

EVALUASI DESAIN STRUKTUR GEDUNG TRAINING CENTRE II UNIVERSITAS DIPONEGORO

Jasman Isman Kadir, Muhammad, Sri Tudjono^{*)}, Himawan Indarto.^{*)}

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, SH., Tembalang, Semarang. 50239,
Telp.: (024) 7474770, Fax.: (024) 7460060

ABSTRAK

Desain struktur dari Gedung Training Centre II Universitas Diponegoro Semarang memiliki jarak antar kolom yang relatif dekat dan jumlah tingkat yang tidak terlalu tinggi, namun memiliki dimensi kolom dan balok yang besar. Dimensi tersebut merupakan hasil perencanaan Konsultan Perencana yang mengacu pada kriteria desain SNI 1726-2002 mengenai struktur gempa, SNI-1727-1989 mengenai pembebanan, dan SNI 2847-2002 mengenai struktur beton, dimana standar-standar tersebut bukan merupakan standar terbaru saat gedung tersebut dilaksanakan pada tahun 2015. Beberapa hal tersebut menjadi dasar dilakukannya evaluasi desain struktur ini. Evaluasi desain struktur gedung dilakukan dengan melakukan perhitungan ulang dengan mengacu pada kriteria-kriteria saat ini yaitu SNI 1726-2012, SNI 1727-2013, dan 2847-2013. Berdasarkan analisis gempa menunjukkan gedung tersebut termasuk dalam Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan harus menggunakan konsep kolom kuat - balok lemah. Hasil evaluasi menunjukkan terjadinya overdesain pada desain eksisting yang direncanakan Konsultan Perencana, perbedaan paling signifikan terjadi pada struktur kolom dan fondasi. Pada beberapa elemen struktur seperti pada pelat untuk ruangan tertentu dan tulangan torsi balok desain eksisting tidak memenuhi standar yang berlaku.

Kata kunci: *Evaluasi, Overdesain, Kriteria Desain, Komparasi*

ABSTRACT

Structural design of Training Centre II Building of Diponegoro University Semarang have a relatively close distance between column and total stories that is not very high, but have a big beam and column dimension. This dimension is the planning result by the Consultant based on SNI 1726-2002 about earthquake resistant structure, SNI 1727-1989 about load, and SNI 2847-2002 about reinforced concrete structure, which is not the current code at the time it was constructed in 2015. This structural design evaluation use recalculation method with the newest design criteria which is SNI 1726-2012, SNI 1727-2013, and SNI 2847-2013. Based on earthquake analysis, this building is considered as Sway Special System and using strong column – weak beam concept. The evaluation results indicate the occurrence of overdesign on the existing design planned by the Consultant, while the most significant difference occurred on column and foundation structure. Some structural elements such as plates in a particular room and torsion beam reinforcement of existing design does not meet the applicable standards.

Keywords: *Evaluation, Overdesign, Design Criteria, Comparison.*

^{*)} *Penulis Penanggung Jawab*

PENDAHULUAN

Gedung Training Centre II Universitas Diponegoro merupakan gedung pendidikan yang dilaksanakan pada tahun 2015. Kriteria yang digunakan oleh Konsultan Perencana dalam perencanaan gedung tersebut menggunakan kriteria lama yaitu SNI 1726-2002 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung), SNI 1727-1989 (Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain), dan SNI 2847-2002 (Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung) dimana kriteria-kriteria tersebut telah diperbarui dengan kriteria yang berlaku saat ini yaitu SNI 1726-2012, SNI 1727-2013, dan SNI 2847-2013. Penggunaan standar-standar terbaru ini sangat penting karena pada standar-standar tersebut mengalami perbesaran parameter-parameter gaya gempa pada beberapa tempat, seperti pada kota Semarang. Perbesaran juga terjadi pada beberapa persyaratan pembebanan beban hidup, sehingga akan terjadi perbedaan hasil perhitungan struktur jika menggunakan standar yang berbeda.

Desain eksisting pada gedung tersebut memiliki jarak antar kolom yang relatif dekat dan jumlah tingkat yang tidak terlalu tinggi, namun struktur gedung tersebut memiliki dimensi kolom dan balok yang besar. Hal ini menunjukkan bahwa ada indikasi struktur gedung ini mengalami *overdesign* atau memiliki ukuran struktur yang berlebihan. Perencanaan gedung tentu harus mempertimbangkan efektifitas dari segi kekuatan struktur dan penggunaan material, sehingga menghasilkan gedung yang kuat dan aman namun tetap ekonomis.

