

STUDI ALUR PERENCANAAN MUSEUM TERTUTUP TROWULAN MOJOKERTO

Citra Maharani, Saghani Ahmad Sadewa, Han Ay Lie ^{*)}, Parang Sabdono ^{*)}

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

ABSTRAK

Museum Tertutup Trowulan adalah museum yang akan dibangun di Mojokerto dan fungsinya tidak hanya melaksanakan perlindungan terhadap benda cagar budaya peninggalan Kerajaan Majapahit saja, tetapi seluruh peninggalan kuno di Jawa Timur. Oleh karena itu semakin lama koleksinya menjadi semakin bertambah banyak. Untuk mengatasi hal tersebut maka akan dibangun Museum Tertutup Trowulan yang didesain lebih luas dan berjarak sekitar 2 kilometer dari museum lama yaitu di jalan Mojokerto-Jombang km. 13. Museum tertutup trowulan terdiri dari 3 lantai dan 1 basement dimana tiap lantainya dibagi menjadi empat segmen yang masing-masing segmennya dihubungkan oleh ramp. Struktur Museum Tertutup Trowulan dirancang berdasarkan metode Desain Kapasitas atau SRPMK (Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus). Konsep utama SRPMK adalah membuat kolom lebih kuat dari pada balok (strong column, weak beam) sehingga diharapkan terjadi sendi plastis di balok yang dapat memancarkan energi akibat gempa. Pedoman utama dalam perencanaan diambil dari Peraturan Pembebanan 1987, SNI Beton 03-2847-2013, dan SNI Gempa 03-1726-2012 serta nilai parameter respon gempa didapat dari website Puskim Kementerian Pekerjaan Umum untuk wilayah Kota Mojokerto dan dibantu SAP 2000 versi 14. Item pekerjaan yang diperhitungkan meliputi keseluruhan struktur pekerjaan, yaitu tangga, ramp, plat lantai, balok, kolom, sambungan kolom-balok, dan pondasi.

kata kunci : *Museum Tertutup Trowulan, Metode Desain Kapasitas*

ABSTRACT

Trowulan Covered Museum is a museum to be built in Mojokerto and its function is not only to implement the protection of objects of cultural heritage relics of the Majapahit Empire, but throughout the ancient relics in East Java. Therefore, the longer the collection becomes more and more. To overcome this it will be built Trowulan Covered Museum with wider designed located about 2 kilometers from the old museum is on the road Mojokerto-Jombang km. 13. The Trowulan Covered Museum consists of 3 floors and one basement where each floor is divided into four segments, each segment is connected by a ramp. Trowulan Covered Museum structure is designed based on Design Capacity method or SRPMK (Struktur Rangka Penahan Momen Khusus). SRPMK main concept is to make the column stronger than the beam (strong column, weak beam) that is expected to occur in the plastic joint which can emit a beam of energy in the quake. The main guideline in

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

planning drawn from imposition Regulations, 1987, Concrete SNI 03-2847-2013 and SNI 03-1726-2012 earthquake and earthquake response parameter values obtained from the website Puskim Ministry of Public Works for the city of Mojokerto and assisted SAP 2000 version 14. Item jobs are taken into account include the overall structure of the work, namely stairs, ramps, floor plate, beams, columns, beam-column connections, and foundation.

keywords: *Trowulan Covered Museum, Design Capacity Method*

PENDAHULUAN

Semakin bertambahnya koleksi peninggalan kuno yang dimiliki Museum Trowulan membuat pihak pengelola yaitu Balai Pelestarian Cagar Budaya Mojokerto membuat sebuah museum baru yang bernama Museum Tertutup Trowulan. Karena dibutuhkan area yang luas untuk menyimpan koleksi-koleksinya maka Museum Tertutup Trowulan dikembangkan ke arah vertikal dan hal tersebut akan mengakibatkan elevasi gedung menjadi lebih tinggi.

Kondisi geografis Indonesia yang terletak pada pertemuan lempeng tektonik aktif menyebabkan Indonesia rawan terhadap gempa. Pengaruh terjadinya gempa adalah kerusakan bangunan. Gedung bertingkat akan mengalami efek yang lebih besar. Perencanaan yang matang, terutama dalam segi struktur, diperlukan untuk meminimalisir terjadinya kerusakan dan kegagalan gedung. Struktur utama yang menopang kekuatan gedung adalah balok, kolom, dan pondasi, sedangkan struktur tambahan adalah plat, dan tangga.

