

Perkuatan Seismik Struktur Gedung Berlantai Tujuh Menggunakan Sistem Bresing Baja

Alhadi Setiawan¹⁾, Muttaqin Hasan²⁾, Taufiq Saidi³⁾

¹⁾ Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

^{2,3)} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

Email: alhadi_s@mhs.unsyiah.ac.id¹⁾, Muttaqin@unsyiah.ac.id²⁾,
taufiq_saidi@unsyiah.ac.id³⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v13i1.857>

(Received: November 2022 / Revised: February 2023 / Accepted: March 2023)

Abstrak

Struktur Gedung BSI Cut Mutia Banda Aceh mengalami beberapa retakan pada balok dan kolom akibat gempa sehingga memerlukan suatu perkuatan dengan menganalisis struktur menggunakan metode *pushover* untuk mengetahui gaya geser dan *displacement* maksimum yang mampu ditahan oleh struktur pada kondisi eksisting maupun setelah diperkuat menggunakan bresing dan level kinerja serta mekanisme sendi plastis maupun simpangan antar lantai. Untuk pengembangan kurva kerapuhan digunakan metode *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) untuk melihat tingkat probabilitas kerusakan struktur dari 10 rekaman gempa. Data yang diperlukan yaitu gambar perencanaan awal, mutu baja, mutu beton dan dimodelkan menggunakan software SAP2000, dilakukan analisis statis beban mati dan beban hidup serta analisis dinamis. Hasil penelitian menunjukkan profil bresing baja IWF 150x150x10x7 memenuhi keamanan untuk sistem perkuatan. Simpangan antar lantai menggunakan bresing lebih kecil dari pada kondisi eksisting serta evaluasi *displacement* dan *drift ratio* dari data riwayat gempa lebih rentan terhadap beban gempa Simeulue 1 dengan nilai PGA 1,281 g.

Kata kunci: Perkuatan Seismik, Pushover, Time History, IDA, Kurva Kerapuhan

Abstract

The structure of the BSI Cut Mutia Banda Aceh Building has several cracks in the beams and columns due to the earthquake, so it requires strengthening by analyzing the structure using the pushover method to determine the maximum shear and displacement forces that the structure can withstand in the existing conditions and after being strengthened using braces and performance levels as well as the mechanism of plastic hinges and drift between floors. The development of the fragility curve uses the Incremental Dynamic Analysis (IDA) method to show the probability level of structural damage from 10 recorded earthquakes. The data needed are initial planning drawings, steel quality, concrete quality and modeled using SAP2000 software, static analysis of dead and live loads and dynamic analysis is carried out. The results showed that the steel bracing profile IWF 150x150x10x7 met safety for reinforcement systems. The deviation between floors using braces is smaller than the existing conditions and the displacement and drift ratio evaluation from historical earthquake data is more susceptible to the Simeulue 1 earthquake load with a PGA value of 1.281 g.

Keywords: Seismic Strengthening, Pushover, Time History, IDA, Fragility Curve.

1. Latar Belakang

Gempa bumi merupakan sebuah getaran yang timbul akibat adanya pelepasan energi dari dalam permukaan bumi secara tiba-tiba sehingga dapat menciptakan gelombang seismik (Rahmat, Afiadi and Joelianto, 2018). Gempa yang cukup besar terjadi di Kota Banda Aceh berpotensi merusak struktur gedung pada wilayah tersebut. Salah satunya gedung BSI Cut Mutia Banda Aceh yang didesain dan dibangun menggunakan rangka pemikul momen dari beton bertulang yang telah mengalami beberapa retakan pada balok dan kolom akibat gempa (Muttaqin *et al.*, 2020). Hasil evaluasi kinerja gedung tersebut menggunakan metode pushover atas standar (ATC-40, 1996) dan (ASCE, 2017), didapat pada level kinerja *Immediate Occupancy*. Dari hasil analisis tersebut didapatkan kurva kerapuhan gedung di mana dengan skala 8,3 SR mengalami kemungkinan terjadinya kerusakan struktur *Slight Damage* 97,27% dan *Moderate damage* 86,08% dan *Extensive damage* 37,3% serta *Collapse damage* sebesar 0,0004% (Abdi, Hasan and Saidi, 2022) oleh karena itu maka perlu diusulkan suatu metode perkuatan menggunakan bresing baja untuk meningkatkan kekakuan pada struktur tersebut (Kadid and Yahiaoui, 2011).

Dari latar belakang tersebut maka diketahui beberapa rumusan masalah yaitu seberapa besar perbandingan hasil analisis pushover, titik kinerja (*performance point*), level kinerja, mekanisme sendi plastis, dan kurva kerapuhan (*fragility curve*) serta perilaku struktur bangunan Gedung BSI Cut Mutia Banda Aceh dalam menahan gaya gempa yang terjadi sehingga nantinya akan diketahui gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan (*displacement*) maksimum yang dapat ditahan oleh struktur, *performance point*, tingkat kinerja berdasarkan metode ATC-40 dan menentukan mekanisme sendi plastis yang terjadi pada struktur serta kerentanan struktur atau tingkat kerusakan (*fragility curve*) dengan metode *incremental dynamic analysis* maupun perilaku struktur bangunan Gedung BSI Cut Mutia Banda Aceh dalam menahan gaya gempa yang terjadi baik dengan menggunakan data eksisting dibandingkan dengan kondisi setelah dilakukan perkuatan menggunakan bresing baja hal ini merupakan salah satu upaya pengurangan risiko bencana akibat gempa untuk menghitung seberapa besar tingkat probabilitas pada keempat kategori kerusakan (*slight, moderate, extensive, complete*). Hasil evaluasi tersebut juga diharapkan dapat mengetahui perbandingan antara kondisi eksisting dengan setelah dilakukan perkuatan menggunakan bresing baja yang dapat mengurangi simpangan horizontal akibat adanya penambahan bresing (Anggraeni, Widayanto and Nurtanto, 2016), serta untuk meningkatkan probabilitas struktur tersebut apabila terjadi gempa dengan intensitas tertentu (Bawono, 2016).

