



PERENCANAAN SISTEM STRUKTUR BALOK BETON PRACETAK HIBRIDA

AHMAD YUDI

Institut Teknologi Sumatera (✉ ahmad.yudi@si.itera.ac.id)

Naskah diterima : 2 Februari 2018. Disetujui: 12 April 2018. Diterbitkan : 1 Juli 2018

ABSTRAK

Penelitian ini mencakup analisis dan perencanaan sistem balok beton pracetak hibrida, sebagai sejenis beton pracetak yang menggunakan kabel prategang unbonded sebagai tambahan kekuatan pada sambungan struktur balok. Pada penelitian ini model struktur dibuat dengan portal terbuka tiga dimensi berupa struktur balok dan kolom. Struktur didesain dengan beban hidup, beban mati, beban gempa respons spektra dan beban gempa time history, dengan beban tersebut diperoleh kinerja struktur sistem beton pracetak hibrida dapat menahan beban gempa dari percepatan awal gempa sebesar 0.364 g dapat dinaikan sampai 2.8 kalinya sebelum runtuh. Penambahan tendon unbonded tersebut memberikan efek pemulih-pusatan (self-centering effect) yang merubah lup histerisis yang pada umumnya berbentuk jajaran genjang menjadi bentuk bendera (flag shape hysteresis), dimana bentuk bendera menunjukkan perlawanan elastis sebagai tambahan terhadap perlawanan momen pada sambungan. Selain itu, tulisan ini juga membahas perbedaan kurva histerisis untuk nilai self-centering rasio λ yang berbeda-beda dari 1, 0.5 dan 0. Dengan nilai dari self-centering rasio yang berbeda-beda tersebut, dihasilkan bentuk kurva histerisis yang berbeda-beda pula. Pada akhirnya, dari perbedaan kurva histerisis tersebut, dapat digambarkan perbedaan dari kapasitas penampang dengan self-centering rasio yang memberikan peningkatan kapasitas momen dari yang menggunakan tulangan biasa, kabel prategang unbonded, dan gabungan keduanya. Pada penelitian ini dibuat perlangkah dalam perencanaan struktur khususnya balok sehingga dapat menjadi acuan dalam mendesain struktur pracetak hibrida.

Kata kunci : Histerisis berbentuk bendera, Pracetak hibrida

1. PENDAHULUAN

Pada zaman sekarang, pembangunan di wilayah Indonesia berkembang dengan sangat pesat. Banyaknya gedung-gedung yang dibangun membuat lahan yang tersedia semakin lama semakin sempit.

Oleh karena itu, banyak daerah yang mulai membangun gedung-gedung bertingkat, terutama di kota-kota besar untuk mengatasi kekurangan lahan yang tersedia. Pembangunan gedung bertingkat, saat ini sebagian besar menggunakan tiga metode, yaitu dengan metode beton bertulang konvensional dengan menggunakan bekisting yang dicor di

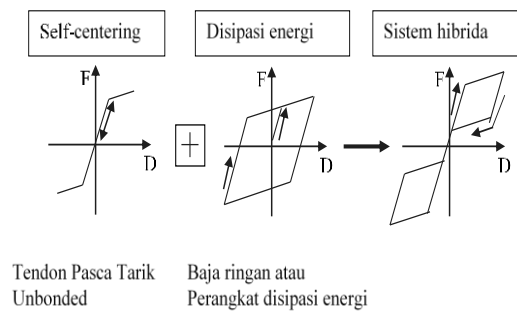
tempat, metoda pengerjaan beton dengan menggunakan formwork, dan yang menggunakan metoda beton pracetak dengan komponen yang dibuat di pabrik atau di lokasi proyek lalu kemudian dirakit di lapangan. Keunggulan dari penggunaan metode beton pracetak dibandingkan dengan metoda beton bertulang konvensional adalah waktu pengerjaan yang lebih cepat, mudah dalam pelaksanaan dan ekonomis dalam pemakaian bahan dan tenaga kerja. Oleh karena itu, saat ini sistem pemakaian beton pracetak telah banyak digunakan di luar negeri. Walaupun di Indonesia sudah dipakai tetapi dalam tahap penggunaan yang sedikit. Meskipun kualitas pracetak terkontrol oleh pabrikan, namun ada beberapa parameter penting yang perlu diperhatikan seperti metoda pemasangan dan sambungan. Metoda pemasangan pracetak memiliki beberapa macam tergantung kondisi lapangan, jarak lapangan ke pabrik, dan jenis pracetak. Dari segi sambungan, sambungan pracetak sangat rentan dalam memperoleh alur tegangan yang menerus dan baik. Disini penulis tertarik dengan sistem pracetak hibrida, dimana tulangan biasa ditambah dengan tulangan ekstra yang pada umumnya merupakan kabel yang dibuat terpisah dari pada beton (*unbonded*) dengan memberikan selongsong sehingga coran hanya mengikat selongsong dengan beton sedangkan kabel bebas meluncur di dalam selongsong. Serta tak dapat dilupakan, perencanaan sistem struktur dilakukan dengan menerapkan desain kapasitas (*capacity design*) "*strong column weak beam*", maka perencanaan sambungan dan pemeriksaan kapasitas sistem struktur secara keseluruhan, dilakukan dengan cara khusus. Hal inilah yang menjadi perhatian penulis dalam melakukan penelitian ini. Sistem beton pracetak merupakan praktek yang relatif masih baru di Indonesia, sekalipun telah dikenal lama sebelumnya, misalnya dalam pembangunan rumah susun, penerapan pracetak gelagar beton prategang untuk jembatan, dan lain-lain. Kondisi yang dihadapi saat ini adalah langkanya pustaka yang dapat dirujuk dalam melakukan praktek beton pracetak. Tahun 1999 didirikan asosiasi perekayasa beton pracetak yang dinamakan Ikatan Ahli Pracetak dan Prategang Indonesia (IAPPI) yang mewadahi aktifitas penelitian beton pracetak di tanah air, dan mendorong penemuan sistem pracetak yang dapat digunakan dalam pembangunan rumah susun. Di awal tahun 2000an terdapat belasan sistem pracetak (paten) yang dapat diterapkan di lapangan, dan hingga kini penelitian yang giat dilakukan telah menghasilkan sekitar 50 sistem pracetak. Masalah yang dihadapi adalah bahwa belum ada peraturan yang dapat dirujuk dalam praktek analisis dan perencanaan sistem beton pracetak. Barulah tahun 2011 disusun dan ditetapkan pedoman yang dinamakan Tata Cara Perencanaan dan Pelaksanaan Sistem Beton Pracetak Untuk Bangunan Gedung (SNI 7833:2012). Namun demikian, terbitnya peraturan tersebut belum diikuti dengan buku petunjuk atau pedoman bagaimana menerapkan tata cara tersebut.

