
PENGARUH VARIASI PANJANG BENTANG BALOK PADA STRUKTUR RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS TERHADAP TINGKAT LAYAN/KINERJA STRUKTUR

Arie Wardhono

Dosen Jurusan Teknik Sipil - Universitas Negeri Surabaya

Abstract

Building structures have many styles, forms and models that becoming separate phenomenon for civil engineer in analyzing its structure. One is structure configuration with length variation of beam.

The objection of this study is to know the performance level of structure along with its element to the variation of beam length to structure ductility, to know the global ductility that reached, and also to get the comparison of design target displacement to actual target displacement for every structure model. Analysis will be conducted by comparing of 7 structures model in 2D form with length variation of beam on Special Moment Resisting Frame design. Seismic force analysis will be done based on static equivalent analysis in seismic zone (WG) of 6 as according to regulation of SNI 03-1726-2002 and ATC-40 and of FEMA-356 as complement using SAP software 2000 Nonlinear software.

The analysis result shows that the value of ductility (μ) on Structure 1 (μ) = 5,829, Structure 2 (μ) = 6,985, Structure 3 (μ) = 6,952, Structure 4 (μ) = 5,785, Structure 5 (μ) = 7,593, and Structure 6 (μ) = 7,441 bigger than maximum ductility (μ_m) = 5,3. This mean that building structure still can maintain its strength so that the structure still stand up even it has been position in the verge of collapse condition. While design displacement target (δ_t) to actual displacement target (δ_a) on Structure 1 (δ_t) = 0,388 m < δ_a = 0,420 mm, Structure 2 (δ_t) = 0,382 m < δ_a = 0,480 m, Structure 3 (δ_t) = 0,404 m < δ_a = 0,502 m, Structure 4 (δ_t) = 0,395 m < δ_a = 0,446 m, Structure 5 (δ_t) = 0,348 m < δ_a = 0,487 m, and Structure 6 (δ_t) = 0,383 m < δ_a = 0,508 m. The result shows that structure displacement in actual is over the design displacement target so that structure can be deformed more. The result also shows that the performance of Structure 5 is better than other structures which it has the best ductility (μ) = 7,593 and actual displacement target (δ_a) = 0,487 m is already over its design displacement target (δ_t) = 0,348 m. It can be concluded that the shorter span of the edge beam compared with the longer span of middle beam will give a better performance of the structure.

Keywords: Reinforced concrete structure, seismic, length variation, performance-based, ductility, displacement target

PENDAHULUAN

Struktur bangunan yang dirancang mempunyai beragam gaya, model dan bentuk yang menjadi fenomena tersendiri bagi seorang teknik sipil dalam menganalisis strukturnya. Salah satu fenomenanya adalah konfigurasi

struktur dengan variasi distribusi panjang bentang. Hal ini menyebabkan distribusi momen pada lantai terkadang bervariasi sesuai dengan panjang bentang yang ada. Apakah dengan analisis yang ada selama ini, dimensi dan pemasangan tulangan dapat ditinjau secara praktis untuk dipasang sama. Berdasarkan hal

tersebut maka pada studi ini akan dilakukan suatu analisis perbandingan terhadap variasi panjang bentang balok struktur beton bertulang tahan gempa yang menerapkan prinsip-prinsip "Kolom Kuat Balok Lemah".

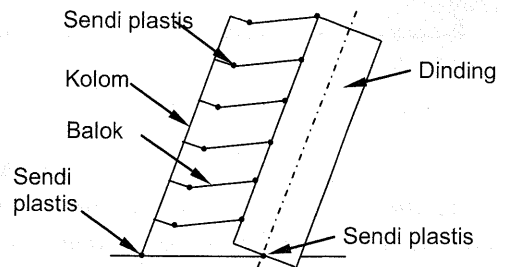
Adapun tujuan dari studi ini adalah untuk mengetahui tingkat layan/kinerja (*performance*) suatu struktur beserta elemennya terhadap variasi perubahan panjang bentang balok terhadap daktilitas struktur, mengetahui tingkat daktilitas (*global ductility*) yang dicapai, serta mendapatkan perbandingan nilai target perpindahan rencana (*target displacement*) terhadap perpindahan aktual tiap model struktur. Analisis dilakukan dengan melakukan perbandingan terhadap 6 model struktur bentuk 2D dengan variasi panjang bentang balok pada Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus. Analisis gempa dilakukan berdasarkan analisis statik ekuivalen dengan struktur terletak pada Wilayah Gempa 6 sesuai dengan peraturan SNI 03-1726-2002 serta peraturan komplemen seperti ATC-40 dan FEMA-356 dengan memakai software SAP 2000 *Nonlinear*. Sedangkan batasan permasalahan dalam studi ini adalah: tidak meninjau perhitungan elemen struktur sekunder, tidak meninjau aspek ekonomis gedung, dan tidak meninjau perencanaan pondasi

