

Penilaian Kerentanan Bangunan Sekolah Terhadap Gempa Bumi Berdasarkan FEMA P-154 2015 Di Pacitan

Assesment of School Building Vulnerability On Earthquake Based On FEMA P-154 2015 in Pacitan

Karina Rahma Nugraheni, Muhammad Heri Zulfiar

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Kota Pacitan merupakan salah satu daerah yang terletak di pulau Jawa bagian selatan dan berada pada jalur seismoteknik sesar aktif, sesar aktif tersebut adalah sesar grindulu. Dari bencana gempa bumi yang sudah terjadi terutama di Indonesia, Kota Pacitan berpotensi mengalami kerusakan bangunan saat terjadi gempa bumi. Bencana alam terutama gempa bumi yang tidak dapat diprediksi dan dihindari dapat dikurangi dampak akibatnya melalui upaya evaluasi kerentanan bangunan menggunakan metode *Rapid Visual Screening* (RVS) berdasarkan FEMA P-154 2015. Di Kecamatan Pacitan yang merupakan bagian dari Kota Pacitan terdapat banyak sekolah milik negara yang digunakan oleh masyarakat Pacitan untuk memperoleh pendidikan. Bencana alam yang bisa terjadi kapanpun perlu dilakukan identifikasi terhadap sekolah yang tersebar di Kecamatan Pacitan. Dengan mengidentifikasi bangunan sekolah milik negara maka dapat menyimpulkan tingkat risiko bangunan sekolah tersebut. Penelitian yang dilakukan berdasarkan data pengamatan lapangan dan mengacu pada FEMA P-154 2015. Hasil dari identifikasi yang diperoleh bahwa seluruh sekolah negeri milik negara di Kecamatan Pacitan berada pada daerah rawan gempa dengan tingkat ancaman tinggi. Dari hasil penelitian menunjukkan nilai *S* rata-rata sebesar 1,4 dengan potensi kerentanan bangunan sebesar 19,49% dengan tipe bangunan yang berbeda yaitu C1 atau yang dimaksudkan bangunan rangka beton tahan gempa, bangunan tipe C3 yaitu bangunan rangka beton dengan pengisi batu bata yang tidak diperkuat serta bangunan tipe URM yaitu bangunan dinding batu bata yang tidak diperkuat. Hasil rata-rata bangunan sekolah di Kecamatan Pacitan digolongkan bangunan yang berisiko terhadap gempa besar dan memiliki potensi roboh karena terdapat bangunan sekolah yang memiliki potensi kerentanan mencapai 63,09%.

Kata kunci: Kerentanan, Bangunan Sekolah, Gempa Bumi, *Rapid Visual Screening*, FEMA P-154 2015

Abstract. Pacitan City is one of the areas located on the southern of Java island and is on an route of active seismotechnical fault and the active fault was the grindulu fault. From the earthquake that has occurred mainly in Indonesia, Pacitan City has the potential to experiance damage to buildings during an earthquake. The impact of natural disasters, especially unpredictable and avoidable earthquakes, can be reduced through building vulnerability evaluation using the Rapid Visual Screening (RVS) method based on FEMA P-154 2015. In Pacitan Subdistrict which is part of Pacitan City there are many state-owned schools used by the Pacitan society to obtain education. Natural disasters that could occur at any time make researchers wanted to do identification of school hat spreaded around Pacitan subdistrict. By Identifying the state-ownwd school buildings, it can deduced the risk level of that school building. The research was carried out based on daa from direct field survey and translatingg it into forms provided by FEMA P-54 2015. The result of the obtained identification were that all state-owned schools in Pacitan Subdistrict were in high risk earthquake-prone areas. The result of the study showed that the *S* value as 1,38 with a potential vulnerability of buildings of 22,70% with C1 type of building or intended as earthquake resistant concreate frame buildings, C3 type of building is concreate

frame buildings with a filling bricks and not amplified. Than URM type buiding is bricks frame building which was not in strengthen. And the result of the average school building in Pacitan District is classified as a building that is not safe from the potential threat of earthquake disaster because Pacitan District has school with a potential vulnerability of buildings until 100%.

Keywords: Vulnerability, School Building, Earthquake, Rapid Visual Screening, FEMA P-154 2015.

1. Pendahuluan

Pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba sehingga menciptakan gelombang seismik mengakibatkan peristiwa getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi adalah yang disebut gempa bumi (Christanto, 2011). Bawono (2016) meneliti tentang studi kerentanan bangunan akibat gempa dengan studi kasus perumahan di Bantul menyatakan bahwa gempa sebagai getaran/goncangan pada dasar atau pijakan. Karena manusia hidup di bumi, maka dasar yang menjadi pijakan adalah bumi dan kata gempa yang biasa dijumpai, dimaksudkan sebagai gempabumi.

Menurut Supartoyo dan Suro, (2009), gempa bumi yang terjadi di Jawa Barat tanggal 2 September 2009 adalah salah satu bencana yang berdampak pada kerusakan bangunan disebabkan oleh konstruksi bangunan tidak dirancang tahan gempa bumi, lokasi bangunan terletak pada bagian atas punggung dan pada endapan gunung api muda. Indonesia adalah negara yang rawan gempa karena berada pada daerah pertemuan tiga lempeng tektonik besar yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik. Gempa bumi di Indonesia berdampak pada korban jiwa, harta dan kerusakan infrastruktur. Pulau Jawa bagian selatan sering terjadi gempa berkekuatan 5-6SR (Soehaimi, 2008). Kota Pacitan mempunyai indeks kerentanan seismik yang tinggi sehingga dapat berpotensi mengalami kerusakan bangunan yang parah akibat gempa bumi karena kondisi tanah di Pacitan didominasi oleh lapisan lapuk (*soft soil*). Definisi rawan bencana menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 21 Tahun 2007 bahwa rawan bencana adalah kondisi atau karakteristik geologis, biologis, hidrologis,

klimatologis, geografis, sosial, budaya, politik, ekonomi dan teknologi yang dapat mengurangi ketahanan terhadap bencana.

