

STUDI KOMPARASI KEBUTUHAN MATERIAL PADA PERENCANAAN STRUKTUR BALOK DAN KOLOM PORTAL 3 LANTAI SISTEM ELASTIS PENUH DAN DAKTAIL PENUH DI WILAYAH GEMPA 3

Budi Setiawan¹, Ali Asroni², Yenny Nurchasanah³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos I, Pabelan, Kartasura 57102 Telp. 0271 717417 Ext. 221
Email : iwanabirawa@yahoo.com

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang memiliki intensitas gempa yang cukup besar, karena berada di jalur pertemuan lempeng Circum Pasifik dan lempeng Mediterania. Dengan keberadaan lempeng tersebut Indonesia dibagi menjadi 6 wilayah gempa. Wilayah gempa 3 merupakan salah satu bagian wilayah gempa yang memiliki intensitas gempa yang cukup tinggi. Berkaitan dengan dengan taraf kinerja struktur gedung, terdapat 3 tingkatan sistem daktilitas yang digunakan dalam perencanaan. Ketiga sistem tersebut adalah sistem perencanaan gedung dengan prinsip elastis penuh, prinsip daktil parsial dan prinsip daktil penuh. Oleh karena itu setiap bangunan bertingkat tinggi harus benar-benar kuat dan mampu bertahan terhadap seluruh beban yang bekerja. Semakin meningkatnya jumlah kebutuhan material bahan bangunan guna menunjang kegiatan pembangunan gedung pada saat ini, perhitungan kebutuhan material bahan bangunan harus diperhitungkan dengan teliti dan seksama, sehingga memenuhi asas efisiensi dan syarat kekuatan bangunan. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui dan membandingkan seberapa besar jumlah kebutuhan material pada perencanaan portal beton bertulang pada elemen balok dan kolom dengan sistem elastis dan daktil penuh untuk bangunan gedung bertingkat 3. Metode perencanaan yang digunakan mengacu pada Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002), Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (SNI 03-1727-1989), Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI-1726-2002). Alat bantu yang digunakan berupa program SAP 2000 v.8 non Linear, Mirosoft Excel, dan Autocad. Mutu beton f_c sebesar 20 MPa, mutu baja tulangan f_y sebesar 300 MPa. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini adalah : untuk sistem elastis penuh dimulai dari lantai 1, 2 dan 3 diperoleh dimensi balok masing-masing 350/600; 350/550 dan 300/550. Untuk kolom berdimensi 800/800; 700/700 dan 500/500. Sedangkan untuk sistem daktil penuh diperoleh dimensi balok 300/500; 300/500 dan 250/450. Untuk kolom berdimensi 880/880; 660/660 dan 440/440. Dari keduanya diperoleh kebutuhan total material beton dan tulangannya masing-masing untuk sistem elastis penuh volume beton sebesar 29,444 m³ dan volume besi diperoleh sebesar 10833 kg. Sedang pada sistem daktil penuh volume beton sebesar 27,132 m³ dan volume besi sebesar 7952,816 kg. Dari kedua hasil perhitungan kebutuhan material tersebut bila kita bandingkan antara sistem elastis penuh dengan sistem daktil penuh selisih sebesar 7,78 % untuk beton dan 36,22 % untuk besi. Sehingga dapat disimpulkan dari tinjauan analisis perhitungan kebutuhan material untuk sistem daktil penuh lebih efisien daripada sistem elastis penuh.

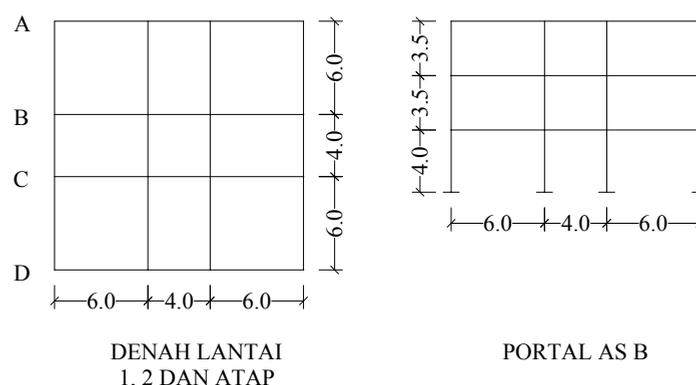
Kata Kunci : daktil penuh; elastis penuh; kebutuhan material; komparasi; wilayah gempa 3