2. STUDI LITERATUR

2.1. Kriteria Perencanaan Sistem Beton Pracetak Hibrida

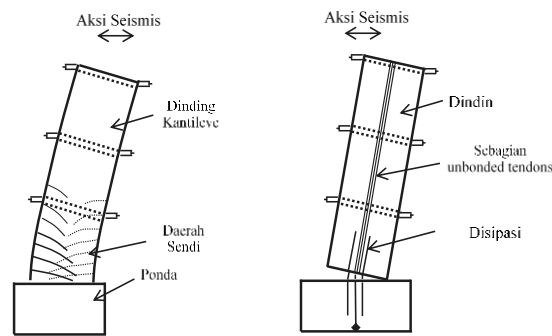
Setiap perencanaan maupun pelaksanaan suatu sistem struktur selalu didasarkan atas panduan, berupa norma, standard, prosedur dan manual. Semua panduan tersebut bukanlah berarti sesuatu yang harus diikuti secara kaku sebagaimana misalnya aturan dalam aspek legal, namun merupakan rambu-rambu dalam menuntun perekayasa melaksanakan atau merencanakan sistem struktur secara aman, kuat, nyaman dan ekonomis. Dalam sistem struktur ada tata cara perencanaan dan pelaksanaan konstruksi beton, baja, kayu dan lain-lain. Khusus untuk beton pracetak, telah dimiliki Tata Cara Perencanaan dan Pelaksanaan Sistem Beton Pracetak Untuk Bangunan Gedung (SNI 7833:2012) yang kini telah digunakan beberapa tahun, dan yang menurut rencana akan segera direvisi dalam waktu dekat. Suatu tata cara perencanaan dan pelaksanaan konstruksi disusun berdasarkan teori dan pengalaman terapan di lapangan yang telah diperoleh berapa lama, sehingga didapatkan suatu tata cara yang baik, konservatif tetapi terbuka bagi penyempurnaan dari

waktu ke waktu. Sebagai contoh, tata cara perencanaan beton bertulang (dahulu Peraturan Beton Indonesia, disingkat PBI) disusun berdasarkan peraturan zaman Belanda (VOSB) dalam tahun 1955 yang kemudian direvisi tahun 1971 dan kemudian direvisi lagi untuk kesekian kalinya. Tata cara perencanaan dan pelaksanaan konstruksi beton bertulang yang dahulu didasarkan atas peraturan Belanda, secara perlahan direvisi dan didasarkan atas peraturan Amerika (ACI 318). Tata Cara Perencanaan dan Pelaksanaan Sistem Beton Pracetak untuk Bangunan Gedung (SNI 783:2012) yang ada sekarang didasarkan atas ACI 318-08. Karena dalam sistem beton pracetak diperoleh kesempatan untuk mengatur perilaku sistem struktur dengan mengatur sambungan, maka para peneliti mengajukan suatu sistem yang dinamakan sistem beton pracetak hibrida. Sistem ini diperoleh dengan menambahkan suatu tulangan atau kabel yang didebonded (*unbonded*) sedemikian hingga memberikan efek pemulih-pusatan (*self-centering affect*), sebagai tambahan terhadap mekanisme disipasi energi (*energy dissipation*), seperti diperlihatkan dalam Gambar 1. Pengaruh dari pada pemasangan tulangan atau kabel tambahan seperti itu memberikan perubahan yang sangat nyata dalam tanggap sistem struktur beton pracetak hibrida dibandingkan dengan sistem beton monolit, seperti terlihat dalam Gambar 2. Jika dalam sistem monolit terjadi sendi plastis pada sebagian besar perletakan secara ekstensif, maka dalam sistem beton pracetak hibrida yang terjadi adalah rotasi yang bersifat terlokalisir pada sambungan.



