

Evaluasi Biaya Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Jenis Pemodelan SRPMB dan SRPMM

Lila Angraini¹

¹Jurusan Teknik Sipil Universitas Semarang

Abstrak Evaluasi biaya struktur penting dilakukan dalam rangka memungkinkan perencanaan struktur yang optimal. Evaluasi biaya direncanakan berdasarkan Analisis Perhitungan Harga Satuan Tertinggi Bangunan Kota Semarang Semester I 2015 sebagaimana tertuang dalam Peraturan Walikota Semarang No 44 Tahun 2015. Penulisan ini bertujuan untuk melakukan studi perbandingan biaya konstruksi pada gedung beton bertulang yang direncanakan berdasarkan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), sesuai SNI 1726-2012. Evaluasi biaya menunjukkan bahwa perbedaan biaya antara model struktur yang direncanakan berdasarkan SRPMB dan SRPMM kurang dari 1%.

Kata kunci: evaluasi biaya, analisis harga satuan, biaya konstruksi, SRPMB, SRPMM

Abstract Evaluation of the cost structure is important in order to allow planning of the optimal structure. Evaluation of planned cost calculation based Analysis Unit Price Highest Semarang City Buildings Semester I 2015 as stated in Semarang Mayor Regulation No. 44 of 2015. This research aims to conduct a comparative study on the construction cost of reinforced concrete buildings planned by Ordinary Moment Frame System bearers (SRPMB) and Intermediate moment Frame System bearers (SRPMM), according to ISO 1726-2012. Cost evaluation showed that the cost difference between a model of the planned structure based SRPMB and SRPMM less than 1%.

Keywords: cost evaluation, analysis of unit prices, construction costs, SRPMB, SRPMM

PENDAHULUAN

Perencanaan struktur bangunan gedung terhadap beban gempa di Indonesia menjadi sangat penting, setelah beberapa kejadian gempa yang telah berlangsung pada kurun waktu 10 tahun terakhir yang menunjukkan bahwa wilayah Indonesia termasuk dalam kategori wilayah gempa dengan intensitas moderat hingga tinggi. Konsep perancangan konstruksi didasarkan pada analisis kekuatan batas (*ultimate-strength*) yang mempunyai daktilitas cukup untuk menyerap energi gempa sesuai dengan peraturan yang berlaku. Secara umum, perencanaan struktur bangunan gedung beton bertulang tahan gempa berdasarkan standar peraturan gempa Indonesia yaitu SNI 1726-2012 dan standar peraturan beton Indonesia SNI 03-2847-2012 dapat dilakukan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). Kedua konsep perencanaan ini akan menghasilkan jumlah luas tulangan nominal untuk disain yang berbeda, sehingga hal ini berhubungan dengan perencanaan biaya.

Tujuan penulisan ini adalah sebagai berikut: 1) mengetahui komponen biaya struktur pada perencanaan bangunan gedung beton bertulang yang dimodelkan dengan SRPMB dan SRPMM; 2) melakukan evaluasi biaya struktur dengan memperbandingkan kedua model tersebut.

Ruang lingkup penelitian meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. material gedung direncanakan menggunakan beton bertulang beraturan, dengan jumlah lantai 3;
2. wilayah gempa mengacu pada peta spektra SNI 1726-2012 dengan menginput koordinat lokasi dan pilihan jenis tanah sedang (D);
3. fungsi gedung untuk sekolah/ pendidikan;
4. regulasi perencanaan beban gempa rencana menggunakan SNI 1726-2012;
5. gedung didisain berdasarkan SRPMB dan SRPMM;
6. pemodelan struktur, analisis struktur, dan disain struktur dilakukan dengan *software* SAP2000 versi 10 yang diintegrasikan dengan *software spreadsheet* Excel 2007;
7. pemodelan properti sendi menggunakan parameter *default* sesuai ATC-40;

8. evaluasi biaya direncanakan berdasarkan Analisis Perhitungan Harga Satuan Tertinggi Bangunan Kota Semarang Semester I 2015 (Peraturan Walikota Semarang No 44 tahun 2015)

