

No	Tanggal	Keterangan
1	13 Sept 2023	Korespondensi pengiriman artikel
2	16 Otober 2023	Perbaikan artikel
3	19 Nov 2023	Naskah dapat diterima untuk diterbitkan
4	30 Nov 2023	Naskah Terbit




BLS: [servirisma] Editor Decision

From Anang Kristianto <anang.kristianto@eng.maranatha.edu>

Date Thu 16/11/2023 20:51

To Dewi Isma Aryani <servirisma@staff.ukdw.ac.id>

 1 attachment (7 MB)

servirisma-review-assignment-56-Article+Text-384+baru+051123_revisi_1.docx;

Dear Editor,

Berikut revisi jurnal sesuai dengan review yang telah diberikan. Terima kasih.

Salam,
Anang K

Dikirim dari [Email](#) untuk Windows

Dari: [Dewi Isma Aryani](#)

Dikirim: Thursday, 09 November 2023 6:11

Kepada: [Anang Kristianto](#)

Subjek: [servirisma] Editor Decision

Anang Kristianto:

We have reached a decision regarding your submission to Servirisma, "INVESTIGASI DAN MITIGASI STRUKTUR BANGUNAN SEKOLAH AKIBAT GEMPA BUMI CIANJUR".

Our decision is: Revisions Required

[SERVIRISMA](#) (Jurnal Pengabdian Masyarakat)
Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM)
Universitas Kristen Duta Wacana Yogyakarta
p-ISSN: 2809-1442
e-ISSN: 2829-4645



Outlook

[servirisma]

From Theresia Ferdian Septiani <servirisma@staff.ukdw.ac.id>**Date** Mon 13/11/2023 14:43**To** Anang Kristianto <anang.kristianto@eng.maranatha.edu>

Yth. Anang Kristianto

Mohon untuk segera mengirimkan hasil revisi artikel ke Servirisma paling lambat Jumat, 17 November 2023.

Demikian pemberitahuan dari kami. Atas perhatian dan kerja samanya diucapkan terima kasih.

Salam,

[SERVIRISMA](#) (Jurnal Pengabdian Masyarakat)

Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM)

Universitas Kristen Duta Wacana Yogyakarta

p-ISSN: 2809-1442

e-ISSN: 2829-4645

INVESTIGASI DAN MITIGASI STRUKTUR BANGUNAN SEKOLAH AKIBAT GEMPA BUMI CIANJUR

Abstrak

Gempa bumi merupakan bencana alam yang tidak terduga dan dapat menyebabkan kerusakan parah pada bangunan, terutama yang tidak memenuhi standar. Pembangunan gedung sarana pendidikan dalam hal ini gedung sekolah di wilayah Indonesia yang terletak di daerah rawan gempa perlu mendapat perhatian khusus. Gempa Cianjur yang terjadi pada tahun 2022 mengakibatkan kerusakan pada beberapa gedung sekolah di wilayah terdampak. Kegiatan Pengabdian Masyarakat pada artikel ini menginvestigasi 9 gedung SMP dan 5 gedung SD di wilayah Kabupaten Cianjur yang mengalami kerusakan ringan sampai berat sehingga harus segera diperbaiki atau diperkuat. Pengabdian masyarakat bekerjasama dengan instansi pendidikan dan personel sekolah pemerintah daerah Cianjur yang terkena dampak gempa. Hasil pemeriksaan visual terhadap gedung sekolah tersebut menunjukkan kerusakan dengan tingkat sedang hingga parah dan memerlukan tindakan segera, mengingat Cianjur memiliki risiko gempa yang tinggi. Perbaikan dan perkuatan dapat dilakukan sesuai dengan tingkat kerusakannya, mulai dari penambahan kolom baru untuk balok yang mengalami defleksi berlebihan akibat dimensi yang tidak memenuhi syarat atau penambahan tulangan dengan menggunakan FRP (Fiber Reinforced Polymer). Untuk kolom yang dimensinya tidak memenuhi persyaratan, dapat dilakukan penambahan dimensi (pelapis beton) meskipun tidak terjadi kerusakan berarti secara visual selama penyelidikan.

Kata kunci: gempa bumi, investigasi, mitigasi, perbaikan, perkuatan

Abstract

Earthquakes are unexpected natural disasters that can cause severe damage to buildings, especially those not compliant with standards. The construction building of educational facilities, in this case, school buildings in Indonesian territory located in earthquake-prone areas, needs special attention. The Cianjur earthquake that occurred in 2022 resulted in damage to several school buildings in the affected area. The Community Service activities in this article investigate 9 Junior High School buildings and 5 Elementary School buildings in the Cianjur Regency area that experienced minor to severe damage that must be immediately repaired or strengthened. Community service in cooperation with the Cianjur regional government's educational institutions and school personnel that were impacted by the earthquake. The results of the visual investigation of the school building show damage from moderate to severe levels and require immediate action, considering that Cianjur has a high earthquake risk. Repairs and strengthening can be carried out according to the damage level, starting from adding new columns for beams that experience excessive deflection due to dimensions that do not meet the requirements or adding reinforcement using FRP (Fiber Reinforced Polymer). For columns with dimensions that do not meet the requirements, dimensions can be added (concrete jacketing) even if there is no significant damage visually during the investigation.

Keywords: earthquake, investigation, mitigation, repairing, strengthening.

Pendahuluan

Gempa bumi merupakan bencana alam yang tak terduga yang dapat menyebabkan kerusakan serius pada bangunan, terutama pada gedung-gedung yang tidak dibangun mengikuti standar yang ditetapkan. Pembangunan sarana pendidikan dalam hal ini gedung sekolah di wilayah Indonesia yang terletak di daerah rawan gempa bumi perlu mendapat perhatian secara khusus karena keamanan dan kesejahteraan siswa dan staf sekolah harus menjadi prioritas utama dalam merencanakan dan membangun infrastruktur pendidikan. Banyaknya kerusakan yang terjadi terutama pada gedung-gedung sekolah dari kejadian gempa bumi Cianjur pada tanggal 21 November 2022 perlu menjadikan pelajaran

berharga agar ketika terjadi gempa pada masa yang akan datang bangunan-bangunan sekolah tidak mengalami kerusakan yang sama.

Dinas Pendidikan Kabupaten Cianjur membawahi Sekolah Dasar dan Sekolah Menengah Pertama memiliki tugas terkait dengan layanan pendidikan tidak mempunyai wewenang untuk memutuskan bahwa bangunan gedung layak atau tidak untuk difungsikan kembali pasca bencana gempa bumi yang telah terjadi, serta tidak punya wewenang untuk memutuskan perbaikan bangunan. Kondisi ini memerlukan pendampingan dari akademisi atau praktisi untuk melakukan investigasi dan mitigasi bencana, sehingga mitra mendapatkan dokumen rekomendasi teknis kondisi bangunan sekolah eksisting pasca bencana. Dokumen rekomendasi teknis ini berisi terkait investigasi dan mitigasi bangunan yang terdampak yang diperlukan mitra untuk tahapan selanjutnya yaitu memutuskan apakah bangunan dapat difungsikan kembali, bangunan memerlukan perbaikan non-struktural, bangunan memerlukan perbaikan struktural, atau bangunan dengan kategori kerusakan berat tidak layak fungsi dan perlu dibangun kembali.

Investigasi dan mitigasi dari gedung-gedung sekolah yang mengalami kerusakan akibat gempa perlu dilakukan karena beberapa hal berikut : (1) Melindungi nyawa dan keselamatan: Sekolah adalah tempat di mana banyak anak dan tenaga pendidik berkumpul setiap hari. Pengetahuan tentang bagaimana gempa bumi dapat mempengaruhi gedung sekolah akan membantu mengidentifikasi risiko potensial dan mengambil langkah-langkah mitigasi untuk melindungi nyawa dan keselamatan mereka. (2) Mencegah kerugian ekonomi: Kerusakan akibat gempa bumi pada gedung sekolah dapat menyebabkan kerugian finansial yang besar. Investigasi ini dapat membantu mengidentifikasi metode perbaikan atau penguatan struktur yang efektif, sehingga mengurangi biaya perbaikan akibat kerusakan gempa. (3) Menyempurnakan peraturan dan standar: Investigasi tentang dampak gempa bumi pada gedung sekolah akan memberikan data penting bagi pemerintah dan badan pengatur untuk memperbarui atau menyempurnakan peraturan dan standar bangunan yang lebih ketat. Hal ini dapat meningkatkan resiliensi bangunan dan meminimalkan risiko kerusakan akibat gempa di masa depan. (4) Meningkatkan kesadaran masyarakat: Investigasi ini juga akan meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya memperhatikan ketahanan bangunan terhadap gempa bumi. Dengan pengetahuan yang lebih baik, masyarakat dapat mendukung upaya-upaya untuk membangun gedung sekolah yang lebih aman dan tahan gempa.

Dengan memahami dampak gempa bumi terhadap gedung sekolah 2 lantai, dapat diambil langkah-langkah proaktif untuk meningkatkan ketahanan bangunan, melindungi nyawa, dan menciptakan lingkungan belajar yang aman bagi para siswa dan pendidik.

Ruang lingkup kegiatan pengabdian kepada masyarakat sebagai berikut: Gedung sekolah yang menjadi tugas kegiatan investigasi adalah 9 (sembilan) gedung Sekolah Menengah Pertama dan 5 (lima) gedung Sekolah Dasar di wilayah Kabupaten Cianjur. Kurun waktu kegiatan yaitu dimulai pada tanggal 1 Desember 2022 sampai dengan 20 Juni 2023 atau 6 (enam) bulan. Kegiatan mitigasi bencana meliputi pengamatan visual kerusakan pada komponen struktur balok, komponen struktur kolom, struktur atap, lantai bangunan (untuk gedung bertingkat), dan komponen non-struktural lainnya seperti dinding dan lainnya,

Gedung sekolah yang ditinjau adalah sebagai berikut: Gedung SMP Plus Assyuthiyah, Gedung SMP An Nur Hadist, Gedung SMP Pasundan 2 Cianjur, Gedung SMP Budi Luhur Cugenang, Gedung SMP N 2 Cipanas Kab. Cianjur, Gedung SMP Garnesia, Gedung SMP N 1 Cianjur, Gedung SMP 2 Mande, Gedung SD Negeri Ibu Dewi 1 Cianjur , Gedung SD Negeri Ibu Dewi 4 Cianjur, Gedung SD Negeri Ibu Jenab Cianjur , Gedung SD Negeri Pasar Suuk , Gedung SD BPK Penabur Cianjur , Gedung SMP N 1 Ciranjang

Commented [P1]: Kalimat ini terlalu Panjang dan terlalu banyak kata sambung, sehingga mengaburkan makna dari kalimat.

