

IDENTIFIKASI KERENTANAN BANGUNAN DI KOTA LANGSA AKIBAT BAHAYA GEMPA DAN KELAS SITUS

Haikal Fajri^{1*}, Irwansyah², Nina Fahriana³, Defry Basrin⁴, Zaenal Abidin Al Atas⁵

^{1,2,3,4}) Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Samudra

Jl. Prof. Dr. Syarief Thayeb, Meurandeh, Langsa Lama Kota Langsa 24416

⁵) Stasiun Geofisika kelas III, BMKG Provinsi Aceh

Jl. Raya Mata Ie, Leu Ue, Aceh Besar 23234,

*email: haikal.fajri@unsam.ac.id

Diterima : 1 Mei 2023
Direvisi : 18 Mei 2021

Disetujui : 20 Mei 2023
Diterbitkan : 31 Mei 2023

Abstract: Globally, Aceh Province is an earthquake-prone area, especially earthquakes with epicenters on land, such as the 2013 earthquake in Central Aceh and 2016 in Pidie Jaya which damaged more than thousands of buildings and killed tens of thousands of people. BMKG noted that in the 2014-2020 period, there had been earthquakes measuring from M 3,1 to 5,3 in Langsa City with the epicenter point on the land. Limited studies been conducted regarding the earthquake hazard posed to housing in Langsa City. Seeing this phenomenon, as well as the close distance between the earthquake point and the city center, this study aims to identify the risk of vulnerability of houses in the city center to potential earthquakes with various soil site classes. The results of the survey and classification of housing classes and types show that the 5 most dominant building types in Langsa City are Concrete Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls (C3L), Reinforced Masonry Low-Rise (RM2L), Reinforced Masonry Middle-Rise (RM2M), Unreinforced Masonry Low-Rise (URML) and Wooden Structure (W1). Ground motion equations were carried out for the SA-SE site class scenario at the epicentrum point with a distance of 22.48 km from the city center at a 10 km depth. The results showed that the type of building that has the greatest probability of failure is C3L (54.46%) for the SE site class, whereas in the same site class the sturdiest building is RM2M (25.11%). Similar results are demonstrated for other site classes. Therefore, preliminary results indicate that HAZUS has an advantage in estimating the risks and losses of the buildings in the future.

Keywords : building vulnerability, housing, site class, earthquake, hazus

Abstrak: Secara global, Provinsi Aceh merupakan daerah rawan gempa, terutama gempa dengan pusat gempa di darat, seperti gempa pada tahun 2013 di Aceh Tengah dan tahun 2016 di Pidie Jaya yang merusak lebih dari ribuan bangunan, dan menewaskan puluhan ribu manusia. BMKG mencatat pada periode 2014-2020 telah terjadi gempa berkekuatan M 3,1 hingga 5,3 di Kota Langsa dengan titik epicentrum di darat. Belum banyak kajian yang dilakukan terkait bahaya gempa yang mungkin ditimbulkan bagi perumahan penduduk di Kota Langsa. Melihat fenomena tersebut, serta jarak yang dekat antara titik gempa dengan pusat kota, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi risiko kerentanan bangunan tempat tinggal di pusat Kota Langsa terhadap potensi gempa bumi dengan berbagai kelas situs tanah. Hasil survey dan klasifikasi terhadap kelas dan tipe bangunan perumahan memperlihatkan bahwa, 5 jenis bangunan yang paling dominan di Kota Langsa adalah Concrete Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls (C3L), Reinforced Masonry Low-Rise (RM2L), Reinforced Masonry Middle-Rise (RM2M), Unreinforced Masonry Low-Rise (URML) dan Wooden Structure (W1). Persamaan gerakan tanah dilakukan terhadap skenario kelas situs SA-SE pada titik epicentrum dengan jarak 22,48 km dari pusat kota pada kedalaman 10 km. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tipe bangunan yang memiliki probabilitas kegagalan paling besar adalah tipe C3L (54,46%) untuk kelas situs SE, sedangkan pada kelas situs yang sama bangunan yang paling kokoh adalah tipe RM2M (25,11%). Hasil yang serupa juga diperlihatkan untuk kelas situs lainnya. Oleh karena itu, hasil awal menunjukkan bahwa HAZUS memiliki keunggulan dalam memperkirakan risiko dan kerugian bangunan di masa depan.

Kata kunci : kerentanan bangunan, perumahan, kelas situs, gempa bumi, hazus

1. PENDAHULUAN

Provinsi Aceh merupakan daerah yang paling rawan terhadap gempa bumi khususnya gempa dengan lokasi epicenter di daratan. Seperti halnya gempa darat yang terjadi di Kabupaten Takengon yang telah menghancurkan ratusan rumah hanya dengan M 6,1 [1], Kabupaten Pidie Jaya dengan kekuatan M 6,5 [2] telah menelan lebih dari 100 korban jiwa dan menghancurkan lebih dari 10.000 unit bangunan [3]. Beberapa negara telah melakukan usaha mitigasi bencana dengan menerapkan berbagai cara antara lain penerapan peraturan yang ketat dan adanya insentif untuk perbaikan bangunan [4].

Mitigasi merupakan pendekatan yang efektif dan berbiaya rendah untuk mengurangi kerugian jangka panjang akibat bencana. Munculnya *user-friendly* GIS (sistem informasi geografi) *software* seperti Hazard United States (HAZUS) dan alat serupa lainnya memudahkan para pengambil kebijakan dan akademisi mengurangi dampak bencana karena *software* tersebut dapat menilai, menyusun, dan menampilkan data dalam jumlah besar dalam waktu singkat.

