

## PENILAIAN KINERJA STRUKTUR PILAR JEMBATAN TERHADAP TIME HISTORY GEMPA PIDIE JAYA

Ardli Pratama Putra<sup>1</sup>, Taufiq Saidi<sup>2</sup>, Muttaqin Hassan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Magister Teknis Sipil, Universitas Syiah Kuala

<sup>2,3</sup>Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala

Darussalam, Banda Aceh, Aceh

Email: [ardlipratamaputra8@gmail.com](mailto:ardlipratamaputra8@gmail.com), [taufiqsaidi@gmail.com](mailto:taufiqsaidi@gmail.com), [muttaqin@unsyiah.ac.id](mailto:muttaqin@unsyiah.ac.id)

### Abstrak

Berdasarkan sejarah gempa yang pernah terjadi di Aceh, telah terjadi gempa darat sebesar 6,5 Mw yang mengguncang Pidie Jaya. Gempa yang terjadi menyebabkan beberapa bangunan seperti gedung, jembatan mengalami kegagalan. Penelitian ini dilakukan dengan maksud untuk mengetahui apakah jembatan khususnya dalam hal ini berfokus pada pilar jembatan telah mampu bertahan ketika gempa seperti yang telah terjadi di Kab. Pidie Jaya tersebut kembali terjadi. Jembatan yang menjadi tinjauan yaitu Jembatan Teunom yang berada di Kabupaten Aceh Jaya dan Jembatan Kuala Bubon yang berada di Kabupaten Aceh Barat dan yang merupakan jembatan yang berlokasi di dekat pantai barat Provinsi Aceh. Jembatan tersebut dianalisa dengan menggunakan metode pushover dan time history Gempa Pidie Jaya. Hasil yang diperoleh adalah probabilitas kerusakan ringan yang dapat terjadi pada Jembatan Teunom berada pada PGA 0,13 g sedangkan untuk Jembatan Kuala Bubon, kerusakan ringan yang dapat terjadi berada pada PGA 0,12 g. Untuk nilai evaluasi kinerja struktur pada Pilar Jembatan Teunom dengan simpangan total maksimum pilar sebesar 0,01 yang berada pada level kinerja Moderate Damage, dan untuk Pilar Jembatan Kuala Bubon berada pada level kinerja Extensive Damage dengan angka simpangan total maksimum sebesar 0,028. Berdasarkan angka tersebut, Pilar Jembatan Kuala Bubon memiliki nilai kerapuhan struktur yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan Pilar Jembatan Teunom sehingga Pilar Jembatan Kuala Bubon akan lebih dulu mengalami kegagalan pada strukturnya.

**Kata Kunci:** kerapuhan, pushover, time history

### PENDAHULUAN

Jembatan mengambil peranan penting dalam perekonomian suatu negara, dengan adanya jembatan, akses dari satu pulau ke pulau yang bersebrangan dapat dilalui dengan mudah. Jembatan yang merupakan komponen utama pada jaringan transportasi diharuskan untuk dapat bekerja dan mampu melayani kendaraan yang melintas ketika dan setelah bencana alam terjadi seperti gempa bumi. Perencanaan jembatan yang menggunakan konstruksi beton bertulang didesain sesuai Standar Nasional yang dikeluarkan oleh Pemerintah Indonesia. Indonesia, khususnya di Aceh, bangunan yang menggunakan konstruksi beton bertulang seperti Gedung dan Jembatan memiliki persyaratan khusus pada tahap perencanaannya yaitu harus memiliki angka keamanan sesuai peraturan yang telah ditetapkan terhadap beban dinamis seperti gempa.

Berdasarkan sejarah gempa yang pernah terjadi di Aceh, Gempa Pidie Jaya termasuk salah satu gempa yang mengakibatkan kerusakan berskala besar. Gempa tersebut mengakibatkan beberapa bangunan infrastruktur seperti Gedung pertokoan, Mesjid, Jalan dan Jembatan runtuh. Pilar jembatan yang berada di sekitar pusat gempa mengalami kegagalan struktur yang menyebabkan jembatan tidak dapat digunakan sebagai jalur akses utama masyarakat. Gempa susulan yang berkekuatan lebih kecil masih terus terjadi sampai saat ini di Aceh. Untuk itu, perlu dilakukan pengkajian perilaku struktur pilar pada jembatan yang baru selesai dibangun maupun pilar yang telah lama didirikan dengan menggunakan metode pushover yang nantinya akan digambarkan melalui kurva fragilitas (kurva kerentanan).