Commented [P2]:berisi terkait investigasi..... apa maksud kalimat ini ?? Formulasikan ulang kalimat yang sudah dibuat

Commented [P3]: Kalimat ini terlalu Panjang dan terlalu banyak kata sambung, sehingga mengaburkan makna dari kalimat.

Commented [P4]:

Commented [P5R4]: Salah ketik (Typo)

Commented [P6]: Satu paragraph terdiri leboh dari satu kalima!!

Commented [P7]: Satu paragraph terdiri leboh dari satu kalima!!!
Walaupun panjang, ini baru satu kalimat saja

Tujuan pengabdian kepada masyarakat adalah untuk menginvestigasi kerusakan struktur yang terjadi pada gedung sekolah serta membuat rencana mitigasi bencana gempa bumi untuk keselamatan peserta didik dan guru pada masa depan.

Commented [P8]: Satu paragraph terdiri leboh dari satu kalima!!!
Walaupun panjang, ini baru satu kalimat saja

Metode

Metode investigasi dan mitigasi yang dilakukan adalah sebagai berikut: Pengumpulan data primer dalam bentuk hasil investigasi secara visual terhadap elemen-elemen struktural yaitu balok, kolom, lantai, rangka atap dan elemen non struktural dari gedung sekolah yaitu dinding dan plafon. Investigasi juga dilakukan dalam bentuk wawancara terhadap pihak sekolah untuk mendapatkan informasi terkait data lain yang diperlukan seperti fungsi ruangan, umum bangunan, kondisi sebelum gempa dan kerusakan pasca gempa bumi Sedangkan data sekunder diperoleh dari Dinas Pendidikan Kabupaten Cianjur berupa daftar sekolah yang terdampak bencana gempa dan diusulkan untuk dilakukan investigasi. Data sekunder lain adalah data dari BMKG terkait percepatan gempa yang terjadi serta respon spektra berdasarkan stasiun seismograf terdekat dengan lokasi episenter.

Data yang diperoleh dari hasil investigasi secara visual dianalisis untuk mengetahui tipe kerusakan struktural maupun non struktural yang terjadi sehingga dapat memperoleh solusi perbaikannya yang tepat sesuai dengan tipe kerusakan yang terjadi. Investigasi dilakukan dengan menggunakan metoda *rapid visual screening*, berdasarkan standar FEMA P-154 mengingat saat ini belum ada aturan baku dari SNI untuk investigasi secara visual. Selain investigasi juga dilakukan mitigasi bencana dalam bentuk teknik perbaikan dan perkuatan yang dapat dilakukan sesuai dengan tingkat kerusakan yang dialami oleh bangunan,

Commented [P9]: Perlu penjelasan tentang metode rapid visual screening !!

Commented [P10]: Ini standard dari mana ?? Perlu penjelasan !!

Tindak lanjut hasil investigasi adalah memberikan pemahaman kepada pihak sekolah mengenai kerusakan yang terjadi serta menjelaskan sebab dan akibat kerusakan tersebut serta cara perbaikan kerusakan agar bangunan gedung sekolah memiliki kekuatan dan kemampuan layan sehingga dapat berfungsi dengan aman untuk kegiatan belajar mengajar.

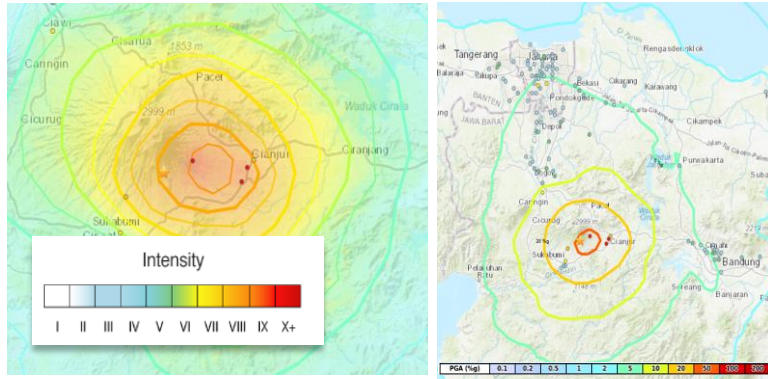
Commented [P11]: Kalimat ini terlalu Panjang dan terlalu banyak kata sambung, sehingga mengaburkan makna dari kalimat.
Selain itu ini bukan satu paragraph lengkap karena hanya satu kalimat saja.

Hasil dan Pembahasan

Sesuai informasi dari BMKG, gempa bumi Cianjur terjadi pada hari Senin, tanggal 21 November 2022, pukul 13:21:10 WIB dengan magnitudo M5,6 pada kedalaman 10 km. Lokasi pusat gempa pada koordinat 107,05 BT dan 6,84 LS, berjarak sekitar 9,65 km barat daya Kota Cianjur atau 16,8 km timur laut Kota Sukabumi. Sumber gempa diperkirakan berasal dari sesar Cimandiri, meskipun begitu pusat gempa terletak cukup jauh dari jalur patahan Cimandiri tersebut. Lokasi kerusakan berpusat disekitar area dekat episenter, dan karena sumber gempa cukup dangkal dan berada di darat maka kerusakan yang terjadi cukup besar. Gambar 1 memperlihatkan intensitas gempa dan percepatan puncak batuan dasar (PGA) pada daerah sekitar epicenter.

Commented [P12]: Terlalu banyak kata sambung 'dan' mengaburkan makna kalimat !!!

Commented [P13]: Ini singkatan dari apa ? Perlu penjelasan!!



Gambar 1. Peta Intensitas dan PGA gempa bumi Cianjur (Sumber : USGS)

A. Analisis Dampak Gempa

Analisis beban gempa didapatkan dari dua sumber, yaitu BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika) serta dari USGS (United State Geological Survey). Peta intensitas gempa berdasarkan *Modified Mercalli Intensity* (MMI) serta data percepatan tanah pada batuan dasar (PGA) didapatkan dari USGS berdasarkan peta intensitas dan PGA pada Gambar 1 dan dirangkum sesuai lokasi sekolah seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai MMI dan PGA dari lokasi yang ditinjau berdasarkan data USGS

Sekolah	MMI	PGA (g)
SMP Plus Assyuthiyah	7.5	0.4
SMP An Nur Hadist	7.5	0.35
SMP Pasundan Cianjur	7.5	0.35
SMP Budi Luhur Cugenang	8	0.45
SMP N 2 Cipanas Kab. Cianjur	7.5	0.4
SMP Garnesia	7.5	0.4
SMP N 1 Cianjur	7.5	0.35
SMP 2 Mande	7	0.2
SMP N 1 Ciranjang	6.5	0.18
SD Negeri Ibu Dewi 1 Cianjur	7.5	0.35
SD Negeri Ibu Dewi 4 Cianjur	7.5	0.35
SD Negeri Ibu Jenab Cianjur	7.5	0.35
SD Negeri Pasar Suuk	7	0.3
SD BPK Penabur Cianjur	7	0.3

Investigasi terhadap beberapa Sekolah Dasar dan SMP dilakukan memberikan gambaran kerusakan elemen struktural secara umum. Gambar 2 memberikan gambaran kerusakan elemen balok yang terjadi pada salah satu bangunan bangunan sekolah.

Commented [P14]: Ini baru informasi tentang penggunaan satuan, belum melakukan analisa. Perlu penjelasan mengenai analisa yang sudah dilakukan!!

Commented [P15]: Makna dari informasi data ini tidak jelas, sehingga perlu penjelasan lagi agar data yang diberikan bisa diketahui maknanya.



Gambar 2. Kegagalan geser pada elemen balok pada gedung SMP Garnesia dan SMP Plus Assyuthiyyah

Selain kegagalan pada elemen balok terdapat juga beberapa kegagalan pada elemen kolom seperti yang terlihat pada Gambar 3



Gambar 3. Kegagalan retak elemen kolom pada gedung SMPN 1 Cianjur

Tabel 2 memberikan ringkasan hasil pengamatan secara visual untuk sekolah yang ditinjau.

Tabel 2. Identifikasi dan klasifikasi kerusakan

Sekolah	Kondisi secara visual				
	Kolom	Balok	Rangka Atap	Dinding	Plafon
SMP Plus Assyuthiyah	Tidak ada masalah.	Retak geser, retak lentur di tengah bentang, potensi terjadi lendutan berlebih	Tidak ada masalah.	Retak, pelsteran dan acian terkelupas	Perlu perbaikan
SMP An Nur Hadist	Tidak ada masalah.	Tidak ada masalah.	Tidak ada masalah.	retak	Perlu perbaikan
SMP Pasundan Cianjur	Tidak ada masalah.	Retak lentur kecil (kurangnya tulangan longitudinal)	Tidak ada masalah.	Retak, terkelupas	Perlu perbaikan
SMP Budi Luhur	Gedung sementara tidak dapat digunakan, ada bagian lain yang roboh	Gedung sementara tidak dapat digunakan, ada bagian lain yang roboh	Ampig miring 20 cm ke depan, rangka kuda-kuda patah	Retak pada opening jendela,	Perlu diperbaiki
SMP N 2 Cipanas Kab. Cianjur	Tidak ada masalah.	Tidak ada masalah.	Sudah lapuk, mengalami kerusakan.	Kondisi plesteran dan acian kurang bagus	
SMP Garnesia	Tidak ada masalah	retak pada daerah tumpuan dan lapangan, penurunan pada pelat lantai dasar		Dinding bata mengalami keretakan	
SMP N 1 Cianjur	Tidak ada masalah.	Tidak ada masalah.		Retak berat dan ringan, plesteran tidak bagus, mengelupas	
SMP 2 Mande	Tidak ada masalah.	Tidak ada masalah.	kerusakan pada struktur rangka atap kayu yaitu reng, kaso, gording, dan kemungkinan		Plafon melendut

Commented [P16]: Data dan informasi cukup baik Akan lebih baik lagi apabila ada bukti foto yang menunjukkan masing-masing kerusakan.