Gambar 1. Lup Histerisis Bentuk Bendera Dari Sistem Hibrida

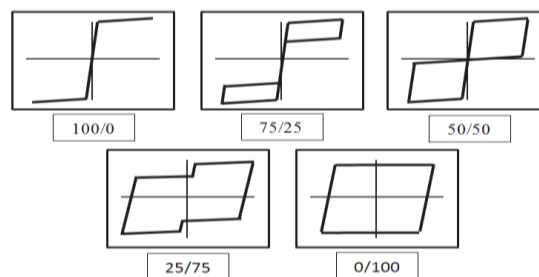
Sistem beton pracetak hibrida semacam ini baru dikembangkan belakangan ini di negara-negara maju. Kecenderungan ini bermula ketika masyarakat mulai mempertanyakan metoda yang dianut masyarakat konstruksi sekarang ini, yang cenderung mengarah kepada suatu desain yang membuat sistem struktur cukup kuat untuk dapat menyelamatkan harta benda dan jiwa manusia jika terjadi gempa kuat. Namun, perencanaan semacam itu tidak bisa menjawab pertanyaan masyarakat pengguna; antara lain, seberapa mahal rehabilitasi struktur sehabis gempa, dan berapa lama program tersebut akan berlangsung sehingga pengguna atau pemilik bangunan akan membutuhkan biaya peminjaman fasilitas pengganti sementara gedung yang rusak dan sedang diperbaiki. Dorongan ini mengarah kepada penerapan metoda perencanaan berbasis performa. Dalam kaitan performa bangunan ini, kemudian muncul ide mengenai penggunaan baja tambahan *unbonded* untuk menaikkan kekuatan dan daktilitas komponen maupun sambungan sistem struktur, sekaligus melokalisir eksensi daerah keruntuhan. Lihat Gambar 2 sebagai penjelasan.



Gambar 2. Perbandingan Tanggap Struktur Beton Monolit vs Beton Pracetak Hibrida

2.2. Histeresis Bentuk Bendera

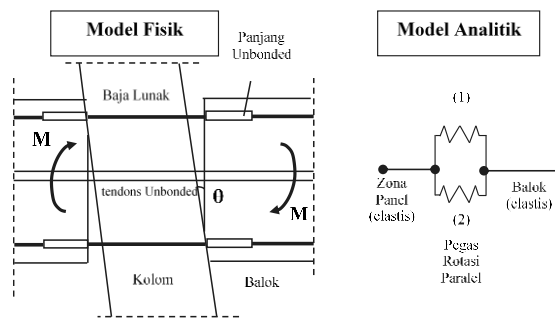
Pasal ini memberikan kriteria perencanaan sistem beton pracetak hibrida. Cakupan dari pasal ini adalah perihal histeresis berbentuk bendera, kondisi *re-centering* penuh dan perencanaan berbasis gaya dan berbasis perpindahan. Tanggap seismik sistem beton pracetak hibrida didasarkan atas mekanisme *dissipative-rocking* atau *controlled-rocking* yang berbentuk histeresis bendera (*flag-shape hysteresis*) seperti dalam Gambar 3. Tulangan beton biasa memberikan sumbangan dalam penanganan disipasi energi (*energy dissipation*), sementara tendon *unbonded* mengerahkan penanganan pemulih-pusatan. Gambar 3 menunjukkan pengaruh dari pada kontribusi *re-centering* dibandingkan dengan distribusi *dissipative energy*, mulai dari pada 100% hingga 0%.



Gambar 3. Perbandingan Kontribusi Re-Centering vs Energy Dissipative

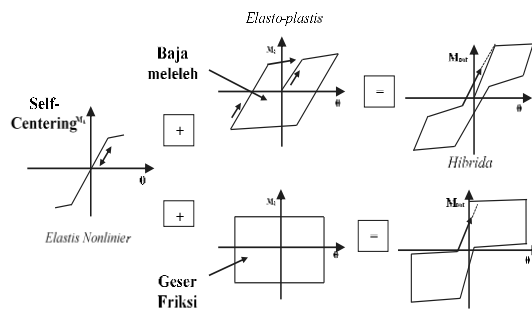
2.3. Permodelan Struktur Beton Pracetak Hibrida

Dengan hadirnya tulangan atau kabel *unbonded* pada sambungan, maka sambungan sistem struktur tidak lagi dapat dianggap kaku, karena pada sambungan akan terjadi bukaan (*opening*). Dengan demikian, untuk memperhitungkan bukaan dalam titik-titik pertemuan sistem struktur, digunakan model analitis sebagai mana ditunjukkan dalam Gambar 4 berikut ini.