Pendahuluan

Infrastruktur gedung merupakan salah satu unsur penting dalam hal pengembangan suatu daerah. Dalam pembangunan sebuah gedung harus memperhatikan hal-hal yang berkaitan dengan kondisi lingkungan sekitar. Untuk itu perlu dilakukan perencanaan yang sesuai dengan fungsi gedung dan wilayah yang akan dibangun. Perencanaan sebuah gedung harus dapat menjamin kekuatan serta fungsi gedung itu sendiri. Kekuatan gedung tersebut harus dapat memikul beban mati, beban hidup dan beban gempa yang terjadi di wilayah tersebut. Kekuatan gedung bergantung pada kekuatan rangka gedung yang biasa disebut portal. Kolom dan balok merupakan komponen utama dari sebuah gedung harus dapat menahan beban yang ada. Untuk itu harus dihitung dengan teliti mengenai

kekuatannya. Selain pada kekuatan, perencana juga harus dapat meminimalisir biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan sebuah gedung.

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki intensitas gempa yang cukup besar, karena berada di jalur pertemuan lempeng Circum Pasifik dan lempeng Mediterania. Dengan keberadaan lempeng tersebut Indonesia dibagi menjadi 6 wilayah gempa (SNI 1726-2002) yang mana semakin tinggi wilayah gempanya semakin besar kemungkinan intensitas gempa yang terjadi. Wilayah gempa 3 merupakan salah satu bagian wilayah gempa yang memiliki intensitas gempa yang cukup tinggi, sehingga dalam merencanakan bangunan bertingkat perlu kajian beban gempa yang teliti. Berkaitan dengan dengan taraf kinerja struktur gedung, terdapat 3 tingkatan sistem daktilitas yang digunakan dalam perencanaan (Pasal 4.3.3 SPKGUSB-2002). Ketiga sistem tersebut adalah sistem perencanaan gedung dengan prinsip elastik penuh, yaitu suatu tingkatan daktilitas struktur gedung dengan nilai faktor daktilitas sebesar 1,0 ($\mu=1,0$). Sistem perencanaan gedung dengan prinsip daktilitas parsial, yaitu seluruh tingkatan daktilitas struktur gedung dengan nilai faktor daktilitas di antara nilai faktor daktilitas sistem elastik penuh sebesar 1,0 ($\mu=1,0$) dan nilai faktor daktilitas sistem daktilitas penuh sebesar 5,3 ($\mu=5,3$). Sistem perencanaan gedung dengan prinsip daktilitas penuh, yaitu suatu tingkatan daktilitas struktur gedung yang strukturnya mampu mengalami simpangan pasca-elastik pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan yang paling besar, yaitu dengan mencapai nilai faktor daktilitas sebesar 5,3 ($\mu=5,3$). Oleh karena itu setiap bangunan bertingkat tinggi harus benar-benar kuat dan mampu bertahan terhadap seluruh beban yang bekerja yang salah satunya berupa beban gempa. Semakin meningkatnya jumlah kebutuhan material bahan bangunan guna menunjang kegiatan pembangunan gedung pada saat ini, perhitungan kebutuhan material bahan bangunan sangat diperhitungkan dengan teliti dan seksama, sehingga memenuhi asas efisiensi bahan bangunan serta tidak mengesampingkan kekuatan bangunan itu sendiri. Penelitian ini ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar jumlah kebutuhan material pada perencanaan portal beton bertulang khususnya pada elemen balok dan kolom dengan menggunakan sistem elastis dan daktilitas penuh di wilayah gempa 3 untuk bangunan gedung bertingkat 3 dan berfungsi sebagai gedung perkantoran sekaligus membandingkan kebutuhan material yang digunakan kedua sistem tersebut. Pada penelitian ini metode perencanaan yang digunakan mengacu pada Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002), Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (SNI 03-1727-1989), Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI-1726-2002), Sedangkan alat bantu yang digunakan berupa program SAP 2000 v.8 non Linear dan Mirosoft Excel, serta program Autocad sebagai program pendukung. Pada analisis perhitungan struktur portal dalam penelitian ini, dibatasi untuk portal simetris 3 lantai satu arah dengan ukuran lebar tepi 6 m dan lebar tengah 4m, sedangkan ketinggian 4 m untuk lantai 1 dan 3,5 m untuk lantai 2 dan 3 (lihat Gambar 1). Mutu beton f_c' diambil sebesar 20 MPa, sedang mutu baja tulangan f_y diambil sebesar 300 MPa. Perhitungan pembebanan struktur meliputi beban mati dan beban hidup untuk beban vertikal portal, sedang beban horizontal portal berupa beban gempa. Khusus beban gempa ini analisis diperhitungkan dari beban total portal di masing-masing lantai. Disamping itu untuk menganalisis digunakan metode statis ekuivalen yang diperhitungkan dari beban total portal, fungsi bangunan serta waktu getar gedung yang diperoleh dari grafik wilayah gempa. Dari hasil pembebanan yang telah dihitung diperoleh gaya-gaya dalam yang dihitung dengan program SAP 2000 non Linear. Hasil kombinasi pembebanan hasil SAP diolah dengan menggunakan program Microsoft Excel yang selanjutnya digunakan sebagai dasar perhitungan dimensi serta jumlah tulangan dari balok dan kolom portal yang dianalisis.