Sekolah	Kondisi secara visual				
	Kolom	Balok	Rangka Atap	Dinding	Plafon
			juga kuda2 kayunya akibat dimakan rayap tanah		
SMP N 1 Ciranjang	Kolom 20/25 termasuk kecil	Balok lebih kecil dari persyaratan untuk bentang 7m	Tidak ada masalah.	Tidak ada masalah.	Tidak ada masalah.
SD Negeri Ibu Dewi 1 Cianjur	Kolom kekecilan	Balok kekecilan, lendutan pada pelat lantai atas (4 cm), blok ring atap melendut	Rangka atap baja ringannya ada lendutan	Dinding ampig miring keluar. Dinding bata mengalami keretakan, kolom praktis dan ring baloknya kurang untuk menahan gempa	rangka plafon melendut. Lis plafon lantai atas ada celah 5 cm terhadap dindingnya menandakan dindingnya miring keluar.
SD Negeri Ibu Dewi 4 Cianjur	Tidak ada masalah.	Tidak ada masalah. Untuk Lantai dasar bergelombang naik ke atas.	Rangka atap dan rangka plafon di lt 2 memakai material kayu. Rangka atap terlihat masih bagus.	Dinding bata mengalami keretakan, mutu plesteran tidak bagus adukannya terlihat kurang semen sehingga gampang lepas.	Rangka plafon di lt 2 patah perlu diganti
SD Negeri Ibu Jenab Cianjur	Tidak ada masalah.	Tidak ada masalah.	Rangka atap baja monobeam bentang 13 m terlihat WF 200X100, struktur atap tidak ada kerusakan	Dinding bata tidak ada keretakan yang besar.	
SD Negeri Pasar Suuk	Dimensi kurang besar	Dimensi kurang besar, retakan sudah terjadi sebelum gempa, dan semakin besar lendutannya	Rangka atap bagian kuda2nya masih bagus dan bersih. Atap ada yg bergelombang ada yang	Dinding bata mengalami keretakan, dan ada bagian dinding bata yang dikeempat sisinya sudah ada retakan	sebagian plafon jatuh dari rangkanya

Sekolah	Kondisi secara visual				
	Kolom	Balok	Rangka Atap	Dinding	Plafon
		setelah gempa. Lantai dasar bergelombang karena tidak adanya pemadatan tanah yang cukup	melesak kedalam akibat gording, kaso dan reng yang rusak Ampig jatuh karena hanya ada ikatan berupa gording kayu rangka atap dan tidak ada kolom praktis dan ringbalk pada ampig	sehingga tidak ada kekuatan hal ini mengakibatkan bilamana ada guncangan yang tidak besar maka dinding akan jatuh. Ada retakan yang membuat celah antara kolom dengan dinding di area tangga	
SD BPK Penabur Cianjur	Tidak ada masalah.	Tidak ada masalah.	Tidak ada masalah.	Ada retakan pada dinding bata	Plafon akustik jatuh karena system jenis ini hanya menumpang pada rangka plafon berbentuk T

Secara umum sekolah berada pada daerah intensitas antara 6.5 – 8 dengan skala MMI, berdasarkan intensitas skala 6-8, ketika terjadi gempa orang kesulitan untuk berdiri, benda-benda yang tidak diikat akan berjatuh, gedung yang dibangun dengan baik akan mengalami kerusakan kecil, sementara gedung yang tidak dibangun dengan benar mengalami kerusakan sangat terlihat dari skala sedang hingga parah. Data stasiun pencatatan gempa dari BMKG diperlihatkan pada Tabel 3. Nilai PGA maksimum ada pada lokasi stasiun KCJR - Pasir Kalapa, Cianjur yaitu berkisar 0.51g pada komponen HNE, KCJR merupakan lokasi terdekat dari pusat gempa dengan jarak 10.14 km. DSJR yang berlokasi di Kadudampit, Sukabumi, 15.32 km dari pusat gempa memiliki nilai PGA maksimum 0.15g di komponen HNN. CCJM yang berlokasi di Campaka, Cianjur dengan jarak 23.9 dari pusat gempa memiliki nilai PGA maksimum 0.1g pada komponen HNE

Tabel 3. Nilai akselerograf dari 3 stasiun terdekat dari pusat gempa berdasarkan data BMKG

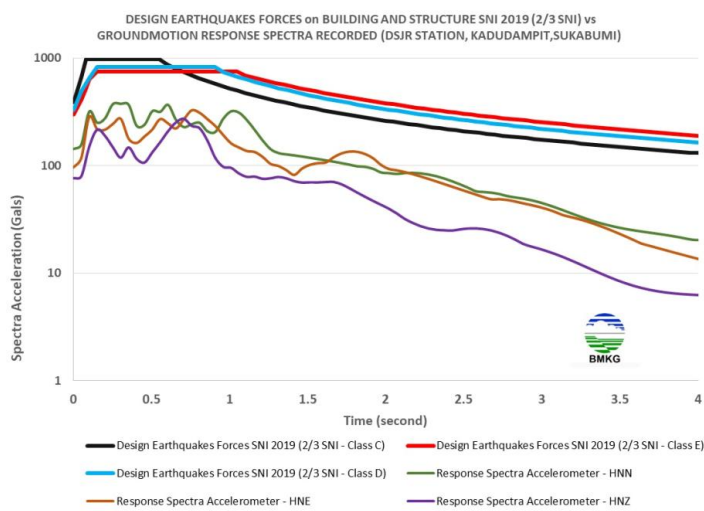
Kode	Lokasi	Jarak (km)	Nilai PGA (g)		
			HNE	HNN	HNZ
KCJR	Pasir Kalapa, Cianjur	10.14	0.51	0.25	0.16
DSJR	Kadudampit, Sukabumi	15.32	0.1	0.15	0.08
CCJM	Campaka, Cianjur	23.90	0.1	0.07	0.04

Commented [P17]: Singkatan yang tidak jelas, perlu penjelasan!!

Commented [P18]: Singkatan yang tidak jelas, perlu penjelasan!!

Berdasarkan hasil analisis respon spektrum dapat dilihat bahwa nilai spektra maksimum percepatan terletak pada periode tertentu. Berikut hasil analisis spektra akselerasi stasiun CBJR, DSJR dan CWJM yang merupakan stasiun dengan nilai spektra terbesar yang dirasakan akibat gempa bumi. Respon spektra stasiun akselerograf KCJR sudah melebihi respon spektrum desain dari RSA Kementerian PUPR untuk masing – masing klasifikasi jenis tanah. Warna merah menunjukkan desain untuk klas SE (tanah lunak), warna biru menunjukkan untuk jenis Klas SD (tanah sedang) dan warna hitam menunjukkan untuk klas SC (tanah keras). Ini menandakan terjadi kerusakan yang cukup parah pada bangunan di lokasi sekitar KCJR.

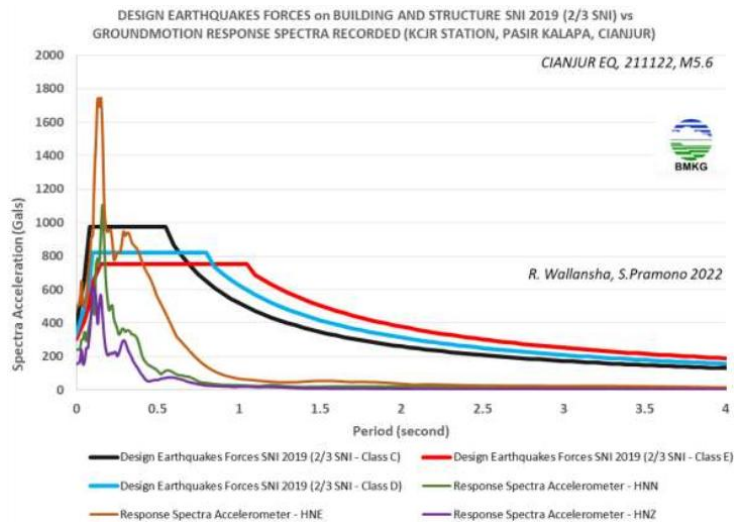
Commented [P19]: Singkatan yang tidak jelas, perlu penjelasan!!



Gambar 4. Respon spektra stasiun KJCR dan respon spektra desain pada lokasi di Cianjur (Sumber BMKG)

Pada rekaman akselerograf di stasiun DSJR terlihat nilai PGA maksimum berkisar 0.1g pada komponen HNE, sedangkan pada komponen HNN nilainya 0.15g dan terendah pada komponen Z yaitu 0.08g. Respon spektra stasiun akselerograf DSJR berada dibawah desain gaya gempa yang dikeluarkan oleh Kementerian PUPR untuk masing – masing klasifikasi jenis tanah. Warna merah menunjukkan desain untuk klas SE (tanah lunak), warna biru menunjukkan untuk jenis Klas SD (tanah sedang) dan warna hitam menunjukkan untuk klas SC (tanah keras).

Commented [P20]: Terlalu banyak singkatan yang tidak jelas maksudnya apa ???



Gambar 5. Respon spektra stasiun DSJR dan respon spektra desain pada lokasi di Cianjur
(Sumber BMKG)

B. Investigasi Struktur Bangunan

Pada umumnya berdasarkan pengamatan seluruh bangunan SD dan SMP yang telah ditinjau tidak terjadi kerusakan pada kolom kecuali pada SMP Budi Luhur dimana pada lokasi ini terdapat salah satu bangunan yang roboh. Hal yang perlu diperhatikan pada elemen struktur kolom adalah dimensi yang tidak memenuhi standar SNI pada SDN Pasar Suuk, SMPN 1 Ciranjang, SMP Ibu Dewi 1, meskipun tidak memenuhi syarat kondisi kolom paska bencana secara visual masih dalam keadaan baik.

Untuk komponen balok kerusakan terparah adalah timbulnya retak geser yang sangat berbahaya pada salah satu gedung di SMP Plus Assyuthiyah. Retak geser ini berpotensi menimbulkan terjadinya kegagalan yang bersifat getas dan keruntuhan dapat terjadi secara tiba-tiba. Faktor penyebab kegagalan geser adalah kurangnya tulangan geser pada daerah tumpuan atau kemungkinan lain adalah penggunaan mutu beton yang sangat rendah (dibawah 17 Mpa) pada balok tersebut.

