

ANALISIS DINAMIK STRUKTUR GEDUNG DUA TOWER YANG TERHUBUNG OLEH BALOK SKYBRIDGE

Elia Ayu Meyta¹, Yosafat Aji Pranata²

¹ Alumnus Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha

² Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha

Jl. Suria Sumantri 65 Bandung, Jawa Barat, 40164

E-mail: yosafat.ap@gmail.com

Abstrak

Struktur bangunan tinggi yang terdiri lebih dari satu gedung (*tower*), sebagai contoh dalam studi kasus ini adalah dua gedung, terkadang untuk menghubungkan dua gedung tersebut diperlukan dua atau lebih balok *skybridge*. Adanya balok *skybridge* berdampak pada perilaku kekakuan struktur gedung secara umum, khususnya akibat adanya beban lateral, sebagai contoh beban gempa. Tujuan penelitian dalam tulisan ini adalah melakukan analisis struktur gedung beton bertulang menggunakan SRPMM dengan menggunakan metode analisis dinamik respon spektrum dan analisis riwayat waktu. Struktur gedung yang direncanakan adalah gedung beton bertulang yang memiliki dua tower dengan jumlah lantai berbeda yang dihubungkan oleh balok *skybridge* atau jembatan penghubung. Gedung diasumsikan berada dalam wilayah gempa 3 dengan kondisi tanah lunak. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa untuk mengetahui perilaku kekakuan masing-masing struktur gedung yang mana memberikan dampak terhadap kekakuan struktur secara keseluruhan, maka pemodelan struktur baik itu tanpa balok *skybridge* (gedung di-analisis secara terpisah) maupun struktur dengan balok *skybridge* (gedung di-analisis secara satu kesatuan) sangat diperlukan. Hal ini berdampak pada distribusi gaya-gaya dalam yang bekerja pada komponen-komponen strukturnya.

Kata kunci: *skybridge*, gempa, dinamik, kekakuan, drift

Pendahuluan

Struktur bangunan tinggi yang terdiri lebih dari satu gedung (*tower*), sebagai contoh dalam studi kasus ini adalah dua gedung, terkadang untuk menghubungkan dua gedung tersebut diperlukan dua atau lebih balok *skybridge*. Adanya balok *skybridge* berdampak pada perilaku kekakuan struktur gedung secara umum, khususnya akibat adanya beban lateral, sebagai contoh beban gempa.



Gambar 1: Skematik gedung dengan dua *tower* yang dihubungkan oleh beberapa balok *skybridge* (sumber: <http://sohopancoranjakarta.blogspot.com>).

Pada pembangunan gedung bertingkat tinggi harus diperhatikan aspek keamanan, mengingat sebagian besar wilayah di Indonesia merupakan wilayah yang rawan gempa. Oleh karena itu sangat perlu dan menarik untuk mempelajari perencanaan bangunan gedung tahan gempa. Atas dasar hal-hal tersebut maka dalam tulisan ilmiah ini dipelajari perencanaan bangunan gedung tinggi tahan gempa dengan menggunakan metode analisis dinamik respon spektrum dan riwayat waktu (*time history*) sesuai peraturan gempa Indonesia SNI 1726-2002 (BSN, 2002a).

Tujuan dan Ruang Lingkup Penelitian

Tujuan penelitian dalam tulisan ilmiah ini adalah melakukan analisis struktur gedung beton bertulang menggunakan SRPMM dengan menggunakan metode analisis dinamik respon spektrum dan analisis riwayat waktu. Struktur gedung yang direncanakan adalah gedung beton bertulang yang memiliki dua *tower* dengan jumlah lantai berbeda yang dihubungkan oleh balok *skybridge* atau jembatan penghubung.

