

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) Republik Indonesia, selama periode 2010 – 2021 wilayah Indonesia mengalami gempa bumi sebanyak 413 kejadian. Akibat gempa bumi tersebut, sebanyak 5094 orang dinyatakan meninggal dunia, 708 orang hilang, 24810 orang terluka dan lebih dari 472180 rumah rusak (<https://gis.bnpb.go.id/>). Timbulnya korban jiwa, dan terluka disebabkan oleh adanya kerusakan bangunan yang kemudian menimpa orang yang tinggal di dalamnya. Salah satu upaya mitigasi bencana gempa bumi adalah membangun bangunan dengan konstruksi yang mampu menahan beban gempa sesuai dengan standar yang berlaku.

Perencanaan struktur bangunan tahan gempa harus memenuhi tiga kriteria yaitu (a) mampu menahan gempa ringan tanpa mengalami kerusakan, (b) mampu menahan gempa sedang dengan hanya mengalami kerusakan pada elemen non-struktural, dan (c) mampu menahan gempa besar tanpa terjadi keruntuhan bangunan (Erdik et al., 2018). Untuk menjamin ketiga kriteria tersebut dipenuhi, perencanaan bangunan gedung pada wilayah rawan gempa harus berpedoman pada standar peraturan bangunan tahan gempa. Perkembangan peraturan bangunan tahan gempa di Indonesia pertama kali dibuat pada tahun 1965 dan yang terbaru adalah SNI 1726:2019 (Nugroho et al., 2022).

Peraturan-peraturan perencanaan bangunan tahan gempa di berbagai negara seperti ASCE 7-16, Euro Code 8, Building Standart Law of Japan dan Standart Nasional Indonesia, secara umum memiliki kriteria sama. Kriteria tersebut adalah tegangan, simpangan antar lantai (*inter story drift*) dan daktilitas struktur dimana nilainya tidak boleh melebihi batasan maksimal yang telah ditetapkan (Erdik et al., 2018). Kriteria tegangan menetapkan batasan berdasarkan kekuatan material yang digunakan, sedangkan simpangan antar lantai dan daktilitas merupakan batasan berdasarkan kekakuan struktur untuk mengamankan aset bangunan dari kerusakan yang berlebihan pada elemen non struktural akibat guncangan gempa.

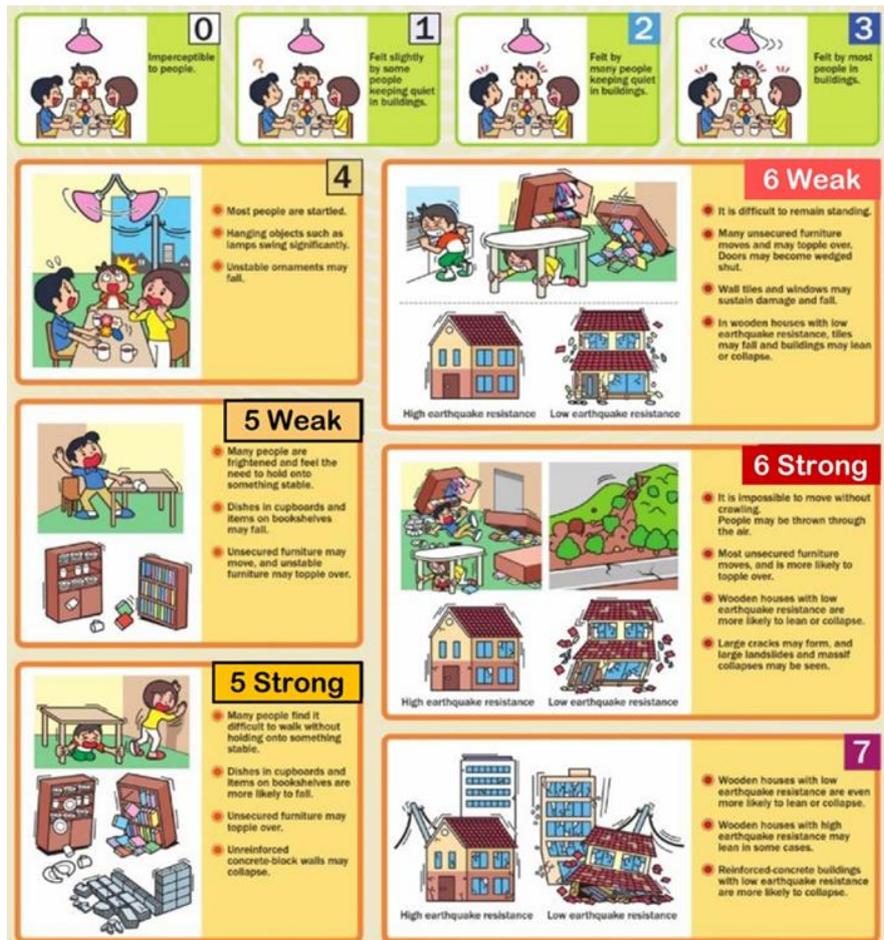
Besarnya gaya gempa yang bekerja pada struktur bangunan sangat dipengaruhi oleh nilai koefisien akselerasi gempa (S_a) (Badan Standarisasi Nasional, 2019). Semakin tinggi nilai S_a menandakan semakin besar intensitas guncangan yang terjadi pada struktur