Kerusakan lainnya adalah timbulnya retak lentur pada balok akibat kurangnya kapasitas balok dalam menahan beban lentur. Kondisi ini terjadi akibat kurangnya tulangan longitudinal pada daerah lapangan, retak lentur memberikan kegagalan yang relatif lebih aman daripada kegagalan karena geser. Retak lentur perlu diteliti lebih lanjut untuk mendapatkan gambaran dalam mitigasi bencana gempa pada masa yang akan datang.

Pada struktur rangka atap kerusakan yang dilaporkan adalah terjadinya kerusakan sebelum gempa karena lapuk atau dimakan rayap. Kerusakan pada rangka atap akan menimbulkan kerusakan pada plafon sebagai penutup atap di ruang kelas, kondisi ini menimbulkan ketidaknyamanan pada saat proses belajar mengajar dilaksanakan. Kerusakan lain yang teridentifikasi adalah miring dan jatuhnya sebagian ampig karena tidak terikat menjadi satu kesatuan dengan kolom utama atau kolom praktis pada dinding. Jatuhnya ampig ini membahayakan peserta didik karena sifatnya tiba-tiba dan dari atas

Commented [P21]: Typo

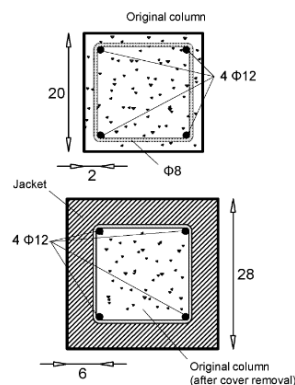
sehingga membayakan kepala pada saat evakuasi terjadi.

Kerusakan elemen non struktural pada umumnya terjadi retak atau terkelupasnya plasteran dinding paska bencana gempa bumi. Keretakan dinding umumnya terjadi pada daerah sambungan dengan kolom, sambungan dengan dinding baru yang dibangun, sambungan dengan kusen pintu atau jendela. Keretakan yang terjadi karena tidak ada atau kurangnya angkur yang dipasang antara kusen dengan dinding atau teknik penambahan dinding baru yang tidak tepat sehingga pada saat terjadi guncangan menimbulkan retak. Kondisi ini sangat berbahaya karena memicu runtuhnya dinding yang dapat menimpa peserta didik dan guru di dalam kelas.

C. Mitigasi Bencana

Mitigasi bencana gempa bumi dalam bidang struktur bangunan dapat dilaksanakan dalam bentuk perbaikan ataupun perkuatan pada elemen struktur atau non struktural. Elemen struktural meliputi kolom, balok dan struktur rangka kuda-kuda atap, elemen non struktural berupa dinding dan plafon.

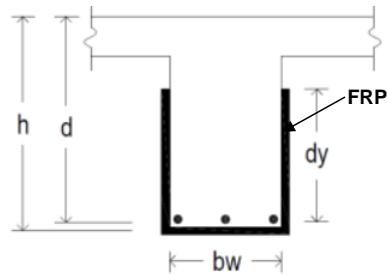
Pada elemen kolom perbaikan dapat dilakukan dengan memperbesar dimensi kolom (jacketing) atau memperkuat dengan menggunakan profil baja. Pada kasus ini tidak terdapat kerusakan pada kolom akibat gempa bumi, hanya pada beberapa gedung dimensi kolom tidak memenuhi persyaratan minimum sebagai kolom yang dibangun di daerah rawan gempa. Kondisi kolom dengan dimensi yang kecil dapat diperbesar dengan menambah dimensi kolom dan memberikan tulangan longitudinal dan transversal tambahan. (Gambar 6)



Gambar 6. Penambahan dimensi kolom

Untuk elemen balok, perbaikan dapat dilakukan sesuai dengan kondisi visual yang terlihat dan prediksi kegagalan yang dapat terjadi. Pada kolom dengan retak miring pada daerah tumpuan diprediksi mengalami kegagalan geser karena kurangnya tulangan geser atau rendahnya mutu beton yang digunakan. Kerusakan seperti ini harus segera diperbaiki atau bahkan segera dibongkar apabila memang tidak memungkinkan untuk perbaikan. Perbaikan dapat dilakukan dengan memberikan perkuatan FRP pada kedua ujung kolom dalam bentuk U (Gambar 7) sehingga kegagalan geser dapat dihindari. Untuk retak vertikal pada tengah balok dapat diperbaiki dengan menggunakan FRP yang dipasang sepanjang tepi bawah balok agar membantu balok menerima tegangan tarik akibat beban lentur yang

bekerja. Hal lain yang dapat dilakukan adalah memberikan kolom baja tambahan tambahan pada tengah bentang balok, hal ini dapat dilakukan apabila kehadiran kolom tambahan ini tidak terlalu mengganggu aktivitas di ruangan tersebut.



Gambar 7. Penambahan FRP untuk kegagalan geser pada balok

Kerusakan pada struktur kuda-kuda rangka atap dapat diperbaiki dengan mengganti elemen-elemen batang yang mengalami kerusakan. Angkur perlu diberikan pada ampig agar tidak rusak bahkan jatuh pada saat gempa (Gambar 8)



Gambar 8. Hubungan Angkur pada ampig sesuai standar

Penggantian elemen perlu dilakukan dengan terlebih dahulu menganalisis kebutuhan dimensi dalam menahan beban gravitasi maupun beban gempa vertikal yang mungkin terjadi di masa yang akan datang. Struktur rangka atap harus dipastikan terangkur dengan baik menjadi satu kesatuan dengan ring balok yang menahan beban rangka sekaligus mentransferkannya ke kolom-kolom yang menyangga ring balok tersebut. Plafon yang merupakan elemen non struktural juga perlu dipasang dengan memperhatikan kekuatan penggantung plafonnya. Detail penggantung dan hubungan dengan plafon harus mengikuti persyaratan yang ditetapkan.

Elemen non struktural lainnya yang perlu diperhatikan adalah dinding, perkuatan dinding perlu dilakukan dengan beberapa alternatif. Alternatif pertama memastikan bahwa dinding terangkur dengan baik pada kolom struktural atau kolom tambahan yang dibangun untuk mengikat batu-bata

(Gambar 9). Ketiadaan angkur dapat mengakibatkan dinding retak atau bahkan terjatuh pada saat terjadi guncangan. Alternatif lain adalah memberi perkuatan ferosemen agar dinding lebih kaku dan berperilaku menahan gaya geser yang bekerja pada rumah tinggal akibat gempa. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah mutu plesteran yang harus standar sehingga tidak terkelupas pada saat mengalami guncangan



Gambar 8. Pemasangan angkur pada dinding bata untuk memperkuat dinding terhadap beban gempa

Kesimpulan

Hasil dari investigasi gedung sekolah secara visual menunjukkan kerusakan dari level sedang ke parah dan memerlukan tindakan segera mengingat Cianjur merupakan daerah dengan risiko gempa tinggi. Perbaikan dan perkuatan dapat dilakukan sesuai tingkat kerusakan yang terjadi, mulai dari penambahan kolom baru untuk balok. Tidak ada masalah yang mengalami lendutan berlebih karena dimensi yang tidak memenuhi syarat atau penambahan perkuatan dengan menggunakan FRP. Untuk kolom dengan dimensi tidak memenuhi syarat dapat dilakukan penambahan dimensi (concrete jacketing) sekalipun secara visual pada saat investigasi tidak terdapat kerusakan yang berarti. Untuk elemen non struktural pada umumnya adalah kondisi paling ringan terkelupasnya plesteran dinding hingga kondisi berat berupa retaknya dinding sekolah karena tidak adanya angkur yang dapat menahan dinding. Penggunaan ferosemen sebagai pelapis bagian luar dinding untuk menahan guncangan baik arah lateral maupun tegak lurus bidang dinding direkomendasikan sebagai perkuatan dinding.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Dinas Pendidikan Kabupaten Cianjur yang mempercayakan investigasi dan mitigasi serta kepada kepala sekolah SD dan SMP terdampak yang memberikan penjelasan serta data yang dibutuhkan sehingga program ini dapat terlaksana dengan baik.

Commented [P22]: Kalimat ini tidak jelas. Silahkan formulasikan ulang kalimat ini dengan susunan kata yang benar, sehingga makna kalimat bisa lebih jelas.

Daftar Pustaka

- ASCE 41-17 (2017), *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*, American Society of Civil Engineer (ASCE)
- Farzad Naeim. (2001). *The Seismic Design handbook*. (Second Edition), Van Nostrand Reinhold, New York.
- FEMA P-154, Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook.
- James MacGregor & James K Wight. (2012). *Reinforced Concrete Mechanics and Design*, Pearson Prentice Hall.
- Lampiran Salinan Peraturan Pemerintah No. 16 Tahun 2021, *Tentang Ketentuan Bangunan Rumah Tahan Gempa*.
- Mengelola Risiko Bencana di Negara Maritim Indonesia, Majelis Guru Besar ITB, Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat ITB, 2009
- R. Wallansa, S. Pramono. (2022). *Ulasan Ground Motion dan Respon Spektra, Gempa Bumi Cianjur*. BMKG.
- SNI 1726:2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung*, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 2847:2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- United State Geological Survey, "USGS Website,"[Online].Available: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000ir9t/pager>. [Diakses Agustus 2022].

Commented [P23]: Banyak Pustaka jurnal yang diambil terlalu tua. Sangat disarankan untuk merujuk referensi jurnal yang dibuat 5 tahun ke belakang.