HAZUS dikembangkan oleh Federal Emergency Management Agency (FEMA) [5] Amerika Serikat melalui National Institute of Building Sciences (NIBS), untuk menentukan kerugian bahaya di Amerika Serikat secara regional [6]. HAZUS memiliki 3 tingkatan pendekatan analisis yakni penentuan lokasi dan pemilihan model bahaya gempa regional; pemodelan dampak secara ekonomi, dan perhitungan parameter gerakan tanah kawasan secara spesifik serta menilai faktor amplifikasi; mengintegrasikan hasil analisis dari *software* lainnya seperti sistem transportasi, banjir akibat kerusakan bendungan dan tsunami.

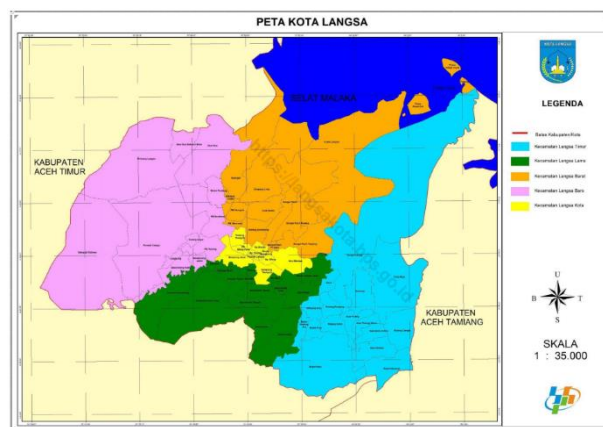
Dengan menginventarisir bangunan yang berada di kawasan tersebut dan pemilihan skenario gempa, pengguna HAZUS dapat mengestimasi kerugian daerah tertentu akibat gempa bumi [7]. Estimasi kerugian ini disajikan dalam bentuk kerugian ekonomi dan sosial, seperti kerugian langsung yang dihitung untuk bangunan (kelas hunian), korban jiwa, dan persyaratan tempat tinggal karena kerusakan stok bangunan, fasilitas penting, dan sistem transportasi dan utilitas [8].

Masih sangat terbatas penelitian terkait estimasi kegagalan bangunan perumahan di kota Langsa, sementara kota tersebut dalam 10 tahun terakhir pernah beberapa kali mengalami gempa bumi yang berlokasi tidak jauh dari pusat kota dengan jarak terdekat yaitu 22,48 km (<http://shakemap.bmkg.go.id/>). Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi kerugian yang akan terjadi akibat gempa menggunakan pendekatan sistem HAZUS. Penilaian dilakukan menggunakan sebuah skenario gempa berkekuatan M 6 dengan berbagai tipe kelas situs

tanah (SA – SF) pada jarak episeter existing terdekat. Jenis kerentanan bangunan dikelompokkan menjadi empat level yaitu gagal total (*complete*), parah (*extensive*), menengah (*moderate*), ringan (*slight*) dan tidak gagal (*no damage*). Dengan diketahuinya jenis kerentanan bangunan, diharapkan dapat menjadi sebuah informasi awal dalam upaya penanggulangan mitigasi bencana gempa bumi di Kota Langsa.

2. METODE PENELITIAN

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi hanya pada bangunan perumahan yang berlokasi di pusat kota (**Gambar 1**) yang relatif memiliki kepadatan penduduk yang tinggi. Kota Langsa secara history telah menjadi pusat pemerintahan kolonial yang ditandai dengan berdirinya gedung-gedung monumen bergaya klasik di pusat kota serta banyak ditemukan bangunan perumahan yang didominasi oleh pasangan bata bergaya traditional.



Gambar 1. Peta lokasi kota langsa (sumber data GIS: BPS Kota Langsa [9])

Salah satu parameter utama yang dibutuhkan dalam penilaian resiko gempa bumi terdiri dari parameter gerakan tanah yang menggambarkan guncangan gempa termasuk pseudospektral percepatan (PSA), percepatan tanah puncak (PGA) dan kecepatan tanah puncak (PGV). Parameter ini dihasilkan dengan mengestimasi persamaan gerakan tanah, menentukan amplitudo sebagai fungsi dari besaran gempa dan memastikan jarak titik epicenter menuju lokasi penelitian. HAZUS memiliki paket database persamaan gerakan tanah untuk wilayah di Amerika, sementara pada wilayah lain yang tidak memiliki database, persamaan atenuasi dapat dihitung secara manual dengan mengadopsi persamaan [10] yang juga digunakan di *software* tersebut sebagai berikut:

$$\ln(S_A) = b_1 + b_2(M - 6) + b_3(M - 6)^2 + b_5 \ln(r) + b_6 \ln\left(\frac{V_s}{V_a}\right) \quad (1)$$

$$r = \sqrt{r_{jb}^2 + h^2} \quad (2)$$

$$b_1 = \begin{cases} b_{1SS} & \text{untuk gempa strike - slip} \\ b_{1RV} & \text{untuk gempa reverse slip} \\ b_{1ALL} & \text{jika gempa tidak diketahui} \end{cases} \quad (3)$$

Selanjutnya spektral perpindahan dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$S_D = 9,8 x S_A x T^2 \quad (4)$$

S_A adalah spektral percepatan, sementara S_D merupakan spektral perpindahan. Nilai $b_1, b_2, b_3, b_5, b_v, v_A, h$ merupakan nilai konstan yang diberikan oleh persamaan [10]. T adalah periode dalam detik, sedangkan M yaitu magnitude gempa dan r_{jb} adalah jarak horizontal dari titik epicenter ke bangunan.

