

# Analisis dan Desain Gedung Sekolah Tahan Gempa dengan Struktur Atap Beton di Kota Yogyakarta

*Analysis and Design of Earthquake Resistant School Buildings with Roof of Concrete in the City of Yogyakarta*

**Reno Irfan N. Kartasmita, As'at Pujianto**

*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*

**Abstrak.** Indonesia termasuk salah satu negara yang rawan terhadap bencana alam berupa gempa bumi karena letak geografis Indonesia yang berada di jalur gempa teraktif dunia dan berada di atas tiga tumbukan lempeng benua. Bencana gempa bumi telah banyak memberikan dampak berarti mulai dari kerusakan infrastruktur hingga merenggut banyak korban jiwa. Struktur gedung sekolah yang terbilang tidak terlalu tinggi menjadikannya kurang mendapat perhatian dari segi kajian ilmiah ataupun penelitian yang membahas dampak yang dapat ditimbulkan akibat gempa bumi terhadap gedung sekolah sehingga minim sekali upaya dalam mengoptimalkan perencanaan gedung sekolah yang tahan gempa bumi dan sesuai regulasi perencanaan gedung tahan gempa. Oleh sebab itu, penelitian ini mengkaji ketahanan gedung sekolah terhadap gempa bumi dengan melakukan pemodelan struktur gedung sekolah pada program SAP2000 berdasarkan tata cara perencanaan ketahanan gempa SNI 1726-2012. Hasil dari penelitian ini merupakan desain gedung sekolah yang dirancang sedemikian rupa untuk menahan beban gempa berdasarkan tata cara perencanaan ketahanan gempa SNI 1726-2012.

Kata-kata kunci : gempa bumi, gedung tahan gempa, pemodelan struktur.

**Abstract.** Indonesia is one of the countries that is vulnerable to natural disasters, especially earthquake disaster due to Indonesia's geographical location which is located upon of the most active earthquake pathway in the world and at the above of three continental plate. Earthquake disaster has gave a lot of meaningful impact from a damage of infrastructure even taking a lives. Considering structure of school buildings is not too high making them gets less of concern in any research that is discuss about impact of earthquake could occurred to the school building itself, so that is very minimum effort of optimalization about design of earthquake resistant of school building and aproprate with any regulation about an earthquake resistant building. Therefore, this research is discussing and modeling about the endurance of a school building to earthquake force using programme of SAP2000 based on the national standard of Indonesia 1726-2012. The result of this research is a design of an earthquake resistant building of school which is safe and designed in such a way, also based on national standard of Indonesia 1726-2012.

Keywords : earthquake, earthquake resistant building, structure modeling.

## 1. Pendahuluan

Salah satu bencana di Indonesia yang sangat mungkin terjadi dan dalam beberapa waktu telah terjadi yaitu bencana alam berupa gempa bumi dimana hal tersebut disebabkan oleh kondisi geografis Indonesia yang mana berada di jalur gempa teraktif di dunia karena dikelilingi oleh cincin api pasifik dan berada di atas tiga tumbukan lempeng benua, yakni, Indo-Australia dari sebelah selatan, Eurasia dari utara, dan Pasifik dari timur. Bencana alam gempa bumi sangat beresiko memiliki dampak buruk pada infrastruktur, ekonomi, bahkan dapat merenggut korban jiwa.

Maka dari itu struktur bangunan harus direncanakan sedemikian rupa sesuai dengan regulasi bangunan tahan gempa sehingga bisa mengantisipasi dan menerima gaya lateral yang terjadi akibat gempa bumi serta dapat meminimalisir dampak kerugian yang dapat terjadi akibat gempa bumi baik dari segi ekonomi, sosial, dan diharapkan juga dapat menekan angka korban jiwa akibat bencana alam tersebut.

Ghaffar, dkk. (2015) melakukan perencanaan ulang struktur gedung pada gedung dekanat fakultas teknik Universitas Brawijaya menggunakan metode dinding geser

berdasarkan peraturan gempa SNI-1726-2012 yang dipilih sebagai alternatif desain untuk memperhitungkan bahwa gedung tersebut juga dapat menerima gaya lateral yang diakibatkan oleh gempa dan dikombinasikan dengan peraturan struktur beton SNI 03-2847-2002. Pemilihan metode desain dinding geser sebagai alternatif desain bangunan juga menghasilkan gedung yang kuat dan aman karena gaya lateral sebagian besar diterima oleh dinding geser. Dalam desain seismik bangunan, dinding struktural beton bertulang, atau dinding geser, bertindak sebagai anggota utama yang tahan gempa (Chandarkur dan Pajgade, 2013).

Refani dkk. (2015) melakukan penelitian dengan judul “Evaluasi Struktur Bangunan Gedung Beton Bertulang Berusia 50 Tahun Berdasarkan SNI 1726 2002 dan SNI 2847 2013”. Penelitian tersebut bertujuan mengkaji kelayakan bangunan gedung beton bertulang berusia 50 tahun berdasarkan standar perencanaan bangunan terbaru. Studi kasus dilakukan untuk Gedung Cipta yang terletak di Merdeka Barat, Jakarta. Dari hasil analisa struktur yang telah dilakukan diketahui bahwa struktur Gedung Cipta masih tergolong aman untuk menerima beban gravitasi, namun tidak memenuhi persyaratan sistem rangka pemikul momen khusus dari SNI 2847 2013 yang digunakan pada daerah dengan resiko gempa cenderung tinggi seperti di Jakarta. Tajunnisa, dkk. (2014) melakukan penelitian terhadap kinerja bangunan gedung tahan gempa dengan membandingkan penggunaan metode SRPMM dan SRPMK. Analisis dan evaluasi kinerja bangunan tahan gempa menggunakan *analysis pushover* dengan bantuan program SAP2000. Diketahui dari hasil yang diperoleh dibandingkan dengan syarat SNI 03-1726-2002, menunjukkan bahwa nilai daktilitas dan faktor reduksi pada SRPMM memenuhi persyaratan, sebaliknya dengan SRPMK yang tidak memenuhi persyaratan. Menurut Soltysik dan Jankowski (2015) bahwa menumbuk secara substansial dapat mempengaruhi respon bangunan baja yang meningkatkan kerusakan mereka selama gempa bumi.

