

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Kontrol Seismik

Sistem kontrol seismik adalah alat yang digunakan untuk meredam atau membatasi energi yang masuk ke dalam bangunan. sistem kontrol seismik umumnya terbagi menjadi 2 yaitu:

1. Sistem kontrol seismik aktif

Sistem ini terdiri dari 4 komponen yang saling berhubungan diantaranya struktur, sensor, komputer dan actuator. Cara kerjanya adalah sensor dipasang di luar struktur lalu setelah menerima data tersebut, data itu kemudian masuk ke komputer dan komputer memproses data tersebut dan digunakan untuk mengatur gerakan sesuai dengan *input* gempa ke bangunan. (Qamaruddin,2016)

2. Sistem kontrol seismik pasif

Sistem kontrol pasif ini harus diperhitungkan secara khusus di setiap struktur karena sistem ini tidak bisa menyesuaikan perubahan struktural. Sistem ini bekerja setelah energi gempa masuk ke dalam struktur. Ada banyak contoh dari sistem kontrol seismik pasif. Contohnya adalah *tuned mass damper, metallic damper, fluid viscous damper, friction damper*. Dalam tugas akhir ini akan dibahas tentang *fluid viscous damper*.

2.2 *Fluid Viscous Damper*

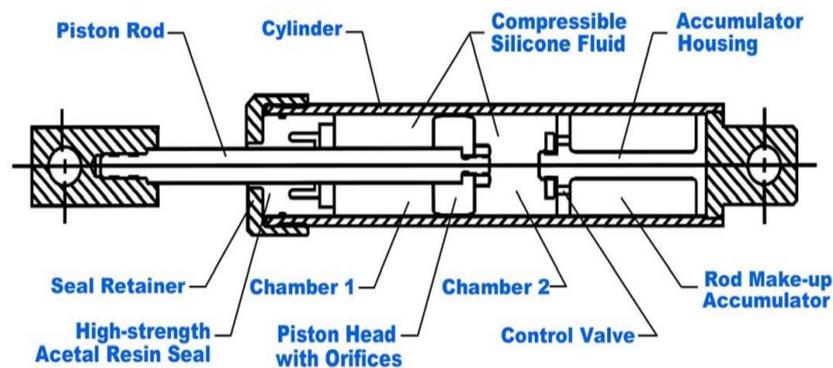
2.2.1 Sejarah *fluid viscous damper*

Pada akhir tahun 1800an, *fluid viscous damper* banyak digunakan dibidang kemiliteran untuk melemahkan meriam yang besar. Setelah dilakukan berbagai percobaan, *fluid viscous damper* juga digunakan untuk membuat pistol model M1897. Kemudian, teknologi *fluid viscous damper* itu menjadi tersebar luas terutama dikalangan angkatan darat dan angkatan laut. Tapi karena bersifat rahasia, maka *fluid viscous damper* belum dipublikasikan kepada masyarakat. (Douglas, 2000)

Setelah perang dingin II berakhir, teknologi *fluid viscous damper* sudah tidak lagi bersifat rahasia. *Fluid viscous damper* kemudian mulai dikenal dan dikembangkan di bidang teknik sipil terutama dalam pembangunan gedung-gedung tinggi maupun infrastruktur lainnya. *Fluid viscous damper* dapat digunakan untuk mengurangi gaya dorongan yang masuk kedalam struktur tersebut.

2.2.2 Bagian dari *fluid viscous damper*

Bagian – bagian dari *fluid viscous damper* relatif sedikit. Bagian - bagian dari *fluid viscous damper* dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Bagian dari *Fluid Viscous Damper*

Sumber : Douglas (___), dalam Hajati,N.L, dan Hanif,A,N (2018)

Menurut Douglas (2000) bagian dari *fluid viscous damper* adalah sebagai berikut:

1. Batang piston

Batang piston terbuat dari material baja yang memiliki kekuatan tinggi dan tahan terhadap karat. Tujuannya adalah agar batang piston tahan terhadap karat dan korosi karena jika batang tersebut mengalami korosi ataupun karat, maka *fluid viscous damper* tidak akan berfungsi. Batang piston tersebut juga dibuat sehalus mungkin agar dapat melewati *seal*.

2. Silinder

Silinder dari damper ini terdiri dari cairan dan harus dapat menerima tekanan saat damper sedang bekerja. Silinder biasanya terbuat dari pipa baja yang juga tahan terhadap korosi dan karat.

3. Cairan

Cairan yang digunakan dalam damper ini harus merupakan cairan yang tahan terhadap api, tidak beracun, tidak akan berkurang seiring bertambahnya usia

dan memiliki temperatur yang stabil. Cairan yang memenuhi kriteria itu adalah cairan silikon.

