balok

Pendetailan pada balok dilakukan pada tulangan memanjang dan tulangan geser. Pada tulangan memanjang pendetailan tulangan dilakukan dengan memperhitungkan batas pemutusan tulangan, panjang penyaluran, sambungan tulangan serta jarak antar tulangan yang akan dipasang sesuai dengan persyaratan yang ditentukan. Sedangkan pada tulangan geser pendetailan dilakukan dengan menentukan jarak sengkang pada daerah sendi plastis dan non sendi plastis. Jarak sengkang dibagi menjadi 3 zona yaitu zona A, zona B, dan Zona C.

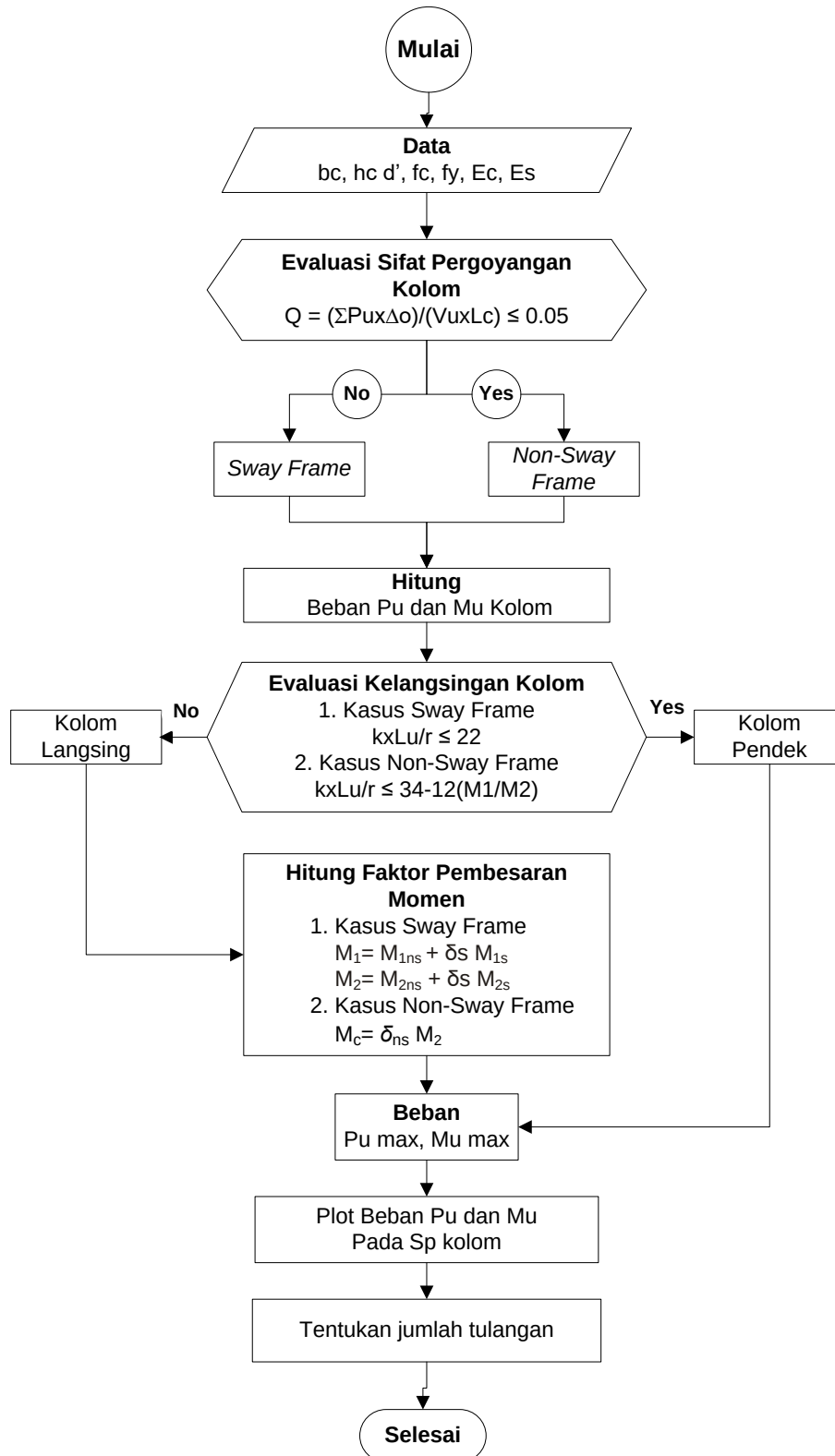
3.4.2.3 Desain Kolom

Dalam desain elemen struktur kolom akan dilakukan 3 tahap perhitungan yaitu perhitungan tulangan memanjang kolom, perhitungan tulangan geser di daerah lo dan daerah luar lo, serta pendetailan tulangan kolom. Data-data yang diperlukan dalam