Kurva kapasitas bangunan berdasarkan parameter titik luluh (*yield*) dan titik ultimit (*ultimate*) menggunakan segmen kurva *elliptic* untuk menentukan nilai transisi diantara kedua titik seperti pada **Gambar 2** [11] dengan persamaan berikut:

$$\left(\frac{S_d - D_u}{C}\right)^2 + \left(\frac{S_d - A_x}{B}\right)^2 = 1 \quad (5)$$

Batas kapasitas luluh (*yield*) dan ultimit (*ultimate*) untuk kategori desain seismik tinggi (*high code*) hingga rendah telah disediakan dalam HAZUS technical manual [5] untuk setiap 36 tipe bangunan seperti pada **Tabel 1**. Sementara, detail nilai parameter kurva kerapuhan struktur dengan kategori low-code diperlihatkan pada **Tabel 2**.

Building code ini mengacu pada perbedaan tahun diterbitkannya peraturan bangunan tahan gempa. Selanjutnya kegagalan bangunan dihitung berdasarkan probabilitas kerusakan kumulatif [6] yang diperlihatkan pada **Persamaan 6** berikut:

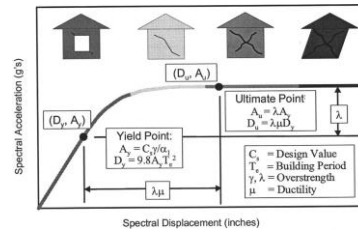
$$P(d_S | S_d) = \Phi \left[\frac{1}{\beta_{ds}} \ln \left(\frac{S_d}{S_{d,ds}} \right) \right] \quad (6)$$

dimana $P(d_S | S_d)$ adalah probabilitas tercapai atau melebihi status kerusakan ringan; $S_{d,ds}$ adalah nilai median spektral perpindahan dimana bangunan mencapai batas kegagalan; β_{ds} merupakan standar deviasi log normal dari spektral perpindahan untuk kondisi kegagalan d_S dan Φ yaitu probabilitas distribusi normal standar kumulatif. Probabilitas setiap keadaan kerusakan dihitung dengan mengganti nilai respon puncak bangunan dan median keadaan kerusakan dari keadaan kerusakan tertentu. Parameter probabilitas

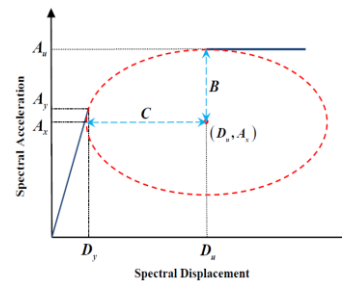
kegagalan diskrit struktur gedung diperlihatkan pada **Tabel 3**. Tingkat kegagalan bangunan bervariasi antara satu dengan bangunan lainnya yang disebabkan oleh perbedaan tipe bangunan dan tingkat desain seismik.

Tabel 1. Kurva kapasitas dan ambang batas kerusakan struktur bangunan tipe W1 (HAZUS)

Seismic Design Level	Elastic Periode (sec)	Average Inter-Story Drift Ratio					
		Structural Damage State Thresholds (Fragility Medians)					
		Capacity Control Point	Yield	Plastic	Slight	Moderate to Extensive	Complete
Special High-Code	0,35	0,0057	0,13710	0,0050	0,015	0,05	0,125
High-Code	0,35	0,0038	0,09130	0,0040	0,012	0,04	0,1
Moderate-Code	0,35	0,0029	0,05140	0,0040	0,0099	0,0306	0,075
Low-Code	0,35	0,0019	0,03430	0,0040	0,0099	0,0306	0,075
Pre-Code	0,35	0,0019	0,03430	0,0032	0,0079	0,0245	0,060



(a) Kurva spektrum kapasitas Hazus



(b) Kurva elliptic spektrum kapasitas

Gambar 2. (a) Parameter segmen kurva kapasitas hazus dan (b) kurva elliptic

Tabel 2. Parameter kurva kerapuhan struktur - low code seismic design level (HAZUS)

Building Properties			Interstory Drift at				Spectral Displacement (mm)							
Type	Height (mm)		Threshold of Damage State				Slight		Moderate		Extensive		Complete	
	Roof	Model	Slight	Moderate	Extensive	Complete	Medium	Beta (β)	Medium	Beta (β)	Medium	Beta (β)	Medium	Beta (β)
W1	168	126	0,004	0,0099	0,0306	0,075	0,5	0,93	1,25	0,98	3,86	1,02	9,45	0,99
URML	180	135	0,003	0,006	0,015	0,035	0,41	0,99	0,81	1,05	2,03	1,1	4,73	1,08
RM2L	240	180	0,004	0,0064	0,0161	0,0438	0,72	1,05	1,15	1,07	2,89	1,09	7,88	0,91
C3L	240	180	0,003	0,006	0,015	0,035	0,54	1,09	1,08	1,07	2,7	1,08	6,3	0,91
RM2M	600	450	0,0027	0,0043	0,0107	0,0292	1,2	0,84	1,92	0,81	4,81	0,77	13,12	0,92

Tabel 3. Probabilitas kegagalan diskrit HAZUS

No	Tingkat kegagalan	Probabilitas kegagalan
1	Gagal total (complete)	$P[C] = P[C Sd]$
2	Parah (extensive)	$P[E] = P[E Sd] - P[C Sd]$
3	Menengah (moderate)	$P[M] = P[M Sd] - P[E Sd]$
4	Ringan (slight)	$P[S] = P[S Sd] - P[M Sd]$
5	Tidak gagal (no damage)	$P[N] = 1 - P[E Sd]$

