

Analisis dan Desain Gedung Sekolah Tahan Gempa dengan Struktur Atap Beton di Kabupaten Sleman

Earthquake Resistant Analysis and Design of School Building in Sleman District

M Rizal Rahmat, As'at Pujianto

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Dengan tumbuhnya perekonomian secara pesat di Provinsi Yogyakarta khususnya Kabupaten Sleman ini memberi dampak pembangunan infrastruktur secara pesat diantaranya gedung sekolah yang dianggap sebagai salah satu objek vital pendidikan. Dimana di Kabupaten Sleman terdapat aktivitas gempa yang tinggi dibutuhkan perencanaan gedung dengan aspek gempa mengikuti kaidah yang tepat. Pada penelitian ini dimodelkan gedung sekolah memakai aplikasi SAP2000 mengikuti aturan bangunan tahan gempa dengan asumsi tanah dalam kategori sedang di kabupaten sleman dengan memodelkan struktur atap sekolah menggunakan kuda kuda beton. Dimasukan variasi beban sesuai peraturan yang berlaku diantaranya beban mati, beban hidup, beban angin beban hujan, dan memakai respon spektrum gempa Kabupaten Sleman, selanjutnya didapatkan dimensi struktur beban pemikul utama yaitu kolom, plat, dan balok dalam keadaan aman dan efisien.

Kata kunci: kuda kuda beton, sekolah tahan gempa, respon spektrum sleman, SAP2000.

Abstract. With masivly economic growth in Yogyakarta province specially Sleman district it gave effect that build of infrastructure are also rise up one of it is school, that also considered as a vital object of education. Where are District Sleman known as area that have highly activity of earthquake it comes with need of plan of building that have correct base of aerthquake rule.on this research is model of a structure of school building using aplication named SAP 2000 folowed by the rules of earthquakeproof building in terms and the soil is asume by medium cathegory in Sleman District with upper structure using concrete material,and then put the variousity of weight combination such as dead weiht ,live weight, rain weight, and for the earthquake weight use by response spektrum of sleman district.and finnaly we have a formula of main structure such as collumn, beam, and slab. In safe and efficient condition

Keywords: concrete upper structure, School earthquakeproof, Sleman respon spektrum, SAP2000.

1. Pendahuluan

Diawali dengan rendahnya kesadaran masyarakat akan pentingnya desain sebuah struktur gedung dalam bentuk masiv maupun parsial melewati jasa konsultan perencana, apalagi untuk wilayah indonesia yang masuk dalam wilayah *ring of fire* yang terdapat gunung-gunung dan kerak bumi yang aktif bergerak secara simultan menghasilkan wilayah indonesia zona gempa aktif.

Bangunan sekolah adalah salah satu fasilitas umum yang dimana jika terjadi gempa akan mengakibatkan lumpuhnya kegiatan pendidikan. Struktur sekolah perlu didesain menjadi bangunan tahan gempa karena kerusakan yang terjadi pada sekolah dapat

mengganggu sebagian aktivitas belajar-mengajar karena sarana dan prasarana yang rusak.

Hal ini menafsirkan penting nya tinjauan beban gempa, bangunan harus dapat mengampu gempa pada kekuatan tertentu tanpa mengakibatkan kegagalan pada dasar struktur atau apabila gempa yang terjadi melebihi skala gempa yang telah di perkirakan bangunan masih bisa menghasilkan perilaku non linier pada level pasca-elastik sehingga dapat diestimasi keadaan bangunan tersebut masih dalam daerah aman dan juga untuk mengimbangi kemajuan pada daerah.

Penelitian ini menggunakan analisis gempa respon spektra, perhitungan analisis

struktur menggunakan *software* SAP 2000 dalam model tiga dimensi. Hasilnya adalah dalam bentuk analisis balok, kolom, plat pada bangunan tersebut untuk mendapatkan hasil bahwa struktur tersebut aman terhadap beban gempa yang telah di perkirakan.

Atap adalah bagian paling atas dari suatu struktur yang menutupi gedung. Permasalahan atap tergantung pada luasnya ruang yang harus ditutupi, jenis dan material yang digunakan dan material penutupnya, atap adalah salah satu bagian terpenting.

Keuntungan dan kekurangan dalam penggunaan beton bertulang sebagai rangka kuda-kuda masing-masing yaitu:

Keuntungan:

1. Bila terjadi beban yang melebihi yang didesain tidak akan langsung patah, akan terjadi retak-retak rambut dahulu. Bedanya dengan konstruksi kuda-kuda dari kayu jika beban yang diterima melebihi yang didesain akan langsung patah.
2. Lebih tahan terhadap panas jika terjadi kebakaran, karena materialnya terdiri dari pasir, kerikil, baja dan semen, sedangkan kuda-kuda dari kayu akan lebih mudah terbakar.
3. Beton tidak diserang hama, jamur serangga dan lainnya. Karena materialnya sangat padat.

