

**Standar Nasional Indonesia tentang Spesifikasi Rangka Pemikul Momen Khusus  
Beton Pracetak Paskatarik tanpa Lekatan untuk Bangunan Bertingkat Tinggi  
dalam rangka Mendukung Percepatan Pembangunan Infrastruktur Pendukung  
Urbanisasi Vertikal**

Hari Nugraha Nurjaman – Universitas Persada Indonesia  
Lutfi Faisal - Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, Kementerian PU PR  
Gambiro Soeprapto – PT Wijaya Karya Beton  
Binsar Hariandja – Institut Teknologi Bandung  
Riyanto Rivky – Ikatan Ahli Pracetak dan Prategang Indonesia  
Yesualdus Put - Ikatan Ahli Pracetak dan Prategang Indonesia

**ABSTRAK**

Seiring dengan program percepatan pembangunan infrastruktur di Indonesia saat ini, maka diperlukan suatu sistem dan metoda konstruksi yang disamping harus memenuhi persyaratan kehandalan, juga harus dapat dibangun dengan cepat, kontrol kualitas terjamin, dan ekonomis. Pada aspek kehandalan, peraturan gempa (SNI 1726-2012), peraturan beton umum (SNI 2847-2013) dan peraturan beton pracetak (SNI 7833-2012) yang berlaku saat ini, mempunyai tuntutan kinerja bangunan tahan gempa adalah lebih tinggi dibanding peraturan sebelumnya (SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-2847-2002). Salah satu dari tuntutan tersebut adalah penggunaan struktur rangka pemikul momen khusus yang lebih luas untuk bangunan yang terletak di katagori desain seismik D,E dan F, yang banyak dijumpai pada kota-kota yang mengalami urbanisasi vertikal. SNI 7833-2012 memberikan suatu alternatif sistem rangka pemikul momen khusus beton pracetak paska tarik tanpa lekatan seperti yang tercantum pada penjelasan Pasal 7.8.4, yang menyatakan dasar sistem tersebut adalah ACI ITG 1.2, Special Hybrid Moment Frames Composed of Discretely Jointed Precast and Post-Tensioned Concrete Members. Pada tahun 2015, Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat menyusun Standar Nasional Indonesia tentang sistem ini, yang didasarkan atas pemutakhiran dari ACI ITG 1.2, yaitu ACI 550.3-13 Design Specification for Unbonded Post-tensioned Precast Concrete Special Moment Resisting Frame Satisfying ACI 374.1 (ACI 550.3-13) and Commentary. SNI ini menjadi landasan bagi penerapan alternatif konstruksi tahan gempa kinerja tinggi berbasis sistem pracetak yang kualitasnya terjamin, pelaksanaan lebih mudah dan cepat serta ekonomis, terutama untuk mendukung percepatan pembangunan gedung bertingkat tinggi yang terletak di katagori desain seismik D,E, dan F yang banyak mengalami urbanisasi vertikal yang cepat.

**KATA KUNCI** : Rangka pemikul momen khusus Rangka pemikul momen khusus; Pracetak paska tarik tanpa lekatan; Urbanisasi vertikal

**Indonesian National Standard on Special Moment Resistant  
Unbonded Post Tension Precast Concrete for High Rise Buildings  
in Accelerated Infrastructure Construction  
to Cope with Vertical Urbanization**

Hari Nugraha Nurjaman – Persada University, Indonesia  
Lutfi Faisal – Center of Human Settlement, Ministry of Public Works and Housing  
Gambiro Soeprapto – PT Wijaya Karya Beton  
Binsar Hariandja – Bandung Institute of Technology  
Riyanto Rivky – Association of Indonesian Precast and Prestressed Engineers  
Yesualdus Put – Association of Indonesian Precast and Prestressed Engineers