Ruang lingkup penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Bangunan yang akan dibahas adalah bangunan gedung beton bertulang dengan 2 *tower* dengan jumlah lantai berbeda yang dihubungkan oleh jembatan penghubung. Bangunan digunakan dengan fungsi untuk apartemen dan kantor.
2. Bangunan terletak di wilayah gempa 3 di Indonesia, dengan jenis tanah lunak berdasarkan SNI 1726-2002.
3. Beban yang ditinjau adalah beban gravitasi dan beban gempa.
4. Perangkat yang digunakan adalah ETABS.
5. Peraturan gempa yang digunakan adalah SNI 1726-2002.
6. Analisis yang digunakan adalah analisis dinamik ragam spektrum respons dan analisis riwayat waktu.
7. Pembahasan yang ditinjau adalah analisis modal, peralihan, *drift*, gaya-gaya dalam, serta penulangan kolom dan balok pada tinjauan tertentu.

Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan dalam tulisan ilmiah ini secara umum terdiri dari 4 (empat) tahapan utama. Tahap pertama adalah studi literatur, dengan sumber dari buku, tulisan ilmiah, maupun sumber-sumber lain dari internet. Tahap kedua adalah mengumpulkan data struktur bangunan bertingkat tinggi tahan gempa yang digunakan sebagai contoh studi kasus. Tahap ketiga adalah melakukan analisis dinamik struktur bangunan bertingkat tinggi tahan gempa dengan prosedur analisis ragam spektrum respons dan analisis riwayat waktu berdasarkan SNI 1726-2002 (BSN, 2002a) dan SNI 03-2847-2002 (BSN, 2002b). Tahap keempat adalah menyusun pembahasan dan kesimpulan.

Tinjauan Pustaka

Bangunan Tahan Gempa

Dalam standar gempa di Indonesia filosofi bangunan bertingkat beton bertulang tahan gempa adalah sebagai berikut (BSN, 2002a; Imran dan Hendrik, 2010):

1. Bila terjadi gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik dalam komponen non-struktural (dinding retak, genteng dan langit-langit jatuh, kaca pecah) maupun pada komponen strukturalnya (kolom dan balok retak, pondasi amblas).
2. Bila terjadi gempa sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non-strukturalnya akan tetapi komponen struktural tidak boleh rusak.
3. Bila terjadi gempa kuat, bangunan boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non-struktural maupun komponen strukturalnya, akan tetapi jiwa penghuni bangunan tetap selamat, artinya:
 - a. Bangunan tidak boleh runtuh sebagian maupun seluruhnya dan apabila bangunan runtuh maka sebelum bangunan runtuh masih ada cukup waktu bagi penghuni untuk keluar mengungsi ketempat aman.
 - b. Bangunan tersebut tidak boleh mengalami kerusakan dan harus dapat diperbaiki dengan cepat sehingga dapat berfungsi kembali, dengan kata lain bangunan tersebut tidak boleh dalam keadaan rusak.

Tujuan dari filosofi tersebut dapat dicapai dengan memperhatikan kekakuan, stabilitas dan elastisitas pada struktur gedung. Tidak semua gedung mempunyai kekuatan yang sama terhadap gempa bumi. Tetapi diusahakan gedung yang penting seperti rumah sakit, telekomunikasi, pembangkit listrik tidak mengalami kerusakan parah apabila terjadi gempa.

Analisis Modal, Analisis Dinamik

Dalam tulisan ilmiah ini, beberapa persyaratan yaitu antara lain batasan waktu getar alami dan partisipasi massa mengacu pada peraturan gempa Indonesia (BSN, 2002a). Selanjutnya dalam analisis dipertimbangkan selain beban gravitasi yaitu beban lateral berupa gempa rencana. Dalam peraturan gempa Indonesia (BSN, 2002a) terdapat beberapa metode analisis berkaitan dengan beban lateral yaitu gempa. Metode tersebut antara lain analisis statik ekuivalen, analisis dinamik respons spektrum, analisis dinamik riwayat waktu, serta analisis statik beban dorong (*pushover*).