perencanaan komponen kolom terdiri dari dimensi penampang dengan lebar (b_c) dan tinggi (h_c), tinggi kolom (h), properti bahan f_c' dan f_y , gaya geser, momen lentur, gaya aksial serta semua elemen yang menumpu pada kolom.

3.4.2.3.1 Desain Tulangan Memanjang Kolom

Perencanaan kolom diawali dengan penentuan evaluasi pergoyangan struktur untuk mengetahui apakah portal yang ditinjau bergoyang atau tidak (*sway* dan *non sway*). Setelah penentuan pergoyangan struktur maka dievaluasi kelangsingan dari kolom-kolom

yang ditinjau untuk mengetahui apakah kolom yang ditinjau termasuk kolom pendek atau kolom langsing. Secara berurutan perencanaan tulangan memanjang kolom dapat dilihat pada gambar 3.11.



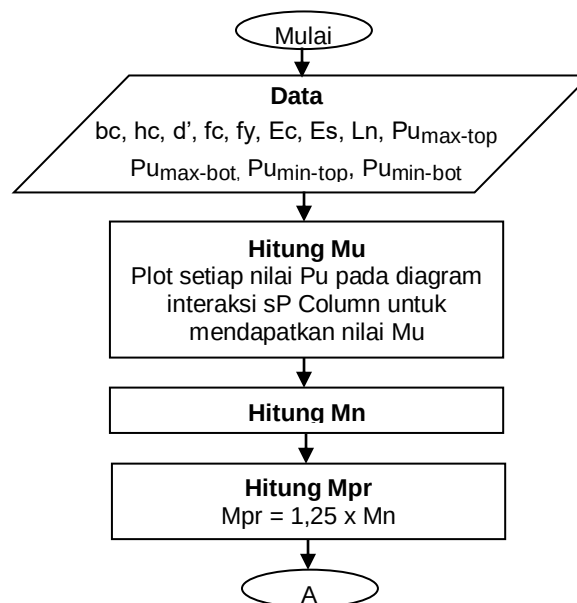
Gambar 3.11 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Memanjang Kolom

