

Perancangan Struktur Gedung Sekolah Tahan Gempa dengan Struktur Atap Beton di Kabupaten Bantul

Design of Earthquake Resistance School Structures with Concrete Roof Structures in Bantul District

Mega Nur Atmi, As'at Pujiyanto

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Di Indonesia terutama di Daerah Istimewa Yogyakarta bencana alam yang sering terjadi yaitu Gempa Bumi. Gempa Bumi ini adalah pergerakan permukaan bumi akibat gelombang seismik yang dilepaskan oleh energi dari dalam lapisan bumi. Suatu bangunan terutama bangunan sekolah yang merupakan tempat umum sangat rentan menyebabkan korban jiwa akibat dari gempa bumi ini. Pada saat gempa bumi terjadi, suatu bangunan tidak boleh langsung mengalami keruntuhan tetapi harus memberi ruang waktu agar para penggunanya dapat menyelamatkan diri terlebih dahulu. Sehingga diperlukan perancangan struktur bangunan sekolah tahan gempa agar pengguna mendapatkan kenyamanan dan keamanan yang baik. Pada penelitian ini digunakan *software* SAP2000 untuk memodelkan struktur bangunan yang diberi beban sesuai dengan peraturan SNI 1726-2012 mengenai beban gempa, SNI 1727-2013 mengenai pembebanan dan SNI 2847-2013 mengenai persyaratan beton struktural. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini berupa analisis struktur utama yang dapat digunakan untuk menahan beban gempa di Kabupaten Bantul.

Kata kunci: gempa bumi, sekolah tahan gempa, perancangan struktur.

Abstract. In Indonesia, especially in the Special Region of Yogyakarta a natural disaster that often happens is earthquake. This earthquake is the movement of the earth's surface because of the seismic waves released by energy from within the earth's layers. A building, especially a school building as a public place is very vulnerable to cause casualties resulting from this earthquake. At the time of the earthquake, a building must not be directly collapsed but its must give the users time to save themselves. That required design of earthquake resistant school building structure so that users can get safety and comfortable. In this research we used SAP2000 to model the structure of loaded buildings according with SNI 1726-2012 as regards earthquake load, SNI 1727-2013 as regards for the building load and SNI 2847-2013 as regards structural concrete requirements. The results obtained from this research are the main structural analysis that can be used to restrain earthquake load in Bantul district.

Keywords: earthquake, earthquake resistant school, structure design.

1. Pendahuluan

Standar peraturan beban gempa tahun 2002 dengan tahun 2012 memiliki perbedaan beban yang relatif meningkat dua kali lipat (Hermawan dan Indarto, 2017). Seperti yang ditunjukkan oleh Indarto dkk. (2017) hasil evaluasi desain struktur pada Gedung *Training Centre* II Universitas Diponegoro terdapat beberapa desain elemen struktur yang tidak memenuhi standar karena adanya perbedaan dari peraturan beban gempa.

Gaya lateral yang disebabkan oleh gempat dapat dihitung dengan dua pendekatan, yaitu analisis statik (statik ekuivalen) dan analisis dinamik (respon spektrum dan *time story*). Bayyinah dan Faimun (2017) berpendapat bahwa ada perbedaan antara respon spektrum dengan *time story*. Perbedaan ini ditunjukkan pada

penelitian desain gedung dengan analisis respon spektrum dan *time story* dari tiga nilai terbesar data gempa pada Gempa Kobe yang terjadi di Jepang 1995, Imperial Valley di California 1979 dan Tabas di Iran 1978. Simpangan terbesar terjadi akibat gempa Imperial Valley pada analisis respon spektrum.

Menurut Mashemi dan Susanto (2015) struktur rangka beton bertulang yang bersifat daktilitas dapat menahan beban gempa. Daktilitas adalah kemampuan struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang cukup besar, sehingga setelah mengalami guncangan struktur masih dapat mempertahankan kekuatan dan kekakuannya (Hidayat dkk., 2009).

Komponen non-struktur seperti dinding bata yang berada diantara komponen struktur beton

bertulang mengubah sistem transfer beban pada struktur portal menjadi sistem transfer pada struktur batang (Maidiawati dan Tanjung, 2016). Kekuatan lateral yang dimiliki struktur rangka dengan dinding bata meningkat dua kali lebih besar daripada kekuatan lateral struktur rangka tanpa dinding bata (Maidiawati dkk., 2017).

