

Perkuatan Lentur Pelat Lantai Tampang Persegi dengan Penambahan Tulangan Tarik dan Komposit Mortar

(Flexural Strengthening of Rectangular Concrete Slab Using Tension Reinforcement and Composite Mortar)

JUANDRA HARTONO, IMAN SATYARNO, ANDREAS TRIWIYONO

ABSTRACT

Overloading of structures can cause failure. In order to continue using them, strengthening is required. In this research elastic strengthening was carried out on concrete floor plates by means of tensile reinforcement addition, and mortar composite addition to apply epoxy resin. Four reinforced concrete slabs, consisted of one control slab (PK), one monolith slab (PM), one strengthened slab (PPE) and one unstrengthened slab (PPTE). Specimen dimensions were 700 mm x 1500 mm x 60 mm for the PK, and 700 mm x 1500 mm x 100 mm for the others. Specimens were placed on a simply supported loading frame, and statically loaded at their mid-span. Numerical analysis using *Response-2000* software package was carried out for comparison with the experimental result. It was found out that the flexural capacity of the PK, PPE, PPTE and PM specimens are 5,99 kNm, 12,52 kNm, 13,87 kNm and 21,38 kNm, respectively. In comparison with that of the PK, flexural capacity of the PPE and PPTE specimens was found to increase by 109,019 % and 131,55 %, respectively. The increase of stiffness was 324,77 % and 430,21 % for the PPE and PPTE specimens, respectively. The ductility factor of the PPE and PPTE increase 29,63 % and 19,03 %, respectively. The PK and PM specimens experienced flexural failure, while the PPE and PPTE specimens experienced debonding failure.

Keywords : plate, strengthening, flexural capacity, static load, *Response-2000*

PENDAHULUAN

Inovasi dan perkembangan teknologi bahan bangunan dewasa ini semakin maju, yang ditandai dengan semakin banyaknya variasi bahan-bahan bangunan yang dapat digunakan untuk tujuan tertentu. Seperti telah diketahui bahwa pelat lantai gedung merupakan salah satu komponen penting pada struktur gedung. Seiring berjalannya waktu, banyak bangunan beton bertulang yang mengalami perubahan fungsi bangunan yang menyebabkan tingkat keamanannya berkurang. Pengurangan tingkat keamanan juga bisa disebabkan oleh pembebanan yang berlebihan, kesalahan dalam desain atau kesalahan dalam pelaksanaan konstruksi.

Untuk mengatasi masalah tersebut bisa dilakukan perkuatan. Ada beberapa perkuatan yang dapat diaplikasikan, khususnya pada pelat lantai, misalnya menambah dimensi pelat

dengan penambahan tulangan. Metode ini akan menimbulkan masalah berupa penambahan beban pada struktur. Selain itu dapat dilakukan dengan *Carbon Fiber-Reinforced Polymer (CFRP)*, akan tetapi perkuatan dengan *CFRP* membutuhkan biaya yang tinggi dan ada faktor kesediaan dalam penggunaan *CFRP* tersebut, yaitu terdapat persentase kekuatan dari *CFRP* yang tidak digunakan. Apabila *CFRP* dikompositkan dengan beton, maka pada saat beton telah mencapai kekuatan batas (*ultimate strength*), *CFRP* hanya bekerja kurang dari 50% batas kekuatannya (Piyong 2004).

Melihat beberapa alasan di atas, maka dalam penelitian ini akan dicoba alternatif perkuatan dengan memberikan tulangan tambahan pada daerah tarik dan penambahan komposit mortar pada struktur pelat lantai. Dengan penambahan tulangan dan komposit mortar tersebut diharapkan kapasitas lentur dari beban yang diterima dapat terpenuhi.

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui:

1. kapasitas lentur pelat sebelum dan sesudah perkuatan serta perbandingannya terhadap analisis teoritis.
2. kekakuan pelat sebelum dan sesudah perkuatan.
3. daktilitas pelat sebelum dan sesudah perkuatan.
4. pola keruntuhan pelat sebelum dan sesudah perkuatan.
5. kemudahan proses pelaksanaan perkuatan di lapangan.

Agar penelitian ini dapat terarah sesuai dengan tujuan, maka penelitian ini dibatasi pada beberapa hal, yaitu :

1. Pelat satu arah dengan tumpuan sederhana di kedua ujungnya.
2. *Bonding agent* yang digunakan berupa *Epoxy adhesive* jenis Sikadur 732 RT.
3. Beton normal dengan kuat tekan beton (f_c') sebesar 25 MPa.
4. Perkuatan yang dilakukan dalam kondisi *underreinforced*.
5. Pembebanan yang dilakukan dengan beban statik di tengah bentang.