KAJIAN PUSTAKA

Konsep *Strong Column Weak Beam*

Perencanaan pada konsep "*Strong Column Weak Beam*" atau "Kolom Kuat Balok Lemah" dinamakan sebagai Disain Kapasitas yang artinya ketika struktur gedung memikul pengaruh gempa rencana, sendi-sendi plastis di dalam struktur gedung tersebut hanya boleh

terjadi pada ujung-ujung balok dan pada kaki kolom saja, oleh karena itu perlu adanya batasan-batasan yang jelas mengenai konsep "*Strong Column Weak Beam*"



Gambar 1. Mekanisme Keruntuhan Ideal Suatu Struktur Gedung

Konsep *Performance-Based Design*

Performance-based design merupakan metodologi dimana kriteria struktur diekspresikan dalam syarat daya guna kinerja obyek (ATC-40). Dalam konsep *performance-based design* atau perencanaan berbasis tingkat layan/kinerja struktur dimulai dengan menentukan *performance level* dari gedung yang akan dihitung dengan memperhatikan kerugian material bangunan, kematian penghuni gedung, dan kerugian dari fungsi bangunan pasca gempa.

Adapun penetapan tingkat kinerja suatu bangunan dapat didasarkan atas aturan tingkat keselamatan yang diberikan kepada penghuni gedung selama dan sesudah terjadi gempa serta biaya terhadap kerusakan gedung pasca gempa. Dengan kata lain tingkat kinerja merupakan suatu kerusakan maksimum yang masih diijinkan sesuai dengan tingkat kepentingan, pertimbangan ekonomis dari pemilik bangunan yang akan dibangun. FEMA-356 mengatur tingkat kinerja suatu bangunan sebagai berikut:

• *Operational*

Pada level ini gedung diperkirakan dapat meminimalkan kerusakan yang terjadi pada komponen struktural dan non-struktural. Dan gedung masih dapat dipakai secara normal.

• *Immediate Occupancy*

Pada level ini gedung diperkirakan dapat meminimalkan kerusakan yang terjadi pada komponen struktural sedangkan pada komponen non-struktural terjadi kerusakan kecil. Gedung masih dapat berfungsi kembali dengan sedikit perbaikan. Resiko terhadap tingkat keamanan gedung adalah sangat kecil.

• *Life Safety*

Pada level ini gedung diperkirakan mengalami banyak kerusakan pada komponen struktural maupun non struktural. Perbaikan dibutuhkan sebelum gedung dipakai kembali dan mungkin tidak ekonomis. Resiko terhadap tingkat keamanan gedung adalah kecil.

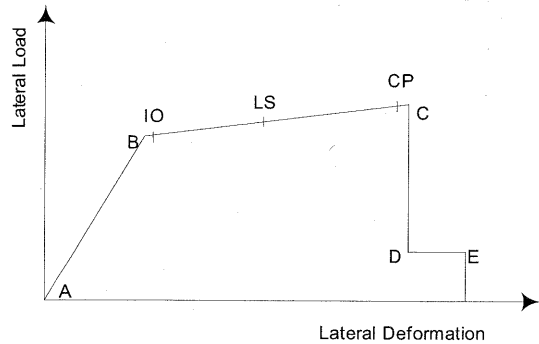
• *Collapse Prevention*

Pada level ini gedung diperkirakan terjadi kegagalan pada komponen non-struktural. Karena gedung tersebut tidak mengalami keruntuhan (*collapse*) maka korban jiwa dapat diminimalisir.