bangunan. Hal ini akan menimbulkan semakin tinggi potensi tingkat kerusakan yang ditimbulkan akibat guncangan gempa. Berdasarkan hal tersebut, maka besarnya intensitas guncangan akibat gempa perlu diukur menggunakan skala pengukuran yang tepat.

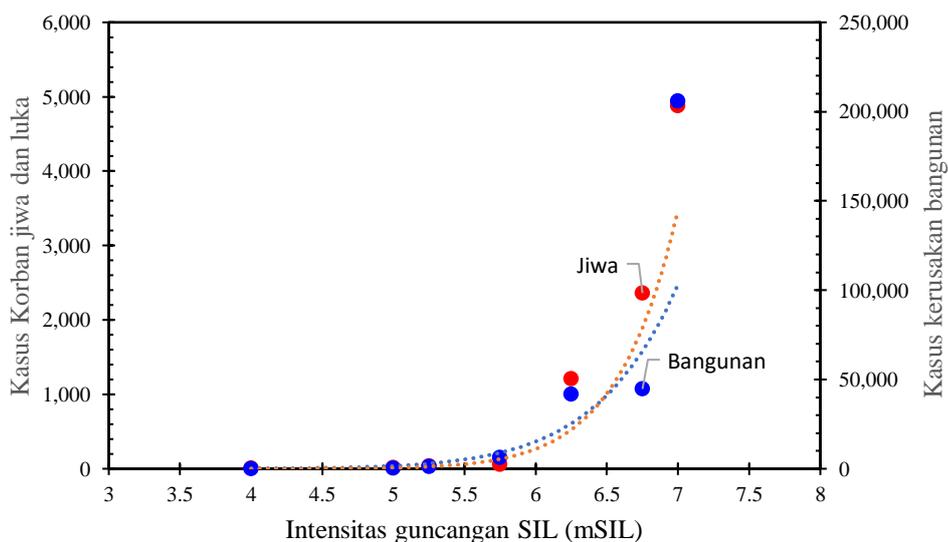
Pengukuran skala intensitas guncangan akibat gempa yang umum dijadikan acuan adalah *European Macroseismic Scale* (EMS) (Schwarz et al., 2002), *Chinese Seismic Intensity Scale* (CSIS) (Li et al., 2020), *Modified Mercalli Intensity* (MMI) (Wood and Neumann, 1931; Brady, 1975), dan *Seismic Intensity Level* (SIL) (Brady, 1975; JMA, 1996). Metode SIL memperhitungkan akselerasi dan periode guncangan gempa untuk menentukan level intensitas guncangan gempa (Sakai, 2018). Berdasarkan data rekaman riwayat waktu gempa di Jepang menunjukkan bahwa besarnya intensitas guncangan tidak hanya dipengaruhi oleh akselerasi maksimum yang terjadi di permukaan tanah, tetapi juga dipengaruhi oleh periode guncangan gempa (<https://www.kyoshin.bosai.go.jp/>) Berdasarkan hal tersebut dimungkinkan metode SIL dapat merepresentasikan guncangan aktual yang baik.

