

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan sebuah negara yang secara geografis terletak tepat di atas lempeng-lempeng tektonik, yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Oleh karena itu dengan 2 jalur gempa (*Circum Pacific Earthquake Belt* dan *Trana Asiatic Earthquake Belt*), dan jalur (cincin) gunung api dunia (*Ring of Fire Java/Sunda Trench*) yang melintasi Indonesia, maka secara geografis Indonesia rawan terjadinya gempa (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2012; Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2013).

Beberapa gempa besar tercatat pernah terjadi di Indonesia. Gempa-gempa ini menyebabkan kehancuran besar di wilayah tersebut dan menimbulkan banyak korban jiwa. Kebanyakan korban jiwa bukan karena gempa itu sendiri tetapi karena tertimpa bangunan yang runtuh. Hal ini dikarenakan banyak bangunan di Indonesia yang didesain tidak mengikuti kaidah-kaidah konstruksi yang benar dan memasukkan parameter kegempaan dalam mendirikan bangunan sesuai dengan standar yang ada. Kurangnya pemahaman para pelaku di lapangan, baik perencana maupun pelaksana, tentang peraturan bangunan tahan gempa mengakibatkan mereka tidak mengaplikasikan peraturan tersebut saat membangun suatu bangunan bertingkat terutama pada pendetailan komponen-komponen struktur (Imran, 2010).

Kriteria desain untuk struktur bangunan tahan gempa dalam SNI 1726-2012 mensyaratkan bahwa bangunan harus didesain berdasarkan gempa rencana yang ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2% (periode ulang gempa  $\pm$  2500 tahun). Peraturan ini mendasarkan beban gempa untuk desain sebagai gempa kuat. Akan tetapi mendisain struktur dengan beban gempa besar dalam kondisi elastis tentu tidak ekonomis. Hal ini dikarenakan struktur tersebut didisain sebagai *earthquake proof building* yaitu bangunan yang dapat menahan gempa besar tanpa runtuh (Pawirodikromo, 2012). Oleh karena mengingat bangunan tidak perlu dibuat sangat kuat sehingga berperilaku elastis saat gempa besar, maka dalam prosedur perencanaan berdasarkan SNI 1726-2012 kekuatan gempa dapat diturunkan atau dikurangi sampai

level tertentu melalui suatu reduksi yang disebut dengan faktor koefisien modifikasi respons ( $R$ ) yang merupakan representasi tingkat daktilitas yang dimiliki struktur (Imran dan Hendrik, 2010). Reduksi beban gempa dengan faktor  $R$  ini mengakibatkan beban gempa untuk desain menjadi relatif kecil. Struktur tidak akan kuat terhadap gempa besar, namun kerusakan bangunan yang terjadi ditargetkan tidak akan membuat bangunan runtuh.

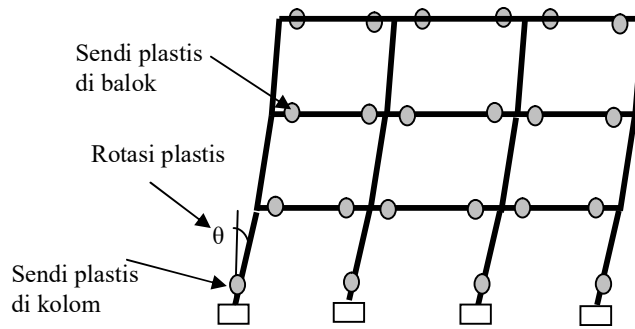
Trend terbaru perencanaan bangunan tahan gempa saat ini adalah perencanaan berbasis kinerja (*Performance-Based Design*). Konsep perencanaan berbasis kinerja merupakan kombinasi dari aspek tahanan dan aspek layan. Pada konsep *Performance-Based Design*, pemilik bangunan dapat menetapkan dan memilih level kerusakan yang terjadi pada saat struktur menerima beban gempa. Hal ini dikarenakan berkaitan dengan resiko yang dihadapi pemilik bangunan dan investasi yang dikeluarkan. Selanjutnya ketentuan tersebut digunakan oleh perencana sebagai pedoman dalam mendesain struktur dengan tetap berpedoman pada rekomendasi peraturan desain bangunan tahan gempa. Oleh karenanya dengan mengetahui level kerusakan yang terjadi, maka dapat diukur kinerja struktur saat menerima beban-beban gempa yang besarnya dinaikkan secara proporsional hingga batas keruntuhan tercapai. Pada umumnya agar ekonomis, pemilik bangunan memilih desain struktur yang “boleh rusak tapi tidak runtuh” saat terjadi gempa.