Suatu bangunan tidak mungkin hanya diisi dengan struktur rangka dan dinding pengisi, tetapi terdapat juga bukaan atau lubang seperti jendela, pintu dan lainnya. Menurut Sukrawa (2015) tegangan yang besar akan terjadi pada sudut dinding akibat dari bukaan atau lubang tersebut sehingga perlu perkuatan struktur. Bukaan pada dinding dapat mempengaruhi kekuatan lateral struktur rangka yang besarnya dipengaruhi oleh luas bukaan terhadap luas dinding (Goutam dan Sudhir, 2008). Penambahan dinding bata dengan rasio bukaan sampai 60% masih dapat menahan beban gempa untuk struktur rangka 3 lantai (Budiwanti dan Sukrawa, 2017).

Pemodelan struktur dengan model *open frame* lebih baik daripada struktur dengan model *bracing* tekan, hasil ini ditunjukkan pada nilai perpindahan (*displacement*) saat *performance point* yang lebih besar untuk struktur *open frame* (Iranata dkk., 2012). Agus dan Gushendra (2015) juga mengatakan bahwa struktur *open frame* didapat nilai *displacement* dan gaya dalam yang lebih besar dibandingkan dengan model struktur *bracing* dan dinding geser. Akan tetapi untuk gedung tingkat tinggi atau lebih dari lima lantai model struktur *bracing* dan dinding geser lebih efektif digunakan, karena dapat menghasilkan desain struktur dengan dimensi lebih kecil daripada model *open frame* sehingga dapat menghemat biaya yang dikeluarkan.

Penelitian mengenai struktur bangunan tahan gempa ini sudah cukup banyak, tetapi kebanyakan membahas gedung-gedung bertingkat tinggi, sedangkan untuk struktur gedung sekolah yang merupakan tempat umum dengan fungsi penting untuk pendidikan masih sangat jarang. Sehingga penelitian ini dilakukan dengan mengacu pada penelitian-penelitian sebelumnya mengenai gedung tahan gempa dan peraturan-peraturan terbaru.

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan analisis desain struktur bangunan sekolah tahan gempa yang dapat digunakan sebagai acuan pembangunan sekolah tahan gempa di Kabupaten Bantul. Struktur bangunan yang dapat menahan beban gempa akan mengurangi resiko-resiko buruk akibat gempa tersebut.

Menurut Buku Pedoman Teknis Bangunan Sekolah Tahan Gempa (2010) ada beberapa ketentuan-ketentuan yang harus dipenuhi dalam perencanaan bangunan diantaranya adalah:

1. Tata letak bangunan yang sederhana dan simetris, apabila tidak memungkinkan maka bangunan harus diberi dilatasi $\pm 10\text{cm}$ agar menjadi simetris.
2. Distribusi berat bangunan harus merata.
3. Tinggi bangunan sebaiknya tidak melebihi empat kali lebar bangunan.
4. Struktur bangunan yang sederhana dan monolit atau menggunakan bahan bangunan yang sama.
5. Pondasi harus berada pada tanah keras dan sekuat mungkin, tidak berada pada kondisi tanah yang berbeda karena dapat menyebabkan patahan pada saat gempa terjadi.
6. Pengawasan saat pelaksanaan pembangunan harus benar agar sesuai dengan desain rencana.

Kriteria minimum pada suatu bangunan gedung bertingkat dengan struktur beton bertulang, antara lain:

1. Kuat tekan beton minimum 175 kg/cm^2 dan kuat tarik baja 2400 kg/cm^2 .
2. Diameter tulangan sengkang minimum adalah 8 mm.
3. Setiap penampang balok atau kolom, tulangan yang terpasang paling minimum adalah empat batang besi.

Analisis Beban Gempa

Respon spektrum dipilih sebagai metode yang digunakan untuk menganalisis beban gempa pada penelitian ini, karena data yang diperlukan mudah didapatkan.

Berikut adalah ketentuan-ketentuan untuk membuat kurva respon spektrum desain seperti yang terlihat pada gambar 1.