Gambar 1. Denah dan Portal Tinjauan

Studi Pustaka dan Landasan Teori

A. Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan suatu struktur gedung atau unsur struktur itu untuk mengalami simpangan plastis secara berulang dan bolak-balik di atas titik leleh pertama sambil mempertahankan sebagian besar dari

kemampuan awalnya dalam memikul beban (Pasal 1.1.3-PPKGURG-1987). Berkaitan dengan dengan taraf kinerja struktur gedung, terdapat 3 tingkatan daktilitas yang berbeda (Pasal 4.3.3 SPKGUSB-2002), yaitu :

- 1). Sistem perencanaan gedung dengan prinsip elastik penuh, yaitu suatu tingkatan daktilitas struktur gedung dengan nilai faktor daktilitas sebesar 1,0 ($\mu=1,0$).
- 2). Sistem perencanaan gedung dengan prinsip daktail parsial, yaitu seluruh tingkatan daktilitas struktur gedung dengan nilai faktor daktilitas di antara nilai faktor daktilitas sistem elasis penuh sebesar 1,0 ($\mu=1,0$) dan nilai faktor daktilitas sistem daktail penuh sebesar 5,3 ($\mu=5,3$).
- 3). Sistem perencanaan gedung dengan prinsip daktail penuh, yaitu suatu tingkatan daktilitas struktur gedung yang strukturnya mampu mengalami simpangan pasca-elastik pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan yang paling besar, yaitu dengan mencapai nilai faktor daktilitas sebesar 5,3 ($\mu=5,3$).

B. Faktor Beban

Besar faktor beban yang diberikan untuk masing-masing beban yang bekerja pada suatu penampang struktur akan berbeda-beda, tergantung dari jenis kombinasi beban yang bersangkutan. Menurut Pasal 11.2 SNI 03-2847-2002, agar supaya struktur dan komponen struktur memenuhi syarat kekuatan dan layak pakai terhadap bermacam-macam kombinasi beban, maka harus dipenuhi ketentuan dari kombinasi-kombinasi beban terfaktor sebagai berikut :

- 1) $U = 1,4.D$
- 2) $U = 1,2.D + 1,6.L + 0,5.(A \text{ atau } R)$
- 3) $U = 1,2.D + 1,0.L \pm 1,6.W + 0,5.(A \text{ atau } R)$
- 4) $U = 0,9.D \pm 1,6.W$
- 5) $U = 1,2.D + 1,0.L \pm 1,0.EU = 0,9.D \pm 1,0.E$

C. Beban Gempa

Dalam perencanaan portal beton bertulang, beban gempa merupakan salah satu beban yang harus diperhitungkan, terutama pada wilayah perencanaan yang rawan terjadi gempa. Beberapa factor yang mempengaruhi beban gempa diuraikan pada penjabaran di bawah ini.