Struktur yang “boleh rusak tapi tidak runtuh” saat terjadi gempa dapat diperoleh dengan memberikan perhatian yang lebih saat perencanaan pada kolom. Hal ini dikarenakan keruntuhan pada satu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya lantai yang bersangkutan dan keruntuhan total seluruh strukturnya. Dalam sistem struktur portal/frame, kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka (*frame*) struktural yang menopang balok, lantai, serta seluruh beban di lantai tersebut serta lantai-lantai di atasnya. Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai tanah melalui pondasi. Keruntuhan kolom struktural merupakan hal yang perlu diwaspadai ditinjau dari segi ekonomis dan keselamatan manusia. Oleh karena itu dalam merencanakan kolom perlu lebih waspada, yaitu dengan memberikan kekuatan cadangan yang lebih tinggi daripada yang dilakukan pada balok dan elemen struktural horisontal lainnya. Hal ini penting dikarenakan beban aksial yang mendominasi pada kolom, mengakibatkan perilaku kegagalan tekan pada

kolom tidak dapat dihindarkan. Keruntuhan tekan (*compressive failure*) tidak memberikan peringatan awal yang cukup jelas, terjadi mendadak karena beton di zona tekan hancur tanpa melelehnya tulangan baja sehingga bersifat getas (*brittle*).

Perilaku seismik suatu struktur perlu dievaluasi untuk menghindarkan terjadinya keruntuhan struktur secara katastrofik (keruntuhan struktur secara tiba-tiba) akibat keruntuhan tekan (*compressive failure*). Pada saat gempa besar terjadi, hanya elemen-elemen struktur bangunan tertentu saja yang diperbolehkan mengalami plastifikasi sebagai sarana untuk pendisipasian energi gempa yang diterima struktur. Elemen-elemen struktur lain yang tidak diharapkan mengalami plastifikasi haruslah tetap berperilaku elastis selama gempa besar terjadi. Hirarki atau urutan keruntuhan yang terjadi haruslah sesuai dengan yang direncanakan (Imran dan Simatupang, 2010). Oleh karena itu kemampuan suatu struktur portal beton bertulang dalam menahan gempa besar terutama tergantung pada pembentukan sendi plastis dan kapasitas mereka untuk menyerap dan mendisipasi energi tanpa kehilangan kekuatan secara signifikan. Berdasarkan alasan tersebut, sebagian besar peraturan bangunan di banyak negara berusaha memastikan terbentuknya sendi plastis di balok daripada di kolom untuk menjamin stabilitas struktur (Bayrak and Sheikh, 2004).

Kemampuan elastik pada elemen-elemen struktur boleh dilampaui pada saat berlangsungnya gempa, sehingga terjadi sendi plastis pada lokasi tersebut. Sendi plastis terjadi apabila kuat leleh pada suatu titik dalam suatu elemen telah dicapai/dilampaui, sehingga kekuatannya sudah tidak bertambah tetapi regangan dapat bertambah. Sendi-sendi plastis mampu menghamburkan energi secara baik sebagaimana layaknya suatu sendi, sehingga energi potensial atau energi kinetik yang tersimpan selama gempa berlangsung menjadi lebih kecil. Permasalahannya adalah letak sendi plastis harus diatur, agar bangunan boleh rusak tapi tidak runtuh. Oleh karena itu tempat-tempat kemungkinan terjadinya sendi-sendi plastis ditentukan sejak awal dengan penentuan mekanisme goyangan balok (*beam sway mechanism*), yaitu mekanisme keruntuhan yang dipilih terjadi pada balok. *Beam sway mechanism* ini akan terjadi apabila struktur didesain berdasarkan konsep kolom kuat balok lemah (*Strong Column Weak Beam*). Pada mekanisme tersebut, sendi plastis akan terjadi pada ujung-ujung balok dan juga ujung bawah kolom dasar (Gambar 1.1).