INVESTIGASI DAN MITIGASI STRUKTUR BANGUNAN SEKOLAH AKIBAT GEMPA BUMI CIANJUR

Abstrak

Gempa bumi merupakan bencana alam yang tidak terduga dan dapat menyebabkan kerusakan parah pada bangunan, terutama yang tidak memenuhi standar. Pembangunan gedung sarana pendidikan, dalam hal ini gedung sekolah, di wilayah Indonesia yang terletak di daerah rawan gempa perlu mendapat perhatian khusus. Gempa Cianjur yang terjadi pada tahun 2022 mengakibatkan kerusakan pada beberapa gedung sekolah di wilayah terdampak. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini menginvestigasi 9 gedung SMP dan 5 gedung SD di wilayah Kabupaten Cianjur yang mengalami kerusakan ringan hingga berat sehingga harus segera diperbaiki atau diperkuat. Kegiatan ini bekerja sama dengan instansi pendidikan dan personel sekolah Pemerintah Daerah Cianjur yang terkena dampak gempa. Hasil pemeriksaan visual terhadap gedung sekolah tersebut menunjukkan kerusakan dengan tingkat sedang hingga parah dan memerlukan tindakan segera, mengingat Cianjur memiliki risiko gempa yang tinggi. Perbaikan dan perkuatan dapat dilakukan sesuai dengan tingkat kerusakannya, mulai dari penambahan kolom baru untuk balok yang mengalami defleksi berlebihan akibat dimensi yang tidak memenuhi syarat atau penambahan tulangan dengan menggunakan FRP (Fiber Reinforced Polymer). Sedangkan pada kolom yang dimensinya tidak memenuhi persyaratan dapat dilakukan penambahan dimensi (pelapis beton) meskipun tidak terjadi kerusakan berarti secara visual selama penyelidikan.

Kata kunci: gempa bumi, investigasi, mitigasi, perbaikan, perkuatan

Abstract

Earthquakes are unexpected natural disasters that can cause severe damage to buildings, especially those not compliant with standards. The construction building of educational facilities, in this case, school buildings in Indonesian territory located in earthquake-prone areas, needs special attention. The Cianjur earthquake that occurred in 2022 resulted in damage to several school buildings in the affected area. The Community Service activities in this article investigate 9 junior high school buildings and 5 elementary school buildings in the Cianjur Regency area that experienced minor to severe damage that must be immediately repaired or strengthened. Community service in cooperation with the Cianjur regional government's educational institutions and school personnel that were impacted by the earthquake. The results of the visual investigation of the school building show damage from moderate to severe levels and require immediate action, considering that Cianjur has a high earthquake risk. Repairs and strengthening can be carried out according to the damage level, starting from adding new columns for beams that experience excessive deflection due to dimensions that do not meet the requirements or adding reinforcement using FRP (Fiber Reinforced Polymer). For columns with dimensions that do not meet the requirements, dimensions can be added (concrete jacketing) even if there is no significant damage visually during the investigation.

Keywords: earthquake, investigation, mitigation, repairing, strengthening.

Pendahuluan

Gempa bumi merupakan bencana alam tak terduga mampu menyebabkan kerusakan serius pada bangunan, terutama pada gedung-gedung yang tidak dibangun mengikuti ketentuan standar. Pembangunan sarana pendidikan, dalam hal ini gedung sekolah, di wilayah Indonesia yang terletak di daerah rawan gempa bumi perlu mendapat perhatian secara khusus karena keamanan dan kesejahteraan siswa dan staf sekolah harus menjadi prioritas utama dalam merencanakan dan membangun infrastruktur pendidikan. Banyaknya kerusakan yang terjadi terutama pada gedung-

gedung sekolah dari kejadian gempa bumi Cianjur pada 21 November 2022 perlu menjadikan pelajaran berharga agar ketika terjadi gempa pada masa yang akan datang bangunan-bangunan sekolah tidak mengalami kerusakan yang sama. Dinas Pendidikan Kabupaten Cianjur yang membawahi seluruh sekolah dasar dan sekolah menengah pertama memiliki tanggung jawab agar layanan pendidikan dapat berfungsi dengan baik pascabencana gempa. Dalam rangka memastikan kondisi gedung sekolah, Dinas Pendidikan memerlukan pendampingan dari akademisi atau praktisi yang memiliki kompetensi untuk melakukan investigasi dan mitigasi. Adapun tujuan dari pendampingan ini untuk memberikan rekomendasi teknis berdasarkan investigasi dan mitigasi dari beberapa gedung sekolah yang terdampak bencana. Dokumen rekomendasi teknis ini berisi hasil investigasi dan mitigasi bangunan terdampak yang diperlukan mitra untuk tindak lanjut pascabencana. Berdasarkan hasil investigasi diberikan rekomendasi apakah bangunan dapat difungsikan kembali atau tidak. Rekomendasi mitigasi berupa usulan perbaikan non-struktural atau struktural sehingga bangunan dapat berfungsi dengan baik sekaligus mampu menghadapi kemungkinan terjadinya gempa bumi berikutnya.

Investigasi dan mitigasi dari gedung-gedung sekolah yang mengalami kerusakan akibat gempa perlu dilakukan karena beberapa hal berikut: (1) Melindungi nyawa dan keselamatan: Sekolah adalah tempat dengan banyak anak dan tenaga pendidik berkumpul setiap hari. Pengetahuan tentang bagaimana gempa bumi dapat mempengaruhi gedung sekolah akan membantu mengidentifikasi risiko potensial dan mengambil langkah-langkah mitigasi untuk melindungi nyawa dan keselamatan mereka; (2) Mencegah kerugian ekonomi: Kerusakan akibat gempa bumi pada gedung sekolah dapat menyebabkan kerugian finansial yang besar. Investigasi ini dapat membantu mengidentifikasi metode perbaikan atau penguatan struktur yang efektif, sehingga mengurangi biaya perbaikan akibat kerusakan gempa; (3) Menyempurnakan peraturan dan standar: Investigasi tentang dampak gempa bumi pada gedung sekolah akan memberikan data penting bagi pemerintah dan badan pengatur untuk memperbarui atau menyempurnakan peraturan dan standar bangunan yang lebih ketat. Hal ini dapat meningkatkan resiliensi bangunan dan meminimalkan risiko kerusakan akibat gempa di masa depan; (4) Meningkatkan kesadaran masyarakat: Investigasi ini juga akan meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya memperhatikan ketahanan bangunan terhadap gempa bumi. Dengan pengetahuan yang lebih baik, masyarakat dapat mendukung upaya-upaya untuk membangun gedung sekolah yang lebih aman dan tahan gempa. Pemahaman mitigasi bencana gempa bumi memberikan wawasan bagi seluruh murid, pendidik dan pimpinan sekolah mengenai risiko yang dihadapi akibat bencana gempa. Pemahaman terkait resiko ini diharapkan menyadarkan semua pihak agar dapat mengambil langkah proaktif untuk meningkatkan ketahanan bangunan, melindungi nyawa, dan menciptakan lingkungan belajar yang aman.

Ruang lingkup kegiatan pengabdian kepada masyarakat sebagai berikut: Gedung sekolah yang menjadi tugas kegiatan investigasi adalah 9 (sembilan) gedung sekolah menengah pertama dan 5 (lima) gedung sekolah dasar di wilayah Kabupaten Cianjur. Kurun waktu kegiatan yaitu dimulai pada tanggal 1 Desember 2022 sampai dengan 20 Juni 2023 atau 6 (enam) bulan. Kegiatan mitigasi bencana meliputi pengamatan visual kerusakan pada komponen struktur balok, komponen struktur kolom, struktur atap, lantai bangunan (untuk gedung bertingkat), dan komponen non-struktural lainnya seperti dinding dan lainnya. Gedung sekolah menengah pertama yang diinvestigasi adalah: SMP Plus Assyuthiyah, SMP An Nur Hadist, SMP Pasundan 2 Cianjur, SMP Budi Luhur Cugenang, SMPN 2 Cipanas Kab. Cianjur, SMP Garnesia, SMPN 1 Cianjur, SMP 2 Mande, dan SMPN 1 Ciranjang. Gedung sekolah dasar yang diinvestigasi adalah: SD Negeri Ibu Dewi 1, SD Negeri Ibu Dewi 4, Gedung SD Negeri Ibu Jenab, SD Negeri Pasar Suuk, dan SD BPK Penabur. Tujuan utama pengabdian kepada masyarakat ini adalah untuk menginvestigasi kerusakan struktur yang terjadi pada gedung sekolah. Tujuan kedua berdasarkan hasil investigasi dibuat rencana mitigasi bencana gempa

bumi untuk keselamatan murid dan pendidik pada masa depan.

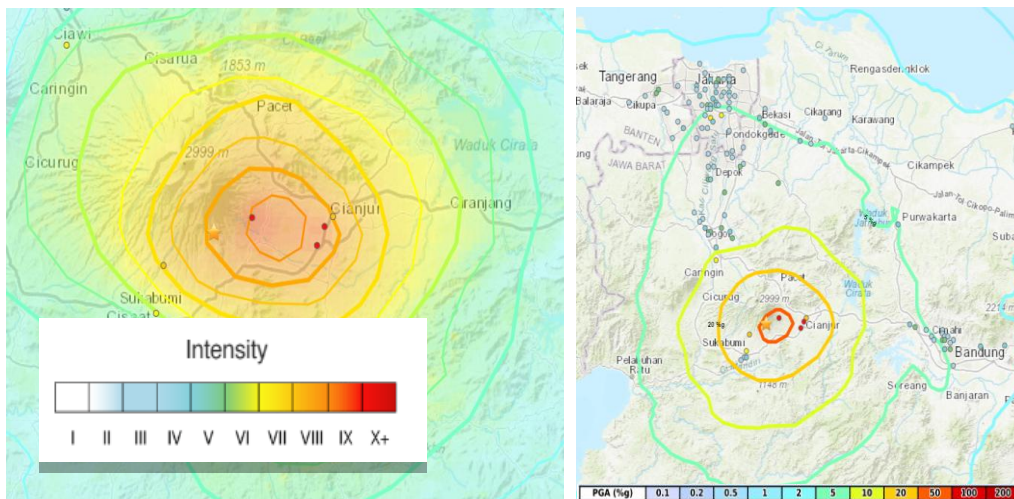
Metode

Metode investigasi dan mitigasi yang dilakukan adalah sebagai berikut: Pengumpulan data primer dalam bentuk hasil investigasi secara visual terhadap elemen-elemen struktural yaitu balok, kolom, lantai, rangka atap dan elemen non-struktural dari gedung sekolah yaitu dinding dan plafon. Investigasi juga dilakukan dalam bentuk wawancara terhadap pihak sekolah untuk mendapatkan informasi terkait data lain yang diperlukan seperti fungsi ruangan umum bangunan, kondisi sebelum gempa dan kerusakan pascagempa bumi. Sedangkan data sekunder diperoleh dari Dinas Pendidikan Kabupaten Cianjur berupa daftar sekolah yang terdampak bencana gempa dan diusulkan untuk dilakukan investigasi. Data sekunder lain adalah data dari BMKG terkait percepatan gempa yang terjadi serta respons spektra berdasarkan stasiun seismograf terdekat dengan lokasi episenter.