Kekurangan:

1. Bobot yang cukup berat, sehingga kolom yang menahan dibawahnya yaitu harus kuat. Konstruksi kuda-kuda kayu beratnya tidak berat, sehingga tidak perlu ditahan oleh kolom yang besar.
2. Bila bangunan ingin direnovasi konstruksi kuda-kuda beton harus dihancurkan. Sedangkan konstruksi kuda-kuda kayu lebih fleksibel.

Penelitian yang dilakukan Maidiawati dan Tanjung (2016) diketahui bahwa penggunaan bata merah yang lebih besar dan mengaplikasikan plesteran pada kedua sisi dinding bisa meningkatkan ketahanan lateral struktur secara tinggi.

Untuk pertimbangan penggunaan respon spektra didapatkan pada penelitian Bayyinah dan Faimun (2017) Studi Perbandingan analisis respon spektra dan *time history* untuk desain gedung pada studi kasus gempa Kobe *base shear* terbesar dari *time history* adalah

10580 KN arah x dan 9691 KN arah y. Dan untuk respon spektra didapatkan hasil 11621,343 KN arah x dan 12038,64 KN arah y yang mana lebih tinggi respon spektra.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Hermawan dan Indarto (2017) tentang Mekanisme Kebijakan Standar Ketahanan Gempa Baru pada Bangunan untuk simulasi model struktur didapatkan hasil bahwa aturan gempa baru dan aturan gempa lama beban relatif meningkat dua kali lipat, sehingga pada beberapa elemen struktur harus dilakukan perhitungan ulang agar dapat mengimbangi kapasitasnya. Kemudian hasil dari diskusi dengan praktisi gedung yang telah berpraktek pada bidangnya menunjukkan bahwa berhasilnya penerapan aturan gedung tahan gempa baru dapat dipengaruhi oleh mekanisme komunikasi dan pengalaman kontraktor yang mumpuni pada proses pengerjaan konstruksi di lokasi. Komunikasi yang terjadi antara pemilik proyek, kontraktor, *supervisor*, dan tim manajemen konstruksi adalah bentuk mekanisme yang utuh.

Hal ini diperkuat dalam penelitian yang dilakukan oleh Agus dan Maidiawati (2016) bahwa penggunaan dinding bata dapat juga meningkatkan kapasitas seismik sebuah bangunan secara pesat, penelitian ini dilakukan dengan model strut diagonal ekuivalen dengan dinding bata dianggap dalam fungsi lebar strut diagonal.

Dalam penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh Maidiawati dkk. (2017) dilakukan tes yang sama yaitu pengujian pengaruh dinding bata sebagai pengisi memiliki kapasitas untuk meningkatkan kekuatan lateral dan kapasitas seismiknya namun kali ini digunakan 3 sampel yaitu sampel pertama dinding bata tanpa bukaan, kedua dengan bukaan 20% dan ,yang ketiga dengan bukaan 40%. Hasil didapatkan berupa bukaan seluas 25% meningkatkan kekuatan lateral sebesar 47%, sedangkan bukaan sebesar 40% meningkatkan kekuatan lateral sebesar 25%. Dapat disimpulkan bahwa semakin kecil bukaan semakin besar peran dinding terhadap kekuatan lateral struktur beton bertulang.

Dan pada penelitian Selanjutnya yang dilakukan oleh Budiawati dan Sukawara (2016) Kinerja Struktur Rangka Beton Bertulang dengan penambahan dinding pengisi berlubang

sebagai perkuatan seismik di dapatkan hasil bahwa pada analisis menggunakan metode *pushover* penggunaan dinding pengisi meningkatkan kekuatan struktur dalam mengampu gaya geser yang dihasilkan oleh gempa. Namun terdapat efek samping pengurangan daktilitas yang diakibatkan oleh menurunnya rasio lubang.

Namun pada penelitian yang dilakukan oleh Iranata dkk. (2012) studi pengaruh kekuatan dan kekakuan dinding bata pada bangunan bertingkat didapatkan bahwa dinding bata dapat mengganggu kinerja struktur untuk berdeformasi, maka semakin tinggi lantai semakin besar akibat yang dirasakan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Agustino dkk. (2000) Tinjauan terhadap pembatasan dimensi tembok pengisi yang merasakan beban muka efek gempa didapatkan bahwa tebal efektif tembok pengisi adalah parameter vital perencanaan tembok sebagai pengampu beban muka.

Pada penelitian yang dilakukan Haryanto dkk. (2015) evaluasi kinerja gedung kondisi gempa tanah keras di wilayah banyumas berdasarkan beban gempa SNI 03 -1726-2012 dan SNI 03- 1726- 2002 didapatkan bahwa terjadi kenaikan *base shear* 1,48%, *displacement* yang terjadi mengalami peningkatan sebesar 19,61%, sedangkan daktilitas mengalami penurunan sebesar 43,14%, namun kerja model bangunan tidak mengalami perubahan yang signifikan yaitu tetap pada level aman.

Penelitian selanjutnya dilakukan Nugroho dkk. (2007) penelitian gedung sekolah tahan gempa rangka bangunan yang terdiri dari kolom, balok sloof dan balok ringbalk, dan balok induk, semuanya terbuat dari beton bertulang yang saling berhubungan sehingga membentuk ruang. Konstruksi ruang ini mempunyai momen inersia yang besar sehingga lebih kuat menerima momen guling efek adanya gaya horisontal yang diakibatkan gempa.