Dalam tulisan ini hanya dibahas metode analisis dinamik saja, yaitu analisis dinamik respons spektrum dan riwayat waktu. Untuk analisis riwayat waktu digunakan acuan rekaman gempa tertentu, yaitu gempa yang telah terjadi sebelumnya. Ketentuan berkaitan dengan persyaratan batasan peralihan dan *drift* juga mengacu pada peraturan gempa Indonesia (BSN, 2002a).

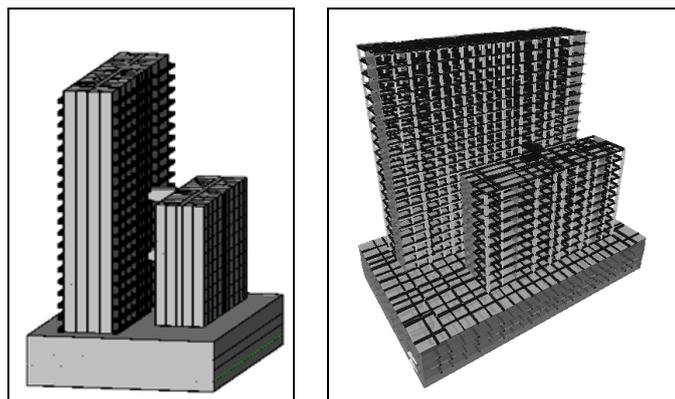
Perencanaan Balok dan Kolom Beton Bertulang

Perencanaan balok dan kolom beton bertulang yang digunakan dalam tulisan ilmiah ini menggunakan pedoman yaitu peraturan beton Indonesia SNI 03-2847-2002 (BSN, 2002b). Kuat rencana suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan perilaku lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil sebagai hasil kali kuat normal, yang dihitung berdasarkan ketentuan dan asumsi dan tata cara dalam peraturan tersebut. Dalam penelitian tulisan ilmiah ini sistem rangka yang digunakan adalah sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM).

Studi Kasus dan Pembahasan

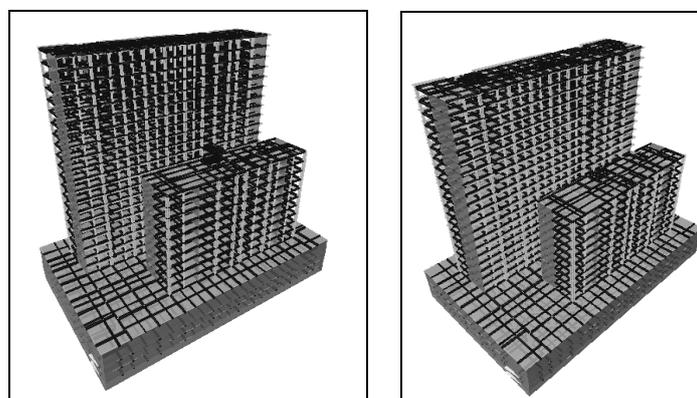
Bangunan yang dibahas dalam penelitian ini merupakan gedung beton bertulang dengan 2 *Tower* dengan jumlah lantai yang berbeda dan dihubungkan oleh jembatan penghubung (balok *skybridge*). Selanjutnya gedung tersebut dianalisis dengan menggunakan Peraturan Gempa SNI 1726-2002 dengan cara membandingkan Analisis Dinamik Ragam Spektrum Respons dan Analisis Dinamik Riwayat Waktu (*Time History*). Fungsi bangunan adalah untuk Apartemen (*Tower A*) dan kantor (*Tower B*). Jenis elemen struktur adalah beton bertulang. Jenis bangunan termasuk sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). Jumlah Lantai untuk *Tower A* adalah 24 lantai (terdiri dari 20 lantai apartemen, 1 lantai *Mall*, dan 3 lantai Basemen) sedangkan untuk *Tower B* adalah 14 lantai (terdiri dari 10 lantai kantor, 1 lantai *Mall*, dan 3 lantai Basemen). Tinggi lantai yaitu 3,5 meter (lantai basemen), 6,0 meter (lantai *Mall*), dan 4,0 meter (lantai apartemen dan kantor). Skematik model struktur yang digunakan sebagai studi kasus ditampilkan pada Gambar 2.