SIL merupakan skala yang menunjukkan tingkat (*level*) intensitas gempa. SIL dibagi menjadi 10 (sepuluh) level (JMA, 1996). Rincian persepsi dan reaksi penghuni, serta situasi di dalam ruangan berdasarkan level SIL selengkapnya pada Gambar 1.1. Berdasarkan gambar ilustrasi SIL didapatkan bahwa pada level 5^{strong} level guncangan mulai mengakibatkan robohnya properti yang ada di dalam bangunan. Sedangkan pada level 6^{weak} bangunan mulai mengalami kerusakan. Hal ini sesuai dengan data korban jiwa dan kerusakan bangunan dari *Japan Meteorological Agency* (JMA) dari tahun 1996 sampai dengan 2018 (<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/higai/higai1996-new.html>). Dari data tersebut didapatkan bahwa kasus kerusakan bangunan dan korban jiwa mulai meningkat saat intensitas gempa 6^{weak} seperti pada Gambar 1.2.

Pengelompokan level SIL dilakukan berdasarkan nilai kuantitatif perhitungan mSIL (Karim and Yamazaki, 2002). Besarnya nilai mSIL ditentukan oleh parameter $a_{0.3}$ yang dihitung berdasarkan riwayat waktu akselerasi 3 arah dengan metode kumulatif waktu 0,3 detik (Sakai, 2018). Selanjutnya nilai mSIL ditentukan berdasarkan persamaan JMA-mSIL yang merupakan fungsi logaritma dari $a_{0.3}$. Berdasarkan hal tersebut, maka metode analisis yang digunakan untuk mengetahui besarnya guncangan gempa adalah metode analisis riwayat waktu.



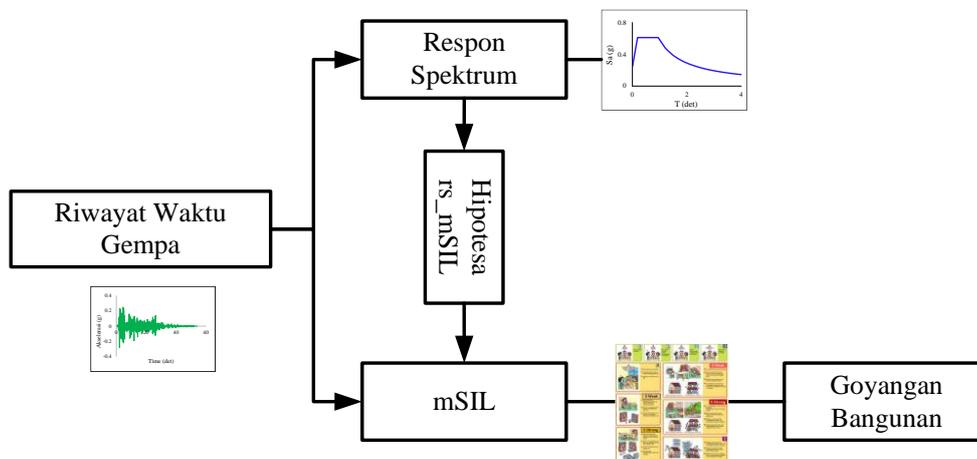
Gambar 1.1 Ilustrasi seismic intensity level (SIL).