Penelitian yang dilakukan oleh Indarto dkk. (2017) Evaluasi Desain Struktur Gedung Training Centre II Universitas Diponegoro. Evaluasi desain struktur gedung ini dilaksanakan melalui reka ulang yang berdasar dengan peraturan yang berlaku sekarang ini ialah peraturan SNI 1726 – 2012 mengenai

beban gempa, SNI 1727 – 2013 mengenai pembebanan untuk gedung dan bangunan lain dan 2847 – 2013 mengenai persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Berdasarkan analisis gempa struktur itu masuk dalam Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan menghasilkan kelebihan desain pada desain sebelumnya yang didesain oleh Konsultan Perencana, perbedaan ini terjadi pada struktur kolom dan fondasi, sedangkan untuk beberapa elemen struktur seperti pelat pada suatu ruangan tertentu dan tulangan torsi balok desain asli tidak dapat memenuhi standar yang ada.

Definisi Bangunan Sekolah Tahan Gempa

Bangunan sekolah tahan gempa adalah struktur sekolah yang mampu mengampu energi gempa yang terjadi, terhadap kombinasi gaya dalam bangunan. Jika gempa dalam skala tinggi, struktur sekolah memiliki jeda dimana murid yang berada di dalam ruangan mempunyai waktu untuk keluar ruangan sebelum terjadi kegagalan struktur atau meminimalisir terjadinya kerusakan bangunan Pedoman Teknis Bangunan Sekolah Tahan Gempa (2010).

Upaya untuk meminimalisir kerusakan struktur sekolah dan resiko jatuhnya korban jiwa yang ada akibat gempa, secara bertahap bisa dilaksanakan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mengharuskan standar desain bangunan tahan gempa untuk bangunan sekolah yang akan dibangun.
2. Melakukan perkuatan, perbaikan dan peningkatan mutu material bangunan khususnya pada bangunan sekolah yang komponen strukturnya.

Tingkat Keamanan Struktur Bangunan Sekolah Tahan Gempa

Tingkat *safety* bangunan yang terjadi pada sekolah harus setara dengan bangunan gedung dalam kategori bangunan tahan gempa, yaitu sebagai berikut:

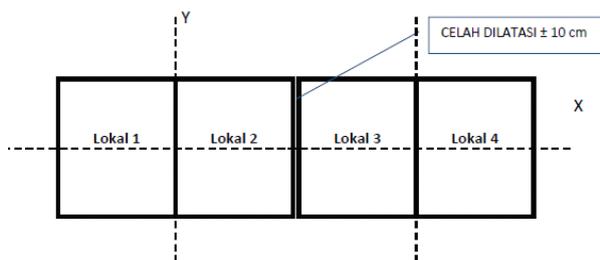
1. Bila terkena gempa bumi pada tingkat rendah, bangunan sekolah tidak terjadi kerusakan sama sekali.
2. Bila terkena gempa bumi pada tingkat menengah, bangunan sekolah tersebut boleh rusak pada bagian non-struktural

- (dinding, plafon, penutup atap, dll.) tapi tidak ada kerusakan dalam struktur utama.
3. Bila terkena gempa bumi pada tingkat tinggi, bangunan sekolah tersebut dapat mengalami tiga kondisi:
 - Bangunan sekolah tidak terjadi kegagalan sebagian maupun seluruhnya.
 - Bangunan sekolah tidak boleh terjadi kerusakan yang tidak dapat diperbaiki.
 - Bangunan sekolah boleh terjadi kerusakan, tapi kerusakan yang terjadi dapat diperbaiki dengan sehingga dapat digunakan kembali.

Ketentuan Perencanaan Bangunan Sekolah Tahan Gempa

Rencana Struktur sekolah tahan gempa memiliki maksud untuk memanfaatkan potensi gaya inersia struktur supaya bisa mengimbangi gaya gempa yang terjadi pada struktur, untuk itu perlu memenuhi aturan dasar perencanaan bangunan sekolah tahan gempa yang mana gaya gempa yang terjadi harus bisa ditahan momen inersia yang terdapat dalam struktur tersebut, yaitu:

1. Denah Struktur harus sederhana dan simetris.
2. Tata letak bangunan sekolah sederhana dan simetris terhadap kedua sumbu bangunan dan tidak terlalu panjang. Perbandingan panjang dengan lebar bangunan 2:1 Sebagaimana di ilustrasikan pada gambar 2.2.