Gambar 1.1. Sendi Plastis yang Diharapkan Terjadi pada Struktur Saat Ada Gempa (Mekanisme *Strong Column and Weak Beam*) (Kusuma dan Andriono, 1993)

Saat awal mendesain suatu gedung, analisis kinerja perlu dilakukan untuk mengevaluasi perilaku seismik suatu struktur dengan cara menetapkan berbagai tingkat kinerja struktur (*multiple performance levels*). Tingkat kinerja ini adalah tingkat kinerja bangunan yang diharapkan terjadi pada saat struktur menerima beban gempa dengan tingkat intensitas tertentu. Metode statik nonlinier seperti *pushover analysis* dapat dipakai untuk mengetahui titik kinerja (*performance point*) struktur. *Pushover analysis* adalah suatu analisis statik nonlinier di mana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang ditangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur dari *performance level* yang paling rendah sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian beban ditingkatkan lebih lanjut secara bertahap sampai bangunan tersebut runtuh atau *collapse*. Agar struktur tak runtuh maka sendi plastis harus terjadi di ujung-ujung balok.

Pada prakteknya plastifikasi pada kolom dasar sebagai akibat dari gempa besar merupakan suatu keharusan agar terjadi mekanisme *Strong Column Weak Beam*. Pembentukan sendi plastis pada kolom dasar yang memikul momen ini tidak dapat dihindarkan, akan tetapi harus tetap dapat diandalkan dalam rangka untuk memastikan stabilitas kapasitas kolom saat mengalami deformasi/simpangan lateral yang besar tetap sebaik kapasitas kolom saat kolom mendukung beban vertikal (Bayrak and Sheikh, 2004). Apalagi pada kondisi tersebut, kolom dasar juga akan mengalami penurunan kekuatan yang potensial pada kuat geser kolom akibat lepasnya selimut beton seiring dengan peningkatan kebutuhan daktilitas lentur. Hal ini akan menyebabkan struktur tak mampu berdeformasi/berotasi sehingga struktur akan runtuh (*collapse*).

Gedung yang gagal berotasi pada saat mengalami gempa, akan runtuh akibat kolom paling bawah patah total sehingga lantai dasar bangunan rata tertimpa struktur di atasnya. Hal ini akan menimbulkan banyak korban jiwa akibat penghuni gedung terhimpit di antara dua lantai tersebut, seperti yang terlihat di Gambar 1.2. Keruntuhan ini biasanya dialami bangunan gedung tipe *soft story*. Kurangnya pengetahuan dan kesadaran dari perencana dan penghuni gedung tentang bahayanya gedung yang termasuk kelompok *soft story* saat terjadi gempa, menyebabkan banyak korban jiwa diakibatkan tertimpa gedung tipe tersebut.



Gambar 1.2. Gedung Runtuh Akibat Kegagalan Kolom Dasar Saat Gempa (Wicaksana, 2010)

Pada umumnya keruntuhan bangunan yang terjadi saat gempa memperlihatkan bahwa bangunan yang runtuh tersebut tidak memiliki kemampuan deformasi-inelastik yang memadai. Hal ini terutama disebabkan oleh pemilihan hirarki keruntuhan yang tidak tepat dan penerapan detailing pada komponen-komponen struktur yang tidak memadai, terutama masalah pengekangan tulangan longitudinal pada balok, kolom dan dinding struktur serta detail pengankuran (Imran, 2010). Deformasi yang mengganggu kestabilan dapat dicegah dengan cara memberikan kekuatan yang lebih besar dari yang diperlukan, misalkan deformasi inelastik akibat geser baik di balok maupun di join serta slip antara tulangan dengan beton (Pawirodikromo, 2012).

Agar kondisi struktur yang "boleh rusak tapi tidak runtuh" saat terjadi gempa dapat terpenuhi, maka daktilitas yang tinggi pada kolom dasar mutlak diperlukan agar struktur saat gempa mampu berdeformasi dengan simpangan lateral yang besar.