Dalam penyusunan tugas akhir ini dilakukan perencanaan dan analisis struktur bangunan gedung tahan gempa yang difungsikan sebagai sekolah dengan tujuan :

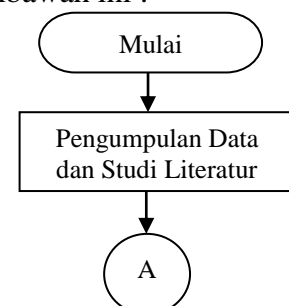
1. Membuat desain bangunan sekolah tahan gempa menggunakan struktur atap beton bertulang untuk wilayah kota Yogyakarta dengan kondisi tanah lunak, sedang dan keras.
2. Mengkaji kekuatan komponen struktur berupa kolom, balok, plat hingga struktur atap beton dari model bangunan sekolah yang telah didesain.
3. Menghasilkan model bangunan serta desain tulangan komponen struktur kolom, balok dan plat yang aman digunakan pada kondisi tanah keras, sedang dan lunak.

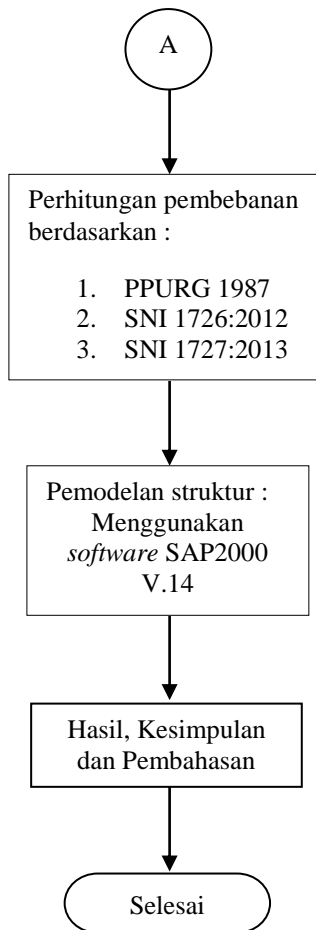
## 2. Pengumpulan Data dan Analisis

Tahapan awal daripada penelitian ini antara lain adalah pengumpulan data-data pendukung yang bersifat *essential* dan diperlukan dalam perancangan bangunan gedung dan studi literatur yang dilakukan dengan mempelajari dan memahami peraturan-peraturan dalam perencanaan struktur tahan gempa serta penelitian-penelitian sebelumnya terkait bangunan gedung tahan gempa maupun tentang gempa bumi itu sendiri. Berikut ini adalah peraturan-peraturan yang menjadi acuan dalam penelitian ini :

1. Pedoman Perencanaan Pembangunan untuk Rumah dan Gedung (PPURG) 1987.
2. Peraturan SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
3. Peraturan SNI 1727-2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
4. Peraturan SNI 2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.

Adapun tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dan disajikan pada bagan alir seperti dibawah ini :





Gambar 1. Bagan alir penelitian.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### *Beban Mati Struktur Atap*

Berat genteng :  $50 \text{ kg/m}^2$  (PPURG 1987)

Berat Plafon :  $18 \text{ kg/m}^2$  (PPURG 1987)

#### *Beban Mati Penutup Atap*

$$\begin{aligned}
 P1 &= \text{Berat genteng} \times \left(\frac{1}{2}L + t\right) \\
 &= 50 \text{ kg/m}^2 \times \left(\frac{1}{2}2,88 + 1,15\right) \text{ m} \\
 &= 129,5 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P2 &= \text{Berat genteng} \times \left(\frac{1}{2}L + \frac{1}{2}L\right) \\
 &= 50 \text{ kg/m}^2 \times \left(\frac{1}{2}2,88 + \frac{1}{2}2,88\right) \text{ m} \\
 &= 50 \text{ kg/m}^2 \times 2,88 \text{ m} \\
 &= 144 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