1. Periode yang lebih kecil dari T_0 , respon spektrum percepatan desain (S_a) diambil dari persamaan:

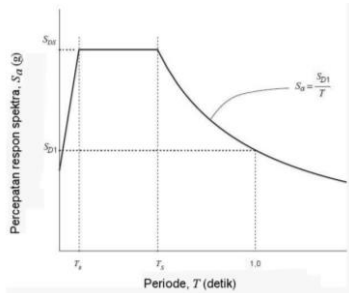
$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (1)$$
2. Periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , respon spektrum percepatan desain (S_a) sama dengan S_{DS} .
3. Periode lebih besar dari T_s , respon spektrum percepatan desain (S_a) diambil dari persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2)$$

Nilai S_{DS} dan S_{D1} didapat dari data puskim. Kemudian untuk nilai T_0 dan T_S didapat dari persamaan berikut:

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (4)$$



Gambar 1 Respon spektrum desain

Pembebanan

Kombinasi-kombinasi beban terfaktor yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan SNI 1727-2012, yaitu:

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr atau R)
3. 1,2 D + 1,6 (Lr atau R) + (L atau 0,5 W)
4. 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr atau R)
5. 1,2 D + 1,0 E + L
6. 0,9 D + 1,0 W
7. 0,9 D + 1,0 E

Dimana:

D = Beban mati E = Beban gempa
L = Beban hidup W = Beban angin
R = Beban hujan

Beban mati adalah berat bahan konstruksi bangunan, diantaranya adalah dinding, lantai atap, plafon dan komponen non-struktur lainnya.

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan dari pengguna bangunan atau struktur lain yang tidak termasuk pada beban konstruksi dan beban lingkungan. Besarnya beban hidup ini sesuai dengan peraturan PPURG 1987.

Beban hujan adalah beban hidup terbagi merata diakibatkan oleh air hujan yang biasa diperhitungkan untuk beban pada atap. Perhitungan beban hujan ini terdapat pada peraturan PPURG 1987.

Beban angin adalah beban yang bekerja pada bagian gedung yang disebabkan oleh tekanan udara. Perhitungan beban angin ini dijelaskan pada peraturan SNI 1727-2013.

2. Metode Penelitian

Pengumpulan Data

Pengumpulan data ini berupa model struktur bangunan sekolah seperti luas ruangan kelas, lebar tangga, lebar lorong kelas dan lain sebagainya yang didapat dari survei ke sekolah yang berada di sekitar lokasi penelitian.

Berdasarkan survei yang dilakukan dipilih model struktur bangunan sekolah dengan luas 80 m² (8 m × 10 m), lebar lorong 2 m², lebar tangga 2 m² dengan bordes seluas 3m² (1,5 m × 2 m), tinggi bangunan tiap lantai 4 m dengan bentang antar kolom 4 m dan 5 m.

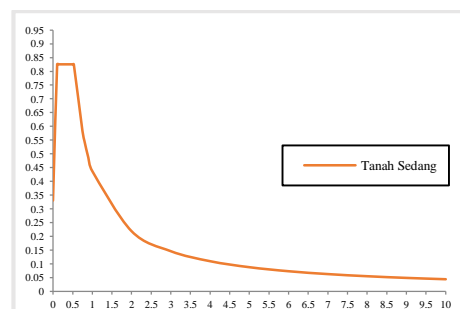
Pembebanan

Pembebanan pada struktur bangunan sekolah ini disesuaikan dengan peraturan-peraturan yang berlaku di Indonesia. Data gempa bumi dapat diambil dari puskim untuk wilayah Kabupaten Bantul.

Beban-beban yang diberikan pada struktur bangunan sekolah ini dapat dilihat pada tabel dan gambar dibawah ini:

Tabel 1 Respon spektrum desain

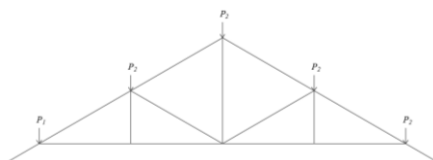
T (s)	Sa (g)
0.0000	0.4424
0.1038	1.1060
0.1500	1.1060
0.2000	1.1060
0.3000	1.1060
0.4000	1.1060
0.5000	1.1060
0.5190	1.1060
0.7500	0.7653
0.8000	0.7175
0.9000	0.6378
1.0000	0.5740
2.0000	0.2870
3.0000	0.1913
4.0000	0.1435