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan beton *ready mix* ($f_c' = 25$ MPa), agregat halus (pasir merapi), baja tulangan (P10 dan D13), *viscocrete-10* dan *epoxy* Sikadur-732 (kuat lekat = 30 kg/cm^2).

Alat Penelitian

Alat yang digunakan terdiri dari dua bagian, yaitu:

1. Alat-alat untuk pembuatan benda uji dan pengujian material, antara lain: *internal vibrator*, *slump test apparatus*, *cutting bar*, cetakan benda uji silinder beton, *Compression Testing Machine*, *Universal Testing Machine (UTM)*, *air compressor*, dan *core drill*.
2. Alat-alat untuk pengujian benda uji pelat, antara lain: rangka baja (*loading frame*), *hydraulic jack* dan *hydraulic pump*, *load cell* dan *data logger*, *Linear Variable Differential Transformer (LVDT)*, *strain gauge*, *microcrackmeter*, dan *crane*.

Benda Uji

1. Benda uji pendahuluan

Spesifikasi benda uji dapat dilihat pada Tabel 1.

2. Benda uji pelat

Benda uji pelat beton dibuat sebanyak 4 buah. Spesifikasi dan detail penulangan dapat dilihat pada Tabel 2.

Pelaksanaan Penelitian

1. Pembuatan *mix design* beton normal.

Pembuatan *mix design* beton normal dilakukan dengan menggunakan *readymix* dengan mutu beton rencana (f_c') 25 MPa, dan besarnya nilai *slump* rencana 10 ± 2 cm.

TABEL 1. Spesifikasi benda uji pendahuluan

| Jenis Pengujian | Jumlah Benda Uji | Ukuran |
|-------------------------|--|--|
| Kuat tekan beton | 3 buah | Silinder (d = 150 mm; h = 300 mm) |
| Kuat tekan mortar | 3 buah | Silinder (d = 150 mm; h = 300 mm) |
| Kuat tarik tulangan | 3 buah untuk P-10 3 buah untuk D-13 | Panjang 100 mm |
| Pull-out Baja-Beton | 3 buah untuk D-13 | Silinder (d = 150 mm; h = 300 mm) Panjang tertanam 150 mm |
| Pull-out Baja Mortar | 3 buah untuk D-13 | Kubus (150 mm x 150 mm x 150mm) Panjang tertanam 75 mm |

TABEL 2. Spesifikasi benda uji

| No | Jenis pelat | Dimensi pelat (mm) | | | Jumlah tulangan (buah) | | |
|----|-------------|--------------------|-------|-------|------------------------|--------------|------------------|
| | | Panjang | Lebar | Tebal | Utama P10 | Susut P10 | Perkuatan D13 |
| 1 | PK | 1500 | 700 | 60 | 5 | 7 | - |
| 2 | PPE | 1500 | 700 | 100 | 5 | 7 | 3 |
| 3 | PPTE | 1500 | 700 | 100 | 5 | 7 | 3 |
| 4 | PM | 1500 | 700 | 100 | 5 | 7 | 3 |

Keterangan :

PK : Pelat kontrol

PPE : Pelat perkuatan dengan epoxy

PPTE : Pelat perkuatan tanpa epoxy

PM : Pelat monolit

2. Pembuatan benda uji pendahuluan.

Pembuatan benda uji pendahuluan terdiri dari benda uji untuk kuat tarik tulangan, kuat tekan beton, kuat tekan mortar, dan *pull-out* baja tulangan dengan beton serta *pull-out* baja tulangan dengan mortar.

3. Pembuatan benda uji pelat

Pembuatan benda uji dimulai dengan perakitan tulangan, pembuatan bekisting, pemasangan *strain gauge*, dan dilanjutkan dengan pengecoran serta perawatan benda uji. *Strain gauge* dipasang di tengah bentang dari benda uji, PK dipasang 1 buah (pada tulangan tarik), PM, PPE dan PPTE dipasang 2 buah masing-masing pada tulangan tarik dan perkuatan.

4. Pembuatan mix design mortar

Pembuatan *mix design* mortar dilakukan di laboratorium dengan kuat tekan rencana minimal sama dengan kuat tekan beton normal yaitu 28,51 MPa, dengan komposisi 1 kg semen : 1,5 kg pasir, 400 cc air : 15 cc *viscocrete* (Hendra, 2005).