Beberapa hal tersebut melatarbelakangi evaluasi gedung Training Centre II Universitas Diponegoro ini, sehingga dapat mengetahui apakah desain struktur eksisting gedung tersebut mengalami *overdesign* atau justru memiliki volume desain yang kurang dari batasan yang diberikan dari standar yang berlaku saat ini.

METODE EVALUASI

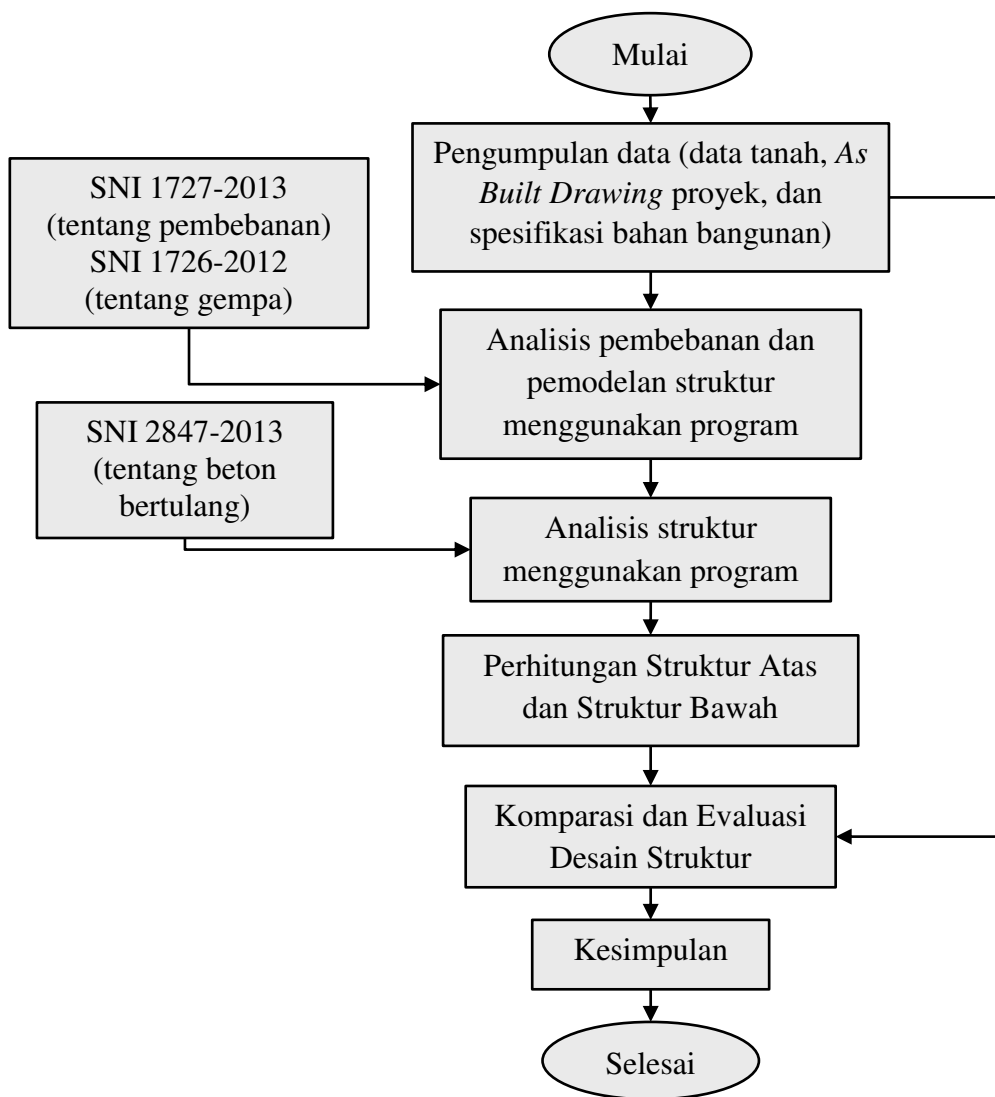
Metode yang digunakan dalam melakukan evaluasi ini dapat dilihat pada Gambar 1. Data yang digunakan dalam evaluasi ini diperoleh dari Badan Administrasi dan Operasional Keuangan Universitas Diponegoro berupa data *As Built Drawing* dan Data Perhitungan Struktur oleh Konsultan Perencana. Data lainnya ialah data hasil uji tanah dari Laboratorium Tanah Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Data spesifikasi tiang pancang *spun pile* diperoleh dari situs *supplier*.