Pemodelan, Analisis, dan Disain Struktur

Analisis dinamik tiga dimensi dilakukan untuk mengetahui karakteristik dinamik gedung dan mendapatkan jumlah luas tulangan nominal untuk disain. Pemodelan, analisis dan disain dilakukan dengan menggunakan program SAP2000 versi 10 dengan analisis dinamik spektrum respons, dimana nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh kurang dari 80% nilai respons ragam yang pertama (gaya geser dasar nominal). Faktor partisipasi massa translasi sumbu-x, sumbu-y, dan rotasi sumbu-z sesuai syarat partisipasi massa ragam efektif minimum 90%. Sistem struktur menggunakan model *rigid diaphragm*.

Elemen-elemen struktur dirancang memiliki kekuatan minimal sebesar kekuatan yang dihitung berdasarkan beban kombinasi /berfaktor sebagai berikut: 1) 1,4DL; 2) 1,2DL + 1,6LL; 3) 1,2DL + f.LL ± E; dimana f = 0,5 karena $L < 500 \text{ kg/m}^2$ dan 4) 0,9DL ± E.

Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur. sistem ini terbagi menjadi 3, yaitu SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa), SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah), dan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus).

Pembagian setiap tipe berdasarkan pada elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya gempa lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang ditunjukkan dalam Tabel 9 SNI 1726-2012. Koefisien modifikasi respons yang sesuai, R, faktor kuat lebih sistem, Ω_0 , dan koefisien amplifikasi defleksi, Cd, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 9 SNI 1726-2012 harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya disain elemen, dan simpangan antarlantai tingkat disain. Setiap sistem penahan gaya gempa yang dipilih harus dirancang dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus bagi sistem tersebut yang ditetapkan dalam dokumen acuan yang berlaku seperti terdaftar dalam Tabel 9 SNI 1726-2012 dan persyaratan tambahan (BSN, 2012).

Pembeda antara SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa), SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah), terletak pada nilai Koefisien Modifikasi Respon (R), untuk bangunan beton bertulang nilai R SRPMB adalah 3 dan SRPMM adalah 5. Hal ini berpengaruh langsung terhadap pemfaktoran beban.

Parameter Sistem Struktur

Beberapa metode untuk mendisain sebuah gedung yang dijadikan para-meter oleh *structural engineer* adalah harus sesuai dengan keinginan arsitek, anggaran/*budget*, maupun fungsi gedung itu sendiri.

Ada 3 jenis daktilitas yang digunakan sebagai penentu *performance level* dari sebuah bangunan, antara lain:

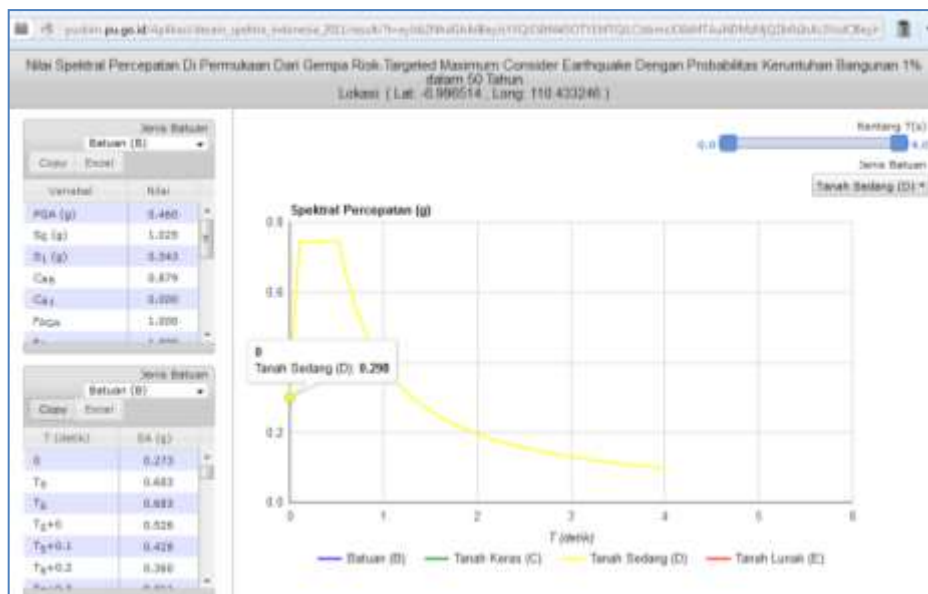
- 1) *full elastic; small displacement*, tetapi *high base shear*, artinya masih *high budget/cost*, sehingga dimensi struktur *overstrength*;
- 2) *partial elastic; intermediate displacement dan base shear*, artinya, *middle cost*, biasanya *engineer* mendisain gedung berada di kondisi ini; dan
- 3) *full ductile; large displacement*, tetapi *low base shear*, artinya, *low budget*, tetapi *failure* tidak diizinkan terhadap struktur.

