

KEBUTUHAN MATERIAL PADA PERENCANAAN PORTAL GEDUNG BETON BERTULANG DI WILAYAH GEMPA 1 DENGAN SISTEM ELASTIK DAN DAKTAIL PENUH

Ali Asroni

Program Studi Magister Teknik Sipil Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417
Email : ali.asroni@yahoo.co.id

Abstrak

Tujuan penelitian ini untuk memperoleh perbandingan antara hasil perencanaan portal beton bertulang yang direncanakan dengan sistem elastik penuh dan daktail penuh dalam hal kebutuhan volume beton dan berat tulangan. Pada penelitian ini direncanakan struktur portal tiga lantai untuk gedung perkantoran yang terletak di wilayah gempa satu dengan dua sistem perencanaan. Perencanaan pertama menggunakan sistem elastik penuh, dan perencanaan kedua menggunakan sistem daktail penuh. Kombinasi beban (beban mati, beban hidup, dan beban gempa) diberikan pada portal-portal untuk diteliti. Kombinasi beban tersebut mengikuti peraturan beton di Indonesia (Tatacara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, SNI 03-2847-2002). Dimensi portal (balok, kolom, sloof, dan fondasi) serta penulangannya direncanakan dengan baik/cukup untuk mendukung beban-beban yang bekerja. Berdasarkan dimensi dan penulangan portal yang diperoleh, maka dapat dibandingkan jumlah volume beton dan berat tulangan yang dibutuhkan pada kedua sistem perencanaan tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa volume beton yang diperlukan untuk pembuatan portal (pembuatan balok, kolom, sloof, dan fondasi) pada perencanaan dengan sistem elastik penuh lebih boros daripada perencanaan dengan sistem daktail penuh, dengan kelipatan 1,280 kali, sedangkan berat tulangan yang diperlukan pada perencanaan dengan sistem elastik penuh sedikit lebih hemat daripada perencanaan dengan sistem daktail penuh, dengan kelipatan 0,996 kali.

Kata kunci : berat tulangan; daktail penuh; elastik; portal; volume beton

PENDAHULUAN

Bangunan gedung tiga atau empat lantai dengan struktur beton bertulang, saat ini banyak diminati oleh masyarakat di kota-kota yang tidak terlalu besar (Surakarta, Klaten, dan kota-kota di luar Pulau Jawa), baik untuk gedung hunian, sekolah, maupun kantor. Keadaan ini dapat dimaklumi, karena biaya pemba-ngunan gedung tiga atau empat lantai masih relatif murah (terjangkau oleh ma-syarakat), dan belum diperlukan lift.

Perencanaan gedung tahan gempa di Indonesia dilaksanakan dengan 3 sistem, yaitu: sistem elastik penuh, daktail parsial, dan daktail penuh. Pada perencanaan dengan sistem elastik penuh, struktur beton sepenuhnya berperilaku elastis dengan beban gempa nominal dihitung berdasarkan faktor reduksi gempa (R) = 1,6. Sistem ini umumnya sesuai dengan gedung yang dibangun di wilayah yang beresiko gempa kecil (wilayah gempa 1 atau 2). Pada perencanaan dengan sistem daktail parsial, struktur beton berada pada kondisi liat terbatas dengan faktor R = 2,4 sampai dengan 8,0. Sistem ini umumnya sesuai dengan gedung yang beresiko gempa menengah (wilayah gempa 3 atau 4). Adapun pada perencanaan dengan sistem daktail penuh, struktur beton berada pada kondisi betul-betul liat dengan faktor R = 8,5. Sistem ini umumnya sesuai dengan gedung yang ber-resiko gempa tinggi (wilayah gempa 5 atau 6). Faktor reduksi gempa R akan berpengaruh pada besar-kecil beban gempa yang bekerja membebani portal, sehingga berakibat pada besar-kecil dimensi portal gedung yang direncanakan, baik dimensi balok, kolom, maupun fondasi.

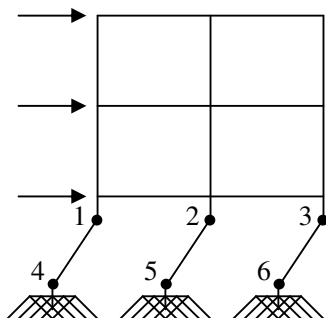
Mengingat struktur portal gedung dengan tiga atau empat lantai tersebut banyak diminati oleh masyarakat, dan perencanaan gedung dapat dipilih salah satu dari tiga sistem perencanaan, maka perlu diteliti tentang kebutuhan material (beton dan baja tulangan) pada portal gedung yang direncanakan dengan sistem elastik penuh dan daktail penuh. Penelitian dilaksanakan dengan mengambil contoh portal gedung yang cukup sederhana, yaitu gedung kantor tiga lantai dengan resiko gempa kecil, atau gedung yang dibangun di wilayah gempa 1.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh nilai perbandingan hasil perencanaan portal beton bertulang yang direncanakan dengan sistem elastik penuh dan daktail penuh pada gedung perkantoran tiga lantai di wilayah gempa 1. Perbandingan ditinjau dari segi kebutuhan volume beton dan berat tulangan yang dipakai. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan kajian kelayakan pada perencanaan portal dengan sistem elastik penuh dan daktail

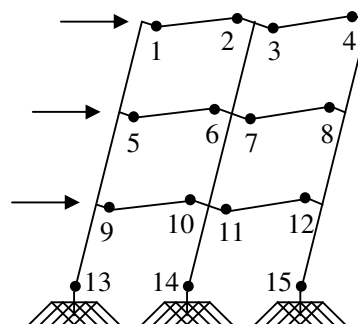
penyempurnaan di wilayah gempa 1, dan/atau dapat digunakan sebagai gambaran tentang seberapa besar perbandingan hasil kebutuhan material (beton dan baja tulangan) dari kedua sistem perencanaan yang ditinjau.

Jika pada portal 3 lantai bekerja beban horisontal, portal akan memberikan respons berupa deformasi sehingga bentuk portal menjadi miring/condong yang arahnya sesuai dengan arah beban yang bekerja. Jika beban bekerja dengan arah bolak-balik (bergantian ke kanan dan ke kiri), portal juga bergantian miring ke kanan dan ke kiri. Akibat dari beban bolak-balik ini, pada *joint* terjadi saling adu kekuatan antara balok dan kolom dari portal sehingga dapat terjadi salah satu dari dua kemungkinan, yaitu: balok kuat kolom lemah atau kolom kuat balok lemah.

Untuk kemungkinan pertama (balok kuat kolom lemah), akan terjadi retak (terjadi leleh lentur dan terbentuk sendi plastis) pada kolom lebih dahulu sebelum balok. Keadaan paling berbahaya apabila terjadi 6 buah retak pada ujung-ujung kolom lantai paling bawah seperti ditunjukkan pada Gambar 1, karena portal akan runtuh. Untuk kemungkinan kedua (kolom kuat balok lemah), akan terjadi retak (terbentuk sendi plastis) pada balok lebih dahulu sebelum kolom. Keadaan paling berbahaya apabila terjadi 15 buah retak pada semua ujung-ujung balok seperti ditunjukkan pada Gambar 2, karena portal akan runtuh.