Gambar 1. Tata letak bangunan yang simetris dengan perbandingan P:L =2:1

2. Metode Penelitian

Pembuatan tugas akhir ini dikerjakan dengan tahap-tahap pada *flowchart* sebagaimana ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 2. *Flowchart* penelitian

Peraturan-Peraturan

Peraturan yang digunakan dalam penelitian sekolah tahan gempa ini adalah:

1. SNI 1726:2012 Tentang Tata Caa Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
2. SNI 1727:2013 Peraturan Pembebanan Untuk Gedung dan Bangunan Lain.
3. SNI 2847:2013 Tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung
4. Pedoman Teknis Bangunan Sekolah Tahan Gempa Dirjen Pendidikan Menengah Kementrian Pendidikan Nasional.
5. PPURG 1983 Tentang Peraturan pembebanan Indonesia Untuk Gedung

Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dipakai sebagai dasar dalam tugas akhir ini berupa data sekunder yaitu:

1. Desain Bangunan		$=2,01 \times (16/111,51)^{2/7}$
Data ini didapatkan dari hasil survey akan bentuk geometri sekolah dengan tiga lantai dan dua lantai pada umumnya dengan tidak menyalahi acuan atau kaidah yang didapat dari buku panduan sekolah tahan gempa		$=1,15$
2. Mutu Beton dan Pemodelan	Kh	$=2,01 \times (10/111,51)^{2/7}$
Data ini berdasarkan hasil analisis dengan cara <i>trial</i> dan <i>error</i> pada bangunan struktur yang telah dimodelkan dan telah mencapai skala aman berdasarkan peraturan pembebanan dan gempa yang berlaku.	Qz	$=0,613 \times kz \times kzt \times kd \times v^2$ $=0,613 \times 1,15 \times 1 \times 0,85 \times 5,562^2$ $=18,523 \text{ N/m}^2$
	Qh	$=0,613 \times kh \times kzt \times kd \times v^2$ $=0,613 \times 1,00 \times 1 \times 0,85 \times 5,562^2$ $=16,25 \text{ N/m}^2$
	Atap	
	Datang	Pergi
	$Qh \times G \times CP$	$Qh \times G \times CP$
	$=16,25 \times 0,85 \times \pm(0,2)$	$=16,25 \times 0,85 \times (0,6)$
	$=\pm 2,7625$	$=-8,28$

Pengolahan Data

Tahap-Tahap pengolahan data dalam tugas akhir ini adalah:

- Memodelkan portal dan struktur atap pada *software* SAP2000 v18.0.0 sebagai *frame* awal untuk langkah selanjutnya.
- Mengkalkulasi semua jenis beban yang ada diantaranya adalah mati, hidup, angin, hujan, dan gempa.
- Memasukan kombinasi beban yang akan bekerja pada gedung Sekolah tersebut.
- Menentukan jenis material yang akan digunakan yaitu *concrete* dan *steel dan rebar*.
- Menggambar ukuran balok, kolom, dan plat yang akan digunakan.
- Memasukan data gempa berupa Respon Spektrum pada daerah penelitian yaitu Kabupaten Sleman.
- Menganalisis hasil dari program SAP2000 dan mengecek keamanan pada tiap komponen struktur nya secara manual.

3. Hasil dan Pembahasan

Pembebanan Atap

Beban angin

Kategori 2

V	Kecepatan angin $=20 \text{ km/jam}$
Kd	Faktor arah angin $=0,85$
Kzt	Faktor topografi $=1$
G	Faktor efek tiupan angin $=0,85$
kz	$=2,01 \times (z/zg)^{2/\alpha}$

Beban Mati

Kemiringan kuda-kuda	: 30°
Berat genteng (PPURG 1987)	: 50 kg/m^2
Berat plafond (PPURG 1987)	: 18 kg/m^2
Beban hidup (PPURG 1987)	: 100 kg/m^2
Panjang rangka kuda-kuda	
Panjang batang a	$= \tan 30^\circ \times 3,5$ $= 2,02 \text{ m}$
Panjang batang b	$= \sqrt{3,5^2 + 2,02^2}$ $= 4,03 \text{ m}$
Panjang batang c	$= \tan 30^\circ \times 7$ $= 4,04 \text{ m}$
Panjang batang d	$= \sqrt{7^2 + 4,04^2}$ $= 8,06 \text{ m}$
Panjang batang e	$= \sqrt{1^2 + 0,5^2}$ $= 1,118 \text{ m}$

Beban mati penutup atap

$$P_1 = \text{Berat genteng} \times \left(\frac{1}{2} L + t \right)$$

$$= 50 \text{ kg/m}^2 \times \left(\frac{1}{2} \times 4 + 1,118 \right) \text{ m}$$

$$= 50 \text{ kg/m}^2 \times 3,118 \text{ m}$$

$$= 155,9 \text{ Kg/m}$$

$$P_2 = \text{Berat genteng} \times \left(\frac{1}{2} L + \frac{1}{2} L \right)$$

$$= 50 \text{ kg/m}^2 \times \left(\frac{1}{2} \times 4 + \frac{1}{2} \times 4 \right) \text{ m}$$

$$= 50 \text{ kg/m}^2 \times 4 \text{ m}$$

$$= 200 \text{ kg/m}$$

Beban plafond

$$P_1 = \text{Berat plafond} \times \frac{1}{2} a \times \frac{1}{2} b$$

$$= 18 \text{ kg/m}^2 \times \frac{1}{2} \times 5 \text{ m} \times \frac{1}{2} \times 2 \text{ m}$$