Faktor respons gempa (C_1). Nilai faktor respons gempa (C_1) ini dipengaruhi oleh 3 (tiga) hal, yaitu sebagai berikut :

- 1). Kondisi tanah yaitu : tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak.
- 2). Waktu getar alami fundamental (T_1)

Waktu getar alami fundamental gedung T_1 dari beton bertulang ditentukan berdasarkan Pasal 2.4.5 Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung (PPKGURG-1987) dengan rumus :

$$T_1 = 0,060.H^{3/4}$$

Untuk mencegah agar penggunaan struktur gedung tidak terlalu fleksibel, maka Pasal 5.6 SPKGUSBG-2002 membatasi nilai waktu getar alami fundamental dengan:

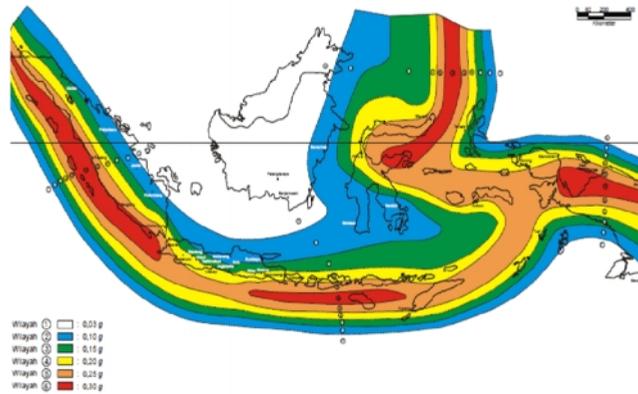
$$T_1 < \zeta \cdot n$$

Tabel.1 Koefisien ζ yang membatasi T_1

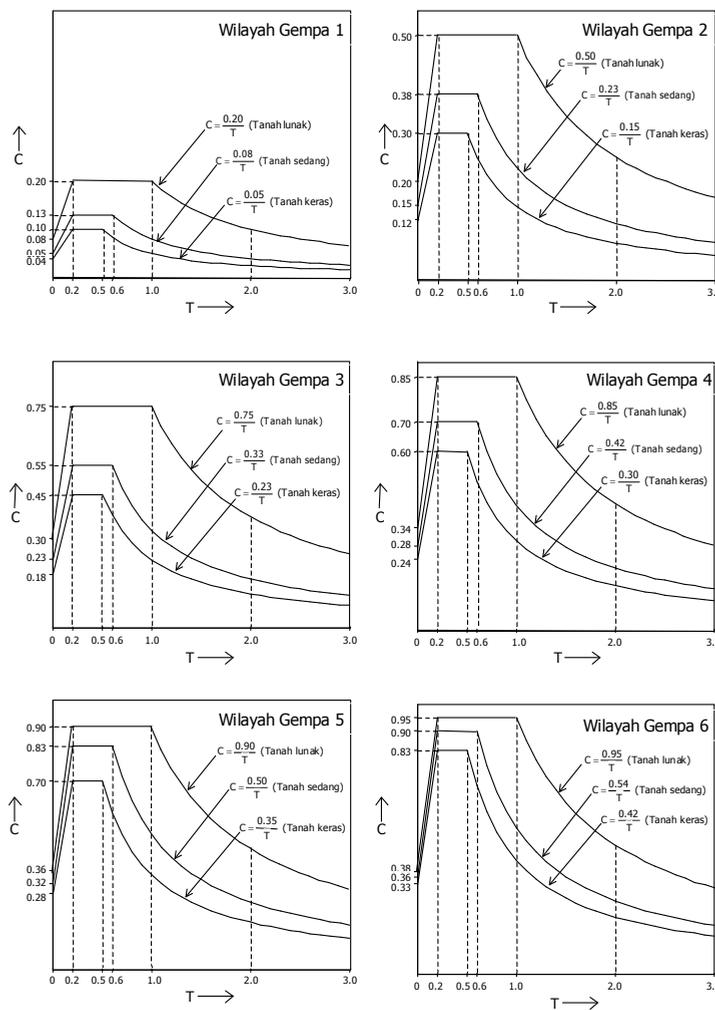
Wilayah gempa	ζ
1	0,2
2	0,19
3	0,18
4	0,17
5	0,16
6	0,15