#### *Beban Plafon*

P = Berat plafon  $\times$  luasan

$$\begin{aligned}
 P1 &= 18 \times \frac{1}{2}a \times \frac{1}{2}b \\
 &= 18 \times 2 \times 2,25 \\
 &= 81 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P2 &= 18 \times \left(\left(\frac{1}{2}a + \frac{1}{2}a\right) \times \frac{1}{2}b\right) \\
 &= 18 \times \left(\left(\frac{1}{2}4 + \frac{1}{2}4\right) \times \frac{1}{2}4,5\right) \\
 &= 162 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P3 &= 18 \times \left(\left(\frac{1}{2}a + \frac{1}{2}a\right) \times \frac{1}{2}b\right) \\
 &= 18 \times \left(\left(\frac{1}{2}4 + \frac{1}{2}2\right) \times \frac{1}{2}4,5\right) \\
 &= 121,5 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P4 &= 18 \times \frac{1}{2}a \times \frac{1}{2}b \\
 &= 18 \times \frac{1}{2}2 \times \frac{1}{2}4,5 \\
 &= 40,5 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P5 &= 18 \times \left(\frac{1}{2}a \left(\frac{1}{2}b + \frac{1}{2}b\right)\right) \\
 &= 18 \times \left(\frac{1}{2}4 \left(\frac{1}{2}4,5 + \frac{1}{2}4,5\right)\right) \\
 &= 162 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P6 &= 18 \times \left(\left(\frac{1}{2}a + \frac{1}{2}a\right) \left(\frac{1}{2}b + \frac{1}{2}b\right)\right) \\
 &= 18 \times \left(\left(\frac{1}{2}4 + \frac{1}{2}4\right) \left(\frac{1}{2}4,5 + \frac{1}{2}4,5\right)\right) \\
 &= 324 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P7 &= 18 \times \left(\left(\frac{1}{2}a + \frac{1}{2}a\right) \left(\frac{1}{2}b + \frac{1}{2}b\right)\right) \\
 &= 18 \times \left(\left(\frac{1}{2}4 + \frac{1}{2}2\right) \left(\frac{1}{2}4,5 + \frac{1}{2}4,5\right)\right) \\
 &= 243 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P8 &= 18 \times \left(\frac{1}{2}a \left(\frac{1}{2}b + \frac{1}{2}b\right)\right) \\
 &= 18 \times \left(\frac{1}{2}2 \left(\frac{1}{2}4,5 + \frac{1}{2}4,5\right)\right) \\
 &= 81 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P9 &= 18 \times \left(\frac{1}{2}a \left(\frac{1}{2}b + \frac{1}{2}b\right)\right) \\
 &= 18 \times \left(\frac{1}{2}4 \left(\frac{1}{2}4,5 + \frac{1}{2}3\right)\right) \\
 &= 135 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P10 &= 18 \times \left(\left(\frac{1}{2}a + \frac{1}{2}a\right) \left(\frac{1}{2}b + \frac{1}{2}b\right)\right) \\
 &= 18 \times \left(\left(\frac{1}{2}4 + \frac{1}{2}4\right) \left(\frac{1}{2}4,5 + \frac{1}{2}3\right)\right) \\
 &= 270 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P11 &= 18 \times \left(\left(\frac{1}{2}a + \frac{1}{2}a\right) \left(\frac{1}{2}b + \frac{1}{2}b\right)\right) \\
 &= 18 \times \left(\left(\frac{1}{2}4 + \frac{1}{2}2\right) \left(\frac{1}{2}4,5 + \frac{1}{2}3\right)\right) \\
 &= 202,5 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P12 &= 18 \times \left(\frac{1}{2}a \left(\frac{1}{2}b + \frac{1}{2}b\right)\right) \\
 &= 18 \times \left(\frac{1}{2}2 \left(\frac{1}{2}4,5 + \frac{1}{2}3\right)\right) \\
 &= 67,5 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

### **Beban Hujan**

$$\begin{aligned} P1 &= (40 - 0,8(30)) \times \left(\frac{1}{2}L + t\right) \\ &= 16 \times (1,44 + 1,15) \\ &= 41,44 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P2 &= (40 - 0,8(30)) \times \left(\frac{1}{2}L + \frac{1}{2}L\right) \\ &= 16 \times 2,88 \\ &= 46,08 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

### **Beban Angin Pada Atap dan Dinding**

$$\text{Kecepatan angin, } V = 20 \text{ km/jam}$$

$$\text{Faktor arah angin, } Kd = 0,85$$

$$\text{Faktor topografi, } Kzt = 1$$

$$\text{Faktor efek tiupan angin, } G = 0,85$$

Koef. Eksposur :

$$\begin{aligned} Kz &= 2,01 \times \left(\frac{z}{zg}\right)^{2/a} \\ &= 2,01 \times \left(\frac{12}{111,51}\right)^{2/7} \\ &= 1,06 \end{aligned}$$

Tekanan velositas :

$$\begin{aligned} qz &= 0,613 \times Kz \times Kzt \times Kd \times V^2 \\ &= 0,613 \times 1,06 \times 1 \times 0,85 \times 5,56^2 \\ &= 17,07 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Koefisien eksposur :

$$\begin{aligned} Kh &= 2,01 \times \left(\frac{z}{zg}\right)^{2/a} \\ &= 2,01 \times \left(\frac{13,66}{111,51}\right)^{2/7} \\ &= 1,103 \end{aligned}$$

Tekanan velositas :

$$\begin{aligned} qh &= 0,613 \times Kh \times Kzt \times Kd \times V^2 \\ &= 0,613 \times 1,10 \times 1 \times 0,85 \times 5,56^2 \\ &= 17,76 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Beban angin pada atap :

$$\begin{aligned} \text{Angin datang} &= qh \times G \times Cp \\ &= 17,76 \times 0,85 \times (\pm 2) \\ &= \pm 3,01 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Angin pergi} &= qh \times G \times Cp \\ &= 17,76 \times 0,85 \times (-0,6) \\ &= - 9,05 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Beban angin pada dinding :

$$\begin{aligned} \text{Angin datang} &= qzGCp \\ &= 17,07 \times 0,85 \times 0,8 \\ &= 11,61 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Angin pergi} &= qhGCp \\ &= 17,71 \times 0,85 \times (-0,3) \\ &= - 4,52 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