$$= 45 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 P_2 &= \text{Berat plafond} \times \frac{1}{2} a \times \left(\frac{1}{2} b + \frac{1}{2} b\right) \\
 &= 18 \text{ kg/m}^2 \times \frac{1}{2} 5 \text{ m} \times \left(\frac{1}{2} 2 + \frac{1}{2} 6\right) \text{ m} \\
 &= 180 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_3 &= \text{Berat plafond} \times \frac{1}{2} a \times \left(\frac{1}{2} b + \frac{1}{2} b\right) \\
 &= 18 \text{ kg/m}^2 \times \frac{1}{2} 5 \text{ m} \times \left(\frac{1}{2} 6 + \frac{1}{2} 6\right) \text{ m} \\
 &= 270 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_4 &= \text{Berat plafond} \times \frac{1}{2} a \times \frac{1}{2} b \\
 &= 18 \text{ kg/m}^2 \times \frac{1}{2} 5 \text{ m} \times \frac{1}{2} 6 \text{ m} \\
 &= 135 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_5 &= \text{Berat plafond} \times \left(\frac{1}{2} a + \frac{1}{2} a\right) \times \frac{1}{2} b \\
 &= 18 \text{ kg/m}^2 \times \left(\frac{1}{2} 5 + \frac{1}{2} 5\right) \text{ m} \times \frac{1}{2} 2 \text{ m} \\
 &= 90 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_6 &= \text{Berat plafond} \times \left(\frac{1}{2} a + \frac{1}{2} a\right) \times \left(\frac{1}{2} b + \frac{1}{2} b\right) \\
 &= 18 \text{ kg/m}^2 \times \left(\frac{1}{2} 5 + \frac{1}{2} 5\right) \text{ m} \times \left(\frac{1}{2} 2 + \frac{1}{2} 6\right) \\
 &= 360 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_7 &= \text{Berat plafond} \times \left(\frac{1}{2} a + \frac{1}{2} a\right) \times \left(\frac{1}{2} b + \frac{1}{2} b\right) \\
 &= 18 \text{ kg/m}^2 \times \left(\frac{1}{2} 5 + \frac{1}{2} 5\right) \text{ m} \times \left(\frac{1}{2} 6 + \frac{1}{2} 6\right) \\
 &= 540 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_8 &= \text{Berat plafond} \times \left(\frac{1}{2} a + \frac{1}{2} a\right) \times \frac{1}{2} b \\
 &= 18 \text{ kg/m}^2 \times \left(\frac{1}{2} 5 + \frac{1}{2} 5\right) \text{ m} \times \frac{1}{2} 6 \text{ m} \\
 &= 270 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_9 &= \text{Berat plafond} \times \left(\frac{1}{2} a + \frac{1}{2} a\right) \times \frac{1}{2} b \\
 &= 18 \text{ kg/m}^2 \times \left(\frac{1}{2} 5 + \frac{1}{2} 4\right) \text{ m} \times \frac{1}{2} 2 \text{ m} \\
 &= 81 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{10} &= \text{Berat plafond} \times \left(\frac{1}{2} a + \frac{1}{2} a\right) \times \left(\frac{1}{2} b + \frac{1}{2} b\right) \\
 &= 18 \text{ kg/m}^2 \times \left(\frac{1}{2} 5 + \frac{1}{2} 4\right) \text{ m} \times \left(\frac{1}{2} 2 + \frac{1}{2} 6\right) \\
 &= 324 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{11} &= \text{Berat plafond} \times \left(\frac{1}{2} a + \frac{1}{2} a\right) \times \left(\frac{1}{2} b + \frac{1}{2} b\right) \\
 &= 18 \text{ kg/m}^2 \times \left(\frac{1}{2} 5 + \frac{1}{2} 4\right) \text{ m} \times \left(\frac{1}{2} 6 + \frac{1}{2} 6\right) \\
 &= 486 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{12} &= \text{Berat plafond} \times \left(\frac{1}{2} a + \frac{1}{2} a\right) \times \left(\frac{1}{2} b + \frac{1}{2} b\right) \\
 &= 18 \text{ kg/m}^2 \times \left(\frac{1}{2} 5 + \frac{1}{2} 4\right) \text{ m} \times \frac{1}{2} 6 \text{ m} \\
 &= 243 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Beban hujan

$$\begin{aligned}
 P_1 &= (40 - 0,8 \alpha) \times \left(\frac{1}{2} L + t\right) \\
 &= (40 - 0,8 (30)) \times \left(\frac{1}{2} \times 4 + 1,118\right) \\
 &= 16 \times 3,118 \\
 &= 49,89 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$P_2 = (40 - 0,8 \alpha) \times \left(\frac{1}{2} L + \frac{1}{2} L\right)$$

$$\begin{aligned}
 &= (40 - 0,8 (30)) \times \left(\frac{1}{2} \times 4 + \frac{1}{2} \times 4\right) \\
 &= 16 \times 4 \\
 &= 64 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Pembebanan Balok

Pasangan ½ bata = 250 kg/m² (PPURG 1983)