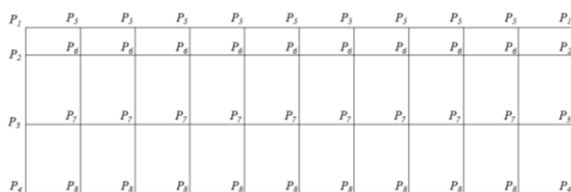
Gambar 2 Respon spektrum desain

Tabel 2 Beban mati dan beban hidup

Jenis beban		Nilai
Beban mati penutup atap	P ₁	144 kg/m
	P ₂	173 kg/m
Beban hujan	P ₁	46,08 kg/m
	P ₂	55,36 kg/m
Beban angin pada atap	Arah datang	± 3,01 N/m
	Arah pergi	- 9,03 N/m
Beban plafon	P ₁	36 kg
	P ₂	126 kg
	P ₃	180 kg
	P ₄	90 kg
	P ₅	72 kg
	P ₆	252 kg
	P ₇	360 kg
	P ₈	180 kg
Beban balok	Induk	912,5 kg/m
	Sloof	912,5 kg/m
	Bordes	412,5 kg/m
Beban mati plat	Lantai	164 kg/m ²
	Bordes	146 kg/m ²
	Tangga	243,12 kg/m ²
Beban hidup plat	Lantai	250 kg/m ²
	Bordes	300 kg/m ²
	Tangga	300 kg/m ²
Beban angin pada dinding	Arah datang	11,61 N/m
	Arah pergi	- 4,52 N/m



Gambar 3 Rangka struktur atap



Gambar 4 Denah plafon

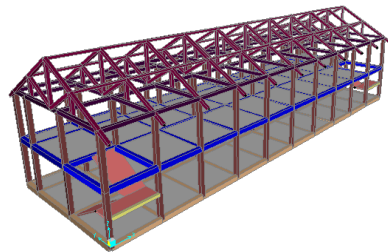
Pemodelan Struktur

Analisis struktur ini dimulai dengan pemodelan struktur bangunan menggunakan *software* SAP2000 v.14.

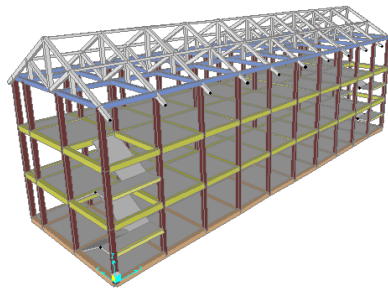
Langkah-langkah pemodelan struktur bangunan menggunakan *software* SAP2000 adalah:

1. menggambar struktur portal *open frame* menggunakan *software* SAP2000,
2. memasukkan beban-beban yang telah dihitung, seperti: beban mati, beban hidup, beban angin,
3. memasukkan data beban gempa yang didapat dari puskim ke dalam *software*,
4. memasukkan kombinasi beban sesuai dengan peraturan yang ada,
5. menganalisis data yang dihasilkan dari *software* SAP2000, kemudian mengecek keamanan strukturnya.

Berikut adalah gambar pemodelan struktur bangunan sekolah menggunakan SAP2000.



Gambar 5 Model struktur dua lantai



Gambar 6 Model struktur tiga lantai

Analisis Struktur

Balok adalah suatu bagian struktur yang memiliki fungsi sebagai pendukung beban horizontal dan beban vertikal.

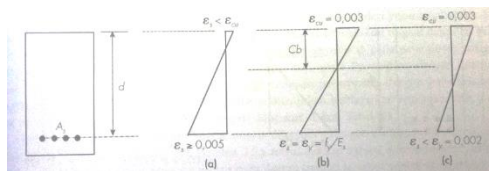
Asumsi yang diambil dalam mendesain balok beton bertulang dengan metode kekuatan (*Strength Design Method*) atau metode ultimit adalah sebagai berikut:

1. Regangan yang terjadi pada beton dan tulangan baja adalah sama.
2. Regangan pada beton berbanding lurus terhadap jaraknya ke sumbu netral penampang.
3. Setelah terjadi lentur, penampang akan tetap datar.