**ABSTRACT**

In accordance with acceleration on infrastructure development in Indonesia to date, necessity arises in the application of vast, quality controlled, and economical construction as well as coping reliable construction. In the aspect of reliability, earthquake code (SNI 1726-2012), concrete code (SNI 2847-2013) and precast concrete code (SNI 7833-2012) require higher performance of earthquake resistant buildings compared to that required by previous codes (SNI 03-1726-2002 and SNI 03-2847-2002). One of the requirements is the use of special moment resistant structures for seismic design category D, E and F, that commonly confronted in cities experiencing vertical urbanization. The changes in code requirements result in higher cost and the need in better supervision to guarantee the fulfillment of code requirements. Concrete precast system is an alternative that may be applied to achieve faster and better quality of work. For high rise building reliability to earthquake, SNI 7833-2012 provides an alternative for special moment resistant frame system made of unbonded post tension precast concrete as mentioned in Section 7.8.4, which states that basic of the system is ACI ITG 1.2, Special Hybrid Moment Frames Composed of Discretely Jointed Precast and Post-Tensioned Concrete Members. In 2015, Center of Research and Development of Settlement, Ministry of Public Works and Housing formed Indonesian National Standard for this, based on an update of ACI ITG 1.2, i.e., ACI 550.3-13 Design Specification for Unbonded Post-tensioned Precast Concrete Special Moment Resisting Frame Satisfying ACI 374.1 (ACI 550.3-13) and Commentary. This code has become basic of the application of high performance earthquake resistant, fast constructed, cost efficient concrete precast systems, to support accelerated construction of high rise buildings located in seismic design category D, E and F in cities experiencing vertical urbanization.

**Keywords:** Special moment resistant frame; Unbonded post tension precast; Vertical urbanization

## 1 PENDAHULUAN

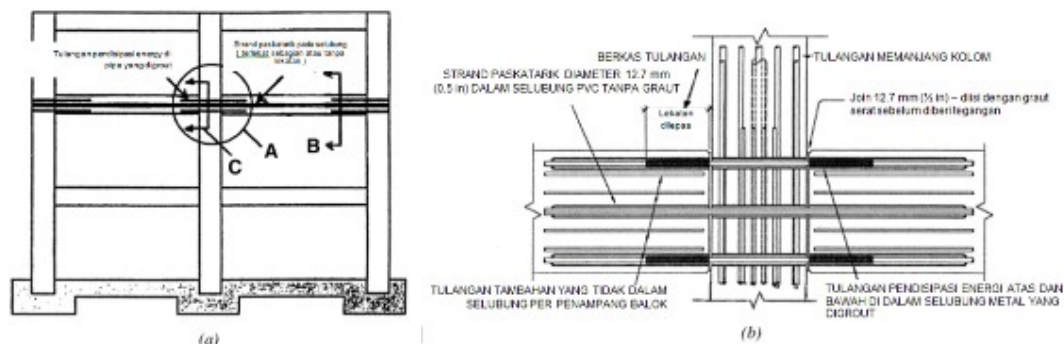
Untuk daerah rawan gempa, Pasal 21.1.1.8 SNI 2847:2013 [3] memperkenankan penggunaan sistem struktur yang tidak memenuhi persyaratan Pasal 21 jika disediakan bukti eksperimental tertentu dan analisis. SNI 7834:2012, "Metode uji dan kriteria penerimaan sistem struktur rangka pemikul momen beton bertulang pracetak untuk bangunan gedung", adalah untuk standar untuk menentukan bukti minimum yang diperlukan [4] dalam memvalidasi penggunaan rangka penahan momen khusus yang bersifat balok-lemah kolom-kuat seturut Pasal 21.1.1.8. SNI 2847:2013

SNI ini [6] mendefinisikan persyaratan yang perlu digunakan untuk satu tipe khusus rangka penahan momen yang tidak memenuhi persyaratan Pasal 21 SNI 2847:2013, tetapi dapat di validasi untuk digunakan di daerah berseismisitas tinggi (katagori desain seismik KDS D,E,F) menurut SNI 7834:2012 dan SNI 2847. Rangka menggunakan balok beton pracetak yang dipascatarik terhadap kolom pracetak atau cor di tempat. Kolom-kolom menerus melalui join-join, dan balok-balok merupakan balok berbentuk tunggal. Standard ini menyatakan rangka sebagai rangka hibrid karena mengkombinasikan konstruksi beton bertulangan biasa yang direncanakan meleleh dengan tendon pascatarik unbonded yang dirancang tetap elastis dalam gempa desain.

Makalah ini menyajikan konsep SNI, contoh desain sistem yang memenuhi konsep SNI, pengujian verifikasi, serta contoh penerapan pada beberapa bangunan perkantoran, rumah susun dan rumah tapak.