4. *Seal*

Seal yang digunakan harus mampu bertahan lama, minimal 25 tahun tanpa ada pergantian secara berkala. Bahan seal yang digunakan juga harus yang bagus agar tidak memungkinkan terjadinya kebocoran. Biasanya seal terbuat dari bahan polimer.

5. Kepala piston

Kepala piston menempel pada batang piston. Kepala piston membuat silinder menjadi 2 ruang yang bertekanan. Kepala piston mendorong cairan melalui lubang yang ada didalamnya sehingga terjadi pengurangan tekanan.

6. *Seal retainer*

Berfungsi untuk membuka dan menutup ujung silinder

7. Akumulator

Akumulator berfungsi untuk menahan pergerakan dari batang piston saat damper bekerja. Selain itu, akumulator juga berfungsi untuk menstabilkan temperatur dan kontraksi dari cairan silikon tersebut

2.3 **Analisis Berbasis Kinerja**

Menurut Tavio dan Wijaya (2018), Kinerja struktur adalah tingkatan performa struktur terhadap gempa rencana. Tingkatan performa bisa diketahui dengan meninjau kerusakan struktur saat terkena gempa rencana. Maka dari itu, tingkat kinerja struktur akan berhubungan dengan biaya perbaikan pada

bangunan tersebut. Dalam desain struktur berbasis kinerja, struktur bisa didesain sesuai dengan tujuan dan fungsi bangunan dengan mempertimbangkan faktor ekonomis terhadap perbaikan pada kerusakan bangunan saat terjadi gempa tanpa mengesampingkan keselamatan terhadap penghuni bangunan.

Tujuan utama dari desain berbasis kinerja adalah untuk menentukan tingkat kinerja yang diinginkan dari bangunan. kinerja seismik digambarkan dengan menetapkan tingkat kerusakan maksimum yang diizinkan untuk mengetahui bahaya gempa (Tavio dan Wijaya, 2018). Salah satu cara untuk mengetahui level kinerja struktur ini adalah dengan melakukan analisis *pushover*.

2.4 Analisis Pushover

Menurut Sandhi,dkk (2017), analisis *pushover* merupakan salah satu bagian *performance based design* yang menjadi sarana dalam menentukan kapasitas dari suatu struktur. Dasar dari analisis *pushover* yaitu memberikan pola beban tertentu dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap pada suatu struktur sampai struktur tersebut mencapai target *displacement* tertentu atau mencapai pola keruntuhan tertentu. Hasil dari analisis tersebut untuk mengetahui nilai gaya geser dasar untuk perpindahan lantai atap tertentu. Nilai yang didapatkan itu lalu digunakan sebagai kurva kapasitas dari struktur. Selain itu, *analisis pushover* juga dapat memperlihatkan secara visual perilaku struktur saat kondisi elastis, plastis dan sampai terjadinya keruntuhan pada elemen-elemen strukturnya (Timur,2017)

Tujuan dilakukannya analisis *pushover* adalah untuk mengevaluasi perilaku seismik bangunan terhadap gempa rencana (Pranata,2006). Selanjutnya, bagian bagian bangunan yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan dapat teridentifikasi.(Mamesah,2014)

Menurut Dewobroto (2005), tahapan utama dalam analisa *pushover* adalah

1. Menentukan titik kontrol untuk memonitor besarnya perpindahan struktur. Rekaman besarnya perpindahan titik kontrol dan gaya geser dasar digunakan untuk menyusun kurva *pushover*.
2. Membuat kurva *pushover* berdasarkan pola distribusi gaya lateral terutama yang ekivalen dengan gaya inertia, sehingga diharapkan deformasi yang terjadi hampir sama atau mendekati deformasi yang terjadi akibat gempa.
3. Estimasi besarnya perpindahan lateral saat gempa rencana (target perpindahan).Titik kontrol didorong sampai taraf perpindahan tersebut, yang mencerminka perpindahan maksimum yang diakibatkan oleh intensitas gempa rencana yang ditentukan.
4. Mengevaluasi level kerja kinerja struktur ketika titik kontrol terpaut berada pada target perpindahan. Hal tersebut merupakan poin utama dari perencanaan berbasis kinerja. Komponen struktur dan aksi perilakunya dapat dianggap memuaskan jika memenuhi kriteria yang dari awal sudah ditetapkan, baik terhadap persyaratan deformasi maupun kekuatan. Proses ini sepenuhnya dikerjakan oleh komputer (fasilitas *pushover* dan evaluasi kinerja yang terdapat secara *built-in* pada program ETABS, mengacu pada FEMA 273)