Ketiga jenis tersebut menjadikan subjek pemilihan terhadap sistem struktur pada perencanaan bangunan gedung.

Prosedur Perhitungan Beban Gempa

Prosedur perhitungan beban gempa meliputi hal-hal sebagai berikut:

- 1) kategori risiko untuk jenis pemanfaatan sebagai gedung sekolah dan fasilitas pendidikan adalah IV (Tabel 1 SNI 1726–2012)
- 2) faktor keutamaan gempa untuk kategori risiko IV adalah $I_e = 1.5$ (Tabel 2 SNI 1726–2012)
- 3) koefisien modifikasi respon (R), untuk bangunan beton bertulang model SRPMB adalah 3 dan SRPMM adalah 5.
- 4) penetapan kelas situs harus melalui hasil penyelidikan tanah di lapangan. Hasil penyelidikan tanah yang telah dilakukan memberikan nilai q_c rerata = 52 kg/cm^2 dan rasio friksi = 2.68%, sehingga menurut Tabel 3 SNI 1726–2012 termasuk dalam kelas situs SD, jenis tanah sedang.
- 5) penentuan spektrum respons disain merujuk pada situs <http://puskim.pu.go.id> sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 dan Tabel 2.
- 6) perhitungan pembebanan mengacu pada Tabel 4.1 SNI 1727-2013.



Gambar 1 Nilai spektral percepatan gempa untuk tanah sedang (D)
Sumber: Data primer (2015) dan <http://puskim.pu.go.id> (2015)

Evaluasi Biaya

Analisis perhitungan harga satuan berdasarkan Analisis Perhitungan Harga Satuan Tertinggi Bangunan Kota Semarang Semester I 2015 sesuai Peraturan Walikota Semarang No 44 tahun 2015. Pengertian analisis harga satuan pekerjaan termasuk harga satuan bahan, upah, tenaga kerja, dan peralatan.

Komponen dalam Rencana Anggaran Biaya yang diambil sebagai objek kajian adalah biaya struktur, dengan pertimbangan komponen ini yang umumnya paling besar persentasenya dalam keseluruhan jumlah anggaran.