## 2 KONSEP SNI SPESIFIKASI PERANCANGAN RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS BETON PRACETAK PASCATARIK TANPA REKATAN

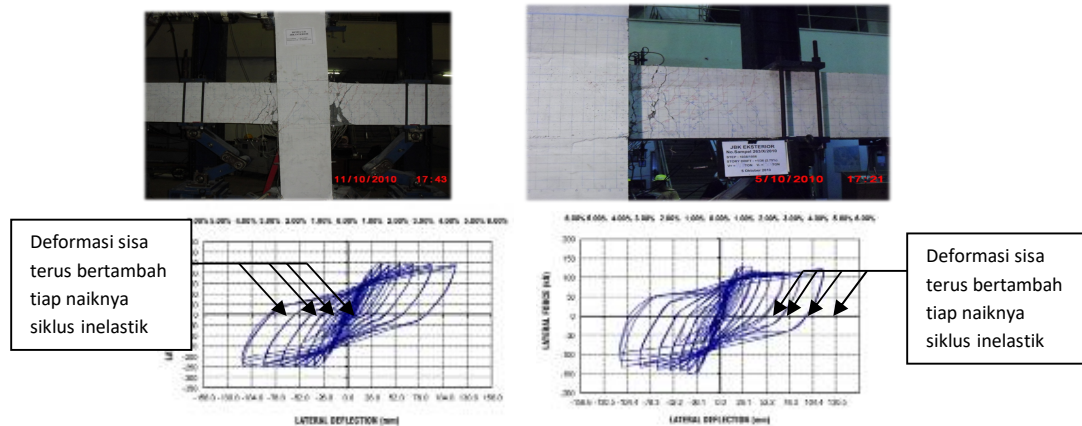
Dalam rangka hibrid tipe khusus ini ada dua komponen utama. Komponen pertama adalah tendon pascatarik tanpa lekatan. Komponen kedua adalah tulangan pendisipasi energi berupa batang tulangan horizontal yang digROUT dalam selongsong yang ditempatkan dalam kolom dan pada sisi atas dan bawah balok. Komponen kedua ini juga memberikan kesinambungan tambahan antara balok-balok dan kolom-kolom, dan memberikan kekuatan momen tambahan terhadap balok. Batang-batang tulangan ini mendisipasi energi melalui fenomena leleh dalam tarik dan tekan secara bergantian selama gempa.



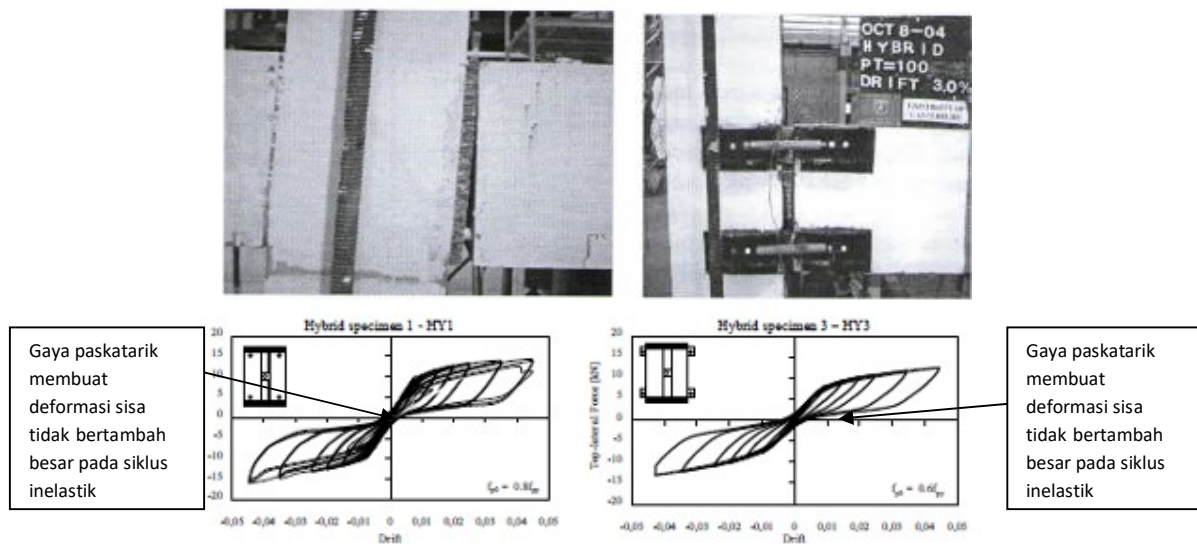
Gambar 1 Tipikal rangka pemikul momen khusus beton pracetak pascatarik tanpa lekatan[6]



rangka momen khusus yang dibahas dalam standar ini tidak terjadi deformasi lateral permanen.