4. Nilai modulus elastisitas tulangan baja dianggap sebesar 200.000 Mpa dan tegangan yang timbul pada tulangan baja dalam daerah elastis sama dengan nilai regangan dikalikan dengan modulus elastisitas.
5. Kuat tarik dari beton diabaikan.
6. Pada kondisi keruntuhan regangan maksimum pada serat tekan beton terluar adalah sebesar 0,003.
7. Untuk perhitungan kuat rencana, bentuk distribusi tegangan tekan beton diasumsikan berbentuk segi empat, sesuai dengan asumsi dalam SNI 2847-2013. (Setiawan, 2016)

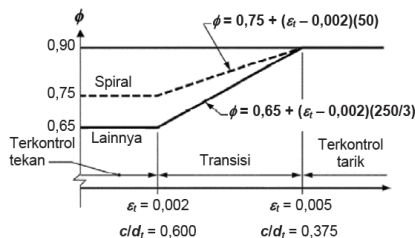
Ada tiga macam keruntuhan lentur balok yang dapat terjadi berdasarkan presentase tulangan baja, yaitu:

1. Tulangan baja akan mencapai kuat luluhnya sebelum beton mencapai kuat maksimumnya. Keruntuhan disebabkan karena regangan mencapai 0,005 atau lebih. Ditunjukkan pada gambar 7(a).
2. Tulangan baja akan mencapai kuat luluhnya dan pada saat yang bersamaan beton mencapai regangan ultimitnya sebesar 0,003. Ditunjukkan pada gambar 7(b).
3. Balok dengan presentase tulangan baja yang cukup besar, beton akan mengalami keruntuhan sebelum tulangan baja mencapai kuat luluhnya. Regangan tulangan baja akan sama dengan atau kurang dari 0,002. Ditunjukkan pada gambar 7(c).



Gambar 7 Keruntuhan lentur balok

Faktor reduksi (ϕ) berdasarkan nilai regangan tarik tulangan baja dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8 Faktor reduksi ϕ terhadap nilai regangan tarik tulangan baja

Kegagalan geser pada balok biasanya terletak pada daerah dekat dengan tumpuan yang menerima gaya geser maksimum. Untuk mencegah terjadinya kegagalan geser maka balok harus diperkuat dengan tulangan geser pada daerah-daerah yang mendapatkan tegangan geser tinggi agar menghasilkan balok dengan daktilitas tinggi.

Kegagalan geser pada daerah dengan gaya geser dan momen lentur tinggi terjadi pada saat gaya geser mencapai nilai:

$$V_{cr} = 0,16 \times b \times d \times \sqrt{f_c'} \quad (5)$$

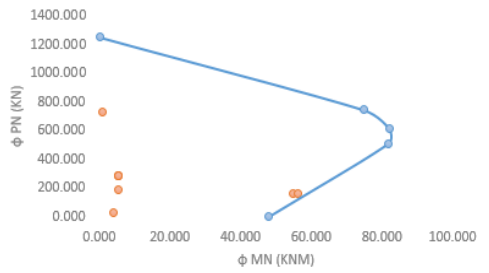
Kolom adalah komponen struktur vertikal yang khusus digunakan untuk memikul beban aksial tekan dengan memperhitungkan momen lentur ataupun tidak. Umumnya kolom akan menerima momen lentur akibat dari kondisi tumpuan ujung dan juga akibat dari beban eksentris.

Metode yang baik untuk mendapatkan desain kolom adalah dengan menggambarkan diagram interaksi (Setiawan, 2016). Diagram interaksi menghubungkan antara nilai P_n dan M_n akibat nilai eksentrisitas (e).

Ada enam kondisi yang diperlukan untuk menganalisis kolom, diantaranya:

1. Kondisi sentris, dimana pusat berat plastis berimpitan dengan pusat berat penampang beton.
2. Eksentrisitas kecil, ketika beton mencapai regangan ultimit sebelum tulangan baja tarik luluh.
3. Kondisi seimbang terjadi saat beban P yang bekerja pada penampang menghasilkan regangan sebesar 0,003 pada serat beton dan tulangan baja luluh pada waktu yang bersamaan.
4. Keruntuhan tekan, dimana besarnya nilai eksentrisitas (e) lebih kecil daripada nilai eksentrisitas pada kondisi seimbang (e_b) atau pada saat gaya tekan (P_n) lebih dari gaya tekan pada kondisi seimbang (P_b).
5. Keruntuhan tarik, nilai eksentrisitas (e) yang diberikan lebih besar daripada nilai eksentrisitas pada kondisi seimbang (e_b) atau kuat tekan (P_n) lebih kecil dari kuat tekan pada kondisi seimbang (P_b).
6. Momen murni, dimana nilai eksentrisitasnya $e = \infty$ sehingga nilai $P_n = 0$.