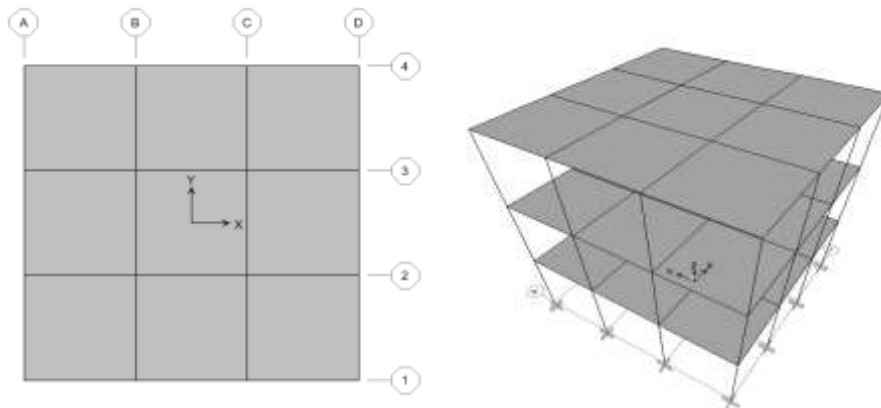
Studi Kasus dan Analisis

Asumsi Disain dan Model Struktur

Studi kasus menggunakan model gedung dengan sistem struktur balok-kolom, kategori beraturan, dengan jumlah lantai 3, kategori risiko untuk jenis pemanfaatan sebagai gedung sekolah dan fasilitas pendidikan adalah IV.

Konfigurasi struktur adalah sebagai berikut: tinggi tiap lantai 3,5 meter, jumlah bentang arah-x dan arah-y yaitu 3x3 bentang dengan lebar 4 meter (Gambar 2). Mutu beton yang digunakan $f_c' 25 \text{ MPa}$, mutu baja $f_y 400 \text{ MPa}$, $f_{ys} 240 \text{ MPa}$ (balok) dan $f_{ys} 400 \text{ MPa}$ (kolom).

Ketebalan plat lantai 120 mm, beban mati untuk plat lantai 140 kg/m², beban hidup plat 250 kg/m² (lantai) dan 100 kg/m² (atap). Dimensi dan ukuran penampang sebagai berikut: kolom 300x300 mm², dan balok 250x400 mm².



(a) Denah struktur (b) Tampak 3 dimensi

Gambar 2 Konfigurasi Stuktur

Sumber: Data primer (2015)

Hasil Analisis dan Disain

Hasil analisis memperlihatkan karakteristik struktur bangunan gedung untuk 3 ragam pertama, nilai *period* berturut-turut 0.824 detik, 0,824 detik, dan 0,375 detik.

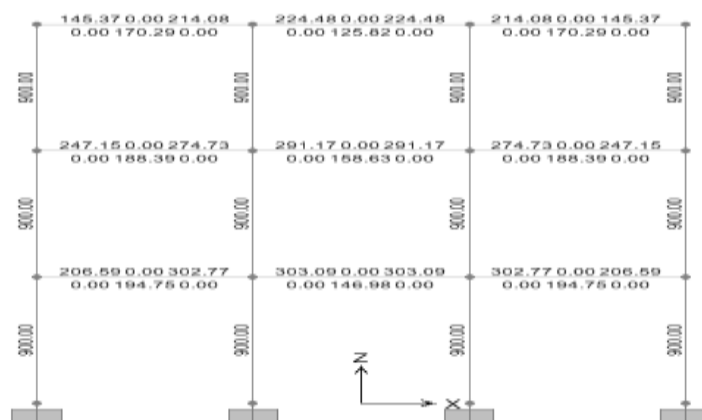
ALLOW AUTOMATIC FREQUENCY SHIFTING	=	NO
Iteration	Approximations to next 5 eigenvalues, from shift EV= 0.0000000E+00	
3	5.8142876E+01	5.8142896E+01 2.8141688E+02 4.9630678E+02 4.9630760E+02
Found mode	1 of 3:	EV= 5.8142876E+01, f= 1.213580, T= 0.824008
Found mode	2 of 3:	EV= 5.8142896E+01, f= 1.213580, T= 0.824008
Found mode	3 of 3:	EV= 2.8141688E+02, f= 2.669901, T= 0.374546
NUMBER OF EIGEN MODES FOUND	=	3
NUMBER OF ITERATIONS PERFORMED	=	3
NUMBER OF STIFFNESS SHIFTS	=	0

Gambar 3 Waktu getar struktur pada period 1 – 3

Sumber: Data primer (2015)

Pendetailan Tulangan

Dari hasil analisis dan disain diperoleh jumlah luas tulangan nominal untuk disain struktur seperti Gambar 3. Hasil selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 4.