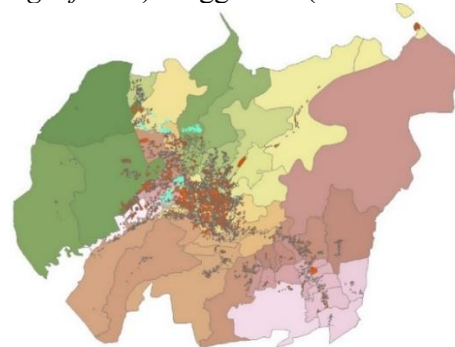
Kondisi topografi dan tanah dilokasi bangunan secara signifikan mempengaruhi variabilitas spasial gerakan seismik yang masuk seperti yang diamati pada gempa Athena 1999 [12] dan karena itu harus dimasukkan dalam penilaian dan desain risiko gempa [13]. Karakteristik tanah diklasifikasikan menggunakan sistem klasifikasi NEHRP, yang pada awalnya merupakan sistem klasifikasi tanah di Amerika dan kemudian di adopsi oleh SNI-1726-2019 [14]. Sistem klasifikasi ini mengkarakterisasi kondisi lokasi secara kuantitatif dan memberikan kluster untuk kelas tanah tertentu. Kelas situs NEHRP didasarkan pada waktu tempuh rata-rata kecepatan gelombang geser di kedalaman 30 m ($Vs30$) yang kemudian di klusterkan menjadi kelas SA (batuan keras) hingga SE (tanah lunak) seperti yang diperlihatkan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Klasifikasi situs (SNI 1726:2019)

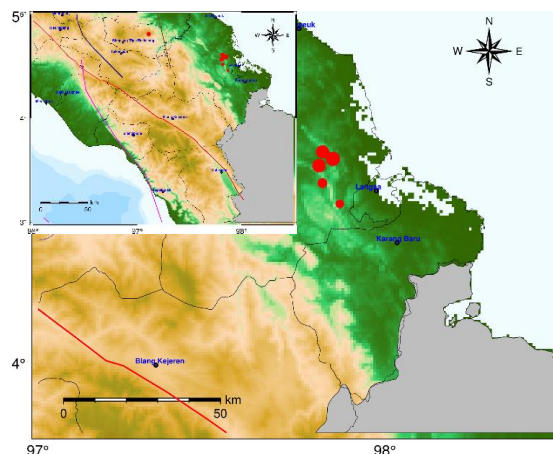
Kelas Situs	$Vs30$ (m/s)		
	Min	Max	Skenario
1. Batuan Keras (SA)	1500	-	1500
2. Batuan (SB)	750	1500	1125
3. Tanah Padat (SC)	350	750	560
4. Tanah Sedang (SD)	175	350	270
5. Tanah Lunak (SE)	-	175	175
6. Tanah Khusus (SF)	Membutuhkan investigasi geoteknik dan analisis respons spesifik		

Survei dilakukan terhadap 597 bangunan dengan mengidentifikasi kerentanan untuk kelompok bangunan yang didasarkan dari klasifikasi bangunan HAZUS. HAZUS telah mendefinisikan skema klasifikasi bangunan untuk membedakan bangunan dengan berbagai karakteristik potensi kerusakan dan perilakunya. Ada empat tipe bangunan HAZUS yakni kayu (*wood*), beton (*concrete*), baja (*steel*) dan pasangan bata

(*masonry*), serta 36 tipe bangunan mulai dari tipe W1 (*wood light frame*) hingga MH (*mobil homes*) [15].



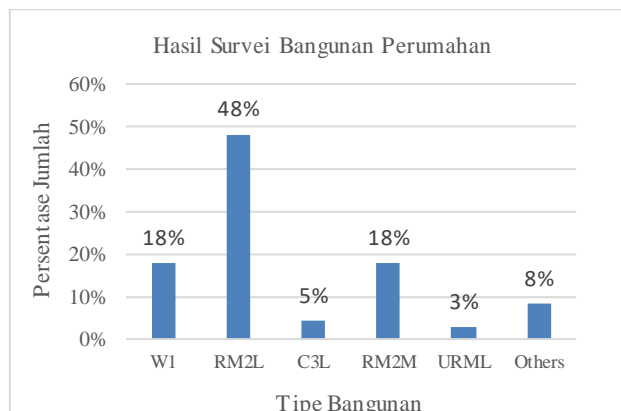
Gambar 3. Peta yang menggambarkan unit sensus di dalam wilayah studi (Sumber data GIS: Dinas Pekerjaan Umum, Kota Langsa)



Gambar 4. Titik epicenter gempa di sekitar kota Langsa dalam kurun waktu 2014-2020 (Sumber data GIS: MBKG)

3. HASIL PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil survey, diperoleh 5 tipe bangunan rumah yang dominan di Kota Langsa yaitu: *Concrete Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls* (C3L), *reinforced masonry low-rise* (RM2L), *reinforced masonry middle-rise* (RM2M), *unreinforced masonry low-rise* (URML) dan *wooden structure* (W1) seperti diperlihatkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Hasil survei bangunan perumahan

Gambar 3 memperlihatkan peta sensus yang digunakan dalam wilayah studi. Blok warna merah memperlihatkan keseluruhan perumahan sedangkan blok warna hijau merupakan perumahan di pusat kota yang menjadi fokus utama dalam penelitian ini.

Tipe perumahan di kota Langsa di dominasi oleh bangunan yang terbuat dari bata yang diperkuat (*reinforced masonry*) dengan jumlah lantai bangunan satu lantai serta memiliki tinggi rata-rata 4 meter. Proses pembangunan rumah tersebut sebagian besar hanya mengandalkan pengalaman dari keahlian tukang setempat (*non-engineered building*). Bahan material yang digunakan diperoleh dari lokasi setempat dan desain bangunan umumnya memiliki kemiripan antara satu dengan lainnya.