Gambar 1.2 Hubungan antara Seismic Intensity Level dengan kasus korban jiwa dan kasus bangunan (<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/higai/higai1996-new.html>)

Analisis riwayat waktu berdasarkan SNI 1726 tahun 2019 terdiri dari analisis riwayat waktu linear dan analisis riwayat waktu respon nonlinear. Pada disertasi ini difokuskan pada analisis riwayat waktu linear yang digunakan pada tahap perencanaan bangunan tahan gempa pada kondisi elastis. Respon spektrum target yang digunakan pada analisis riwayat waktu linier adalah respon spektrum desain yang besarnya $2/3$ dari *Risk-Adjusted Maximum Consider Earthquake* (MCE_R). Metode modifikasi riwayat waktu yang sesuai dengan SNI 1726 tahun 2019 adalah pencocokan spektrum. Metode pencocokan spektrum dilakukan terhadap masing-masing arah riwayat waktu.

Riwayat waktu tiruan yang merupakan hasil modifikasi dari pencocokan spektrum terhadap respon spektrum target dianalisis intensitasnya (mSIL) menggunakan program mSIL-JMA. Dari data riwayat waktu hasil pencocokan spektrum yang dianalisis intensitas gempanya (mSIL), dapat dikorelasikan hubungan antara nilai mSIL dan parameter respon spektrum seperti Gambar 1.3. Jika hubungan antara mSIL dan respon spektrum didapatkan, maka analisis mSIL pada permukaan tanah akan lebih mudah dilakukan dengan menggunakan data respon spektrum. Formula untuk menghitung mSIL berdasarkan respon spektrum dinamakan rs_mSIL .



Gambar 1.3 Hubungan antara *time history* (riwayat waktu), respon spektrum dan mSIL.

Berdasarkan rumusan rs_mSIL kita dapat memprediksi intensitas gempa untuk masing-masing wilayah yang ditinjau berdasarkan respon spektrumnya. Berdasarkan nilai rs_mSIL tersebut dapat digunakan untuk menskalakan riwayat waktu gempa sehingga mendapatkan riwayat waktu gempa tiruan dengan intensitas yang sama. Metode ini identik dengan penskalaan amplitudo, maka semua persyaratan penskalaan amplitudo digunakan secara penuh pada penskalaan berdasarkan intensitas gempa.

Riwayat waktu yang terjadi pada lantai bangunan berbeda dengan yang terjadi di atas permukaan tanah. Pada kondisi linear riwayat waktu pada lantai bangunan mempunyai periode dominan tertentu yang nilainya sangat dipengaruhi oleh kekakuan struktur, sehingga jika dibuat respon spektrum akan menghasilkan respon spektrum yang tidak berpola seperti respon spektrum SNI. Sedangkan dalam analisis nonlinear periode dominan bangunan akan berubah seiring dengan terjadinya sendi plastis pada elemen strukturnya. Terjadinya sendi plastis akan menurunkan kekakuan struktur, sehingga periode alami struktur akan lebih besar dibanding dengan kondisi linear.

Berdasarkan perilaku ini perlu dilakukan pendekatan lain untuk dapat menyederhanakan analisis mSIL pada lantai bangunan dengan analisis linear riwayat waktu. Nilai mSIL dipengaruhi oleh dua variabel yaitu variabel percepatan dan variabel periode dominan (Sakai, 2018). Mengacu pada standar JMA, formula mSIL pada permukaan tanah tidak dibatasi oleh periode dominan getaran. Sedangkan periode dominan pada struktur bangunan dibawah 3 lantai tidak lebih dari 2 detik. Hal ini merupakan peluang untuk mengembangkan formula mSIL pada rentang periode tersebut. Hasil rumusan ini dinamakan l_t _mSIL. Formula ini didasarkan pada periode dominan struktur, sehingga l_t _mSIL hanya dapat digunakan pada analisis linear riwayat waktu.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian untuk mengembangkan metode analisis mSIL pada permukaan tanah dan lantai bangunan perlu dilakukan, sehingga aplikasi perhitungan intensitas guncangan berdasarkan SIL pada struktur bangunan akan lebih mudah dilakukan. Metode ini diperlukan untuk melengkapi metode evaluasi bangunan tahan gempa berdasarkan intensitas guncangan. Dengan metode ini diharapkan penghuni bangunan dapat memperoleh gambaran yang lebih riil tentang level intensitas guncangan saat terjadi gempa.