Gambar 4 Perilaku rangka penahan momen monolitik sesuai Pasal 21 SNI 2847 [14]



Gambar 5 Perilaku rangka pemikul momen khusus beton pracetak pascatarik tanpa lekatan [13]

Beberapa persyaratan penting dalam SNI [6] ini antara lain

1. Konversi penulangan balok induk induk dari tulangan baja lunak ke penulangan hibrid (gabungan tulangan baja lunak dan tulangan prategang). Rasio maksimum kapasitas momen tulangan baja lunak ( $M_s$ ) terhadap kapasitas momen yang mungkin terjadi ( $M_{pr}$ ), sesuai Pasal 4.2

$$M_s / M_{pr} \leq 0.5 \quad (1)$$

2. Tulangan prategang yang digunakan adalah baja mutu tinggi strand standar ASTM A416 Grade 270, sesuai rekomendasi Pasal 4.4.2

3. Tulangan pendisipasi energi harus memenuhi persyaratan ASTM A 706/A7-6M Grade 60 [2], sesuai rekomendasi Pasal 4.3.1
4. Tulangan prategang minimum dalam Pasal 7.2.1

$$A_{ps} f_{se} = \frac{(1.2V_D + 1.6V_L)}{\phi \mu} \quad (2)$$

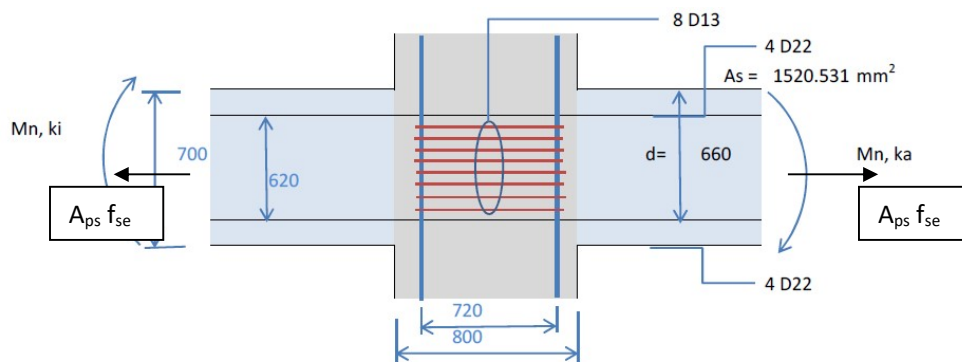
Dimana  $A_{ps}$  adalah luas tulangan prategang,  $f_{se}$  adalah tegangan efektif di tendon paska tarik,  $\mu$  adalah koefisien friksi yang berharga 0.6,  $V_D$  adalah gaya geser akibat beban mati tidak terfaktor,  $V_L$  adalah gaya geser akibat beban hidup tidak terfaktor, dan  $\phi$  adalah faktor reduksi kuat geser.

5. Tulangan pendisipasi energi minimum, sesuai Pasal 7.4.1

$$A_s f_y \geq \frac{V_D + V_L}{\phi} \quad (3)$$

Dimana  $A_s$  adalah luas tulangan baja lunak,  $f_y$  adalah tegangan leleh baja lunak  $V_D$  adalah gaya geser akibat beban mati tidak terfaktor,  $V_L$  adalah gaya geser akibat beban hidup tidak terfaktor, dan  $\phi$  adalah faktor reduksi kuat geser.

6. Perencanaan join, dilakukan dengan memperhitungkan momen kapasitas balok yang menyebabkan gaya tarik batas baik pada tulangan baja lunak maupun tulangan baja prategang seperti terlihat pada Gambar 6. Hal yang harus diperhatikan adalah digunakannya faktor reduksi kekuatan khusus pada Pasal 21.7.4.1 dalam SNI 2847-2013, yang berharga  $\phi = 0.9$



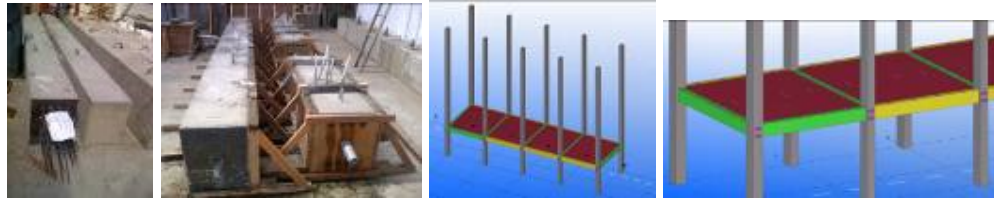
Gambar 6 Gaya-gaya dalam kondisi kapasitas untuk desain join

### 3 CONTOH DESAIN SISTEM

Pengembangan yang dilakukan di Indonesia didasarkan atas teknologi dan material lokal yang telah ada. Konsep prategang unbonded relatif sudah dikenal di Indonesia, sehingga material, peralatan dan metoda konstruksi tidaklah sulit. Komponen kolom pracetak menerus yang dibuat setinggi yang masih mungkin ditangani oleh alat berat,