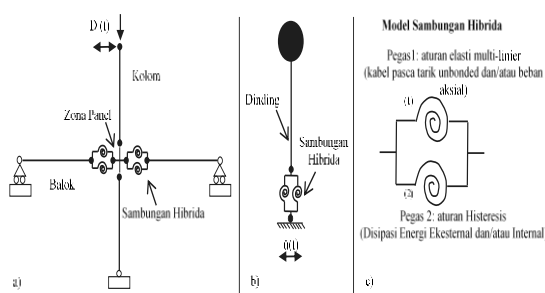


Gambar 4. Model Sambungan Sistem Beton Pracetak Hibrida

Sebagai mana diterangkan dalam bahasan sebelumnya, perilaku histeresis sistem sambungan beton pracetak hibrida mengikuti bentuk bendera yang mengkombinasi kontribusi *re-centering* tendon pasca tarik dan kontribusi *dissipative* tulangan non-prategang. Lihat Gambar 5 sebagai penjelasan. Untuk merepresentasikan perilaku yang tidak kaku penuh sistem struktur pada sambungan, maka pada sambungan balok dan kolom serta sambungan kolom dan poer dipasang model analitis seperti dalam Gambar 6 pada titik pertemuan balok dan kolom. Model dalam contoh Gambar 6 dinamakan model plastisitas terkumpul (*lumped*).



Gambar 5. Histeresis Berbentuk Bendera



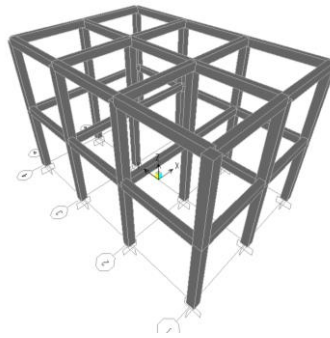
Gambar 6. Model Plastisitas Terkumpul Pada Pertemuan Balok-Kolom

Dalam pasal ini dibahas mengenai struktur untuk studi kasus dibagi menjadi dua jenis pembebanan. Pertama, struktur dianalisis dengan beban biasa untuk membuktikan perubahan jenis kurva histeresis dan menganalisis kenaikan kapasitas momen nominal akibat adanya tendon pasca-tarik yang terjadi sesuai dengan perhitungan pada *PRESSS Design Handbook* yang mengacu pada peraturan *NZS* sedangkan yang kedua adalah struktur dianalisis dengan beban *time history* dengan meningkatkan nilai percepatan awal

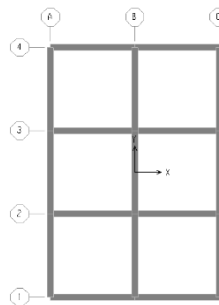
gempaan A_0 sampai struktur *collapse* untuk menggambarkan kurva histeresis yang akan dibandingkan dengan struktur pembebanan pertama.

3. STUDI KASUS

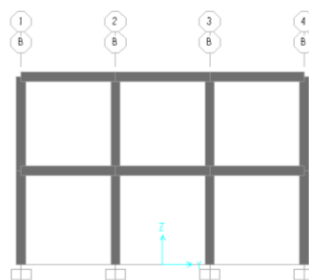
Struktur yang akan direncanakan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 7. Struktur memiliki 2 lantai dengan panjang 12 meter, lebar 8 meter dan tinggi 4 meter yang pada arah memanjang terbagi 3 *bay* dengan 4 kolom serta pada arah yang pendek terbagi 2 *bay* dengan 3 kolom seperti dalam Gambar 7 dengan denah lantai seperti dalam Gambar 8. Portal di arah memanjang diperlihatkan dalam Gambar 9 dan detail sambungan A dalam Gambar 10.