Beberapa data lainnya, yaitu data struktur gedung, data material, data beban gravitasi tiap lantai bangunan, pemodelan struktur, serta data lain terkait selengkapnya dapat dibaca pada laporan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Meyta (Meyta, 2014).



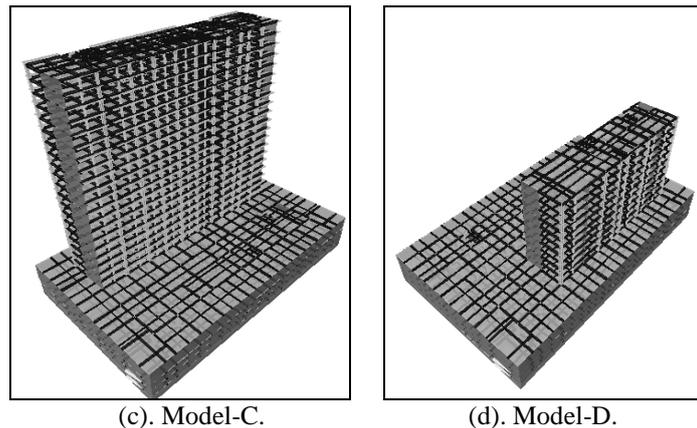
Gambar 2: Skematik 3D model struktur gedung yang digunakan sebagai studi kasus (Meyta, 2014).

Dalam penelitian ini, struktur gedung dimodelkan dengan beberapa pendekatan, yaitu Model-A adalah gedung beton bertulang dua *tower* dengan *skybridge* dimodelkan seluruhnya, kemudian Model-B yaitu gedung beton bertulang dua *tower* tanpa *skybridge*, kemudian Model-C yaitu bangunan apartemen yang terdiri dari 20 lantai dimodelkan sebagai satu *tower* saja, dan terakhir adalah Model-D yaitu bangunan kantor yang terdiri dari 10 lantai dimodelkan sebagai satu *tower* saja.



(a). Model-A.

(b). Model-B.



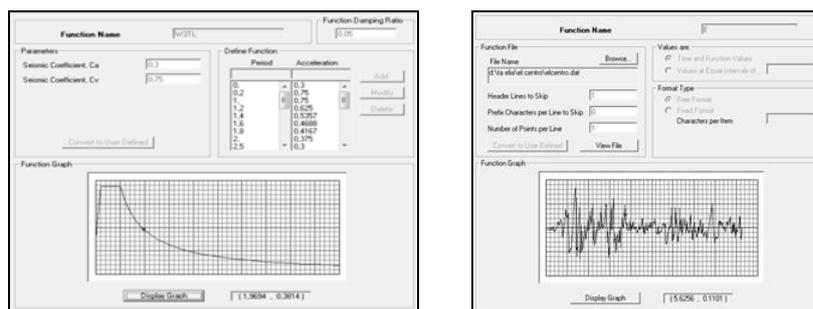
Gambar 3: Empat model gedung yang digunakan dalam analisis (Meyta, 2014).

Hasil analisis modal yaitu waktu getar ragam pertama untuk ke-empat model gedung tersebut selengkapnya ditampilkan pada Tabel 1. Sedangkan faktor partisipasi massa secara umum untuk seluruh model gedung memenuhi persyaratan 90% sesuai SNI 1726-2002. Model spektrum respons gempa yang digunakan untuk analisis dinamik respons spektrum ditampilkan pada Gambar 4a. Sedangkan rekaman gempa yang digunakan untuk analisis dinamik riwayat waktu ditampilkan pada Gambar 4b, yang mana dalam penelitian ini digunakan rekaman gempa berupa data sekunder yaitu rekaman gempa El Centro.