PEMODELAN DAN ANALISIS BEBAN

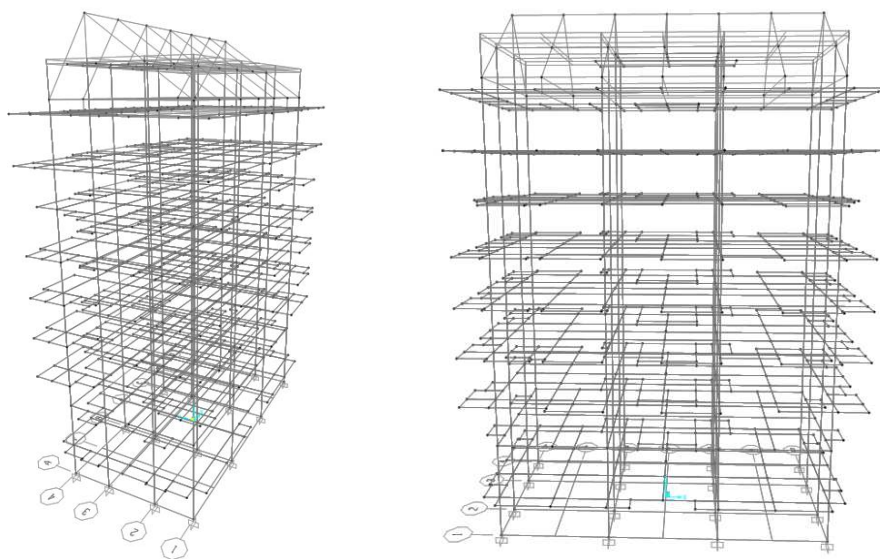
Pemodelan struktur yang dilakukan dalam perhitungan evaluasi desain menggunakan model yang sama dengan desain struktur eksisting yang diperoleh dari data *As Built Drawing* gedung tersebut. Model struktur untuk perhitungan evaluasi dapat dilihat pada Gambar 2.

Mutu Bahan dan Pembebanan Struktur

Mutu bahan yang digunakan dalam perhitungan evaluasi sama dengan yang tercantum pada data perhitungan perencanaan dari Konsultan Perencana dimana memiliki nilai Kuat Tekan Beton (f'_c) = 29,05 MPa dan Kuat Tarik Baja (f_y) = 400 MPa. Untuk pembebanan struktur mengacu pada Tabel 4-1 pada SNI 1727-2013 dan menyesuaikan dengan fungsi ruang yang diperoleh dari gambar denah *As Built Drawing*.