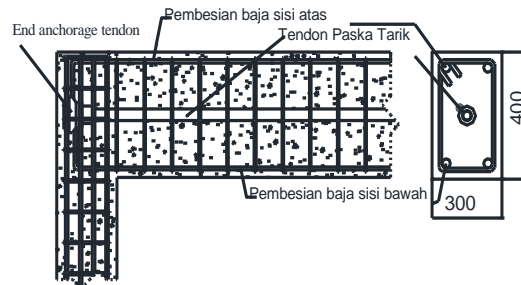
Gambar 7. Tampak 3D Sistem Struktur



Gambar 8. Denah Lantai Sistem Struktur



Gambar 9. Portal di Arah Memanjang Sistem Struktur



Gambar 10. Detail Sambungan A

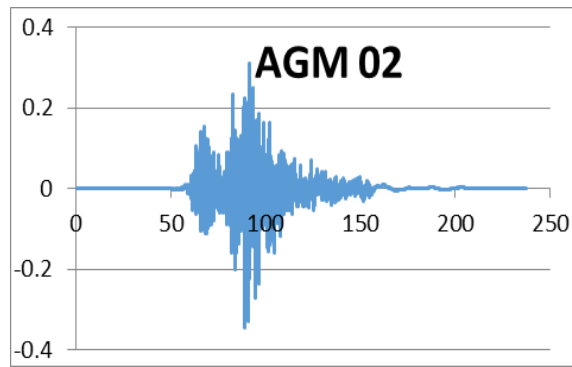
Dalam penelitian ini akan digunakan peraturan NZS 3101 untuk pracetak dan NZS 1170.5 untuk gempa yang digabungkan dengan SNI 783:2012 untuk pracetak serta SNI 2847-2013 dan SNI 1726-2012 untuk gempa dan pembebanan struktur.

3.1. Deskripsi Beban yang Digunakan

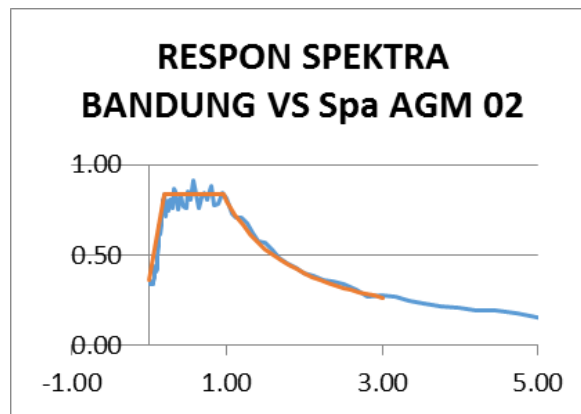
Model struktur akan didesain dengan memperhitungkan beban-beban yang bekerja, di antaranya

- *dead load* yang hanya terdiri atas berat sendiri struktur,
- *live load* yaitu beban hidup struktur, dan
- beban gempa dengan menggunakan metode *spektrum respons* dan *time history*,
- dengan kombinasi beban sebagai berikut,
- COMB 1 = 1.4D
- COMB 2 = 0.9D + 1E
- COMB 3 = 1.2D + 1.6L
- COMB 4 = 1.2D + 1E + 1L

Pada penelitian ini, struktur diberikan beban *time history* yang ditingkatkan berapa kalinya dari Ao design hingga mencapai *collapse*, kemudian dilihat perilakunya. Untuk beban gempa dari *time history*, *akselerogram* yang digunakan untuk analisis riwayat waktu adalah AGM02 seperti dalam Gambar 11. Hal yang perlu diperhatikan dalam menggunakan suatu akselerogram untuk melakukan analisis riwayat waktu, adalah bahwa akselerogram tersebut perlu disesuaikan dengan wilayah dan kondisi tanah dimana struktur berada. Metoda yang dapat dilakukan untuk menyesuaikan *akselerogram* ini adalah dengan cara membandingkan *spectrum respons* yang dihasilkan dari *akselerogram*, dengan *spectrum respons* yang dihitung berdasarkan SNI. *Akselerogram* dikalikan dengan suatu bilangan sehingga *spectrum respons* dari *akselerogram* mendekati *spectrum respons* berdasarkan SNI. Di bawah ini akan ditunjukkan plot dari rekaman AGM02 yang sudah di *fit* dengan wilayah kota Bandung dengan kondisi tanah lunak, serta *spectrum respons* yang dihasilkan seperti dalam Gambar 12.



Gambar 11. Akselerogram AGM02 (Loma Prieta E-W, October 17, 1989)



Gambar 12. Akselerogram yang telah difitkan dengan Respon Spectra

3.2. Perencanaan Struktur Beton Pracetak Hibrida

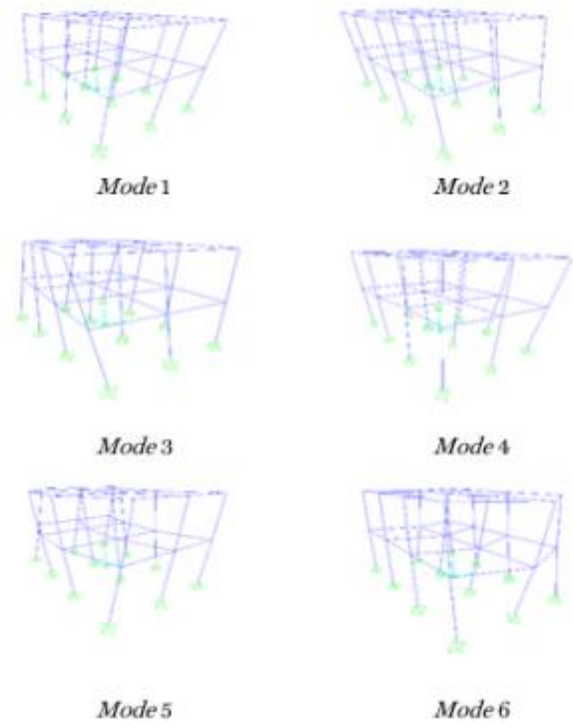
Dalam pasal ini dibahas mengenai perhitungan yang dilakukan dalam menghitung kurva histeresis untuk beton pracetak hibrida. Kebutuhan tulangan biasa dan tulangan khusus yang dibutuhkan akan didesain sesuai prosedur perhitungan berdasarkan *PRESSS Design Handbook*.