Beberapa hasil analisis, sebagai contoh gaya geser hasil analisis riwayat waktu untuk gedung dengan pemodelan struktur sesuai dengan Model-B ditampilkan pada Gambar 5. Sedangkan hasil perhitungan gaya geser selengkapnya untuk seluruh model gedung, baik hasil dari analisis dinamik respons spektrum (selanjutnya disebut ARS) maupun analisis riwayat waktu (selanjutnya disebut ARW) selengkapnya ditampilkan pada Tabel 2. Gambar 6 dan Gambar 7 masing-masing memperlihatkan contoh pembahasan peralihan dan *drift* rasio tiap lantai, untuk Model-B, baik peralihan arah-x maupun arah-y.

Tabel 1: Waktu getar ragam pertama gedung (Meyta, 2014).

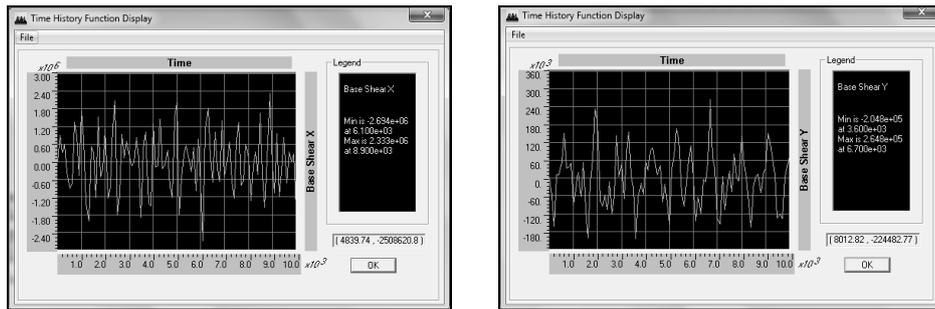
Model Gedung	Periode (detik)
A	2,917655
B	3,210378
C	3,210370
D	1,810676



(a). Kurva spektrum respons.

(b). Rekaman gempa El Centro.

Gambar 4: Pemodelan beban untuk gempa (Meyta, 2014).

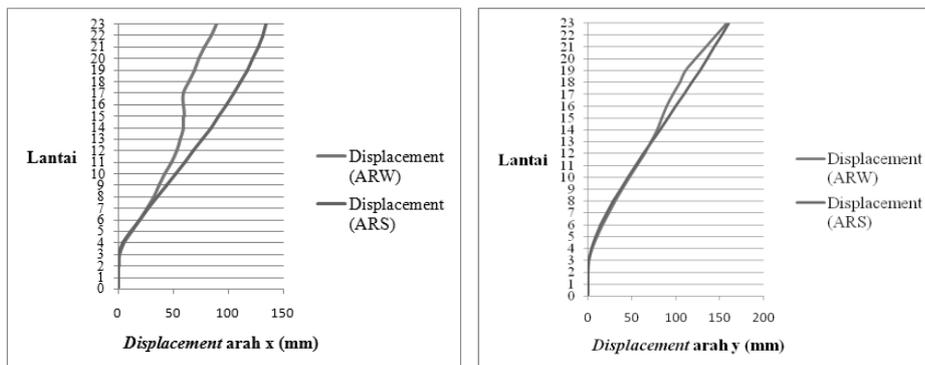


(a). gempa arah-x. (b). gempa arah-y.

Gambar 5: Gaya geser dasar Model-B (Meyta, 2014).

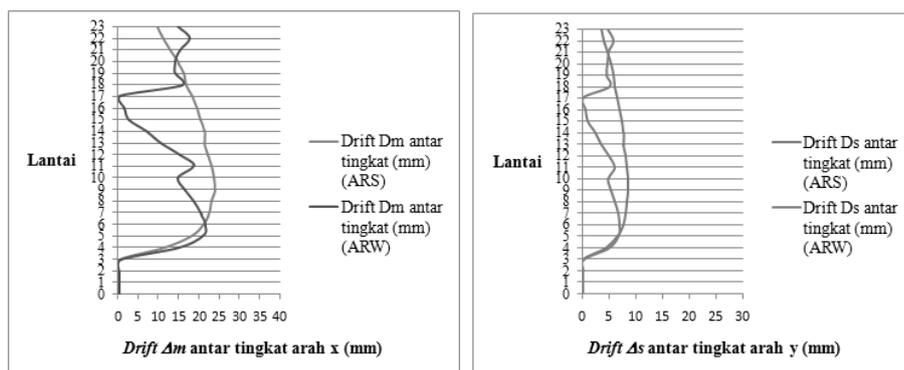
Tabel 2: Gaya geser dasar seluruh model gedung, hasil dari 2 (dua) metode analisis (Meyta, 2014).