Menurut Siddiq (1997) daktilitas kolom beton bertulang sangat ditentukan oleh cara terbentuknya sendi plastis pada ujung-ujungnya, akibat beban luar terutama yang ditimbulkan oleh gempa. Salah satu cara untuk mendapatkan kolom yang daktil dapat diperoleh dengan *detailing confinement* (pengekangan yang baik). *Confinement* mampu meningkatkan kekuatan yang ditunjukkan dengan usulan hubungan tegangan-regangan beton *confined* dan *unconfined* yang diajukan oleh Mander et al. (1988). Elemen yang dikekang akan memiliki kekuatan lebih besar daripada yang tidak dikekang. Hal ini karena akibat kekangan akan menambah besar tegangan dan regangan tekan maksimum beton.

Pengekangan efektif pada daerah tekan penampang beton. Oleh karena itu pada elemen beton bertulang, pengekangan efektif bekerja terutama pada elemen struktur yang menerima gaya aksial tekan dominan yaitu kolom. Kekangan yang umum dipakai selama ini pada kolom adalah *internal confinement* berupa tulangan sengkang baik spiral maupun sengkang ikat (*hoop*). Kolom berpengikat spiral lebih daktil daripada yang menggunakan tulangan sengkang ikat (Richart et al., 1929; Sheikh and Toklucu, 1993; Winter dan Nilson, 1993). Saat terjadi gempa dan kolom mengalami deformasi yang berlebihan, sengkang spiral mampu menahan inti beton tetap di dalam sengkang, walaupun pada kenyataannya inti beton sudah hancur tanpa ikatan antara agregat dengan tulangan dan antar agregat (Gambar 1.3a), sedangkan sengkang persegi tak mampu menahan inti beton tetap di dalam sengkang. Di samping itu apabila dibandingkan dengan sengkang spiral, sengkang persegi juga berpotensi lebih besar tak mampu menahan terjadinya *buckling* pada tulangan longitudinal (Gambar 1.3b.). Oleh karena itu kolom dengan tulangan spiral mampu menahan beban maksimum pada saat deformasi yang berlebihan. Hal ini dapat mencegah keruntuhan struktur secara keseluruhan sebelum redistribusi total momen-momen dan tegangan-tegangan lengkap (Nawy et al., 2010).

Menurut Mander et al. (1988) dan Paultre and Legeron (2008), faktor terpenting pada disain kolom beton bertulang pada daerah gempa adalah adanya tulangan transversal yang cukup untuk mengekang inti beton, mencegah tekuk tulangan longitudinal dan menghindari terjadinya kegagalan geser. Hal ini sangat penting karena jika peningkatan momen nominal yang terjadi tidak disertai dengan peningkatan kapasitas geser, maka akan terjadi kegagalan geser yang tidak didahului oleh kegagalan

lentur. Pada kenyataannya akibat pembebanan gempa pada struktur, kolom dasar akan menerima beban geser paling besar, sehingga potensi terjadinya kegagalan geser pada daerah itu sangat tinggi.



a) Sengkang Spiral (Cooper et al., 1994)



b) Sengkang Persegi (Leyendecker, 1985)

Gambar 1.3. Perbandingan Penampakan Visual Kolom Setelah Deformasi Berlebihan Akibat Gempa Antara Kolom yang Dikekang Sengkang Spiral dengan Persegi

Daktilitas suatu penampang kolom yang memikul momen sangat dipengaruhi oleh tingkat pembebanan aksialnya. Semakin besar beban aksial, semakin turun tingkat daktilitas kolom tersebut (Sheikh and Yeh, 1990; Paultre and Legeron, 2008; Nuroji dan Safitri, 2012). Padahal pada kenyataannya akibat pembebanan gravitasi, kolom dasar selain menerima momen juga memikul gaya aksial tekan yang sangat besar pula. Kondisi ini sangat berbahaya karena justru di kolom dasar daktilitas harus paling tinggi dan tidak boleh terjadi penurunan nilainya agar mekanisme *Strong Column Weak Beam* dapat tercapai.

