

PERILAKU AKTUAL BANGUNAN GEDUNG DENGAN SISTEM PRACETAK TERHADAP GEMPA KUAT

Hari Nugraha Nurjaman, Lutfi Faizal, Hasiholan R. Sidjabat

1 PENDAHULUAN

1.1 Rumah Susun Sederhana untuk Mengatasi Masalah Permukiman di Kota Besar

Jumlah penduduk Indonesia saat ini berkisar 250 juta jiwa. Jika perkiraan penambahan penduduk 1% per tahun dan dengan asumsi rata-rata 4 orang per keluarga, maka diperlukan pembangunan perumahan sebanyak 600.000 unit per tahun, belum lagi memperhitungkan backlog sekitar 5.8 juta unit dan perbaikan rumah yang semakin lama juga semakin besar [6]. Khusus di daerah perkotaan, pertumbuhan penduduk mencapai 4.8% pertahun, sehingga jika pada tahun 1971 jumlah penduduk perkotaan di Indonesia hanyalah 14.7%, maka pada tahun 2000 meningkat mejadi 40.3%, dan pada tahun 2025 diperkirakan mencapai 60.7%.

Pada daerah perkotaan, makin mahal dan sempitnya tanah mengakibatkan permukiman bergeser keluar kota atau terciptanya lingkungan kumuh di perkotaan. Permukiman yang bergeser keluar kota menyebabkan okupasi daerah subur pertanian, banyaknya waktu terbuang dalam transportasi, borosnya penggunaan bakar, dan turunnya produktifitas kerja. Permukiman kumuh di perkotaan menyebabkan permasalahan lingkungan, kesehatan dan system transportasi.

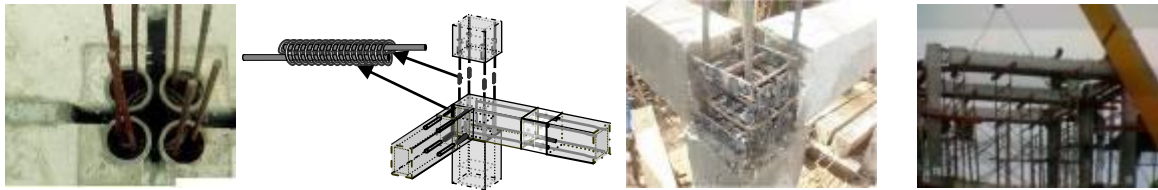
Pemerintah Indonesia telah menentukan solusi untuk mengatasi permasalahan permukiman untuk masyarakat berpenghasilan menengah bawah di kota besar, yaitu pembangunan rumah susun sederhana di lokasi strategis, yang dikombinasikan dengan sistem transportasi. Pembangunan rumah susun telah dimulai sejak tahun 1979, dengan desain bangunan bertingkat medium 4 – 6 lantai. Pada tahun 2006, pemerintah melakukan percepatan dengan program pembangunan rumah susun sederhana yang dikenal sebagai program ‘1000 Tower’, dimana desain bangunan menjadi bertingkat tinggi sampai 20 lantai. Saat ini target pembangunan adalah 150 blok/tahun (15,000 unit/tahun) untuk rumah rumah susun bertingkat medium bagi masyarakat berpenghasilan rendah (dibawah US \$ 150/bulan), dan 300 blok (114.000 unit) rumah susun bertingkat tinggi untuk masyarakat berpenghasilan menengah bawah (dibawah US \$ 450/bulan) selama 3 tahun (2009 – 2011)[3].

Indonesia adalah secara geologis adalah tempat pertemuan beberapa lempeng tektonik, sehingga sebagian besar wilayahnya merupakan daerah gempa kuat. Pengalaman selama ini menunjukkan banyak bangunan gedung yang tidak memenuhi persyaratan teknis sehingga mengalami keruntuhan yang menimbulkan banyak kerugian jiwa dan harta.