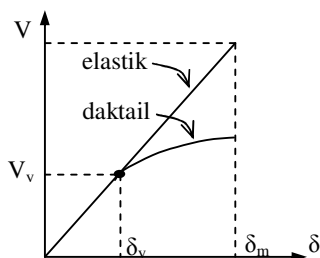


Gambar 1. Balok kuat kolom lemah, runtuh dengan 6 sendi plastis



Gambar 2. Balok kuat kolom lemah, runtuh dengan 15 sendi plastis

Portal pada Gambar 1 ini dikatakan sebagai portal yang mudah runtuh atau bersifat getas (elastik) karena runtuh dengan sedikit (6 buah) sendi plastis, sedangkan portal pada Gambar 2 tidak mudah runtuh atau bersifat liat (daktail) karena runtuh dengan banyak (15 buah) sendi plastis. Menurut Pasal 4.3.1 SPKGUSBG-2002, keliatan suatu struktur (portal) dinyatakan dengan faktor daktilitas (μ) yang merupakan rasio antara simpangan maksimal struktur pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan (δ_m) dan simpangan struktur tersebut pada saat terjadi leleh awal (δ_y). Besar simpangan (δ) yang timbul bergantung pada besar beban horisontal (V) yang bekerja pada struktur, seperti dilukiskan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan antara V dan δ

Lihat Gambar 3:

Untuk portal bersifat elastik, pada saat tercapai simpangan maksimal sebesar δ_m , maka portal akan runtuh. Keadaan ini berarti simpangan leleh awal δ_y dan simpangan maksimal δ_m terjadi pada saat sama ($\delta_y = \delta_m$).

Jadi, faktor daktilitas $\mu = \delta_m / \delta_y = 1$.

Untuk portal yang bersifat daktail, pada saat terjadi simpangan leleh awal δ_y portal belum runtuh, dan pada saat tercapai simpangan maksimal δ_m portal akan runtuh ($\delta_y < \delta_m$). Jadi, faktor daktilitas $\mu = \delta_m / \delta_y > 1$.

Gempa yang melanda suatu bangunan gedung berupa beban horisontal dengan arah bolak-balik, yang menggoncang bagian dasar struktur gedung. Menurut Pasal 6.1.2 SPKGUSBG-2002, beban gempa nominal yang melanda suatu gedung sederhana dengan bentuk simetris dapat ditentukan berdasarkan analisis statik ekuivalen dengan persamaan :

$$V = (C.I/R).W_t \tag{1}$$

- dengan: V = beban geser dasar nominal akibat gempa, kN.
 C = faktor respons gempa.
 I = faktor keutamaan sesuai fungsi gedung.
 R = faktor reduksi gempa.
 W_t = berat total bangunan gedung, kN.

Faktor reduksi gempa (R) ini bergantung pada taraf kinerja struktur gedung atau sistem perencanaan portal gedung yang akan dipakai. Menurut SPKGUSBG-2002, portal gedung yang direncanakan dengan sistem elastik penuh diambil nilai $R = 1,6$; sedangkan sistem daktail penuh diambil nilai $R = 8,5$.

Pada perencanaan dengan sistem elastik penuh, beban gempa yang diambil sangat besar (lihat Persamaan (1) dengan $R = 1,6$), sehingga penulangan dan dimensi portal yang dipakai juga harus besar. Di samping itu, penulangan dan dimensi portal hanya diperhitungkan terhadap beban perlu (yaitu beban maksimal dari kombinasi antara beban mati, beban hidup, dan beban gempa) yang bekerja pada portal. Dengan demikian, perencanaan ini tidak dapat menjamin bahwa kolom lebih kuat daripada balok atau portal bersifat elastis dan mudah roboh.

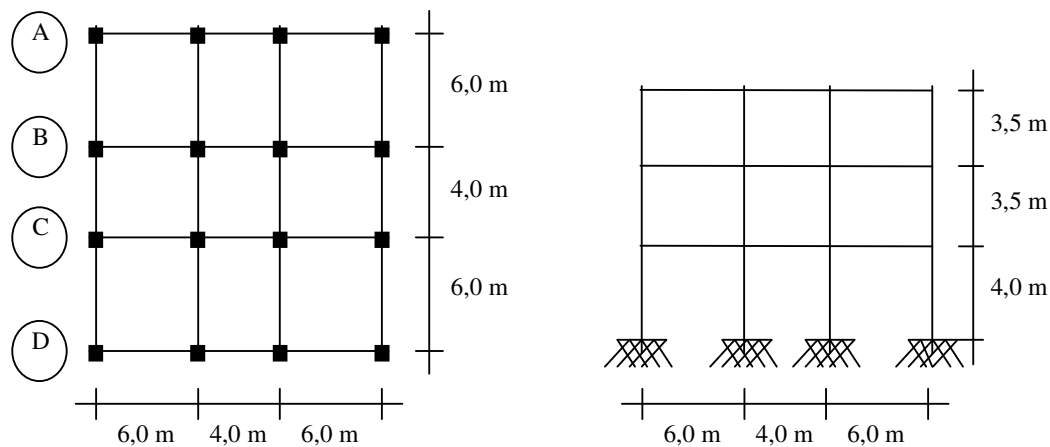
Pada perencanaan dengan sistem daktail penuh, beban gempa yang diambil cukup kecil (lihat Persamaan (1) dengan $R = 8,5$). Namun demikian jika terjadi gempa yang besar, portal harus dapat menjamin bahwa kolom lebih kuat daripada balok atau portal bersifat daktail dan tidak mudah roboh. Sistem perencanaan portal ini dapat dilaksanakan dengan cara berikut:

- 1). Dimensi dan penulangan semua balok direncanakan / dihitung lebih dahulu berdasarkan beban perlu yang bekerja pada balok sampai selesai.
- 2). Dimensi dan penulangan kolom, selain direncanakan berdasarkan beban perlu yang bekerja pada kolom, juga harus mempertimbangkan terjadinya sendi plastis (momen kapasitas) pada semua ujung balok.
- 3). *Joint* (pertemuan balok dan kolom) harus diberi tulangan geser horisontal dan vertikal agar lebih kuat daripada balok maupun kolom di sekitarnya.

METODE PENELITIAN

Sebagai bahan (materi) penelitian, yaitu Portal B (lihat Gambar 4) dari gedung dengan ketentuan berikut:

- 1). Gedung berfungsi sebagai gedung kantor, dibangun di wilayah gempa 1, dan direncanakan dengan sistem elastik penuh serta daktail penuh.
- 2). Dipakai mutu beton $f_c' = 20$ MPa, baja tulangan $f_y = 350$ MPa.
- 3). Dipakai fondasi telapak menerus, berat tanah di atas fondasi $\gamma_t = 17,3$ kN/m³, daya dukung tanah pada kedalaman -1,60 m (σ_t) = 175 kPa.
- 4). Atap digunakan pelat lantai beton bertulang dengan tebal 90 mm.
- 5). Sekat-sekat antar ruangan digunakan dinding dengan berat 18 kN/m³.
- 6). Dimensi portal (awal): balok 300/500, kolom 450/450.
Dimensi portal ini dapat berubah berdasarkan kecukupan dimensi terhadap beban-beban yang bekerja, dan tidak terlalu boros.