Ukuran B.sloof = 0,40 m x 0,40

Tinggi bersih B.sloof ke B.induk = 4 - 0,4 = 3,6 m

Beban B.sloof = 3,6 x 250 = 900 kg/m

Ukuran B.Induk = 0,45 x 0,4

Tinggi bersih B.induk ke B.ring = 4 - 0,4 = 3,6

Balok induk = 3,6 x 250 = 900 kg/m

Dinding

Datang	Pergi
Qz x G x CP	Qh x G x CP
= 18,523 x 0,85 x 0,8	= 16,25 x 0,85 x (-0,3)
= 12,595	= -4,1437

Beban Gempa

Kondisi Seismik Lokasi

Lokasi yang di analisis beban gempa pada penelitian ini adalah daerah Kabupaten Sleman Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan berdasarkan asumsi bahwa tanah pada kondisi tanah sedang.

Pada SNI 1726:2012 bangunan sekolah termasuk dalam kategori resiko IV dengan faktor keutamaan gempa (*I_e*) 1,50.

Respon Spektrum Desain

Perhitungan kurva respon spektrum gempa berdasarkan SNI 03-1726-2012 untuk daerah Sleman:

1. dari hasil penyelidikan geoteknik didapatkan kelas situs daerah Sleman yaitu tanah sedang (SC),
2. nilai parameter percepatan batuan dasar pada periode pendek 0.2 detik (*S_s*) sebesar 0.923 gr,
3. nilai parameter percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (*S₁*) sebesar 0.362 gr,
4. menentukan data faktor amplifikasi percepatan pada periode pendek 0.2 detik (*F_a*) dan percepatan periode 1 detik (*F_v*).

$$S_s = \frac{0.923-0.75}{1-0.923} = \frac{Fa-1.1}{1-Fa}$$

$$0.173 - 0.173 Fa = 0.077 Fa - 0.0847$$

$$0.173 + 0.0847 = 0.077 Fa + 0.173 Fa$$

$$0.2577 = 0.25 Fa$$

$$Fa = 1.031$$

$$S_1 = \frac{0.362-0.3}{0.4-0.362} = \frac{Fv-1.5}{1.4-Fv}$$

$$0.0868 - 0.062 Fv = 0.038 Fv - 0.057$$

$$0.0868 + 0.057 = 0.038 Fv + 0.062 Fv$$

$$0.1438 = 0.1 Fv$$

$$Fv = 1.438$$

5. menghitung nilai parameter spektrum percepatan pada periode 0.2 detik (S_{ms}) dan nilai parameter respon spektrum percepatan pada periode 1 detik (S_{m1}).

$$S_{ms} = Fa \times S_s$$

$$= 1.031 \times 0.923$$

$$= 0.951$$

$$S_{m1} = Fv \times S_1$$

$$= 1.438 \times 0.362$$

$$= 0.520$$

6. menghitung parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek 0.2 detik (S_{DS}) dan pada periode 1 detik (S_{D1}).

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{ms}$$

$$= \frac{2}{3} \times 0.951$$

$$= 0.634$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{m1}$$

$$= \frac{2}{3} \times 0.520$$

$$= 0.347$$

7. menghitung nilai periode getar struktur T_o dan T_s .

$$T_o = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$= 0.2 \times \frac{0.347}{0.634}$$

$$= 0.109$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$= \frac{0.347}{0.634}$$

$$= 0.547$$

8. untuk menghitung nilai spektrum respon desain (S_a), dapat dihitung dengan tiga kondisi:

- a. Untuk periode yang lebih kecil dari T_o ($0 \leq T \leq T_o$)

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_o} \right)$$

$$= 0.634 \left(0.4 + 0.6 \frac{0}{0.109} \right)$$

$$= 0.254$$

Tabel 1. Nilai spektrum respon desain (S_a) untuk periode yang lebih kecil dari T_o ($0 \leq T \leq T_o$)

t (detik)	S_a
0.00	0.254
0.01	0.288
0.02	0.323
0.03	0.358
0.04	0.393
0.05	0.428
0.06	0.463
0.07	0.498
0.08	0.533
0.09	0.568
0.10	0.603

Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_o dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s ($T_o \leq T \leq T_s$).

$$S_a = S_{DS}$$

$$= 0.634$$

Tabel 2. Nilai spektrum respon desain (S_a) untuk periode yang lebih besar atau sama dengan T_o dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s ($T_o \leq T \leq T_s$)

t (detik)	S_a
0.11	0.634
0.14	0.634
0.17	0.634

Untuk periode lebih besar dari T_s ($T_o \geq T_s$).