Berdasarkan kebutuhan yang sangat besar dan kondisi geologis Indonesia, maka dibutuhkan suatu teknologi pembangunan rumah susun sederhana yang tahan gempa, dapat diproduksi secara massal, waktu pelaksanaan yang cepat, dengan kualitas yang baik, ekonomis dan ramah lingkungan

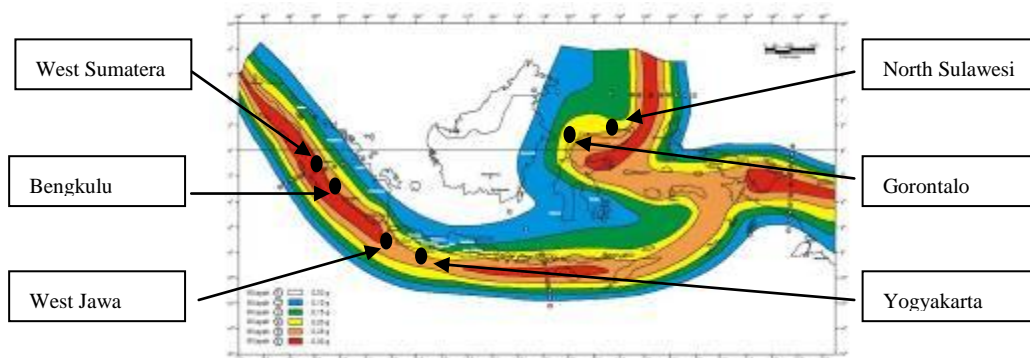
1.2 Pengembangan Sistem Pracetak untuk Rumah Susun Sederhana

Sistem pracetak beton telah mengalami perkembangan yang sangat pesat di dunia, termasuk di Indonesia dalam dekade terakhir ini. Hal ini disebabkan karena sistem ini mempunyai banyak keunggulan dibandingkan dengan sistem konvensional dalam hal kehandalan struktur, kualitas, dapat diproduksi massal, waktu pelaksanaan yang cepat, ekonomis dan ramah lingkungan. Berhubung kondisi geologis Indonesia yang banyak terletak di daerah gempa kuat, maka sistem pracetak yang dikembangkan haruslah direncanakan agar mampu menahan gempa kuat. Sejak tahun 1995, para penemu di Indonesia telah mengembangkan, menguji dan menerapkan sistem pracetak dalam bentuk rangka terbuka dan dinding pemikul untuk rumah susun sederhana bertingkat medium. Untuk mendukung program 1000 tower, maka sejak tahun 2007 dikembangkan sistem pracetak dalam bentuk rangka terbuka yang dikombinasikan dengan dinding geser, dan sistem dinding pemikul untuk rumah susun sederhana bertingkat tinggi. Sampai saat ini ada 32 paten sistem pracetak tahan gempa yang telah dikembangkan dan dapat diterapkan pada pembangunan gedung bertingkat. Beberapa contoh diantaranya dapat dilihat pada Gambar 1 [3].



Gambar 1 Contoh sistem pracetak yang dikembangkan

Sejak terjadinya gempa $M=8.9$ di Aceh pada tanggal 26 Desember 2004, yang juga menimbulkan tsunami, terjadi rentetan gempa kuat di berbagai daerah di Indonesia seperti di Yogyakarta (2005), Sulawesi Utara (2006), Sumatera Barat (2007), Bengkulu (2007), Gorontalo (2008), dan 2 kejadian terakhir pada tanggal 2 September 2009 di Jawa Barat ($M=7.3$) dan tanggal 30 September 2009 di Sumatera Barat ($M=7.9$). Tulisan ini menyajikan kumpulan pengamatan akan perilaku bangunan rumah susun sederhana dengan sistem pracetak pada daerah-daerah tersebut, yang lalu menjadi bahan bagi evaluasi perencanaan dan pelaksanaan sistem pracetak agar dapat ditingkatkan kehandalan struktur dan ekonomisnya di masa datang.

