IMPLIKASI DISTRIBUSI GAYA HORISONTAL DINAMIK RESPONS SPEKTRUM TERHADAP DESAIN BANGUNAN TAHAN GEMPA

M. Ikhwanul Iqbal[1] dan Widodo[2]

[1]Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
[2]Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
Email : iqbalmat40@yahoo.com

Abstract : *Sebagai wilayah di Indonesia merupakan salah satu wilayah yang memiiki tingkat resiko gempa yang tinggi. Yogyakarta adalah salah satu daerah yang sering terjadi gempa, dampak dari gempa yang terjadi ialah kerusakan pada bangunan. Cara menanggulangi kerusakan bangunan adalah dengan mendesain bangunan tahan gempa sesuai peraturan. SNI 03-1726-2012 adalah peraturan gempa baru yang menggantikan peraturan sebelumnya. Menurut SNI 03-1726-2012 pengaruh gempa rencana pada struktur tidak beraturan dan struktur bertingkat banyak dengan ketinggan lebih dari 10 tingkat atau 40 meter harus ditinjau sebagai pengaruh gempa dinamik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa tingkat pemakain metode ekuivalen statik peralihannya terhadap metode dinamik respons spektrum dan seperti apa distiribusi gaya horisotalnya serta pengaruhnya terhadap desain bangunan tahan gempa. Dalam penelitian ini pemodelan bangunan yang dipakai adalah bangunan dengan variasi tingkat 10, 12, dan 15. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa beban gempa dinamik respons spektrum lebih besar pada bangunan lebih dari 10 tingkat, hal ini dapat dilihat dari gaya geser dasar (V) yang signifikan. Gaya geser tingkat (F_i) pada tingkat atas berdasarkan metode respons spektrum cenderung lebih kecil dibangingkan gempa statik ekuivalen, tetapi kebaikannya pada tingkat – tingkat bawah. Gaya geser dasar (V) untuk bangunan 10 tingkat berdasarkan respons spektrum masih relatif dekat atau hampir sama dengan ekuivalen statik, namun demikian pada bangunan yang lebih tinggi gaya geser dasar respons spektrum lebih besar dari pada ekuivalen statik. Secara umum gaya geser tingkat (F_i) pada tingkat – tingka bawah berdasarkan ekuivalen statik cenderung underestimate.*

Keywords : *bangunan bertingkat banyak, distribusi horisontal gaya gempa, desain bangunan tahan gempa*

7.1 PENDAHULUAN

Gempa bumi terjadi karena adanya patahan atau sesar (*fault*) pada kerak bumi yang terjadi secara tiba – tiba. Patahan ini terjadi karena adanya gerakan plat – plat tektonik kerak bumi yang saling bertumbukan, bergeser atau saling menyusup satu sama lain (Widodo, 2012). Dampak dari gempa yang terjadi ialah kerusakan kerusakan pada bangunan. Dalam mendesain bangunan. Cara menanggulangi kerusakan bangunan adalah dengan mendesain bangunan tahan gempa sesuai peraturan. SNI 03-1726-2012 adalah peraturan gempa baru yang menggantikan peraturan sebelumnya. Menurut SNI 03-1726-2012 pengaruh gempa rencana pada struktur tidak beraturan dan struktur bertingkat banyak dengan ketinggian lebih dari 10 tingkat

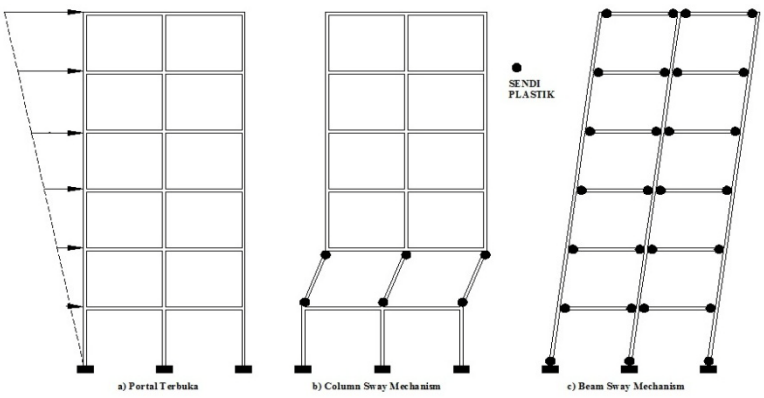
atau 40 meter harus ditinjau sebagai pengaruh gempa dinamik. Beban gempa statik ekuivalen merupakan penyederhanan dari beban gempa dinamik, yaitu berupa gaya horisontal F_i yang bekerja pada pusat massa bangunan yang bersifat statik. Perhitungan pada metode ekuivalen statik hanya memperhatikan kontribusi mode ke-1 saja, sehingga hanya sesuai untuk bangunan yang cenderung kaku, yaitu bangunan yang tidak lebih dari 10 tingkat. Sebagai konsekuensinya, semakin tinggi bangunan akan semakin fleksibel dan kontribusi *higher mode* akan menjadi lebih besar, sehingga perancangan bangunan harus didasarkan pada analisis dinamik (WIdodo, 2001).