Selain menurunkan kapasitas rotasi dan daktilitas, gaya aksial yang tinggi juga menyebabkan *early spalling* pada beton. Apabila beban pada kolom bertambah, maka retak akan banyak terjadi di seluruh tinggi kolom pada lokasi-lokasi tulangan sengkang. Lokasi tersebut merupakan bidang lemah (*plane of weakness*) longitudinal di antara inti beton dan selimut beton yang akan menyebabkan *early spalling* (Park and Paulay, 1975). Dalam keadaan batas keruntuhan (*limit state of failure*), selimut beton di luar sengkang (pada kolom bersengkang) atau di luar spiral (pada kolom berspiral) akan

lepas sehingga tulangan longitudinalnya akan mulai kelihatan (Gambar 1.4a). Apabila bebannya terus bertambah, maka terjadi keruntuhan dan tekuk lokal (*local buckling*) tulangan longitudinal pada panjang tak tertumpu sengkang atau spiral (Gambar 1.4b). Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa dalam keadaan batas keruntuhan selimut beton lepas dahulu sebelum lekatan baja-beton hilang dan tekuk yang terjadi pada tulangan longitudinal adalah akibat dari kurangnya penyokong lateral.



a) *Spalling* pada Kolom (Kodur, 1999)      b) Keruntuhan dan Tekuk Lokal (*Local Buckling*) pada Tulangan Longitudinal Kolom (*EqIIS Collection*, 1996)

Gambar 1.4. *Spalling* dan *Buckling* pada Kolom

Akibat hilangnya selimut beton telah diantisipasi dengan persyaratan pemasangan tulangan transversal minimum di SNI 2847-2013 Pasal 21.6.4, sehingga bila terjadi *spalling* pada pelindung beton tidak akan menyebabkan kehilangan kekuatan beban aksial kolom (Purwono et al., 2007). Disebutkan pada pasal tersebut, penampang beton yang dipakai pada desain geser hanya luasan inti beton atau luas penampang dari sisi luar ke sisi luar tulangan transversal saja, karena selimut beton diasumsikan telah *spall*. Pemakaian luasan inti beton pada desain geser akan mengakibatkan kebutuhan jumlah tulangan sengkang semakin besar. Meningkatnya jumlah tulangan sengkang yang dibutuhkan akan mengakibatkan konfigurasi sengkang yang dipakai semakin rumit atau terlalu rapat jarak antar sengkang. Pengekangan dengan spasi yang lebih rapat dapat menambah tingkat penyerapan energi (*energy dissipation*) pada kolom akibat beban lateral (Karimah dan Wahyudi, 2010). Akan tetapi kerugiannya adalah potensi *premature spalling* juga semakin besar, karena pada tulangan transversal yang rapat akan menyebabkan perbedaan regangan antara inti beton dengan selimut beton semakin



besar (Thompson and Park, 1980; Tanaka and Park, 1987). Selain itu konfigurasi sengkang yang rumit dan rapat pemasangannya kadang menyebabkan terjadinya segregasi beton, sehingga menurunkan kekuatan kolom.

Telah dikembangkan banyak penelitian tentang *external confinement* yang berfungsi untuk mempertahankan luasan penampang beton dan mendapatkan daktilitas yang tinggi pada kolom. Salah satu contohnya adalah *Concrete Filled Steel Tubes* (CFST). CFST adalah elemen struktur komposit yang terdiri dari sebuah tabung baja dan beton pengisi. Tabung baja disini berperan sebagai *external confinement* sekaligus *external reinforcement*. Jenis struktur kolom tubular komposit CFST ini makin populer penggunaannya, baik untuk gedung bertingkat banyak maupun jembatan bentang panjang. Hal ini dikarenakan sifat-sifat tahan gempa yang dimiliki oleh struktur jenis ini, yaitu berupa kekuatan dan daktilitas yang tinggi, maupun kapasitas absorpsi energi yang besar (Muslikh, 2005).