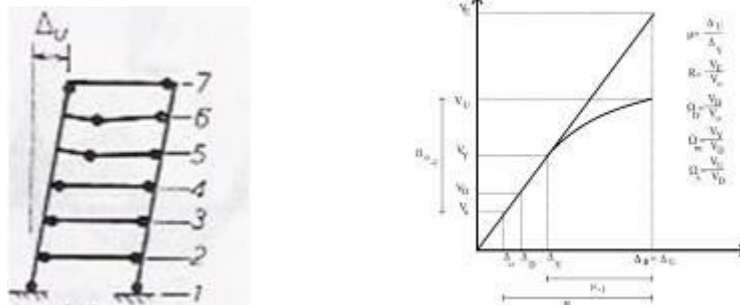


Gambar 2 Beberapa Kejadian Gempa Kuat di Indonesia [4]

2 PERENCANAAN DAN PENGUJIAN SISTEM PRACETAK TAHAN GEMPA

2.1 Konsep Perencanaan Struktur Pracetak di Daerah Gempa Kuat

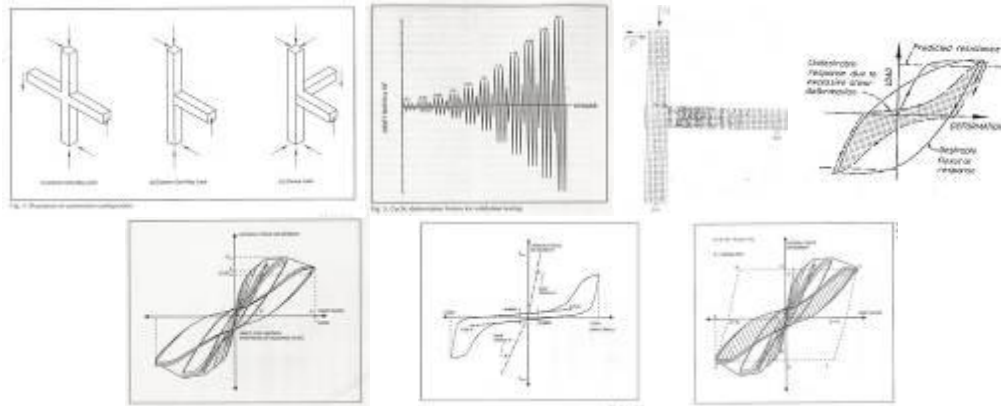
Bangunan yang terletak di daerah gempa kuat, jika berbentuk rangka terbuka, haruslah direncanakan sebagai struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Struktur semacam ini mempunyai mekanisme keruntuhan '*sway mechanism*' [5] terhadap beban lateral, seperti terlihat pada Gambar 3. Jika terkena gempa kuat struktur dapat mengalami kerusakan berat namun tidak sampai mengalami keruntuhan. Hal ini bisa terjadi karena kerusakan struktur direncanakan terjadi di balok (dikenal dengan istilah sendi plastis), kolom direncanakan kapasitasnya melebihi kapasitas balok, sehingga tidak akan mengalami sendi plastis, kecuali di lantai dasar dan atap. Untuk memastikan system pracetak yang direncanakan termasuk katagori ini, maka harus dilakukan pengujian dengan suatu standar yang telah dikonsensuskan.



Gambar 3 Mekanisme sway untuk Struktur Rangka di Daerah Gempa Kuat

2.2 Standar Pengujian

Standar pengujian yang saat ini banyak digunakan adalah ACI 374.1-05 Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing [1,2]. Pengujian dilakukan minimal terhadap titik kumpul eksterior dan interior dari suatu model bangunan tertentu. Benda uji lalu dibebani dengan suatu skema pembebanan siklik berdasarkan perpindahan sampai pada tingkat simpangan antar lantai relatif 3.5%. Benda uji yang memenuhi persyaratan pola keretakannya harus menunjukkan terjadinya kerusakan berat yang berpusat di balok dan bentuk pola histeresis yang gemuk. Pada saat siklus terakhir, secara kuantitatif ada persyaratan kehandalan yang harus dipenuhi, yaitu kekuatan, kekakuan dan energi disipasi. Secara kualitatif pola keretakan dan bentuk pola hysteresis dapat dijadikan acuan. Persyaratan ini sangat ketat mengingat persyaratan simpangan lateral kondisi batas dalam peraturan perencanaan hanyalah 2% [8].