- 3). Wilayah gempa

Peta di Indonesia dibagi menjadi 6 wilayah gempa seperti ditunjukkan pada Gambar II.2 (Pasal 4.7.1 SPKGUSBG-2002). Pembagian wilayah gempa ini didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh gempa rencana. Wilayah Gempa 1 adalah wilayah dengan kegempaan paling rendah, sedangkan Wilayah Gempa 6 adalah wilayah dengan kegempaan paling tinggi. Jika kondisi tanah, waktu getar alami fundamental struktur gedung dan wilayah gempa sudah ditentukan, maka nilai faktor respon gempa C_1 dapat ditentukan dari respon gempa rencana menurut Gambar 2.



Gambar 2. Wilayah Gempa Indonesia dengan Percepatan Puncak Batuan Dasar dengan Periode Ulang 500 Tahun (SPKGUSBG-2002)



Gambar 3. Respons spektrum gempa rencana

Faktor keutamaan gedung (I). Faktor keutamaan gedung merupakan faktor pengali dari pengaruh gempa rencana pada berbagai kategori gedung, Faktor keutamaan gedung ditentukan dengan persamaan :

$$I = I_1 \cdot I_2$$

Tabel 2. Faktor Keutamaan (I) untuk Berbagai Kategori Gedung dan Bangunan

Kategori gedung	Faktor keutamaan		
	I ₁	I ₂	I
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran.	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental.	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi.	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun.	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara.	1,5	1,0	1,5

Faktor reduksi gempa (R). Faktor reduksi gempa merupakan rasio antara beban gempa maksimal akibat pengaruh gempa rencana pada struktur gedung elastik penuh dan beban gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana pada struktur gedung daktail, bergantung pada faktor daktilitas struktur gedung tersebut. Pasal 4.3.3. SPKGUSBG-2002 menetapkan faktor reduksi gempa (R) dengan persamaan berikut:

$$R = \mu \cdot f_1$$

Berat total gedung (W_t). Berat total gedung (W_t) merupakan kombinasi dari beban mati dan beban hidup. Berat total pada suatu portal Lantai I (W_i) dihitung berdasarkan batas setengah jarak antara portal tersebut dengan portal disebelahnya, dan setengah tinggi kolom di atas serta di bawah Lantai i. Beban hidup pada penentuan W_t tersebut boleh dikalikan dengan suatu koefisien reduksi (k_r) yang nilainya tercantum pada Tabel 4.

Tabel 3 Parameter Daktilitas Struktur Gedung (SPKGUSBG-2002)

Taraf kinerja struktur gedung	μ	R
Elastik penuh	1,0	1,6
Daktail parsial	1,5	2,4
	2,0	3,2
	2,5	4,0
	3,0	4,8
	3,5	5,6
	4,0	6,4
	4,5	7,2
	5,0	8,0
Daktail penuh	5,3	8,5

Jadi berat total gedung (W_t) dapat dihitung dengan rumus:

$$W_t = W_D + k_r \cdot W_L$$

D. Beban geser dasar nominal statik ekuivalen (V)

Beban geser dasar nominal statik ekuivalen (V) ditentukan berdasarkan rumus berikut ::

$$V = \frac{C_1 \cdot I}{R} \cdot W_t$$

Tabel 4. Koefisien reduksi beban hidup (PPPURG-1989)