### **Pembebanan Struktur Portal**

DL dinding bata : 250 kg/m<sup>2</sup> (PPURG 1987)

LL pelat lantai : 250 kg/m<sup>2</sup> (PPURG 1987)

LL pelat bordes : 300 kg/m<sup>2</sup> (PPURG 1987)

LL pelat tangga : 300 kg/m<sup>2</sup> (PPURG 1987)

Beban mati balok induk :

h balok induk = 0,4 m

b balok induk = 0,3 m

$$t' = t - h$$

$$= 4 - 0,4$$

$$= 3,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban balok} &= \text{berat dinding bata} \times t' \\ &= 250 \text{ kg/m}^2 \times 3,6 \text{ m} \\ &= 900 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban mati balok sloof :

h sloof = 0,5 m

b sloof = 0,3 m

$$t' = t - \left(\frac{1}{2} h \text{ induk} + \frac{1}{2} h \text{ sloof}\right)$$

$$= 4 - \left(\frac{1}{2} 0,4 + \frac{1}{2} 0,5\right)$$

$$= 3,55 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban balok} &= \text{berat dinding bata} \times t' \\ &= 250 \text{ kg/m}^2 \times 3,55 \text{ m} \\ &= 887,5 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban mati balok bordes :

h bordes = 0,3

b bordes = 0,2

$$t' = \frac{1}{2} t - \left(\frac{1}{2} h \text{ induk} + \frac{1}{2} h \text{ bordes}\right)$$

$$= 2 - \left(\frac{1}{2} 0,4 + \frac{1}{2} 0,3\right)$$

$$= 1,65 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban balok} &= \text{berat dinding bata} \times t' \\ &= 250 \text{ kg/m}^2 \times 1,65 \text{ m} \\ &= 412,5 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban mati pelat lantai :

Tebal spasi = 0,02 m

BJ spasi = 2100 kg/m<sup>3</sup>

Tebal pasir = 0,05 m

BJ pasir = 1600 kg/m<sup>3</sup>

Beban plafon = 18 kg/m<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} \text{Beban spasi} &= 0,02 \times 2100 \\ &= 42 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Beban keramik = 24 kg/m<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} \text{Beban pasir} &= 0,05 \times 1600 \\ &= 80 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Total beban mati = 164 kg/m<sup>2</sup>

Beban mati pelat bordes :

Tebal spasi = 0,02 m

BJ spasi = 2100 kg/m<sup>3</sup>

Tebal pasir = 0,05 m

BJ pasir = 1600 kg/m<sup>3</sup>

$$\begin{aligned} \text{Beban spasi} &= 0,02 \times 2100 \\ &= 42 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Beban keramik = 24 kg/m<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} \text{Beban pasir} &= 0,05 \times 1600 \\ &= 80 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Total beban mati} &= 146 \text{ kg/m}^2 \\
\text{Beban mati pelat tangga :} & \\
\text{Plat tangga} &= \text{BJ beton bertulang} \times t \times 0,5 \\
&= 2400 \times 0,1496 \times 0,5 \\
&= 179,52 \text{ kg/m}^2 \\
\text{Beban keramik} &= 24 \text{ kg/m}^2 \\
\text{Beban spasi} &= 0,02 \times 2100 \\
&= 42 \text{ kg/m}^2 \\
\text{Total beban mati} &= 245,52 \text{ kg/m}^2
\end{aligned}$$

### **Pembebanan Gempa**

Penelitian ini difokuskan pada wilayah Kota Yogyakarta provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, dengan parameter kondisi tanah pada semua jenis kondisi tanah, mulai dari tanah keras, tanah sedang hingga tanah lunak. Didalam SNI 1726-2012, bangunan sekolah dikategorikan sebagai bangunan dengan kategori resiko IV terhadap gempa bumi dengan nilai faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) = 1,50. Nilai desain percepatan respons spektra yang diperoleh dari hasil analisis pada aplikasi yang tersedia dalam *website* Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman (PUSKIM), Kementerian Pekerjaan Umum, diketahui nilai  $S_s = 1,221$  dan  $S_1 = 0,447$ .

Menentukan nilai  $F_a$  dan  $F_v$  :

$$\begin{aligned}
S_s &= \frac{1,221-1,0}{1,25-1,0} = \frac{F_a-1,0}{1,0-1,0} \\
&= \frac{0,221}{0,25} = \frac{F_a-1,0}{0} \\
&= 0 = 0,25F_a - 0,25 \\
&= 0,25F_a = 0,25 - 0 \\
&= F_a = \frac{0,25}{0,25} \\
&= 1 \\
S_1 &= \frac{0,447-0,4}{0,5-0,4} = \frac{F_v-1,4}{1,3-1,4} \\
&= \frac{0,047}{0,1} = \frac{F_v-1,4}{-0,1} \\
&= -0,0047 = 0,1F_v - 0,14 \\
&= 0,1F_v = 0,14 - 0,0047 \\
&= F_v = \frac{0,1353}{0,1} \\
&= 1,353
\end{aligned}$$

Nilai parameter respon spektrum percepatan pada periode pendek 0,2 detik ( $S_{ms}$ ) dan nilai parameter respon spektrum percepatan pada periode 1 detik ( $S_{m1}$ ) :

$$\begin{aligned}
S_{ms} &= F_a \times S_s \\
&= 1 \times 1,221 \\
&= 1,221 \\
S_{m1} &= F_v \times S_1 \\
&= 1,353 \times 0,447 \\
&= 0,6048
\end{aligned}$$