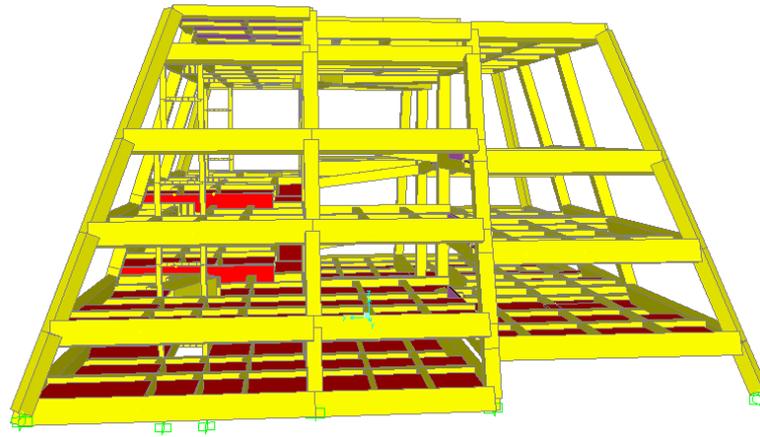
Struktur yang digunakan dalam perencanaan Museum Tertutup Trowulan menggunakan Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus hal ini dilakukan agar struktur bangunan menjadi lebih daktail dan mampu bertahan terhadap beban gempa yang terjadi. Daktilitas adalah kemampuan struktur atau komponennya untuk melakukan deformasi inelastis bolak-balik berulang di luar batas titik leleh pertama, sambil mempertahankan sejumlah besar kemampuan daya dukung bebannya.

Perhitungan analisis struktur gedung terhadap beban gempa mengacu pada Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012), dimana analisis beban gempa struktur gedung bertingkat tinggi dilakukan dengan Metode Analisis Dinamik Spektrum Respons

Sistem Rangka Museum Tertutup Trowulan direncanakan dengan konsep strong column-weak beam. Strong column-weak beam yaitu suatu sistem dimana perilaku kolom harus dibuat lebih kuat dibandingkan balok.

MODEL DAN ANALISIS

Permodelan dilakukan secara tiga dimensi *beam slab building* dengan menggunakan program komputer. Seluruh komponen struktur primer yaitu kolom, balok, dan pelat dimodelkan secara 3 dimensi di dalam analisis (Gambar 1). Perilaku gedung perlu dikontrol untuk menjaga agar permodelan sudah sesuai persyaratan.



Gambar 1. Permodelan Struktur Museum Tertutup Trowulan

Bentuk ragam dan waktu getar alami dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Bentuk Ragam dan waktu getar alami struktur

Ragam 1	Ragam 2	Ragam 3
T = 0,699 detik	T = 0,697 detik	T = 0,624 detik
Translasi Y	Translasi X	Rotasi Z

Kontrol partisipasi massa

SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.1 mengharuskan partisipasi massa yang terjadi minimal 90%. Hasil analisa menunjukkan partisipasi massa mencapai 91,9% (X) dan 90,3% (Y) pada ragam ke 38.

Kontrol waktu getar alami

Batas waktu getar alami gedung menurut SNI 03-1726-2012 pasal 7.8.1 ditentukan dengan persamaan $T_a = C_t \cdot h_n^x$. Dimana nilai $C_t = 0,0466$ dan nilai $x = 0,9$ (Tabel 15 SNI 03-1726-2012) sedangkan h adalah tinggi gedung, yaitu sebesar 21,25 m, sehingga diperoleh T_a sebesar 0,619 detik. Nilai $C_u \times T_a = 0,866$ detik. Waktu getar berdasarkan hasil analisis (T_c) terbesar (ragam 1) adalah sebesar 0,699 detik ($T_a < T_c < C_u \cdot T_a$), periode fundamental gedung (T) lebih kecil dari periode maksimal yang disyaratkan sehingga dapat disimpulkan gedung cukup kaku.