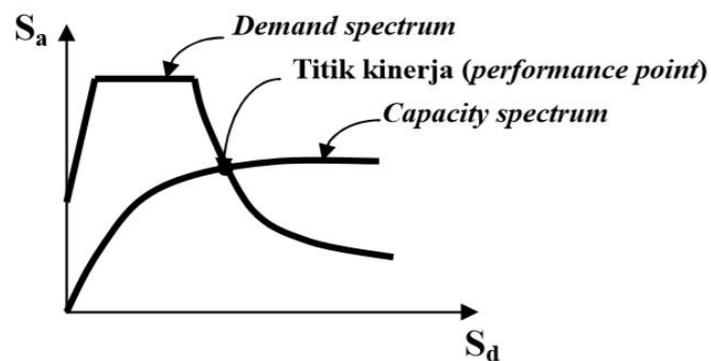
Proses *pushover* bisa dilakukan dengan prosedur *load-controlled* atau *displacement - controlled*. Prosedur *Load-controlled* digunakan jika beban yang diaplikasikan telah diketahui nilainya. Misalnya, beban gravitasi bisa diaplikasikan dengan *pushover load-controlled*. Prosedur *displacement-controlled* biasanya digunakan jika beban yang bisa ditahan oleh suatu struktur belum diketahui dengan pasti sehingga beban tersebut ditingkatkan sampai struktur bangunan mencapai suatu nilai simpangan target (Aisyah dan Megantara, 2011)

2.5 Metode Spektrum Kapasitas

Capacity spectrum method merupakan salah satu metode dari ATC-40. *Capacity spectrum method* terdiri dari 2 buah grafik yang disebut spektrum, yaitu spektrum kapasitas (*capacity spectrum*) yaitu kapasitas struktur berupa hubungan gaya geser dasar struktur dan perpindahan lateral struktur (biasanya ditetapkan di puncak bangunan), dan spektrum *demand* yang menggambarkan besarnya *demand* (tuntutan kinerja) akibat gempa. (Ginsar dan Lumantarna, 2007)

Spektrum kapasitas didapat dari kurva kapasitas yang merupakan hasil analisis *pushover*. Spektrum demand didapat dengan cara mengubah spektrum respons yang umumnya dinyatakan dalam spektral kecepatan dan periode menjadi format spektral percepatan dan spektral perpindahan. Format baru ini dinamakan *Acceleration-Displacement Response Spectra (ADRS)*. Kurva kapasitas yang merupakan bagian dari *pushover* dinyatakan dalam satuan gaya

(kN) dan perpindahan (m), sedangkan *spectrum demand* memiliki satuan percepatan (m/detik^2) dan perpindahan (m). Satuan dari kedua kurva tersebut perlu diubah dalam format yang sama, yaitu spektral percepatan (S_a) dan spektral perpindahan (S_d) agar dapat ditampilkan dalam satu tampilan. (Ginsar dan Lumantarna,2007)



Gambar 2.2 *Performance Point* pada Spektrum Kapasitas
Sumber: ATC40

2.6 Sendi Plastis

Menurut Wibowo dan Yanto (2010) permodelan sendi digunakan untuk mendefinisikan momen rotasi yang ditempatkan pada beberapa tempat disepanjang bentang balok kolom. Sendi biasa diletakan di masing masing ujung balok maupun kolom .

Apabila bangunan menerima beban gempa pada tingkatan tertentu, maka akan terjadi sendi plastis pada balok maupun kolom tersebut. Sendi plastis adalah suatu tanda ketidakmampuan balok atau kolom menahan gaya dalam. (Timur,2017)

1. Sendi plastis pada balok

Data sendi plastis yang dimasukkan pada penampang daerah tumpuan balok yaitu lokasi dimana sendi plastis diharapkan terjadi. Masing-masing penampang balok dimodelkan dengan pilihan model moment M3, artinya sendi plastis hanya terjadi akibat momen searah sumbu lokal 3.