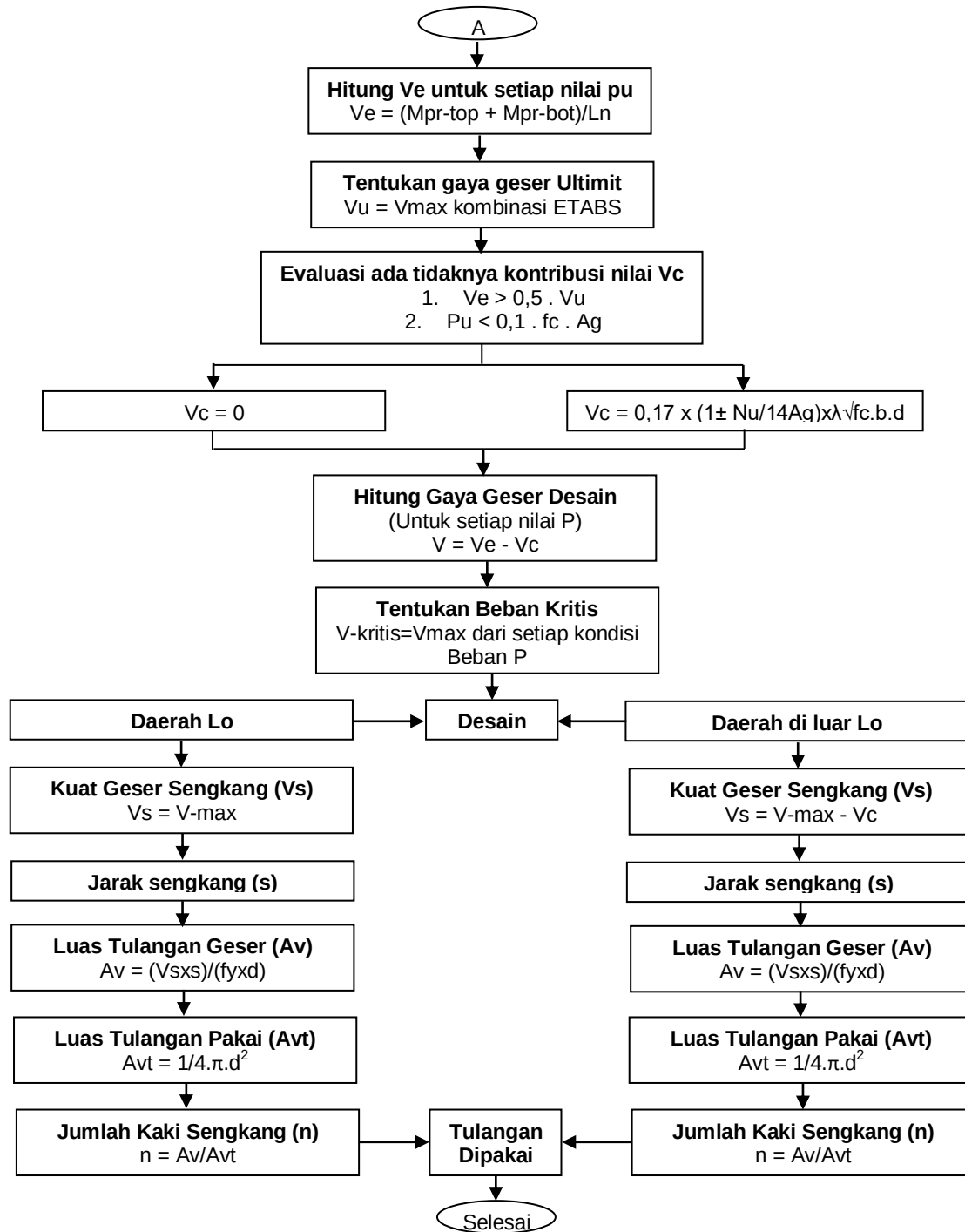
Berikut penjelasan dari diagram alir desain tulangan memanjang kolom pada gambar 3.11 :

1. Menyiapkan data awal dimensi kolom (b_c, h_c), mutu bahan (f_c', f_y, E_c, E_s), dan tebal selimut beton (d') yang digunakan untuk perencanaan selanjutnya.
2. Mengevaluasi sifat pergoyangan kolom termasuk ke dalam portal yang mengalami pergoyangan atau tidak bergoyang sesuai persamaan 2.51
3. Menghitung beban P_u dan M_u kolom sesuai sub bab 2.7.4.5
4. Mengevaluasi kelangsingan kolom sesuai persyaratan sub bab 2.7.4.4, yang hasilnya dapat menentukan termasuk kategori kolom pendek atau kolom langsing.
5. Jika termasuk kolom langsing perlu dilakukan perhitungan faktor pembesaran momen sesuai persamaan 2.58
6. Plot beban P_u dan M_u hasil perhitungan ke dalam program spColumn, di mana rasio tulangan tidak boleh kurang dari 1% dan tidak melebihi 4%. Setelah diperoleh luas total tulangan dari spColumn yang dibagi dengan luas diameter tulangan pakai diperoleh jumlah tulangan kolom pakai.