Contoh diagram interaksi dilihat pada gambar 9.



Gambar 9 Diagram intraksi kolom

Plat beton berfungsi untuk menyediakan suatu permukaan horizontal yang rata pada lantai bangunan, atap, jembatan atau struktur lainnya. Struktur plat beton dapat diklasifikasikan menjadi:

1. Plat satu arah adalah pelat yang ditumpu di kedua sisinya sehingga akan mengalami lendutan pada arah tegak lurus dari sisi tumpuan dan beban didistribusikan dalam satu arah yaitu arah tumpuan. Plat ini dapat ditumpu di keempat sisi dengan rasio bentang panjang dan pendeknya lebih besar atau sama dengan 2.

$$\frac{L_y}{L_x} \geq 2 \quad (6)$$

2. Sistem plat rusuk (*joint construction*) terdiri dari plat beton dengan tebal 50 hingga 100 mm, yang ditumpu oleh sejumlah rusuk dengan jarak beraturan. Rusuk ini memiliki lebar minimum 100 mm dan tinggi tidak lebih dari 3,5 kali lebar minimumnya, biasanya rusuk ini bersisi miring dan disusun dengan jarak tertentu tidak lebih dari 750 mm.

3. Plat dua arah adalah plat yang ditumpu di keempat sisinya dengan rasio antar bentang panjang dan bentang pendek kurang dari 2.

$$\frac{L_y}{L_x} < 2 \quad (7)$$

Lendutan yang dapat terjadi pada plat harus dikontrol, agar tidak menyebabkan keruntuhan yang dapat membahayakan. Syarat yang harus dipenuhi untuk lendutan ini adalah:

$$\delta_{tot} \leq \frac{L_x}{240} \quad (8)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari pemodelan struktur pada *software* SAP2000 didapatkan besaran nilai gaya-gaya reaksi yang dipikul oleh struktur tersebut akibat dari beban atau gaya luar yang diberikan.

Gaya reaksi tersebut berupa gaya aksial (P), gaya geser pada bidang 1-2 (V_2) dan bidang 1-3 (V_3), momen torsi (T) dan momen yang berputar

terhadap sumbu 2 (M_2) dan sumbu 3 (M_3). Dari gaya-gaya reaksi tersebut diambil nilai yang paling besar, kemudian dilakukan hitungan analisis struktur untuk mendapatkan desain struktur yang efektif dan efisien.

Desain struktur yang didapat dari hasil perhitungan analisis struktur untuk setiap komponennya terdapat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3 Desain tulangan struktur plat

	Sekolah 2 lantai	Sekolah 3 lantai
Plat lantai	P12 – 100	P12 – 100
Plat tangga	P10 – 150	P10 – 150
Plat bordes	P10 – 150	P10 – 150

Tabel 4 Desain struktur kolom dan balok sekolah dua lantai

	Tum	Lap	Begel	
			Tum	Lap
Kolom 350x350	12D16	12D16	2P8 – 150	2P8 – 150
Balok 350x450	5D20	9D20	2P8 – 200	2P8 – 200
Sloof 350x450	4D20	8D20	2P8 – 200	2P8 – 200
Ringbalk 200x200	2D16	2D16	2P8 – 100	2P8 – 100
Bordes 200x250	2D16	2D16	2P8 – 100	2P8 – 100
Balok Miring 200x200	2D10	2D10	2P8 – 100	2P8 – 100
Gording 200x200	2D10	2D10	2P8 – 100	2P8 – 100

Tabel 5 Desain struktur kolom dan balok sekolah tiga lantai

	Tum	Lap	Begel	
			Tum	Lap
Kolom 350x350	16D16	16D16	2P8 – 150	2P8 – 150
Balok 350x450	5D18	10D18	2P8 – 200	2P8 – 200
Sloof 350x450	5D18	10D18	2P8 – 200	2P8 – 200
Ringbalk 250x250	3D16	2D16	2P8 – 100	2P8 – 100
Bordes 200x250	2D16	2D16	2P8 – 100	2P8 – 100
Balok Miring 200x200	2D10	2D10	2P8 – 100	2P8 – 100
Gording 200x200	2D10	2D10	2P8 – 100	2P8 – 100

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan beton sebagai struktur rangka atap dapat menghasilkan dimensi yang kecil dan kekuatan yang cukup untuk menahan beban gempa.
2. Analisis struktur portal yang didapat dari momen-momen terbesar pada hasil *running* SAP2000 menghasilkan dimensi-dimensi komponen struktur yang dinilai efektif dan efisien untuk menahan beban-beban yang ada terutama beban gempa.