3.3. Analisis Struktur

Pada penelitian ini, struktur diberikan beban *time history* yang ditingkatkan berapa kalinya dari A_0 design hingga mencapai *Colapse*. Namun sebelumnya perlu dilakukan beberapa pengecekan, antara lain :

3.3.1. Cek Partisipasi Massa

Pengecekan partisipasi massa digunakan untuk mengetahui pada *mode* berapa struktur mengalami partisipasi mencapai 90%. Dimana *mode* tersebut digunakan sebagai acuan penentuan pola gerak yang dominan dalam memilih bagian struktur mana yang digunakan dalam pengecekan desain plastis. Hasilnya dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut.



Gambar 13. Mode Shape

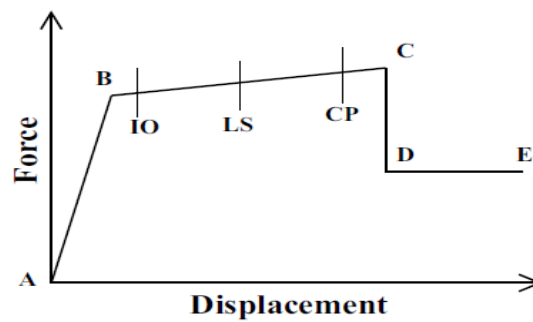
Tabel 1. Partisipasi Massa

Moode	T		Partisipasi Massa (%)					Pola Gerak
	(detik)	ix	UX	iy	UY	iz	UZ	
1	0.230383	0	0	89.067	89.067	0	0	Translasi-Y
2	0.224247	0	0	10.166	99.233	0	0	Translasi-Y
3	0.209385	89.372	89.372	0	0	0	0	Translasi-X
4	0.136076	10.052	99.424	0	0	0	0	Translasi-X
5	0.118433	0	0	0	0	89.372	89.372	Rotasi-Z
6	0.095131	0	0	0	0	9.942	99.314	Rotasi-Z

Dari tabel terlihat pada *mode3* memiliki partisipasi massa yang paling dominan dengan pola gerak translasi-x sehingga pada pengecekan desain plastis digunakan struktur balok pada arah x sebagai acuan strukturnya.

3.3.2. Cek Desain Plastis

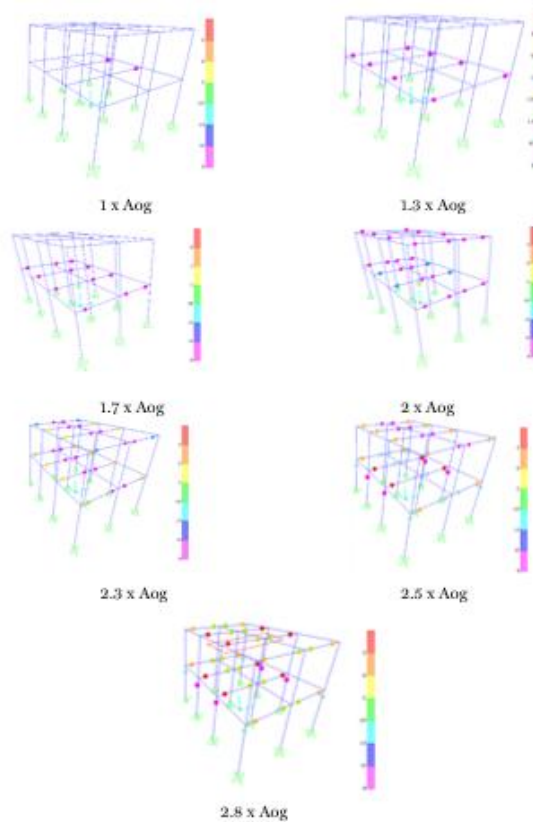
Sendi plastis merupakan bentuk tangkap *nonlinier nonelastis* sistem struktur terhadap gaya luar, sekaligus yang memberikan indikator kemampuan sistem struktur dalam menyerap energi terdisipasi dalam struktur. Pemodelan sendi digunakan untuk mendefinisikan perilaku nonlinear *force-displacement* atau momen-rotasi yang dapat ditempatkan pada beberapa tempat kritis berbeda di sepanjang bentang balok atau kolom. Pengecekan desain plastis (lihat Gambar 14) dilakukan dengan menaikkan A_o (0.364g) hingga mencapai collapse yaitu sebesar $2.8 \times A_{og}$ (1.019g) dengan beberapa parameter, seperti perpindahan dan rotasi.