Kurva fragilitas merupakan kurva yang menghubungkan antara nilai probabilitas terjadinya suatu tingkat kerusakan pada pilar jembatan akibat suatu intensitas gempa. Pada penelitian ini, kurva fragilitas yang dihasilkan bertujuan untuk mengidentifikasi potensi kerusakan yang terjadi serta untuk menentukan level kinerja struktur pilar jembatan akibat beban gempa.

Adapun masalah dan lingkup kegiatan pada penelitian ini adalah Penelitian ini hanya terbatas pada studi analisa respon lendutan dan gaya dalam akibat beban dinamis berdasarkan nilai dari hasil analisa Pushover, Studi parameter ini hanya terfokus pada nilai probabilitas kerapuhan serta

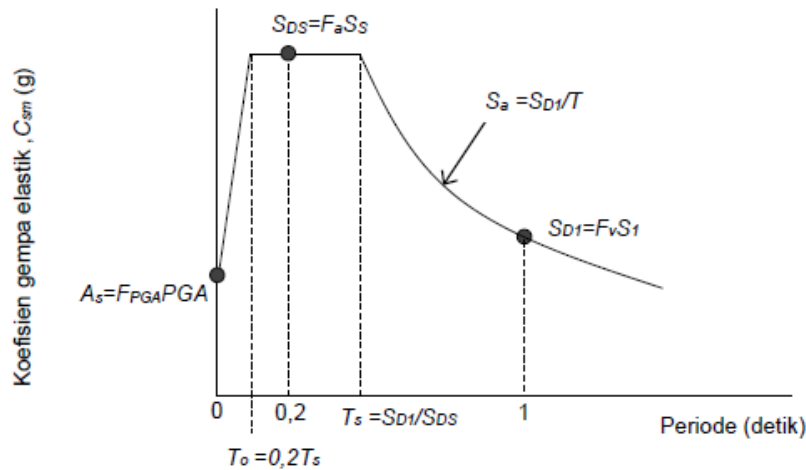
perbandingan evaluasi kinerja struktur pilar dari jembatan dengan perbedaan tinggi kolom dan lokasi yang berbeda yaitu Jembatan Teunom Kabupaten Aceh Jaya dan Jembatan Kuala Bubon Kabupaten Aceh Barat yang dikonstruksi pada tahun 2016, Analisa pemodelan dilakukan dengan menggunakan program *MIDAS CIVIL*, Hasil analisa akan diteruskan ke tahap penggambaran kurva fragilitas dan perhitungan evaluasi kinerja struktur pilar sehingga akan didapatkan tingkat kerentanan dari kedua pilar jembatan yang ditinjau.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah jembatan yang telah dikonstruksi atau lebih spesifiknya pada bagian pilar jembatan tersebut telah dikonstruksi dengan baik sesuai standar kriteria perencanaannya, dan jika nantinya ditemukan adanya kelemahan struktur yang telah terjadi, dapat diberikan dugaan penyebab terjadinya kelemahan hingga kegagalan struktur dari kedua pilar jembatan.

Penelitian ini nantinya dapat dimanfaatkan oleh pemerintah atau instansi yang bertanggung jawab pada jembatan untuk mengetahui tingkatan kinerja jembatan dan langkah antisipasi yang dapat diambil untuk struktur pilar yang mengalami kelemahan berdasarkan hasil analisa.

**METODOLOGI**

Berdasarkan [Anonim, 2016] tentang Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa, Respon spektra adalah nilai yang menggambarkan respon maksimum system berderajat-kebebasan-tunggal pada berbagai frekuensi alami (periode alami) teredam akibat suatu goyangan tanah. Untuk kebutuhan praktis, maka respon spektra dibuat dalam bentuk respon spektra yang sudah disederhanakan.