Penggunaan gedung	Koefisien reduksi beban hidup untuk	
	Perencanaan balok/portal	Peninjauan gempa
PERUMAHAN/PENGHUNIAN Rumah tinggal, asrama, hotel, rumah sakit	0,75	0,3
PENDIDIKAN Sekolah, ruang kuliah	0,9	0,5
PERTEMUAN UMUM Masjid, gereja, bioskop, restoran, ruang dansa, ruang pagelaran.	0,9	0,5
KANTOR Kantor, bank	0,6	0,3
PERDAGANGAN Toko, toserba, pasar	0,8	0,8
PENYIMPANAN Gudang, perpustakaan, ruang arsip	0,8	0,8
INDUSTRI Pabrik, bengkel	1	0,9
TEMPAT KENDARAAN Garasi, gedung parkir	0,9	0,5
GANG DAN TANGGA a. Perumahan/penghunian b. Pendidikan, kantor c. Pertemuan umum, perdagangan, penyimpanan, industri, tempat kendaraan	0,75 0,75 0,9	0,3 0,5 0,5

E. Beban gempa nominal statik ekuivalen (F_i)

Beban gempa nominal statik ekuivalen (F_i) ditentukan berdasarkan ketentuan Pasal 6.1.3 SPKGUSBG-2002, yaitu:

$$F_i = \frac{W_i \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^n (W_i \cdot Z_i)} \cdot V$$

F. Kontrol waktu getar alami gedung beraturan (T_R)

Waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan dikontrol dengan rumus *Rayleigh* sebagai berikut :

$$T_R = 6,3 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (W_i \cdot d_i^2)}{g \cdot \sum_{i=1}^n (F_i \cdot d_i)}}$$

Menurut Pasal 6.2.2 SPKGUSBG-2002, jika nilai waktu getar alami fundamental T_1 menyimpang lebih dari 20% dari nilai T_R , maka beban gempa harus dihitung ulang dari awal.

Data Penelitian

- 1) Gedung perkantoran 3 lantai yang direncanakan dengan sistem elastis penuh dan sistem daktail penuh.
- 2) Asumsi letak gedung di wilayah gempa 3.
- 3) Mutu beton $f'c = 20$ MPa, sedangkan mutu baja tulangan $f_y = 300$ MPa.
- 4) Denah dan bentuk portal yang direncanakan pada Gambar 1.

Alat Bantu Penelitian

- 1) Program SAP 2000 8.08. Program ini adalah program komputer yang digunakan untuk perhitungan analisis struktur portal beton bertulang.
- 2) Program AutoCad. Program ini adalah program komputer untuk penggambaran detail-detail struktur berupa penulangan, denah portal dan lain-lain.

- 3) Program Microsoft Office 2007. Program ini adalah program komputer yang digunakan untuk membuat alur perencanaan tugas ini, menganalisa data, menghitung data serta menyusun tabel -tabel.

Tahapan Penelitian

Penelitian ini diawali dengan perencanaan portal yang dilaksanakan dalam 4 (empat) tahapan, yaitu sebagai berikut :

Tahap 1 : Perencanaan balok, kolom, dan tulangan geser.

Pada tahap ini direncanakan :

- a). Asumsi dimensi awal balok dan kolom.
- b). Analisis beban yang terjadi pada balok dan kolom, terdiri dari beban mati, beban hidup, dan beban gempa.
- c). Analisa mekanika terhadap beban yang terjadi.
- d). Penentuan beban kombinasi.
- e). Penentuan kecukupan dimensi balok, kolom
- f). Perhitungan tulangan geser *joint* (khusus untuk daktail penuh)

Pada tahap ini juga dilakukan analisis mengenai dimensi balok, kolom apakah sudah cukup atau tidak.

Apabila tidak cukup, maka dimensi balok, kolom harus direncanakan ulang dan apabila sudah mencukupi dilanjutkan pada perencanaan penulangan kolom dan balok serta tulangan geser *joint*.

Tahap 2 : Pembuatan gambar detail

Pada penggambaran detail penulangan ini harus sesuai dengan hasil hitungan dan peraturan penulangan yang telah distandarkan oleh peraturan yang berlaku

Tahap 3 : Perhitungan kebutuhan material

Pada tahapan ini dilakukan setelah Penggambaran selesai yang bertujuan untuk mengetahui jumlah material yang dibutuhkan dalam portal yang ditinjau.

Tahap 4 : Perhitungan perbandingan kebutuhan material

Pada tahapan ini dilakukan perhitungan perbandingan dari jumlah material yang dibutuhkan dalam portal yang ditinjau antara prinsip elastic penuh dengan prinsip daktail penuh.