3.4.2.3.2 Desain Tulangan Geser Kolom

Perencanaan gaya geser kolom dilakukan pada daerah lo dan daerah luar lo pada daerah lo diperhitungkan dilakukan dengan menganggap gaya geser yang disumbangkan oleh beton (V_c) = 0. Sedangkan pada daerah luar lo gaya geser yang disumbangkan oleh beton juga diperhitungkan dalam perhitungan gaya geser. Berikut penjelasan dari diagram alir desain tulangan geser kolom pada gambar 3.12 :





Gambar 3.12 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Geser Kolom

Berikut penjelasan dari diagram alir desain tulangan memanjang kolom pada gambar 3.12 :

1. Menyiapkan data awal dimensi kolom (bc, hc), mutu bahan (fc', fy, Ec, Es), tebal selimut beton (d'), serta beban-beban Pu max-top, Pu max-bot, Pu min-top, dan Pu min-bot.

2. Plot nilai P_u ke dalam diagram interaksi $\phi M - \phi V$ untuk memperoleh nilai M_u .
3. Menghitung momen probable untuk setiap kondisi beban P yang bekerja.
4. Menghitung gaya geser akibat penjumlahan momen probable (M_{pr}) pada kedua ujung kolom yang dibagi dengan panjang bentang bersih kolom.
5. Menentukan gaya geser ultimit yang diambil dari output ETABS akibat kombinasi gaya geser yang terbesar.
6. Melakukan evaluasi terhadap ada tidaknya kontribusi kuat geser yang disumbangkan penampang beton dari setiap nilai P .
7. Menentukan beban kritis dari beban terbesar dari kondisi beban P .
8. Mendesain tulangan geser kolom sesuai dengan lokasi beban gaya geser yaitu pada daerah l_o dan di luar l_o .
9. Menghitung kuat geser yang disumbangkan sengkang di mana pada lokasi l_o gaya geser sengkang sama dengan gaya geser pada kondisi kritis (V_{kritis}), sementara pada lokasi di luar l_o , geser sengkang merupakan selisih nilai gaya geser kritis dengan kuat geser yang disumbangkan penampang beton.
10. Menghitung jarak sengkang sesuai lokasi dapat dilihat pada sub bab 2.7.6.2
11. Menghitung luas tulangan geser pada tiap lokasi dengan formula $A_v = (V_s x s) / (f_y x d)$
12. Menentukan luas tulangan geser pakai sesuai diameternya dengan formula $A_v = 1/4 \pi d^2$
13. Hitung jumlah kaki sengkang dengan membagi luas tulangan geser dengan luas tulangan pakai.
14. Setelah memenuhi keperluan maka tipe tulangan, jarak, serta jumlah kaki dapat digunakan sebagai tulangan geser.

3.4.2.3.3 Detailing Elemen Struktur Kolom

Pendetailan elemen struktur pada kolom merupakan pengaturan jarak tulangan, penempatan tulangan baik pada tulangan memanjang maupun pada tulangan geser kolom di daerah l_o dan luar daerah l_o sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan.