Parameter percepatan spektral desain dengan periode pendek 0,2 detik ( $S_{DS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{D1}$ ) :

$$\begin{aligned}
S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{ms} \\
&= \frac{2}{3} \times 1,221 \\
&= 0,814 \\
S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{m1} \\
&= \frac{2}{3} \times 0,6048 \\
&= 0,4032
\end{aligned}$$

Nilai periode getar struktur  $T_0$  dan  $T_s$  :

$$\begin{aligned}
T_0 &= 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
&= 0,2 \times \frac{0,4032}{0,814} \\
&= 0,099 \\
T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
&= \frac{0,4032}{0,814} \\
&= 0,495
\end{aligned}$$

Nilai respon spektrum desain ( $S_a$ ) untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$  ( $0 \leq T < T_0$ ):

$$\begin{aligned}
S_a &= S_{DS} \times (0,4 + 0,6 \times \frac{T}{T_0}) \\
&= 0,814 \times (0,4 + 0,6 \times \frac{T}{0,099}) \\
&= 0,3256
\end{aligned}$$

Periode yang lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$  ( $T_0 \leq T \leq T_s$ ) :

$$\begin{aligned}
S_a &= S_{DS} \\
&= 0,814
\end{aligned}$$

Periode yang lebih besar dari atau sama dengan  $T_s$  ( $T_0 \geq T_s$ ) :

$$\begin{aligned}
S_a &= \frac{S_{D1}}{T} \\
&= \frac{0,4032}{1} \\
&= 0,4032
\end{aligned}$$

Tabel 1. Nilai  $S_a$  periode ( $T_0 \geq T_s$ ) kondisi tanah keras.

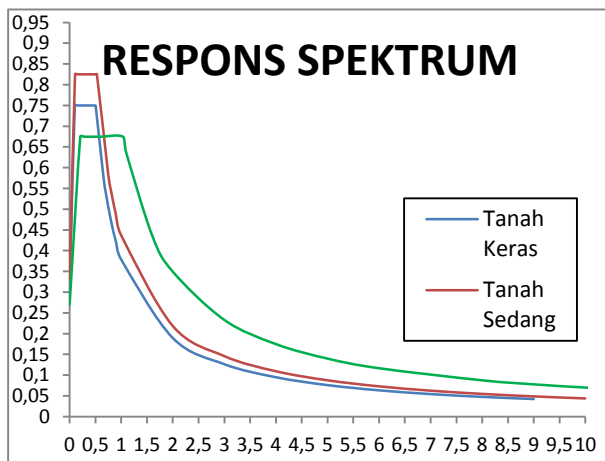
t (detik)	$S_a$
2,00	0,19
3,00	0,13
4,00	0,10
5,00	0,08
6,00	0,06
7,00	0,05
8,00	0,05
9,00	0,04

Tabel 2. Nilai Sa Periode ( $T_o \geq T_s$ ) kondisi tanah sedang.

t (detik)	Sa
2,00	0,22
3,00	0,15
4,00	0,11
5,00	0,09
6,00	0,07
7,00	0,06
8,00	0,06
9,00	0,05

Tabel 3. Nilai Sa Periode ( $T_o \geq T_s$ ) kondisi tanah lunak.

t (detik)	Sa
4,00	0,18
5,00	0,14
6,00	0,12
8,00	0,09
9,00	0,08
10,00	0,07
11,00	0,06
12,00	0,06



Gambar 2. Response spectrum Kota Yogyakarta.

**Analisis Struktur Kolom**

Data Kolom :

- Lebar, b = 350 mm
- Panjang, h = 350 mm
- Kuat tekan beton,  $f_c'$  = 18 MPa
- Tegangan leleh baja,  $f_y$  = 240 MPa
- Modulus elastisitas baja,  $E_s$  = 200000 MPa
- Diameter tulangan, D = 19 mm

- Diameter sengkang, P = 10 mm
- Selimit beton,  $t_s$  = 40 mm
- Faktor reduksi kekuatan,  $\phi$  = 0,65
- Faktor distribusi tegangan beton,  $\beta_1$  = 0,85

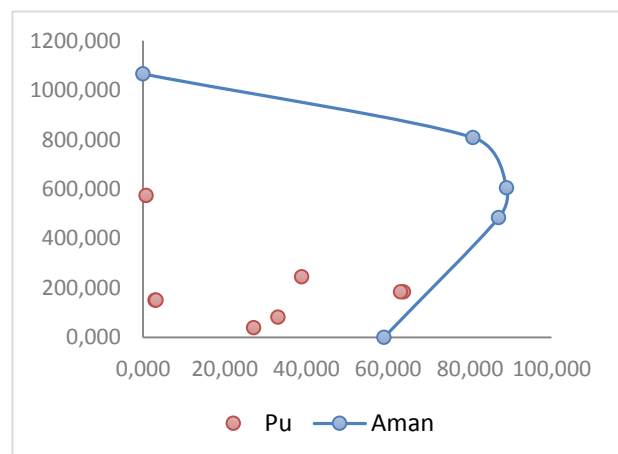
Dari analisis perhitungan kolom didapat hasil sebagaimana disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4. Hasil kekuatan kolom (tanah keras).