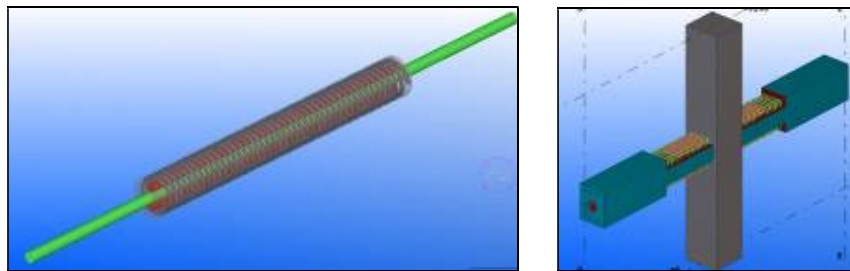


lalu komponen balok dipasang dengan menggunakan sistem pascatarik unbonded sebagai sambungan seperti terlihat pada Gambar 7



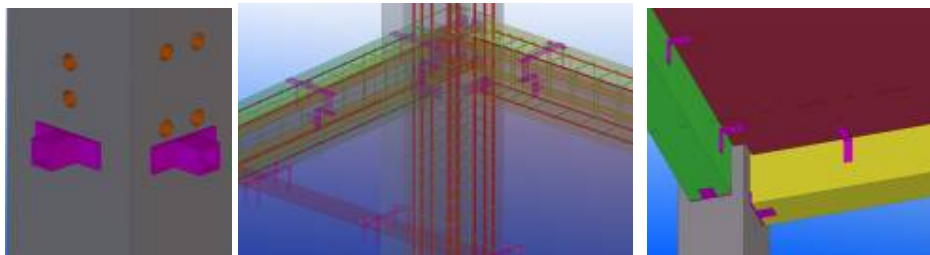
Gambar 7 Contoh pengembangan sistem di Indonesia : pascatarik unbonded dan kompenenisasi [11]

Konsep tulangan pendisipasi energi **Spidissipater** dikembangkan dari teknologi penyambung tulangan yang terbuat dari spiral tulangan seperti terlihat pada Gambar 8a. Alat ini diletakkan di balok seperti terlihat pada Gambar 8b. Desain ini sangat unik, karena merupakan gabungan konsep eksternal dan internal **dissipater**. Alat ini tersembunyi dalam struktur, namun mudah untuk diperbaiki jika rusak akibat terkena gempa kuat.

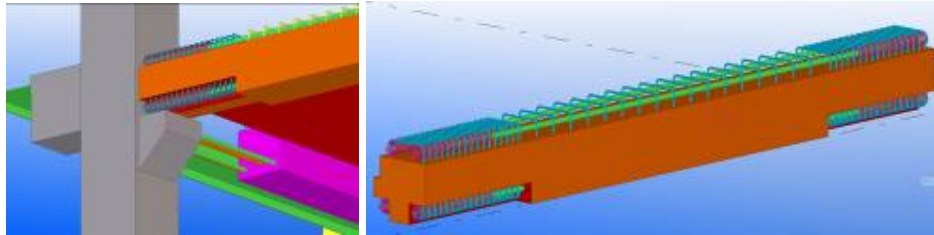


Gambar 8 Konsep tulangan pendisipasi energi **Spirdissipater** berbasis material dan teknologi lokal Indonesia [11]

Beberapa konsep detail lain dari sistem ini lebih bersifat komplemen. Pada hubungan antar balok-kolom dikembangkan detail tumpuan semacam korbek, yang berfungsi sebagai tumpuan balok pada waktu konstruksi, sekaligus sebagai memberi kontribusi tahanan geser tambahan terhadap kuat geser join yang disumbangkan oleh gaya prategang seperti terlihat pada Gambar 9. Dengan konsep ini, sama sekali tidak diperlukan perancah dalam konstruksi

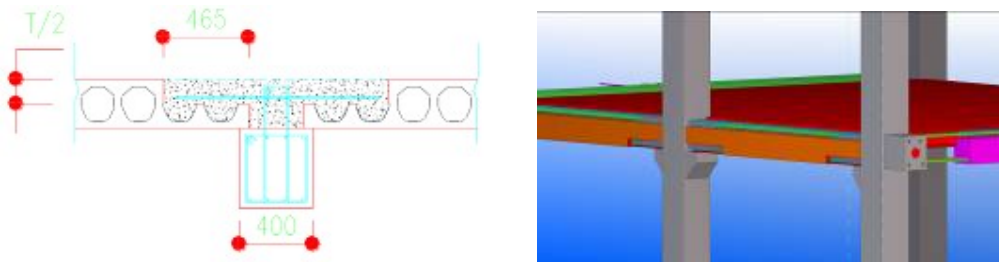


(a) Desain korbek baja kecil permanen hanya untuk menahan balok, tapi bisa tersembunyi