**Gambar 1. Bentuk tipikal respon spektra di permukaan tanah**

Respon spektra di permukaan tanah ditentukan dari 3 (tiga) nilai percepatan puncak yang mengacu pada peta gempa Indonesia dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (PGA, S<sub>s</sub> dan S<sub>1</sub>), serta nilai factor amplifikasi F<sub>PGA</sub>, F<sub>a1</sub> dan F<sub>v</sub>. Perumusan respon spektra adalah sebagai berikut :

$$A_s = F_{PGA} \times PGA \tag{1}$$

$$SDS = F_a \times S_s \tag{2}$$

$$SD1 = F_v \times S_1 \tag{3}$$

Dikutip dari [Wardana, 2016] fragilitas dapat digambarkan sebagai kemungkinan dari kondisi respon seismik melampaui kapasitas seismik berdasarkan intensitas pergerakan tanah (*ground motion*), dengan menggunakan metode analitis, fungsi dari fragilitas dapat diperoleh berdasarkan rumus berikut:

$$P = \Phi\left(\frac{\ln x - \lambda}{\beta RU}\right) \tag{4}$$

Dengan :

P = Probabilitas kerusakan struktur;

$\Phi$  = Fungsi standar normal distribusi kumulatif;  
 $\beta_{RU}$  = Ketidakpastian total struktur;  
 $x$  = *Ground motion parameter*, PGA (g);  
 $\lambda$  = Rata-rata dari  $\ln x$

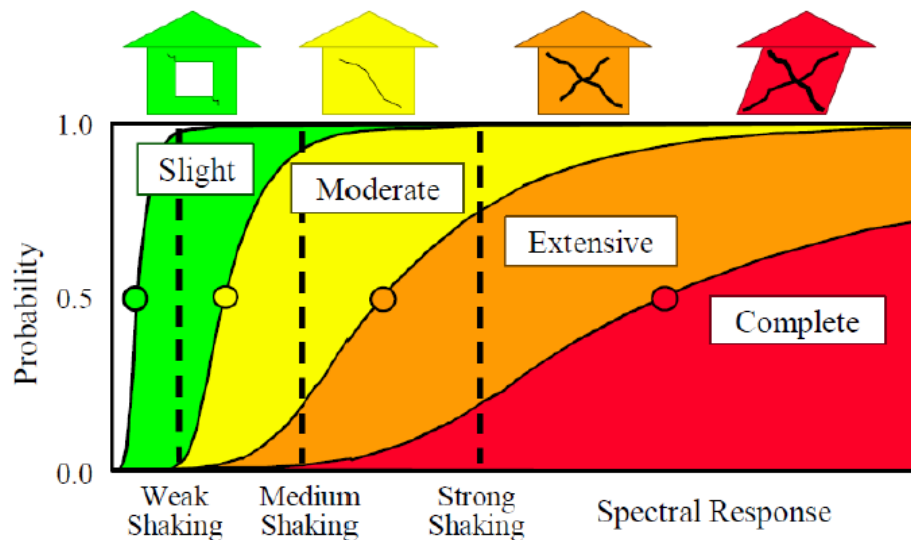
Menurut [Wardana, 2016] ketidakpastian merupakan suatu cara untuk mentolerir terkait pendekatan yang dilakukan. Umumnya terdapat dua tipe ketidakpastian struktur seperti,  $\beta_R$  yang merupakan ketidakpastian yang disebabkan oleh fenomena yang akan terjadi secara acak, dan  $\beta_U$  yang merupakan ketidakpastian yang ditimbulkan oleh adanya keterbatasan pengetahuan terhadap alam. Berdasarkan dua tipe ketidakpastian tersebut, nantinya dapat dihitung Ketidakpastian total struktur ( $\beta_{RU}$ ) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\beta_{RU} = \sqrt{\beta_R^2 + \beta_U^2} \quad (5)$$

dengan :

$\beta_{RU}$  = Ketidakpastian total;  
 $\beta_R$  = Ketidakpastian *aleatory*;  
 $\beta_U$  = Ketidakpastian *epistemic*.

Setelah dilakukan proses perhitungan dengan menggunakan persamaan yang telah disebutkan, selanjutnya didapat nilai-nilai probabilitas yang membentuk suatu kurva fragilitas seperti gambar di bawah ini.