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini objek yang diteliti adalah Gedung BSI Cut Mutia Banda Aceh berfungsi sebagai perkantoran yang terletak di Jalan Cut Mutia No.17, Kampung Baru, Kecamatan Baiturrahman, Kota Banda Aceh. Struktur gedung tersebut memiliki tingkatan sebanyak 7 lantai dengan tinggi total bangunan yaitu 26,10 meter dengan kelas situs tanah sedang (SD) (Sulaeman and Solikhin, 2017). Struktur akan di analisis menggunakan metode Pushover untuk mendapatkan nilai *performance point*, level kinerja dan pola keruntuhan serta kerentanan struktur terhadap gempa bumi yang terjadi dengan mengembangkan kurva kerapuhan berbasis *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) yaitu melihat besarnya perpindahan tinggi per lantai yang terjadi (*drift ratio*). Objek akan dianalisis secara komputasi

dengan bantuan *software* SAP2000 V22 (CSI, 2016). Laporan Hasil Audit Building pada Struktur Gedung BSI Cut Mutia Banda Aceh dan Respon spektrum dengan berdasarkan peraturan (Badan Standardisasi Nasional, 2019) dan (Badan Standardisasi Nasional, 2013), serta beberapa data rekaman gempa yang mengacu kepada penelitian (Irfan, Abdullah and Afifuddin, 2022) diakses melalui situs (www.peer.berkeley.edu). dan rekaman gempa Simeulue I dari BMKG Aceh. beban gempa merupakan rekaman percepatan tanah untuk gempa tertentu yang akan digunakan untuk membebani bangunan mulai dari elastis hingga mencapai ketidakstabilan global dan collapse (Haryono and Purnamawanti, 2019). Rekaman gempa yang akan digunakan dapat diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Daftar rekaman gempa yang digunakan

No	Gempa	Station	Tahun	M
1	Chi-Chi	TCU045	1999	7,3
2	Hollister	USGS Station 1028	1961	5,6
3	Imperial Valley	USGS Station 5115	1979	6,5
4	Kobe	Kakogawa (CUE90)	1995	6,9
5	Kocaeli	Yarimca (KOERI330)	1999	7,4
6	Landers	SCE Station 24	1992	7,3
7	Loma Prieta	090 CDMG Station 47381	1989	6,9
8	Northridge	090 CDMG Station 24278	1994	6,7
9	Trinidad	090 CDMG Station 1498	1983	6,7
10	Simeulue 1	BMKG Aceh	2012	6,5

Sumber: https://www.peer.berkeley.edu/ground_motion_database

2.1 Tahapan Analisis yang dilakukan

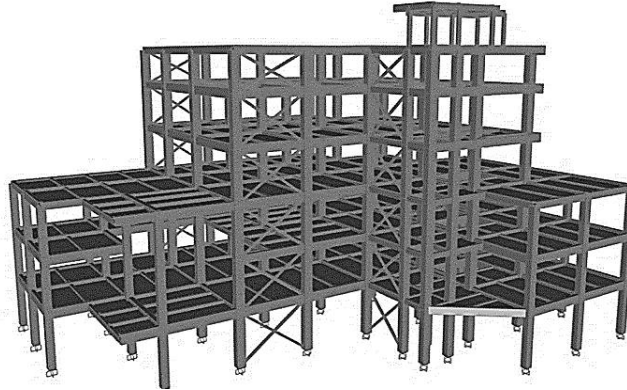
Adapun beberapa tahapan analisis yang dilakukan diantaranya dimulai dengan Pengumpulan data gambar struktur yang diperoleh dari Laporan Hasil Audit Struktur Gedung BSI Cut Mutia Banda Aceh.



Gambar 1 Pemodelan kondisi eksisting

Pemodelan struktur 3D dibuat menggunakan bantuan *software* SAP2000 dalam 2 (dua) pemodelan yaitu berdasarkan kondisi eksisting dan setelah diperkuat menggunakan bresing, kolom dan balok dimodelkan sebagai elemen frame, pelat lantai dan atap adalah bertipe shell. Beban yang diinput yaitu beban mati (*dead*), Beban mati tambahan (*super dead*), beban hidup (*live*), beban gempa statis (*quake*),

beban gempa dinamis (*respon spektrum*), dan beban dorong statik (*analysis pushover*), serta beban gempa riwayat waktu (*time history*). Menentukan titik kontrol berdasarkan deformasi struktur terbesar kombinasi pembebanan. Seperti diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 2 Pemodelan menggunakan bresing sistem

Analisis struktur dengan metode pushover dilakukan dengan memberikan beban dorong pada setiap pusat massa lantai dan ditingkatkan secara berkala hingga tercapai target perpindahan pada atap gedung sehingga menghasilkan kurva kapasitas struktur gedung tersebut. Kemudian diketahui nilai *performance point* yang dihasilkan dari perpotongan kurva *demand spectrum* dengan *spectrum capacity*. Selanjutnya melakukan perkuatan pada gedung dengan menggunakan bresing untuk meningkatkan kekakuan pada bangunan struktural yang ditinjau dengan tipe bresing yang telah ditentukan serta lokasi penempatannya sesuai dengan sendi plastis yang telah diketahui sebelumnya, menentukan level kinerja struktur berdasarkan ATC-40, membuat kurva *capacity bilinear* pada berbagai tingkat kerusakan yang terjadi dari hasil kurva kapasitas dan merubah akselerogram gempa yang digunakan menjadi respon spektrum serta menskalakannya sesuai dengan target respon spektrum menggunakan aplikasi *seismosignal* dan *seismomatch*. Menginput data gempa *time history* pada aplikasi sap2000 v22 dari hasil tersebut maka dapat dibuat grafik perbandingan nilai *displacement* lalu menganalisis kurva IDA dan menentukan *limite state* untuk pembentukan kurva kerapuhan (Wardana, D.H., 2016), dengan persamaan (1):

$$P = \phi \left(\frac{\ln(X) - \lambda}{\beta_{RU}} \right) \quad (1)$$

Dalam menentukan nilai β_{RU} yaitu ketidakpastian total diperlukan nilai *aleatory uncertain* (β_R) dan *epistemic uncertain* (β_U). Untuk nilai β_R dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$\beta_R = (\ln x^{84\%} - \ln x^{16\%}) \quad (2)$$

Sedangkan untuk *epistemic* dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

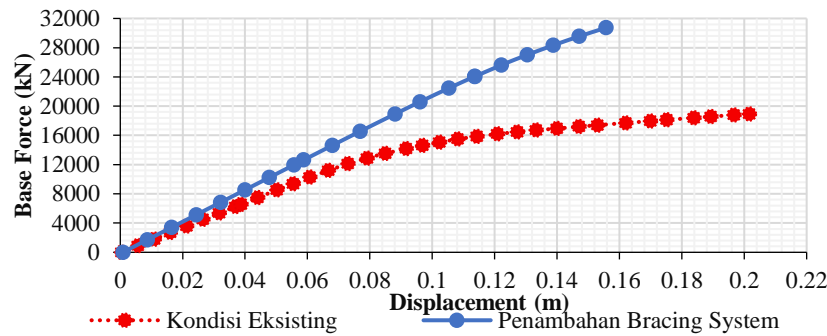
$$\beta_U = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\ln(x_i) - \ln(\lambda))^2}{N-1}} \quad (3)$$

Nilai ketidakpastian total dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

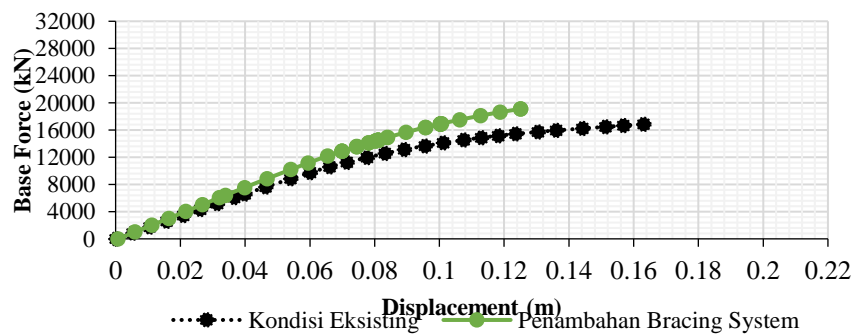
$$\beta_{RU} = \sqrt{\beta_R^2 + \beta_U^2} \quad (4)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis pushover dengan target *displacement* 2% dari tinggi total bangunan 26,10 m yakni 0,522 m. Besarnya gaya geser dasar dan deformasi yang terjadi seperti Diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Kurva pushover kapasitas arah X pada masing-masing kondisi struktur



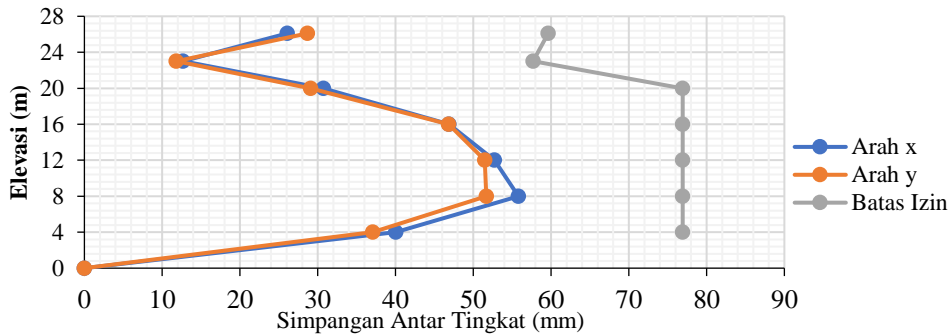
Gambar 4 Perbandingan kurva pushover kapasitas arah Y pada masing-masing kondisi struktur

Gaya geser dasar maksimum yang mampu ditahan oleh struktur gedung pada arah X dan Y setelah diperkuat menggunakan bresing lebih baik dibandingkan dengan kondisi eksisting, karena bresing lebih baik dalam memikul gaya horizontal. Nilai *performance point*, waktu getar alami efektif dan redaman *viscous* efektif berdasarkan metode ATC-40 dapat dilihat pada tabel berikut ini.

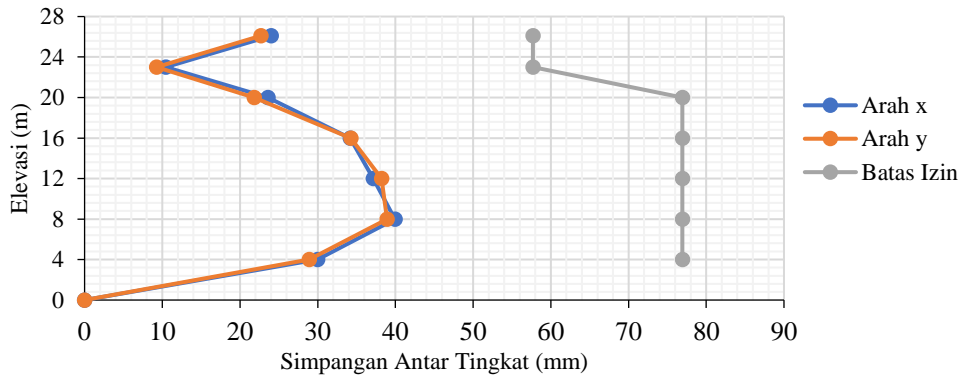
Tabel 2 *Performance point* Metode ATC-40

Keterangan	Base Shear (kN)	Performance Point Arah X					
		V_t	δ_t	S_a	S_d	T_{eff}	β_{eff}
Kondisi Eksisting	2831,32	6005,92	0,04	0,11	0,02	0,92	0,05
Penambahan bresing	3775,10	6006,24	0,03	0,11	0,02	0,87	0,05
Keterangan	Base Shear (kN)	Performance Point Arah Y					
		V_t	δ_t	S_a	S_d	T_{eff}	β_{eff}
Kondisi Eksisting	2831,32	5924,59	0,04	0,11	0,02	0,94	0,05
Penambahan bresing	3775,10	6006,24	0,03	0,11	0,02	0,87	0,05

Untuk level kinerja struktur baik pada kondisi eksisting maupun setelah dilakukan perkuatan menggunakan bresing baja pada arah X dan Y berada pada level *Immediate Occupancy* (IO) yaitu bangunan aman saat terjadi gempa, risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti dan dapat segera difungsikan kembali.

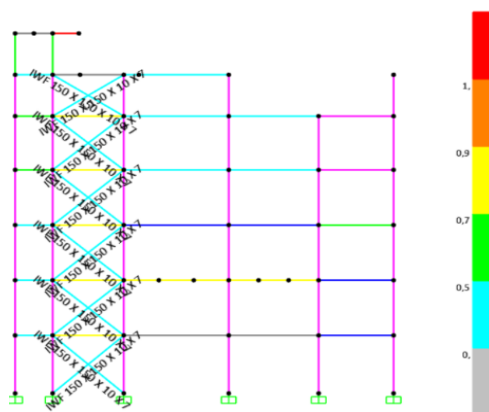


Gambar 5 Simpangan antar lantai (drift ratio pada kondisi eksisting)



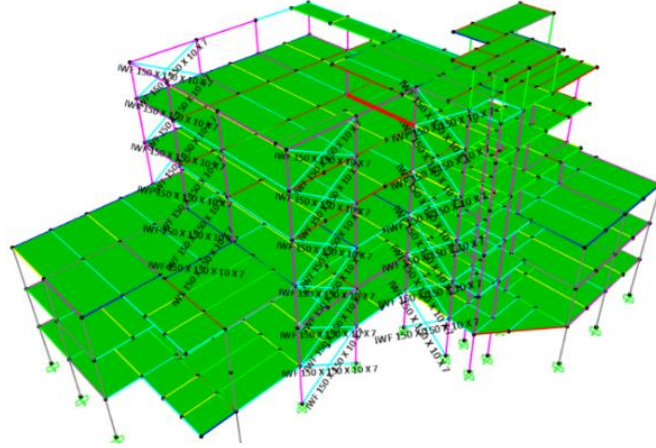
Gambar 6 Simpangan antar lantai (drift ratio kondisi perkuatan bresing)

Simpangan antar lantai setelah dilakukan perkuatan menggunakan bresing lebih kecil dibandingkan pada kondisi eksisting, hal tersebut membuktikan bahwa struktur gedung setelah ditambahkan bresing lebih kuat dan lebih kaku dibandingkan pada kondisi eksisting.



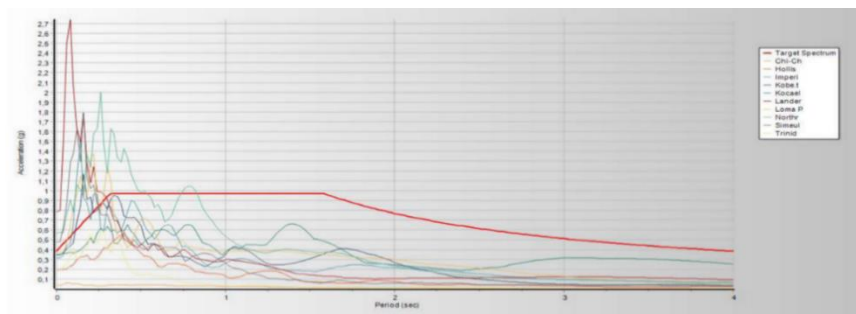
Gambar 7 Cek keamanan profil bresing baja

Pada warna abu-abu menandakan bahwa profil baja yang digunakan sangat aman akan tetapi boros secara ekonomi. Warna biru, hijau, kuning dan orange menandakan profil baja layak pakai dan cukup efektif dan efisien dari segi ekonomi, dan warna merah menandakan profil baja tidak aman digunakan sehingga perlu diperbesar/diubah bentuk profil bajanya.

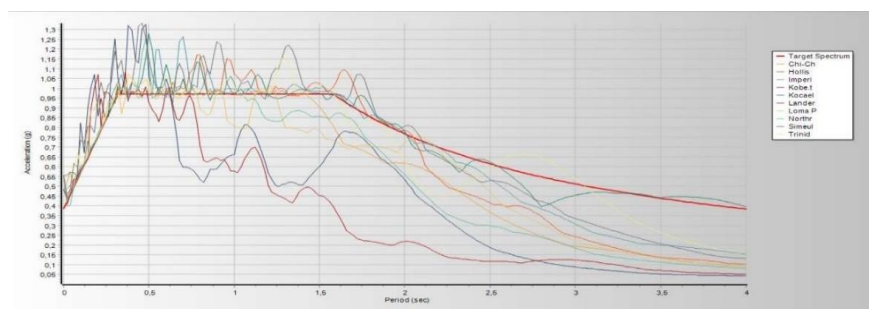


Gambar 8 Cek keamanan profil bresing baja

Ukuran profil bresing memenuhi syarat keamanan dengan ditandai tidak ada warna merah pada setiap frame. Profil IWF dengan dimensi 150 x 150 x 10 x 7 layak digunakan sebagai sistem perkuatan yang digunakan pada struktur tersebut.



Gambar 9 Respon spektrum *ground motion records* yang belum disesuaikan



Gambar 10 Respon spektrum *ground motion records* yang telah disesuaikan

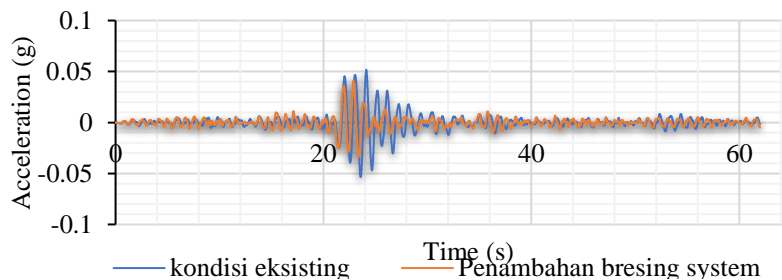
PGA merupakan pendekatan yang dapat dilakukan dengan cara menentukan intensitas seismik dari gempa bumi di suatu wilayah sehingga dapat diperkirakan risiko paling parah yang dapat dihasilkan dari suatu kejadian gempa bumi (Gandini *et al.*, 2022), dari hasil respon spektrum yang terbentuk, dapat diketahui nilai *Peak*

Ground Acceleration (PGA) dari setiap masing-masing gempa dengan nilai acceleration pada periode 0. Nilai PGA tersebut dibutuhkan untuk membuat kurva IDA sebagai *intensity measure* (Kumala and Wahyudi, 2016). Nilai PGA untuk setiap gempa dapat dilihat pada Tabel 3.

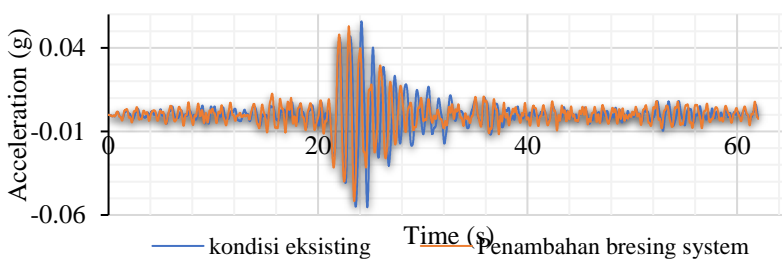
Tabel 3 Hasil Nilai PGA dari setiap gempa

No.	Gempa	PGA (g)
1	Chi-Chi	0,361
2	Hollister	0,195
3	Imperial Valley	0,315
4	Kobe	0,345
5	Kocaeli	0,349
6	Landers	0,780
7	Loma Prieta	0,367
8	Northridge	0,568
9	Trinidad	0,194
10	Simeulue 1	1,281

Nilai *displacement* merupakan hasil output analisis SAP2000 yang digunakan untuk mengetahui perpindahan yang terjadi akibat adanya beban yang bekerja sesuai dengan titik joint yang ditinjau. Grafik *displacement* terhadap waktu gempa Simeulue dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 11 Grafik *displacement* arah X akibat gempa Simeulue 1



Gambar 12 Grafik *displacement* arah Y akibat gempa Simeulue 1

Dari hasil *displacement* setiap gempa maka dapat diketahui nilai *drift ratio* untuk nantinya digunakan dalam membentuk kurva kerapuhan. Adapun *drift ratio* merupakan hasil perbandingan antara *displacement* dengan tinggi per lantai bangunan. Dalam penelitian ini tinggi per lantai yang dimodelkan adalah 4,10 meter. Nilai rekapitulasi *displacement* dan *drift ratio* dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4 *Displacement* dan *drift ratio* arah X dan arah Y pada kondisi eksisting

Gempa	<i>Displacement (m)</i>		<i>Drift Ratio (%)</i>	
	X	Y	X	Y
Chi-Chi	0,0181	0,0183	0,4412	0,4456
Hollister	0,0354	0,0264	0,8629	0,6437
Imperial Valley	0,0284	0,0455	0,6932	1,1105
Kobe	0,0309	0,0383	0,7533	0,9337
Kocaeli	0,0228	0,0216	0,5552	0,5270
Landers	0,0206	0,0303	0,5022	0,7391
Loma Prieta	0,0277	0,0309	0,6755	0,7533
Northridge	0,0238	0,0209	0,5800	0,5093
Trinidad	0,0402	0,0771	0,9796	1,8815
Simeulue 1	0,0547	0,0916	1,3333	2,2351

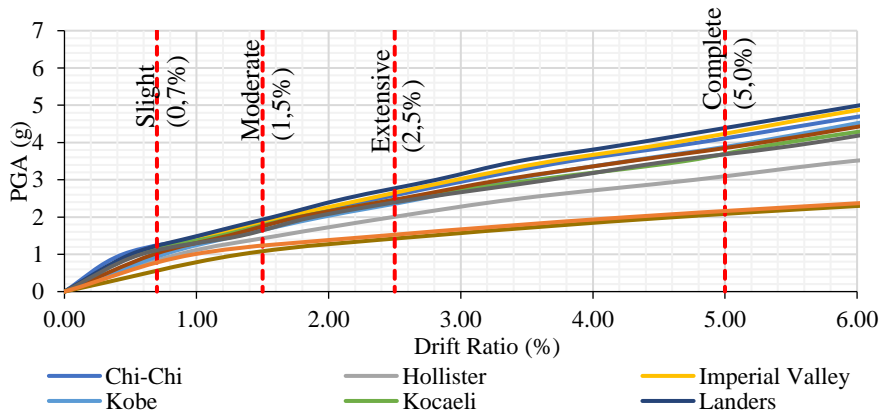
Tabel 5 *Displacement* dan *drift ratio* untuk arah X dan arah Y setelah diperkuat menggunakan bresing

Gempa	<i>Displacement (m)</i>		<i>Drift Ratio (%)</i>	
	X	Y	X	Y
Chi-Chi	0,0172	0,0120	0,4192	0,3420
Hollister	0,0232	0,0173	0,5654	0,4217
Imperial Valley	0,0186	0,0298	0,4541	0,7276
Kobe	0,0202	0,0251	0,4935	0,6117
Kocaeli	0,0149	0,0142	0,3638	0,3452
Landers	0,0135	0,0199	0,3290	0,4843
Loma Prieta	0,0181	0,0202	0,4426	0,4935
Northridge	0,0156	0,0137	0,3800	0,3337
Trinidad	0,0263	0,0505	0,6418	1,2327
Simeulue 1	0,0358	0,0600	0,8735	1,4644

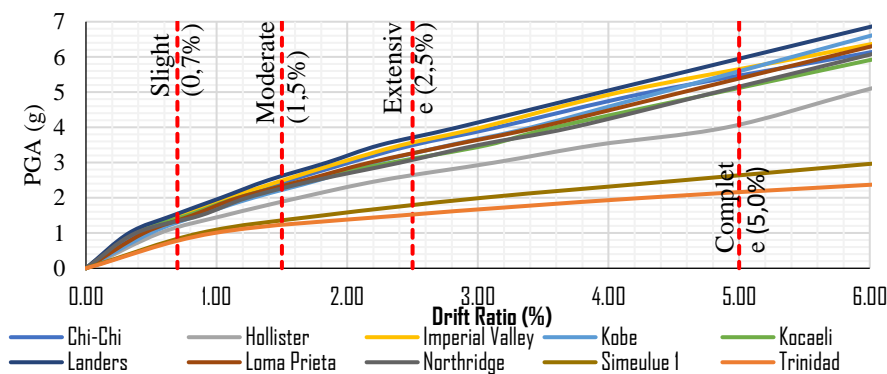
Dari hasil rekaman gempa yang telah di input pada SAP2000 dapat dilihat *displacement* pada Tabel 4 dan Tabel 5 memberikan respon yang berbeda terhadap seluruh beban gempa yang diterapkan pada masing-masing kondisi struktur gedung baik pada kondisi eksisting maupun setelah dilakukan perkuatan menggunakan bresing hampir sama namun berdasarkan hasil yang telah didapatkan pada kondisi eksisting memiliki nilai *displacement* relatif lebih besar dibandingkan setelah dilakukan perkuatan menggunakan bresing baik pada arah *longitudinal* (x) dan maupun arah *transversal* (y). Dari data tersebut, maka dapat dikatakan kerusakan pada bangunan lebih dominan terjadi pada kondisi eksisting. Hasil *displacement* pada kondisi eksisting yang dihasilkan dari pemodelan gempa Simeulue 1 pada skala 1 untuk arah X sebesar 0,0547 m dan arah Y *displacement* terbesar juga dihasilkan dari pemodelan gempa Simeulue 1 sebesar 0,0916 m dan *displacement* terkecil dihasilkan dari gempa Chi-Chi sebesar 0,0183 m.

Setelah dilakukan perkuatan menggunakan bresing baja pada struktur gedung tersebut menghasilkan *displacement* terbesar untuk arah X pada skala 1 sebesar 0,0358 m yang dihasilkan oleh pemodelan gempa Simeulue 1 dan untuk *displacement* terkecil dihasilkan oleh gempa Landers sebesar 0,0135 m serta *displacement* terbesar pada arah Y sebesar 0,0600 m yang dihasilkan dari pemodelan gempa Simeulue 1 dan *displacement* terkecil dihasilkan dari pemodelan

gempa Chi-Chi sebesar 0,0120 m dari data *displacement* hasil analisis, memperlihatkan bahwa struktur gedung lebih rentan terhadap beban gempa Simeulue 1 untuk struktur pada kondisi eksisting dibandingkan gempa lainnya setelah dilakukan perkuatan menggunakan bresing.

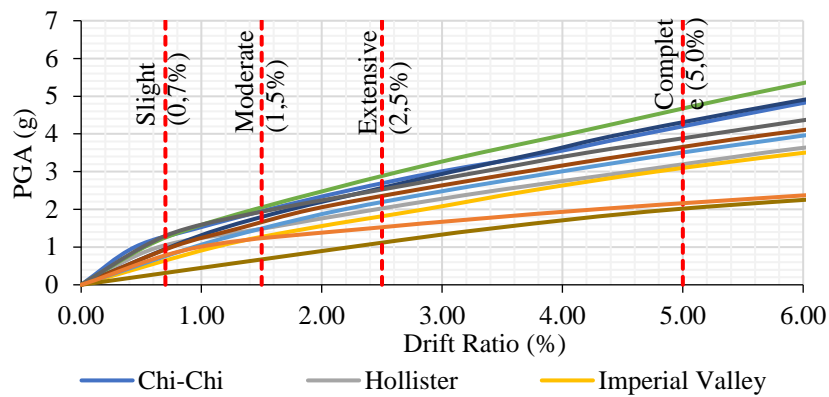


Gambar 13 Kurva Incremental Dynamic Analysis (IDA) pada kondisi eksisting untuk arah X

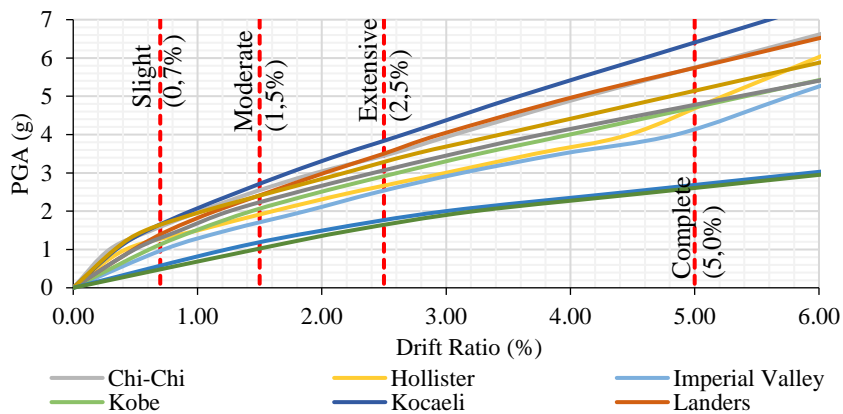


Gambar 14 Kurva Incremental Dynamic Analysis (IDA) dengan penambahan bresing system untuk arah X

Hasil analisis kurva IDA menunjukkan respon struktur yang beragam dari 10 rekaman gempa yang masing-masing diskalakan terhadap beberapa level intensitas gempa. Pada Gambar 13 dan 14 terlihat bahwa dari rangkuman kurva IDA arah X untuk kondisi eksisting maupun setelah dilakukan perkuatan memiliki bentuk yang *linier* serta kemiringan yang hampir sama dengan *drift ratio* yang masih relatif kecil begitu juga untuk arah Y dari Gambar 15 dan 16 kurva IDA tersebut juga dapat dilihat bahwa batas elastis struktur pada kondisi eksisting memiliki nilai *drift ratio* sebesar 0,57% yang menandakan struktur masih dalam kondisi linier, akan tetapi setelah *drift ratio* melebihi 0,57% maka struktur tersebut akan menunjukkan bentuk non-linier yang berbeda-beda sesuai dengan masing-masing intensitas gempa yang diterapkan pada struktur.

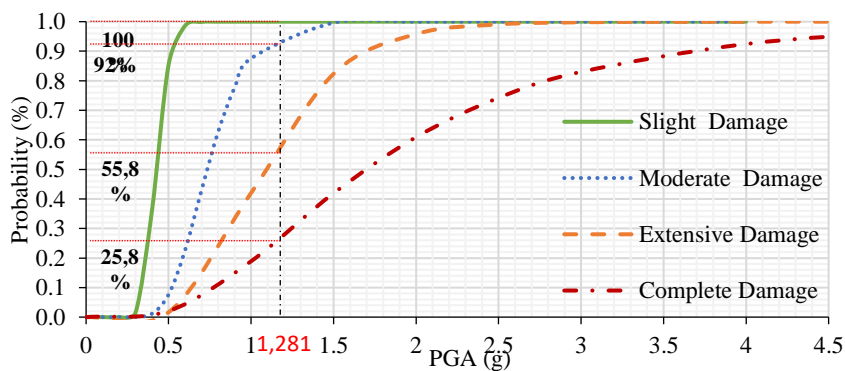


Gambar 15 Kurva Incremental Dynamic Analysis (IDA) pada kondisi eksisting untuk arah Y

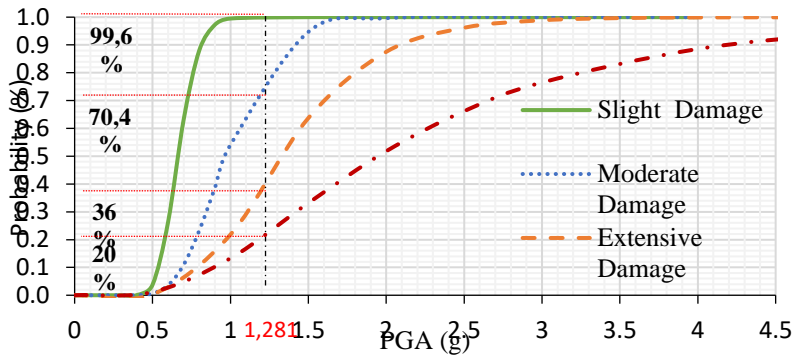


Gambar 16 Kurva Incremental Dynamic Analysis (IDA) dengan penambahan bresing system untuk arah

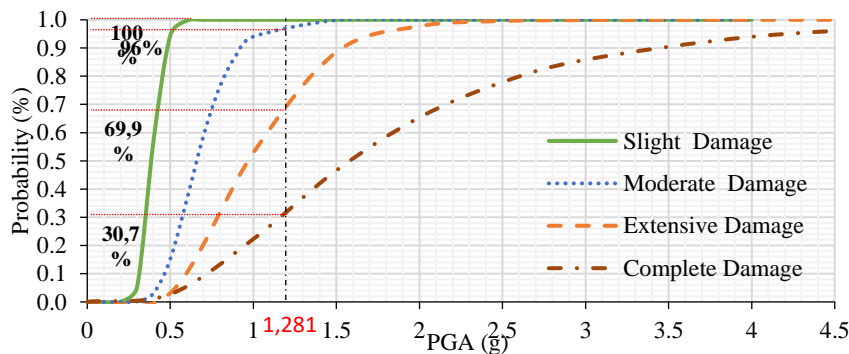
Bentuk non-linier pada kurva IDA tersebut mengindikasikan bahwa pada struktur gedung BSI Cut Mutia Kota Banda Aceh yang berupa struktur dengan beton bertulang dan berlantai 7 mengalami perlemahan atau penurunan kekakuan yang diakibatkan oleh penambahan intensitas gempa. Hingga pada akhirnya, dengan sedikit penambahan intensitas gempa menyebabkan *displacement* yang sangat besar hingga struktur bangunan mengalami keruntuhan (*collapse*).



Gambar 17 Kurva kerapuhan arah X pada kondisi eksisting

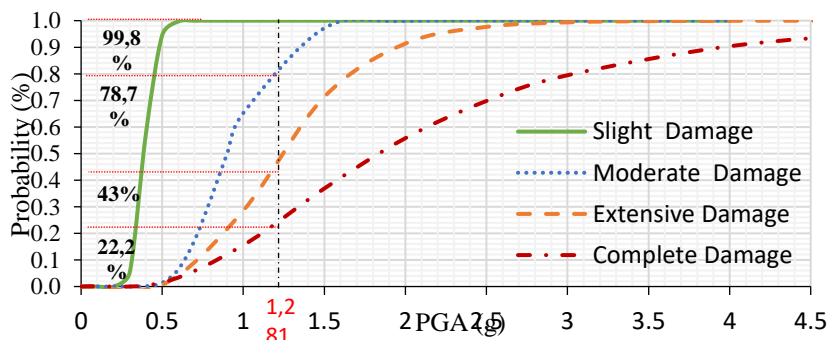


Gambar 18 Kurva kerapuhan arah X setelah dilakukan perkuatan bresing



Gambar 19 Kurva kerapuhan arah Y pada kondisi Eksisting

Pada kurva kerapuhan Gambar 17 sampai dengan Gambar 20 terlihat bahwa akibat beban gempa Simeulue 1 dengan nilai PGA sebesar 1,281 maka untuk struktur gedung pada arah X memiliki potensi terjadi *slight damage* 100%, *moderate damage* sebesar 92%, *extensive damage* sebesar 55,8% dan *complete damage* sebesar 25,8% dan untuk arah Y probabilitas kerusakan yang terjadi pada struktur gedung yaitu *slight damage* 100%, *moderate damage* sebesar 96%, *extensive damage* sebesar 69,9% dan *complete damage* sebesar 30,7%. Sedangkan setelah dilakukan perkuatan menggunakan bresing baja yang diterapkan di beberapa sisi struktur gedung untuk arah X akan terjadi *slight damage* 99,6%, *moderate damage* sebesar 70,4%, *extensive damage* sebesar 36% dan *complete damage* sebesar 20% dan untuk arah Y probabilitas kerusakan yang terjadi pada struktur tersebut yaitu *slight damage* 99,8%, *moderate damage* sebesar 78,7%, *extensive damage* sebesar 43% dan *complete damage* sebesar 22,2%.



Gambar 20 Kurva kerapuhan arah Y setelah dilakukan perkuatan bresing

Berdasarkan hasil kurva kerapuhan tersebut dapat disimpulkan apabila terjadi gempa bumi dengan nilai PGA sebesar 1,281 untuk struktur gedung setelah dilakukan perkuatan mengalami penurunan probabilitas kerusakan pada setiap *damage state*, terutama pada arah X yang mengalami penurunan yang besar, sedangkan pada arah Y tetap mengalami penurunan probabilitas namun tidak terlalu besar. Dari persentase probabilitas terjadinya kerusakan tersebut maka dapat disimpulkan bahwa struktur pada kondisi eksisting memiliki kemungkinan yang lebih besar terhadap perlemahan struktur dibandingkan setelah dilakukan perkuatan menggunakan bresing baja yang diterapkan di beberapa sisi struktur gedung dengan profil bresing yang digunakan yaitu Baja IWF dengan dimensi 150 x 150 x 10 x 7 jika diberikan beban gempa bumi dengan ekstensitas tertentu.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh adalah hasil perbandingan gaya geser dasar maksimum yang mampu ditahan oleh struktur gedung pada arah x dan y setelah di perkuatan menggunakan bresing lebih baik dibandingkan dengan kondisi eksisting dan untuk nilai *performance point* berdasarkan metode ATC-40 mengalami kondisi inelastic, sehingga nilainya tidak terlalu jauh berbeda serta level kinerja berupa *Immediate Occupancy* (IO). Untuk mekanisme distribusi sendi plastis yang terjadi pada struktur sesuai yang diharapkan pola keruntuhan terjadi pada balok dan kemudian diikuti dengan kolom serta untuk ukuran profil bresing baja IWF 150x150x10x7 yang ditambahkan pada sisi struktur telah memenuhi syarat keamanan dan layak digunakan untuk perkuatan. Kondisi probabilitas yang akan terjadi pada struktur gedung BSI Cut Mutia Kota Banda Aceh akibat beban gempa Simeulue 1 dengan nilai PGA sebesar 1,281 setelah dilakukan perkuatan mengalami penurunan pada arah X sebesar 0,4% *slight*, 21,6% *moderate*, 19,8% *extensive*, dan 5,8% *complete*. Pada arah Y sebesar 0,2% *slight*, 17,3% *moderate*, 26,9% *extensive*, dan 8,5% *complete*.

4.2 Saran

Penelitian ini diharapkan nantinya dapat dilanjutkan dengan memperhatikan beberapa hal dan saran yaitu perlu menambahkan metode lain seperti metode (FEMA, 2012) dan menggunakan bentuk dan dimensi profil baja lain untuk perkuatan serta perlu dilakukan evaluasi dengan menggunakan ketentuan *limit state* yang lain sehingga didapat perbandingan nilai keamanan dan probabilitas kerusakan pada struktur yang struktur bangunan tingkat tinggi lainnya di Kota Banda Aceh dengan memperhitungkan umur dari bangunan tersebut.

Daftar Kepustakaan

- Abdi, A., Hasan, M. and Saidi, T. (2022). Studi Kerentanan Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi Akibat Gempa Di Kota Banda Aceh, *Journal of The Civil Engineering Student*.
- American Society of Civil Engineers (2017) ASCE standard, ASCE/SEI, 41-17, seismic evaluation and retrofit of existing buildings, *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*.

- Anggraeni, D.W., Widayanto, E. and Nurtanto, D. (2016). Pemakaian Bracing Pada Bangunan Tahan Gempa dengan Analisis Pushover (The Usage of Bracing on Earthquake Resistant Buildings with Pushover Analysis), *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, 1 (01). <https://doi.org/10.19184/jrsl.v1i01.3747>.
- ATC-40 (1996) Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings volume 1, Applied Technology Council.
- Badan Standardisasi Nasional (2013). SNI 1727:2013, Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
- Badan Standardisasi Nasional (2019). SNI 1726:2019, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung [Preprint], (8).
- Bawono, A.S. (2016). Studi Kerentanan Bangunan Akibat Gempa : Studi Kasus Perumahan Di Bantul, *Semesta Teknika*, 19.
- CSI (2016). SAP2000. Analysis Reference Manual, CSI: Berkeley (CA, USA): Computers and Structures INC [Preprint], (July).
- FEMA (2012). Multi-hazard Loss Estimation Methodology, Earthquake Model, Hazus–MH 2.1: Technical Manual, Federal Emergency Management Agency.
- Gandini, et al. (2022). Hasil Awal Analisis Peak Ground Acceleration di Bali, *Jurnal Geofisika*, 20(02), pp. 71–75. <https://doi.org/10.36435/jgf.v20i2.535>.
- Haryono, S. and Purnamawanti, D.A.D. (2019). Penggunaan Struktur B्रेसing Konsentrik Tipe X untuk Perbaikan Kinerja Struktur Gedung Bertingkat terhadap Beban Lateral akibat Gempa, *Kinabalu*, 11 (2), pp. 50–57. <https://doi.org/http://ejournal.utp.ac.id/index.php/JTSA/issue/view/141>.
- Irfan, Z., Abdullah and Afifuddin, Moch. (2022). Development of fragility curve based on incremental dynamic analysis curve using ground motion Aceh earthquake, *E3S Web of Conferences*, 340. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202234002001>.
- Kadid, A. and Yahiaoui, D. (2011). Seismic assessment of braced RC frames, in *Procedia Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.365>.
- Kumala, S.A. and Wahyudi (2016). Analisis Nilai PGA (Peak Ground Acceleration) Untuk Seluruh Wilayah Kabupaten dan Kota di Jawa Timur, *Jurnal Inersia*, Vol. 12 (No. 1).
- Muttaqin, I. et al. (2020). Laporan Hasil Audit Building Dan Desain Perkuatan Struktur Gedung Kanwil BRI Banda Aceh.
- Rahmat, B., Afiadi, F. and Joelianto, E. (2018). Earthquake Prediction System using Neuro-Fuzzy and Extreme Learning Machine, in. Available at: <https://doi.org/10.2991/icst-18.2018.95>.
- Sulaeman, C. and Solikhin, A. (2017). Kelas Situs Tanah Kota Banda Aceh Berdasarkan Nilai Periode Dominan Mikrotremor, *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 8(3). Available at: <https://doi.org/10.34126/jlbg.v8i3.175>.
- Wardana, D.H., 2016 (2016). Pembentukan Kurva Kerapuhan Berbasis Analisis Pushover untuk Evaluasi Kinerja Seismik Jembatan Beton.