Untuk mengetahui kemampuan kerentanan bangunan terhadap gempa bumi maka dilakukan penilaian kerentanan (*vulnerability assesment*) pada bangunan menggunakan pengamatan secara cepat (*rapid screening*) dan identifikasi lebih rinci apabila terdapat bangunan yang mendapatkan nilai kerentanan tinggi.

Melakukan identifikasi dan evaluasi kerentanan terhadap bangunan sekolah merupakan hal yang penting karena pada bangunan sekolah masuk dalam kategori risiko IV (risiko tinggi) yang satu kategori dengan bangunan rumah sakit, fasilitas pemadam kebakaran, pusat pembangkit listrik, atau bangunan monumental (BSN, 2012).

Penelitian yang dilakukan merupakan identifikasi dan evaluasi kerentanan bangunan yang dilakukan pada tahap awal yaitu berupa penilaian cepat atau *Rapid Visual Screening*, karena belum pernah dilakukan sebelumnya terutama pada bangunan sekolah di Kecamatan Pacitan.

Tata cara dalam evaluasi kerentanan bangunan sekolah ini mengacu pada *Federal Emergency Management Agency (FEMA) P-154* yang berupa metode *Rapid Visual Screening* sehingga dapat mengevaluasi dengan cepat tingkat risiko bangunan terhadap ancaman bencana gempa bumi. Hasil dari penelitian diharapkan dapat menjadi perhatian khusus untuk melakukan perawatan pada fasilitas sekolah yang tahan gempa.

2. Kajian Literatur

Bencana alam ialah suatu peristiwa yang tidak dapat dihindari dan diprediksi kapan terjadi. Definisi gempa bumi adalah

peristiwa terlepasnya energi yang terkumpul secara tiba-tiba dalam batuan yang mengalami deformasi menyebabkan terjadi getaran atau guncangan (Noor, 2014). Menurut Zulfiar dkk. (2014), ancaman bencana dikombinasikan dengan pertumbuhan di sektor konstruksi akan menimbulkan permasalahan kerentanan bangunan. Dampak akibat bencana alam terutama gempa bumi dapat dikurangi melalui upaya dari mitigasi bencana salah satunya dengan evaluasi kerentanan bangunan menggunakan metode *Rapid Visual Screening*. Menurut Fauzan (2012), gempa bumi tidak dapat diprediksi namun usaha meminimalisir kerusakan akibat yang ditimbulkan dapat dilakukan pada bangunan.

2.1 Kerentanan Bangunan Gedung

Kerentanan bangunan secara teknis umumnya disebabkan oleh topografi (lereng) yang berpotensi menyebabkan perbedaan penurunan dan menimbulkan getaran yang lebih besar dibandingkan dengan daerah daratan. Selain itu juga disebabkan oleh penggunaan material struktur yang digunakan untuk bangunan, serta tidak memadainya sistem struktur bangunan yang dimungkinkan tidak sesuai dengan kondisi kerawanan daerah. Dan yang terakhir adalah kurangnya perawatan pada bangunan (Zulfiar dkk., 2014)

2.2 Bangunan Tahan Gempa

Menurut Jingga (2015), bangunan tinggi sangat rentan terhadap pergerakan tanah kuat, sehingga dapat mengakibatkan keruntuhan mendadak.

Standar perencanaan ketahanan gempa menurut SNI 1726-2002 (BSN, 2012), mensyaratkan kriteria kinerja struktur terhadap gempa, diantaranya:

- a. Akibat gempa ringan, struktur bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada elemen strukturnya maupun pada elemen non struktural.
- b. Akibat gempa sedang, elemen struktural bangunan tidak boleh rusak tetapi elemen non strukturnya boleh mengalami kerusakan ringan, namun

struktur bangunan masih dapat dipergunakan.

- c. Akibat gempa besar, baik elemen struktural maupun elemen nonstruktural akan mengalami kerusakan, tetapi struktur bangunan tidak boleh runtuh.

2.3 FEMA (*Federal Emergency Management Agency*) P-154 2015

Menurut Zulfiar dan Jayady (2018), FEMA mengembangkan metode untuk mengetahui kerentanan suatu bangunan dengan melakukan pengamatan untuk menilai besarnya kerentanan bangunan terhadap gempa. Lalu hasil dari evaluasi dijadikan sebagai pedoman dalam upaya berikutnya sebagai langkah *Risk Reduction* terhadap ancaman gempa bumi yang akan terjadi.

Dalam *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) P-154 dijelaskan bahwa evaluasi kerentanan bangunan harus dilakukan. Menggunakan metode *Rapid Visual Screening* sebagai tahap pertama akan diperoleh *score* dengan batas *minimal score* sesuai dengan tipe bangunan. Dan apabila hasil dari RVS memperoleh *score* kurang dari *minimal score*, maka harus dilakukan evaluasi dengan secara detail berdasarkan pada FEMA 310 dan 356.

2.4 *Rapid Visual Screening* (RVS)

Rapid Visual Screening atau disingkat (RVS) adalah metode yang dikembangkan untuk mengidentifikasi. Digunakan untuk menginventarisir suatu bangunan yang berpotensi berbahaya *seismic* (FEMA P-154, 2015).

Metode survei lapangan dan formulir pengumpulan data berdasarkan pengamatan *visual* bangunan dari luar dan *interior*. Prosedur RVS bisa digunakan untuk memetakan kerentanan bangunan terhadap gempa di Indonesia. Hanya perlu penyesuaian untuk formulir yang dipakai sesuai dengan kondisi bangunan dan peraturan yang ada di Indonesia (Nuri dkk., 2014).