(b) Desain korbel beton besar permanen untuk menahan balok dan hollow core, tapi terekspose  
Gambar 9 Dudukan balok ke kolom [11]

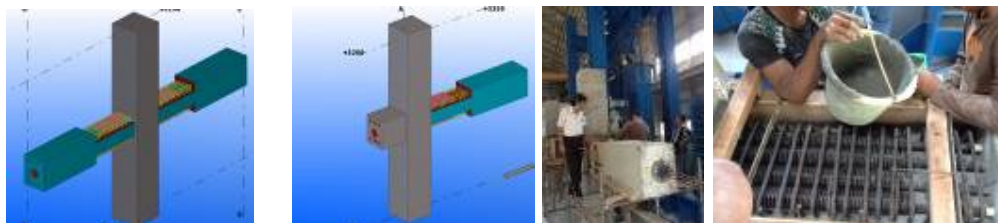
Komponen pelat pada sistem ini dapat menggunakan pelat dua arah ataupun pelat satu arah seperti **hollow core**. Jika pelat diberi topping, maka sistem pelat lebih mengarah pada diafragma kaku. Jika menggunakan pelat **hollow core** satu arah yang tidak diovertopping, maka perlu beberapa sambungan untuk menahan beban pada diafragma pada waktu struktur terkena gempa [Naeim,1995], seperti terlihat pada Gambar 10. Sistem pelat yang tidak diovertopping lebih mengarah ke perilaku diafragma semi kaku.



Gambar 10 Konsep sistem pelat yang dikembangkan di Indonesia [11]

#### 4 PENGUJIAN SISTEM

Pengembangan dan pengujian sistem telah dilakukan mulai tahun 2013-2014 [10,11]. Pada tahun 2016 dilakukan beberapa pengujian untuk pengembangan sistem seperti terlihat pada Gambar 11 dimana lokasi sambungan tulangan pendisipasi energi ditempatkan dengan jarak tertentu dari muka kolom. Pengujian dilakukan sesuai dengan SNI 7834-2012 seperti terlihat pada Gambar 12. Gambar 13 dan Gambar 14 menunjukkan hasil pengujian join interior dan eksterior berdasarkan yang dilakukan pada tanggal 24 dan 29 Juni 2016. Hasil menunjukkan sampai gempa desain di drift 1% sistem berperilaku elastik, dan pada perilaku post elastik, lokasi rotasi benda kaku tepat di lokasi sambungan tulangan pendisipasi energi seperti yang direncanakan.



(a) Benda uji interior (b) Benda uji eksterior (c) Tendon paskatarik dan Spirdissipater  
Gambar 11 Benda uji pengembangan sistem tahun 2016

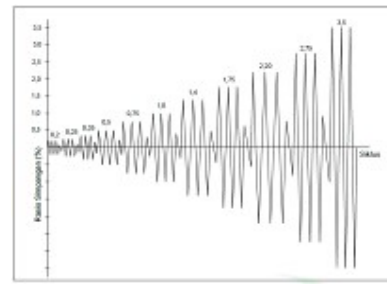




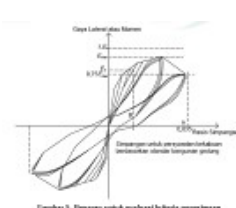
(e) Set up benda uji eksterior



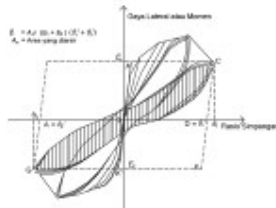
(f) Set up benda uji interior



(g) Skema pembebanan SNI 7832-2012



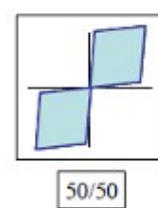
(h) Kriteria Penerimaan Gaya  
 $M_u/M_{pr} = 0.5$



(i) Kriteria Penerimaan Energi Dissipasi



(j) Kriteria Penerimaan Kekakuan



(l) Ekspektasi pola hysteresis

Gambar 12 Pengujian Join Balok Kolom sesuai SNI 7834-2012 [4]