3.4.2.3.4 Evaluasi Hubungan Balok Kolom

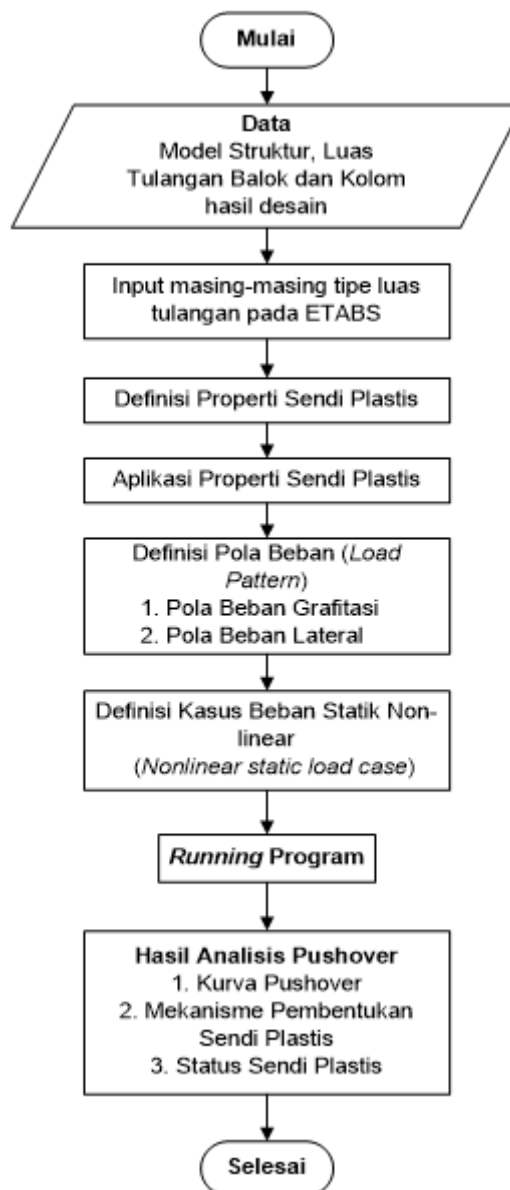
Evaluasi ini dilakukan untuk mengetahui tulangan transversal pada hubungan balok-kolom diperlukan untuk memberikan kekangan yang cukup pada beton, sehingga mampu menunjukkan perilaku yang duktail dan tetap dapat memikul beban vertikal akibat gravitasi meskipun telah terjadi pengelupasan pada selimut betonnya.

3.4.3 Analisis Respon In-elastis

Analisis Respons In-elastis dilakukan dengan menggunakan bantuan program ETABS 2016. Tahap ini merupakan tahapan yang bertujuan untuk mengetahui perilaku/respons dari struktur yang direncanakan pada kondisi pasca-elastis.

3.4.3.1 Analisa *Pushover* dengan ETABS

Analisa *pushover* dengan program ETABS dilakukan setelah seluruh jumlah tulangan balok dan kolom telah diperoleh berdasarkan hasil desain kapasitas. Prosedur analisis *pushover* ditunjukkan pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 Diagram Alir *Analysis Pushover* Dengan ETABS

Hasil desain tulangan tersebut akan diinput kedalam program untuk dilakukan pengecekan terhadap model struktur yang akan dievaluasi. Secara garis besar dalam analisa pushover terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan: (1) Pendefinisian dan pengaplikasian property sendi plastis untuk menunjukkan perilaku leleh dari model, (2) Pendefinisian pola beban yang digunakan untuk analysis pushover, (3) Pendefinisian kasus beban *static nonlinear (nonlinear static load case)*. (4) Analisis kasus beban *pushover*. Setelah dilakukan ketiga tahap diatas selanjutnya kasus beban *pushover* dianalisis (*running*) untuk mendapatkan perilaku atau respons dari model struktur.

Penjelasan prosedur *analysis pushover* berdasarkan Gambar 3.13 adalah sebagai berikut :