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa *internal confinement* yang biasa dipakai pada kolom sekarang ini, yaitu sengkang spiral dan sengkang ikat (*hoop*) mempunyai beberapa kelemahan. Tulangan sengkang tersebut hanya mampu menyelamatkan inti beton. Oleh karena itu penampang kolom yang dipakai dalam desain geser hanyalah penampang inti beton, sehingga menimbulkan kebutuhan tulangan geser yang banyak karena ada persyaratan tulangan geser minimum. Konfigurasi sengkang yang rumit dan terlalu rapat jarak antar sengkangnya akan menimbulkan *plane of weakness* di antara inti beton dan selimut beton yang akan menyebabkan *early spalling*. Oleh karena itu, diperlukan penelitian tentang alternatif lain untuk pengekangan kolom, yaitu suatu model *confinement* yang selain mampu meningkatkan daktilitas dan daya dukung kolom, juga sekaligus dapat mempertahankan luasan penampang beton yang mendukung beban dan menghindarkan terjadinya tekuk lokal pada tulangan longitudinal. Penelitian tentang *external confinement* ini diharapkan dapat memenuhi konsep *Performance Based Design* dimana perencana dapat mendesain struktur bangunan sesuai kondisi yang diminta *owner*. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan sesuatu yang baru sebagai alternatif lain *confinement* beton, yaitu suatu *external confinement* yang selain mampu meningkatkan daktilitas dan kapasitas kolom, juga sekaligus mempertahankan luasan penampang beton dan juga dapat untuk *strengthening* kolom. Aplikasi cincin baja sebagai *external confinement* di kolom dasar

diharapkan mampu menghasilkan struktur bangunan yang berumur panjang, efisien dalam penggunaan sumber daya alam dan mampu menahan berbagai beban yang bekerja padanya, termasuk beban gempa. Bila struktur bangunan dapat bertahan dengan baik terhadap gempa rencana dan kuat, maka rekonstruksi pasca gempa kemungkinan tidak diperlukan, sehingga penghematan terhadap penggunaan sumber daya alam yang berlebihan dapat dicapai.

## **1.2. Identifikasi Masalah**

Sesuai dengan uraian dalam latar belakang penelitian dan kajian pustaka yang telah dilakukan, maka dapat diidentifikasi permasalahan pada kolom dasar di lapangan, di antaranya adalah :

- 1) Saat gempa terjadi, daerah yang memikul momen maksimum pada ujung kolom dasar tetap mengalami plastifikasi sehingga terbentuk sendi plastis. Hal ini tidak dapat dihindarkan, akan tetapi harus tetap dapat diandalkan dalam rangka untuk memastikan stabilitas kapasitas kolom saat mengalami deformasi/simpangan lateral yang besar tetap sebaik kapasitas kolom saat kolom mendukung beban vertikal.
- 2) Akibat pembebanan gempa pada struktur, kolom dasar akan menerima beban geser paling besar, sehingga potensi terjadinya kegagalan geser pada daerah itu sangat tinggi.
- 3) Akibat pembebanan gravitasi pada struktur, kolom dasar menerima beban aksial paling besar yang mengakibatkan daktilitas kolom menurun dan kolom cenderung mengalami keruntuhan tekan yang bersifat getas (*brittle failure*).
- 4) *Internal confinemet* yang biasa dipakai pada kolom sekarang hanya mampu menyelamatkan inti beton, dan tidak dapat menyelamatkan selimut beton yang mengalami *premature spalling* pada beban aksial tinggi.
- 5) Adanya *plane of weakness* di antara inti beton dan selimut beton akibat kerapatan tulangan transversal pada dimensi penampang inti yang akan menyebabkan *premature spalling* selimut beton.

- 6) Akibat dari *spalling* mengakibatkan kebutuhan jumlah tulangan sengkang semakin besar, karena penampang beton yang dipakai pada desain geser hanya inti beton saja.
- 7) Konfigurasi sengkang yang rumit dan terlalu rapat jarak antar sengkang kadang menyebabkan terjadinya segregasi beton, sehingga menurunkan kekuatan kolom
- 8) Diperlukan suatu penelitian tentang model *external confinement* lain, yang selain mampu meningkatkan daktilitas juga sekaligus dapat mempertahankan luasan penampang beton dari *premature spalling* agar *performance* kolom tetap sesuai desain atau bahkan meningkat, sekaligus juga berfungsi untuk *strengthening* kolom.