Analisis Pushover

Analisis *pushover* adalah analisis perpindahan struktur dengan beban gempa statis ekuivalen yang besarnya beban ditingkatkan berangsur-angsur secara proporsional sampai struktur mencapai suatu tingkat kinerja tertentu. Respon non-linier komponen-komponen struktur yang terjadi secara umum dapat diwakili oleh hubungan

load-deformation seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan Load-Deformation

Dimana:

- Titik A (kondisi tanpa beban/gaya)
- A – B merupakan respon linear
- Titik B (titik leleh efektif/*nominal yield strength*)
- Dari B ke C terjadi penurunan kekakuan terhadap beban lateral (*strain hardening*)
- IO : *Immediate Occupancy*
- LS : *Life Safety*
- CP : *Collapse Prevention*
- Titik C (*Nominal Strength* dimana kekuatan untuk menahan beban lateral sudah hilang)
- Terjadi penurunan kekakuan secara drastis C ke D. Pada struktur daktail deformasinya lebih besar dari deformasi pada saat leleh. Selain itu pada kondisi ini beton mengalami pengelupasan (*spalling*). Lalu penurunan kekakuan ini diteruskan hingga titik E
- Titik E (kemampuan struktur untuk melakukan deformasi maksimum)

Prosedur Metode Koefisien Perpindahan FEMA-356

• Periode Fundamental Efektif

Periode fundamental efektif harus berdasarkan idealisasi kurva *Force-Deformation* yang didefinisikan di atas.

Periode fundamnetal efektif harus dihitung pada persamaan:

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}}$$

dimana :

T_i : Periode fundamental elastis

K_i : Kekakuan lateral elastis dari bangunan

K_e : Kekakuan lateral efektif dari bangunan

• Target Perpindahan Rencana

Target displacement δ_i pada tiap lantai harus dihitung sesuai dengan persamaan di bawah ini atau sesuai dengan persyaratan dari section 3.3.3.3.1 FEMA-356

$$d_i = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4p^2} g$$

Dimana:

C_0 : Faktor modifikasi yang menghubungkan spektra perpindahan dari sebuah persamaan sistem SDOF terhadap perpindahan atap dari bangunan sistem MDOF yang diperoleh dari Tabel 3-2 FEMA-356

C_1 : Faktor modifikasi yang menghubungkan perkiraan perpindahan inelastis maksimum terhadap perpindahan yang dihitung dengan respons analisis linear elastis.

$$C_1 = 1,0 \text{ untuk } T_e \geq T_s$$

$$C_1 = \left[\frac{1.0 + (R-1)T_s / T_e}{R} \right]$$

untuk $T_e < T_s$

C_2 : Faktor modifikasi yang menampilkan

efek dari bentuk *pinc hysteric*, penurunan kekakuan dan kekuatan kemungkinan berada pada respon perpindahan maksimum. Nilai dari C_2 untuk sistem *frame* yang berbeda dan tingkat kinerja struktur dapat diperoleh dari Tabel 3-3 FEMA 356.

Sebagai alternatif nilai $C_2 = 1,0$ diijinkan untuk prosedur nonlinear

C_3 : Faktor modifikasi untuk menampilkan pertambahan perpindahan akibat efek dinamik P- Δ . Untuk bangunan dengan kekakuan efektif positif pasca leleh, nilai $C_3 = 1,0$ Sedangkan untuk gedung dengan kekakuan efektif negatif pasca leleh nilai C_3 dihitung dengan persamaan:

$$C_3 = 1.0 + \frac{|a|(R-1)^{3/2}}{T_e}$$

S_a : Percepatan respon spectrum, pada periode fundamental efektif dan rasio redaman dari bangunan sesuai dengan section 1.6.1.5 dan 1.6.2.1

g : Percepatan gravitasi

T_i : Periode fundamental elastis yang dihitung dengan analisis elastis

Tingkat Daktilitas

Berdasarkan SNI 03-1726-2002, faktor daktilitas stuktur gedung (μ) adalah rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan (δ_m) dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama (δ_y), yaitu:

$$1,0 \leq m = \frac{d_m}{d_y} \leq \mu_m$$

(SNI 03-1726-2002 pasal 4.3.1)

METODOLOGI

Langkah-langkah yang dilakukan dalam studi ini:

- a. Studi kasus.
Struktur yang akan dibandingkan adalah 6 model struktur, meliputi (1) 8m-2m-8m, (2) 8m-4m-8m, (3) 8m-6m-8m, (4) 2m-8m-2m, (5) 4m-8m-4m, (6) 6m-8m-6m, kesemuanya dengan delapan lantai. Ketujuh model struktur tersebut akan didisain dan dievaluasi kinerjanya sesuai dengan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-2847-2002
- b. Melakukan perencanaan awal struktur gedung berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 03-1726-2002.
- c. Melakukan analisis elastis yaitu dengan menghitung gaya-gaya dalam berdasarkan distribusi gaya gempa dasar menggunakan metode statis ekuivalen. Analisis dilakukan dengan bantuan SAP 2000 Nonlinear berdasarkan SNI 03-1726-2002.
- d. Melakukan pendetailan pada elemen balok dan kolom struktur berdasarkan SNI 03-2847-2002.
- e. Menentukan suatu target perpindahan rencana sebagai titik acuan *performance objective* yang ingin dicapai.
- f. Perhitungan daktilitas struktur rencana/maksimum (μ_m)
- g. Melakukan evaluasi kinerja dengan melakukan analisis inelastis yaitu analisis statis non-linier menggunakan analisis *Pushover* dengan bantuan SAP 2000

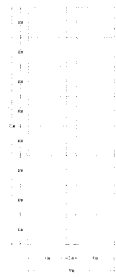
NonLinear.

- h. Melakukan pengecekan terhadap nilai daktilitas (μ) yang terjadi terhadap nilai daktilitas struktur rencana/maksimum (μ_m) sebagai hasil analisis *Pushover*.
- i. Melakukan pengecekan terhadap perpindahan target rencana (δ_t) yang digunakan dengan perpindahan aktual struktur (δ_a) akibat analisis *Pushover*.
- j. Simpulan

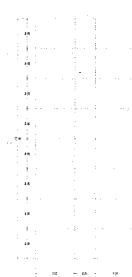
HASIL DAN PEMBAHASAN

Permodelan Struktur

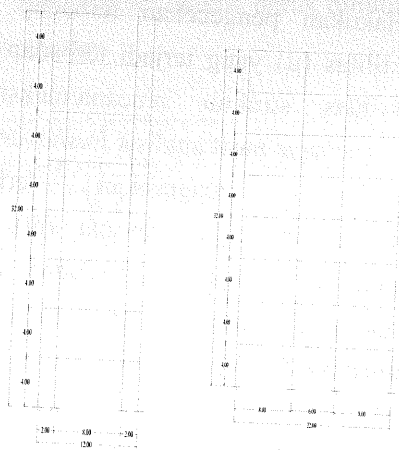
Struktur yang akan didisain adalah 6 macam struktur dengan variasi distribusi panjang bentang yang berbeda. Adapun panjang bentang maksimum dari keseluruhan adalah 8 m. Perencanaan model struktur gedung beton bertulang 8 lantai, tinggi antar lantai = 4 m, fungsi perkantoran, mutu beton $f_c' = 30$ MPa, mutu baja $f_y = 400$ MPa, $f_{ys} = 240$ MPa. Struktur gedung berada di wilayah gempa 6 didisain berdasarkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan nilai daktilitas (μ) = 5,3 dan faktor reduksi gempa (R) = 8,5 dengan waktu getar alami $T = 0,98$ detik.



Struktur 1

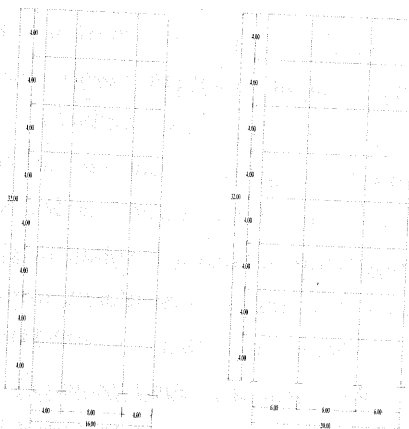


Struktur 2



Struktur 3

Struktur 4



Struktur 5

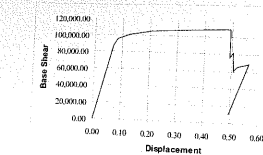
Struktur 6

Gambar 3. Model Struktur Yang Akan Dianalisis

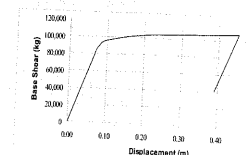
Dimensi struktur adalah balok 500 x 700 mm² dan kolom 600 x 600 mm².