**Gambar 2. Konsep Kurva Fragilitas pada empat kondisi berdasarkan HAZUS**  
 Sumber: HAZUS – MH 2.1, 2001

Dasar evaluasi didapat dari Dokumen ATC (*Applied Technology Council*) 40 1996 *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Deformasi lateral pada struktur diperiksa terhadap nilai simpangan total maksimum dan simpangan inelastic untuk mendapatkan tingkat kinerja struktur.

Rumus-rumus yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur pilar dan batasan deformasi lateral sebagai berikut :

- Simpangan Total Maksimum:  $\frac{Dt}{H_{tot}}$  (6)

- Simpangan Inelastis Maksimum:  $\frac{Dt-D1}{Htot}$  (7)

Dimana:

Dt: Perpindahan maksimum struktur (m)

D1: Perpindahan pada kondisi leleh pertama (m)

Htot: Tinggi total struktur (m)

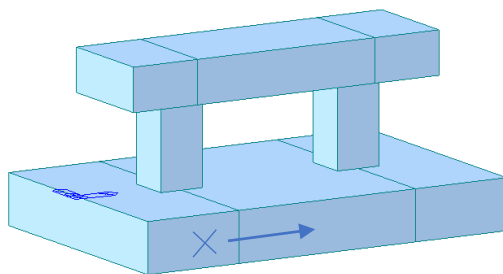
### Pengambilan Data Desain Pilar

Pilar jembatan yang akan diteliti merupakan pilar beton bertulang yang memiliki panjang bentang gelagar  $\pm 20$  m. Jembatan yang akan digunakan yaitu Jembatan Teunom yang terletak di Kabupaten Aceh Jaya dan Jembatan Kuala Bubon yang terletak di Kabupaten Aceh Barat. Kedua jembatan ini nantinya akan dibandingkan kekakuan strukturnya berdasarkan hasil dari proses analisa *pushover* menggunakan program analisa elemen hingga.

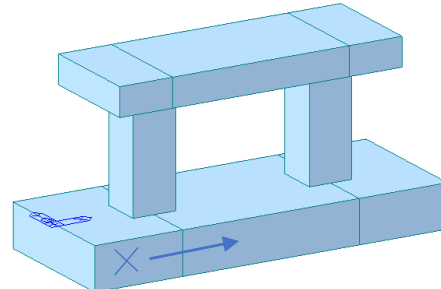
### Pemodelan Pilar Jembatan

Kedua jembatan yang akan dimodelkan menggunakan bantuan program analisa elemen hingga, dan pada penelitian ini digunakan program *MIDAS CIVIL*. Penelitian hanya memodelkan bentuk pilar dari kedua jembatan dengan memasukkan dimensi dan tulangan dari gambar *As-Built Drawing* ketika jembatan tersebut dibangun. Pemodelan ini juga membandingkan SNI yang digunakan pada masing-masing jembatan ketika direncanakan. Pemodelan menggunakan dimensi tulangan yang mengikuti standar ASTM. Berikut ini merupakan tahapan proses pemodelan.

- Pemodelan pilar jembatan berdasarkan Gambar DED masing-masing jembatan dengan menggunakan referensi dimensi tulangan berdasarkan Standar ASTM;  
Berikut ini merupakan gambar pemodelan Pilar Jembatan Teunom (Gambar 3.a) dan Kuala Bubon (Gambar 3.b).