Gambar 4 Standar Pengujian SRPMK dari ACI.374.1-05

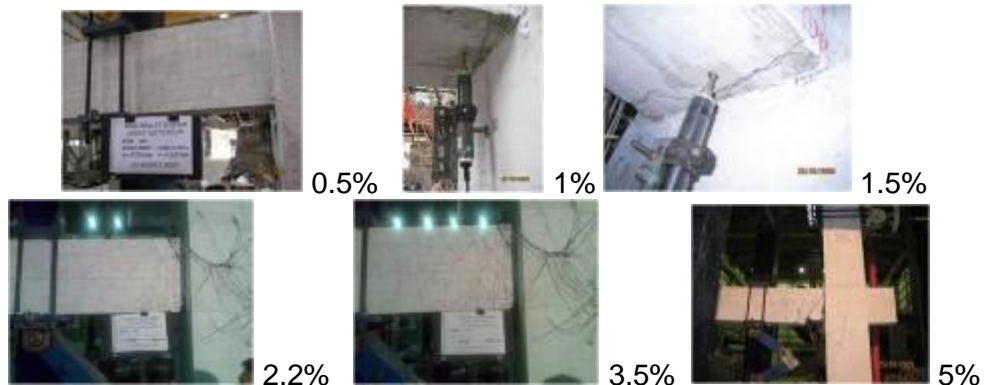
2.3 Contoh Pengujian Sistem Pracetak

Pengujian tahan gempa di Indonesia dilakukan di Balai Struktur Bangunan Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman Kementerian Pekerjaan Umum yang terletak di kota Bandung. Perangkat pengujian adalah suatu sistem rangka uji dan dinding reaksi seperti terlihat pada Gambar 5. Benda uji diletakkan pada rangka uji yang dapat memberikan beban aksial ke kolom melalui jack vertikal, dan beban lateral diperoleh dari jack horizontal yang ditumpukan ke dinding reaksi. Beban aksial biasanya ditahan konstan selama pengujian, sedangkan beban lateral diberikan mengikuti pola pembebanan dari ACI 374.1-05.



Gambar 5 Peralatan Pengujian

Suatu contoh hasil pengujian titik kumpul interior yang memenuhi persyaratan SRPMK dari salah satu desain sistem pracetak dapat dilihat pada Gambar 6. Gambar 6a menunjukkan evolusi kondisi titik kumpul dari mulai beban nol sampai simpangan 3.5%. Gambar 6b menunjukkan bentuk pola histeresis dan pola keretakan. Gambar 6c menunjukkan analisis penerimaan kriteria kekuatan, kekakuan dan energi disipasi.