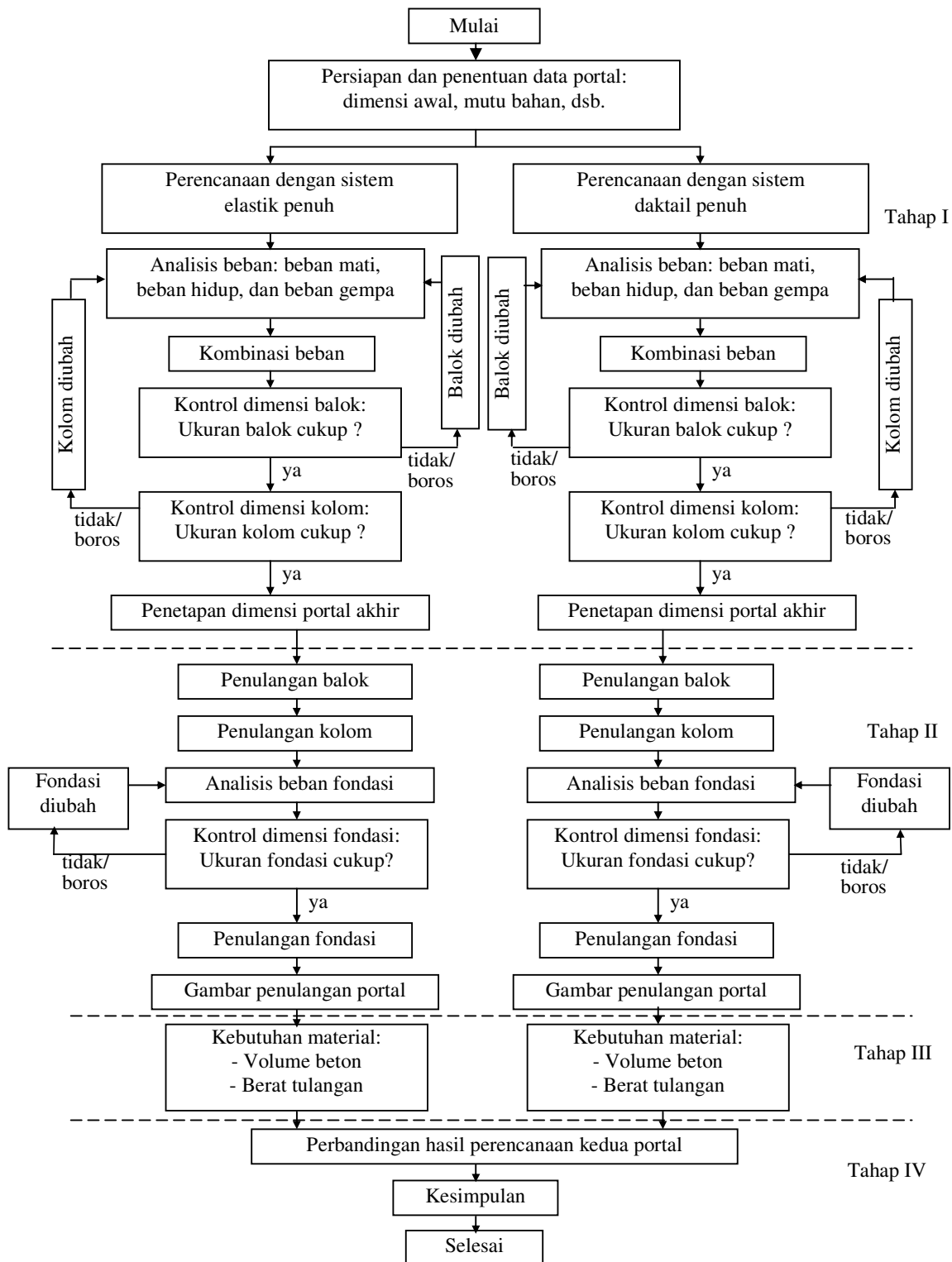
(a). Denah bangunan (b). Bentuk portal

Gambar 4. Denah bangunan dan bentuk portal

Penelitian dilaksanakan dalam 4 (empat) tahap sebagai berikut:

- 1). Tahap I : Penentuan dimensi portal (pada 2 sistem perencanaan).
- 2). Tahap II : Perencanaan portal (dengan 2 sistem perencanaan).
- 3). Tahap III : Perhitungan kebutuhan material (pada 2 sistem perencanaan).
- 4). Tahap IV : Analisis data dan kesimpulan.

Tahap penelitian tersebut dilukiskan dalam bentuk bagan alir seperti disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Bagan alir penelitian

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Penentuan dimensi portal

Hasil analisis dari kombinasi beban (beban mati, beban hidup, dan beban gempa) terhadap dimensi portal awal (semua balok 300/500, semua kolom 450/450), diperoleh momen dan gaya aksial perlu seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Momen dan gaya aksial perlu pada balok maupun kolom pada dua sistem perencanaan portal awal

Jenis struktur	Letak struktur	Beban perlu pada sistem perencanaan elastik penuh		Beban perlu pada sistem perencanaan daktail penuh	
		P _u (kN)	M _u (kNm)	P _u (kN)	M _u (kNm)
Balok	Lantai 2	--	199,51	--	121,87
	Lantai 3	--	169,73	--	120,77
	Atap	--	80,92	--	66,25
Kolom	Lantai 1	725,37	214,08	665,63	108,25
	Lantai 2	425,13	144,25	450,57	110,70
	Lantai 3	142,43	93,78	144,28	77,60

Berdasarkan beban perlu pada Tabel 1, ternyata sebagian besar dari dimensi balok 300/500 maupun kolom 450/450 yang dipakai pada portal awal terlalu besar, sehingga diperkecil menjadi berikut:

- 1). Untuk perencanaan dengan sistem elastik penuh, ditetapkan balok lantai 2 dengan dimensi 300/500, balok lantai 3 dengan 300/450, balok lantai atap dengan 250/400, kolom lantai 1 dengan dimensi 400/400, kolom lantai 2 dengan 380/380, dan kolom lantai 3 dengan 350/350.
- 2). Untuk perencanaan dengan sistem daktail penuh, ditetapkan balok lantai 2 dengan dimensi 250/400, balok lantai 3 dengan 250/350, balok lantai atap dengan 200/350, kolom lantai 1 dengan dimensi 320/320, kolom lantai 2 dengan 300/300, dan kolom lantai 3 dengan 290/290.

Perbandingan rata-rata dimensi balok antara sistem elastik penuh dan sistem daktail penuh diperoleh nilai sebesar (300x500 + 300x450 + 250x400) berbanding (250x400 + 250x350 + 200x350) atau sebesar 1,495 : 1. Di samping itu, diperoleh perbandingan rata-rata dimensi kolom sebesar (400x400 + 380x380 + 350x350) berbanding (320x320 + 300x300 + 290x290) atau sebesar 1,544 : 1.