a. Pilar Jembatan Teunom



b. Pilar Jembatan Kuala Bubon

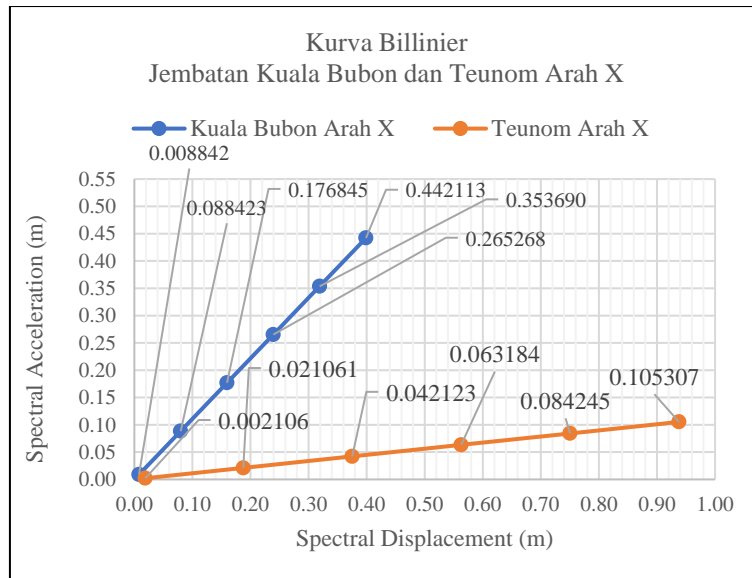
**Gambar 3. Pemodelan Pilar Jembatan Teunom (a), Pilar Jembatan Kuala Bubon (b)**

- Input* respon spektra berdasarkan situs puskim.go.id di lokasi tinjauan yaitu Daerah Teunom dan Kuala Bubon;  
Pada pemodelan struktur pilar jembatan, respon spectra yang digunakan ialah untuk Daerah Teunom digunakan respon spektra dengan jenis tanah lunak dengan PGA 0,573g, sedangkan untuk Daerah Kuala Bubon digunakan respon spektra dengan jenis tanah keras dengan PGA 0,585g.
- Input time history* Gempa Pidie Jaya;  
Pengambilan data *time history* Gempa Pidie Jaya telah dilakukan sebelumnya sehingga *time history* yang digunakan dapat langsung diinput ke dalam pemodelan struktur pilar jembatan kedua jembatan.
- Menjalankan analisa menggunakan *pushover method*;  
Setelah semua persyaratan terpenuhi dan dimasukkan (input), selanjutnya adalah menjalankan analisis menggunakan *pushover method* yang telah tersedia pada pilihan *run analyze*-nya perangkat lunak yang digunakan yaitu *MIDAS Civil*.

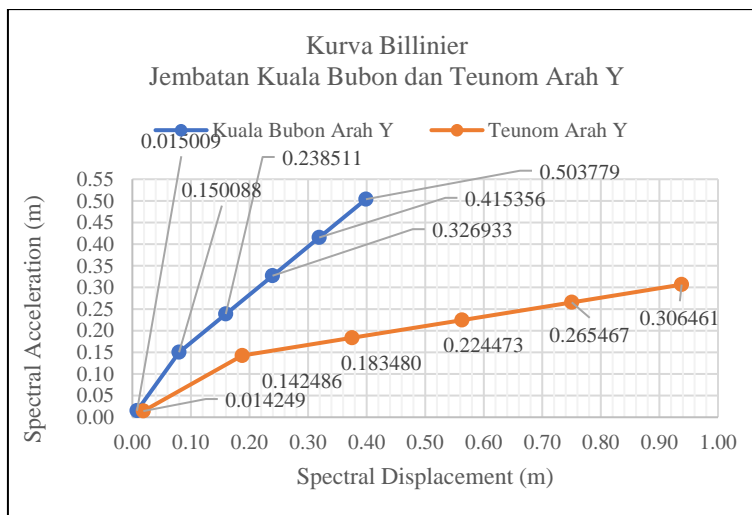
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh yaitu nilai dari kekakuan struktur pada masing-masing pilar jembatan yang digunakan, dengan kriteria perbandingan sebagai berikut:

- Perbandingan nilai kerentanan berdasarkan Hasil Analisa *Pushover* dari masing-masing jembatan yang ditampilkan dengan kurva fragilitas. Berdasarkan hasil analisa dengan menggunakan metode *pushover* didapatkan hasil dari kurva hubungan antara nilai percepatan spektrum dan nilai perpindahan spectrum pada arah X dan Y untuk Pilar Jembatan Teunom dan Kuala Bubon pada Gambar 4 dan 5.



**Gambar 4. Kurva Billinier Hasil Analisa Pushover Pilar Jembatan Teunom dan Kuala Bubon Arah X**



**Gambar 5. Kurva Billinier Hasil Analisa Pushover Pilar Jembatan Teunom dan Kuala Bubon Arah Y**

Dari hasil analisa *pushover* juga didapatkan kurva billinier untuk nantinya dihitung menggunakan persamaan 4 sehingga menghasilkan Kurva Fragilitas dengan langkah-langkah sebagai berikut.