Gambar 6a Evolusi Kondisi Titik Kumpul Eksterior

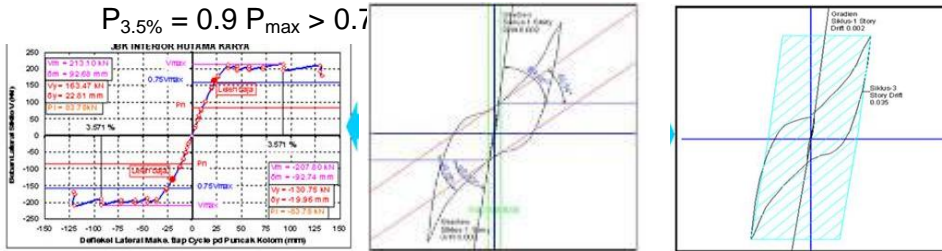


Gambar 6b Pola Histeresis dan Pola Retak

$$Ang_{3.5\%} = 0.09 \quad Ang_o > 0.05 \quad \text{OK !}$$

$$E_{3.5\%} / E_o = 0.2 > 0.125 \quad \text{OK !}$$

$$P_{3.5\%} = 0.9 P_{\max} > 0.7$$



(a) Kekuatan

(b) Kekakuan

(c) Energi Disipasi

Gambar 6c Pengecekan Penerimaan Kehandalan

2.4 Konsep Alternatif Jika Sistem tidak Memenuhi Kriteria SRPMK

Jika suatu sistem rangka pracetak yang dirancang tidak memenuhi kriteria SRPMK dari ACI 371.1-05, maka sistem rangka tersebut harus diperkuat dengan komponen penahan lateral seperti dinding geser atau bracing baja, yang dikenal sebagai sistem ganda [6].

3 PENERAPAN DAN KEHANDALAN TAHAN GEMPA AKTUAL SISTEM PRACETAK

3.1 Contoh Penerapan di Daerah Gempa

Ada beberapa rumah susun sederhana dengan system pracetak yang terkena gempa kuat, seperti di Yogyakarta $M = 6.2$ (27 Mei 2006), Jawa Barat $M=7.3$ (2 September 2009) dan Sumatera Barat $M=7.9$ (30 September 2009). Gempa-gempa tersebut menimbulkan banyak keruntuhan pada bangunan bertingkat konvensional, sedangkan bangunan rumah susun sederhana dengan sistem pracetak tidak ada satupun yang mengalami keruntuhan.



(a) Yogyakarta



Bangunan Konvensional



Bangunan Pracetak

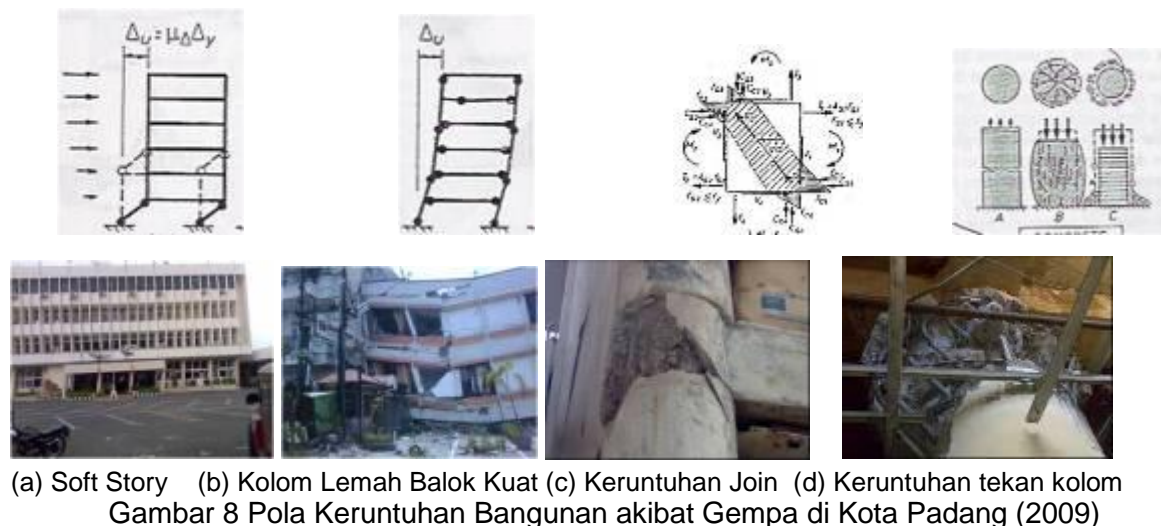


3.2 Pola Keruntuhan Bangunan akibat Gempa

Kota Yogyakarta dan kota Padang (Sumatera Barat) adalah 2 kota besar di Indonesia yang mengalami intensitas gempa yang kuat (Skala VII – VIII MMI) sehingga mengakibatkan banyaknya keruntuhan pada bangunan bertingkat. Beberapa pola keruntuhan bangunan dapat dilihat pada Gambar 8, yang menunjukkan masih banyaknya ketidaktepatan baik dalam perencanaan maupun pelaksanaan pada bangunan system konvensional.