Gambar 14. Sendi Plastis

Hubungan gaya dengan perpindahan ditampilkan dalam Gambar 14 menunjukkan perilaku sendi plastis pada *FEMA 356*. Grafik tersebut juga berlaku untuk hubungan momen dengan rotasi. Keterangan warna untuk setiap kondisi sendi plastis adalah sebagai berikut.

- A : awal pembebanan, belum terbentuk sendi plastis.
- B : batas elastis, sendi plastis pertama terbentuk dalam warna merah muda.
- IO : *immediate occupancy*, sendi plastis terbentuk dalam warna biru tua.
- LS : *life safety*, sendi plastis terbentuk dalam warna biru muda.
- CP : *collapse prevention*, sendi plastis terbentuk dalam warna hijau.
- C : *collapse*, sendi plastis terbentuk dalam warna kuning.
- D : *residual point*, sendi plastis terbentuk dalam warna orange.
- E : runtuh, sendi plastis terbentuk dalam warna merah.



Gambar 15. Indikator Sendi Plastis

3.3.3. Simpangan

Pengecekan simpangan atau perpindahan horizontal dari puncak sistem struktur dilihat dari output SAP yang dibandingkan dengan batas simpangan yaitu 5% dari tinggi bangunan, dapat dilihat dari tabel berikut.

Tabel 2. Simpangan (displacement)

PGA (g)	Displacement (m)	Xijin (m)
0.364	0.0121	0.4
0.4732	0.0258	0.4
0.6188	0.0277	0.4
0.728	0.0295	0.4
0.8372	0.0371	0.4
0.91	28.706	0.4
1.0192	163.48	0.4

Dari tabel dapat dilihat simpangan struktur telah melewati nilai simpangan ijin pada kasus percepatan gempa 0.91g dan 1.0192g.

3.3.4. Rotasi

Pengecekan rotasi dilihat dari output SAP yang dibandingkan dengan batas kondisi IO, LS dan CP, diperoleh pada gempa 0.6188 g, kondisi CP sudah terjadi pada banyak lokasi, tapi semuanya belum mengantarkan sistem struktur ke kondisi collapse.

3.3.5. Kurva Momen-Rotasi Beton Pracetak Hibrida

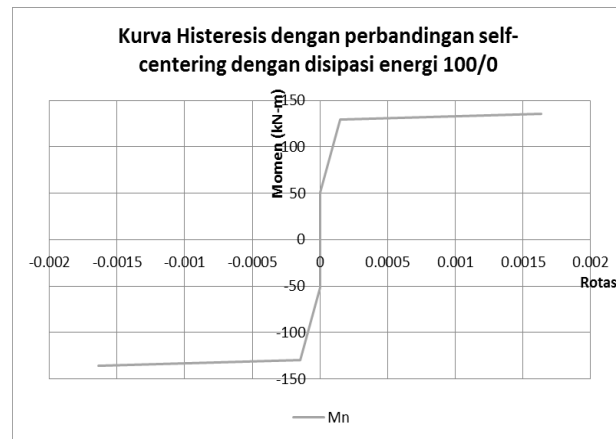
Dalam sub-bab ini, akan dijelaskan prosedur pendesainan 2 jenis tulangan, yaitu tulangan biasa dan kabel paska tarik pada sambungan beton pracetak hibrida dengan bermacam-macam nilai perbandingan λ (nilai desain dari re-centering rasio) antara kabel dengan tulangan biasa. Setelah itu, kurva histeresis dibuat sehingga dapat dibuktikan bahwa adanya kontribusi tendon mengakibatkan perubahan kurva histeresis.

Perencanaan Penampang Dengan Perbandingan *Self-Centering* Terhadap Disipasi Energi 100/0

Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan hasil seperti pada Tabel 3 dan akhirnya kurva momen rotasi atau kurva histeresis dapat dibentuk pada Gambar 16.

Tabel 3. Kesimpulan Momen (100/0)

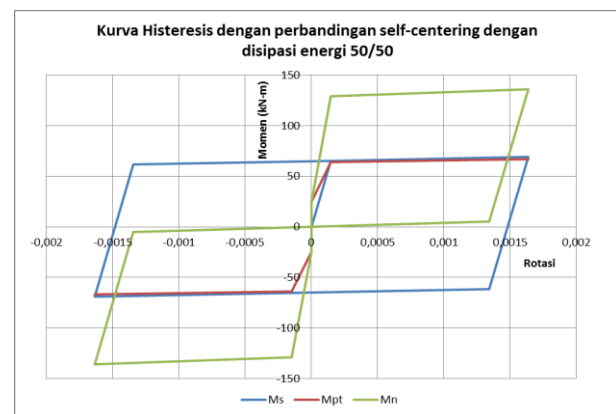
Kesimpulan		
θ (%)	Mpt (kN-m)	Mtot (kN-m)
0	51,28075	51,28075
0,014685	129,7961	129,7961
0,163636	135,5274	135,5274



Gambar 16. Kurva Histeresi untuk Perbandingan 100/0

Perencanaan Penampang Dengan Perbandingan *Self-Centering* dengan Disipasi Energi 50/50

Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan hasil seperti pada Tabel 4 dan akhirnya kurva momen rotasi atau kurva histeresis dapat dibentuk pada Gambar 17.