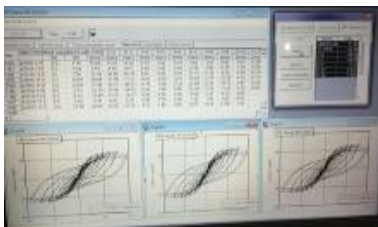
(a) Drift1% Gempa desain



(b) Buka tutup celah di sambungan dissipater sampai drift 2.2%



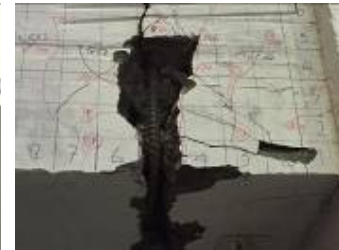
(c) Kondisi drift 3.5%



(d) Hysteresis loop



(e) Kondisi dissipater pada drift 3.5%



Gambar 13 Hasil uji untuk join interior



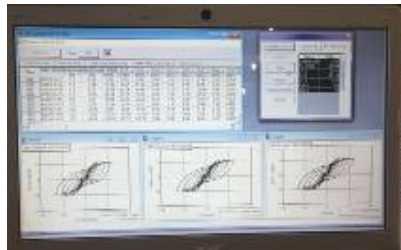
(a) Drift1% Gempa desain



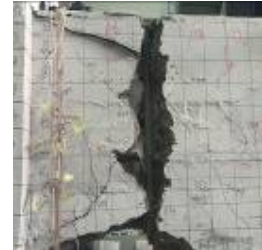
(b) Buka tutup celah di sambungan dissipater sampai drift 2.2%



(c) Kondisi drift 3.5%



(d) Hysteresis loop



(e) Kondisi disisipater pada drift 3.5%

Gambar 14 Hasil uji untuk join exterior

## 5. CONTOH PENERAPAN

Sistem ini diterapkan pada pilot project di salah satu gedung perkantoran 12 lantai seperti terlihat pada Gambar 15, rumah susun 6 lantai seperti terlihat pada Gambar 16, dan rumah susun 3 lantai seperti terlihat pada Gambar 17, dan Rumah tapak sederhana seperti terlihat pada Gambar 18.



Gambar 15 Gedung perkantoran 12 lantai di Jakarta



Gambar 16 Gedung Rusun Sewa 6 lantai di Jakarta



Gambar 17 Gedung Rusun Sewa 3 lantai di Pandeglang, Cipulir, Cijantung dan Serpong



Gambar 18 Rumah tapak sederhana instant yang dapat dibangun dalam 18 jam

## 6. KESIMPULAN

Salah satu komponen penting dalam infrastruktur pendukung urbanisasi vertikal adalah bangunan bertingkat tinggi, baik untuk fungsi hunian, perkantoran maupun fungsi komersial lainnya. Hal ini disebabkan semakin sempit dan mahalnya lahan di tempat-tempat yang mengalami urbanisasi vertikal tersebut. Seiring dengan program percepatan pembangunan infrastruktur di Indonesia saat ini, maka diperlukan suatu sistem dan metoda konstruksi yang disamping harus memenuhi persyaratan kehandalan, juga harus dapat dibangun dengan cepat, kontrol kualitas terjamin, dan ekonomis.

Salah satu dari tuntutan tersebut adalah penggunaan struktur rangka pemikul momen khusus yang lebih luas untuk bangunan yang terletak di katagori desain seismik D,E dan F, yang banyak dijumpai pada kota-kota yang mengalami urbanisasi vertikal. Perubahan ini menyebabkan konstruksi bangunan umumnya menjadi lebih mahal dan diperlukan usaha pengawasan yang lebih untuk mendapatkan konstruksi yang memenuhi spesifikasi. Sistem pracetak adalah salah satu alternatif sistem konstruksi yang dapat dilaksanakan dengan cepat dan kontrol kualitas yang lebih baik. Untuk kehandalan terhadap gempa pada bangunan tinggi,

SNI 7833-2012 memberikan suatu alternatif sistem rangka pemikul momen khusus beton pracetak paska tarik tanpa lekatan seperti yang tercantum pada penjelasan Pasal 7.8.4, yang menyatakan dasar sistem tersebut adalah ACI ITG 1.2, Special Hybrid Moment Frames Composed of Discretely Jointed Precast and Post-Tensioned Concrete Members. Pada tahun 2015, Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat menyusun Standar Nasional Indonesia tentang sistem ini, yang didasarkan atas pemutakhiran dari ACI ITG 1.2, yaitu ACI 550.3-13 Design Specification for Unbonded Post-tensioned Precast Concrete Special Momen Resisting Frame Satisfying ACI 374.1 (ACI 550.3-13) and Commentary. Draft SNI ini telah dikonsensuskan pada tanggal 15 Oktober 2015, dan ditetapkan oleh Panitia Penetapan SNI Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian PU PR untuk diajukan ke Badan Standard Nasional Indonesia pada tanggal 22 Februari 2016, dan disetujui naskahnya pada tanggal 27 Juni 2016

SNI ini menjadi landasan bagi penerapan alternatif konstruksi tahan gempa kinerja tinggi berbasis sistem pracetak yang kualitasnya terjamin, pelaksanaan lebih mudah dan cepat serta ekonomis, terutama untuk mendukung percepatan pembangunan gedung bertingkat tinggi yang terletak di katagori desain seismik D,E, dan F yang banyak mengalami urbanisasi vertikal yang cepat.