Kontrol base shear

SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.4.1 menjelaskan bahwa *base shear* yang terjadi (dinamis) > 0,85 *base shear* statik.

$$V_{\text{dinamis}} X = 2443,425 \text{ KN}$$

$$V_{\text{statik}} X = 5755,71 \text{ KN}$$

$$V_{\text{dinamis}} Y = 2749,097 \text{ KN}$$

$$V_{\text{statik}} Y = 5755,71 \text{ KN}$$

$$V_{\text{dinamis}} \leq 0,85 V_{\text{statik}} \text{ (perlu pembesaran gaya gempa)}$$

$$\text{Faktor pembesaran gempa arah x} = \frac{5755,71}{2443,425} = 2,36 \times$$

$$\text{Faktor pembesaran gempa arah } y = \frac{5755,71}{2749,097} = 2,1 \times$$

Setelah pembesaran gaya gempa didapat:

$$\begin{aligned} V_{\text{dinamis}} X &= 5766,484 \text{ KN} & V_{\text{statik}} X &= 5755,71 \text{ KN} \\ V_{\text{dinamis}} Y &= 5773,103 \text{ KN} & V_{\text{statik}} Y &= 5755,71 \text{ KN} \\ V_{\text{dinamis}} &> 0,85 V_{\text{statik}} \text{ (Oke)} \end{aligned}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan struktur proyek ini meliputi struktur atas dan struktur bawah. Struktur atas sendiri terdiri dari plat, tangga, balok anak, balok induk, kolom, HBK, dan ramp. Pondasi, dan tie beam, termasuk dalam struktur bawah.

Balok induk

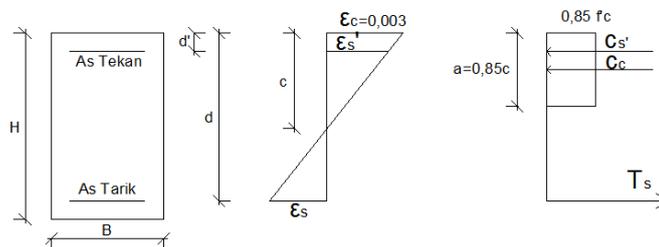
Perencanaan balok induk menggunakan dimensi tinggi diperkirakan $h = (1/15 - 1/10) L$ dan lebar diambil $b = (1/2 - 2/3) h$, menurut Vis dan Gideon, 1997. Perencanaan balok menurut SRPMK SNI 03-2847-2013 pasal 21.5 adalah sebagai berikut:

- Gaya aksial tekan terfaktor yang bekerja pada komponen struktur tidak melebihi $0,1 A_g f'_c$.
- Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektif elemen struktur.
- Perbandingan lebar terhadap tinggi balok tidak boleh kurang dari 0,3.
- Lebar balok tidak boleh kurang dari 250 mm atau tidak boleh lebih dari lebar kolom penumpu.

Persentase tulangan sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.2, tidak boleh kurang dari:

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} \text{ dan tidak lebih kecil dari } \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ dengan } \rho_{\max} = 0,75\rho_b \dots\dots\dots(1)$$

Perhitungan tulangan balok induk dihitung berdasarkan konsep tulangan rangkap karena balok induk mengalami pembebanan siklik. Model diagram regangan balok induk dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Model Diagram Regangan Balok Induk

$$C_s + C_c = C_s \dots\dots\dots(2)$$

$$A_s' \times \epsilon_s' \times E + 0,85f_c \times a \times b = A_{st} \times f_y \dots\dots\dots(3)$$