Gambar 17. Kurva Histeresi untuk Perbandingan 50/50

Tabel 4. Kesimpulan Momen untuk Perbandingan 50/50

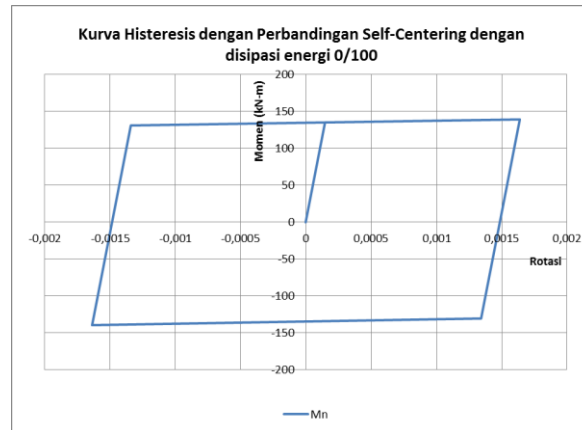
Kesimpulan			
θ (%)	Ms (kN-m)	Mpt (kN-m)	Mtot (kN-m)
0	0	25,64038	25,64038
0,014685	65,32957	66,50522	131,8348
0,163636	69,03869	69,03935	138,078

Perencanaan Penampang Dengan Perbandingan *Self-Centering* Dengan Disipasi Energi 0/100

Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan hasil seperti pada Tabel 5 dan akhirnya kurva momen rotasi atau kurva histeresis dapat dibentuk pada Gambar 18.

Tabel 5. Kesimpulan Momen untuk Perbandingan 0/100

Kesimpulan		
θ (%)	Ms (kN-m)	Mtot (kN-m)
0	0	0
0,014685	134,8366	134,8366
0,163636	139,1576	139,1576



Gambar 18. Kurva Histeresi untuk Perbandingan 0/100

4. KESIMPULAN

1. Kurva Histeresis dengan perbandingan self-centering dengan disipasi energi 100/0.

Kurva histeresis untuk kondisi saat kontribusi dari tendon pasca-tarik unbonded 100% dan tidak ada kontribusi sama sekali untuk tulangan biasa. Pada kurva histeresis di atas terlihat tendon pasca-tarik unbonded memberikan alur intial ke alur kembali pada alur garis yang sama.

2. Kurva Histeresis dengan perbandingan self-centering dengan disipasi energi 50/50.

Kurva histeresis untuk kondisi saat kontribusi dari tendon pasca-tarik debonded 50% dan kontribusi tulangan biasa 50%. Pada kurva histeresis di atas terlihat penggabungan tendon unbonded sebesar 50 % dan tulangan biasa sebesar 50 % memberikan bentuk histeresis bendera dengan energi disipasi yang lebih termanfaatkan dibandingkan dengan hanya menggunakan tulangan biasa.

3. Kurva Histeresis dengan perbandingan self-centering dengan disipasi energi 0/100.

Kurva histeresis untuk kondisi saat kontribusi dari tendon pasca-tarik debonded 0% dan kontribusi tulangan biasa 100%. Pada kurva histeresis di atas terlihat tulangan biasa memberikan bentuk berupa jajargenjang dengan luasan energi disipasi yang tidak termanfaatkan secara maksimal.

4. Pada kurva histeresis terlihat pemberian tendon unbonded memberikan peningkatan kapasitas momen dengan batas perbandingan self-centering yang tergantung pada rencana struktur tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-11) and commentary, American Concrete Institute.
- FEMA-356, 2000, Pre-standard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Report No. FEMA-356, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- NZS 1170.5, Structural Design Actions, Part 5: Earthquake Actions, Wellington, New Zealand Wellington (2002)
- NZS 3101, Appendix B: Special Provisions for the Seismic Design of Ductile Jointed Precast Concrete Structural Systems, Standards New Zealand, Wellington (2006)
- PCI Design Handbook : Precast and Prestressed Concrete, edisi ke-6, PCI, Chicago, Illinois (2004).
- PRESSS Design Handbook, NZ Concrete Society, Inc.(2010).
- Tata Cara Perencanaan dan Pelaksanaan Sistem Beton Pracetak untuk Bangunan Gedung (SNI 7833:2012).
- Paulay, T. And Priestley, M. J. N. (1992). Seismic Design of Reinforce Concrete and Masonry Buildings, John Wiley & Sons, inc, New York.
- Wang, C.-K., Salmon, C.G., terjemahan oleh Binsar Hariandja, Disain Beton Bertulang, Penerbit Erlangga, Jakarta (1992).
- Lin, T.-Y., Burns, H., terjemahan oleh Binsar Hariandja, Disain Struktur Beton Prategang, Penerbit Erlangga, Jakarta (1989)