Data yang diperoleh dari hasil investigasi secara visual dianalisis untuk mengetahui tipe kerusakan struktural maupun non-struktural yang terjadi sehingga dapat memperoleh solusi perbaikan dengan tepat sesuai dengan tipe kerusakan yang terjadi. Investigasi dilakukan dengan menggunakan metoda *rapid visual screening*, berdasarkan standar FEMA P-154 yang saat ini belum ada aturan baku dari SNI untuk investigasi secara visual. *Rapid Visual Screening* (RVS) merupakan metode monitoring secara cepat yang dipelopori oleh Federal Emergency Management Agency (FEMA) untuk mendata dan menganalisis kondisi suatu bangunan secara visual yang berpotensi terhadap bahaya gempa bumi (FEMAP-154, 2015). The Federal Emergency Management Agency (FEMA) merupakan lembaga pada Departemen Keamanan Dalam Negeri Amerika Serikat. Lembaga ini bertujuan untuk menanggapi dan bertindak secara cepat terhadap penanggulangan bencana yang terjadi di Amerika Serikat termasuk negara bagiannya. Selain investigasi juga dilakukan mitigasi bencana dalam bentuk teknik perbaikan dan perkuatan dapat dilakukan sesuai dengan tingkat kerusakan yang dialami oleh bangunan. Tindak lanjut hasil investigasi adalah sosialisasi kepada pihak sekolah mengenai berbagai kerusakan yang terjadi pada gedung sekolah. Proses sosialisasi berupa penjelasan sebab dan akibat kerusakan tersebut serta kemungkinan kegagalan dan keruntuhan yang akan terjadi. Selain itu dijelaskan proses mitigasi berupa cara perbaikan kerusakan sehingga bangunan gedung sekolah memiliki kekuatan dan kemampuan layan.

Hasil dan Pembahasan

Sesuai informasi dari BMKG, gempa bumi Cianjur terjadi pada hari Senin, 21 November 2022, pukul 13:21:10 WIB dengan magnitudo M 5,6 pada kedalaman 10 km. Lokasi pusat gempa pada koordinat 107,05 BT dan 6,84 LS, berjarak sekitar 9,65 km barat daya Kota Cianjur atau 16,8 km timur laut Kota Sukabumi. Sumber gempa diperkirakan berasal dari sesar Cimandiri, meskipun begitu pusat gempa terletak cukup jauh dari jalur patahan Cimandiri tersebut. Lokasi kerusakan berpusat di sekitar area dekat episenter, sumber gempa cukup dangkal dan berada di darat sehingga kerusakan yang terjadi cukup besar. Gambar 1 memperlihatkan intensitas gempa dan percepatan puncak batuan dasar (*Peak Ground Acceleration, PGA*) pada daerah sekitar episenter.



Gambar 1. Peta Intensitas dan PGA gempa bumi Cianjur (Sumber: USGS)

A. Analisis Dampak Gempa

Analisis beban gempa didapatkan dari dua sumber yaitu BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika) serta dari USGS (United State Geological Survey). Peta intensitas gempa berdasarkan *Modified Mercalli Intensity* (MMI) serta data percepatan tanah pada batuan dasar (PGA) didapatkan dari USGS berdasarkan peta intensitas dan PGA pada Gambar 1 kemudian dirangkum sesuai lokasi sekolah seperti pada Tabel 1. MMI digunakan untuk mengukur seberapa besar kerusakan yang ditimbulkan oleh gempa. Ukuran ini ditentukan berdasarkan hasil pengamatan dari orang yang mengalami atau melihat gempa. Skala MMI ini tidak sama di setiap tempat karena dihitung berdasarkan pengamatan. Lokasi yang dekat dengan episentrum (pusat gempa) memiliki skala MMI yang besar. PGA merupakan nilai percepatan maksimum yang terjadi pada batuan dasar akibat gaya gempa, nilai ini digunakan untuk menentukan besar gaya gempa yang masuk ke dalam bangunan sesuai berat bangunan.

Tabel 1. Nilai MMI dan PGA dari lokasi yang ditinjau berdasarkan data USGS

Sekolah	MMI	PGA (g)
SMP Plus Assyuthiyah	7.5	0.4
SMP An Nur Hadist	7.5	0.35
SMP Pasundan Cianjur	7.5	0.35
SMP Budi Luhur Cugenang	8	0.45
SMPN 2 Cipanas Kab. Cianjur	7.5	0.4
SMP Garnesia	7.5	0.4
SMPN 1 Cianjur	7.5	0.35
SMP 2 Mandé	7	0.2
SMPN 1 Ciranjang	6.5	0.18
SD Negeri Ibu Dewi 1 Cianjur	7.5	0.35
SD Negeri Ibu Dewi 4 Cianjur	7.5	0.35
SD Negeri Ibu Jenab Cianjur	7.5	0.35
SD Negeri Pasar Suuk	7	0.3
SD BPK Penabur Cianjur	7	0.3

Investigasi terhadap beberapa sekolah dasar dan SMP dilakukan untuk memberikan gambaran kerusakan elemen struktural secara umum. Gambar 2 memberikan gambaran kerusakan elemen balok yang terjadi pada salah satu bagian pada bangunan sekolah:



Gambar 2. Kegagalan geser pada elemen balok pada gedung SMP Garnesia dan SMP Plus Assyuthiyah

Selain kegagalan pada elemen balok yang diperlihatkan Gambar 2, juga terdapat beberapa kegagalan pada elemen kolom seperti yang terlihat pada Gambar 3:



Gambar 3. Kegagalan retak elemen kolom pada gedung SMPN 1 Cianjur

Hasil investigasi yang ditunjukkan pada gambar 2 dan 3 tersebut kemudian diringkas sesuai pengamatan secara visual untuk sekolah yang ditinjau ke dalam tabel 2 berikut:

Tabel 2. Identifikasi dan klasifikasi kerusakan

Sekolah	Kondisi secara visual				
	Kolom	Balok	Rangka Atap	Dinding	Plafon
SMP Plus Assyuthiyah	Tidak ada masalah	Retak geser, retak lentur di tengah bentang, potensi terjadi lendutan berlebih	Tidak ada masalah	Retak, plesteran dan acian terkelupas	Perlu perbaikan
SMP An Nur Hadist	Tidak ada masalah	Tidak ada masalah	Tidak ada masalah	Retak	Perlu perbaikan
SMP Pasundan Cianjur	Tidak ada masalah	Retak lentur kecil (kurangnya tulangan longitudinal)	Tidak ada masalah	Retak, terkelupas	Perlu perbaikan
SMP Budi Luhur	Gedung sementara tidak dapat digunakan, ada bagian lain yang roboh	Gedung sementara tidak dapat digunakan, ada bagian lain yang roboh	Ampig miring 20 cm ke depan, rangka kuda-kuda patah	Retak pada opening jendela,	Perlu diperbaiki
SMPN 2 Cipanas Kab. Cianjur	Tidak ada masalah	Tidak ada masalah	Sudah lapuk, mengalami kerusakan	Kondisi plesteran dan acian kurang bagus	
SMP Garnesia	Tidak ada masalah	Retak pada daerah tumpuan dan lapangan, penurunan pada pelat lantai dasar		Dinding bata mengalami keretakan	
SMPN 1 Cianjur	Tidak ada masalah	Tidak ada masalah		Retak berat dan ringan, plesteran tidak bagus, mengelupas	
SMP 2 Mande	Tidak ada masalah	Tidak ada masalah	Kerusakan pada struktur rangka atap kayu yaitu reng, kaso, gording, dan kemungkinan juga kuda2		Plafon melendut

Sekolah	Kondisi secara visual				
	Kolom	Balok	Rangka Atap	Dinding	Plafon
			kayunya akibat dimakan rayap tanah		
SMPN 1 Ciranjang	Kolom 20/25 termasuk kecil	Balok lebih kecil dari persyaratan untuk bentang 7 meter	Tidak ada masalah	Tidak ada masalah	Tidak ada masalah
SD Negeri Ibu Dewi 1 Cianjur	Kolom kekecilan	Balok kekecilan, lendutan pada pelat lantai atas (4 cm), blok ring atap melendut	Rangka atap baja ringannya ada lendutan	Dinding ampig miring keluar. Dinding bata mengalami keretakan, kolom praktis dan ring baloknya kurang untuk menahan gempa	Rangka plafon melendut, lis plafon lantai atas ada celah 5 cm terhadap dindingnya menandakan dindingnya miring keluar
SD Negeri Ibu Dewi 4 Cianjur	Tidak ada masalah	Tidak ada masalah. Untuk Lantai dasar bergelombang naik ke atas	Rangka atap dan rangka plafon di lantai 2 memakai material kayu. Rangka atap terlihat masih bagus.	Dinding bata mengalami keretakan, mutu plesteran tidak bagus adukannya terlihat kurang semen sehingga gampang lepas	Rangka plafon di lantai 2 patah perlu diganti
SD Negeri Ibu Jenab Cianjur	Tidak ada masalah	Tidak ada masalah	Rangka atap baja monobeam bentang 13 m terlihat WF 200X100, struktur atap tidak ada kerusakan	Dinding bata tidak ada keretakan yang besar	
SD Negeri Pasar Suuk	Dimensi kurang besar	Dimensi kurang besar, retakan sudah terjadi sebelum gempa, dan semakin besar lendutannya setelah gempa. Lantai dasar	Rangka atap bagian kuda-kudanya masih bagus dan bersih. Atap ada yg bergelombang ada yang melesak ke dalam akibat gording, kaso	Dinding bata mengalami keretakan, dan ada bagian dinding bata yang di keempat sisinya sudah ada retakan sehingga tidak ada kekuatan. Hal ini	Sebagian plafon jatuh dari rangkanya