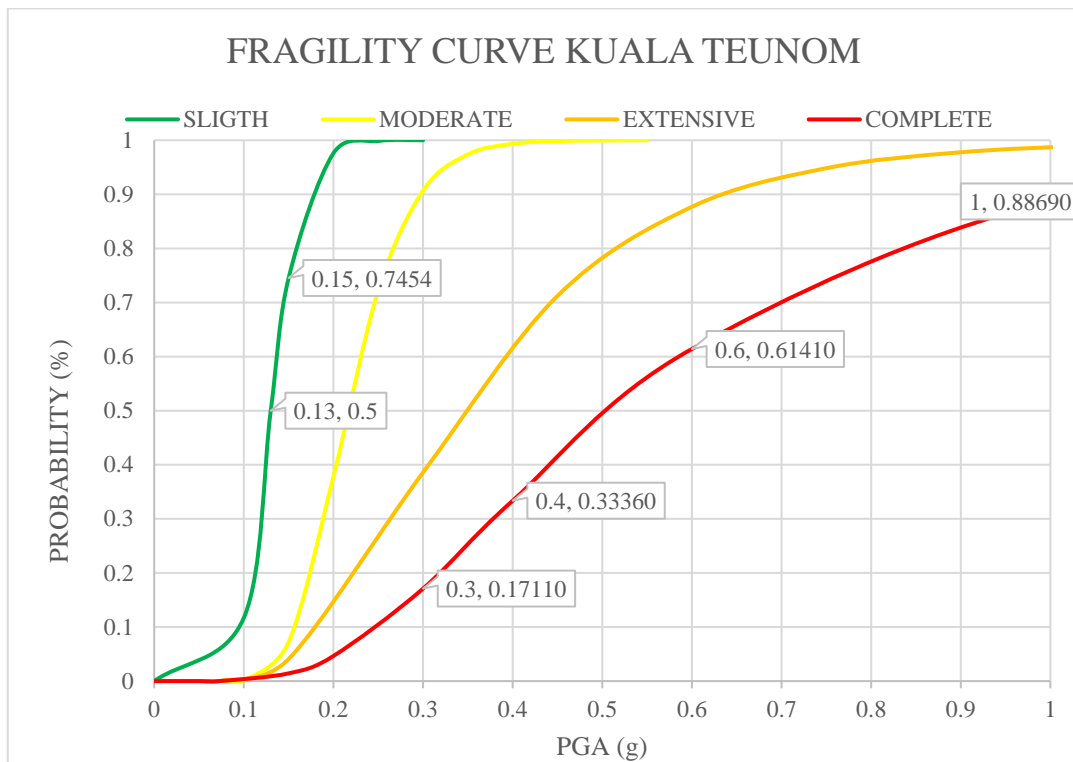
- Penentuan klasifikasi tingkat kerusakan

Kurva fragilitas memiliki tingkatan atau klasifikasi tingkat kerusakan dimulai dari tingkat kerusakan ringan sampai tingkat kerusakan yang mengalami kehancuran struktur total, deskripsi dari klasifikasi tingkat kerusakan ditampilkan pada tabel 1 di bawah ini.