f'_c : kuat tekan beton

f_y : kuat leleh baja tulangan

E : modulus elastis baja

A_s' : luas tulangan tarik

A_{st} : luas tulangan tekan

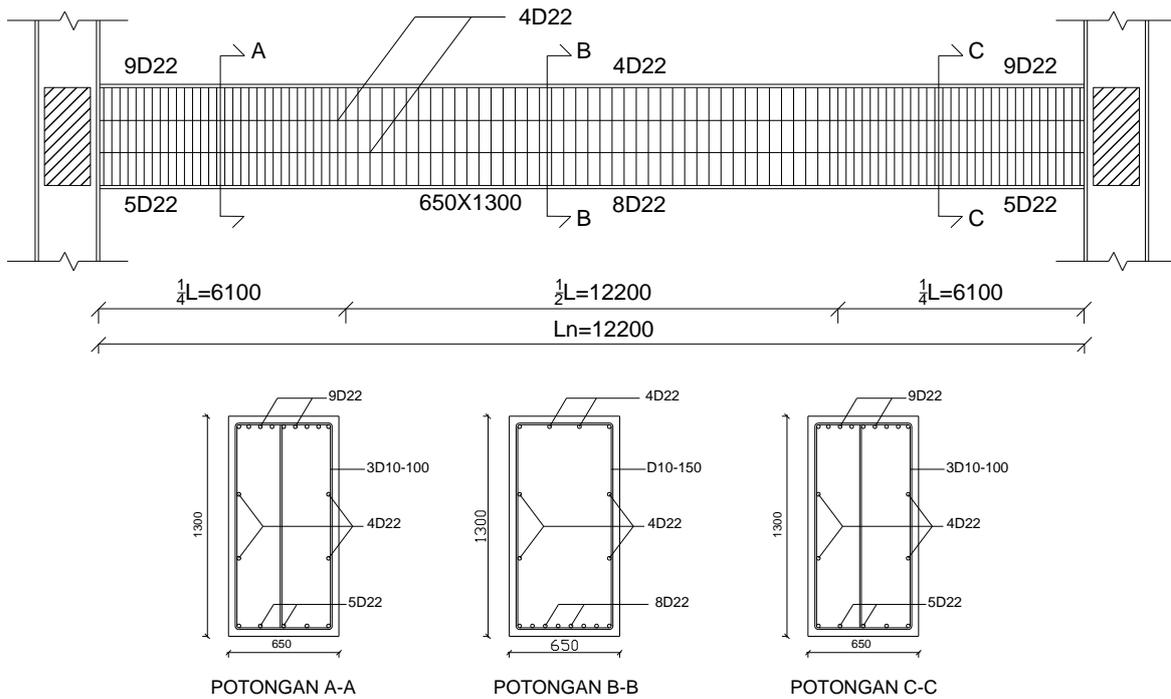
Kapasitas momen $M_n = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d')$, dikatakan aman jika $M_u \leq \phi M_n$(4)

Gaya geser (Gambar 4) balok ditentukan oleh persamaan berikut:

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{W_u \times L_n}{2} \quad \text{dan} \quad V_s = \frac{V_e}{\phi} - V_c \quad \text{.....(5)}$$

dengan $\phi = 0,75$ dan $V_c = 0$

hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Penulangan Balok Induk

Kolom

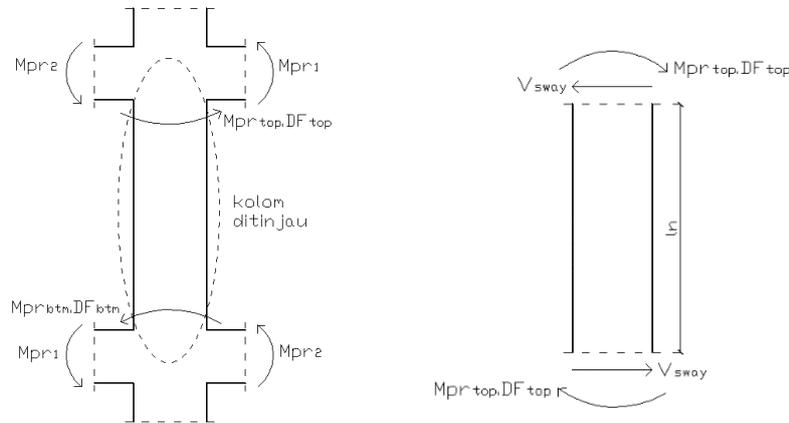
Perencanaan balok menurut SRPMK SNI 03-2847-2013 pasal 21.6 adalah:

- Beban aksial terfaktor yang terjadi melebihi $0,1 A_g f'_c$.
- Perbandingan antara ukuran terkecil penampang terhadap ukuran tegak lurus nya tidak kurang dari 0,4.
- Sisi terpendek kolom tidak kurang dari 300 mm.

Langkah-langkah perencanaan kolom adalah sebagai berikut:

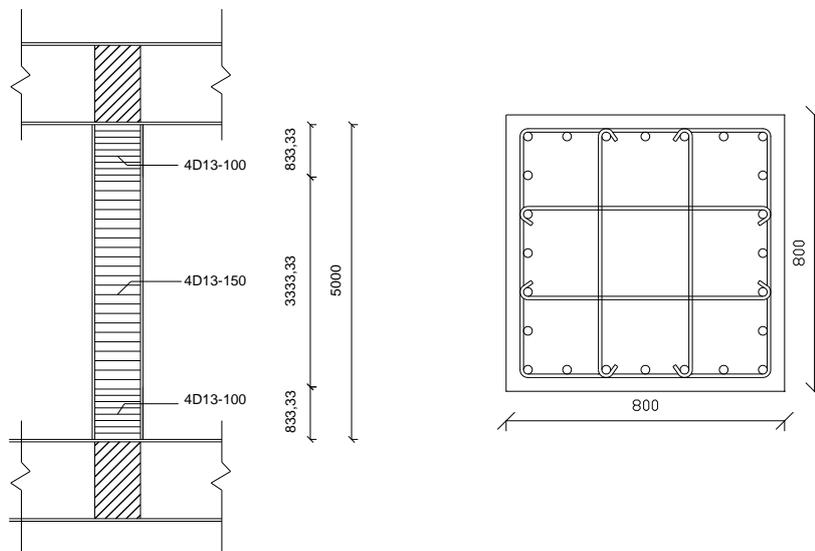
- Dimensi kolom sesuai dengan pemodelan gedung yang telah dibuat sebelumnya.
- Rasio penulangan kolom tidak boleh kurang dari 0,01, tidak boleh lebih dari 0,06 dan pada daerah sambungan tidak lebih dari 0,08 (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6.3(1)).
- Pengecekan kelangsingan kolom sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7.2
- Pengecekan kuat lentur kolom terhadap kuat lentur baloknya berdasarkan SNI 03-2847-20013 Pasal 21.6.2.2 menggunakan rumus (2).
- Kuat geser balok ditentukan oleh (Gambar 4):

$$V_{\text{sway}} = \frac{M_{\text{pr_top}} DF_{\text{top}} + M_{\text{pr_btm}} DF_{\text{btm}}}{l_n} \dots\dots\dots(6)$$



Gambar 4. Gaya pada kolom

Tulangan transversal boleh terdiri dari sengkang tertutup tunggal atau majemuk atau kait silang. Setiap muka joint dan pada kedua sisi setiap penampang yang berpotensi mengalami luluh lentur akibat berlangsungnya perpindahan lateral plastis dari rangka harus dipasang tulangan transversal tertutup di sepanjang l_o dari muka yang ditinjau (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6.4(5)). Hasil perhitungan penulangan dapat dilihat pada gambar 5.



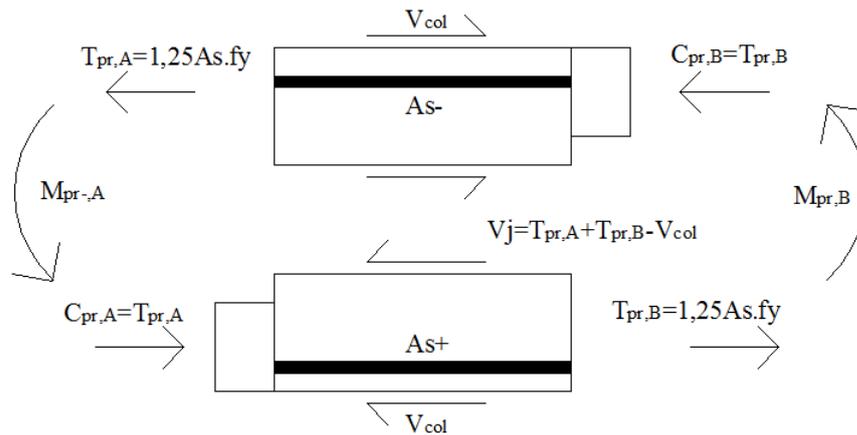
Gambar 5. Detail penulangan kolom Penulangan Kolom

Joint atau HBK (Hubungan Balok-Kolom)

Kuat geser *joint* kolom balok sangat ditentukan oleh interaksi oleh dua mekanisme. Pertama, beban tekan lentur yang bekerja pada keempat komponen struktur yang berdekatan secara bersama-sama membentuk *strat* diagonal sepanjang *joint*. Kedua, pada *joint* untuk mengimbangi jumlah gaya lekat yang harus disalurkan oleh tulangan balok dan kolom, setelah terjadi retak diagonal, maka *strat* diagonal yang terjadi pada *joint* akan

memikul tegangan-tegangan tekan. Tulangan geser horisontal diperlukan untuk menjamin gaya kekang horisontal pada *joint* tersebut.

Joint rangka harus memenuhi beberapa ketentuan dalam perencanaannya. Momen lentur dan gaya geser kolom serta geser horisontal dan geser vertikal yang melewati inti *joint* harus dianalisis dengan memperhitungkan seluruh pengaruh gaya-gaya yang membentuk keseimbangan pada titik *joint* (lihat Gambar 6).