Gambar 1. Metode Evaluasi



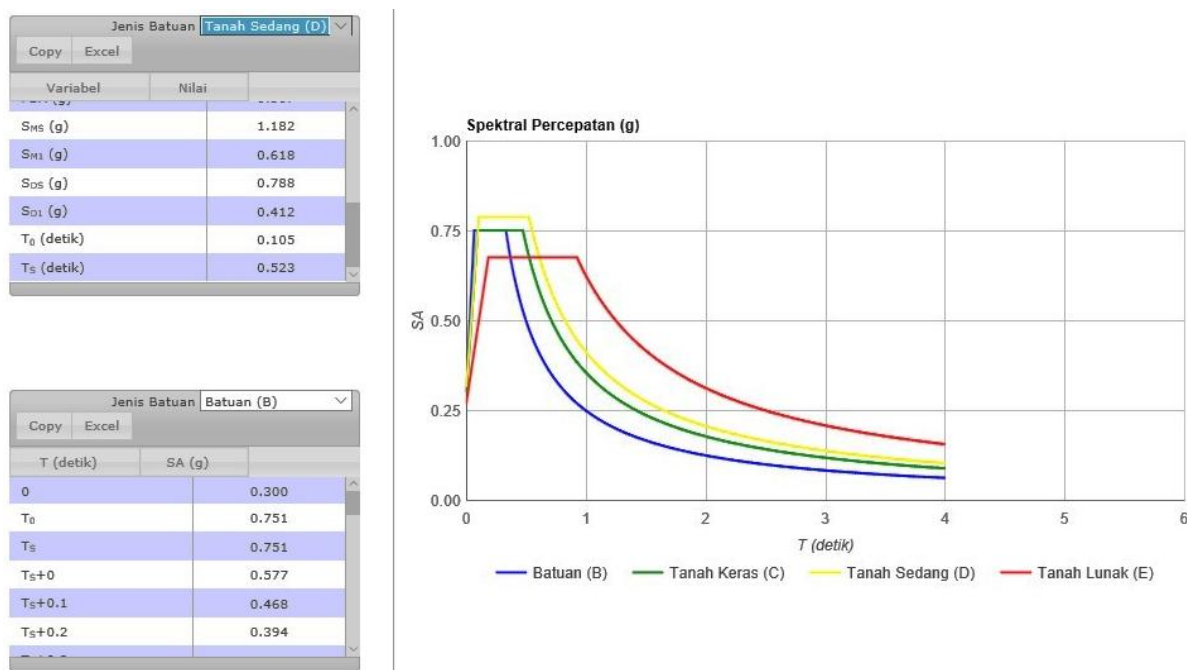
Gambar 2. Pemodelan Struktur

Klasifikasi Situs

Data yang digunakan dalam perhitungan merupakan data tanah bor log yang diperoleh dari Laboratorium Tanah Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Dengan data tersebut diperoleh nilai (N) sebesar 17,916. Karena $15 \leq N \leq 50$ dan mengacu pada Tabel 3 pada SNI 1726-2012 maka dapat disimpulkan bahwa tanah termasuk kelas situs SD (Tanah Sedang).

Spektrum Respon Gempa

Untuk mendapatkan data kurva spektrum respon gempa dapat diperoleh dari situs aplikasi yang disediakan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat pada puskim.pu.go.id (http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/). Data tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Spektrum Respon Gempa pada Kota Semarang Klasifikasi Situs Tanah Sedang dari Situs Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Kategori Desain Seismik

Gedung Training Centre II Universitas Diponegoro ini termasuk dalam kategori gedung pendidikan sehingga memiliki Kategori Risiko IV. Berdasarkan data spektrum yang diperoleh dari situs Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dan kategori risiko dapat diperoleh Kategori Desain Seismik dengan menggunakan Tabel 6 dan Tabel 7 pada SNI 1726-2012 sehingga gedung ini termasuk Kategori Desain Seismik (KDS) D. Mengacu pada Tabel 9 pada SNI 1726-2012 untuk struktur rangka beton bertulang dengan KDS D hanya diijinkan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRMPK).

KONSEP PERHITUNGAN DAN EVALUASI STRUKTUR

Perhitungan struktur untuk evaluasi meliputi perhitungan struktur atas yang meliputi struktur pelat, balok, serta kolom dan perhitungan struktur bawah yang meliputi struktur fondasi.

Komparasi dan Evaluasi Desain Struktur Pelat

Perhitungan struktur pelat mengacu pada SNI 1727-2013 dalam penggunaan beban hidup minimum yang dipikul pelat serta memenuhi persyaratan-persyaratan yang berlaku pada SNI 2847-2013. Nilai momen pada pelat dihitung dengan memanfaatkan buku CUR. Hasil perhitungan evaluasi dan komparasi dengan desain pelat eksisting dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komparasi dan Evaluasi Struktur Pelat

Type	Item	Eksisting	Evaluasi
S2	Tebal Pelat (mm)	120	120
	Tulangan Tumpuan	D10-150	D10-100
	Tulangan Lapangan	D10-300	D10-200

Keterangan:
 Pada desain eksisting pelat didesain dengan menggunakan satu desain yang seragam pada seluruh lantai yaitu pelat tipe S2. Pada desain evaluasi pelat tipe S2 dibagi menjadi 2 untuk ruang yang memiliki beban hidup diatas 400 kg/m²

Desain pelat lantai hasil evaluasi mengalami perbesaran volume tulangan pada ruangan yang memiliki beban hidup diatas 400 kg/m² seperti ruang aula, toko, dan ruang diskusi. Pada perencanaan yang dilakukan Konsultan Perencana tidak menggunakan standar pembebanan yang terbaru yaitu SNI-1727-2013 Pasal 4.10 dimana nilai pembebanan untuk ruang aula, toko, dan ruang diskusi harus mengambil nilai beban hidup minimal 479 kg/m². Pada perencanaan yang dilakukan oleh Konsultan Perencana menggunakan pembebanan sebesar 400 kg/m², sehingga tidak memenuhi syarat pada SNI-1727-2013.