Analisis Pushover

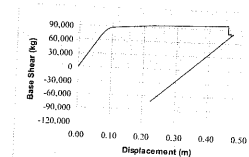
Adapun kurva kapasitas sebagai hasil analisis Pushover dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini:



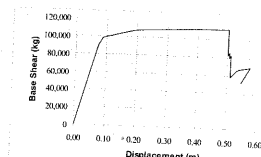
Kurva Kapasitas Struktur 1



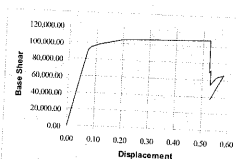
Kurva Kapasitas Struktur 2



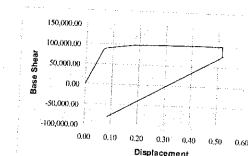
Kurva Kapasitas Struktur 4



Kurva Kapasitas Struktur 5



Kurva Kapasitas Struktur 5



Kurva Kapasitas Struktur 6

Gambar 4. Kurva Kapasitas Struktur

Nilai Tingkat Daktilitas

Tingkat daktilitas (μ) struktur dapat dilihat pada hasil analisis struktur pada Tabel 1.

$$\mu = \frac{\text{kondisi struktur diambang keruntuhan}}{\delta_m}$$

kondisi struktur saat leleh pertama δ_y

$$1,0 \leq \mu = \delta_m / \delta_y \leq \mu_m = 5,3$$

$\mu_m = 5,3$ berdasarkan Tabel 2 SNI-03-1726-2002

Adapun rekapitulasi perhitungan nilai faktor daktilitas untuk keseluruhan model struktur adalah:

Tabel 1. Nilai Daktilitas Tiap Struktur

Struktur	δ_y m	δ_m m	μ_δ
1	0,085	0,453	5,32
2	0,086	0,494	5,72
3	0,086	0,506	5,90
4	0,087	0,456	5,27
5	0,076	0,514	6,80
6	0,082	0,527	6,46

Target Perpindahan Rencana

Adapun untuk rekapitulasi perhitungan target perpindahan rencana adalah:

$$C_0 = 1,3 \quad C_1 = 1 \quad C_2 = 1$$

$$S_a = 0,5 \quad g = 9,1 \text{ m/sec}^2$$

Sedangkan nilai target perpindahan rencana (δ_t) dari tiap struktur adalah:

Tabel 2. Nilai Target Perpindahan Rencana (δ_t) Tiap Struktur

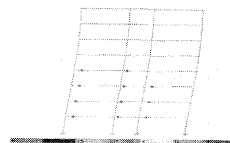
Struktur	T_i det	K_e kg/m	K_i kg/m	T_e det	δ_t M
1	1,12	1189214,86	1195092,41	1,123	0,387
2	1,11	1275301,94	1289718,68	1,116	0,383
3	1,14	1243487,92	1259376,22	1,147	0,404
4	1,13	1029544,60	1037955,00	1,135	0,395
5	1,06	1302881,38	1314099,31	1,065	0,348
6	1,11	1283909,45	1299286,01	1,117	0,383
7	1,18	1186623,94	1315849,15	1,243	0,474

Nilai daktilitas struktur berdasarkan hasil analisis *Pushover* serta target perpindahan rencana yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 3 berikut:

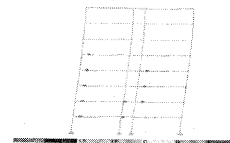
Tabel 3. Hasil Analisis Struktur Menggunakan Analisis *Pushover*

No	Uraian	Struktur 1	Struktur 2	Struktur 3	Struktur 4	Struktur 5	Struktur 6
1	Formasi Bentang	8m-2m-8m	8m-4m-8m	8m-6m-8m	2m-8m-2m	4m-8m-4m	6m-8m-6m
2	Dimensi Balok	50/70	50/70	50/70	50/70	50/70	50/70
4	Dimensi Kolom	60/60	60/60	60/60	60/60	60/60	60/60
6	Displ. leleh (δ_y)	0,085	0,086	0,086	0,087	0,076	0,082
7	Displ. maks (δ_m)	0,495	0,601	0,599	0,503	0,577	0,610
8	Nilai Daktilitas μ_δ	5,829	6,985	6,952	5,785	7,593	7,441
9	Target Displ. (δ_t)	0,387	0,383	0,404	0,395	0,348	0,383
10	$(\delta_t)/(\delta_y)$	0,15	0,23	0,20	0,13	0,32	0,27

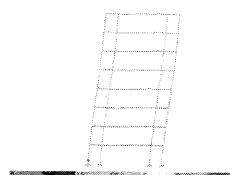
Bedasarkan hasil analisis statis nonlinear didapatkan untuk pemeriksaan kinerja dengan menggunakan metode koefisien perpindahan didapatkan bahwa semua struktur melampui target perpindahan untuk semua level kinerja baik itu *Immediate Occupancy, Life Safety*, dan *Collapse Prevention* yang disyaratkan FEMA-356. Sehingga desain dengan menggunakan SNI 03-2847-2002 dan SNI 03-1726-2002 sudah dapat memenuhi FEMA-356.