Tipe bangunan pasangan bata yang diperkuat umumnya ditemukan di pusat kota. Sementara wilayah pesisir yang berdekatan dengan pelabuhan umumnya didominasi oleh bangunan kayu (*wood*) dan pasangan bata yang tidak diperkuat (*unreinforced masonry*).

Persamaan gerakan tanah dilakukan dengan skenario kondisi kelas situs SA-SE pada Tabel 4. Hal ini dipilih sebab adanya potensi gempa yang bersumber dari patahan segmen lokop-langsa [16]. Titik Epicenter gempa diasumsi berada pada 4,61 lintang selatan dan 97,82 bujur timur dengan kedalaman gempa 10 km dibawah permukaan tanah. Pemilihan lokasi ini disebabkan telah terjadi beberapa kali gempa dilokasi yang sangat berdekatan dengan kekuatan M 3,1 – M 5,3 dalam kurun waktu 2014 – 2020 seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 4** dan **Tabel 5**.

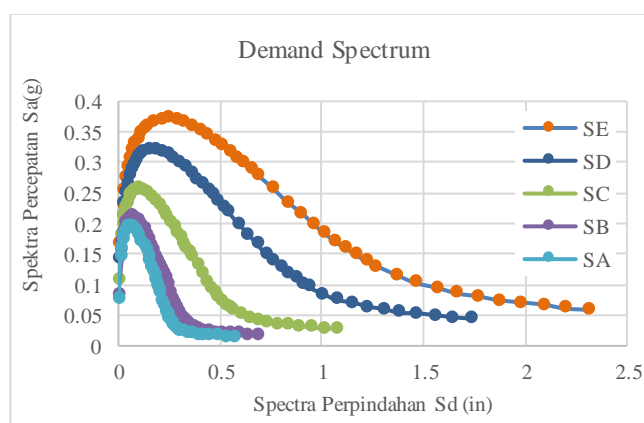
Jarak dari titik epicenter ke pusat kota adalah 22,48 km dan mekanisme gerakan tanah yang terjadi adalah sesar naik (*thrust fault*). Demand Spectrum dipengaruhi oleh besarnya magnitudo gempa rencana, daya dukung tanah dan jarak horizontal epicenter menuju lokasi tinjauan. Gambar 6 memperlihatkan bahwa, kondisi kelas situs tanah lunak (SE), menghasilkan spektral percepatan dan spektral perpindahan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan jenis tanah lainnya. Sementara

kondisi batuan keras (SA) menghasilkan spektral percepatan dan perpindahan yang paling rendah. Hal ini disebabkan oleh besarnya nilai kecepatan rambat gelombang geser yang mengakibatkan kecilnya nilai demand spectrum.

Tabel 5. Titik gempa terdekat di sekitar Kota Langsa

Even	Waktu	Magnitudo	Koordinate	
			Utara	Timur
Even 1	05/12/2014	M 4,7	4.81 N	97.11 E
Even 2	26/09/2018	M 5,0	4.57 N	97.81 E
Even 3	27/09/2018	M 3,1	4.46 N	97.87 E
Even 4	27/09/2018	M 5,3	4.59 N	97.85 E
Even 5	27/09/2018	M 3,6	4.52 N	97.82 E
Even 6	03/12/2020	M 4,9	4.61 N	97.82 E

Sumber: MBKG

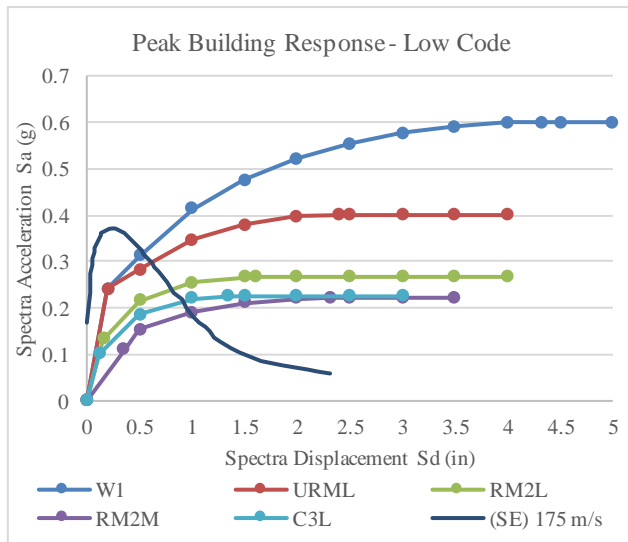


Gambar 6. Demand spectrum untuk berbagai kelas situs tanah

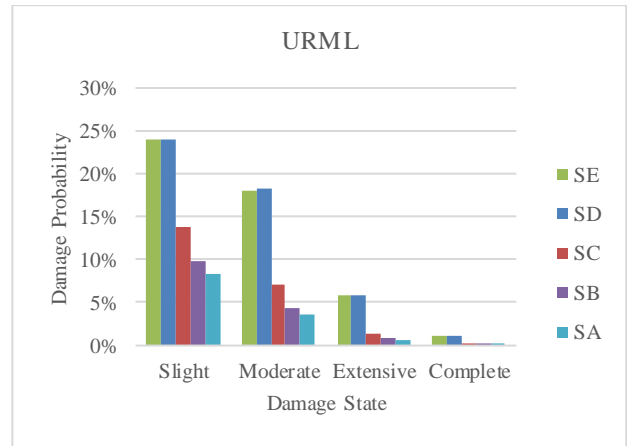
Nilai kurva kapasitas bangunan dalam Hazus manual standar tersedia untuk berbagai macam jenis code, namun kurva tersebut hanya tersedia untuk batas luluh (*yield capacity*) dan batas ultimit (*ultimate capacity*) saja. Sehingga transisi diantara kedua titik tersebut mengadopsi *elliptic curve segment* seperti pada persamaan (5). Hubungan antara demand spectrum dan kurva kapasitas untuk kelima tipe bangunan diperlihatkan pada **Gambar 7**.