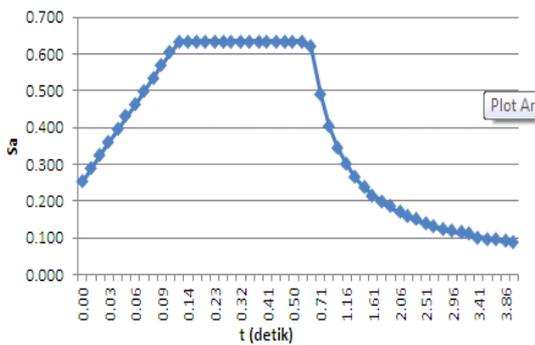
$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

$$= \frac{0.347}{0.53}$$

$$= 0.655$$

Tabel 3. Periode ($T_o \geq T_s$)

t (detik)	S_a
0.56	0.620
0.71	0.489
0.86	0.403
1.01	0.344
1.16	0.299
1.31	0.265
1.46	0.238
1.61	0.216
1.76	0.197
1.91	0.182
2.06	0.168
2.21	0.157
2.36	0.147
2.51	0.138



Gambar 3. Respon spektrum

Beban Plat

Plat Lantai:

(beban mati)

Beban Keramik =24kg/m²

(PPURG 1983)

Spasi (2cm) =0,02x2100kg/m³

Urugan Pasir (5cm) =0,05 x 1600kg

Total = 146kg/m²

Beban Hidup

QL =300kg/m

Analisis

Kolom

Desain kolom induk:

Lebar (b) =300mm

Tinggi(h) =300mm

Fy Baja =240Mpa

Modulus Elastisitas =200.000Mpa

Diameter Tulangan =16mm

Selimut Beton =40mm

Φ Faktor Reduksi =0,65

Fc' Beton =18

D Sengkang =10mm

Berikut ini adalah hasil dari perhitungan analisis enam kondisi yang terdapat pada kolom:

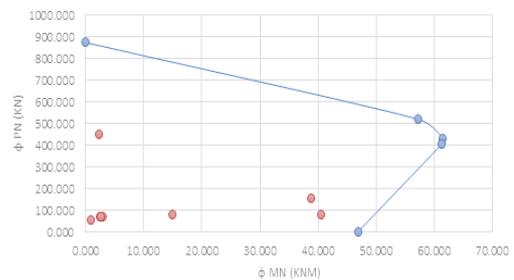
Tabel 4. Hasil kekuatan kolom

No	Keadaan	φ Pn (kN)	φ Mn (kNm)	E
1	Sentris	1091.926	0	0
2	Ek. Kecil	873.541	0	0
3	Patah Desak	506.189	75.928	150
4	Seimbang	428.364	61.487	
5	Patah Tarik	409.104	61.366	150
6	Momen Murni	0	46.842	

Tabel 5. Hasil reaksi kolom

No	Item	P (kN)	M2(kN.m)
1	P terbesar	57.879	0.971
2	P terkecil	450.500	2.315
3	V2 terbesar	64.500	2.494
4	V2 terkecil	77.256	14.940
5	M2 terbesar	151.700	38.780
6	M2 terkecil	81.160	40.600
7	M3 terbesar	64.440	2.930
8	M3 terkecil	64.500	2.690

Berikut ini adalah hasil dari kekuatan kolom dan gaya dalam yang bereaksi di dalamnya bisa ditunjukkan pada gambar 4. Bahwa kolom dalam area aman.



Gambar 4. Diagram Interaksi Kolom

Balok

Berdasarkan hitungan momen positif dan negatif didapatkan ukuran tiap balok seperti dibawah ini:

Tabel 6. Hasil running balok

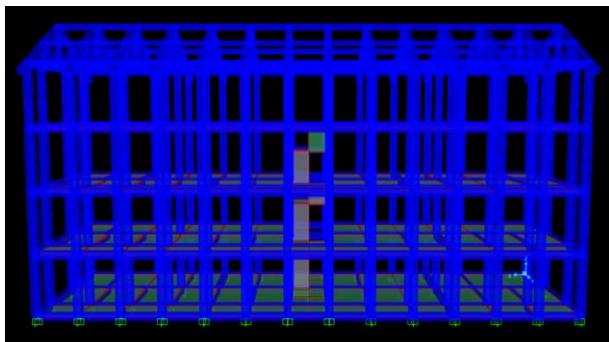
Hasil Running Balok	
Balok Induk 300x350	
Mu+ (KNm)	44,170
Mu- (KNm)	72,180
Vu(KNm)	55,110
Tulangan Momen positif	6D16
Tulangan Momen Negatif	10D16
Tulangan Geser	2P10-100
Balok Sloof 300x 350	
Mu+ (KNm)	44,450
Mu- (KNm)	72,570
Vu (KNm)	64,020
Tulangan Momen Positif	6D16
Tulangan Momen Negatif	10D16
Tulangan Geser	2P10-100
Balok Ringbalk 250 x 250	
Mu+ (KNm)	19,680
Mu- (KNm)	14,210
Vu(KNm)	33,910
Tulangan Momen positif	6D14
Tulangan Momen Negatif	14D14
Tulangan Geser	2P10-50

Tabel 6. Lanjutan

Balok Miring 200 x 200	
Mu+ (KNm)	7,050
Mu- (KNm)	4,920
Vu(KNm)	3,130
Tulangan Momen positif	6D10
Tulangan Momen Negatif	4D10
Tulangan Geser	2P10-50
Balok Gording 200 x 250	
Mu+ (KNm)	9,380
Mu- (KNm)	15,770
Vu(KNm)	28,360
Tulangan Momen positif	4D10
Tulangan Momen Negatif	9D10
Tulangan Geser	2P10-50

Gedung Sekolah

Berdasarkan pemodelan struktur dari aturan sekolah tahan gempa dihasilkan model yang masuk dalam kategori aman dan efisien, dan juga terdapat beberapa struktur utama sebagai penyokong utama terhadap kombinasi gaya yang terjadi di dalam bangunan itu seperti kolom, balok sloof, balok induk dan balok ringbalk terlihat pada gambar yang telah dimodelkan dalam *software* SAP2000.