7.2 KONSEP BANGUNAN TAHAN GEMPA

Suatu struktur bangunan gedung bertingkat banyak harus dapat memikul beban – beban yang bekerja pada struktur tersebut, diantaranya beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi adalah beban mati dan beban hidup, sedangkan beban lateral adalah beban angin dan beban gempa.

Konsep *capacity design* dalam memperkirakan urutan kejadian dari suatu kegagalan struktur berdasarkan beban maksimum yang diterima struktrur. Sehingga perencanaan elemen – elemen struktur (balok, kolom) tidak didesain sama kuat terhadap gaya yang direncanakan, tetapi ada elemen – elemen struktur yang didesain lebih lemah dengan tujuan di elemen tersebut itulah terjadi pembentukan sendi plastis atau pelelehan pertama. Dalam hal ini, perencana mendasain agar daerah kritis atau sendi plastis akan terjadi pada daerah – daerah yang digunakan untuk desain bangunan tahan gempa.

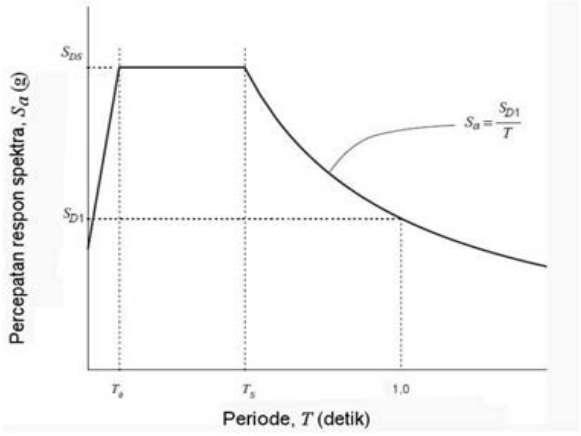
Konsep *capacity design* ini dikenal dengan istilah "*strong column weak beam"* yaitu merencanakan agar sendi plastis terjadi di tepi balok dan kaki kolom tingkat dasar, hal ini dilakukan agar sebagian besar sendi plastis terbentuk pada struktur secara daktail yang dapat mendistribusi energi melalui proses pelelehan struktur dan diharapkan mampu menyerap beban gempa. Secara logis prinsip SCWB akan mengakibatkan struktur bergoyang menurut *beam sway mechanism* seperti tampak pada Gambar 1. Pada SCWB, balok sengaja dibuat lebih lemah dibandingkan kolom, dengan tujuan apabila level beban terlampaui maka akan terjadi sendi-sendi plastik yang terjadi pada ujung - ujung balok dan ujung bawah kolom lantai dasar. Ditempat itulah detail tulangan didesain dan dipasang dengan baik sehingga elemen menjadi daktail.



Gambar 1 Mekanisme runtuh pada portal terbuka

7.3 RESPONS SPEKTRUM DESAIN

Dalam menentukan gaya geser dasar *V* maupun gaya horisontal tingkat F_i dengan metode dinamik respons spektrum maupun statik ekuivalen digunakan respons spektrum desain yang merupakan spektrum respons gempa rencana. Menurut SNI 03-1726-2012, respons spektrum desain ditentukan dengan parameter respons ragam yang disesuaikan dengan klasifikasi situs dinaman bangunan tersebut akan dibangun kemudian dibagi dengan kuantitas R/I. Kurva respons spektrum desain harus harus digambar dengan mengacu pada Gambar 2, dengan ketentuan sebagai berikut :



Gambar 2 Respons spektrum desain (SNI 03-1726-2012)

Untuk periode $T<T_o$ $S_a = S_{DS}$ $(0{,}4+0{,}6\frac{T}{T_0})$, untuk periode $T_o \geq T \leq T_S = S_a = S_{DS}$, untuk, periode $T>T_S = S_a = \frac{S_{D1}}{T}$. S_a = percepatan respons spektra, S_{DS} dan S_{D1} parameter respons spektra periode pendek dan periode 1 detik.

7.4 GEMPA EKUIVALEN STATIK

Beban gempa statik ekuivalen adalah penyederhanaan beban gempa dengan cara menyederhanakan dan memodifikasi gaya inersia yang bekerja disuatu massa akibat gempa menjadi gaya horisontal (Widodo, 2001). Pendistribusian gempa lateral disetiap tingkat gedung, ditentukan dengan persamaan berikut : (SNI 1726-2012)

$$F_i = \frac{w_i h_i^k}{\sum W_i h_i^k}. V$$

dengan F_i adalah gaya horisontal ekuivalen statik tingkat ke-i, *V* adalah gaya geser dasar, *W* adalah berat struktur tingkat ke-I, h adalah tingkat ke-i (m) dan k adalah faktor jenis struktur berdasarkan periode struktur.