Respon puncak bangunan (*peak building response*) merupakan titik kinerja bangunan yang diperoleh dari nilai spectra displacement pada berpotongan antara kurva kapasitas dan demand spectrum. Hal ini bermakna bahwa struktur yang mengalami guncangan hingga mencapai titik kinerjanya akan di ikuti dengan kemunculan kegagalan maksimum. **Gambar 7** memperlihatkan kelompok respon puncak bangunan

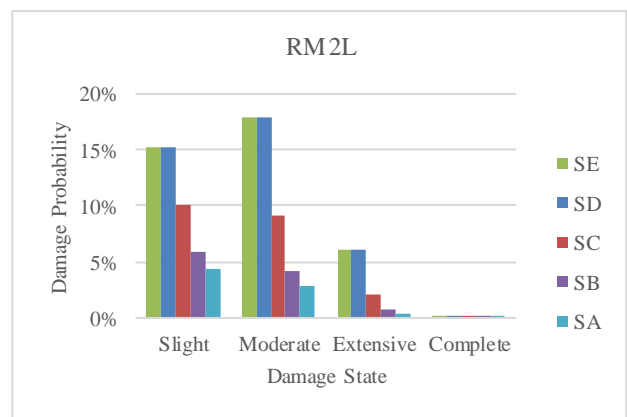
dengan nilai spectra displacement (S_d) tertinggi diperlihatkan oleh tipe RM2M, CL3, dan RM2L dengan nilai spectra displacement sebesar 0,68 mm, 0,61 mm dan 0,54 mm untuk kelas situs tanah lunak SE. Sementara untuk kelas situs yang sama, nilai respon puncak bangunan terendah adalah URML dan W1 sebesar 0,40 mm dan 0,36 mm.



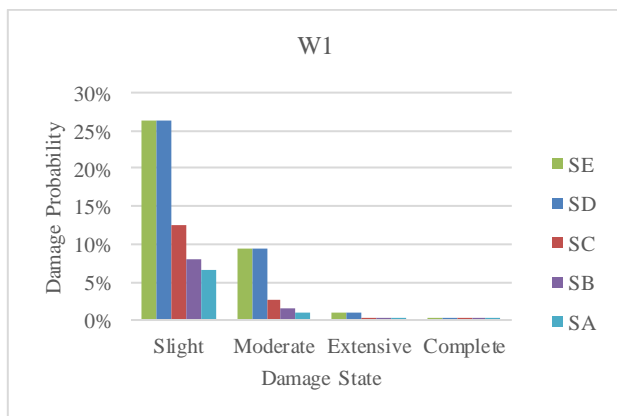
Gambar 7. Respon puncak gedung (*peak building response*)



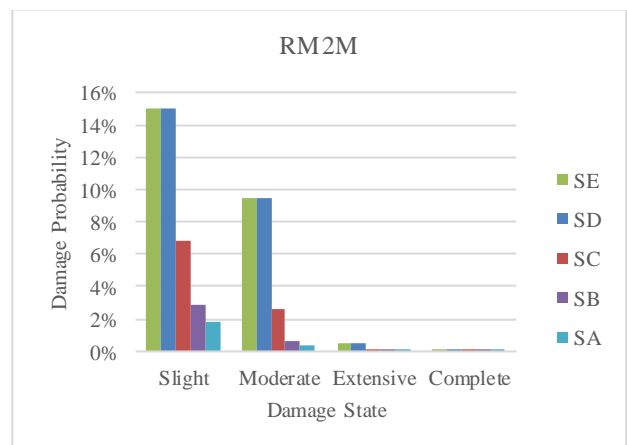
(b) Probabilitas kegagalan bangunan tipe URML



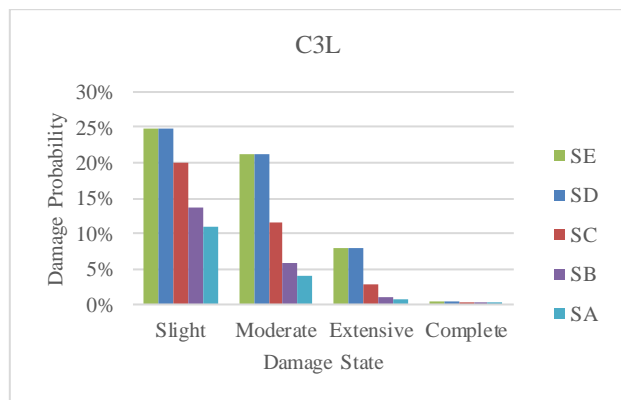
(c) Probabilitas kegagalan bangunan tipe RM2L



(a) Probabilitas kegagalan bangunan tipe W1



(d) Probabilitas kegagalan bangunan tipe RM2M



(e) Probabilitas kegagalan bangunan tipe C3L

Gambar 8. Persentase probabilitas kegagalan bangunan (*damage probability*)