2. Tingkat keborosan hasil perencanaan

Tingkat keborosan hasil perencanaan dapat diketahui dari hasil hitungan tulangan terpasang pada portal, yaitu dengan menghitung momen rencana M_r dibagi dengan momen perlu M_u yang bekerja pada portal (M_r/M_u). Hasil perencanaan dimasukkan dalam kategori hemat atau boros apabila nilai M_r/M_u secara berturut-turut diperoleh berikut: 1,01 sampai dengan 1,20 termasuk kategori sangat hemat, 1,21 sampai dengan 1,40 termasuk kategori hemat, 1,41 sampai dengan 1,60 termasuk kategori sedang, 1,61 sampai dengan 1,80 termasuk kategori boros, dan lebih besar dari 1,80 termasuk kategori sangat boros.

Nilai perbandingan M_r/M_u pada balok, kolom, dan fondasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tingkat keborosan hasil perencanaan

No	Jenis struktur	Sistem elastik penuh			Sistem daktail penuh			Perbandingan n=(1)/(2)
		M _u (kNm)	M _r (kNm)	M _r /M _u (1)	M _u (kNm)	M _r (kNm)	M _r /M _u (2)	
A. Balok								
1	Balok atap	517,30	891,78	1,724	534,08	881,80	1,651	1,044
2	Balok Lt.3	1308,57	1836,23	1,403	1065,64	1420,78	1,333	1,053
3	Balok Lt.2	1758,04	2281,16	1,298	1133,22	1467,14	1,295	1,002
Jumlah sub A		3583,91	5009,17	1,398	2732,94	3769,72	1,379	1,014
B. Kolom								
4	Kolom Lt.3	155,09	169,64	1,094	126,85	142,69	1,125	0,972
5	Kolom Lt.2	267,55	282,87	1,057	191,92	192,59	1,003	1,054
6	Kolom Lt.1	333,49	341,17	1,023	223,63	230,23	1,030	0,993
Jumlah sub B		756,13	798,68	1,050	542,40	565,51	1,043	1,007
C. Sloof								
7	Sloof tepi (2bh)	2595,76	2841,56	1,095	3954,04	4901,18	1,240	0,883
8	Sloof tengah	1471,05	1672,63	1,137	2120,26	2411,06	1,137	1,000
Jumlah sub C		4066,81	4514,19	1,110	6074,30	7312,24	1,204	0,922
Jumlah sub A+B+C		8406,85	10322,04	1,228	9349,64	11647,47	1,246	0,986

Dari Tabel 2 dapat diketahui beberapa hal sebagai berikut:

- 1). Pada perencanaan balok atap, balok lantai 3, dan balok lantai 2 diperoleh nilai rata-rata M_r/M_u sebesar 1,398 pada sistem elastik penuh, dan 1,379 pada sistem daktail penuh, berarti kedua sistem perencanaan termasuk dalam kategori hemat. Perbandingan nilai M_r/M_u antara perencanaan dengan sistem elastik penuh dan daktail penuh diperoleh $n = 1,014$ sehingga sistem elastik penuh sedikit lebih boros daripada sistem daktail penuh.
- 2). Pada perencanaan kolom lantai 3, lantai 2, dan lantai 1 diperoleh nilai rata-rata M_r/M_u sebesar 1,050 pada sistem elastik penuh, dan 1,043 pada sistem daktail penuh, berarti kedua sistem perencanaan termasuk dalam kategori sangat hemat. Perbandingan nilai M_r/M_u antara perencanaan dengan sistem elastik penuh dan daktail penuh diperoleh $n = 1,007$ sehingga sistem elastik penuh sedikit lebih boros daripada sistem daktail penuh.
- 3). Pada perencanaan *sloof* diperoleh nilai rata-rata M_r/M_u sebesar 1,110 pada sistem elastik penuh, dan 1,204 pada sistem daktail penuh, berarti kedua sistem perencanaan termasuk dalam kategori sangat hemat. Perbandingan nilai M_r/M_u antara perencanaan dengan sistem elastik penuh dan daktail penuh diperoleh $n = 0,922$ sehingga sistem elastik penuh lebih hemat daripada sistem daktail penuh.
- 4). Pada perencanaan portal keseluruhan (balok, kolom, dan *sloof*) diperoleh nilai rata-rata M_r/M_u sebesar 1,228 pada sistem elastik penuh, dan 1,246 pada sistem daktail penuh, berarti kedua sistem perencanaan termasuk dalam kategori hemat. Perbandingan nilai M_r/M_u antara perencanaan dengan sistem elastik penuh dan daktail penuh diperoleh $n = 0,986$ sistem elastik penuh sedikit lebih hemat daripada sistem daktail penuh.

3. Kebutuhan volume beton dan berat tulangan

Kebutuhan volume beton (bersih) dan berat tulangan (bersih) yang diperoleh dari perencanaan portal dengan sistem elastik penuh dan sistem daktail penuh disajikan pada Tabel 3. Karena tulangan *joint* pada perencanaan dengan sistem elastik penuh tidak diperhitungkan, maka berat tulangan *joint* pada Tabel 3 tidak diisi (kosong), sedangkan pada sistem daktail penuh diperhitungkan berat total tulangan *joint* sebesar 0,211 ton.

Tabel 3. Kebutuhan volume beton dan berat tulangan

Jenis struktur	Sistem elastik penuh		Sistem daktail penuh		Perbandingan	
	Vol. be-ton (m ³)	Berat tul. (ton)	Vol. be-ton (m ³)	Berat tul. (ton)	Volume beton	Berat tulangan
	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)/(3)	(2)/(4)
A. Balok						
Balok atap	1,495	0,197	1,050	0,233	1,424	0,845
Balok Lt.3	2,006	0,319	1,284	0,372	1,562	0,858
Balok Lt.2	2,220	0,336	1,478	0,397	1,502	0,846
Jumlah sub A	5,721	0,852	3,812	1,002	1,501	0,850
B. Kolom						
Kolom Lt.3	1,507	0,613	1,060	0,767	1,422	0,799
Kolom Lt.2	1,747	0,792	1,100	0,905	1,588	0,875
Kolom Lt.1	2,400	1,011	1,556	0,487	1,542	2,076
Kolom dlm tanah	0,512	0,456	0,348	0,393	1,471	1,160
Jumlah sub B	6,166	2,872	4,064	2,552	1,517	1,125
C. Joint						
Joint M dan P	0,098	--	0,091	--	1,077	--
Joint N dan O	0,098	--	0,072	--	1,361	--
Joint I dan L	0,130	--	0,202	--	0,644	--
Joint J dan K	0,130	--	0,148	--	0,878	--
Joint E dan H	0,160	--	0,141	--	1,135	--
Joint F dan G	0,160	--	0,128	--	1,250	--
Jumlah sub C	0,776	--	0,782	0,211	0,992	--
D. Fondasi, sloof						
Fondasi	3,666	0,222	3,526	0,211	1,040	1,052
Sloof	5,248	0,813	4,668	0,801	1,124	1,015
Jumlah sub D	8,914	1,035	8,194	1,012	1,088	1,023
Jumlah sub A+B+C+D	21,577	4,759	16,852	4,777	1,280	0,996