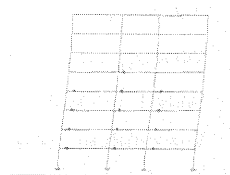
Struktur 1



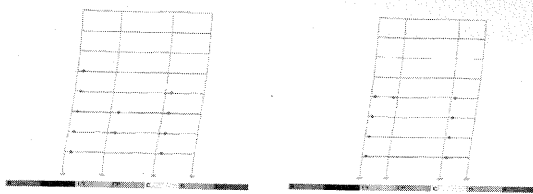
Struktur 2



Struktur 3



Struktur 4



Struktur 5

Struktur 6

Gambar 5. Pola Keruntuhan Struktur

Bedasarkan hasil analisis *Pushover* didapatkan bahwa sendi plastis pertama terjadi di balok untuk semua model struktur, tidak terjadi di kolom, hal ini telah sesuai dengan konsep "*Strong Column Weak Beam*" sesuai dengan SNI 03-2847-2002 dan SNI 03-1726-2002.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dari hasil analisis dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Melakukan simulasi perubahan bentang pada struktur sangat bermanfaat untuk mengetahui kinerja struktur.
2. Secara keseluruhan, seluruh model struktur menunjukkan tingkat layan/kinerja yang baik dengan memiliki nilai daktilitas (μ) yang lebih besar dari nilai daktilitas maksimum (μ_m) serta target perpindahan aktual (δ_a) yang lebih besar dari target perpindahan rencana (δ_r)
3. Nilai Daktilitas (μ) menunjukkan bahwa struktur 5 memiliki nilai daktilitas (μ) yang tinggi yaitu 7,593. Sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan. Hal ini menunjukkan bahwa dengan panjang bentang balok tepi yang lebih pendek dibandingkan dengan

panjang balok tengah akan memberikan tingkat layan/kinerja struktur yang lebih baik pula.

4. Metode koefisien perpindahan FEMA-35 dapat dijadikan alternatif pemeriksaan kinerja struktur selain daktilitas perpindahan yang dipakai oleh SNI 03-1726-2002. Selain itu dengan menggunakan metode koefisien perpindahan, tingkat kerusakan struktur dapat direncanakan sesuai yang diinginkan.

Saran

Dalam studi ini banyak diambil asumsi asumsi penyederhanaan dan aspek yang dikaji pun terbatas. Oleh karena itu, ada beberapa saran yang dirasa perlu diajukan sehubungan dengan topik yang ada dalam buku ini antara lain:

1. Interaksi struktur dengan pondasi perlu dikaji mengingat sudah hadirnya FEMA-440 yang didalamnya terdapat bahasan mengenai interaksi struktur dengan pondasi untuk konsep *Performance Based Seismic Design*.
2. Analisis *Pushover* yang dilakukan dengan menggunakan program bantu SAP 2000 masih belum mampu menunjukkan penambahan beban gempa yang ditingkatkan secara berangsur-angsur. Diharapkan perencana dapat menentukan sendiri proporsi penambahan beban gempa, sebagai kelanjutan studi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional (2002), *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung*, SNI 03-1726-2002.
- Badan Standardisasi Nasional (2002), *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-2847-2002.
- Badan Standardisasi Nasional (2002), *Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Rumah dan Gedung*, RSNI - 3 Revisi SNI 1727 1989.
- Computers and Structures, Inc (2005), *CSI Analysis Reference Manual For SAP 2000, ETABS, and SAFE*, Barkeley, California.
- Federal Emergency Management Agency (1997), *NEHRP Commentary On The Guidelines For Seismic Rehabilitation Of Buildings*, FEMA-274, Washington DC.
- Federal Emergency Management Agency (2000), *Prestandard And Comentary For The Seismic Rehabilitation Of Building*, FEMA-356, Washington DC.
- Paz, Mario (1985), *Dinamika Struktur Teori & Perhitungan*, Erlangga, Jakarta.
- Park, R and Paulay, T (1975), *Reinforced Concrete Structures*, John Wiley & Sons, New York.
- Purwono, Rahmat (2005), *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa: Perencanaan dan Perhitungan Sesuai SNI 1726 dan SNI 2847 Terbaru*, ITS Press