Probabilitas kegagalan dihasilkan dari probabilitas kegagalan kumulatif berdasarkan distribusi normal standar komulatif pada **Persamaan 6**. Selanjutnya probabilitas kegagalan diskrit pada setiap tingkat kegagalan dihitung dengan persamaan pada **Tabel 3**. **Gambar 8** memperlihatkan bahwa, semakin kecil nilai kecepatan rambat gelombang geser (V_s30) mengakibatkan level kerusakan yang semakin tinggi pada setiap tipe bangunan. Tipe bangunan W1 menunjukkan terjadinya peningkatan nilai probabilitas kegagalan bangunan dari kelas situs SA sampai SE. Peningkatan ini dipengaruhi oleh *peak building response* bangunan akibat dari demand spectrum gempa yang semakin tinggi. Secara umum, probabilitas kegagalan didominasi oleh kegagalan ringan (*slight*) dengan rata-rata dibawah 30%, dilanjutkan oleh *moderate* dan *extensive* dengan rata-rata dibawah 25% dan 10%. Sementara, level kegagalan total bangunan (*complete*) berada di tingkat terendah dengan probabilitas dibawah 2%. **Gambar 8** memperlihatkan kegagalan struktur bangunan tipe W1 akan didominasi oleh kerusakan ringan (*slight*). Berbeda dengan RM2L, kegagalan didominasi oleh *moderate* yang mengindikasikan kecenderungan kerusakan tipe-tipe bangunan tersebut berada di tingkat menengah.

Kegagalan bangunan pada kelas situs SA dan SE memiliki kecenderungan bergerak secara linear dari nilai maksimum terjadi pada level *slight* menurun secara perlahan hingga level *complete*. Hal ini mengilustrasikan bahwa peningkatan energi gempa yang ditinjau pada titik epicenter akan meningkatkan potensi bahaya bagi bangunan dengan probabilitas maksimum pada level *slight* hingga *extensive* seperti yang diperlihatkan pada bangunan tipe URML, RM2L, RM2M, dan CL3.

Tabel 7. Tingkat probabilitas kerusakan berdasarkan jenis bangunan dan kelas situs

Kelas Situs	Tipe	S %	M %	E %	C %	N %	D %
(SE) 175 m/s	C3L	24,78	21,26	7,91	0,52	45,54	54,46
	URML	23,96	18,16	5,91	1,12	50,85	49,15
	RM2L	15,24	17,87	6,07	0,16	60,67	39,33
	W1	26,43	9,51	1,00	0,05	63,01	36,99
	RM2M	15,02	9,53	0,46	0,10	74,89	25,11
	Rata-rata	21,08	15,26	4,27	0,39	58,99	41,01
(SD) 270 m/s	C3L	24,78	21,26	7,91	0,52	45,53	54,47
	URML	23,97	18,17	5,92	1,12	50,81	49,19
	RM2L	15,24	17,88	6,08	0,16	60,64	39,36
	W1	26,44	9,52	1,00	0,05	62,99	37,01
	RM2M	15,00	9,52	0,46	0,10	74,91	25,09
	Rata-rata	21,09	15,27	4,27	0,39	58,98	41,02
(SC) 560 m/s	C3L	19,95	11,72	2,86	0,08	65,39	34,61
	URML	13,85	7,06	1,49	0,16	77,44	22,56
	RM2L	10,18	9,12	2,05	0,02	78,63	21,37
	W1	12,62	2,71	0,17	0,00	84,50	15,50
	RM2M	6,86	2,55	0,05	0,01	90,52	9,48
	Rata-rata	12,69	6,63	1,32	0,05	79,30	20,70
(SB) 1125 m/s	C3L	13,56	5,77	0,98	0,01	79,67	20,33
	URML	9,88	7,06	1,49	0,16	77,44	18,59
	RM2L	5,81	4,19	0,67	0,00	89,33	10,67
	W1	8,04	1,40	0,07	0,00	90,49	9,51
	RM2M	2,84	0,70	0,01	0,00	96,46	3,54
	Rata-rata	8,02	3,82	0,64	0,03	86,68	12,53
(SA) 1500 m/s	W1	11,02	4,12	0,61	0,00	84,25	15,75
	RM2L	8,41	3,55	0,60	0,05	87,39	12,61
	RM2M	4,36	2,89	0,40	0,00	92,34	7,66
	URML	6,52	1,04	0,05	0,00	92,39	7,61
	C3L	1,85	0,39	0,00	0,00	97,76	2,24
	Rata-rata	6,43	2,40	0,33	0,01	90,83	9,17

Tabel 7 memperlihatkan nilai probabilitas kerusakan bangunan pada setiap tipe bangunan dan level kelas situs. Tipe bangunan CL3 adalah tipe bangunan yang paling rentan bila dibandingkan dari pada tipe lainnya. Hal ini diperlihatkan dari persentase tingkat kerusakan *complete* (C), *extensive* (E), dan *moderate* (M) yang besar dengan total *damage* (D) sebesar 54,46%; 54,47%; 34,61%; 20,33% dan 15,75% untuk kelas situs SE hingga SA secara berurutan.