7.5 RESPONS SPEKTRUM

Berdasarkan SNI 03-1726-2012, perhitungan gempa dinamik respons spektrum untuk struktur gedung yang tidak beraturan dan struktur gedung yang tingginya lebih dari 40 meter atau 10 tingkat terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana, dapat dilakukan dengan metode analisis dinamik respons spektrum. Nilai untuk masing – masing parameter yang ditinjau kemudian dihitung untuk berbagau ragam dan harus dikombinasikan menggukan metode Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*SRSS*) atau metode Kombinasi Kuadrat Lengkap (*CQC*). Tahapan analisis metode respons spektrum meliputi

analisis *modal amplitude Z, modal displacement* Y_i dan *modal seismi force* F_{ij}, menggunakan persamaan 2-4. Selanjutnya simpangan horisontal tingkat Y_i dan gaya horisontal tingkat F_i akan diperoleh besarnya gaya geser dasar bangunan *V* akibat gempa rencana dengan menggunakan persamaan 5.

$$Z_j = \Gamma_j \frac{C_g}{\omega_j^2}$$

$$F_{ij} = M.\phi.\Gamma_j.C_j.g$$

$$F_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(F_{ij}\right)^2}$$

$$V_j = \sum_{i=1}^{m} F_i$$

Dengan Z_j=*modal amplitude*, *C*= koefisien gempa dasar, *g*= gaya grafitasi, ω=frekuensi sudut, T_{ij}= *modal displacement*, ϕ_{ij}= *mode shape*, F_{ij}= *modal seismic force*, *M*= matriks massa, Y_{ij}= simpangan horizontal tingkat, dan V_{ij}= gaya geser dasar bangunan.

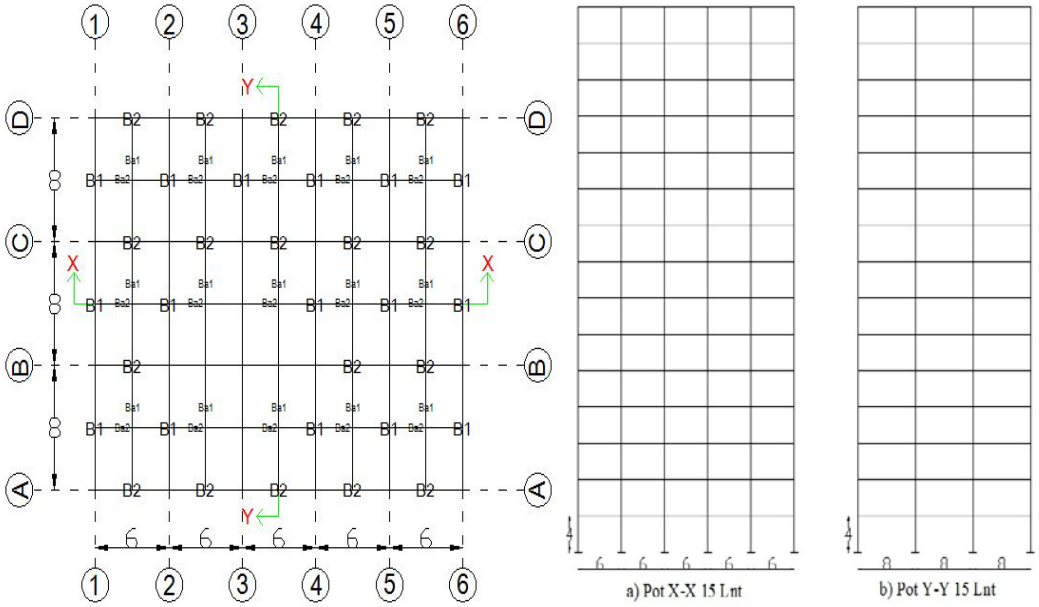
7.6 STRUKTUR BETON

Peraturan yang digunakan dalam perhitungan struktur beton dalam penelitian ini adalah Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SK SNI T-15-1991-03 dan Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002.

7.7 METODOLOGI PENELITIAN

7.1 Model Struktur

Analisis dilakukan pada struktur model struktur 2D portal beton bertulang dengan variasi tingkat 10, 12, dan 15 tingkat arah-X dan arah-Y, dengan bantuan program SAP 2000. Dalam hal ini yang didesain hanya struktur bangunan 15 tingkat, bangunan 10 dan 12 tingkat hanya dilihat nilai respons strukturnya saja. Denah bangunan tipikal ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Denah struktur dan portal 2D 15 tingkat

7.2 Lokasi dan Klasifikasi situs

Model struktur ditinjau pada lokasi di Yogyakarta yang memiliki kelasifikasi situs dengan kondisi tanah lunak.