Gambar 5. Pemodelan Bangunan Sekolah

Mengacu pada Pedoman Teknis Bangunan Sekolah Tahan Gempa (2010), terdapat beberapa syarat desain denah yaitu:

1. Tata letak bangunan sederhana dan simetris.
2. Pembagian beban dan berat yang terjadi pada bangunan tersebut harus merata tidak terjadi eksentrisitas dan penumpukan beban pada tiap sisi.
3. Tinggi bangunan tidak lebih dari empat kali lebar bangunan.
4. Struktur bangunan dalam keadaan monolit yaitu sama dengan maksud menghindari kinerja struktur yang berbeda beda pada saat terjadi gaya gempa



Gambar 6. Denah Bangunan Sekolah

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Didapatkan bahwa penggunaan material beton sebagai penyusun kuda kuda masih bisa digunakan mengingat hasil analisis kolom balok dan plat masih dalam ukuran aman dan efisien mengingat beratnya struktur kuda kuda.
2. Bahwa struktur yang monolit setelah dimasukan berbagai beban sesuai aturan mampu menahan gaya yang dihasilkan struktur.
3. Pemodelan struktur atap kuda kuda beton menyatu dengan struktur portal pada SAP2000 V.18.0.0 dapat dilakukan dan menghasilkan gaya dalam yang langsung bisa diakses setelah *dirunning*.

5. Daftar Pustaka

- Agus dan Maidiawati, 2016, Metode Evaluasi Kapasitas Seismik Gedung Beton Bertulang Eksisting dengan Aplikasi Model Dinding Bata, *Jurnal Teknik Sipil*, 23 (1), 19-30.
- Agustino, T., Andriano, T., dan Kusuma, G. H., 2000, Tinjauan Terhadap Pembatasan Dimensi Tembok Pengisi yang Menerima Beban Muka Akibat Gempa, *Dimensi Teknik Sipil*, 2 (1), 1-8.
- Badan Standardisasi Nasional, 2012, SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional, 2013, SNI 1727- 2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, Jakarta.

- Badan Standardisasi Nasional, 2013, SNI 2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, Jakarta.
- Bayyinah, D. A. L. N., dan Faimun, 2017, Studi Perbandingan analisis respon spektra dan *time history* untuk desain gedung, *Jurnal Teknik Sipil*, 6 (1), 33-38.
- Budiwati, I. A. M., dan Sukrawa, M., 2017, Kinerja Struktur Rangka Beton Bertulang dengan Penambahan Dinding Pengisis Berlubang Sebagai Perkuatan Seismik, *Jurnal Teknik Sipil*, 24 (1), 43-50.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1987, Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung, Jakarta.
- Dirjen Pendidikan Menengah Kementrian Pendidikan Nasional, 2010, Pedoman Teknis Bangunan Sekolah Tahan Gempa, Jakarta.
- Haryanto, Y., Gunawan, N., dan Sudibyoy, G. H., 2015, Kinerja Model Struktur Gedung Lima Lantai Pada Kondisi Tanah Keras Di Wilayah Banyumas Akibat Beban Gempa SNI 03-1726-2002 Dan SNI 03-1726-2012, *Dinamika Rekayasa*, 11 (2), 80-84.
- Hermawan, F., dan Indarto, H., 2017, Mekanisme Ketahanan Gempa Baru Pada Bangunan, *Jurnal Teknik Sipil*, 38 (2), 103-112.
- Indarto, H., dan Kadir, J. I., 2017, Evaluasi Desain Struktur Gedung Training Centre II Universitas Diponegoro, *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6 (1), 428-437.
- Iranata, D., Kristijanto, H., dan Laksono, R. S., 2012, Studi Pengaruh Kekuatan dan Kekakuan Dinding Bata Pada Bangunan Bertingkat, *Jurnal Teknik*, 1 (1), 30-33.
- Maidiawati, Mediosa, H., dan Tanjung, J., 2017, Pengaruh Dinding Bata dengan Bukaannya terhadap ketahanan Lateral Struktur Rangka Beton Bertulang, *Jurnal Teknik Sipil*, 24 (2), 145-150.
- Maidiawati, dan Tanjung, J., 2016, Studi Eksperimental tentang Pengaruh Dinding Bata Merah Terhadap Ketahanan Lateral Struktur Beton Bertulang, *Jurnal Teknik Sipil*, 23 (2), 99-106.
- Nugroho, M. S. P., Setiawan, B., dan Widodo, S., 2007, Perancangan Gedung Sekolah Tahan Gempa Di Cabang Muhammadiyah Klaten, *Warta*, 10 (1), 53-61.