Komparasi dan Evaluasi Desain Struktur Balok

Balok didesain mengalami sendi plastis sehingga harus memperhitungkan Momen Probable (Mpr). Hasil perhitungan evaluasi balok dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komparasi dan Evaluasi Struktur Balok

Type	Item	Eksisting	Evaluasi
Balok Induk (G1.a)	Ukuran Balok (mm)	700 x 400	700 x 350
	Tulangan Tumpuan	9D22	8D22
		3D22	5D22
	Tulangan Lapangan	3D22	3D22
		5D22	5D22
	Sengkang Tumpuan	2D10-100	D10-50
	Sengkang Lapangan	D10-150	D10-150
Tulangan Torsi	2Ø10	2D16	
Balok Induk (G2.a)	Ukuran Balok (mm)	700 x 400	600 x 300
	Tulangan Tumpuan	7D22	7D22
		3D22	4D22
	Tulangan Lapangan	3D22	3D22
		5D22	5D22
	Sengkang Tumpuan	2D10-100	D10-50
Sengkang Lapangan	D10-150	D10-150	

Tipe	Item	Eksisting	Evaluasi
Balok Anak (B1)	Tulangan Torsi	2Ø10	2D13
	Ukuran Balok (mm)	600 x 250	600 x 250
	Tulangan Tumpuan	5D19	4D16
		3D19	3D16
	Tulangan Lapangan	3D19	3D16
		5D19	4D16
	Sengkang Tumpuan	Ø8-100	Ø8-100
	Sengkang Lapangan	Ø8-200	Ø8-200
Balok Anak (B3)	Tulangan Torsi	2Ø10	2Ø10
	Ukuran Balok (mm)	400 x 250	400 x 250
	Tulangan Tumpuan	4D19	4D16
		2D19	2D16
	Tulangan Lapangan	2D19	2D16
		3D19	2D16
	Sengkang Tumpuan	Ø8-100	Ø8-150
	Sengkang Lapangan	Ø8-150	Ø8-150
Tulangan Torsi	-	-	

Tulangan longitudinal utama mengalami pengurangan volume pada semua tipe balok. Namun untuk tulangan longitudinal penahan torsi mengalami perbesaran volume dibandingkan desain eksisting. Perbesaran volume ini berdasarkan pada perhitungan analisis struktur dimana pada bagian sisi gedung mengalami torsi yang relatif besar dan menyesuaikan syarat-syarat pada SNI-2847-2013 Pasal 11.5. Pada tulangan transversal tidak mengalami perubahan volume antara desain eksisting dan desain evaluasi. Perhitungan tulangan transversal hasil evaluasi sudah menyertakan kebutuhan tulangan torsi transversal.

Komparasi dan Evaluasi Desain Struktur Kolom

Sistem struktur gedung ini merupakan SRPMK, maka perhitungan struktur balok dan kolom menggunakan konsep *strong column-weak beam*, dimana struktur didesain dengan membuat kegagalan struktur terjadi pada struktur balok. Momen Kapasitas pada kolom (M_{nc}) harus didesain lebih besar dari 120% Momen Kapasitas pada balok (M_{nb}).

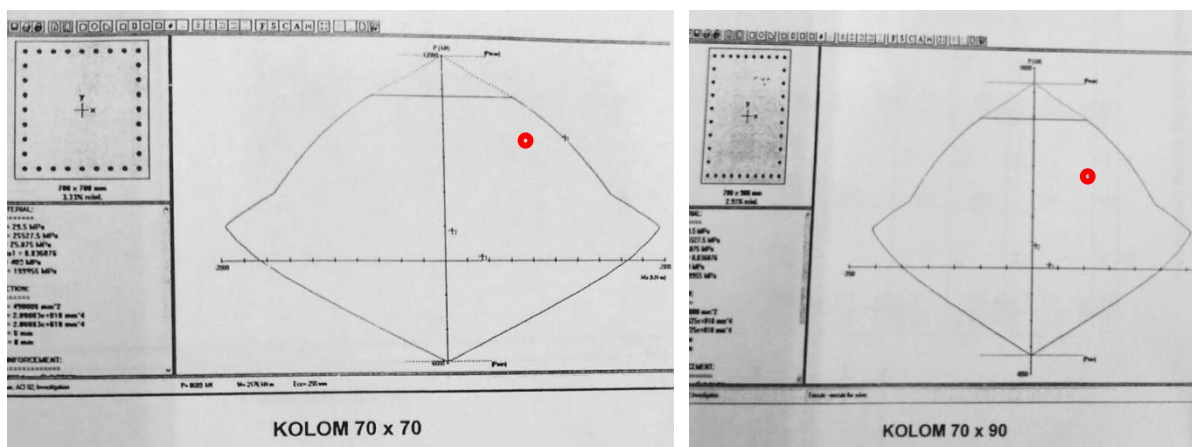
Tabel 3. Komparasi dan Evaluasi Struktur Kolom