Komponen evaluasi *Rapid Visual Screening* pada FEMA P-154 diantaranya adalah seismisitas lokasi pengamatan,

kategori/tipe hunian, jenis/tipe tanah, elemen struktural dan berbahaya jatuh (*elemen falling hazard*), karakteristik/tipe bangunan, jumlah lantai, *vertical Irregularity*, *plan Irregularity*, *code* saat pembangunan, *score*.

Menurut Amir (2012), *Rapid Visual Screening* berdasarkan FEMA merupakan evaluasi tahap awal dalam menilai kerentanan bangunan terhadap gempa, untuk hasilnya berupa rekomendasi untuk tindaklanjut oleh pemilik bangunan supaya dilakukan evaluasi lebih rinci.

Pada *skoring* untuk hasil akhir sebelum disimpulkan apabila nilai *S* menunjukkan lebih besar dari *minimum score* maka bangunan dinyatakan aman dari risiko rentan terhadap gempa, dan apabila nilai *S* lebih kecil dari *minimum score* maka bangunan dinilai rentan dan direkomendasikan untuk dicek kembali menggunakan tata cara FEMA 310.

Score S_{LI} didapatkan dari tipe bangunan yang telah diketahui yang memiliki *basic score* kemudian nilai dikurangi dengan tingkat kesalahan atau potensi bangunan yang rentan terhadap gempa. *Score S_{LI}* selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan *Final Score* dengan persamaan 1 untuk mendapatkan potensi kerentanan.

$$\text{FINAL SCORE (S)} = \frac{1}{10^{S_{LI}}} \dots \dots \dots (1)$$

3. Metodologi Penelitian

Bangunan sekolah termasuk dalam kategori risiko IV (risiko tinggi), setara dengan bangunan rumah sakit, monumental, pusat pembangkit listrik dan fasilitas pemadam kebakaran. Dalam penelitian ini pengolahan data menggunakan formulir yang telah disediakan pada FEMA P-154.

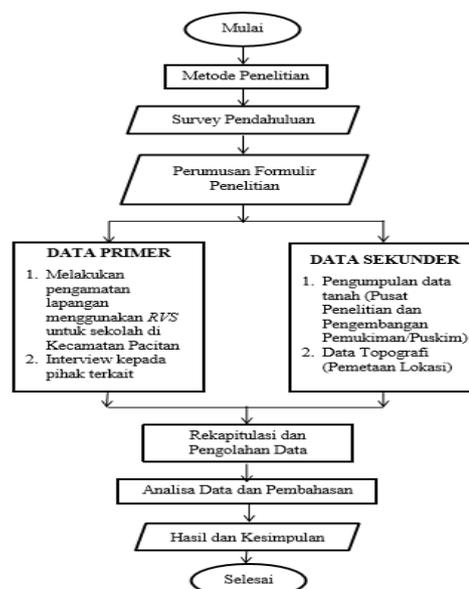
Penelitian ini hanya dilakukan di Kabupaten Pacitan tepatnya Sekolah yang berada di Kecamatan Pacitan, Provinsi Jawa Timur. Sekolah ini tersebar di seluruh Kecamatan Pacitan. Penelitian dilakukan pada 10 buah Sekolah Negeri dari Sekolah Dasar, Menengah Pertama, Menengah Atas, Menengah Kejuruan milik negara yang terdapat di Kecamatan Pacitan. Nama sekolah pada lokasi penelitian ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Daftar Sekolah Penelitian di Kecamatan Pacitan

No	Nama Sekolah	Desa
1	SMP Negeri 1 Pacitan	Baleharjo
2	SMP Negeri 2 Pacitan	Baleharjo
3	SMP Negeri 3 Pacitan	Pojok
4	SMA Negeri 1 Pacitan	Ploso
5	SMK Negeri 1 Pacitan	Ploso
6	SD Negeri Baleharjo 1	Baleharjo
7	SD Negeri Ploso	Ploso
8	SD Negeri Baleharjo 2	Baleharjo
9	SD Negeri Pacitan	Gantung
10	SD Negeri Bangunsari	Bangunsari

Untuk melakukan pengisian formulir RVS dalam FEMA P-154 2015 diperlukan pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer meliputi pengamatan langsung dan wawancara serta pengambilan gambar sekolah di lapangan menggunakan kamera.

Data primer yang diamati meliputi penyimangan bangunan dari tampak struktur horizontal dan vertikal, jenis struktur bangunan, faktor arsitektural dan kerusakan struktur. Dan data sekunder berupa gambar rencana, data tanah, detil elemen struktur, data pembangunan dan sejarah renovasi atau kerusakan. Penelitian yang dilakukan dapat ditunjukkan menggunakan alur penelitian, dapat ditunjukkan dengan gambar dibawah ini.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Berikut lokasi penelitian yang akan dievaluasi, dapat ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

4. Hasil Penelitian

Dari hasil pengamatan dan survei langsung diperoleh data singkat sekolah yang akan di evaluasi, diantaranya sebagai berikut:

- a. SMP Negeri 1 Pacitan (Gambar 4.1), alamat: Jl. A. Yani No.41 Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur 63511.
- b. SMP Negeri 2 Pacitan (Gambar 4.2), alamat: Jl. Ahmad Yani No. 3, Krajan, Pacitan, Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur 63511.
- c. SMP Negeri 3 Pacitan (Gambar 4.3), alamat: Jl. Mayjend Sutoyo No.54, Pojok, Sidoharjo, Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur 63518.
- d. SMA Negeri 1 Pacitan (Gambar 4.4), Jl. Letjend R. Suprpto No.49, Ploso, Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur 63515.
- e. SMK Negeri 1 Pacitan (Gambar 4.5), Jl. Letjend Soeprpto No.53, Baraan,

Ploso, Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur 63515.