Keadaan	$\phi P_n$ (kN)	$\phi M_n$ (kNm)	e (mm)
Sentris	1372,154	0	0
Eks. kecil	1097,723	0	0
Seimbang	602,639	92,862	-
Patah Desak	821,803	82,180	100
Patah Tarik	509,719	91,749	180
Momen murni	1372,153	61,330	-

Tabel 5. Hasil reaksi kolom (tanah keras)

Item	P (kN)	M2(kN.m)
P terbesar	40,107	24,751
P terkecil	579,192	1,096
V2 terbesar	78,965	18,423
V2 terkecil	247,273	40,907
M2 terbesar	183,437	58,883
M2 terkecil	183,437	58,187
M3 terbesar	148,511	2,573
M3 terkecil	148,541	2,842



Gambar 3. Diagram interaksi kolom (tanah keras).

Dengan cara analisis struktur kolom yang sama (analog) serta dimensi kolom dan ukuran

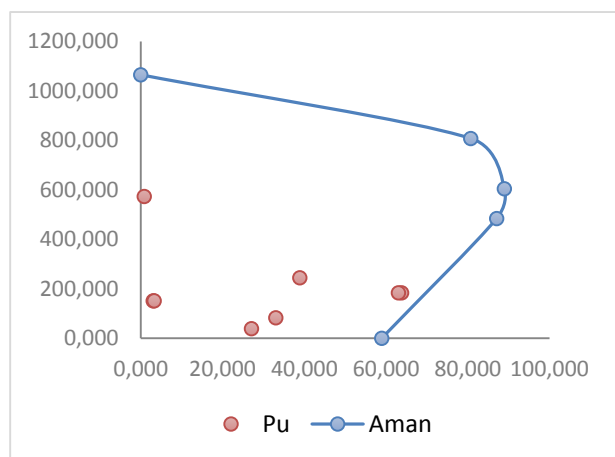
tulangan yang dipakai adalah sama, berikut adalah hasil analisis struktur kolom yang didapat pada jenis tanah sedang dan lunak :

Tabel 6. Hasil kekuatan kolom (tanah sedang).

Keadaan	$\phi Pn$ (kN)	$\phi Mn$ (kNm)	e (mm)
Sentris	1372,154	0	0
Eks. kecil	1097,723	0	0
Seimbang	602,639	92,862	-
Patah Desak	821,803	82,180	100
Patah Tarik	509,719	91,749	180
Momen murni	1372,153	61,330	-

Tabel 7. Hasil reaksi kolom (tanah sedang)

Item	P (kN)	M2(kN.m)
P terbesar	40,107	24,751
P terkecil	579,192	1,096
V2 terbesar	68,107	39,033
V2 terkecil	257,373	45,509
M2 terbesar	183,437	58,883
M2 terkecil	183,437	58,187
M3 terbesar	148,511	2,573
M3 terkecil	148,541	2,842



Gambar 4. Diagram interaksi kolom (tanah sedang).

Tabel 8. Hasil kekuatan kolom (tanah lunak).

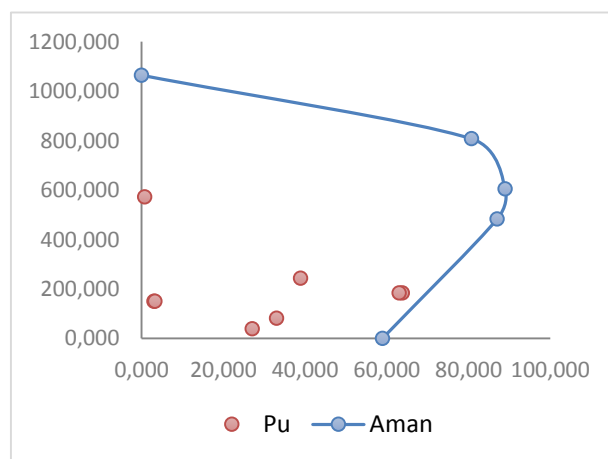
Keadaan	$\phi Pn$ (kN)	$\phi Mn$ (kNm)	e (mm)
Sentris	1372,154	0	0
Eks. Kecil	1097,723	0	0

Lanjutan dari tabel 8.

Seimbang	602,639	92,862	-
Patah Desak	821,803	82,180	100
Patah Tarik	509,719	91,749	180
Momen murni	1372,153	61,330	-

Tabel 9. Hasil reaksi kolom (tanah lunak)

Item	P (kN)	M2(kN.m)
P terbesar	40,107	24,751
P terkecil	579,192	1,096
V2 terbesar	76,843	18,843
V2 terkecil	249,457	41,969
M2 terbesar	183,437	58,883
M2 terkecil	183,437	58,187
M3 terbesar	148,511	2,573
M3 terkecil	148,541	2,842



Gambar 5. Diagram interaksi kolom (tanah lunak).

### Analisis Struktur Balok

Setelah melakukan perhitungan momen positif dan negatif maka diperoleh ukuran tiap balok sebagaimana disajikan pada tabel berikut :

Tabel 10. Hasil analisis balok.

	Balok <i>sloof</i>		
	Tanah keras	Tanah sedang	Tanah lunak
Ukuran (mm)	300x500	300x500	300x500
Mu <sup>+</sup> (kNm)	21,40	21,40	21,40
Mu <sup>-</sup> (kNm)	53,30	56,04	53,04
Vu (kNm)	65,84	65,84	65,84

Lanjutan dari tabel 10.