Gedung	Gaya Geser Dasar (kg)	
	(Analisis Respons Spektrum)	(Analisis Riwayat Waktu)
A	2653216,86	3958000,00
B	2407874,09	2694000,00
C	2047479,69	5959000,00
D	2374571,63	2752000,00



(a). arah-x. (b). arah-y)

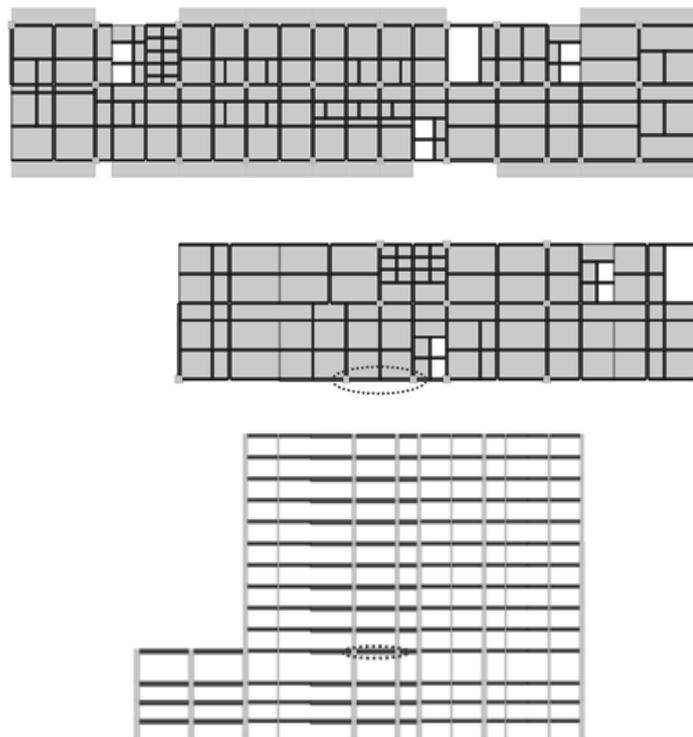
Gambar 6: Contoh grafik peralihan tiap lantai untuk Model-B (Meyta, 2014).



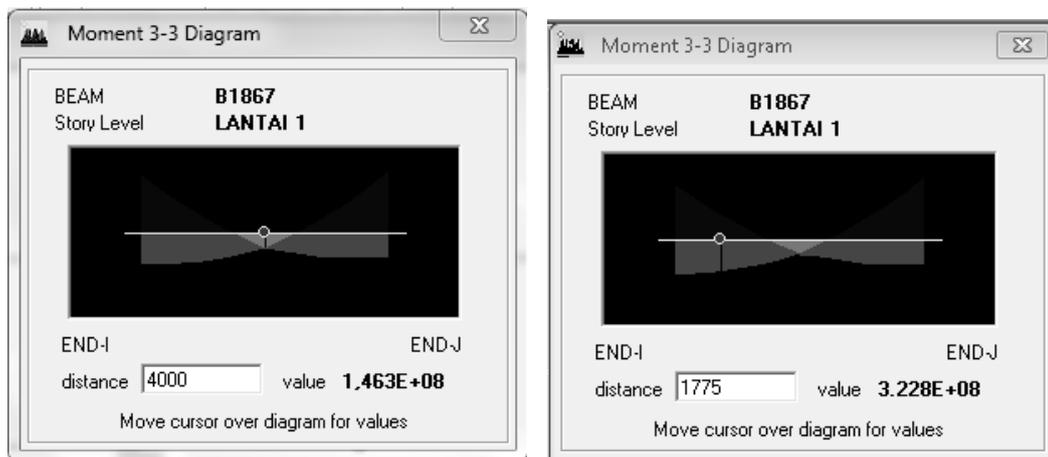
(a). arah-x. (b). arah-y)

Gambar 7: Contoh grafik drift rasio tiap lantai untuk Model-B (Meyta, 2014).