Gambar 3 Kebutuhan area tulangan

Sumber: Data primer (2015)

Tabel 1 Penulangan kolom gedung SRPMB

Portal	Lantai	Jumlah Tulangan
Tulangan Utama		
Bagian luar	1 – 3	8D16
Bagian dalam	1 – 3	8D16
Tulangan Geser		
Bagian luar	1 – 3	Ø10–30
Bagian dalam	1 – 3	Ø10–30

Sumber: Data primer (2015)

Tabel 2 Penulangan balok gedung SRPMB

Portal	Lantai	Jumlah Tulangan Utama			
		Lapis	Kiri	Kanan	
Bagian dalam	1 – 2	Atas	3D16	3D16	
		Bawah	2D16	2D16	
	3	Atas	2D16	2D16	
		Bawah	2D16	2D16	
	Bagian luar	1 – 2	Atas	3D16	3D16
			Bawah	2D16	2D16
3		Atas	2D16	2D16	
		Bawah	2D16	2D16	

Sumber: Data primer (2015)

Tabel 3 Penulangan kolom gedung SRPMM

Portal	Lantai	Jumlah Tulangan
Tulangan Utama		
Bagian luar	1 – 2	10D16
	3	8D16
Bagian dalam	1 – 2	12D16
	3	8D16
Tulangan Geser		
Bagian luar	1 – 3	Ø10–15
Bagian dalam	1 – 3	Ø10–15

Sumber: Data primer (2015)

Tabel 4 Penulangan balok gedung SRPMM

Portal	Lantai	Jumlah Tulangan Utama			
		Lapis	Kiri	Kanan	
Bagian dalam	1 – 2	Atas	4D16	4D16	
		Bawah	3D16	3D16	
	3	Atas	4D16	4D16	
		Bawah	3D16	3D16	
	Bagian luar	1 – 2	Atas	3D16	3D16
			Bawah	3D16	3D16
3		Atas	3D16	3D16	
		Bawah	2D16	2D16	

Sumber: Data primer (2015)

Evaluasi Biaya Struktur

Elemen kolom, balok, dan plat diperbandingkan biaya strukturnya antara yang dimodelkan dengan SRPMB dan SRPMM. Evaluasi biaya untuk untuk elemen plat, kedua model gedung (SRPMB dan SRPMM) memberikan hasil nilai biaya yang sama, karena jumlah tulangan nominal untuk disain sama. Untuk elemen kolom dan balok, jumlah luas

tulangan nominal untuk disain, baik itu tulangan lentur dan geser berbeda antara model gedung SRPMB dan SRPMM.

Model gedung yang didisain berdasarkan SRPMM secara umum memberikan hasil jumlah luas tulangan lentur lebih sedikit, namun jarak antar tulangan geser lebih pendek dibandingkan model gedung berdasarkan SRPMB. Hasil evaluasi biaya menunjukkan bahwa gedung yang didisain dengan SRPMK sebesar Rp 385.265.490,00 dan gedung yang didisain dengan SRPMM sebesar Rp 381.942.258,00. Hasil perhitungan selengkapnya ditampilkan dalam Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5 Perhitungan biaya struktur gedung model SRPMB

No	Item Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
1	Kolom 30/30 portal luar, berat 148 kg	11.34	m ³	5,760,029	65,318,731
2	Kolom 30/30 portal dalam berat 148 kg	3.78	m ³	5.760,029	21,772,910
3	Balok 25x40 portal luar berat 116 kg	18	m ³	5,651,611	101,728,998
4	Balok 25x40 portal dalam berat 116 kg	3.6	m ³	5,651,611	20,345,800
7	Plat lantai 1, 2, 3	29.16	m ³	5,972,575	174,160,297
Jumlah					383,326,726

Sumber: Data primer diolah (2015)

Tabel 6 Perhitungan biaya struktur gedung model SRPMB

No	Item Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
1	Kolom 30/30 portal luar, berat 195 kg	11.34	m ³	6,427,155	72,883,938
2	Kolom 30/30 portal dalam berat 226 kg	3.78	m ³	6,790,041	25,666,355
3	Balok 25x40	18	m ³	5,502,381	99,042,858