Dari Tabel 3 dapat diketahui kebutuhan volume beton sebagai berikut:

- 1). Untuk balok atap, balok lantai 3, dan balok lantai 2 diperoleh jumlah total volume beton sebesar $5,721 \text{ m}^3$ pada sistem elastik penuh, dan $3,812 \text{ m}^3$ pada sistem daktail penuh. Perbandingan volume beton antara perencanaan dengan sistem elastik penuh dan daktail penuh diperoleh $n = 1,501$. Jadi, sistem elastik penuh lebih boros daripada sistem daktail penuh.
- 2). Untuk kolom lantai 3, lantai 2, dan lantai 1 diperoleh jumlah total volume beton sebesar $6,166 \text{ m}^3$ pada sistem elastik penuh, dan $4,064 \text{ m}^3$ pada sistem daktail penuh. Perbandingan volume beton antara perencanaan dengan sistem elastik penuh dan daktail penuh diperoleh $n = 1,517$. Jadi, sistem elastik penuh lebih boros daripada sistem daktail penuh.
- 3). Untuk semua *joint* diperoleh jumlah total volume beton sebesar $0,776 \text{ m}^3$ pada sistem elastik penuh, dan $0,782 \text{ m}^3$ pada sistem daktail penuh. Perbandingan volume beton antara perencanaan dengan sistem elastik penuh dan daktail penuh diperoleh $n = 0,992$. Jadi, sistem elastik penuh sedikit lebih hemat daripada sistem daktail penuh.
- 4). Untuk fondasi dan *sloof* diperoleh jumlah total volume beton sebesar $8,914 \text{ m}^3$ pada sistem elastik penuh, dan $8,194 \text{ m}^3$ pada sistem daktail penuh. Perbandingan volume beton antara perencanaan dengan sistem elastik penuh dan daktail penuh diperoleh $n = 1,088$. Jadi, sistem elastik penuh sedikit lebih boros daripada sistem daktail penuh.
- 5). Kebutuhan volume beton keseluruhan (balok, kolom, *joint*, fondasi, dan *sloof*) diperoleh sebesar $21,577 \text{ m}^3$ pada sistem elastik penuh, dan $16,852 \text{ m}^3$ pada sistem daktail penuh. Perbandingan volume beton antara perencanaan dengan sistem elastik penuh dan daktail penuh diperoleh $n = 1,280$. Jadi, sistem elastik penuh lebih boros daripada sistem daktail penuh.

Dari Tabel 3 juga dapat diketahui kebutuhan berat tulangan sebagai berikut:

- 1). Untuk balok atap, balok lantai 3, dan balok lantai 2 diperoleh jumlah total berat tulangan sebesar $0,852 \text{ ton}$ pada sistem elastik penuh, dan $1,501 \text{ ton}$ pada sistem daktail penuh. Perbandingan volume beton antara perencanaan dengan sistem elastik penuh dan daktail penuh diperoleh $n = 0,850$. Jadi, sistem elastik penuh lebih hemat daripada sistem daktail penuh.
- 2). Untuk kolom lantai 3, lantai 2, dan lantai 1 diperoleh jumlah total berat tulangan sebesar $2,872 \text{ ton}$ pada sistem elastik penuh, dan $2,552 \text{ ton}$ pada sistem daktail penuh. Perbandingan volume beton antara perencanaan dengan sistem elastik penuh dan daktail penuh diperoleh $n = 1,125$. Jadi, sistem elastik penuh lebih boros daripada sistem daktail penuh.
- 3). Untuk semua fondasi dan *sloof* diperoleh jumlah total berat tulangan sebesar $1,035 \text{ ton}$ pada sistem elastik penuh, dan $1,012 \text{ ton}$ pada sistem daktail penuh. Perbandingan volume beton antara perencanaan dengan sistem elastik penuh dan daktail penuh diperoleh $n = 1,023$. Jadi, sistem elastik penuh sedikit lebih boros daripada sistem daktail penuh.
- 4). Kebutuhan berat tulangan keseluruhan (balok, kolom, *joint*, fondasi, dan *sloof*) diperoleh sebesar $4,759 \text{ ton}$ pada sistem elastik penuh, dan $4,777 \text{ ton}$ pada sistem daktail penuh. Perbandingan volume beton antara perencanaan dengan sistem elastik penuh dan daktail penuh diperoleh $n = 0,996$. Jadi, sistem elastik penuh sedikit lebih hemat daripada sistem daktail penuh.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan terhadap portal gedung kantor beton bertulang tiga lantai di wilayah gempa satu untuk model yang ditinjau berdasarkan perencanaan dengan sistem elastik penuh dan sistem daktail penuh, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1). Hasil perencanaan kedua portal, baik dengan sistem elastik penuh maupun sistem daktail penuh, termasuk dalam kategori hemat.
- 2). Meskipun hasil perencanaan portal dengan sistem elastik penuh lebih hemat daripada sistem daktail penuh, ternyata masih memberikan dimensi portal yang lebih besar.
- 3). Ukuran balok pada portal dengan sistem elastik penuh lebih besar daripada portal dengan sistem daktail penuh, dengan kelipatan 1,495 kali.
- 4). Ukuran kolom pada portal dengan sistem elastik penuh lebih besar daripada portal dengan sistem daktail penuh, dengan kelipatan 1,544 kali.
- 5). Kebutuhan total volume beton untuk portal dengan sistem elastik penuh lebih besar daripada sistem daktail penuh, dengan kelipatan 1,280 kali.
- 6). Kebutuhan total berat tulangan (bersih) untuk portal dengan sistem elastik penuh sedikit lebih kecil daripada sistem daktail penuh, dengan kelipatan 0,996 kali.

Saran yang perlu diperhatikan terutama bagi para perencana struktur bangunan gedung, yaitu:

- 1). Pada perencanaan struktur bangunan gedung, perlu ditinjau tingkatan daktilitas dari struktur yang akan dipakai, agar dapat dihasilkan perencanaan yang ekonomis dan dapat dipertanggungjawabkan.
- 2). Untuk perencanaan portal gedung beton bertulang tiga lantai di wilayah gempa 1 sesuai dengan model struktur yang ditinjau, akan lebih baik/hemat jika direncanakan dengan sistem daktail penuh, karena mempunyai beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan sistem elastik penuh, yaitu:

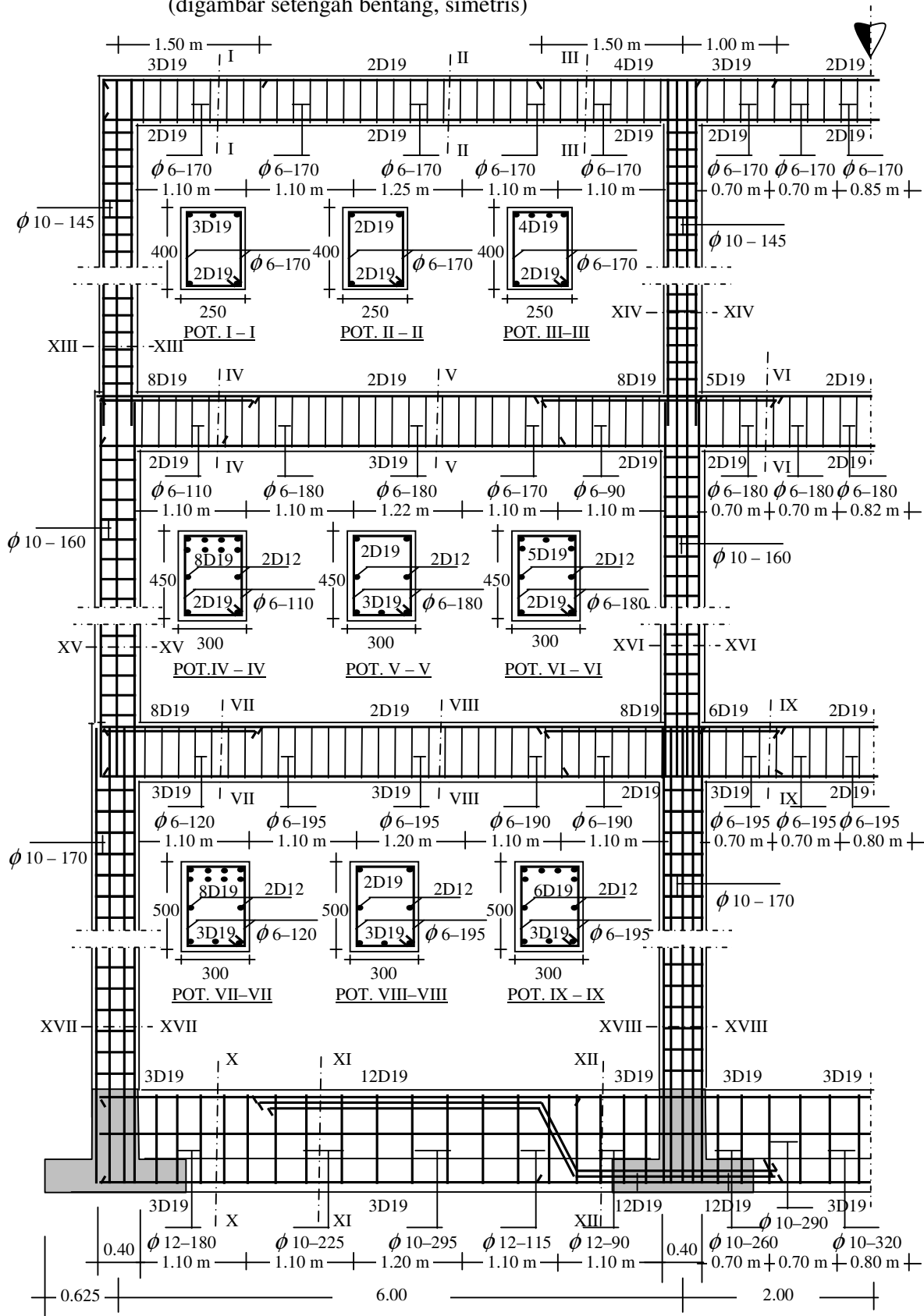
- a). Ukuran balok lebih kecil, yaitu $1/1,495 = 66,89\%$.
- b). Ukuran kolom lebih kecil, yaitu $1/1,549 = 64,56\%$.
- c). Kebutuhan volume beton sedikit, yaitu $1/1,280 = 78,13\%$.
- d). Kebutuhan tulangan hampir sama, yaitu $1/0,996 = 100,40\%$.

Akhirnya, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini, mulai dari proses pengajuan proposal sampai dengan selesainya penulisan laporan hasil penelitian.

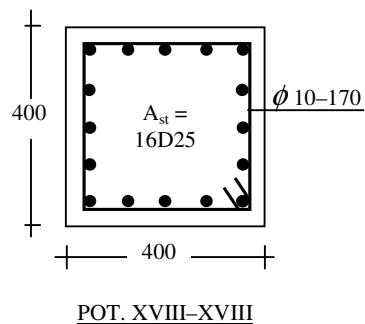
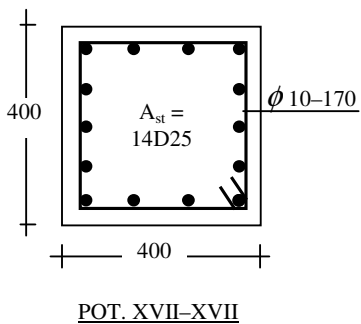
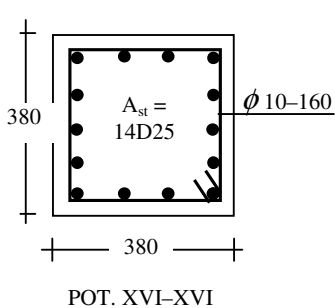
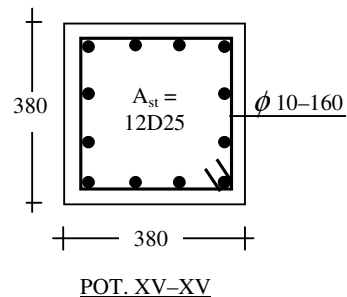
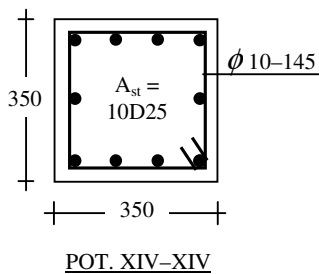
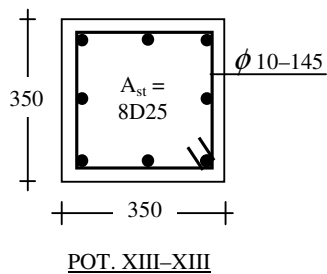
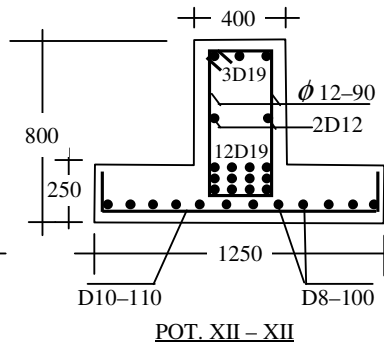
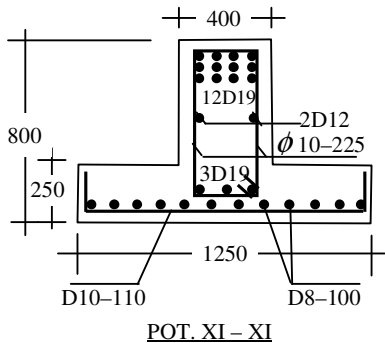
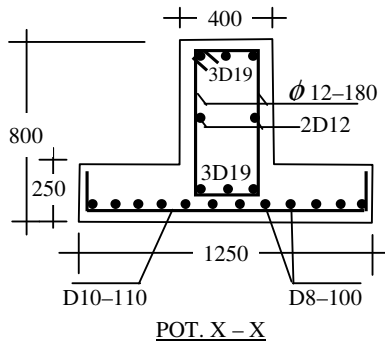
DAFTAR PUSTAKA