Tul. momen positif	4D13	4D13	4D13
Tul. momen negatif	6D13	7D13	7D13
Tul. geser	2P10-220	2P10-220	2P10-220
Balok induk			
	Tanah keras	Tanah sedang	Tanah lunak
Ukuran (mm)	300x400	300x400	300x400
Mu <sup>+</sup> (kNm)	59,23	59,23	59,23
Mu <sup>-</sup> (kNm)	110,89	110,89	110,89
Vu (kNm)	82,84	82,84	82,84
Tul. momen positif	4D16	4D16	4D16
Tul. momen negatif	7D16	7D16	7D16
Tul. geser	2P10-170	2P10-170	2P10-170
Balok anak			
	Tanah keras	Tanah sedang	Tanah lunak
Ukuran (mm)	200x300	200x300	200x300
Mu <sup>+</sup> (kNm)	13,73	13,95	13,73
Mu <sup>-</sup> (kNm)	22,76	22,76	22,76
Vu (kNm)	35,58	40,23	35,96
Tul. momen positif	3D13	3D13	3D13
Tul. momen negatif	5D13	5D13	5D13
Tul. geser	2P10-110	2P10-110	2P10-110
Balok bordes			
	Tanah keras	Tanah sedang	Tanah lunak
Ukuran (mm)	200x300	200x300	200x300
Mu <sup>+</sup> (kNm)	16,03	17,83	15,82
Mu <sup>-</sup> (kNm)	21,87	23,67	21,67
Vu (kNm)	20,27	21,57	20,16
Tul. momen positif	4D13	4D13	4D13
Tul. momen negatif	5D13	6D13	7D13
Tul. geser	2P10-110	2P10-110	2P10-110
Balok <i>ringbalk</i>			
	Tanah keras	Tanah sedang	Tanah lunak
Ukuran (mm)	300x400	300x400	300x400
Mu <sup>+</sup> (kNm)	20,34	21,61	20,58
Mu <sup>-</sup> (kNm)	16,76	17,92	16,96
Vu (kNm)	26,22	27,59	26,49
Tul. momen positif	4D13	4D13	4D13
Tul. momen negatif	4D13	4D13	4D13
Tul. geser	2P10-170	2P10-170	2P10-170
Balok kuda-kuda			
	Tanah keras	Tanah sedang	Tanah lunak
Ukuran (mm)	250x250	250x250	250x250
Mu <sup>+</sup> (kNm)	2,80	2,99	2,74
Mu <sup>-</sup> (kNm)	3,45	3,68	3,48
Vu (kNm)	3,07	3,29	3,01

Tul. momen positif	3D10	3D10	3D10
Tul. momen negatif	4D10	4D10	4D10
Tul. geser	2P10-90	2P10-90	2P10-90
Balok gording			
	Tanah keras	Tanah sedang	Tanah lunak
Ukuran (mm)	200x200	200x200	200x200
Mu <sup>+</sup> (kNm)	1,23	1,32	1,21
Mu <sup>-</sup> (kNm)	1,24	1,33	1,22
Vu (kNm)	0,77	0,83	0,68
Tul. momen positif	2D10	2D10	2D10
Tul. momen negatif	2D10	2D10	2D10
Tul. geser	2P8-70	2P8-70	2P8-70

### Analisis Komponen Pelat

Dari pemodelan dan analisis struktur pada komponen pelat telah didapat desain yang aman terhadap lendutan total akibat beban yang diterima.

Tabel 11. Desain struktur plat.

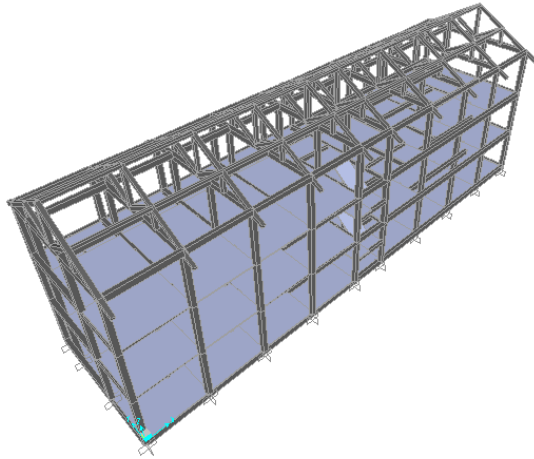
No.	Komponen	Tulangan
1	Plat Lantai	2P10-100
2	Plat Bordes	2P10-180
3	Plat Tangga	2P10-180

### Evaluasi Desain Bangunan

Desain bangunan tahan gempa ini disesuaikan dengan tujuan dan fungsi daripada bangunan itu sendiri yakni bangunan sekolah guna menunjang kegiatan belajar dan mengajar serta aktivitas pendidikan lainnya. Maka dari itu spesifikasi teknis termasuk tata letak bangunan didesain sedemikian rupa dengan mengacu pada pedoman teknis bangunan sekolah tahan gempa dimana bangunan dibuat sederhana dan simetris.

Bangunan terdiri dari struktur rangka pemikul beban berupa beton bertulang dan dinding pasangan batu bata yang diperkuat dengan susunan kolom dan balok. Pada bagian atap dari struktur ini digunakan material serupa yakni beton bertulang, hal tersebut dipilih dengan pertimbangan bahwa struktur yang menggunakan material yang serupa atau monolit akan memiliki kekakuan dan kekuatan struktur yang sama atau merata yang juga merupakan ketentuan dasar dalam perencanaan bangunan sekolah tahan gempa.