Tipe	Item	Eksisting	Evaluasi
K1.a	Ukuran Kolom (mm)	700 x 700	700 x 700
	Tulangan Utama (rasio)	32 D25 (3,2%)	20 D22 (1,6%)
	Sengkang Tumpuan (l_0)	4 D10-100	6 D10-100
	Sengkang Lapangan	4 D10-150	2 D10-150
K1.b	Ukuran Kolom (mm)	700 x 700	700 x 700
	Tulangan Utama (rasio)	28 D25 (2,8%)	20 D19 (1,2%)
	Sengkang Tumpuan (l_0)	4 D10-100	6 D10-100
	Sengkang Lapangan	4 D10-150	2 D10-150
K1.d	Ukuran Kolom (mm)	900 x 700	900 x 700
	Tulangan Utama (rasio)	48 D25 (3,7%)	24 D22 (1,5%)
	Sengkang Tumpuan (l_0)	4 D10-100	6 D10-100
	Sengkang Lapangan	4 D10-150	2 D10-150

Berdasarkan hasil perhitungan terdapat perbedaan volume tulangan longitudinal yang cukup besar antara desain eksisting dan desain evaluasi. Perbandingan yang cukup besar ini menunjukkan terjadinya *overdesign* pada kolom. Desain eksisting menghasilkan nilai Momen Probable yang jauh lebih besar dan mengakibatkan meningkatnya volume tulangan geser yang diperlukan sehingga seharusnya desain eksisting menggunakan tulangan geser yang lebih besar.

Pada perhitungan struktur kolom oleh Konsultan Perencana terjadi beberapa kejanggalan sebagai berikut:

1. Gaya momen dan aksial yang digunakan untuk menentukan kapasitas dua jenis kolom pada struktur gedung tersebut menggunakan nilai yang sama. Sedangkan berdasarkan evaluasi pada titik kolom 700x700 seharusnya memiliki nilai gaya momen dan aksial yang lebih kecil dibandingkan kolom 700x900.



Gambar 4. Diagram Interaksi Kolom pada Buku Perencanaan Konsultan

2. Berdasarkan nilai-nilai dasar perencanaan seperti Kategori Risiko (Ie), Koefisien Modifikasi Respon (R), Periode Fundamental (T), serta pembebanan yang digunakan untuk perhitungan konsultan seharusnya menunjukkan nilai gaya-gaya dalam yang lebih kecil dibandingkan dengan perhitungan evaluasi. Namun pada hasil analisis Konsultan Perencana justru sebaliknya.

4.1 Perhitungan Koefisien Beban Gempa
 Nilai spectrum gempa dihitung sebagai berikut :

Wilayah gempa 2
 $T_1 = 1.689$ detik
 $T_3 = 1.3117$ detik

$$C_1 = \frac{0.5}{T}$$

$\xi = 0.19$
 $R = 8.5$
 $I = 1$
 Jadi, $T_1 < \xi \cdot n = 0.19 \times 12 = 2.28$
 $1.689 < 2.28 \dots \text{OK} \dots$
 $T_2 < \xi \cdot n = 0.19 \times 10 = 2.28$
 $1.3117 < 1.9 \dots \text{OK} \dots$
 Gempa statik $T_1 = 1.689$ detik, maka :