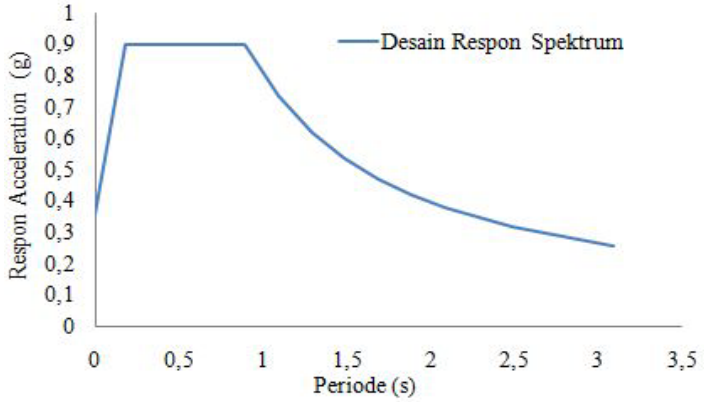
7.3 Pengolahan Data

Pengolahan data dalam penelitian ini meliputi membuat respons spektrum desain berdasarkan SNI 03-1726-2012, menghitung pembebanan gempa

ekuivalen statik, menghitung massa struktur, menghitung kekakuan struktur dengan metode *shear building*, analisis dinamik respons spektrum, kemudian desain bangunan 15 tingkat berdasarkan beban gempa ekuivalen statik dan dinamik respons spektrum.

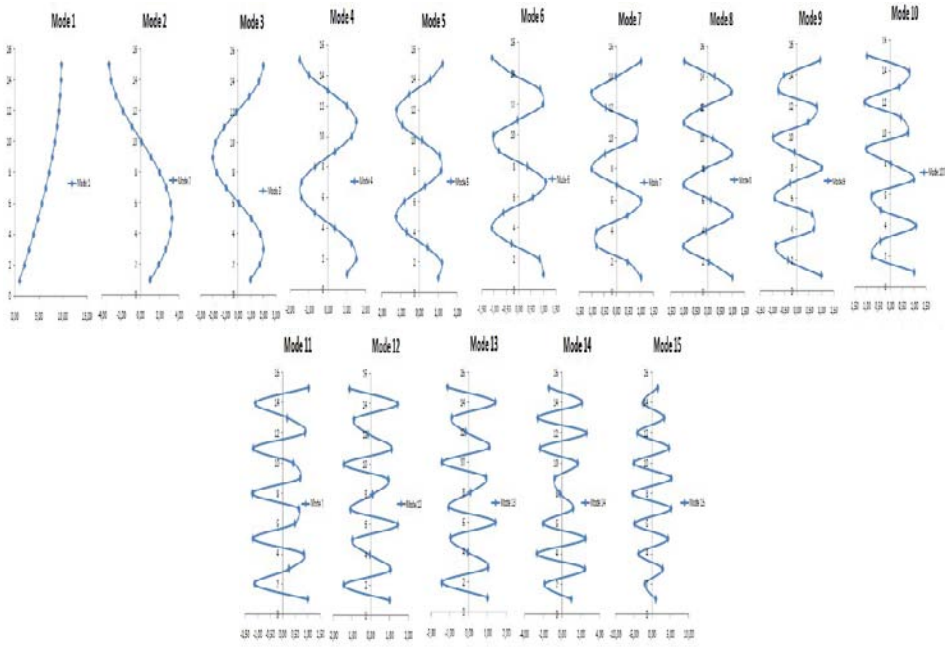
8. GRAFIK RESPONS SPEKTRUM

Dalam pembebanan gempa ini dipakai lokasi di daerah Yogyakarta dengan jenis tanah lunak, dengan tinggi bangunan (*H*) adalah 40 m, 48 m dan 60 m. Dari hasil spektrum respons desain berdasarkan SNI 03-1726-2012 ini kemudian dilakukan pembebanan gempa ekuivalen statik dan dinamik respons spektrum. Hasil respons spektrum desain ditunjukkan pada gambar berikut:



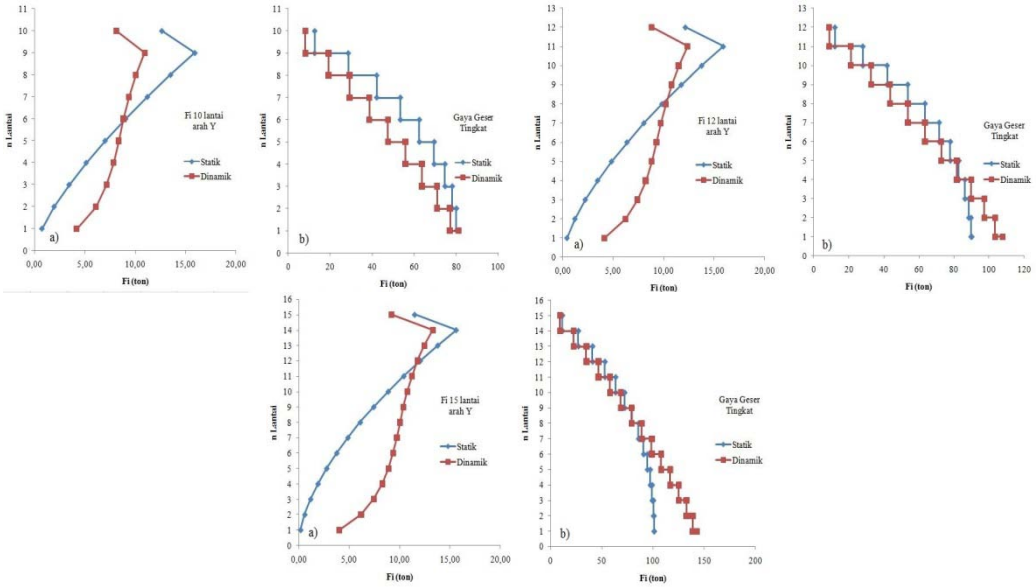
Gambar 4 Respons Spektrum Desain

9. *MODE SHAPE*



Gambar 5 *Mode Shape*

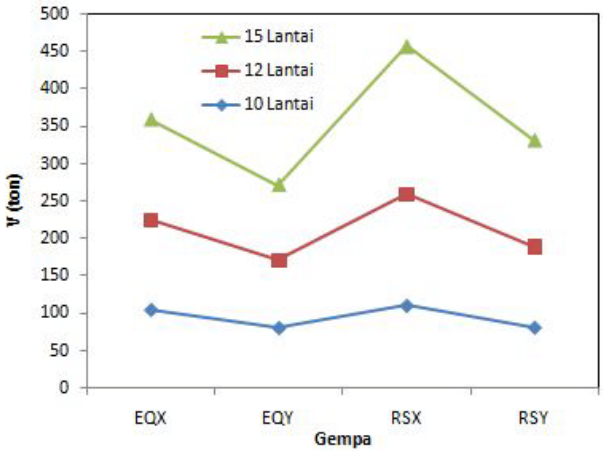
10. GAYA HORISONTAL TINGKAT F_i



Gambar 6 Gaya horisontal tingkat dan gaya geser tingkat

Gaya horisontal tingkat beban gempa dinamik respons spektrum pada bangunan lebih dari 10 tingkat cenderung lebih besar dibandingkan beban gempa ekuivalen statik pada tingkat bawah dan cenderung menurun nilainya pada tingkat atas. Pada tingkat dasar kenaikan nilai gaya horisontal tingkat dinamik respons spektrum sebesar 46,50%, dan pada tingkat atas penurunan nilai gaya horisontal tingkat sebesar 5,29%.

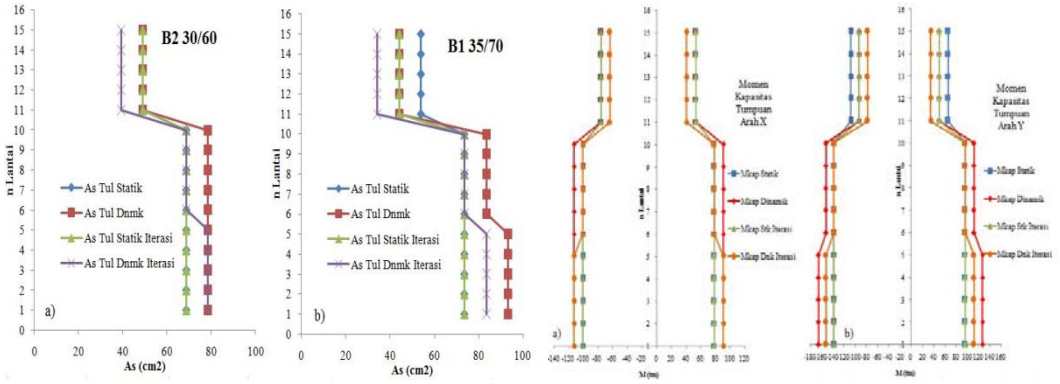
11. GAYA GESER DASAR *V*



Gambar 7 Gaya geser dasar *V* (t)

Dari Gambar 7 dapat diketahui bahwa nilai gaya geser dasar *V* dinamik respons spektrum relative lebih besar daripada gaya geser dasar *V* ekuivalen statik, terutama pada bangunan tinggi. Kenaikan nilai gaya geser dasar *V* dinamik respons spektru, 15 tingkat sebesar 46,50%, 12 tingkat 24,71% dan 10 tingkat 5,31%.

12. PERENCANAAN BALOK



Gambar 8 Luas tulangan balok dan momen kapasitas balok

Dari gambar diatas dapat dilihat luas tulangan akibat beban gempa dinamik respons spektrum pada tingkat bawah meningkat sebesar 26,67% dan menurun sebesar 22,22% pada tingkat atas dibandingkan beban gempa ekuivalen statik. Momen balok tumpuan negatif tersedia M_t^- beban akibat beban gempa dinamik respons spektrum pada lantai dasar lebih besar 21,79% dibandingkan M_t^- beban gempa statik ekuivalen, sedangkan pada lantai atas nilai M_t^- beban dinamik menurun sebesar 16,13% dibandingkan beban gempa ekuivalen statik.