-, 2002. *Tatacara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, SK SNI 03-2847-2002, Panitia Teknik Standardisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan, Bandung.
- Asroni, A. 2009. *Struktur Beton Lanjut*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Asroni, A. 2010. *Balok Dan Pelat Beton Bertulang*, Cetakan pertama, P.T. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Asroni, A. 2010. *Kolom, Fondasi Dan Balok "T" Beton Bertulang*, Cetakan pertama, P.T. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- DPMB, 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia Tahun 1971*, PBI-1971, Dinas Pekerjaan Umum, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- DSN, 1989. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung*, SNI 03-1727-1989, UDC, Dewan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Kardiyono dan Budihardjo, 1980. *Distribusi Momen Dengan Cara C.T. Morris (Cara Cross Pada Portal Dengan Satu Tabel)*, Teknik Sipil, UGM, Yogyakarta.
- Kardiyono, 1981. *Teknologi Gempa*, Bahan Kuliah Teknik Sipil, UGM, Yogyakarta.
- Kimpraswil, 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*, Departemen Pemukiman Dan Prasarana Wilayah, Badan Penelitian Dan Pengembangan Pemukiman Dan Prasarana Wilayah, Pusat Penelitian Dan Pengembangan Tek-nologi Pemukiman, Bandung.
- Vis, W.C. dan Kusuma, G.H., 1993. *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03*, Seri Beton 1, Penerbit Erlangga, Jakarta.

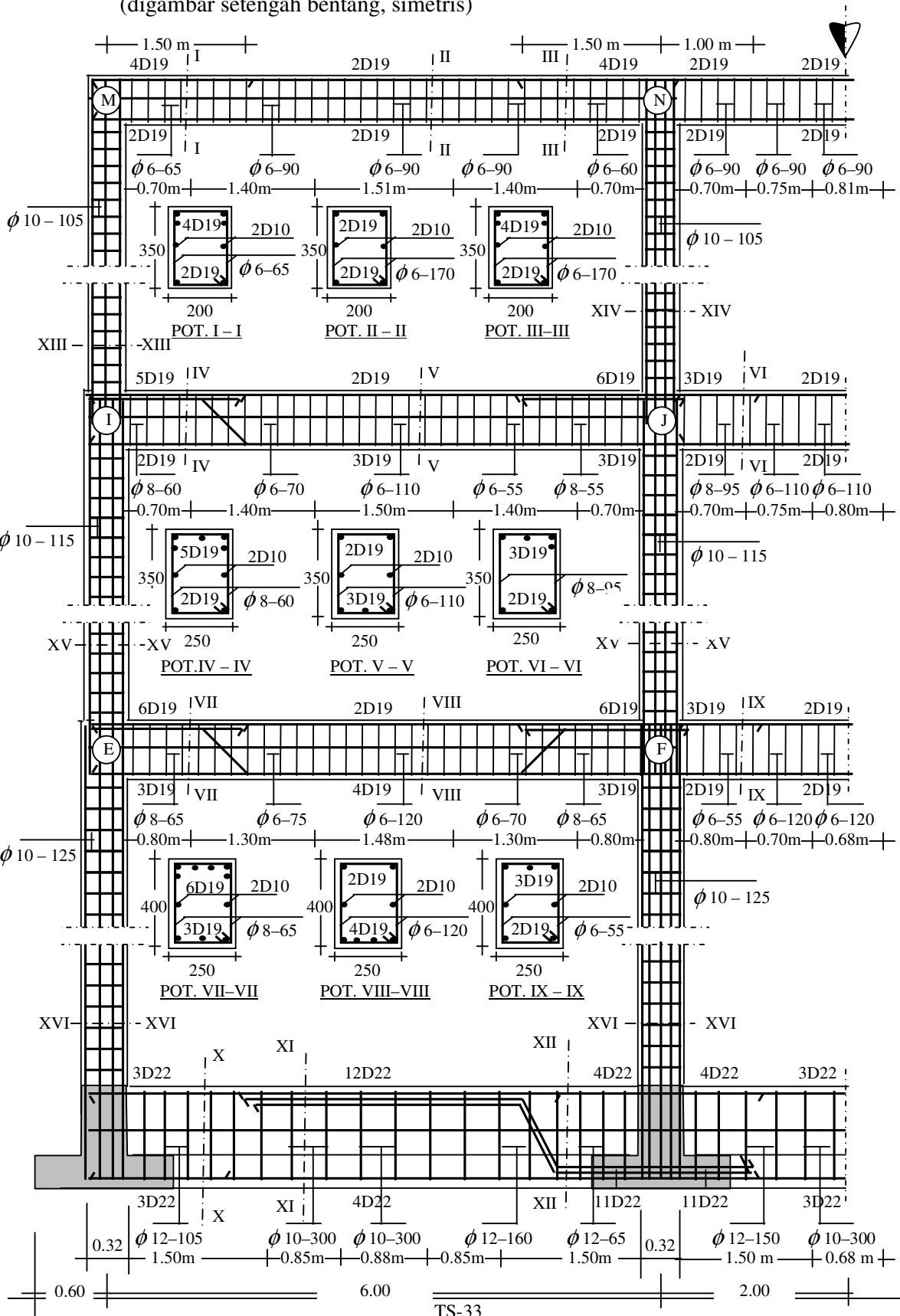
Lampiran 1. Penulangan Portal Dengan Perencanaan Sistem Elastik Penuh
(digambar setengah bentang, simetris)



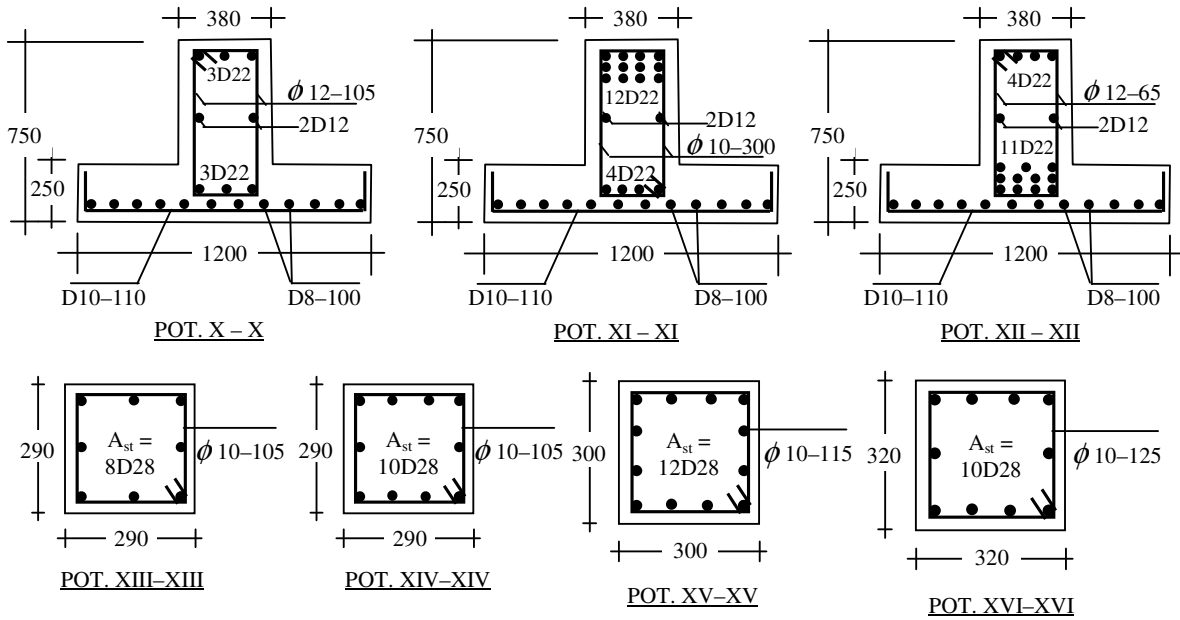
Lampiran 1. (lanjutan)