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan pada beberapa wilayah di Indonesia, tidak hanya di satu wilayah saja. Sehingga dapat menghasilkan banyak desain struktur bangunan yang nantinya dapat digunakan untuk pembangunan gedung sekolah tahan gempa pada wilayah yang ditinjau.
2. Material beton pada struktur atap dapat diganti dengan pemodelan menggunakan material yang lebih ringan tetapi tetap memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban gempa, yaitu menggunakan material baja ringan.
3. Penelitian dapat juga dilakukan dengan menggunakan metode selain respon spektrum untuk pemodelan beban gempa, seperti *time story* atau statik ekuivalen.

5. Daftar Pustaka

Agus, dan Gushendra, R., 2015, Perbandingan Analisa Struktur Model Portal Open Frame, Bracing dan Dinding Geser pada Struktur Gedung Beton Bertulang terhadap Beban Gempa, *Jurnal Momentum*, 17 (2), 6-13.

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

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

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

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

Budiwati, I. A. M., dan Sukrawa, M., 2017, Kinerja Struktur Rangka Beton Bertulang dengan Penambahan Dinding Pengisi Berlubang sebagai Perkuatan Seismik, *Jurnal Teknik Sipil* 24 (1), 43-50.

Departemen Pekerjaan Umum, 1987, Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung, Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.

Dirjen Pendidikan Menengah Kementrian Pendidikan Nasional, 2010, Pedoman Teknis Bangunan Sekolah Tahan Gempa, Jakarta.

Goutam, M., and Sudhir, K., Jain, M., 2008, Lateral Stiffness of Masonry Infilled Reinforced Concrete (RC) Frames with Central Opening, *Earthquake Spectra Earthquake Engineering Research Institute (EERI)*, 24 (3), 701 –723.

Hermawan, F., dan Indarto, H., 2017, Mekanisme Kebijakan Standar Ketahanan Gempa Baru pada Bangunan, *Teknik*, 38 (2), 103-112.

Hidayat, M. T., Rochim, A., dan Wibowo, A., 2009, Variasi Rasio Volume Tulangan Transversal dengan Inti Beton Terhadap Daktilitas Aksial Kolom Beton Bertulang, *Jurnal Rekayasa Sipil*, 3 (3), 181-191.

Indarto, H., Kadir, J. I., Muhammad, dan Tudjono, S., 2017, Evaluasi Desain Struktur Gedung Training Centre II Universitas Diponegoro, *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6 (1), 428-437.

Iranata, D., Kristijanto, H., dan Leksono, R. S., 2012, Studi Pengaruh Kekuatan dan Kekakuan Dinding Bata pada Bangunan Bertingkat, *Jurnal Teknik*, 1 (1), 30-33.

Maidiawati, Medriosa, H., dan Tanjung, J., 2017, Pengaruh Dinding Bata dengan Bukaang (Lobang) terhadap Ketahanan Lateral Struktur Rangka Beton Bertulang, *Jurnal Teknik Sipil*, 24 (2), 145-150.

Maidiawati, dan Tanjung, J., 2016, Studi Ekperimental tentang Pengaruh Dinding Bata Merah terhadap Ketahanan Lateral

Struktur Beton Bertulang, *Jurnal Teknik Sipil*, 23 (2), 99-106.

Mashemi, dan Susanto, D., 2015, Perencanaan Struktur Beton Bertulang pada Gedung Sekolah 5 Lantai menggunakan Metode Statik Ekuivalen dengan Daktilitas Penuh, *Tapak*, 5 (1), 41-54.

Sukrawa, M., 2015, Earthquake Response of RC Infilled Frame with Wall Openings in Low-Rise Hotel Buildings. *Procedia Engineering* 125, pp: 933-939.

Setiawan, A., 2016, Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847-2013, Jakarta: Erlangga.