Gambar 8 memperlihatkan balok yang ditinjau untuk didesain jumlah tulangan lentur (nominal) yang diperlukan. Gambar 9 memperlihatkan skematik diagram momen pada balok tersebut akibat kombinasi maksimum, baik gedung yang di-analisis dengan analisis respons spektrum maupun analisis riwayat waktu, dalam desain ini, dipilih diagram momen dari modul gedung yang menghasilkan gaya dalam terbesar. Gambar 10 memperlihatkan skematik penulangan balok tersebut. Selanjutnya Gambar 11 memperlihatkan kolom yang ditinjau untuk didesain jumlah tulangan utama (nominal). Gambar 12 memperlihatkan skematik penulangan kolom tersebut yang diperoleh dari hasil desain.



Gambar 8: Balok yang ditinjau dalam penelitian ini (Meyta, 2014).



(a). Model dengan analisis respons spektrum.

(b). Model dengan analisis riwayat waktu.

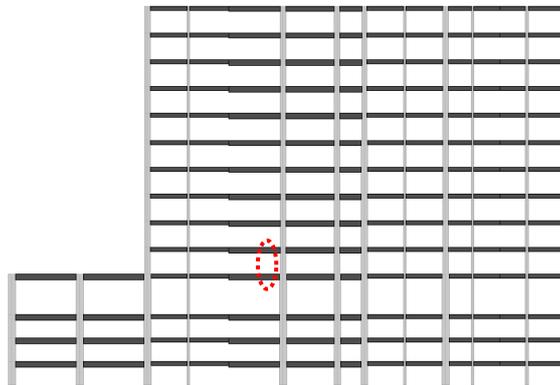
Gambar 9: Diagram gaya dalam momen lentur pada balok yang ditinjau dalam penelitian ini (Meyta, 2014).

TIPE	ANALISIS RESPON SPEKTRUM BALOK 400 x 800 , L = 8000 mm			TIPE	ANALISIS RIWAYAT WAKTU BALOK 400 x 800 , L = 8000 mm		
	POSISI	TUMP. KIRI	LAPANGAN		TUMP. KANAN		
POTONGAN				POTONGAN			
TULANGAN ATAS	7D25	3D25	7D25	TULANGAN ATAS	7D25	3D25	7D25
TULANGAN BAWAH	3D25	3D25	3D25	TULANGAN BAWAH	4D25	3D25	4D25
SENGKANG	D10-150	D10-150	D10-150	SENGKANG	D10-150	D10-150	D10-150

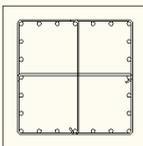
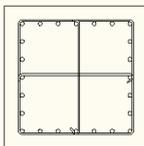
(a). Model dengan analisis respons spektrum.

(b). Model dengan analisis riwayat waktu.

Gambar 10: Skematik penulangan balok yang ditinjau dalam penelitian ini (Meyta, 2014).



Gambar 11: Kolom yang ditinjau dalam penelitian ini (Meyta, 2014).

TIPE	KOLOM 900 x 900	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN	24D25	24D25
SENGKANG	D10-200	D10-200

Gambar 12: Hasil penulangan kolom yang ditinjau dalam penelitian ini (Meyta, 2014).