Saat ini industri pracetak dan prategang Indonesia telah mengembangkan sistem pracetak berdasarkan SNI ini (2013-2014), dan telah diterapkan pada beberapa bangunan perkantoran, rumah susun, rumah toko, rumah sakit, serta rumah tapak. Pada tahun 2016, dilakukan pengembangan lanjutan untuk meningkatkan kinerja sistem. Sistem ini merupakan salah satu sistem pracetak tahan gempa yang dapat diterapkan pada bangunan tanpa batas ketinggian [3], sehingga dapat dimanfaatkan oleh seluruh pihak dalam mendukung pembangunan di Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

1. American Concrete Institute (ACI) (2013), ACI 550.3-13 Design Specification for Unbonded Post-Tensioned Precast Concrete Special Moment Frame Satisfying ACI 374.1 and Commentary, Farmington Hills, USA.
2. American Standard of Testing Material (ASTM) (2014), ASTM A706/A706M-14 Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement, West Conshohocken
3. Badan Standard Nasional (BSN) Indonesia (2012), SNI 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, Jakarta, Indonesia,36
4. Badan Standard Nasional (BSN) Indonesia (2012), SNI 7834-2012 Metoda Uji dan Kriteria Penerimaan Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Beton Bertulang Pracetak untuk Bangunan Gedung, Jakarta, Indonesia,6-7
5. Badan Standard Nasional (BSN) Indonesia (2013), SNI 2847-2013 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, Jakarta, Indonesia,178
6. Badan Standard Nasional (BSN) Indonesia (2016), RSNI 3 Spesifikasi perancangan rangka pemikul khusus beton pascatarik tanpa lekatan, Jakarta, Indonesia,
7. Budiono,B.(2015), Seismic Design Recommendation of Special Moment Frame with Hollow Core Slab (HCS) Constructed using WIKA BETON Precast Technology, *Prosiding Seminar WIKA BETON GEDUNG KAVLING 2*, PT Wijaya Karya Beton Tbk, Jakarta,Indonesia, 15-20.
8. Fleischman,R.B. (2014), *Seismic Design Methodology Document for Precast Concrete Diaphragms*, Charles Pankow Foundation, Arizona,USA, 4-10.
9. Naeim,F,R.R., Boppana,(1995), Seismic Design of Floor Diaphragm, *Seismic Design Handbook*,Naeim Ed.,ICBO,Boston,USA.375-378
10. Nurjaman,H.N.,L.Faisal,H.Sidjabat,B.Hariandja,Y.Put,R.Rivky (2014), Application of Precast System Buildings with using Connections of Unbonded Post-Tension and Local Dissipater Device, *Elsevier Procedia Engineering Journal*, **Vol 95, 2014**, 82-86
11. Nurjaman,H.N.,L.Faisal, H.R Sidjabat, B.Hariandja,R.Rivky, Y. Put (2015), Penelitian, Perencanaan dan Penerapan Sistem Pracetak Tahan Gempa Kinerja Tinggi Pertama di Indonesia pada Gedung Perkantoran 12 Lantai di Jakarta, *Prosiding Seminar HAKI 2015 Challenges in the Future*, Jakarta,Indonesia.
12. Pampanin,S.(2010), *PRESSS Design Handboook*, New Zealand Concrete Society,24
13. Pampanin,S. (2012), Reality-check and Renewed challenges in Earthquake Engineering : Implementeing low-damaged structural System – from theory to

practice, *Proceeding of 15th World Conference of Earthquake Engineering*, Lisboa, Portugal,13,15

14. Yuwasdiki,S.(2013),Prosedur Pendaftaran dan Penerimaan Sertifikasi Sistem Pracetak Beton di Puslitbang Permukiman Kementerian Pekerjaan Umum, *Prosiding Sosialisasi SNI Gempa dan Konstruksi Pracetak dan Prategang untuk Bangunan Gedung*, Puslitbangkim – IAPPI, Jakarta, Indonesia,5-6