- f. SD Negeri Baleharjo 1 (Gambar 4.6), Jl. Ahmad Yani No.43, Krajan, Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur 63511.
 - g. SD Negeri Ploso 1 Pacitan (Gambar 4.7), Barehan, Ploso, Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur 63515.
 - h. SD Negeri Baleharjo 2 Pacitan (Gambar 4.8), Jl. A. Yani No.45, Krajan, Pacitan, Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur 63511.
 - i. SD Negeri Pacitan (Gambar 4.9), Jl. Brigjend Katamso No.17, Gantung, Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur 63512.
 - j. SD Negeri Bangunsari (Gambar 4.10), Jl Yos Sudarso No. 41 Bangunsari, Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur 63518.
- (Sumber://http.dapo.dikdasmn.kemen dikbud.go.id/sekolah//)



Gambar 3. SMP Negeri 1 Pacitan



Gambar 4. SMP Negeri 2 Pacitan



Gambar 5. SMP Negeri 3 Pacitan



Gambar 6. SMA Negeri 1 Pacitan



Gambar 7. SMK Negeri 1 Pacitan



Gambar 8. SDN Baleharjo 1



Gambar 9. SD Negeri Ploso 1



Gambar 10. SDN Baleharjo 2



Gambar 11. SD Negeri Pacitan



Gambar 12. SD Negeri Bangunsari

Setelah melakukan pengamatan langsung ke lapangan dan memperoleh data primer dan sekunder, maka selanjutnya dilakukan penilaian kerentanan menggunakan formulir FEMA P-154 2015.

Formulir penilaian ditentukan berdasarkan kondisi seismisitas lokasi. Data *desain spectra* yang digunakan untuk

memperoleh formulir yang sesuai didapat dengan cara mencari koordinat bangunan sekolah, kemudian diinput ke *website* Pusat Penelitian Pengembangan Pemukiman (http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_Spektra_indonesia_2011) sehingga diperoleh nilai S_s rata-rata sebesar 1,043 dan nilai S_1 dengan rata-rata 0,422. Dari nilai S_s dan S_1 tersebut

menunjukkan lokasi penelitian berada pada kategori “*High Seismicity*”.

Tabel 2. Lokasi Seismisitas dengan Akselerasi Respon Spektrum

Lokasi Seismisitas	Parameter respon spektral S_s (Untuk perioda pendek)	Parameter respon spektral S_1 (untuk perioda 1,0 detik)
(low)	$S_s \leq 0,250 \text{ g}$	$S_1 \leq 0,100 \text{ g}$
(moderate)	$0,250 \text{ g} \leq S_s \leq 0,500 \text{ g}$	$0,100 \text{ g} \leq S_1 \leq 0,200 \text{ g}$
(moderate high)	$0,50 \text{ g} \leq S_s \leq 1,00 \text{ g}$	$0,20 \text{ g} \leq S_1 \leq 0,400 \text{ g}$
(high)	$1,00 \text{ g} \leq S_s \leq 1,50 \text{ g}$	$0,40 \text{ g} \leq S_1 \leq 0,60 \text{ g}$
(very high)	$S_s \geq 1,50 \text{ g}$	$S_1 \geq 0,600 \text{ g}$

Sumber : FEMA P-154 (2015)

Selanjutnya dilakukan pengisian formulir FEMA P-154 2015 kategori *High Seismicity*

1. Tipe Bangunan (*Building type*)

Hasil peninjauan di 10 titik lokasi penelitian didapatkan data bahwa seluruh bangunan memiliki kategori yang berbeda diantaranya kategori C1 (bangunan rangka beton tahan gempa), C3(bangunan rangka beton dengan pengisi batu bata tidak diperkuat) dan URM (bangunan dinding bata yang tidak diperkuat). Berdasarkan pengamatan lapangan juga terdapat bangunan sekolah yang memiliki bangunan terpisah, hanya SD Negeri pacitan, SD Negeri Ploso dan SMP 1 Pacitan yang memiliki 1 gedung yang menyatu, sedangkan selain itu memiliki gedung yang terpisah. Sehingga dari 10 sekolah yang dievaluasi keseluruhan berjumlah 23 gedung.

2. Jumlah lantai (*Number of Stories*)

Bangunan sekolah dalam penelitian mayoritas memiliki 2 lantai bangunan, hanya 2 sekolah yaitu SD Negeri Bangunsari dan SD Baleharjo 1 yang berjumlah 1 lantai untuk keseluruhan bangunan.

3. Ketidakberaturan Vertikal Pada Bangunan (*Vertical Irregularity*)

Keseluruhan bangunan dalam penelitian berada pada tanah datar, sehingga tidak satupun bangunan yang berada pada kategori bangunan dengan ketidak beraturan vertikal yaitu tipe *sloping site*.

Vertical irregularity yang menjadi faktor menyimpang dari bangunan ketika dilakukan pengamatan terdapat sekolah yang memiliki *split levels* pada lantai dan atap, serta adanya *soft story* dimana lantai dasar digunakan sebagai tempat parkir dan bangunan di atasnya digunakan sebagai ruang kelas. Selain itu terdapat juga penyimpangan bangunan berupa *out of plane set back* yang menunjukkan bangunan pada suatu lantai tidak selaras secara vertikal dengan sistem penahan gaya *seismic* di atas atau di bawahnya. Dari 10 sekolah, hanya 4 sekolah yang tidak memiliki *vertical irregularity*. Keempat sekolah tersebut diantaranya SMA Negeri 1 Pacitan, SD Negeri Baleharjo 1, SD Negeri Ploso, dan SD Bangunsari.