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa pembahasan yang diperoleh yaitu sebagai berikut:

1. Waktu getar pada ke-empat (seluruh) model gedung, didapatkan hasil periode getar yang memenuhi persyaratan SNI Gempa 1726-2002 dan sudah cukup kaku. Dari keempat model gedung, model gedung yang strukturnya paling kaku adalah gedung D dengan periode 1,81 detik, sedangkan model gedung yang strukturnya paling fleksibel adalah gedung B dengan periode 3,21 detik. Semakin tinggi tingkat gedung, maka akan semakin fleksibel. Oleh karena itu, gedung B digunakan dalam analisis dinamik respon spektrum dan analisis riwayat waktu.
2. Dari hasil kedua analisis dinamik respon spektrum dan riwayat waktu dapat disimpulkan bahwa seluruh model gedung yang di-analisis dengan metode analisis riwayat waktu menghasilkan gaya geser lebih besar dibandingkan dengan analisis respon spectrum. Oleh karena itu analisis riwayat waktu direkomendasikan digunakan untuk analisis bangunan tahan gempa.
3. Dari hasil analisis dinamik respon spektrum dan analisis riwayat waktu dibahas *drift* beberapa titik pada gedung. Perpindahan antar tingkat semua model gedung memenuhi persyaratan kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit SNI Gempa 1726-2002.
4. Jumlah tulangan pada balok tinjauan tertentu, untuk model gedung yang di-analisis menggunakan analisis riwayat waktu lebih banyak dibandingkan dengan model gedung yang di-analisis dengan analisis respon spektrum. Sedangkan untuk kolom tinjauan tertentu, jumlah tulangan kolom untuk model gedung yang di-analisis dengan kedua metode tersebut hasilnya adalah sama.

Kesimpulan

Hasil penelitian mengindikasikan bahwa untuk mengetahui perilaku kekakuan masing-masing struktur gedung yang mana memberikan dampak terhadap kekakuan struktur secara keseluruhan, maka pemodelan struktur baik itu tanpa balok *skybridge* (gedung di-analisis secara terpisah) maupun struktur dengan balok *skybridge* (gedung di-analisis secara satu kesatuan) sangat diperlukan. Hal ini berdampak pada distribusi gaya-gaya dalam yang bekerja pada komponen-komponen strukturnya

Daftar Pustaka

- Badan Standardisasi Nasional. (2002a). “Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 1726-2002”, *Badan Standardisasi Nasional*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002b). “Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002”, *Badan Standardisasi Nasional*.
- Computers and Structures, Inc. (2008). “*ETABS 9 User Guide*”, *Computers and Structures, Inc.*, University Ave Berkeley CA, 94704.
- Imran, I., Hendrik, F. (2010). “Perencanaan *Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa Berdasarkan SNI 03-2847-2002*”. Bandung Penerbit ITB.
- Meyta, E.A. (2014). “*Analisis Dinamik Respon Spektrum Dan Riwayat Waktu Untuk Gedung Beton Bertulang Dengan Dua Tower*”, Tugas Akhir (tidak dipublikasikan), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha, Bandung.
- Standar Kontruksi Bangunan Indonesia. (1987). “*Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*”, Standar Kontruksi Bangunan Indonesia.
- URL: http://id.wikipedia.org/wiki/Gempa_bumi_Samudra_Hindia_2004, diakses tanggal 27 Agustus 2013.
- URL: <http://buildingindonesia.biz/2010/11/10/the-peak-at-sudirman-apartemen-kembar-tertinggi-di-dunia-berada-di-jakarta>, diakses 1 September 2013.
- URL: <http://www.ilmusipil.com/pengertian-beton>, diakses tanggal 1 September 2013.
- URL: <http://www.perencanaanstruktur.com/2011/11/analisis-gempa-dinamik-time-history.html>, diakses tanggal 5 Januari 2014.
- URL: <http://www.perencanaanstruktur.com/2011/08/sejarah-gempa-el-centro-yang-dijadikan.html>, diakses tanggal 5 Januari 2014.
- URL: <http://sohopancoranjakarta.blogspot.com>, diakses tanggal 11 Mei 2014.