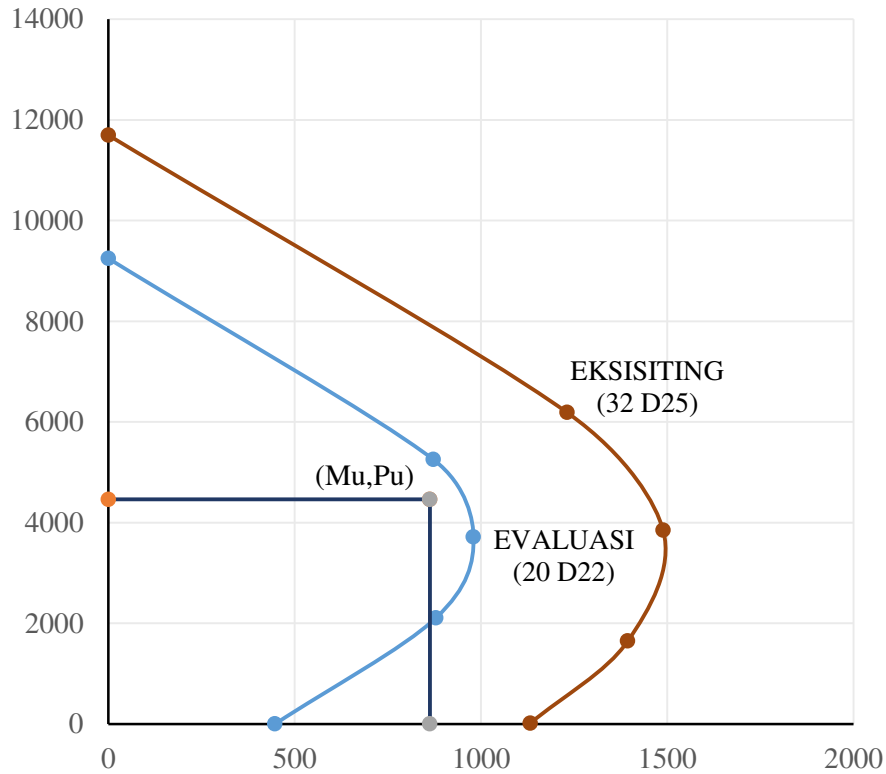
- Beton bertulang berat isi = 2400
- Beton polos berat isi = 2100
- Baja berat isi = 7850
- Dinding ½ bata berat/m2 = 250
- Air berat isi = 1000

2) Beban Hidup :
 Beban hidup yang ditinjau dalam perencanaan ada

- Parkir qL = 400 kg/m2
- Kantor, Hotel qL = 250 kg/m2
- Ruang Pertemuan qL = 400 kg/m2
- Corridor, tangga qL = 300 kg/m2

Gambar 5. Nilai-nilai koefisien gempa dan pembebanan oleh Konsultan Perencana

3. Perbandingan kapasitas antara kolom eksisting dan kolom evaluasi dapat dilihat pada Gambar 6 dimana nilai Momen *Ultimate* (M_u) dan Gaya Aksial *Ultimate* (P_u) merupakan hasil analisis evaluasi. Dapat dilihat bahwa desain eksisting memiliki kapasitas yang berlebihan.



Gambar 6. Perbandingan Kapasitas Kolom

Komparasi dan Evaluasi Desain Struktur Pondasi

Gedung ini menggunakan fondasi tiang pancang dengan *pile prestress*. Daya dukung tanah dihitung dengan metode Mayerhoff yang menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2.

$$Q_{ult} = 40A_b \cdot N_b + 0,5N \cdot A_b \quad (1)$$

$$N_b = 0,5(N_1 + N_2) \quad (2)$$

dimana:

A_b = Luas penampang tiang pancang (m^2)

N = Nilai N rata-rata tiap lapisan

N_1 = Nilai N rata-rata yang dihitung dari $8d$ di atas dasar tiang pancang

N_2 = Nilai N rata-rata yang dihitung dari $4d$ di bawah dasar tiang pancang

d = Diameter tiang pancang (m)

Daya dukung lateral dari fondasi menggunakan metode Brooms dimana gaya geser yang digunakan merupakan gaya geser akibat Momen Probable kolom. Dengan menggunakan grafik hubungan gaya lateral dan gaya momen Brooms, dapat diperoleh nilai momen yang diterima oleh setiap pile. Momen tersebut digunakan sebagai acuan penentuan tipe *spun pile* yang digunakan.