Gambar 6. Gaya gaya yang Bekarja pada *Joint*

Panjang join yang diukur paralel terhadap tulangan lentur balok yang menyebabkan geser sedikitnya 20db dan nilainya kurang dari lebar kolom (SNI 03-2847-2002 Pasal 23.5.1(4)). Penulangan transversal sesuai SNI 03-2847-2002 Pasal 23.5.2.(1) dan (2) disebutkan bahwa harus ada tulangan *confinement* pada join sejumlah minimal setengah tulangan *confinement* pada ujung kolom. Spasi vertikal dapat diperbesar hingga 150 mm.

Pondasi

Langkah-langkah perencanaan pondasi secara garis besar dapat diringkas sebagai berikut:

- a. Jenis pondasi yang digunakan adalah pondasi bore pile. Pemilihan jenis pondasi ini karena situs-situs peninggalan yang ada disekitar lokasi akan rusak apabila menggunakan tiang pancang. Berdasarkan hasil boring log test didapatkan kedalaman pondasi 19 m dengan nilai N-SPT 31 dan jenis tanahnya adalah silt.
- b. Jumlah bore pile yang dibutuhkan tiap pile cap 4 buah dengan diameter bore pile 800 mm.
- c. Pile cap perlu dikontrol beban maksimum (P_{max}) *pile* akibat gaya kombinasi 1D + 1L aksial dan momen yang terjadi dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P = \frac{P_u}{n} \pm \frac{M_x \cdot y}{m \cdot \Sigma y^2} \pm \frac{M_y \cdot x}{n \cdot \Sigma x^2} \dots\dots\dots(7)$$

- d. Pile cap perlu dikontrol terhadap geser *pons* yang terjadi baik akibat kolom maupun *pile*. Dari hasil perhitungan didapat $P_e = 12045810 \text{ N} \leq \phi V_c = 17466324,64 \text{ N}$ Maka ketebalan dan ukuran *pile cap* mampu menahan gaya geser akibat beban reaksi aksial kolom.
- e. Pengontrolan terhadap gaya lateral menggunakan rumus Brom yang disesuaikan jenis tanahnya. Dari perhitungan didapat $v = 3,436 \text{ ton} < Q_a = 7,603 \text{ ton}$, maka gaya lateral yang terjadi masih memenuhi syarat batas aman.

KESIMPULAN

Hasil perencanaan Museum Tertutup Trowulan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Museum Tertutup Trowulan memiliki 3 lantai + 1 *basement*, dimana setiap lantai terdiri dari 4 segmen yang tiap segmennya memiliki beda ketinggian 1,25 m dan dihubungkan oleh ramp.
2. Dari Hasil analisis dan perhitungan didapat dimensi balok 1300x650 mm, 1300x800 mm dan dimensi kolom 800x800 mm. Dimensi tersebut telah sesuai dengan konsep SRPMK dan mengacu pada SNI Beton 03-2847-2013, dan SNI Gempa 03-1726-2012.
3. Perencanaan struktur gedung bertingkat tinggi memerlukan suatu kontrol tertentu terhadap beberapa hal, diantaranya yaitu:
 - a. Pembatasan waktu getar fundamental struktur telah memenuhi syarat $T_c = 0,699$ detik ($T_a < T_c < C_u \cdot T_a$) sehingga struktur tidak terlalu fleksibel.
 - b. Kontrol partisipasi massa, dimana akibat perhitungan respons dinamik struktur mampu menghasilkan partisipasi massa dalam menghasilkan respons total harus sekurang-kurangnya 90% dan terjadi pada mode ke 38.
 - c. Kontrol *base shear* gedung yang terjadi (dinamis) terhadap *base shear* hitungan (statik) ternyata $V_d \leq 0,85 V_s$, maka gaya gempa harus dikalikan faktor amplifikasi agar memenuhi syarat $V_d \geq 0,85 V_s$.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-2847-2013, BSN, Bandung.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, SNI 03-1726-2012, BSN, Bandung.
- Das, B. M, 2007, *Principles of Foundation Engineering*, Sixth Edition, Thomson, Toronto.
- Dewobroto, Wiryanto, 2007. *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP 2000*, Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Kusuma, Gideon, 1995. *Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 Seri Beton 4*, Erlangga, Jakarta.