2. Sendi plastis pada kolom

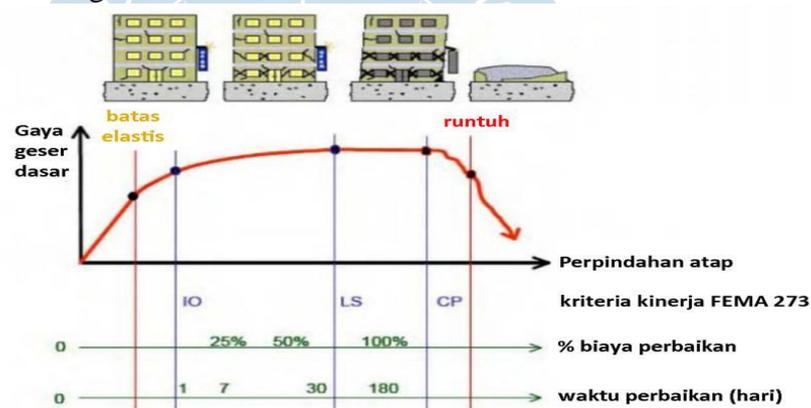
Data sendi plastis untuk kolom adalah Model P-M2-M3, yang mempunyai arti bahwa sendi plastis terjadi akibat adanya interaksi gaya aksial (P) dan momen (M) sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3. Dalam hal ini setiap kolom pada bangunan yang ditinjau memiliki momen sumbu lokal 2 yang sama dengan kapasitas momen sumbu lokal 3, hal ini disebabkan karena dimensi kolom berbentuk persegi dan tulangan kolom yang ada tersebar pada keempat sisinya secara merata.

2.7 Level Kinerja Struktur

FEMA 273 (1997) mengelompokan level kinerja struktur dalam 4 kelompok yaitu:

1. Operasional: tidak terjadi kerusakan yang berarti pada struktur dan non struktur artinya bangunan masih dapat berfungsi.
2. IO (*Immediate Occupancy*): kerusakan struktur setelah terjadi gempa bumi sangat sedikit (kerusakan minor) dan bisa diabaikan. Kekuatan dan kekakuan struktur bangunan hampir sama dengan kondisi saat belum terjadi gempa.

3. LS (*Life Safety*) :Keadaan kerusakan setelah gempa bumi terhadap struktur yang penting sudah terjadi. Tetapi komponen utamanya tidak rusak dan runtuh sehingga korban jiwa yang timbul hanya sedikit. Bangunan dapat digunakan kembali setelah dilakukan perbaikan.
4. CP (*Collapse Prevention*): setelah terjadi gempa, terjadi kerusakan parah baik pada bangunan struktural maupun non struktural. Kerusakan besar yang terjadi berpotensi menurunkan kekakuan dan kekuatan bangunan serta menyebabkan bangunan tersebut berpotensi runtuh. Kemungkinan terjadinya korban jiwa sangat besar.



Gambar 2.3. Kriteria Kinerja Struktur menurut FEMA 273
Sumber: FEMA 273

Level kinerja struktur dapat dilihat melalui batasan *drift* rasio atap menurut ATC 40 yang terdapat dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1 Batasan Simpangan pada Level Kinerja Struktur

Level Kinerja				
Batas Simpangan Maksimum	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Maksimum <i>Drift</i>	0.01	0.01-0.02	0.02	0.33
Maksimum <i>Inelastic Drift</i>	0.005	0.005-0.015	<i>No Limit</i>	<i>No Limit</i>

2.8 Penelitian Terdahulu

2.8.1 Pengaruh *fluid viscous damper* terhadap momen

Aqil (2010) melakukan penelitian dalam tugas akhirnya yang berjudul analisis *fluid viscous damper* pada bangunan dua belas lantai akibat gaya gempa. salah satu penelitiannya adalah mengenai pengaruh *fluid viscous damper* terhadap momen yang bekerja di kolom pada struktur 12 lantai menggunakan bantuan program SAP 2000 untuk menganalisis struktur. Aqil menggunakan 2 jenis FVD yaitu FVD 750 dan FVD 1500. FVD kemudian diletakan pada bagian eksterior di lantai 1,3,5,7,9 dan 11. Dengan bantuan SAP 2000, maka didapatkan hasil bahwa momen maksimum kolom terjadi pada *section X-Z Plane @Y=5m*, momen negatifnya adalah 87988.82 kgm dan momen positifnya adalah 65592,08 kgm. Sebelum ditambahkan damper, momen negatifnya adalah 208947,3 kgm dan momen positifnya adalah 154476,9 kgm. Dari penelitian ini, dapat dilihat bahwa *fluid viscous damper* dapat mereduksi momen yang ada pada bangunan tersebut.

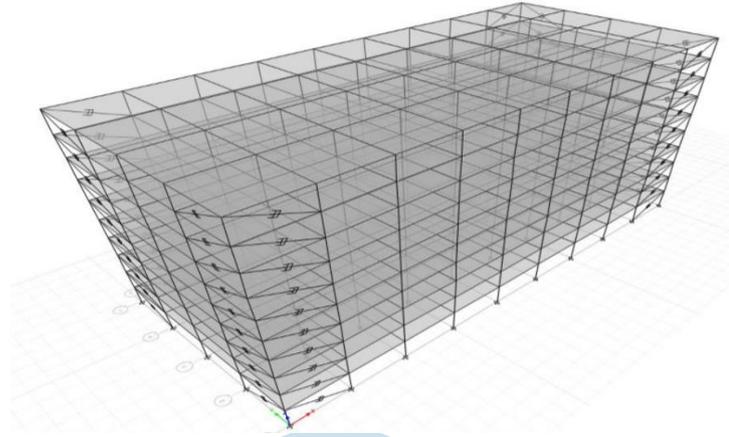
2.8.2 Pengaruh *fluid viscous damper* terhadap simpangan antar tingkat

Selain mengurangi momen, *fluid viscous damper* juga dapat mengurangi simpangan antar tingkat. Dalam jurnalnya yang berjudul Kajian Kinerja Struktur Gedung Simetris Menggunakan Peredam Tipe *Fluid Viscous Damper*, Nur Laeli Hajati dan Ardita Narabuana Hanif (2018) menggunakan FVD-1500 pada gedung 10 lantai. Dengan bantuan program ETABS 2016, didapat hasil bahwa pada lantai 6-7 sebelum menggunakan *fluid viscous damper*, nilai simpangan antar tingkat untuk arah X sebesar 39,3mm. Setelah dipasang *fluid viscous*

damper simpangan antar tingkatnya menjadi 34,26mm. sedangkan untuk simpangan antar tingkat arah Y sebelum di pasang *fluid viscous damper* sebesar 58.93 mm dan setelah dipasang *fluid viscous damper* menjadi 36,42 mm.

2.8.3 Pengaruh *fluid viscous damper* terhadap defleksi lateral/ *displacement*

Qamaruddin (2016) melakukan penelitian mengenai pengaruh *fluid viscous damper* terhadap defleksi lateral. Qamaruddin menggunakan program ETABS untuk menganalisis strukturnya. Dalam penelitiannya yang berjudul “*Seismic Respinse Study of Multi-Storied Reinforced Concrete Building with Fluid Viscous Damper*”, Qamaruddin mengelompokan bangunan menjadi 4 macam yaitu bangunan persegi dengan kolom persegi, bangunan persegi dengan kolom persegi panjang, bangunan persegi panjang dengan kolom persegi dan bangunan persegi panjang dengan kolom persegi panjang. Menurut penelitiannya, setelah di tambahkan *fluid viscous damper* defleksi lateral berkurang sebesar 92,17% untuk bangunan persegi dengan kolom persegi, 91,88% untuk bangunan persegi dengan kolom persegi Panjang, 94,25% untuk bangunan persegi panjang dengan kolom persegi dan 88,26% untuk bangunan persegi panjang dengan kolom persegi panjang. *fluid viscous damper* diletakan seperti Gambar 2.4



Gambar 2.4. Peletakan *Fluid Viscous Damper*

2.8.4 Kinerja struktur pada gedung bertingkat dengan analisis *pushover* pada bangunan hotel di Semarang

Rachman,dkk (2014) melakukan penelitian mengenai Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan analisis *Pushover* pada bangunan hotel di Semarang. Tujuannya adalah untuk mengetahui kinerja gedung berdasarkan terbentuknya sendi plastis pada balok kolom serta hubungan *base shear* dengan displacement pada kurva *pushover* dan kurva seismik *demand*. Metode yang digunakan adalah analisis *pushover* dengan menggunakan program ETABS. Menurut penelitian, nilai *displacement* pada saat *performance point* adalah 0.112 meter. untuk kinerja gedung menurut ATC40, hasil untuk maksimum *driftnya* adalah $0.0035 < 0.01$ maka level kinerja gedung termasuk kategori *immediate occupancy*. Sedangkan untuk maksimal *inelastic drift*nya adalah $0.00349 < 0.005$ maka level kinerja gedung non linear adalah *immediate occupancy*.

2.8.5 Pengaruh pemasangan peredam getaran eksternal tipe viscous terhadap kinerja struktur gedung

Muzahab (2018) melakukan penelitian pada bangunan 6 lantai dengan menambahkan *fluid viscous damper* tipe *bracing* pada bangunan. setelah menambahkan *fluid viscous damper*, performance pointnya menurun. Hal ini menjelaskan bahwa dengan *fluid viscous damper*, bangunan menahan beban gempa yang lebih kecil sehingga kerusakan yang terjadi setelah terjadi gempa juga lebih sedikit. Level kinerja struktur tanpa peredam, masuk dalam kategori *damage control* sedangkan untuk level kinerja struktur dengan peredam, masuk dalam kategori *immediate occupancy*.