Gambar 6. Hasil pemodelan struktur.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari analisis dalam penelitian ini maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan material beton bertulang pada bagian struktur rangka atap dapat diaplikasikan dengan bentuk balok dan ukuran yang relatif kecil namun tetap memiliki kekuatan yang cukup untuk menerima beban gempa.
2. Hasil dari pemodelan struktur menggunakan program SAP2000 yang telah dilakukan, didapatkan desain struktur yang aman dengan dimensi atau ukuran komponen-komponen struktur yang sama untuk setiap jenis tanah baik untuk tanah keras, tanah sedang hingga tanah lunak.
3. Setelah melakukan analisis struktur dari pemodelan struktur dengan tiga jenis tanah yang berbeda, namun dengan ukuran dimensi komponen struktur yang sama, terdapat perbedaan pada jumlah tulangan yang digunakan setiap komponen. Semakin lunak kondisi tanahnya maka jumlah tulangan yang digunakan semakin banyak.

#### 5. Daftar Pustaka

Adeswastoto, H., Djauhari, Z., Suryanita, R., 2017, *Evaluasi Kerentanan Bangunan Gedung Terhadap Gempa Bumi*

*Berdasarkan ASCE 41-13, Jurnal Teknik Sipil Siklus, 3 (2), 86-99.*

Afifuddin, M., Panjaitan, M. A. R., Ayuna, D., 2016, *The Behaviour of Reinforced Concrete Structure Due to Earthquake Load Using Time History Analysis Method*, AIWEST-DR 2016, Banda Aceh, 22-24 Nopember 2016.

Anggraini, D., dan Dewi S. H., 2016, *Evaluasi Desain Struktur Gedung Office 5 Lantai dan Basement Pemuda City Walk Pekanbaru Terhadap Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-2012*, Jurnal Saintis, 16 (2), 99-110.

Bayyinah, D. A. L. N., dan Faimun, 2017, *Studi Perbandingan Analisis Respon Spektra dan Time History untuk Desain Gedung*, Jurnal Teknik ITS, 6 (1), 33-38.

BSN, 2012, SNI 1726-2012: *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

BSN, 2013, SNI 1727-2013: *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

BSN, 2013, SNI 2847-2013: *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

Faizah, R., 2015, *Studi Perbandingan Pembebanan Gempa Statik Ekuivalen dan Dinamik Time History pada Gedung Bertingkat di Yogyakarta*, Jurnal Ilmiah Semesta Teknika, 18 (2), 190-199.

Fauzan, S. A., Erizal., Sapei, A., 2016, *Evaluasi Ketahanan Gempa Pada Struktur Gedung X di Jakarta Berdasarkan SNI 03-1726-2012*, Tugas Akhir, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Ghaffar, M. A., Djodjoatmodjo, A. S. M., Nuralinah, D., 2015, *Perencanaan Ulang Struktur Gedung Tahan Gempa Menggunakan Metode Dinding Geser Yang Mengacu Pada SNI 1726-2012 Pada Gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya*, Tugas Akhir, Universitas Brawijaya, Malang.

Livescience, 2018, What Is a Subduction Zone, <https://www.livescience.com/43220->

- subduction-zone-definition.html,(diakses pada 3 Mei 2019 pukul 14.00)
- Masagala, A. A., Ma'arif, F., 2016, *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Berlantai 4: Studi Kasus Gedung Baru Kampus 1 Universitas Teknologi Yogyakarta*, Jurnal Ilmiah Semesta Teknika, 19 (1), 80-89.
- Putra, P. A. N., Sudarsana, I. K., Budiwati, I. A. M., 2016, *Evaluasi Struktur Gedung 2 Tingkat Beton Bertulang dengan Atap Baja Ringan Menggunakan Analisis Statik Pushover*, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 20 (2), 87-94.
- Refani, A. N., Alrasyid, H., Irmawan, M., 2015, *Evaluasi Struktur Bangunan Gedung Beton Bertulang Berusia 50 Tahun Berdasarkan SNI 1726-2002 dan SNI 2847-2013*, Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Safira, N., Sebayang, S., dan Helmi, M., 2018, *Analisis Pengaruh Beban Gempa pada Gedung Tiga Lantai Menggunakan Metode Statik Ekuivalen*, Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain, 6 (3), 273-282.
- Soltsyik, B., Jankowski, R., 2015, *Building Damage Due to Structural Pounding During Earthquakes*, DAMAS 2015, Belgium, 24-26 Agustus 2015.
- Syamsi, M. I., 2018, *Respon Model Gedung Beton Bertulang dengan Penambahan Dinding Pengisi Terhadap Beban Gempa*, Jurnal Ilmiah Semesta Teknika, 21 (1), 33-42.
- Tajunnisa, Y., Chadaffi, M., Ramadhaniawan, V., 2014, *Perbandingan Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung Tahan Gempa antara Metode SRPMM dan SRPMK*, Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Tidke, K. S., Jangave, S. K., Patil, R. S., 2016, *Analysis of Infilled Wall Frame for Evaluation of Multiplication Factor*, *Journal of Structural Engineering and Management*, 3 (3), 31-36.
- Wantalantie, R. O. F., Pangouw, J. D., dan Windah, R. S., 2016, *Analisa Statik dan Dinamik Gedung Bertingkat Banyak Akibat Gempa Berdasarkan SNI 1726-2012 dengan Variasi Jumlah Tingkat*, *Jurnal Sipil Statik*, 4 (8), 471-480.