1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi permasalahan dalam penelitian ini adalah:

1. Perhitungan intensitas guncangan belum dilakukan dalam proses perencanaan bangunan tahan gempa
2. Perhitungan nilai mSIL diatas permukaan tanah berdasarkan formula JMA, cukup kompleks, sehingga perlu dikembangkan metode yang lebih sederhana berdasarkan respon spektrum

3. Riwayat waktu yang terjadi pada permukaan tanah berbeda dengan pada lantai bangunan, hal ini disebabkan bangunan mempunyai periode dominan yang tertentu
4. Perilaku riwayat waktu pada lantai bangunan mempunyai periode dominan sesuai dengan periode alami strukturnya, sehingga perlu dikembangkan metode perhitungan mSIL berdasarkan periode alami strukturnya.

1.3 Perumusan Masalah

Permasalahan utama pada analisis guncangan bangunan adalah penentuan nilai mSIL yang akan digunakan untuk menentukan level SIL. Penentuan nilai mSIL dengan menggunakan data riwayat waktu menghadapi kendala keterbatasan data dan kompleksitas dalam analisis. Permasalahan ini akan dapat diatasi jika nilai mSIL dapat dihitung berdasarkan variabel respon spektrum pada permukaan tanah dan formulasi perhitungan mSIL pada lantai bangunan. Berdasarkan hal tersebut masalah yang harus diselesaikan adalah:

1. Formulasi yang paling tepat yang menggambarkan hubungan antara mSIL dengan variabel respon spektrum
2. Formulasi perhitungan mSIL yang mudah diaplikasikan pada lantai bangunan

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengembangkan metode analisis guncangan gempa berdasarkan SIL, sehingga perlu dikembangkan formulasi untuk menghitung nilai mSIL yang lebih sederhana untuk gempa diatas permukaan tanah dan di lantai bangunan . Tujuan penelitian ini adalah:

- 1) Mengembangkan formulasi perhitungan mSIL untuk guncangan pada permukaan tanah berdasarkan variabel respon spektrum.
- 2) Mengembangkan formulasi perhitungan mSIL pada lantai bangunan.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini menekankan pada aspek guncangan bangunan yang mempunyai korelasi terhadap keselamatan/keamanan manusia. Hasil dari penelitian ini adalah metode atau formulasi perhitungan SIL yang dapat digunakan untuk memperkirakan level guncangan pada bangunan. Penelitian ini akan memberikan manfaat pada:

1. Acuan estimasi level guncangan gedung pada saat perencanaan.
2. Evaluasi besarnya guncangan akibat gempa pada bangunan eksisting
3. Pengembangan sistem peringatan dini dan *live monitoring* bangunan.

4. Pengembangan dan penilaian efisiensi alat isolasi gempa seperti base isolation, *active/passive control*, damper, dan sebagainya.

1.6 Batasan Masalah

Permasalahan tingginya risiko akibat gempa pada bangunan meliputi berbagai aspek, antara lain aspek kekuatan bangunan, guncangan, penerapan standar, dan aspek-aspek lainnya. Keselamatan/keamanan manusia dipengaruhi oleh besarnya intensitas guncangan yang terjadi pada bangunan. Penelitian ini ditetapkan beberapa batasan:

- a) Kajian yang dilakukan dibatasi pada aspek guncangan, karena aspek kekuatan telah dikembangkan secara luas dan mendalam dalam standar-standar bangunan gedung.
- b) Standar intensitas guncangan yang digunakan adalah SIL yang digunakan oleh Japan Meteorological Agency (JMA).
- c) Lingkup penelitian ini tidak termasuk didalamnya area dekat sesar gempa yang cenderung gempa arah vertikal lebih dominan.
- d) Riwayat waktu yang digunakan untuk perumusan model numerik *rs_mSIL* adalah riwayat waktu gempa Chile dan Sumatera yang mewakili jenis gempa *megathrust*; gempa Kern Country dan Michoacan gempa *benioff*; serta gempa BigBear01 dan Livermore01 mewakili jenis *shallow crustal*.
- e) Pembuatan riwayat waktu gempa tiruan pada perumusan *rs_mSIL* menggunakan metode pencocokan spektrum atau *spectral matching* terhadap riwayat waktu arah lateral U-S dan B-T secara terpisah.
- f) Tinjauan periode dominan struktur yang digunakan pada pemodelan *lt_mSIL* adalah pada rentang periode struktur 0,1 s.d 2 detik.
- g) Model struktur yang digunakan pada perumusan *lt_mSIL* adalah struktur baja tiga lantai (untuk validasi) dan dua lantai (untuk sample aplikasi) dengan asumsi *rigid floor* dan konfigurasi denah teratur.
- h) Contoh aplikasi perhitungan guncangan pada bangunan tahan gempa hanya meninjau pada analisis linear riwayat waktu lokasi Jakarta tanah sedang.

1.7 Kebaruan Penelitian

Intensitas guncangan gempa dapat menggambarkan tingkat bahaya dan kerusakan akibat gempa (Shabestari and Yamazaki, 2001). Tingkat intensitas guncangan akibat gempa dapat diukur berdasarkan salah satu dari variabel *Peak Ground Acceleration (PGA)*, *Peak Ground Velocity (PGV)*, *Cumulative Absolute Velocity (CAV)*, dan *Spektrum Intensity (SI)* (Society,

1975; Wald, 1999; Shabestari and Yamazaki, 2001; Campbell and Bozorgnia, 2011; Alvarez et al., 2012; Campbell and Eeri, 2012; Du et al., 2020). *State-of-the-art* tentang penelitian pengukuran intensitas gempa dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 *State-of-the art* pengukuran intensitas guncangan gempa

No	Penulis	Tahun	Standard			Variabel				Media Ukur	
			MMI	SIL	EMS	PGA	PGV	CAV	SI	Permukaan Tanah	Lantai Bangunan
1	Khosrow T. Shabestari	2001									
2	Kazi R. Karim	2002									
3	Vladimir Sokolov	2008									
4	Tselentis	2008									
5	Kenneth W Campbel	2011									
6	Diego A. Alvares	2012									
7	Kenneth W Campbel	2012									
8	Akira Sakai	2013									
9	Du Ke	2020									
10	Wariyatno, NG	2020									

Kebaruan penelitian ini adalah metode perhitungan intensitas goyangan (mSIL) yang lebih sederhana berdasarkan respon spektrum (rs_mSIL) untuk diatas permukaan tanah dan berdasarkan periode dominan (lt_mSIL) untuk di lantai bangunan. Dengan inovasi ini besarnya guncangan yang dirasakan oleh pengguna bangunan dapat diprediksi secara kuantitatif.

1.8 Sistematika Penulisan

Disertasi ini disusun dengan sistematika sebagai berikut:

Bab 1 Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang masalah, identifikasi masalah, perumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan.

Bab 2 Tinjauan Pustaka

Bab ini menunjukkan state-of-the-art penelitian ini dan berisi kajian pustaka penelitian-penelitian sebelumnya, penjelasan, konsep, dan teori dasar tentang perencanaan bangunan tahan gempa dan SIL.

Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini berisi langkah-langkah pelaksanaan penelitian disertasi penelitian ini. Dalam bab ini juga diuraikan waktu penelitian.

Bab IV Analisis dan Pembahasan

Bab ini berisi analisis dan pembahasan hasil penelitian.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi penjelasan mengenai kesimpulan yang dapat diambil dari hasil analisis, implikasi hasil penelitian, manfaat langsung dari penelitian ini dan saran untuk pengembangan lebih lanjut.