4. Ketidakberaturan Horisontal Bangunan / Denah (*Plan Irregularity*)

Dari hasil evaluasi bangunan sekolah di kecamatan Pacitan mayoritas dilengkapi fasilitas berupa tanah/lahan lapang yang difungsikan untuk kegiatan upacara ataupun kegiatan olahraga. Sehingga keseluruhan bangunan sekolah yang dievaluasi memiliki kondisi *plan irregularity*. Bangunan sekolah yang dievaluasi memiliki *U-shaped*, *L-Shaped*, *T-Shaped* dan *Rectangle-Shaped*.

5. Elemen bahaya jatuh (*Falling Hazard*)

Bangunan sekolah yang dievaluasi terdapat beberapa bahaya dari elemen non-struktural. Hampir diseluruh sekolah memiliki elemen bangunan seperti hiasan gantung yang berupa LCD untuk mendukung pengajaran serta selain itu terdapat lapisan atap berupa *plafond* yang apabila terjadi gempa atau guncangan dapat berbahaya bagi penghuni bangunan atau orang yang lewat. Selain itu juga terdapat kanopi yang terbuat dari kayu dan asbes pada area sekolah yang membahayakan bagi keselamatan hidup

penghuni apabila terjadi gempa secara mendadak.

6. Tahun Pembangunan

Secara keseluruhan bangunan sekolah yang berada di Kecamatan Pacitan tergolong *Post-benchmark*, karena telah diperhitungkan pembebanan gempa dalam sebuah perencanaan sekolah tersebut. Walaupun mayoritas dibangun sebelum tahun 1971 namun keseluruhan sekolah sudah dilakukan renovasi setelah tahun 1992.

7. Jenis tanah

Menurut Wibowo (2018), dari hasil penelitian Interpretasi Lapisan Sedimen berdasarkan *Ground Profile Vs* dengan Pengukuran Mikrometer di Kecamatan Pacitan pada analisa *ground profile Vs*, Kota Pacitan berada di Formasi Aluvial dengan nilai *Vs* bervariasi dari 153,11 m/s (Formasi Aluvium) sampai 1393,48 m/s (Formasi Batuan Terobosan Andesit). Dengan nilai *Vs* pada tanah penutup Formasi Aluvium yang bervariasi dari 153,11 – 401,69 m/s menunjukkan bahwa Kota Pacitan berada pada tanah penutup berupa tanah lunak. Disesuaikan dengan SNI 1726-2012 (BSN, 2012).

8. Final Score (S)

Nilai *S* didapatkan dari nilai dasar struktur terhadap bencana (*basic score*) dan nilai faktor pengurang seperti adanya *vertical irregularity*, *plan irregularity*, *pre-code*, *post-benchmark*, dll. Nilai akhir (*final score*) adalah estimasi sebuah kemungkinan gedung akan mengalami keruntuhan apabila mengalami pergeseran atau pergerakan dari dasar tanah terjadi.

Dari *final score* yang telah diperoleh menurut FEMA P-154 2015 kondisi struktur bangunan sekolah dikatakan aman atau lolos dalam menerima pergerakan dasar tanah berupa gempa apabila *final score* dari penilaian cepat (*Rapid Visual Screening*) lebih besar dari *minimum score* yang ada pada masing-masing jenis bangunan. Untuk bangunan sekolah yang dievaluasi memiliki *minimum score* yaitu 0,3 bangunan C1 dan C3 dan 0,2 untuk bangunan URM. Apabila

terdapat *final score* yang kurang dari *minimum score* maka disyaratkan untuk dilakukan perhitungan ulang atau lebih detail untuk memastikan kondisi bangunan yang lebih konkrit.

Ringkasan *score* setelah evaluasi *RVS* dapat ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Ringkasan *score* evaluasi *RVS*

No	Nama Sekolah	Kode	Score
1	SMP Negeri 1 Pacitan	SMP1	2,3
2	SMP Negeri 2 Pacitan	SMP2A SMP2B	0,9 0,4
3	SMP Negeri 3 Pacitan	SMP3A SMP3B SMP3C	3,4 0,8 0,8
4	SMA Negeri 1 Pacitan	SMP3D SMP3E SMA1A SMA1B SMA1C	2,3 0,8 2,8 3,4 0,4
5	SMK Negeri 1 Pacitan	SMK1A SMK1B SMK1C	2,3 0,9 0,8
6	SD Negeri Baleharjo 1	SDBL1A SDBL1B SDBL1C	0 0,8 0,8
7	SD Negeri Ploso 1	SDPLOS O	2,8 0
8	SD Negeri Baleharjo 2	SDBL2A SDBL2B	0,1 2,3
9	SD Negeri Pacitan	SDPCT	2,3
10	SD Negeri Bangunsari	SDBA SDBB	0 0,4

5. Diskusi

Adapun langkah selanjutnya adalah analisis *final score*, hal tersebut digunakan untuk mengetahui presentase potensi kerentanan dari bangunan yang ditinjau. Secara keseluruhan terdapat 23 gedung, hal tersebut dikarenakan terdapat masing-masing sekolah memiliki bangunan yang terpisah.

Setelah didapat *final score* selanjutnya melakukan analisis menggunakan persamaan yang terdapat pada Persamaan 1 ($S = \frac{1}{10^{SL1}}$) untuk mendapatkan presentase potensi kerentanan. Berikut tabel 4 untuk hasil analisis *final score*.