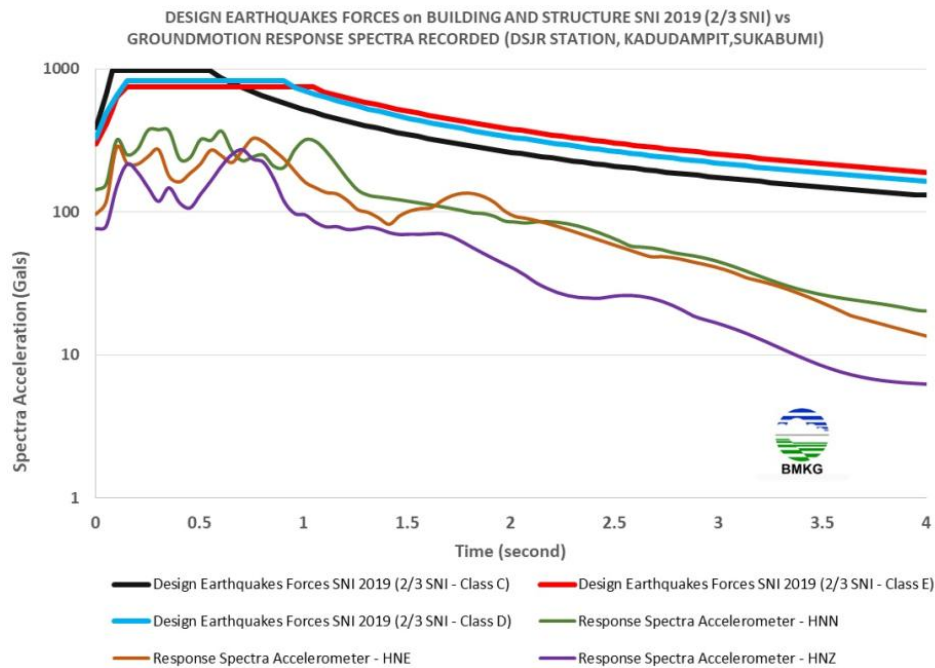
Sekolah	Kondisi secara visual				
	Kolom	Balok	Rangka Atap	Dinding	Plafon
		bergelombang karena tidak adanya pemadatan tanah yang cukup	dan reng yang rusak. Ampig jatuh karena hanya ada ikatan berupa gording kayu rangka atap dan tidak ada kolom praktis dan ringbalk pada ampig	mengakibatkan jika ada goncangan tidak besar maka dinding akan jatuh. Ada retakan yang membuat celah antara kolom dengan dinding di area tangga	
SD BPK Penabur Cianjur	Tidak ada masalah	Tidak ada masalah	Tidak ada masalah	Ada retakan pada dinding bata	Plafon akustik jatuh karena sistem jenis ini hanya menumpang pada rangka plafon berbentuk T

Tabel 2 menunjukkan data secara umum sekolah berada pada daerah intensitas antara 6,5-8 dengan skala MMI. Berdasarkan intensitas skala 6-8, ketika terjadi gempa orang kesulitan untuk berdiri, benda-benda yang tidak diikat akan berjatuh, gedung yang dibangun dengan baik akan mengalami kerusakan kecil, sementara gedung yang tidak dibangun dengan benar mengalami kerusakan sangat terlihat dari skala sedang hingga parah. Data stasiun pencatatan gempa dari BMKG diperlihatkan pada Tabel 3. Nilai PGA maksimum ada pada lokasi stasiun KCJR - Pasir Kalapa, Cianjur yaitu berkisar 0,51g pada komponen HNE (komponen arah gempa *Horizontal East-West*), KCJR merupakan lokasi terdekat dari pusat gempa dengan jarak 10.14 km. DSJR yang berlokasi di Kadudampit, Sukabumi, 15,32 km dari pusat gempa memiliki nilai PGA maksimum 0,15g di komponen HNN (komponen arah gempa *Horizontal North-South*). CCJM yang berlokasi di Campaka, Cianjur dengan jarak 23,9 dari pusat gempa memiliki nilai PGA maksimum 0,1g pada komponen HNE. Nilai HNZ (Komponen gempa arah vertikal Z) maksimum dicatat pada stasiun Pasir Kalapa (KCJR)

Tabel 3. Nilai akselerograf dari 3 stasiun terdekat dari pusat gempa berdasarkan data BMKG

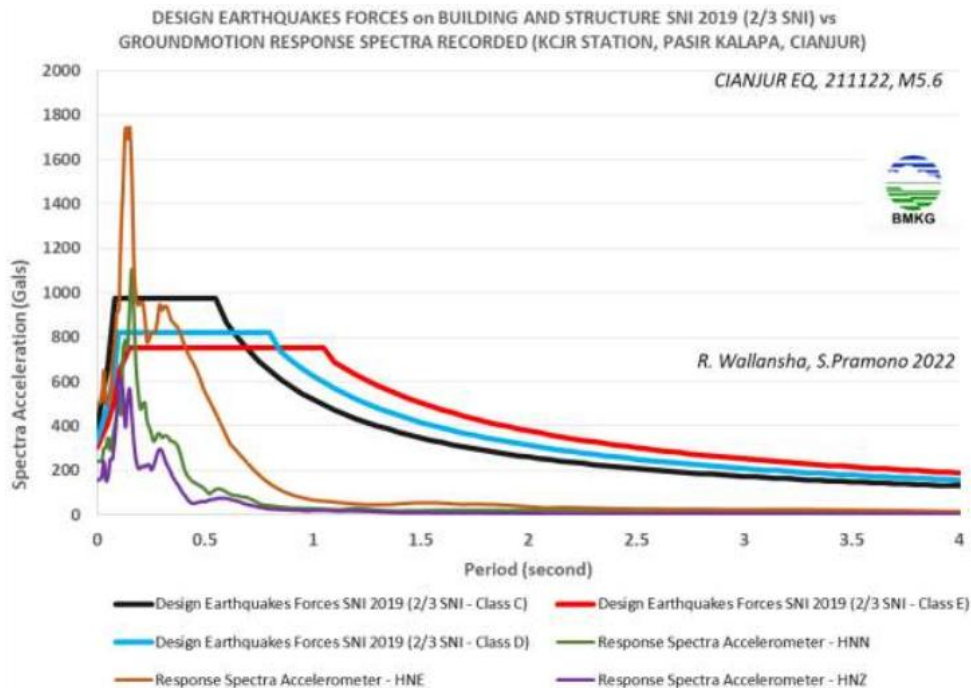
Kode	Lokasi	Jarak (km)	Nilai PGA (g)		
			HNE	HNN	HNZ
KCJR	Pasir Kalapa, Cianjur	10.14	0.51	0.25	0.16
DSJR	Kadudampit, Sukabumi	15.32	0.1	0.15	0.08
CCJM	Campaka, Cianjur	23.90	0.1	0.07	0.04

Berdasarkan hasil analisis respon spektrum dapat dilihat bahwa nilai spektra maksimum percepatan terletak pada periode tertentu. Berikut hasil analisis spektra akselerasi stasiun CBJR, DSJR dan CWJM (kode stasiun yang diberikan oleh BMKG sesuai nama lokasi seismograf) merupakan stasiun dengan nilai spektra terbesar yang dirasakan akibat gempa bumi. Respon spektra stasiun akselerograf KCJR sudah melebihi respon spektrum desain dari RSA (Respon Spektrum Analisis) Kementerian PUPR untuk masing-masing klasifikasi jenis tanah. Warna merah menunjukkan desain untuk kelas SE (tanah lunak), warna biru menunjukkan untuk jenis kelas SD (tanah sedang), dan warna hitam menunjukkan untuk kelas SC (tanah keras). Ini menandakan terjadi kerusakan yang cukup parah pada bangunan di lokasi sekitar KCJR.



Gambar 4. Respon spektra stasiun KJCR dan respon spektra desain pada lokasi di Cianjur (Sumber: BMKG)

Pada rekaman akselerograf di stasiun DSJR terlihat nilai PGA maksimum berkisar 0,1g pada komponen HNE, sedangkan pada komponen HNN nilainya 0,15g dan terendah pada komponen Z yaitu 0,08g. Respon spektra stasiun akselerograf DSJR berada di bawah desain gaya gempa yang dikeluarkan oleh Kementerian PUPR untuk masing-masing klasifikasi jenis tanah. Warna merah menunjukkan desain untuk kelas SE (tanah lunak), warna biru menunjukkan untuk jenis kelas SD (tanah sedang), dan warna hitam menunjukkan untuk kelas SC (tanah keras).



Gambar 5. Respon spektra stasiun DSJR dan respon spektra desain pada lokasi di Cianjur (Sumber: BMKG)

B. Investigasi Struktur Bangunan

Pada umumnya berdasarkan pengamatan seluruh bangunan SD dan SMP yang telah ditinjau tidak terjadi kerusakan pada kolom, kecuali pada SMP Budi Luhur yang pada lokasinya terdapat salah satu bangunan roboh. Hal yang perlu diperhatikan pada elemen struktur kolom adalah dimensi yang tidak memenuhi standar SNI pada SDN Pasar Suuk, SMPN 1 Ciranjang, SMP Ibu Dewi 1, meskipun tidak memenuhi syarat kondisi kolom pascabencana secara visual masih dalam keadaan baik. Sedangkan komponen balok kerusakan terparah adalah timbulnya retak geser yang sangat berbahaya pada salah satu gedung di SMP Plus Assyuthiyyah. Retak geser ini berpotensi menimbulkan terjadinya kegagalan yang bersifat getas dan keruntuhan dapat terjadi secara tiba-tiba. Faktor penyebab kegagalan geser adalah kurangnya tulangan geser pada daerah tumpuan atau kemungkinan lain adalah penggunaan mutu beton yang sangat rendah (di bawah 17 Mpa) pada balok tersebut. Kerusakan lainnya adalah timbulnya retak lentur pada balok akibat kurangnya kapasitas balok dalam menahan beban lentur. Kondisi ini terjadi akibat kurangnya tulangan longitudinal pada daerah lapangan. Retak lentur memberikan kegagalan yang relatif lebih aman daripada kegagalan karena geser. Retak lentur perlu diteliti lebih lanjut untuk mendapatkan gambaran dalam mitigasi bencana gempa pada masa yang akan datang.