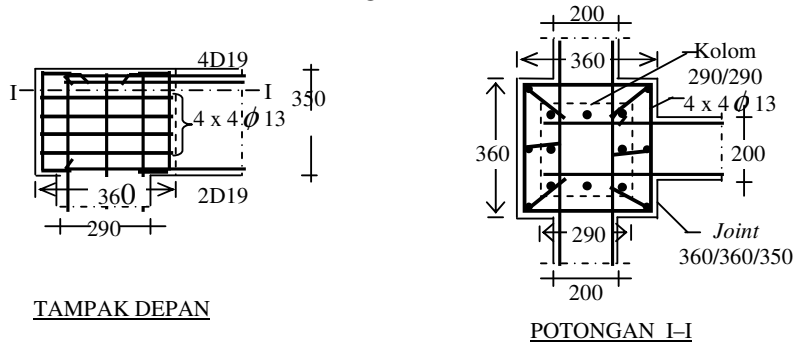
Lampiran 2. Penulangan Portal Dengan Perencanaan Sistem Daktail Penuh (digambar setengah bentang, simetris)



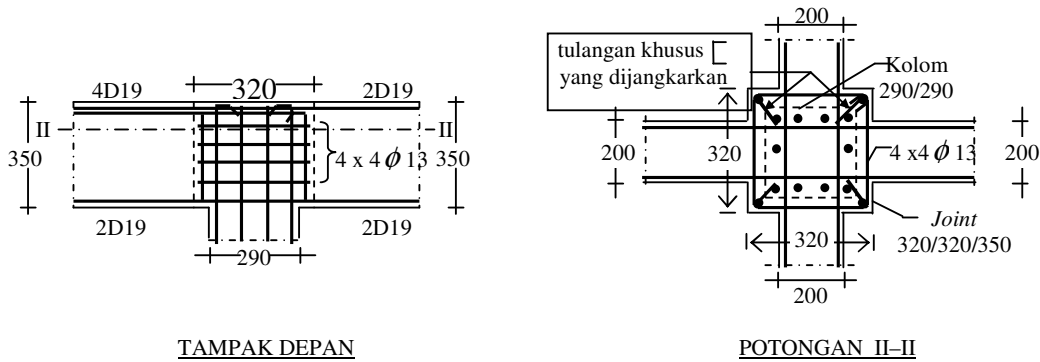
Lampiran 2. (lanjutan)



Penulangan Joint M (360/360/350)

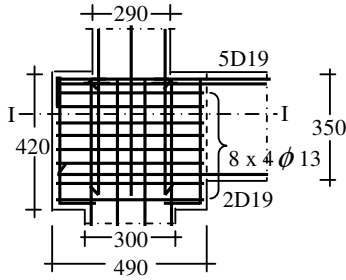


Penulangan Joint N (320/320/350)

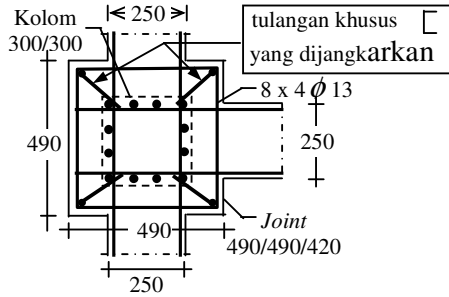


Lampiran 2. (lanjutan)

Penulangan *Joint I* (490/490/420)

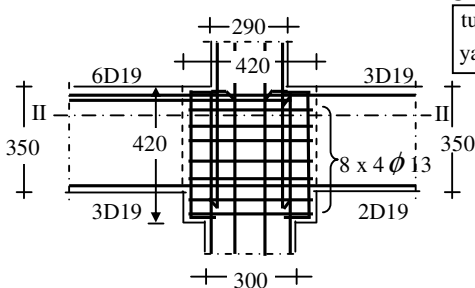


TAMPAK DEPAN

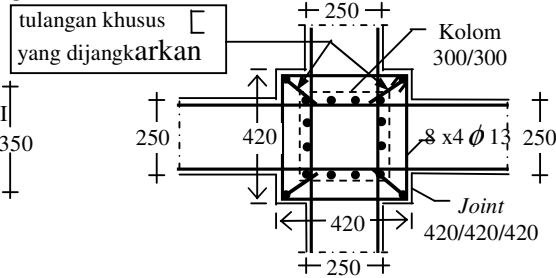


POTONGAN I-I

Penulangan *Joint J* (420/420/420)

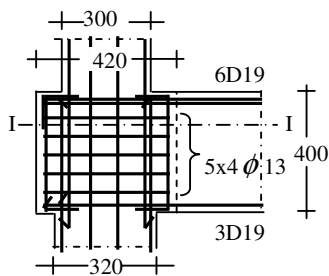


TAMPAK DEPAN

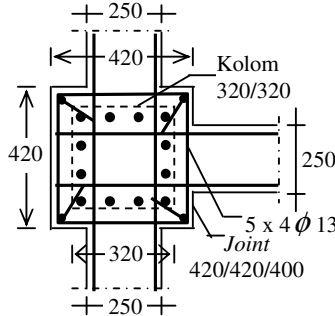


POTONGAN II-II

Penulangan *Joint E* (420/420/400)

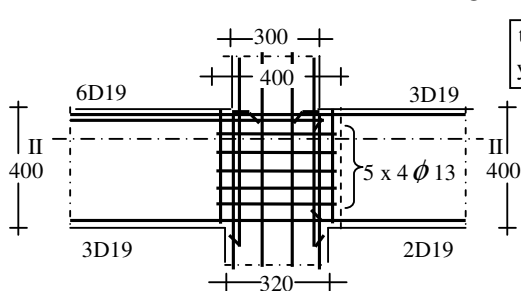


TAMPAK DEPAN

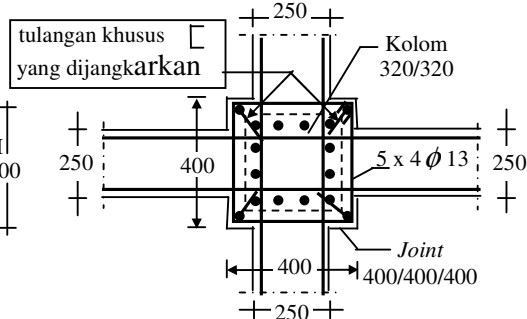


POTONGAN I-I

Penulangan *Joint F* (400/400/400)



TAMPAK DEPAN



POTONGAN II-II