Tabel 4. Komparasi dan Evaluasi Struktur Pondasi

Item	Eksisting	Evaluasi	
Tipe Pile Cap	P18	P6	P8
Pile Cap (m)	3,35 x 7,15 x 1,40	3,15 x 3,15 x 1,10	3,15 x 1,95 x 1,10
Volume Pile Cap (m ³)	33,534	17,672	
Tulangan Tarik	D25-100	D25-125	
Tulangan Tekan	D16-200	D25-250	
Kedalaman Pancang (m)	15	15	
Diameter Pancang (m)	0,45	0,45	
Jumlah Pile	18	14	

Keterangan:
 Pada perhitungan evaluasi fondasi tipe P18 yang menumpu 2 kolom diubah menjadi 2 tipe fondasi (P6 dan P8) yang menumpu masing-masing kolom secara terpisah

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat terjadi pengecilan volume fondasi dan pengurangan jumlah pile. Perhitungan daya dukung tiang pancang dan daya dukung tanah pada evaluasi struktur hanya menggunakan kekuatan bahan dan hasil bor log saja. Beberapa perhitungan dengan metode lain tidak diberikan karena keterbatasan data yang diterima sehingga perhitungan evaluasi tidak memberikan hasil yang lebih komprehensif.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi evaluasi desain struktur Proyek Pembangunan Gedung Training Centre II Universitas Diponegoro yang telah dibahas dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kriteria desain yang digunakan dalam perhitungan evaluasi struktur Gedung Training Centre II Universitas Diponegoro mengacu pada standar-standar terbaru yaitu SNI 1726-2012, SNI 1727-2013, dan SNI 2847-2013. Sedangkan kriteria desain yang digunakan pada perencanaan yang dilakukan Konsultan Perencana adalah standar lama yaitu SNI 1726-2002, SNI 1727-1989, dan SNI 2847-2002. Hal ini tentu kurang baik mengingat proyek ini dilaksanakan pada tahun 2015 di mana standar-standar yang baru telah diberlakukan.
2. Terjadi perbedaan volume hasil perhitungan desain struktur hasil evaluasi dengan desain struktur eksisting yang ada pada data perencanaan dan *As Built Drawing* Gedung Training Centre II Universitas Diponegoro. Desain eksisting menunjukkan volume yang cenderung lebih banyak dari volume hasil evaluasi. Sehingga dapat diambil kesimpulan desain eksisting mengalami *overdesign*.
3. Perbedaan volume tulangan paling signifikan terjadi pada struktur kolom. Hal ini dikarenakan pada struktur kolom yang direncanakan perencana memiliki kejanggalan seperti:
 - Gaya momen dan aksial yang digunakan untuk dua jenis kolom pada struktur gedung tersebut menggunakan nilai yang sama. Sedangkan berdasarkan evaluasi pada titik kolom 700x700 seharusnya memiliki nilai gaya momen dan aksial yang lebih kecil dibandingkan 700x900.
 - Berdasarkan nilai-nilai dasar perencanaan seperti Kategori Risiko (Ie), Koefisien Modifikasi Respon (R), Periode Fundamental (T), serta pembebanan yang digunakan untuk perhitungan Konsultan seharusnya menunjukkan nilai gaya-gaya dalam yang

lebih kecil dibandingkan dengan perhitungan evaluasi. Namun pada hasil analisis Konsultan Perencana justru sebaliknya.

- Kapasitas yang dimiliki kolom eksisting terlalu berlebihan jika dibandingkan dengan gaya-gaya dalam hasil analisis evaluasi seperti pada Gambar 6.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para pembimbing yang telah memberikan bimbingan, saran dan masukan selama pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada redaksi dan reviewer jurnal ini yang telah memberikan koreksi dan masukan bagi penyempurnaan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional, 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung (SNI 1726-2012)*, BSN, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional, 2013. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013)*, BSN, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional, 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)*, BSN, Jakarta.
- Christady, Hary. 2008. *Teknik Fondasi 2* (Cetakan ke-4), Beta Offset, Yogyakarta.
- Kusuma, Gideon. 1995. *Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang Berdasarkan SKI SNI T-15-1991-03 Seri Beton 4*, Erlangga, Jakarta.
- Pemerintah Kota Semarang, 2016. *Standardisasi Harga Satuan Bahan Bangunan, Upah dan Analisa Pekerjaan, untuk Kegiatan Pembangunan*, Semarang.
- Pusat Litbang Perumahan dan Pemukiman Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2011. "Aplikasi Desain Spektra Indonesia". [www.puskim.pu.go.id](http://puskim.pu.go.id) (http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/).
- Wang, Chu Kia. 1999. *Desain Beton Bertulang Jilid 1*, Erlangga, Jakarta.