3.3 Keandalan Bangunan Rumah Susun Sederhana dengan Sistem Pracetak

Rumah susun sederhana dengan sistem pracetak pertama yang terkena gempa kuat adalah di Yogyakarta (2005), seperti terlihat pada Gambar 9. Pola kerusakan terjadi di kolom lantai dasar di bagian atas yang setara dengan pola hasil pengujian pada simpangan 1%.



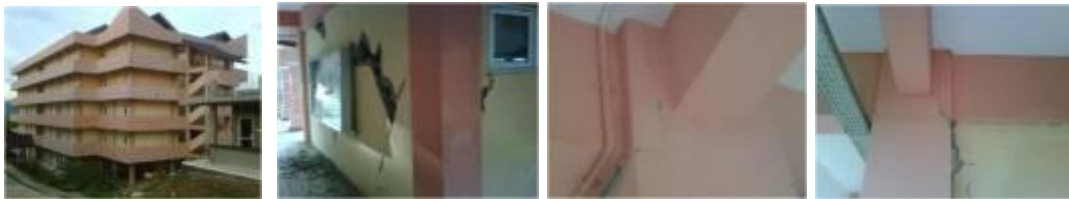


Gambar 9 Rumah Susun Sederhana dengan Sistem Pracetak yang Terkena Gempa Yogyakarta (2006)

Salah satu rumah susun dengan sistem pracetak di Padang (Sumatera Barat), terkena dua kali gempa kuat, yaitu pada tanggal 6 Maret 2007 dengan intensitas VII MMI, dan pada tanggal 30 September 2009 dengan intensitas VIII MMI. Pada gempa pertama tidak ditemukan kerusakan struktural, namun pada gempa kedua sudah ditemukan kerusakan struktural pada kolom lantai dasar di bagian atas yang polanya setara dengan pola simpangan 1.5%.



(a) Gempa 6 Maret 2007, ada kerusakan arsitektur di lantai dasar namun tidak ada kerusakan struktur



(b) Gempa 30 September 2009, kerusakan arsitektur lebih berat dan ada kerusakan struktur di lantai dasar

Gambar 9 Rumah Susun Sederhana dengan Sistem Pracetak yang Kena Gempa Kuat 2 kali di Padang

Di kota Bandung (Jawa Barat), ada satu kompleks rumah susun sederhana dengan sistem pracetak yang terdiri dari 5 blok yang dibangun mulai dari tahun 2004 sampai 2009 seperti terlihat pada Gambar 10a. Pada tanggal 2 September 2009, daerah ini mengalami gempa dengan intensitas VI MMI. Pada 4 blok bangunan yang dibuat tahun 2004 dan 2007, terjadi kerusakan arsitektural yang signifikan dan sedikit kerusakan struktur pada kolom lantai dasar di bagian atas, seperti terlihat pada Gambar 10b. Pada blok 5 yang dibangun tahun 2009, tidak ada kerusakan arsitektur yang signifikan, seperti terlihat pada Gambar 10c. Hal ini disebabkan pada blok tersebut pada lantai dasar sudah dipasang dinding geser untuk mencegah efek soft story.



dibangun 2004 – 2005

dibangun 2007

dibangun 2009

Gambar 10a Kompleks Rusunawa di Bandung yang terkena Gempa 2 September 2009



Gambar 10b Kerusakan tipikal pada 4 blok yang dibangun 2004 dan 2007



Gambar 10c Blok 5 (2009) dengan dinding geser di lantai dasar : tidak ada kerusakan

Rumah susun sederhana bertingkat tinggi dengan sistem pracetak yang sudah selesai dibangun (2007 – 2008) saat ini berada di ibukota Jakarta. Salah satu bangunan seperti terlihat pada Gambar 11, adalah bertingkat 16 yang terbuat dari kombinasi sistem pracetak rangka dan dinding geser konvensional. Kota Jakarta terkena imbas gempa Jawa Barat 2 September 2009, dengan intensitas V MMI. Tidak ada gedung bertingkat tinggi yang runtuh di Jakarta, namun beberapa diantaranya mengalami kerusakan arsitektural dan sedikit struktural. Bangunan rusuna bertingkat tinggi ini sama sekali tidak mengalami kerusakan.