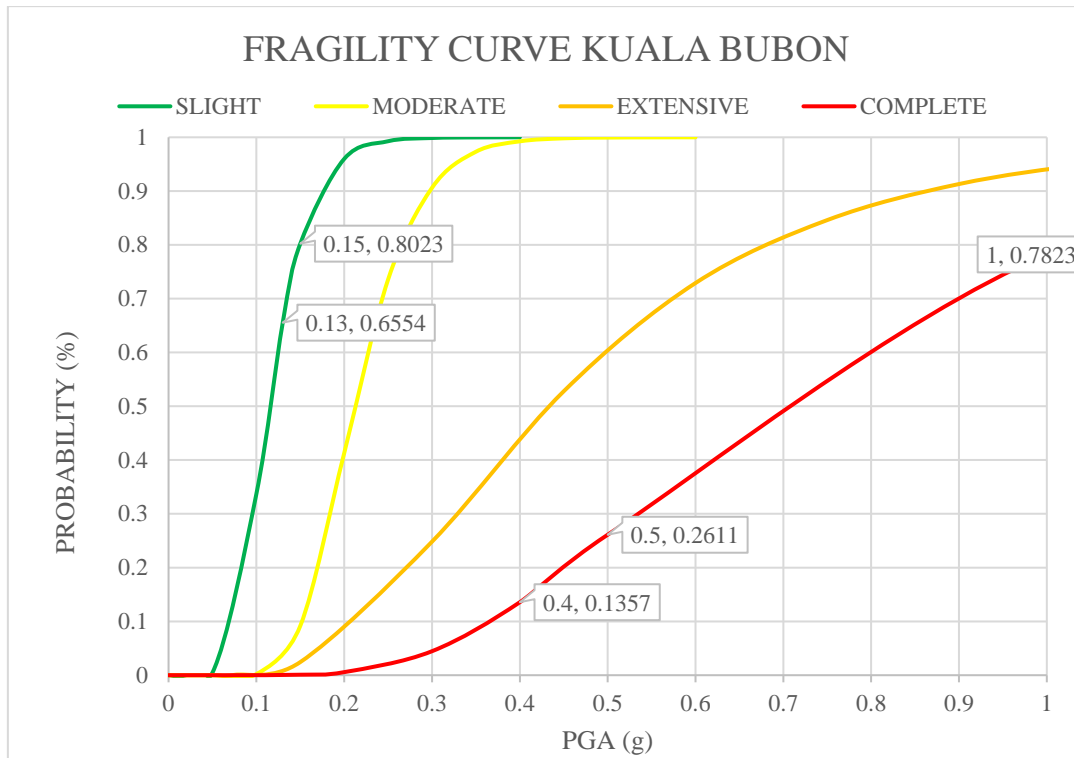
**Tabel 1 Deskripsi tingkat kerusakan jembatan**

Tingkat Kerusakan	Deskripsi
Slight	Retak dan pecah minor pada abutment, retak dan pecah minor pada sendi plastis, pecah minor pada kolom (hanya perlu perbaikan ringan/nonstruktural).
Moderate	Retak geser dan pecah menengah pada kolom (kolom masih kuat secara structural), terjadi perpindahan sedang pada abutment.
Extensive	Terjadi penurunan kekuatan tanpa runtuh pada kolom, terjadi kegagalan akibat geser (kolom tidak aman secara structural), terjadi perpindahan yang besar pada abutment.
Complete	Semua kolom runtuh total.

- b. Perhitungan menggunakan persamaan 4 dan 5  
 Perhitungan dengan menggunakan persamaan 4 dan 5 digunakan untuk memperoleh hasil berupa nilai-nilai untuk menampilkan kurva kerapuhan dari kedua pilar jembatan yang ditinjau seperti pada gambar 6 dan 7 di bawah ini.



**Gambar 6. Kurva Fragilitas Pilar Jembatan Teunom**



**Gambar 7. Kurva Fragilitas Pilar Jembatan Kuala Bubon**

Perbandingan nilai evaluasi kinerja struktur dari setiap pilar jembatan yang ditinjau. Berdasarkan nilai batas deformasi lateral pada tabel 2.1, untuk Pilar Jembatan Teunom setelah dihitung menggunakan rumus 2.11a didapat nilai Simpangan Total Maksimum sebesar **0,010 m** yaitu berada pada level **Moderate Damage** dan Simpangan Total Maksimum pada Jembatan Kuala Bubon berada di level kinerja struktur **Extensive Damage** yang memiliki nilai sebesar **0,028 m**.