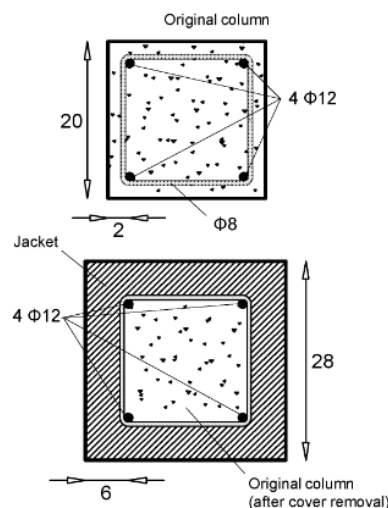
Pada struktur rangka atap kerusakan yang dilaporkan adalah terjadinya kerusakan sebelum gempa karena lapuk atau dimakan rayap. Kerusakan pada rangka atap akan menimbulkan kerusakan pada plafon sebagai penutup atap di ruang kelas. Kondisi ini menimbulkan ketidaknyamanan pada saat proses belajar mengajar dilaksanakan. Kerusakan lain yang teridentifikasi adalah miring dan jatuhnya sebagian ampig karena tidak terikat menjadi satu kesatuan dengan kolom utama atau kolom praktis pada dinding. Jatuhnya ampig ini membahayakan peserta didik karena sifatnya tiba-tiba dan dari atas sehingga membahayakan kepala pada saat evakuasi terjadi.

Kerusakan elemen non struktural pada umumnya terjadi retak atau terkelupasnya plesteran

dinding pascabencana gempa bumi. Keretakan dinding umumnya terjadi pada daerah sambungan dengan kolom, sambungan dengan dinding baru yang dibangun, sambungan dengan kusen pintu atau jendela. Keretakan yang terjadi karena tidak ada atau kurangnya angkur yang dipasang antara kusen dengan dinding atau teknik penambahan dinding baru yang tidak tepat sehingga pada saat terjadi guncangan menimbulkan retak. Kondisi ini sangat berbahaya karena memicu runtuhnya dinding yang dapat menimpa peserta didik dan guru di dalam kelas.

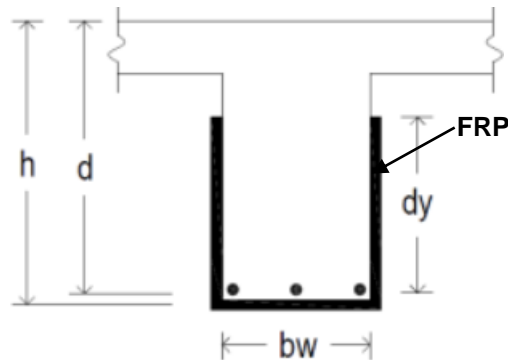
C. Mitigasi Bencana

Mitigasi bencana gempa bumi dalam bidang struktur bangunan dapat dilaksanakan dalam bentuk perbaikan ataupun perkuatan pada elemen struktur atau non-struktural. Elemen struktural meliputi kolom, balok dan struktur rangka kuda-kuda atap, elemen non-struktural berupa dinding dan plafon. Pada elemen kolom perbaikan dapat dilakukan dengan memperbesar dimensi kolom (*jacketing*) atau memperkuat dengan menggunakan profil baja. Pada kasus ini tidak terdapat kerusakan pada kolom akibat gempa bumi, hanya pada beberapa gedung dimensi kolom tidak memenuhi persyaratan minimum sebagai kolom yang dibangun di daerah rawan gempa. Kondisi kolom dengan dimensi yang kecil dapat diperbesar dengan menambah dimensi kolom dan memberikan tulangan longitudinal dan transversal tambahan, seperti yang diperlihatkan Gambar 6.



Gambar 6. Penambahan dimensi kolom

Untuk elemen balok, perbaikan dapat dilakukan sesuai dengan kondisi visual yang terlihat dan prediksi kegagalan yang dapat terjadi. Pada kolom dengan retak miring pada daerah tumpuan diprediksi mengalami kegagalan geser karena kurangnya tulangan geser atau rendahnya mutu beton yang digunakan. Kerusakan seperti ini harus segera diperbaiki atau bahkan segera dibongkar apabila memang tidak memungkinkan untuk perbaikan. Perbaikan dapat dilakukan dengan memberikan perkuatan FRP pada kedua ujung kolom dalam bentuk U (Gambar 7) sehingga kegagalan geser dapat dihindari. Untuk retak vertikal pada tengah bentang balok dapat diperbaiki dengan menggunakan FRP yang dipasang sepanjang tepi bawah balok agar membantu balok menerima tegangan tarik akibat beban lentur yang bekerja. Hal lain yang dapat dilakukan adalah memberikan kolom baja tambahan pada tengah bentang balok. Hal ini dapat dilakukan apabila kehadiran kolom tambahan ini tidak terlalu mengganggu aktivitas di ruangan tersebut.



Gambar 7. Penambahan FRP untuk kegagalan geser pada balok

Kerusakan pada struktur kuda-kuda rangka atap dapat diperbaiki dengan mengganti elemen-elemen batang yang mengalami kerusakan. Angkur perlu diberikan pada ampig agar tidak rusak bahkan jatuh pada saat gempa (Gambar 8).



Gambar 8. Hubungan ankur pada ampig sesuai standar

Penggantian elemen perlu dilakukan dengan terlebih dahulu menganalisis kebutuhan dimensi dalam menahan beban gravitasi maupun beban gempa vertikal yang mungkin terjadi di masa mendatang. Struktur rangka atap harus dipastikan terangkur dengan baik menjadi satu kesatuan dengan ring balok yang menahan beban rangka sekaligus mentransfernya ke kolom-kolom yang menyangga ring balok tersebut. Plafon yang merupakan elemen non-struktural juga perlu dipasang dengan memperhatikan kekuatan penggantung plafonnya. Detail penggantung dan hubungan dengan plafon harus mengikuti persyaratan yang ditetapkan.

Elemen non-struktural lainnya yang perlu diperhatikan adalah dinding, perkuatan dinding perlu dilakukan dengan beberapa alternatif. Alternatif pertama memastikan bahwa dinding terangkur dengan baik pada kolom struktural atau kolom tambahan yang dibangun untuk mengikat batu-bata (Gambar 9). Ketiadaan ankur dapat mengakibatkan dinding retak atau bahkan terjatuh pada saat terjadi guncangan. Alternatif lain adalah memberi perkuatan ferosemen agar dinding lebih kaku dan berperilaku menahan gaya geser yang bekerja pada rumah tinggal akibat gempa. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah mutu plesteran harus standar sehingga tidak terkelupas pada saat mengalami guncangan.



Gambar 9. Pemasangan angkur pada dinding bata untuk memperkuat dinding terhadap beban gempa

Kesimpulan

Hasil dari investigasi gedung sekolah secara visual menunjukkan kerusakan dari level sedang hingga berat. Kondisi ini memerlukan tindakan segera mengingat Cianjur merupakan daerah dengan risiko gempa tinggi. Perbaikan dan perkuatan sebagai tindakan mitigasi dapat dilakukan sesuai tingkat kerusakan yang terjadi, mulai dari penambahan kolom baru untuk balok yang mengalami lendutan berlebih atau penambahan perkuatan dengan menggunakan FRP. Untuk kolom dengan dimensi tidak memenuhi syarat dapat dilakukan penambahan dimensi (*concrete jacketing*). Untuk elemen non-struktural kerusakan yang terjadi pada umumnya adalah terkelupasnya plesteran dinding hingga kondisi berat berupa retaknya dinding sekolah karena tidak adanya angkur yang dapat menahan dinding. Penggunaan ferosemen sebagai pelapis bagian luar dinding untuk menahan guncangan baik arah lateral maupun tegak lurus bidang dinding direkomendasikan sebagai perkuatan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Dinas Pendidikan Kabupaten Cianjur yang mempercayakan investigasi dan mitigasi serta kepada Kepala Sekolah SD dan SMP terdampak yang memberikan penjelasan serta data yang dibutuhkan sehingga program pengabdian kepada masyarakat ini dapat terlaksana dengan baik.

Daftar Pustaka

Agustin, dkk. (2020). Aplikasi Metode Rapid Visual Screening (RVS) Dalam Monitoring Kerentanan Bangunan Pemerintahan Di Indragiri Hulu. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 16(1).

- ASCE 41-17. (2017). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. USA: American Society of Civil Engineer (ASCE).
- Farzad, Naeim. (2001). *The Seismic Design handbook*. (Second Edition). New York: Van Nostrand Reinhold.
- FEMA P-154. (n.d.). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook*.
- James MacGregor & James K. Wight. (2012). *Reinforced Concrete Mechanics and Design*. Pearson Prentice Hall.
- Lampiran Salinan Peraturan Pemerintah No. 16 Tahun 2021, *Tentang Ketentuan Bangunan Rumah Tahan Gempa*.
- Majelis Guru Besar ITB. (2009). *Mengelola Risiko Bencana di Negara Maritim Indonesia*. Bandung: Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat ITB.
- R. Wallansa, S. Pramono. (2022). *Ulasan Ground Motion dan Respon Spektra, Gempa Bumi Cianjur*. BMKG.
- SNI 1726. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 2847. (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- United State Geological Survey, "USGS Website," [Online]. Available: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000ir9t/pager>. [Diakses Agustus 2022].




[servirisma] Editor Decision

From Dewi Isma Aryani <servirisma@staff.ukdw.ac.id>

Date Sun 19/11/2023 23:43

To Anang Kristianto <anang.kristianto@eng.maranatha.edu>

 1 attachment (6 MB)

B-FINAL SUNTING_servirisma-review-assignment-56-Article+Text-384+baru+051123_revisi_1.doc;

Anang Kristianto:

We have reached a decision regarding your submission to Servirisma, "INVESTIGASI DAN MITIGASI STRUKTUR BANGUNAN SEKOLAH AKIBAT GEMPA BUMI CIANJUR".

Our decision is to: Accept Submission

[SERVIRISMA](#) (Jurnal Pengabdian Masyarakat)
Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM)
Universitas Kristen Duta Wacana Yogyakarta
p-ISSN: 2809-1442
e-ISSN: 2829-4645