### 1.3. Perumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang penelitian, maka permasalahan yang berkaitan dengan daktilitas kolom beton bertulang yang terkekang cincin baja dapat dirumuskan sebagai berikut :

- 1) Bagaimana pengaruh rasio volumetrik cincin baja sebagai *external confinement* terhadap perilaku mekanis beton yang meliputi tegangan dan regangan beton terkekang cincin baja dibandingkan beton tanpa kekangan ?
- 2) Berapa kuantifikasi efektivitas kekangan cincin baja dan peningkatan kekuatan beton terkekang cincin baja ?
- 3) Bagaimana pengaruh kekangan cincin baja terhadap kemampuan kolom terkekang cincin baja dalam menerima beban siklik dibandingkan kolom tanpa kekangan ?
- 4) Bagaimana pengaruh cincin baja sebagai *external confinement* terhadap daktilitas dan kapasitas daya dukung kolom terkekang cincin baja terhadap gaya lateral dibandingkan kolom tanpa kekangan ?
- 5) Bagaimana pengaruh beban aksial terhadap daktilitas dan kapasitas gaya lateral kolom terkekang cincin baja ?

#### **1.4. Maksud dan Tujuan Penelitian**

Penelitian ini dimaksudkan untuk menginvestigasi kemampuan cincin baja sebagai *external confinement* dalam mengekang beton yang selain mampu meningkatkan daktilitas dan kapasitas kolom, juga dapat mempertahankan luasan penampang beton dari *premature spalling*, sekaligus juga berfungsi untuk *strengthening* kolom. Teknologi ini berguna untuk diaplikasikan pada kolom dasar sehingga kolom tersebut lebih daktil dan membuat struktur mampu berotasi lebih besar saat terjadi gempa. Bila struktur bangunan dapat bertahan dengan baik terhadap gempa, maka rekonstruksi pasca gempa kemungkinan tidak diperlukan.

Secara rinci, tujuan yang hendak dicapai melalui penelitian disertasi ini adalah sebagai berikut :

- 1) Mengidentifikasi, menganalisis dan menjelaskan besaran pengaruh rasio volumetrik cincin baja sebagai *external confinement* terhadap perilaku mekanis beton yang meliputi tegangan dan regangan beton terkekang cincin baja dibandingkan beton tanpa kekangan, yang dapat dipakai untuk memprediksi kekuatan kolom terkekang.
- 2) Menganalisis dan menentukan kuantifikasi efektivitas kekangan cincin baja dan peningkatan kekuatan beton terkekang.
- 3) Mengidentifikasi, menganalisis dan menjelaskan besaran pengaruh kekangan cincin baja terhadap kemampuan kolom terkekang cincin baja dalam menerima beban siklik dibandingkan kolom tanpa kekangan.
- 4) Mengidentifikasi, menganalisis dan menjelaskan besaran pengaruh cincin baja sebagai *external confinement* terhadap daktilitas dan kapasitas daya dukung kolom terkekang cincin baja terhadap gaya lateral dibandingkan kolom tanpa kekangan.
- 5) Mengidentifikasi, menganalisis dan menjelaskan besaran pengaruh beban aksial terhadap daktilitas dan kapasitas gaya lateral kolom yang terkekang cincin baja.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diperoleh melalui pelaksanaan penelitian ini adalah :

- 1) Manfaat teoritis : mendapatkan pemahaman mekanisme kekangan yang dapat menghasilkan daktilitas yang cukup pada daerah sendi plastis di kolom dasar.

- 2) Manfaat praktis : mendapatkan elemen struktur tahan gempa, yaitu elemen struktur yang mampu berdeformasi lateral besar/daktail.

### 1.6. Pembatasan Masalah

Oleh karena keterbatasan alat, bahan, tempat dan waktu, selain itu juga agar mendapatkan hasil penelitian yang lebih fokus, maka dalam pelaksanaan penelitian ini ditetapkan batasan-batasan sebagai berikut :