Dari gambar diatas juga dapat dilihat bahwa momen kapasitas balok tumpuan negatif M_{kap}^- beban gempa dinamik respons spektrum pada lantai dasar lebih besar 20,13% dibandingkan nilai M_{kap}^- beban gempa ekuivalen statik, sedangkan pada lantas atas nilai M_{kap}^- beban gempa dinamik menurun sebesar 16,15% dibandingkan beban gempa ekuivalen statik.

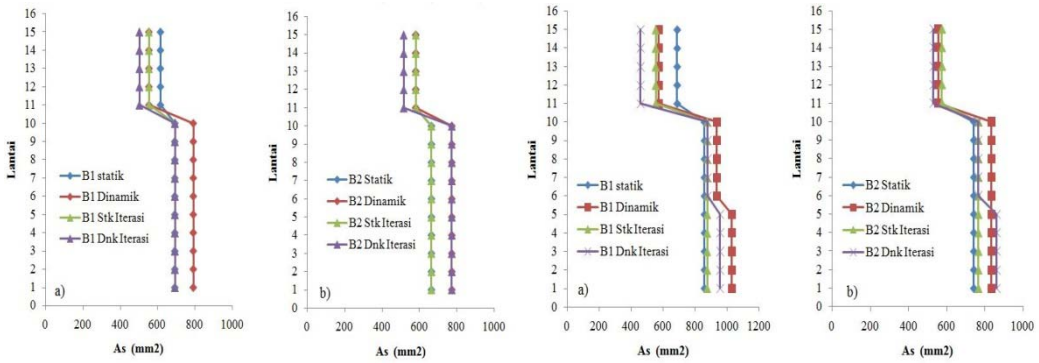
Dari gambar diatas juga dapat dilihat luas tulangan hasil iterasi nilainya cenderung sama engan hasil desain pada tingkat bawah untuk beban gempa statik, sedangkan pada beban gempa dinamik menurun sebesar 11,76%. Pada tingkat atas luas tulangan iterasi cenderung sama untuk beban gempa ekuivalen statik, dan menurun 28,6% untuk beban gempa dinamik respons spektrum.

13. GESER BALOK

Perhitungan gaya geser balok diawali dengan membuat diagram gaya geser hasil dari analisis struktur di superposisikan dengan gaya geser hasil momen kapasitas dibagi dengan bentang balok. Perubahan nilai gaya – gaya dalam menyebabkan kenaikan maupun penurunan luas tulangan geser yang dibutuhkan pada balok. Pada daerah sendi plastis tingkat bawah kenaikan luas tulangan geser akibat beban gempa dinamik respons spektrum sebesar 16,67%. Sedangkan pada tingkat atas luas tulangan geser yang dibutuhkan balok pada daerah sendi plastis menurun sebesar 11,11%.

Perubahan gaya – gaya dalam hasil desain iterasi luas tulangan pada tingkat bawah cenderung sama dengan luas tulangan hasil desain akibat gempa ekuivalen statik, dan menurun sebesar 14,28% akibat beban gempa dinamik respons spektrum. Sedangkan pada tingkat atas luas tulangan hasil iterasi menurun sebesar 11,11% akibat beban gempa statik ekuivalen dan menurun sebesar 12,5% akibat beban gempa dinamik respons spektrum.

Perubahan gaya gaya dalam juga menyebabkan perubahan pada luas tulangan geser pada daerah luar sendi plastis. Pada daerah luar sendi plastis tingkat bawah kenaikan luas tulangan geser akibat beban gempa dinamik respons spektrum sebesar 20%. Sedangkan pada lantai atas luas tulangan geser yang dibutuhkan balok pada daerah luar sendi plastis menurun sebesar 20% dibandingkan beban gempa statik ekuivalen.



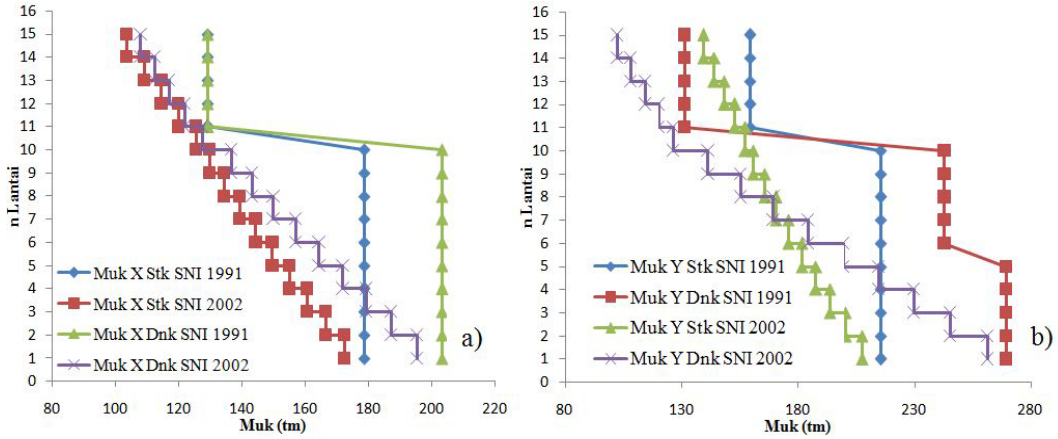
Gambar 9 Luas tulangan daerah sendi plastis dan luar sendi plastis