Gambar 11 Rumah Susun Sederhana Bertingkat Tinggi dengan Sistem Pracetak di Jakarta

3.4 Perbaikan dan Peningkatan Desain

Berdasarkan pengalaman gempa Yogyakarta (2005) dan Sumatera Barat (2007), dimana ditemukan adanya potensi soft story pada lantai dasar rusuna, maka seluruh rusuna yang terletak di daerah gempa kuat diperkuat dengan dinding geser di lantai dasar seperti terlihat pada Gambar 12a. Rusuna di Yogya yang terkenal gempa (2005) diperbaiki dengan menggrout komponen yang retak dan pemasangan bracing baja di lantai dasar seperti terlihat pada Gambar 12b.



(a) Pemasangan dinding geser di lantai dasar (b) Perbaikan rusuna Yogyakarta
Gambar 12 Perbaikan dan Peningkatan Desain

4 KESIMPULAN

Sistem pracetak telah terbukti mampu secara eksperimental maupun dilapangan mengembangkan ketahanan gempa yang baik, bahkan di zona gempa kuat sekalipun. Hal ini disebabkan karena persyaratan pengujian yang sangat ketat dibandingkan peraturan perencanaan serta system kualitas sistem pracetak yang 'built in' dalam metoda konstruksi sehingga menjamin terbangunnya bangunan yang kualitasnya baik..

Hal ini menjawab keraguan banyak pihak mengenai kehandalan sambungan pracetak yang dulu dianggap tidak bisa setara dengan sistem monolit. Jadi sistem pracetak dapat digunakan dengan aman untuk mendukung pembangunan rumah susun sederhana di wilayah gempa kuat seperti di Indonesia.

Beberapa pengembangan lanjut yang dapat dilakukan adalah sistem dinding pracetak penuh yang dikombinasikan dengan sistem rangka pracetak untuk bangunan bertingkat tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 374.1-05 Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing
Hawkins,N.M.; S.K. Ghosh; *“Proposed Revisions to 1997 NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulation for Precast Concrete Structures Part 2 – Seismic Force Resisting Systems”*, PCI Journal, Sept.- Oct. 2000, pp. 38-42.
- Nurjaman, H.N.; *“The Use of Precast Concrete Systems in the Construction of Low Cost Apartment in Indonesia”*, 14th World Conference of Earthquake Engineering, Beijing, October 2008, pp. 1-2.
- Nurjaman,H.N.,L. Faisal, B.H. Hariandja,H.R. Sidjabat;” *The Development, Testing and Application of Earthquake Resistant Precast Concrete System for Low Cost Housing in Indonesia*”,High Rise Towers and Tall Buildings 2010 Conference, Munich, April 2009,
- Paulay.T: *“Simplicity and Confidence in Seismic Design”*, The Fourth Millne –Malne Lecture, John Wiley and Sons, 1993, pp.63.
- Paulay.T: *“Simplicity and Confidence in Seismic Design”*, The Fourth Millne –Malne Lecture, John Wiley and Sons, 1993, pp.44.
- Saleh,I; *“Kebijakan, Strategi dan Program Rumah Susun Sederhana”*,Kementerian Perumahan Rakyat Republik Indonesia, Jakarta, Juli 2008
- SNI 03-1726-2002 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, pp.34

Makalah ini disampaikan dalam rangka diseminasi informasi melalui Seminar HAKI.

Isi makalah sepenuhnya merupakan tanggung jawab penulis, dan tidak mewakili pendapat HAKI.