- 1) Cincin baja berperan sebagai *external confinement*, bukan sebagai tulangan longitudinal (*external reinforcement*).
- 2) Tebal cincin konstan. Variasi rasio volumetrik cincin baja berdasarkan variasi lebar dan jarak antar cincin baja dan tidak meninjau variasi tebal cincin baja.
- 3) Analisis pendahuluan kolom beton bertulang tidak terkekang memakai model kurva hubungan tegangan-regangan beton tanpa pengekangan yang diusulkan oleh Hognestad.
- 4) Penentuan syarat tinggi benda uji kolom berdasarkan kegagalan lentur.
- 5) Kolom beton bertulang yang diuji berupa kolom penampang lingkaran diameter 260 mm.
- 6) Mutu beton yang dipakai adalah mutu beton 25 MPa.
- 7) Rasio penulangan longitudinal kolom adalah kurang dari 6%.
- 8) Tulangan lateral memakai tulangan spiral dengan rasio  $\frac{1}{4} \rho_s \text{ min.}$
- 9) Rasio volumetrik cincin baja yang dipakai untuk mengekang kolom beton bertulang adalah rasio volumetrik optimum hasil analisis pengujian silinder beton terkekang cincin baja.
- 10) Rasio pembebanan aksial ( $P/P_0$ ) adalah 0,4 (level rasio sedang) dan 0,6 (level rasio tinggi). Beban aksial  $P_0$  didasarkan pada beban aksial sentris kolom beton bertulang tidak terkekang.
- 11) Cincin baja dipasang di sepanjang tinggi kolom untuk menghindari terjadinya kegagalan di daerah yang bukan merupakan sendi plastis.

## 1.7. Sistematika Penulisan

Hasil penelitian yang dilakukan disusun menjadi sebuah laporan ilmiah (disertasi) dengan sistematika sebagai berikut :

1) Bab 1. Pendahuluan

Bab ini berisi tentang penjelasan mengenai latar belakang masalah, identifikasi masalah, perumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, pembatasan masalah dan sistematika penulisan

2) Bab 2. Kajian Pustaka dan Kerangka Berpikir

Bab ini berisi kajian pustaka dari penelitian-penelitian sebelumnya. Selain itu berisi juga penjelasan, konsep dan teori dasar tentang beton, baja, kolom, tegangan-regangan beton tak terkekang dan beton terkekang, cincin baja, skema pembebanan untuk pengujian siklik, daktilitas, efek  $P-\Delta$ , tingkat kinerja struktural berdasarkan ASCE/SEI 41 (ACI 374-2R-13), kerangka berpikir dan hipotesis penelitian.

3) Bab 3. Metode Penelitian

Bab ini menjelaskan tentang langkah-langkah dalam melaksanakan penelitian disertasi yang meliputi metode, tempat, tahapan dan material yang akan dipakai pada penelitian. Diuraikan juga metode dan acuan dasar yang digunakan pada pengujian dan analisis data penelitian pendahuluan silinder beton terkekang cincin baja dan penelitian kolom beton bertulang terkekang cincin baja.

4) Bab 4. Hasil Pengujian dan Observasi

Bab ini memuat tentang hasil pengujian dan observasi pengamatan terhadap perilaku benda uji selama pelaksanaan pengujian. Kegiatan yang dilakukan selama observasi meliputi kegiatan memperhatikan secara akurat selama persiapan benda uji untuk pengujian, pengamatan saat pelaksanaan pengujian, mencatat fenomena yang terjadi saat pengujian, mencatat data hasil pengujian, dan mempertimbangkan hubungan antar aspek dalam fenomena tersebut.

5) Bab 5. Pembahasan

Bab ini berisi tentang analisis dan pembahasan hasil pengujian silinder beton dan kolom beton bertulang yang terkekang cincin baja. Hasil pengujian dibandingkan dengan analisis teoritis yang menggunakan acuan standar maupun

hasil penelitian yang dilakukan peneliti sebelumnya. Hasil analisis adalah berupa usulan persamaan konstitutif peningkatan kekuatan beton terkekang, nilai daktilitas, kapasitas gaya lateral, kemampuan disipasi energi kolom, efek P- $\Delta$  terhadap performa kolom dan kinerja kolom yang dibandingkan terhadap tingkat kinerja struktural berdasarkan ASCE/SEI 41 (ACI 374-2R-13).

6) Bab 6. Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang uraian mengenai kesimpulan yang dapat diambil dari hasil analisis, implikasi hasil penelitian dan saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.