14. PERENCANAAN KOLOM

Respons struktur akibat penggunaan beban gempa dinamik respons spektrum dan beban gempa statik ekuivalen memberikan respons yang berbeda terhadap struktur. Salah satu respons yang dialami struktur kolom yaitu perbedaan nilai gaya aksial kolom dari hasil analisis struktur dengan menggunakan program *SAP2000 v14*.

14.1 Momen Ultimit Kolom (M_{uk})

Meningkatnya nilai gaya geser dasar *V* akibat beban gempa dinamik respons dibandingkan beban gempa statik ekuivalen megakibatkan peningkatan momen ultimit kolom (M_{uk}) pada kolom lantai dasar sebesar 24,97%, sedangkan pada lantai atas nilai (M_{uk}) akibat beban gempa dinamik respons spektrum menurun sebesar 21,37% dibandingkan beban gempa statik ekuivalen Pada Gambar 5.34 menunjukkan bahwa momen ultimut kolom tingkat atas relatif hampir sama, tetapi pada tingkat dasar gaya aksial ultimit kolom menurut SKSNI 1991 4,09% lebih besar dari pada SNI 2002. Nilai M_{uk} ditunjukkan pada gambar berikut:

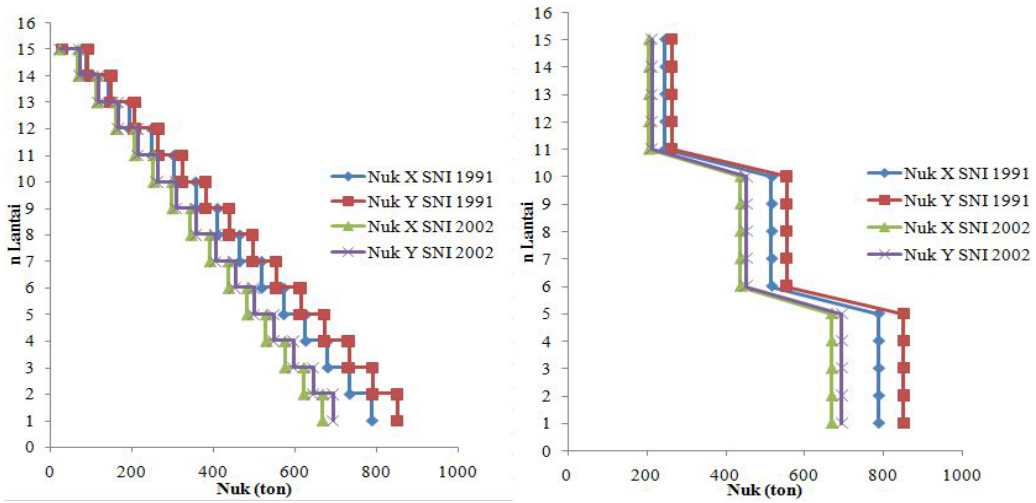


Gambar 10 Momen ultimit kolom (tm)

14.2 Aksial Kolom

Setelah momen ultimit kolom (M_{uk}) didapat, maka untuk keperluan perencanaan kolom, besaran yang harus diketahui adalah gaya aksial kolom yang bekerja pada kolom. Nilai N_{uk} ini kemudian dikumulatifkan tiap lantai hingga lantai dasar, kemudian diambil nilai N_{uk} pakai sesuai desain kolom yang akan digunakan.

Perubahan gaya gempa akibat beban gempa statik ekuivalen maupun beba gempa dinamik respons spektrum tidak mempengaruhi nilai gaya aksial kolom (N_{uk}), hal ini disebabkan karena beban gempa hanya mempengaruhi momen yang terjadi pada kolom, sedangkan nilai N_{uk} dipengaruhi oleh berat sendiri struktur. Pada Gambar 11 menunjukkan bahwa gaya aksial kolom tingkat atas relatif hampir sama, tetapi pada tingkat dasar gaya aksial ultimit kolom menurut SKSNI 1991 22,82% lebih besar dari pada SNI 2002.