Hasil Penelitian

Tabel 5. Hasil Perhitungan Dimensi Kolom (mm)

Posisi Kolom	elastis penuh	daktail penuh
kolom lt 1	500/500	440/440
kolom lt 2	700/700	660/660
kolom lt 3	800/800	880/880

Tabel 6. Hasil Perhitungan Dimensi Balok (mm)

Posisi Balok	elastis penuh	daktail penuh
balok atap	300/550	250/450
balok lt 2	350/550	300/500
balok lt 1	350/600	300/500

Tabel 7. Hasil Perhitungan Berat Tulangan Pada Balok (kg)

Keterangan	elastis penuh	daktail penuh
beton balok	7,925	5,759
tul memanjang	2186	937,731
begel	175	142,513
Jumlah	2361	1080,244

Tabel 8. Hasil Perhitungan Berat Tulangan Pada Kolom Dan Joint (kg)

Keterangan	elastis penuh	daktail penuh
beton kolom	21,319	21,373
tul memanjang	8122	6378,112
begel	350	329,276
joint	0	165,184
Jumlah	8472	6872,572

Tabel 9. Hasil Perhitungan Total Volume Beton dan Besi Tulangan

Volume	elastis penuh	daktail penuh
beton (m ³)	29,244	27,132
besi (kg)	10833	7952,816

Tabel 10. Hasil Perhitungan Selisih Total Volume Beton dan Besi Tulangan

Keterangan	selisih	(%)
selisih beton (m ³)	2,112	7,784
selisih baja (kg)	2880,184	36,216

Kesimpulan

Dari hasil analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dimensi balok pada sistem elastik penuh dari lantai 1, 2 dan 3 masing-masing 350/600; 350/550 dan 300/550, sedangkan dimensi kolomnya adalah 800/800; 700/700 dan 500/500.
2. Dimensi balok pada sistem daktail penuh dari lantai 1, 2 dan 3 masing-masing 300/500; 300/500 dan 250/450, sedang dimensi kolomnya adalah 880/880; 660/660 dan 440/440.
3. Volume material beton pada sistem elastik penuh diperoleh sebesar 29,444 m³ dan volume besi diperoleh sebesar 10833 kg.
4. Volume material beton pada sistem daktail penuh diperoleh sebesar 27,132 m³ dan volume besi diperoleh sebesar 7952,816 kg.
5. Perbandingan kebutuhan material pada sistem elastis penuh dengan sistem daktail penuh memiliki selisih sebesar 7,78 % untuk beton dan 36,22 % untuk besi tulangan.
6. Kebutuhan material untuk sistem daktail penuh lebih efisien daripada sistem elastis penuh.

Daftar Pustaka

- Anonim, (1989), *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*, SNI 03-1727-1989, Dewan Standarisasi Nasional, Jakarta
- Anonim, (2002), *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*, SNI-1726-2002, Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah, Badan Penelitian Dan pengembangan permukiman Dan Prasarana Wilayah, Pusat Penelitian Dan Pengembangan Teknologi Permukiman, Bandung
- Asroni, A., (2009), *Struktur Beton Lanjut*, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta
- Asroni, A., (2010), *Balok dan Plat Beton Bertulang*, Graha Ilmu, Yogyakarta
- Asroni, A., (2010), *Kolom, Fondasi dan Balok 'T' Beton Bertulang*, Graha Ilmu, Yogyakarta
- Departemen Pekerjaan Umum, (2002), *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002*, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung
- Janwar, R.A., (2013), *Kebutuhan Material Pada Perencanaan Portal Beton Bertulang Dengan Sistem Daktail Penuh Di Wilayah Gempa Tiga*. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta
- Putranto, G.B., (2013), *Kebutuhan Material Pada Perencanaan Portal Beton Bertulang Dengan Sistem Elastik Penuh Di Wilayah Gempa Tiga*. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta
- Suprayogi, (1991), *Cara Praktis Perencanaan Kolom Beton Bertulang Berdasarkan Pedoman Beton 1989, Jurusan Teknik Sipil*, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta