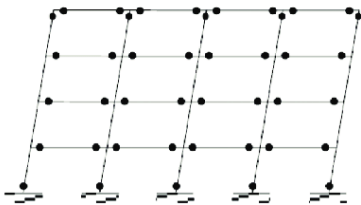


1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

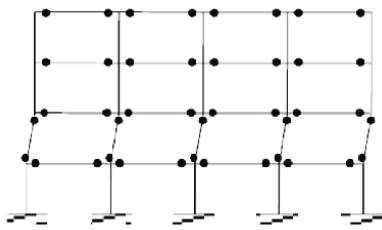
Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan terhadap bencana gempa bumi karena terletak pada pertemuan antara 3 lempeng tektonik yakni Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Gempa bumi disebabkan oleh adanya pergerakan lempeng tektonik yang menyebabkan terjadinya efek getaran, yang mana getaran tersebut cenderung menimbulkan kerusakan, khususnya pada bangunan. Kerusakan yang terjadi pada bangunan tentunya akan membahayakan orang yang ada didalamnya. Oleh karena itu perencanaan bangunan yang memiliki ketahanan terhadap gaya gempa sangat penting diperhatikan untuk mencegah adanya korban jiwa.

Dengan adanya perkembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil, bangunan tingkat tinggi dapat didesain untuk memiliki kapabilitas dalam menahan gaya gempa yang terjadi. Metode mendesain bangunan tahan gempa yang banyak digunakan sekarang adalah metode *capacity design* (CD). *Capacity design* merupakan metode yang mengizinkan terjadinya keruntuhan *beam sway mechanism* (Gambar 1.1) yang dapat tercapai apabila menerapkan prinsip *strong column weak beam* (SCWB) dimana harus dipastikan agar kolom yang didesain memiliki kapasitas yang lebih besar daripada balok yang merangka. Kondisi *strong column weak beam* ini juga memastikan agar bangunan terhindar dari keruntuhan *column sway mechanism* (Gambar 1.2) atau yang lebih sering disebut sebagai *soft story*, dimana kondisi ini berbahaya bagi para penghuni di dalam bangunan. Selanjutnya, dikembangkanlah suatu metode alternatif yaitu *partial capacity design* (PCD) yang dapat membuat desain balok dan kolom yang dapat dilakukan secara bersamaan, tanpa harus menunggu seperti yang ada pada metode *capacity design*.



Gambar 1.1 *Beam Sway Mechanism*

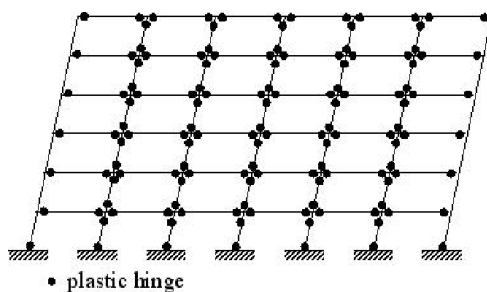
Sumber : Triawan, F., Kishimoto, K., Adachi, T., Inaba, k., Hashimura, T. (2011). *Measurement of Elastic Bending Modulus of Metallic Foam under Static and Dynamic Loads with Improved Accuracy*



Gambar 1.2 *Column Sway Mechanism*

Sumber : Triawan, F., Kishimoto, K., Adachi, T., Inaba, k., Hashimura, T. (2011). *Measurement of Elastic Bending Modulus of Metallic Foam under Static and Dynamic Loads with Improved Accuracy*

Dalam metode *partial capacity design* (PCD), mekanisme keruntuhan diperbolehkan hingga kondisi *partial side sway mechanism* (Gambar 1.3) yaitu mekanisme yang memperbolehkan terjadinya sendi plastis pada beberapa kolom tertentu. Namun redistribusi gaya yang terjadi akibat beberapa kolom menjadi plastis harus dapat ditahan oleh kolom tertentu pula yang didesain untuk tetap elastis walau mendapat tambahan gaya. Dengan mekanisme ini, kondisi *soft story* tetap dapat dihindarkan sehingga bangunan yang terdampak gempa tetap aman dan tidak mengalami keruntuhan total. Metode *partial capacity design* (PCD) dapat berkembang setelah adanya penelitian tentang struktur dengan beban gravitasi dominan oleh Paulay dan Priestley (1992). Dalam penelitian tersebut, dikatakan bahwa bangunan tingkat rendah dengan bentang balok yang panjang lebih dipengaruhi oleh beban gravitasi dibandingkan dengan beban gempa yang terjadi. Sehingga apabila didesain menggunakan metode *capacity design* yang menerapkan prinsip strong column weak beam, kolom yang didesain akan memiliki kapasitas yang berlebihan. Metode *partial capacity design* (PCD) selanjutnya hanya mengadopsi mekanisme kerusakan yang diperbolehkan dari penelitian tersebut.



Gambar 1.3 *Partial Side Sway Mechanism*

Sumber : Muljati, I. & Lumantarna, B. (2008, November). Performance of Partial Capacity Design on Fully Ductile Moment Resisting Frame in a Highly Seismic Area in Indonesia. *The eleventh East Asia-Pacific conference on structural engineering and construction*, EASEC-11 (p.2). Taipei

Lumantarna dan Fransisca (1994) melakukan sebuah penelitian tentang perencanaan kapasitas alternatif pada *gravity load dominated structure* dengan menggunakan prosedur perencanaan kapasitas hanya pada beberapa kolom misalnya pada kolom tepi, sedangkan kolom bagian tengah didesain tanpa memperhatikan kapasitas balok yang merangka sehingga dimungkinkan terjadinya sendi plastis. Perencanaan dengan cara tersebut memungkinkan terjadinya mekanisme keruntuhan *partial side sway mechanism* yang diadopsi pada metode *partial capacity design* (PCD). Penelitian dilakukan dengan menguji beberapa struktur portal dengan variasi jumlah lantai dan jumlah bentang. Hasil dari penelitian ini adalah perencanaan kapasitas alternatif mempunyai perlakuan yang baik terhadap gempa 200 tahun maupun gempa El Centro 1940.

Muljati et al. (2007) melakukan penelitian untuk mengembangkan penelitian yang dilakukan sebelumnya dan memperkenalkan istilah *partial capacity design* (PCD) dimana dalam penelitian ini, digunakan sebuah faktor magnifikasi yang digunakan pada kolom elastis untuk memperbesar gaya geser yang akan diterima oleh kolom elastis. Pada penelitian ini, struktur yang diuji adalah bangunan dengan variasi jumlah lantai 6, 8, 10 lantai yang diuji dengan analisis gempa *nonlinear static procedure* (NSP) atau analisis *pushover* dan *non linear dynamic procedure* (NDP) atau analisis *time history* dengan gempa periode ulang 500 dan 1000 tahun. Hasil dari penelitian ini adalah tercapainya mekanisme *partial side sway mechanism* pada semua struktur kecuali pada struktur 10 lantai dengan dimensi kolom elastis dan plastis yang berbeda, pada gempa *time history* periode ulang 1000 tahun.

Muljati dan Lumantarna (2008, 2011) melakukan penelitian lanjutan tentang *partial capacity design* dengan menggunakan faktor magnifikasi pada kolom eksterior. Penelitian dilakukan dengan berbagai variasi bangunan untuk menguji efektivitas penggunaan faktor magnifikasi tersebut. Hasil penelitian yang dilakukan adalah masih terdapat sendi plastis pada kolom yang direncanakan elastis sehingga kerusakan yang terjadi melampaui kondisi *partial side sway mechanism*.

Tanaya (2021) melakukan penelitian untuk mengembangkan alternatif dari metode *partial capacity design* (PCD) yaitu *modified partial capacity design* (M-PCD) agar menjadi lebih efektif. Metode *modified partial capacity design* menggunakan 2 model dalam tahap desain. Model pertama digunakan untuk mendesain balok dan kolom plastis dengan menggunakan metode *capacity design* (CD) tanpa memperhatikan *strong column weak beam*, lalu model kedua digunakan untuk mendesain kolom elastis dengan cara memodelkan kerusakan pada kolom plastis dan balok. Pemodelan kerusakan ini dilakukan dengan membagi kolom plastis

dan balok menjadi 3 segmen, dimana segmen yang dekat dengan join menjadi daerah yang menjadi sendi plastis. Pengubahan menjadi sendi plastis dilakukan dengan cara melakukan modifikasi inersia sehingga terjadi pelemahan yang membuat seolah-olah mengalami kerusakan agar terjadi redistribusi gaya ke kolom elastis sehingga kolom elastis dapat didesain. Nilai modifikasi inersia yang digunakan berupa perbandingan *slope* kurva bilinear dari grafik momen kurvatur pada elemen struktur. Dalam penelitian ini, digunakan bangunan persegi dengan jumlah lantai 6 dan 10 lantai dengan menerima beban gempa sesuai SNI 1726:2012 (Badan Standardisasi Nasional, 2012), dimana model pertama menggunakan faktor modifikasi respons, $R=8$ sedangkan model kedua menggunakan faktor modifikasi respons, $R=1,6$. Struktur dievaluasi dengan analisis gempa *nonlinear static procedure* (NSP) atau analisis *pushover* dan *non linear dynamic procedure* (NDP) atau analisis *time history* dan didapati bahwa seluruh struktur yang dicoba berhasil mencapai *partial side sway mechanism* kecuali pada analisis *time history* dengan level gempa maksimum atau MCER (*Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake*).

Prasetyo dan Tanuwijaya (2021) melakukan penelitian lanjutan mengenai metode *modified partial capacity design* (M-PCD) yang dilakukan dengan memperhatikan distribusi gaya geser. Dalam penelitian ini, rasio distribusi gaya geser yang digunakan adalah 70% dan diterapkan pada bangunan persegi panjang 6 dan 10 lantai. Metode yang digunakan dalam penelitian ini sama seperti penelitian tentang M-PCD sebelumnya namun yang membedakan adalah faktor modifikasi respons gempa yang digunakan pada model kedua, dimana dalam penelitian ini menggunakan faktor modifikasi respons yang digunakan adalah selisih antara $R = 1,6$ dan $R = 8$. Hasil dari penelitian ini adalah mekanisme keruntuhan *partial side sway mechanism* tercapai namun masih ada beberapa sendi plastis yang mengalami kerusakan yang melebihi tingkat CP (*Collapse Prevention*).

Karyanto dan Jesica (2022) melakukan penelitian lanjutan untuk menguji kinerja metode *modified partial capacity design* (M-PCD) pada bangunan persegi dengan 6 dan 15 lantai dengan variasi penempatan kolom elastis sebesar 30% . Dalam penelitian ini, diusulkan untuk mengubah metode reduksi inersia pada penelitian sebelumnya dari membagi menjadi 3 segmen yang memperlambat proses desain menjadi memodelkan kerusakan elemen struktur plastis pada keseluruhan bentang. Selain itu, penelitian ini menggunakan nilai reduksi untuk satu bentang sebesar 0,2 dari inersia balok dan 0,35 dari inersia kolom yang didapat dari hasil *trial and error* dan dapat diterapkan pada bangunan lainnya. Adanya perubahan metode modifikasi inersia ini diharapkan dapat mempercepat waktu desain. Hasil dari penelitian ini

adalah masih ditemukan beberapa sendi plastis pada kolom elastis sehingga mekanisme kerusakan melebihi *partial side sway mechanism*.

Hendrarto & Salim (2023) melanjutkan penelitian tentang metode *modified partial capacity design* (M-PCD) dengan menerapkan pada bangunan persegi 6 dan 10 lantai yang memiliki variasi penempatan kolom elastis 30%. Penelitian ini mengusulkan beberapa hal yang berbeda dari penelitian Karyanto dan Jesica (2022) sebelumnya, salah satunya adalah penggunaan faktor modifikasi respons yang digunakan adalah selisih antara $R = 1$ dan $R = 8$. Hasil dari penelitian ini adalah *partial side sway mechanism* tercapai pada analisis gempa *nonlinear static procedure* (NSP) atau analisis *pushover* maupun *non linear dynamic procedure* (NDP) atau analisis *time history*. Namun pada pengujian gempa desain, terdapat level kerusakan sendi plastis yang melebihi *life safety* sehingga tidak memenuhi syarat FEMA 273

Untuk membuat metode *modified partial capacity design* (M-PCD) lebih akurat, maka pada penelitian ini diusulkan pengembangan metode pemodelan kerusakan sendi plastis dengan menggunakan analisis struktur non linear *plastic hinge* atau yang biasa dikenal dengan *lumped plasticity approach*. Metode yang digunakan masih menggunakan model 1 dan model 2 seperti metode M-PCD sebelumnya, namun pada model 2 akan diaplikasikan analisis *lumped plasticity approach*. Dengan menggunakan metode *lumped plasticity approach*, tidak diperlukan proses modifikasi inersia untuk memodelkan kerusakan pada kolom plastis. Pemodelan kerusakan akan terdefinisi oleh program perhitungan struktur melalui pendekatan *non linear behavior* yang dapat mendeteksi terjadinya sendi plastis pada struktur dengan akurat, agar sesuai dengan kondisi sebenarnya saat struktur mengalami gempa. Diharapkan metode ini dapat mengembangkan metode *modified partial capacity design* agar dapat lebih akurat dan konsisten dengan kerusakan terburuk yang diizinkan sebatas *partial side sway mechanism*.

1.2. Rumusan Masalah

Bagaimana efektivitas penggunaan analisis struktur nonlinear dalam tahap analisis struktur saat mendesain bangunan menggunakan metode *modified partial capacity design* (M-PCD) ?

1.3. Tujuan Penelitian

Memberikan metode yang lebih akurat dalam tahap analisis struktur saat mendesain bangunan menggunakan metode *modified partial capacity design* (M-PCD)

1.4. Manfaat Penelitian

1. Bagi Peneliti dan Mahasiswa
Diharapkan penelitian ini dapat menjadi pedoman untuk pengembangan penelitian tentang *modified partial capacity design* (M-PCD) ke depannya
2. Bagi Badan Standardisasi Nasional
Diharapkan dapat menjadi dasar untuk pengembangan peraturan perencanaan bangunan tahan gempa ke depannya.

1.5. Ruang Lingkup

1. Model bangunan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bangunan beton bertulang berbentuk persegi dengan variasi 6 dan 12 lantai
2. Pemodelan dan analisis dilakukan dengan bantuan program SAP 2000
3. Peraturan pembebanan pada struktur menggunakan SNI 1727:2020
4. Peraturan pembebanan gempa pada struktur menggunakan SNI 1726:2019 dengan respon spektrum kota Surabaya kelas situs E
5. Peraturan desain balok dan kolom menggunakan SNI 2847:2019
6. Struktur dievaluasi dengan analisis *non linear dynamic procedure* (NDP) atau analisis *time history*
7. Mekanisme kegagalan struktur yang ditinjau adalah lentur, kegagalan geser tidak ditinjau
8. Syarat rasio tulangan minimum kolom diabaikan dalam penelitian ini