1. Luas tulangan pada balok dan kolom yang telah diperoleh berdasarkan hasil desain kapasitas secara manual desain, merupakan data awal yang akan digunakan dalam analisis *pushover*.
2. Input masing-masing tipe luas tulangan balok dan kolom pada model struktur ETABS. Pemasangan tulangan dilakukan dengan terlebih dahulu memilih elemen balok maupun kolom yang hendak dipasang tulangnya, dengan pilihan menu *define > section properties > frame sections >* klik balok/kolom yang akan dipasang tulangan *> modify/show rebar >* pada setiap kolom *reinforcement* area isi luas tulangan yang telah diperoleh sesuai hasil desain.
3. Definisi dan aplikasi *property* sendi plastis yang terjadi pada elemen balok dan kolom. *Property* sendi plastis ditentukan dengan menggunakan *property* yang telah di *built-in* pada program sesuai ketentuan FEMA-356 dan FEMA-440. Pengaplikasian *property* sendi plastis dilakukan dengan cara : (1) Pada balok, pilih semua elemen balok dengan cara klik *select > properties > frame sections >* pilih semua elemen balok, selanjutnya klik *assign > frame > hinges > property* sendi pada ujung balok diisi dengan menggunakan properti *default* akibat momen (M3). (2) Pada kolom, pilih semua elemen kolom dengan cara klik *select > properties > frame sections >* pilih semua elemen kolom, selanjutnya klik *assign > frame > hinges > property* sendi pada ujung-ujung kolom diisi dengan menggunakan properti default akibat kombinasi gaya aksial dan momen (P-M3-M2).
4. Definisi pola beban (*load pattern*). Pola beban ini merupakan beban yang bekerja pada bangunan yang terdiri dari beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi merupakan beban yang diaplikasikan pada struktur sebelum beban lateral diaplikasikan, sementara beban lateral merupakan beban yang digunakan sebagai beban dorong. Pendefinisian pola beban ditentukan dengan menggunakan pilihan

menu *define > load patterns*.

5. Definisi kasus beban statik nonlinear (*nonlinear static load case*). Definisi ini merupakan tahap yang bertujuan untuk menentukan urutan pembebanan dalam analisis statis nonlinear. Urutan pembebanan diawali dengan mengaplikasikan beban gravitasi menggunakan kontrol beban pada struktur dengan kondisi awal nol (*zero initial conditions*) yang menyatakan bahwa struktur belum mengalami perpindahan dan percepatan, seluruh elemen tidak mengalami tegangan, dan tidak ada riwayat deformasi nonlinear. Dilanjutkan dengan pengaplikasian beban lateral yang digunakan sebagai beban dorong dengan menggunakan kontrol perpindahan. Pengaplikasian beban lateral dilanjutkan dari analisis nonlinear sebelumnya yang menyatakan bahwa besarnya perpindahan, percepatan, tegangan, dan status *nonlinear* dilanjutkan dari akhir analisis nonlinear sebelumnya. Pendefinisian kasus beban statis nonlinear ditentukan dengan menggunakan pilihan menu *define > load case*.
6. Menjalankan program untuk menghasilkan respons struktur dengan menggunakan pilihan *analyze > run analysis*.
7. Hasil analisis pushover berupa kurva pushover, mekanisme pembentukan sendi plastis, serta pola perpindahan lateral yang ditunjukkan dalam status sendi plastis.

3.4.3.2 Evaluasi Respons In-elastik

Analisis akan menunjukkan mekanisme pelelehan yang ditunjukkan melalui mekanisme pembentukan sendi plastis yang terjadi pada balok dan kolom, selain itu juga analisis akan menghasilkan kurva kapasitas dari struktur, Kurva kapasitas tersebut digunakan untuk menentukan besarnya target perpindahan yang diharapkan dapat dicapai oleh struktur ketika dikenai beban gempa. Perilaku struktur akan ditinjau dengan melihat mekanisme pelelehan terbentuknya sendi plastis (status sendi plastis), dan pola distribusi ketika struktur didorong mencapai target perpindahan yang diharapkan.

3.5 Kesimpulan dan Saran

Setelah diperoleh hasil desain dari Fase Preliminari Desain dan Final Desain yang kemudian dilakukan Analisis Pushover, maka akan mendapatkan hasil akhir perilaku sendi plastis akibat beban dorong berkebalikan yang ditingkatkan secara terus menerus terhadap struktur gedung. Setelah itu dapat ditarik kesimpulan dan saran sesuai dengan hasil dari penelitian.