Dari data di atas, dapat diketahui bahwa Struktur Pilar Jembatan Teunom lebih dapat menerima efek dari guncangan gempa seperti Gempa Pidie Jaya dengan kekuatan sebesar 6,5Mw dan masih dapat digunakan dengan baik untuk menjadi bangunan akses masyarakat setelah gempa terjadi. Jika dibandingkan dengan nilai Simpangan Total Maksimum Struktur Pilar Jembatan Teunom, Struktur Pilar Jembatan Kuala Bubon sudah mengalami kegagalan struktur setelah Gempa Pidie Jaya tersebut terjadi, yang diduga perbedaan itu terjadi akibat perbedaan kekakuan struktur dari kedua pilar jembatan, dugaan perbedaan kekakuan struktur tersebut terjadi akibat dari berbedanya jenis tanah yang digunakan pada saat perencanaan di kedua daerah, dimana pada daerah Kuala Bubon, jenis tanah yang digunakan merupakan tanah keras sehingga struktur pilar jembatannya direncanakan tidak terlalu kaku, berbeda dengan daerah Teunom yang tanahnya merupakan tanah lunak, kekakuan struktur pada Pilar Jembatan Teunom direncanakan lebih tinggi daripada Struktur Pilar Jembatan Kuala Bubon yang kemudian dari hasil analisis dengan menggunakan Gempa Pidie Jaya, level kinerja struktur Pilar Jembatan Teunom lebih baik daripada level kinerja struktur Pilar Jembatan Kuala Bubon.

## KESIMPULAN

1. Pilar Jembatan Teunom dan Pilar Jembatan Kuala Bubon mengalami kerusakan ringan dengan nilai intensitas gempa masing-masing sebesar 0,13 g dan 0,12 g.
2. Pilar Jembatan Teunom berada pada level kinerja struktur *Moderate Damage* yang masih memiliki kekuatan dan ketahanan struktur pasca gempa yang sama dengan kekuatan dan ketahanan struktur sebelum gempa terjadi.
3. Pilar Jembatan Kuala Bubon berada pada level kinerja struktur *Extensive Damage* yang apabila gempa terjadi, kekuatan strukturnya harus segera diperbaiki karena tidak dapat lagi menahan beban yang dapat dipikul pada saat sebelum gempa terjadi.

4. Struktur Pilar Jembatan Kuala Bubon sedikit lebih rapuh ketika terjadi gempa yang diduga diakibatkan oleh kelas tanah yang ada pada lokasi pembangunan yaitu tanah lunak.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2013, Standar Nasional Indonesia 1727-2013: Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim, 2016, Standar Nasional Indonesia 1725-2016: Pembebanan Untuk Jembatan, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim, 2019, Standar Nasional Indonesia 1726-2019: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- E. Hernandez-Montes, M. Aschleim., 2003, *Estimates Of The Yield Curvature For Design Of Reinforced Concrete Columns*, *Magazine of Concrete Research*, 55, No 4, Granada.
- Federal Emergency Amangement Agency (FEMA), 2001a, *HAZUS99 for MapInfo, Service Release 2*, December 2001, Western U.S, CD ROM, FEMA, Washington, D.C.
- Federal Emergency Amangement Agency (FEMA), 2001b, *HAZUS99 for MapInfo, Service Release 2*, December 2001, Western U.S, CD ROM, FEMA, Washington, D.C.
- Federal Emergency Amangement Agency (FEMA), 2001c, *HAZUS99 for MapInfo, Service Release 2*, December 2001, Western U.S, CD ROM, FEMA, Washington, D.C.
- Megha Vasavada, V R. Patel., 2016, *Development of Fragility Curves for RC Buildings using Hazus Method*, *International Research Journal of Engineering and Technology*, Volume 03 Issue 05.
- Nirav K. patel, Sandip A. Vasanwala., 2020, *Propagating Fragility Curve For RC Buildings Via Hazus Methodology*, *Proceedings Volume 32, Part 3*, Pages 314-320.
- Oktopianto, Yogi., 2013, *Evaluasi Kinerja Struktur Beton Bertulang Dengan Metode Pushover*, Universitas Gunadarma, Jakarta Selatan.
- Rahimi Vahid, Khodakarami Mohammad Iman, Vahdani Reza., 2015, *Determine of Structural Fragility Curves of Buildings with Hazus Methodology for Seismic Risk Assessment I the city of Semnan Iran*, *10<sup>th</sup> International Congress on Civil Engineering*, University of Tabriz, Iran.
- Sabrina, Hazziaty., 2020, *Analisa Kerentanan Bangunan Pada Rumah Tipe Beton Terhadap Gempa Bumi di Aceh Utara*, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.