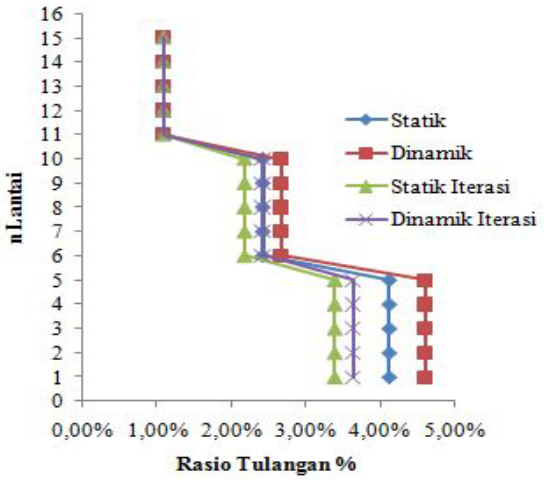


Gambar 11 Gaya aksial kolom (t)

14.3 Desain Kolom (M_nP_n)

Tahapan selanjutnya adalah membuat diagram M_nP_n dengan memplotkan nilai gaya aksial kolom (N_{uk}) dan momen ultimit kolom (M_{uk}) kedalam diagram M_nP_n. Untuk memudahkan dalam analisis, maka kolom dikelompokkan dalam beberapa bagian, yaitu kolom lantai 1-2-3-4-5 menggunakan analisis dan desain yang sama, kolom lantai 6-7-8-9-10 dan kolom lantai 11-12-13-14-15.

Perubahan gaya gempa mengakibatkan perubahan yang terjadi pada kebutuhan tulangan kolom pada lantai dasar dengan dimensi kolom dan diameter tulangan yang sama. Pada tingkat bawah rasio tulangan akibat beban gempa dinamik meningkat sebesar 0,49%. Rasio tulangan hasil desain iterasi akibat beban gempa statik ekuivalen menurun sebesar 0,73% dan akibat beban gempa dinamik respons spektrum menurun sebesar 0,97%. Kebutuhan tulangan kolom ditunjukkan pada Gambar 12 berikut:



Gambar 12 Kebutuhan tulangan kolom

15. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa bangunan lebih dari 10 tingkat beban gempa rencana harus memperhitungkan beban gempa dinamik respons spektrum. Nilai gaya horisontal tingkat beban gempa dinamik respons spektru, pada bangunan leih dari 10 tingkat pada tingkat dasar cenderung lebih besar dibandingkan beban gempa statik ekuivalen, dan cenderung menurun nilainya pada tingkat atas.

Perubahan nilai gaya geser dasar (*V*) menyebabkan kenaikan maupun penurunan gaya – gaya dalam yang dialamai struktur balok, dengan meninjau perubahan yang terbesar akibat kombinasi beban yang terjadi pada tingkat bawah, momen negatif balok akibat beban gempa dinamik respons spektrum mengalami kenaikan sebesar 2013% sedangkan pada lantai atas menurun 16,15%. Perubahan inini dikarenakan pada perhitungan beban gempa dinamik respons spektrum meghitung setiap *mode shape* yang terjadi pada bangunan, sedangkan pada gempa ekuivalen statik hanya memperhitungkan pada *mode shape* yang pertama saja.

Perubahan nilai gaya – gaya dalam kolom juga mempengaruhi luas tulangan geser kolom pada tingkat bawah akibat beban gempa dinamik meningkat sebesar 40%, dan pada tingkat atas luas tulangan geser kolom akibat beban gempa dinamik respons spektrum menurun sebesar 40% dibandingkan beban gempa ekuivalen statik.

16. DAFTAR PUSTAKA

Ali Asroni, (2010). *Balok dan Pelat Beton Bertulang*, Graha Ilmu, Yogyakarta.

Iman Satyarno, Purbolaras Nawangalam dan R.Indra Pratomo P. (2012) *Belajar SAP 2000 2nd*, Zamil Publishing, Yogyakarta.

Iwin Cahya Wijaya, (2009). Perencanaan Ulang Struktur (*Redesain*) Dedy Jaya Mall (Tegal). *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Muhammad Miftakhur Riza. (2012). *Aplikasi Perencanaan Struktur Gedung Dengan ETABS*. http://www.engineerwork.blogspot.com.html, Diakses 16 Mei 2014.

Iswandi Imran, Fajar Hendrik. (2010) *Perencanaan Struktur Gedung*

Beton Bertulang Tahan Gempa, ITB, Bandung.

Restu Faizah, (2013). Analisis Distribusi Vertikal Gaya Gempa Dan Implikasinya Pada Respons Bangunan Beringkat. *Tesis*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

SNI 03-1726-2002 (2002). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*, Departemen Kimpraswil PU, Bandung

SNI 03-1726-2012 (2012). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Badan Standardrisasi Nasional BSN

SKBI-1.3.53.1987 (1987). *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*, Departmen Pekerjaan Umum

Sufianto Adi Prakoso, (2012). Pengaruh peraturan gempa baru (SNI 03-1726-20XX) Terhadap Kebutuhan Tulangan Pada Bangunan Beton Beringkat Banyak Tahan Gempa. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Widodo. (2001). *Respons Dinamik Struktur Elastik*, UII Press, Yogyakarta.

Widodo. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.