Tabel 4. Hasil Analisis Potensi Kerentanan

Nomer Bangunan	S	$\frac{1}{10^S}$	Potensi Kerentanan (%)
1	2,3	0,0050	0,50
2	0,9	0,1259	12,59
	0,4	0,3981	39,81
	3,4	0,00039	0,04
3	0,8	0,1584	15,85
	0,8	0,1584	15,85
	2,3	0,0050	0,50
	0,8	0,1584	15,85
4	2,8	0,0016	0,16
	3,4	0,00039	0,04
	0,4	0,3981	39,81
5	2,3	0,0050	0,50
	0,9	0,1259	12,59
	0,8	0,1584	15,85
6	0,2	1,585	63,09
	0,8	0,1584	15,85
	0,8	0,1584	15,85
7	2,8	0,0016	0,16
8	0,1	0,7943	79,43
	2,3	0,0050	0,50
9	2,3	0,0050	0,50
10	0,2	1,585	63,09
	0,4	0,3981	39,81
Rata-rata	1,4	0,1949	19,49

Dari Tabel 4 di atas maka dapat dibaca sebagai berikut:

- Bangunan C1 (*concrete*) dari SMP Negeri 1 Pacitan memiliki nilai *S* sebesar 2,3 dengan potensi kerentanan sebesar 0,50%, dapat diartikan 0,50% bangunan tersebut rentan terhadap gempa atau potensi roboh apabila terjadi guncangan atau gempa.
- Bangunan C1 dari SMP Negeri 2 Pacitan memiliki dua gedung dengan nilai *S* sebesar 0,9 dan 0,4 dengan masing-masing kerentanan sebesar 12,59% dan 39,81 % dapat diartikan kedua gedung pada bangunan sekolah tersebut dinyatakan rawan terhadap risiko gempa berdasarkan FEMA P-154 2015.
- Bangunan C1 dan URM (*Unreinforced Masonry Infill*) dari SMP Negeri 3 Pacitan memiliki 5 gedung terpisah dengan gedung 1 dan 4 merupakan bangunan kategori C1 dan gedung 2,3 dan 5 merupakan bangunan kategori URM. Dengan nilai *S* masing-masing yaitu 3,4 untuk gedung 1, 0,8 untuk nilai *S* gedung 2,3 dan 5, dan 2,3 nilai *S* gedung 4. Masing-masing kerentanan sebesar 0,04% untuk gedung 1, 15,85% kerentanan gedung 2,3 dan 5. Dan 0,50% potensi kerentanan gedung 4. Diartikan bangunan sekolah SMP Negeri 3 untuk gedung 2,3 dan 5 rentan terhadap resiko gempa berdasarkan FEMA P-154 2015 karena potensi kerentanan yang lebih dari 10% yaitu 15,85%.
- Bangunan C1 dan URM dari SMA Negeri 1 Pacitan memiliki 3 gedung terpisah dengan tipe bangunan C1 untuk gedung 1 dan 2, serta tipe bangunan URM untuk gedung 3. Nilai *S* sebesar 2,8, 3,4 dan 0,4 dan masing-masing kerentanan bangunan sebesar 0,15%, 0,04% dan 39,81% diartikan terdapat bangunan SMA Negeri 1 Pacitan yaitu gedung 3 rentan terhadap risiko gempa bumi berdasarkan FEMA P-154 2015 dan berpotensi roboh.
- Bangunan C1, C3 dan URM dari SMK Negeri 1 Pacitan memiliki 3 gedung terpisah dengan masing-masing nilai *S* sebesar 2,3 untuk tipe bangunan C1 gedung 1, 0,9 untuk bangunan C3 gedung 2 dan 0,8 untuk bangunan URM gedung 3 dan masing-masing kerentanan bangunan sebesar 0,50%, 12,59% dan 15,85%. Dapat diartikan dua gedung pada sekolah rentan terhadap gempa bumi atau berpotensi roboh berdasarkan FEMA P-154 2015.
- Bangunan URM dari SD Negeri Baleharjo 1 memiliki 3 gedung terpisah dengan masing-masing nilai *S* sebesar 0 dan 0,8 untuk gedung 2 dan 3. Dan potensi kerentanan bangunan sebesar 100% dan 15,85% diartikan seluruh bangunan pada sekolah rentan terdapat gempa dan berpotensi roboh apabila terjadi gempa yang cukup besar, terutama gedung 1 yang memiliki potensi kerentanan sebesar 100%.
- Bangunan C1 dari SD Negeri Ploso memiliki nilai *S* sebesar 2,8 dengan potensi kerentanan sebesar 0,16% atau dinyatakan bangunan aman terhadap risiko gempa berdasarkan FEMA P-154 2015.
- Bangunan C3 dan C1 dari SD Baleharjo 2 memiliki 2 gedung terpisah dengan nilai *S*

sebesar 0,1 untuk gedung 1 dan 2,3 untuk gedung 2. Dengan potensi kerentanan bangunan sebesar 79,43% dan 0,5% atau dinyatakan bangunan rentan terhadap risiko gempa berdasarkan FEMA P-154 2015 karena memiliki potensi kerentanan hingga 79,43%.

9. Bangunan C1 dari SD Negeri Pacitan memiliki nilai S sebesar 2,3 dengan potensi kerentanan bangunan sebesar 0,50% atau dinyatakan bangunan aman terhadap gempa berdasarkan FEMA P-154 2015.
10. Bangunan URM (*Unreinforced Masonry Infill*) SD Negeri Bangunsari memiliki 2 gedung terpisah dengan masing-masing nilai S sebesar 0,2 dan 0,4 dan potensi kerentanan bangunan sebesar 63,09% untuk gedung 1 dan 39,81% atau dinyatakan bangunan rentan terhadap gempa atau berpotensi roboh apabila terjadi gempa besar menurut FEMA P-154 2015.
11. Rata-rata bangunan sekolah di Kecamatan Pacitan memiliki nilai S sebesar 1,4 dengan potensi kerentanan bangunan sebesar 19,49% dapat diartikan bangunan sekolah di Kecamatan Pacitan rawan sekali terhadap potensi gempa yang akan terjadi, terdapat dua bangunan sekolah yaitu SD Negeri Baleharjo 1 dan SD Negeri Bangunsari yang memiliki potensi kerentanan sebesar 63,09%. Dan menjadi perhatian khusus untuk sekolah dengan tahun pembuatan sebelum peraturan kegempaan belum disesuaikan. Secara keseluruhan bangunan sekolah di Kecamatan Pacitan dengan evaluasi menggunakan metode *RVS (Rapid Visual Screening)* berdasarkan FEMA P-154 dinyatakan rawan dari risiko gempa dan diperlukan peninjauan lebih detail untuk sekolah yang dibangun sebelum adanya peraturan pembebanan gempa. Terutama bangunan dengan tipe URM (*Unreinforced Masonry Infill*).