Di samping itu, tingkat kerusakan untuk tipe URML, RM2L dan W1 berada di urutan kedua, ketiga dan keempat. Sementara, bangunan yang memiliki kerentanan yang terendah diraih oleh tipe RM2M yang hanya memiliki potensi *damage* terbesar yaitu 25,11 % meskipun pada kondisi tanah yang paling lunak. Hal ini mengindikasikan bahwa RM2M merupakan struktur terkokoh diantara lima tipe bangunan tersebut. Jika dirata-ratakan, probabilitas kegagalan struktur pada kelas situs SE dan SD hanya terjadi kurang dari 50%. Sementara, pada kelas situs SC hingga SA kegagalan berada pada kondisi dibawah 21%.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Faktor penting dalam studi estimasi kegagalan akibat gempa dan kelas situs tanah yang mempengaruhi kerentanan di wilayah perkotaan adalah jenis bangunan dan kondisi tanah. Hal tersebut membedakan karakter bangunan selama guncangan terjadi disebabkan perilaku kerentanan yang berbeda. Berdasarkan hasil survei terhadap 597 bangunan di pusat Kota Langsa, terdapat 5 tipe bangunan perumahan yang dominan yaitu URML, RM2L, RM2M, W1 dan C3L. Persamaan gerakan tanah (*ground motion*) dilakukan dengan skenario kelas situs tanah SA hingga SF dengan titik epicenter berjarak 22,48 km dari pusat kota pada kedalaman 10 km. Tipe bangunan yang memiliki probabilitas kegagalan paling besar adalah tipe C3L (54,46%) untuk kelas situs SE, sedangkan pada kelas situs yang sama bangunan yang paling kokoh adalah tipe RM2M (25,11%). Hasil yang serupa juga diperlihatkan untuk kelas situs lainnya. Oleh karena itu, hasil awal menunjukkan bahwa HAZUS memiliki keunggulan dalam memperkirakan risiko dan kerugian bangunan di masa depan.

Saran

Penelitian selanjutnya adalah dengan melakukan mapping kondisi kelas situs tanah untuk seluruh wilayah kota langsa sehingga dapat diketahui zonasi yang rentan. Selanjutnya, skenario gempa dengan magnitudo yang lebih besar dapat di simulasikan untuk melihat besaran potensi kegagalan untuk setiap tipe bangunan.

Ucapan Terima Kasih

Studi ini didanai oleh direktorat riset dan pengabdian masyarakat Deputy Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset dan Teknologi/ Badan Riset dan Inovasi Nasional sesuai dengan kontrak pelaksanaan penelitian nomor 064/SP2H/LT/DRPM/2020. Data gempa diberikan oleh Stasiun Geofisika kelas III, BMKG Provinsi Aceh.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Anzala, E. Fatimah, dan N. Ismail. 2015. *Kajian Pemetaan Kawasan Risiko Gempa Bumi Di Kabupaten Aceh Tengah*. Pascasarj. Univ. Syiah Kuala, vol. 9, no. 1, pp. 19–27.
- [2] M. Ikhsan Maulana, M. Hasan, dan M. Afifuddin. 2020. *Analisis Deformasi Struktur Bangunan Aula Gedung Serbaguna Kabupaten Pidie Jaya Akibat Gempa Pidie Jaya Desember 2016*. J. Civ. Eng. Student, vol. 2, no. 1, pp. 29–35.
- [3] Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2015. *Kajian Risiko Bencana Aceh 2016 - 2020*. Badan Penanggulangan Resiko Bencana, p. 43.
- [4] R. Spence. 2004. *Risk and regulation: Can improved government action reduce the impacts of natural disasters?*. Build. Res. Inf., vol. 32, no. 5, pp. 391–402.
- [5] Department of Homeland Security. 2012. *Federal Emergency Management Agency Hazus-MH 2.1: Technical Manual Washington DC*. [Online]. Available: www.fema.gov/plan/prevent/hazus.
- [6] C. A. Kircher, R. V. Whitman, dan W. T. Holmes. 2006. *HAZUS Earthquake Loss Estimation Methods*. Nat. Hazards Rev., vol. 7, no. 2, pp. 45–59.
- [7] J. W. F. F. Remo dan N. Pinter. 2012. *Hazus-MH earthquake modeling in the central USA*. Nat. Hazards, vol. 63, no. 2, pp. 1055–1081.
- [8] T. Levi dkk.. 2010. *Earthquake Loss estimation in Israel using the new HAZUS-MH software: preliminary implementation*. Geol. Surv. Isr., no. GSI/11/2010, p. 45.
- [9] BPS. 2017. *Kota Langsa Dalam Angka*. [Online]. Available: <https://lanskota.bps.go.id/publication/2018/08/16/b1085cee9d789fcecbb8c1a9/kota-langsa-dalam-angka-2018.html>.
- [10] D. M. Boore, W. B. Joyner, dan T. E. Fumal. 1997. *Estimating, Equations For Western North American Earthquakes - A Summary of Recent*. Seismological Research Letters, vol. 68, no. 1, pp. 128–1531.
- [11] T. Cao dan M. D. Petersen. 2006. *Uncertainty of earthquake losses due to model uncertainty of input ground motions in the Los Angeles area*. Bull. Seismol. Soc. Am., vol. 96, no. 2, pp. 365–376.
- [12] D. Assimaki, G. Gazetas, dan E. Kausel. 2005. *Effects of local soil conditions on the topographic aggravation of seismic motion: Parametric investigation and recorded field evidence from the 1999 Athens earthquake*. Bull. Seismol. Soc. Am., vol. 95, no. 3, pp. 1059–1089.
- [13] W. D. L. Finn dan A. Wightman. 2003. *Ground motion amplification factors for the proposed 2005 edition of the National Building Code of Canada*. Can. J. Civ. Eng., vol. 30, no. 2, pp. 272–278.
- [14] Badan Standardisasi Nasional. 2019. *Sni 1726-2019, Tata Cara Perenc. Ketahanan Gempa Untuk Strukt. Bangunan Gedung dan Non Gedung*, no. 8, p. 254.
- [15] C. A. Kircher, A. A. Nassar, O. Kustu, dan W.

- T. Holmes. 1997. *Development of building damage functions for earthquake loss estimation*. *Earthquake Spectra*, vol. 13, no. 4. pp. 663–682.
- [16] U. Muksin *dkk.* 2019. *AcehSeis project provides insights into the detailed seismicity distribution and relation to fault structures in Central Aceh, Northern Sumatra*. *J. Asian Earth Sci.*, vol. 171, no. November 2018, pp. 20–27.