

## METODE STRUKTUR BETON BERTULANG TAHAN GEMPA DENGAN ANALISA *PUSHOVER*

N.L. Fadlullah<sup>1\*</sup>, A. Siswanto<sup>1</sup> dan L. Teddy<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Teknik Arsitektur, Universitas Sriwijaya, Palembang  
*Corresponding author:* nawfallutfadullah@gmail.com

**ABSTRAK:** Negara Indonesia merupakan sebuah negara kepulauan yang memiliki potensi gempa bumi sangat tinggi. Dikarenakan hal tersebut diciptakanlah sebuah teknologi untuk mengatasi potensi terjadinya gempa bumi ini. Melalui pengembangan pada struktur pada beton bertulang yang dievaluasi dengan Analisa *pushover* akan menciptakan sebuah bangunan tahan gempa. Metode yang diterapkan pada beton bertulang tahan gempa ini akan memberikan informasi terhadap pola keruntuhan serta beban gaya gempa yang akan melebihi kapasitas suatu bangunan. Analisa *Pushover* ini merupakan sebuah komponen dari teknologi sistem *Performance Based Seismic Design*. Adapun perilaku pada metode Analisa *Pushover* adalah perilaku progresif (nonlinear) terhadap keruntuhan struktur beton bertulang nantinya. Metode ini juga didukung oleh beton bertulang yang berkonsepkan *Strong Column Weak Beam* sebagai struktur utamanya. Sebuah Gedung kampus di Universitas Teknologi Yogyakarta adalah salah satu contoh studi kasus yang telah menerapkan metode struktur beton bertulang tahan gempa yang menggunakan analisa *pushover* ini. Di kajian ini akan mengevaluasi lebih lanjut metode yang digunakan pada struktur beton bertulang tahan gempa ini, juga mengkaji dengan rinci mengenai Analisa *pushover* yang digunakan nantinya.

**Kata Kunci:** Analisa *Pushover*, Beton bertulang, Gempa Bumi, Metode

**ABSTRACT:** Indonesian is an archipelago state that have huge potent to get earthquake. So, there is must a technology that have to resolve this earthquake problem. With a development in the structure of reinforced concrete that has evaluation to *Pushover Analysis* will be create a building that resist to earthquake. An Method that aply on reinforced concrete that will be give an actual information of collapse pattern that happen when a building is overloaded. *Pushover Analysis* is an component that occur from *Performance Based Sesimic System*. As for the behaviour of the *Analysis Pushover Method* is an progressive behavior (nonlinear) to collapse of reinforced concrete structure. This method supported by reinforced concrete that was concepted *Strong Column Weak Beam* as the main structure. A building according on Yogyakarta University of engineer was one of the example of this reinforced concrete structure that resist to earthquake with an analysis of *pushover*. In here, we will make an evaluation continuous to the method that according ti the reinforced concrete structure that resist to the earthquake, and then we will review in detail for the *pushover analysis*.

**Keywords:** *Pushover Analysis, Reinforced Concrete, Earthquake, Method*

### PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan yang terletak di wilayah dengan potensi gempa yang tinggi, yaitu berada pada jalur gempa pasifik (*Pasific Earthquake Belt*) dan jalur gempa asia (*Trans Asiatic Earthquake Belt*). Oleh karena itu, pada bangunan

bangunan di Indonesia dibutuhkanlah metode metode yang lebih mutakhir dalam mengatasi fenomena gempa ini.

Dalam meninjau aspek desain struktur bangunan yang pada halnya merupakan sebuah proses

perencanaan dalam pembangunan, struktur yang bangunan yang dominan diterapkan di negara Indonesia ini tidaklah memperhatikan aspek terhadap gempa tersebut. Desain yang dimunculkan saat ini sering halnya hanya terfokus pada aspek estetika yang tidak menyinggung berat mengenai perencanaan struktur yang baik

Menyikapi hal tersebut, muncullah berbagai metode metode bangunan struktur yang memfokuskan nilai nilai tanggap terhadap fenomena gempa ini. Seperti halnya Metode struktur beton bertulang tahan gempa bumi yang memakai Analisa *Pushover*.

Penulisan kajian ini akan mengkaji mengenai hal hal yang berkaitan mengenai struktur beton bertulang tersebut, serta Analisa *Pushover* tentunya. Dan tulisan ini bertujuan untuk: 1) Memberikan pemahaman mengenai pentingnya struktur beton bertulang tahan gempa untuk menanggulangi terjadinya gempa khususnya di daerah Indonesia, 2) Memberikan informasi mengenai metode Analisa *Pushover* pada beton bertulang tahan gempa khususnya yang berkaitan dengan cara kerjanya, 3) Mengevaluasi lebih lanjut dan mendalam mengenai kinerja dari struktur beton bertulang dengan Analisa *Pushover*, 4) Mengkaji dan mengevaluasi perilaku seismik gempa yang diberikan terhadap metode beton bertulang tahan gempa ini melalui Analisa *Pushover*.

Dari tujuan tujuan yang ada, pada kajian tulisan ini akan menyertakan tulisan yang berkaitan dengan tujuan penulisan ini tentunya, dapun ruang lingkup yang akan dibahas dalam kajian ini adalah: 1) Analisa *Pushover* melalui program *ETABS* dan *SAP 2000*, 2) *Step to step* yang diterapkan di Analisa *Pushover*, 3) Pengimplementasian metode pada bangunan yang akan menjadi bangunan tahan gempa, 4) Kinerja struktur metode menurut *Applied Technology Council*.

## METODE PENELITIAN

Metode yang diolah dalam kajian ini adalah dengan cara mengulas lebih dalam penelitian penelitian yang telah ada, serta dengan cara memaparkan data valid yang diberikan oleh suatu pemrograman.

Metode pengulasan dari beberapa penelitian yang ada ini, berfungsi untuk memberikan informasi yang ringkas dan cermat. Ulasan-ulasan yang ada dimuat dalam sebuah rangkuman pada setiap bab yang ada.

Pada metode pemaparan data yang valid ini, berupa sebuah data pemrograman yang dapat berbentuk tabel, grafik, gambar dan lainnya. Metode ini bertujuan untuk menjadikan informasi yang dipaparkan menjadi informasi yang dapat dipercaya karena kevalid-annya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Analisa *Pushover*

Analisa *Pushover* adalah sebuah analisa non-linear yang digunakan untuk mengetahui bentuk pola keruntuhan dari sebuah struktur rangka bangunan. Analisa ini bekerja dengan cara menangkap sinyal pusat dari beban-beban massa dari masing-masing lantai yang ada pada sebuah bangunan. Bangunan-bangunan tersebut akan dievaluasi strukturnya agar dapat dicocokkan pada lokasi berpijaknya yang berpotensi terjadinya gempa (Pranata, A.Y. 2006), (Nabhilla,F.R. 2020).

Pada Analisa *pushover* ini terdapat beberapa tahapan yang dilakukan yang bertujuan untuk menghitung perilaku struktur bangunannya. Adapun tahapan itu adalah sebagai berikut.

#### 1. *Permodelan Skema Distribusi Sendi Plastis.*

Pada program yang digunakan untuk menghitung penentuan sendi dari plastis ini, akan menentukan letak letak dimana nantinya terdapat *default*. Dan kemudian menghitung jumlah sendi plastis yang akan mengalami kegagalan pada setiap balok dan kolom. Pada elemen kolom akan menggunakan *Default-PMM*, sedangkan untuk bagian elemen balok menggunakan *Default-M3*. Kedua elemen menggunakan *default* yang mengacu pada FEMA 356 dengan mengikuti *relative distance* nol dan satu.

#### 2. *Penentuan Tipe dan Besar Beban.*

Terdapat 2 buah tipe dan besar beban yang ada, yaitu: 1) Beban Gravitasi (*Force-Controlled*) merupakan beban yang berasal dari massa struktur itu sendiri dan dapat dikontrol dengan gaya, 2) Beban Lateral (*Displacement-controlled*) merupakan beban diluar dari massa bangunan itu sendiri, layak halnya beban angin dan

beban gempa merupakan bagian dari beban ini.

3. *Penganalisaan Beban Dorong.*

Beban dorong merupakan beban yang berasal dari dua arah orthogonal x dan y. Beban ini dianalisa melalui kurva kapasitas yang akan menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar yang ada terhadap peralihan yang terjadi. Kurva ini juga akan memperlihatkan perubahan pada perilaku struktur linear menuju struktur non-linear

4. *Pengevaluasian terhadap Kinerja Metode.*

Pada kinerjanya nanti akan dievaluasi dengan 2 metode yang mengacu pada ATC-40 dan FEMA 356. Adapun metode tersebut adalah: 1) Metode Spektrum Kapasitas yang mengacu pada ATC-40, metode ini akan menyajikan dua grafik yaitu grafik spektrum kapasitas dan spektrum *demand*. Spektrum kapasitas berasal dari kurva kapasitas yang diperoleh dari Analisa *pushover*, sedangkan spektrum *demand* diperoleh dengan mengubah spektrum respons menjadi *Acceleration-Displacement Response Spectra (ADRS)*. 2) Metode koefisien perpindahan yang mengacu pada FEMA 356, metode ini merupakan sebuah modifikasi terhadap respon elastis linear yang berasal dari sistem SDOF ekuivalen. SDOF ekuivalen ini berfaktor pada koefisien yang terjadi sehingga diperoleh perpindahan global secara penuh yang disebut target perpindahan ( $\delta_T$ ).

Selain dari tahapan-tahapan yang ada pada analisis *pushover* itu sendiri, terdapat juga Analisa keruntuhan yang perlu dipertimbangkan dalam mengkaji Analisa *pushover* ini. Analisa Keruntuhan ini berupa sebuah Analisa terhadap level kinerja dari sebuah struktur Gedung saat menerima beban gempa nantinya. Adapun gaya yang dikaji di Analisa ini lebih mengarah ke gaya geser dasar pada setiap lantai (*Base Shear*). Gaya geser ini sendiri dapat mengakibatkan pergeseran pada setiap lantai dari kedudukan awalnya (*Displacement*). Menurut ATC-40:1996, kinerja dari Analisa keruntuhan ini mendeskripsikan bagaimana kondisi dari sebuah bangunan setelah terjadi gempa (Pootalangi, G.J. et al. 2020).

Kemudian daripada itu, terdapat Analisa Statik Non-Linear yang terjadi pada Analisa *pushover* ini. Analisa Statik Non-Linear ini merupakan Analisa yang membongkar perilaku pada keruntuhan bangunan terhadap gempa. Berbeda dengan Analisa keruntuhan tadi, Analisa ini lebih mengarah pada penganalisaan terhadap plastifikasi pada spot-spot bangunan yang berfungsi untuk mencegah terjadinya perilaku linier. Analisa Statik Non-Linear ini juga terkadang disebut sebagai Analisa *pushover* itu sendiri, namun pada nyatanya Analisa ini lebih berfokus untuk menanggulangi ke satu hal secara mikro.

2. Pemrograman ETABS dan SAP 2000

Pada program SAP 2000 akan menyajikan kurva perilaku struktur terhadap gaya geser. Untuk kurva yang dihasilkan adalah kurva respon spektrum yang sesuai dengan area wilayah gempa yang ada, tentunya dengan menggunakan diagram leleh sendi plastis pada balok dan kolom yang digunakan. Respon spektrum yang dihasilkan oleh program SAP 2000 ini berbentuk dalam format ADRS yang akan dikonversasi menjadi kurva kapasitas yang diperoleh dari *Performance Point* yang muncul. *Performance Point* ini akan menghasilkan nilai *displacement* efektif, waktu getar efektif, dan *damping* efektif, serta gaya geser dasar. Kemudian dari *displacement* yang ada akan muncul data kinerja *seismic* struktur yang diketahui berdasarkan ATC-40 (Afandi, R.N. 2010).

Untuk program ETABS akan menganalisa lebih dalam mengenai metode kapasitas spektrum. Metode yang diperoleh dari program ETABS ini akan memperoleh sebuah parameter terhadap titik kinerja dalam sebuah struktur bangunan. Kinerja yang dihasilkan merupakan sebuah prosedur dalam proses untuk memperoleh peralihan aktual pada suatu Gedung bangunan. Peralihan aktual yang dimaksud disini adalah sebuah hasil yang akan menunjukkan besaran simpangan penutup bagian atas bangunan dalam hal struktur. Tahapan yang dilalui dalam peralihan ini merupakan sebuah desain kinerja yang berdasarkan ATC-40, adapun tahapan itu adalah: 1) Konversi terhadap kurva hasil analisis beban dorong pada metode kapasitas spektrum, 2) Menentukan *Performance Point*: Plot *Demand Spectrum* dengan mengambil nilai sekitar 5% dari kondisi tanah dan area gempa, kemudian menggabungkan *demand spectrum* dengan kapasitas spektrum untuk menentukan hasil akhir dari *Performance Point* yang ingin dicapai, 3) Mengubah

hasil akhir *Performance Point* yang telah dicapai menjadi simpangan terhadap penutup bagian atas secara global (Pranata, A.Y. 2006).

### 3. *Applied Technology Council (ATC) 40*

ATC 40 ini merupakan sebuah dokumen terhadap kinerja struktur yang mempertimbangkan kondisi kerusakan yang terjadi nantinya (*Damage States*). Dokumen ATC 40 ini sering dijadikan acuan dalam mendesain sebuah perencanaan struktur dan juga sebagai acuan untuk mengevaluasi struktur yang telah ada. Terdapat 6 kinerja utama pada ATC 40 ini, yaitu sebagai berikut. (Muntafi, Y. 2020)

#### 1. *Immediate Occupancy, SP-1:*

Jika terjadi gempa, maka hanya sedikit kerusakan struktur yang terjadi. Karakteristik dan kapasitas dari sistem yang menampung beban gaya vertikal dan lateral pada struktur yang sama dan dengan mempertimbangkan kondisi dimana gempa belum akan terjadi, sehingga bangunan akan aman untuk ditempati.

#### 2. *Damage Control, SP-2*

Di *damage control* ini, sebuah permodelan bangunan baru yang memiliki rencana layak terhadap ketahanan beban gempa, harus menggunakan peluang yang melampaui rentang masa layak Gedung 50 tahun hingga sekitar 10%

#### 3. *Life Safety, SP-3*

Jika terjadi gempa, dan terjadi kerusakan yang cukup berat pada struktur, namun walaupun begitu struktur masih dapat menahan gaya gempa tersebut. Komponen struktur utama tidak boleh runtuh, bangunan dapat digunakan kembali bila telah melalui proses evaluasi dan renovasi secara tepat walau terkadang membutuhkan biaya yang cukup besar.

#### 4. *Limited Safety, SP-4*

Kondisi dimana bangunan tidak memenuhi *Life Safety* namun tidak separah *Structural Stability*. Kerusakan yang terjadi merupakan kerusakan pada bagian rangka struktur secara kritis walau tidak terlalu banyak.

#### 5. *Structural Stability, SP-5*

Kondisi ini merupakan batas akhir dimana struktur mengalami kerusakan yang sangat parah. Kerusakan yang terjadi berupa struktur dan juga non-struktur, struktur yang mengalami rusak merupakan akibat dari tidak mampunya menahan lagi beban dari gaya lateral yang ada.

#### 6. *Not Considered, SP-6*

Di kategori ini struktur telah mengalami keruntuhan total, sehingga hanya dapat melakukan evaluasi secara seismik dan tentunya tidak dapat direnovasi karena tidak mungkin digunakan secara berulang kembali.

### 4. Perhitungan Beban Gempa Rencana (Gedung Universitas Teknologi Yogyakarta)

Perhitungan yang terjadi pada beban gempa ini dilakukan untuk mengetahui besarnya beban gempa yang terjadi pada struktur Gedung ini. Perhitungan beban gempa ini mengacu dari standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan Gedung SNI-03-1727-2002 yang dihitung berdasarkan perletakan letak wilayah bangunan Gedung sesuai area gempa, jenis tanah, serta *main factor* dan nilai *reduction factor*. (Masagala, A.A. and Ma'arif, F. 2016)

Kemudian untuk analisa yang digunakan dalam mengevaluasi Gedung ini lebih berfokus untuk melihat pengaruh gempa terhadap Analisa yang dilakukan secara statik ekuivalen. Yang dimaksud ini merupakan dimana pengaruh gempa yang terjadi pada struktur akan dianggap sebagai beban statik berbentuk secara horizontal. Adapun cara Analisa beban ini nantinya akan digunakan untuk mengukur beban statik ekuivalen yang dapat diukur hingga bangunan sekitar 40 meter saja. Sedangkan untuk bangunan tinggi menggunakan Analisa dinamik

Pada Gedung ini melakukan metode analisis terhadap *Static and Dynamic Finite Element Analisis of Structures Version 11* menggunakan program SAP 2000. Output yang dihasilkan dari program ini merupakan sebuah kombinasi antar beban yang digunakan pada sistem mekaniknya terhadap nilai momen gaya di setiap elemen struktur yang ada sesuai dengan dimensinya. Sedangkan untuk elemen lain akan dianggap momen yang terjadi lebih kecil dan untuk desain tulangan akan dikerjakan secara manual.

Berdasarkan analisis yang telah ditelaah di gedung ini, perencanaan struktur beton bertulang nantinya akan mencakup ke formasi penulangan

dalam dimensinya. Formasi penulangan dimensi ini berupa balok dan kolom yang telah memenuhi syarat-syarat dan ketentuan yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian baik secara pemrograman maupun di lapangan secara langsung.

## KESIMPULAN

Metode untuk pembebanan bertulang yang tahan gempa melalui Analisa *pushover* ini tentunya memiliki banyak ketentuan dan persyaratan yang harus dipenuhi. Banyak pula acuan yang diambil dalam mengambil resiko untuk melakukan tahap dalam memulai metode ini, seperti pada ATC 40. Di ATC 40 ini dapat dilihat persyaratan yang dilakukan dalam merencanakan suatu bangunan yang tahan terhadap gempa. Dalam Analisa *pushover* pun juga membahas mengenai tahapan tahapan yang selalu mengacu terhadap ATC 40 ini. Adapun tahapan tahapan tersebut merupakan analisis analisis lainnya yang berupa mikro terhadap sebuah sistem struktur yang harus diperhitungkan.

Untuk melalui tahapan tahapan analisis mikro tersebut, digunakanlah program program mutakhir yang ada seperti halnya *ETABS* dan *SAP 2000*. Kedua program ini merupakan program yang digunakan untuk mengevaluasi dan mengkaji secara utuh mengenai analisis yang dilakukan baik sebelum bangunan itu telah terbentuk maupun setelah terbentuknya. Program-program ini juga yang memudahkan dalam hal mendesain dan perencanaan nantinya agar bangunan tahan gempa dapat terwujud dengan memenuhi persyaratan seperti ATC 40.

Seperti halnya Gedung di kampung Yogyakarta yang telah melampaui ketentuan yang ada untuk menanggulangi gempa yang terjadi di sekitar area Yogyakarta yang cukup rawan terjadi gempa. Gedung tahan gempa tersebut dapat tercipta karena pengevaluasian dan pengkajian yang terjadi karena dilakukan secara bertahap dan sesuai ketentuan.

Jadi, pada Analisa *pushover* yang menggunakan beton bertulang sebagai elemen tahan gempa ini akan menjadikan kaca mata pembuka untuk masyarakat bahwa terdapat banyak inovasi dan metode metode baru untuk mewujudkan penanggulangan terhadap bencana yang ada khususnya terhadap gempa bumi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Widyaningrum, A. and Haryanto, Y. (2019). Evaluasi Kinerja Gedung Dinas Kependudukan Dan Catatan Sipil Purbalingga Dengan Analisa Pushover.
- Muntafi, Y. (2012). Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung DPU Wilayah Kabupaten Wonogiri Dengan Analisa Pushover.
- Masagala, A.A. and Ma'arif, F. (2016). Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Berlantai 4: Studi Kasus Gedung Baru Kampus I Universitas Teknologi Yogyakarta.
- Pranata, A.Y. (2006). Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Pushover Analysis (Sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440).
- Afandi, R.N. (2010). Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisis Pushover Menggunakan Program SAP 2000.
- Pranata, A. Y. and Simanta, D. (2006). Studi Analisis Beban Dorong Untuk Gedung Beton Bertulang.
- Pootalangi, G.J., Manalip, H., Wallah, E.S. (2020) Analisis Keruntuhan Gedung Bertingkat Akibat Beban Gempa Dan Beban Angin Dengan Metode Pushover.
- Nabhilla, F.R. (2020). Analisis Perilaku Struktur Perkantoran Beton Bertulang Tahan Gempa 8 Lantai Menggunakan Metode Pushover Analysis.
- Nugroho, F.(2016). Penerapan Analisis Pushover Untuk Menentukan Kinerja Struktur Pada Bangunan Eksisting Gedung Beton Bertulang.
- Arroniri, R.M., Wibowo, A., Anggraini, R. (2015). Perencanaan Alternatif Struktur Beton Bertulang Gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang Berdasarkan SNI 1726-2012.