Menurut analisis FEMA P-154 2015 menunjukkan terdapat 3 tipe bangunan sesuai hasil *survey* yaitu tipe C1, C3 dan URM yang kemudian *score* dari setiap tipe bangunan dirata-rata untuk mendapatkan nilai kerentanan

dengan menggunakan Persamaan 1 dan berikut hasil analisis dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Analisis Potensi Kerentanan Berdasarkan Kategori Bangunan

No.	Kategori Bangunan	Score Rata-Rata	$\frac{1}{10^S}$	Potensi Kerentanan (%)
1	C1	2,29	0,00151	0,15
2	C3	0,50	0,21715	21,72
3	URM	0,6	0,21733	21,73

Dari tabel 5 diatas maka dapat dibaca sebagai berikut:

1. Bangunan sekolah kategori C1 di Kecamatan Pacitan memiliki nilai S rata-rata sebesar 2,29 dengan potensi 0,15% diartikan bangunan sekolah di Kecamatan Pacitan dengan kategori C1 (*Concrete 1*) aman terhadap risiko gempa bumi dengan metode *Rapid Visual Screening (RVS)* berdasarkan FEMA P-154 2015 dan tidak diperlukan peninjauan lebih detail. Dikarenakan tipe bangunan C1 pada bangunan sekolah di Kecamatan Pacitan merupakan tipe yang baik untuk bangunan ketika terjadi gempa yang sesuai dengan prinsip bangunan tahan gempa.
2. Bangunan sekolah kategori C3 di Kecamatan Pacitan memiliki nilai S sebesar 0,50 dengan potensi kerentanan sebesar 22,28% dapat diartikan bangunan sekolah di Kecamatan Pacitan dengan kategori C3 (*Concrete 3*) rentan terhadap gempa dan memiliki potensi runtuh bangunan apabila terjadi gempa besar. Berdasarkan FEMA P-154 2015 bangunan dengan kategori C3 dapat berjalan dengan baik apabila dikondisi gempa dengan kekuatan sedang. Dan faktor penyimpangan yang terdapat pada bangunan diminimalisir sehingga *score* menjadi besar.
3. Bangunan sekolah dengan kategori URM (*Unreinforced Masonry Infill*) memiliki nilai S sebesar 0,6 dengan potensi kerentanan 21,73% dapat diartikan bangunan sekolah di Kecamatan Pacitan rentan terhadap risiko potensi gempa yang dapat menyebabkan roboh pada bangunan

sekolah apabila terjadi gempa besar. Berdasarkan FEMA P-154 2015 bangunan dengan kategori URM memiliki kinerja konstruksi yang buruk karena tidak adanya perkuatan pada sambungan bangunan. Dan faktor penyimpangan yang ada pada bangunan menjadi faktor pengurang *basic score* serta masih kurangnya pengetahuan dari tenaga ahli perencanaan di bidang struktur untuk bangunan sekolah tersebut.

Menurut Analisis juga terdapat potensi kerentanan terhadap bangunan berdasarkan penyimpangan bangunan yaitu *Vertical Irregularity* dan *Plan Irregularity* hal tersebut dapat dijelaskan pada tabel 6.

Tabel 6. Analisis Potensi Kerentanan Berdasarkan Penyimpangan Bangunan

No.	Penyimpangan Bangunan	Jumlah Bangunan	Potensi Kerentanan (%)
1	Vertical Irregularity		
	a. <i>Sloping Site</i>	0	0
	b. <i>Soft Story</i>	1	4,35
	c. <i>Out-of-plane setback</i>	1	4,35
	d. <i>In plane setback</i>	0	0
	e. <i>Short Columns</i>	0	0
	f. <i>Split level</i>	9	39,13
2	Plan Irregularity		
	a. <i>Torsion</i>	0	0
	b. <i>Non Parallel system</i>	0	0
	c. <i>Reentrant Corners</i>	10	43,48
	d. <i>Diaphragma Openings</i>	0	0
	e. <i>Beams Do Not Align With Columns</i>	0	0

Dari tabel 6 diatas maka dapat dibaca sebagai berikut:

1. Bangunan sekolah yang memiliki penyimpangan berupa *Vertical Irregularity* kategori *Split Levels* memiliki potensi kerentanan sebesar 39,13%, atau hal tersebut adalah penyebab besar bangunan bisa berisiko roboh.
2. Dan pada penelitian ini seluruh sekolah memiliki faktor *Plan Irregularity* kategori *Reentrant Corners* sehingga di dapat potensi kerentanan sebesar 43,38%. Dari *vertical irregularity* dan *plan irregularity* tersebut membuat sekolah sangat berisiko terhadap gempa bumi.

6. Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi dan analisis menggunakan *Rapid Visual Screening* untuk bangunan sekolah di Kecamatan Pacitan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Bangunan sekolah memiliki faktor yang menyebabkan bangunan rentan terhadap gempa ditunjukkan dengan adanya penyimpangan seperti *vertical irregularity*, *plan irregularity* yang menjadi faktor pengurang nilai *basic score*. Selain itu dua bangunan sekolah yang dibangun pada saat belum adanya acuan atau *code* peraturan kegempaan dan masih kurangnya tenaga ahli yang memiliki keahlian dalam perencanaan pada bidang struktur terutama untuk bangunan sekolah.
2. Rata-rata bangunan sekolah di Kecamatan Pacitan memiliki nilai *S* sebesar 1,38 dengan potensi kerentanan bangunan sebesar 19,49% diartikan bangunan sekolah di Kecamatan Pacitan rawan terhadap potensi gempa yang akan terjadi, terdapat dua bangunan sekolah yaitu SD Negeri Baleharjo 1 dan SD Negeri Bangunsari yang memiliki potensi kerentanan sebesar 63,09% dan berpotensi roboh apabila terjadi gempa besar. Untuk menjadi perhatian khusus sekolah dan pemerintah dengan tahun pembuatan sebelum peraturan kegempaan belum disesuaikan membuat sekolah harus dievaluasi lebih mendetail.
3. Secara keseluruhan bangunan sekolah milik di Kecamatan Pacitan dengan evaluasi menggunakan metode *RVS (Rapid Visual Screening)* berdasarkan FEMA P-154 dinyatakan berisiko terhadap kerentanan gempa dan diperlukan peninjauan lebih detail. Karena tipe bangunan yang berbeda-beda mulai tipe C1, C3 dan URM yang digunakan pada bangunan sekolah di Kecamatan Pacitan merupakan tipe bangunan yang memiliki kinerja konstruksi yang berbeda untuk menjadi bangunan tahan gempa. Namun perlunya evaluasi secara berkala oleh pemerintah agar seluruh kondisi dan fasilitas sekolah tetap terjaga.
4. Disimpulkan akibat adanya penyimpangan bangunan berupa *Split Levels* dan

Reentrant Corners membuat gedung sekolah rentan terhadap risiko gempa yang dapat menyebabkan keruntuhan. Dan kedua penyimpangan bangunan tersebut adalah faktor yang membuat bangunan berisiko terhadap gempa.

Daftar Pustaka:

- Amir, F., 2012, *Evaluasi Kerentanan Bangunan Gedung Terhadap Gempa Bumi Dengan Rapid Visual Screening (RVS) Berdasarkan FEMA 154*, Jurnal Infrastruktur, 2(1), 9-15.
- Bawono., A. S., 2016, *Studi Kerentanan Bangunan Akibat Gempa : Studi Kasus Perumahan di Bantul*, Jurnal Ilmiah Semesta Teknik, 19(1), 90-97.
- BSN, 2012, SNI 1726-2012: *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Christanto, J., 2011, *Gempa Bumi, Kerusakan Lingkungan, Kebijakan dan Strategi Pengelolaan*. Penerbit Liberty, Yogyakarta.
- Dikdasmen, 2015, *Data Pokok Pendidikan Dasar dan Menengah*. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah. (<http://dapo.dikdasmen.kemendikbud.go.id/sekolah/>).
- Faizah, R., dan Syamsi, M.I., 2017, *Asesmen Cepat Kerentanan Bangunan Sekolah Muhammadiyah Terhadap Gempabumi di Kecamatan Kasihan Bantul DIY*, Jurnal Ilmiah Semesta Teknik, 2(2), 164-171.
- Fauzan, 2012, *Analisis Metode Pelaksanaan Retrofitting Pada Bangunan Sederhana*. Jurnal Rekayasa Sipil, 8(1), 11-20.
- Federal Emergency Management Agency. 2015. *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazard: A Handbook (FEMA 154 Edition 3)*.
- Jingga, H., Suryanita, R., dan Yuniarto E., 2015, *Respons Struktur Bangunan Berdasarkan Spektra Gempa Indonesia Untuk Ibukota Provinsi di Pulau Sumatra*, Annual Civil Engineering Seminar, Pekanbaru, 21 November 2015, 111-116.
- Nuri, F. A., Aji, P., dan Wahyuni., E., 2014, *Studi Literatur Rapid Visual Screening Untuk Mengetahui Potensi Kerentanan Bangunan Terhadap Bahaya Gempa*, Jurnal Teknik Pomits, 1(1), 1-6.
- Noor, D., 2014, *Penangantar Mitigasi Bencana Geologi*. Deepublish Yogyakarta.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No 21 Tahun 2007, *Pedoman Penataan Ruang Kawasan Letusan Gunung Api dan Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi*.
- Puskim, 2011, *Desain Spektra Indonesia*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman – Kementerian Pekerjaan Umum. PPMB – ITB, Bandung. (http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/).
- Supartoyo, dan Surono. 2009. *Kegempaan di Wilayah Jawa Barat dan Kejadian Gempa bumi Jawa Barat Selatan Tanggal 2 September 2009*. Jurnal Gunungapi dan Mitigasi Bencana Geologi, 1(2).
- Soehaimi, A., 2008. *Seismotektonik dan Potensi Kegempaan Wilayah Jawa*, *Jurnal Geologi Indonesia*, 3(4), 227-240.
- Wibowo, N.B., Sembri, J.N., Darmawan, D., Sumardi, Yosfat., Afriliani, F., dan Mahmudah, S., 2018, *Intepretasi Lapisan Sedimen berdasarkan Ground Profile Vs dengan Pengukuran Mikrometer di Kecamatan Pacitan*. Indonesian Journal of Applied Physics, 8(1), 32-42.
- Zulfiar, M. H., Tamin, R. Z., Pribadi K. S., dan Imran, I., 2014, *Identifikasi faktor Dominan Penyebab Kerentanan Bangunan Di Daerah Rawan Gempa Provinsi Sumatra Barat*, Jurnal Ilmiah Semesta Teknik, 17(2), 116-125.

- Zulfiar, M.H., Jayady, A., dan Saputra, N.R.J., 2018, *Kerentanan Bangunan Rumah Cagar Budaya Terhadap Gempa di Yogyakarta*, Jurnal Karkasa, 4(1), 1-7.
- Zulfiar, M.H., dan Jayady, A., 2018, *Kajian Kerentanan Pada Sektor Konstruksi Dalam Pengurangan Risiko Bencana Gempa Bumi*, Jurnal Karkasa, 4(1), 1-7.