5. Perkuatan benda uji

Perkuatan lentur benda uji dilakukan dengan meletakkan tulangan perkuatan pada sisi bawah pelat utama dengan cara diganjal menggunakan tahu beton, kemudian dilakukan pengecoran mortar untuk pelat perkuatan tanpa epoxy (PPTE), sedangkan untuk pelat perkuatan dengan epoxy (PPE) sebelum pengecoran mortar terlebih dahulu dilakukan pengolesan *bonding agent*.

6. Pengujian benda uji pelat.

Pengujian benda uji pelat dilakukan setelah pelat berumur 28 hari. Benda uji ditempatkan pada *loading frame* dengan tumpuan sendi pada salah satu ujung dan rol pada ujung yang lainnya. Pembebanan dilakukan dengan sistem pembebanan satu titik di tengah bentang. Hal ini dilakukan untuk memperoleh kapasitas lentur murni. Pemberian beban dilakukan dengan memompakan *hydraulic pump* yang diteruskan ke *hydraulic jack* dan dibaca oleh *load cell* serta seterusnya terekam oleh *data logger*. Pemberian beban dilakukan bertahap dengan interval kenaikan sebesar 0,5 kN sampai balok mengalami retak pertama, dan kemudian per kenaikan 1 kN sampai balok mengalami keruntuhan. *Set up* alat dan pembebanan dapat dilihat pada Gambar 1.

Analisis

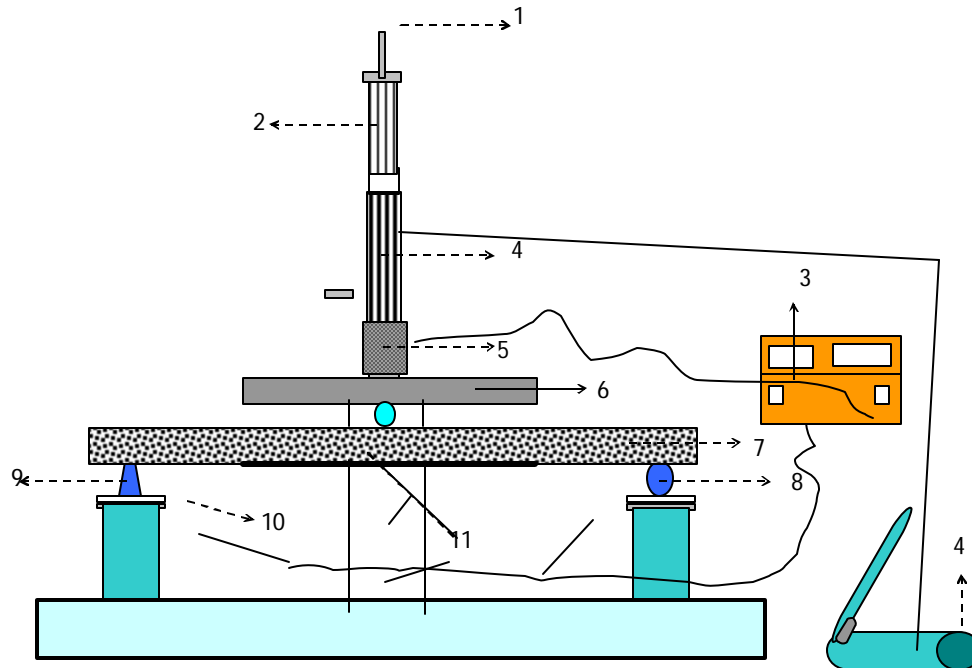
Analisis teoritis kapasitas lentur benda uji dilakukan dengan dua metode yaitu analisis dengan program *Response-2000* dan metode SNI.

1. Analisis kapasitas lentur benda uji pelat dengan *Response-2000*

Nilai kuat lentur benda uji pelat yang dihitung dengan program *Response-2000* dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 2.

2. Analisis kapasitas lentur benda uji pelat dengan metode SNI

Nilai kuat lentur benda uji pelat teoritis yang dihitung dengan menggunakan metode SNI 03-2847-2002 dapat dilihat pada Tabel 4.



Keterangan :

1 = Loading Frame

2 = Load Cell

3 = Data Logger

4 = Hydraulic Jack

5 = Pembebanan titik

6 = Perata beban

7 = Benda uji pelat tampang persegi

8 = Tumpuan Roll

9 = Tumpuan Sendi

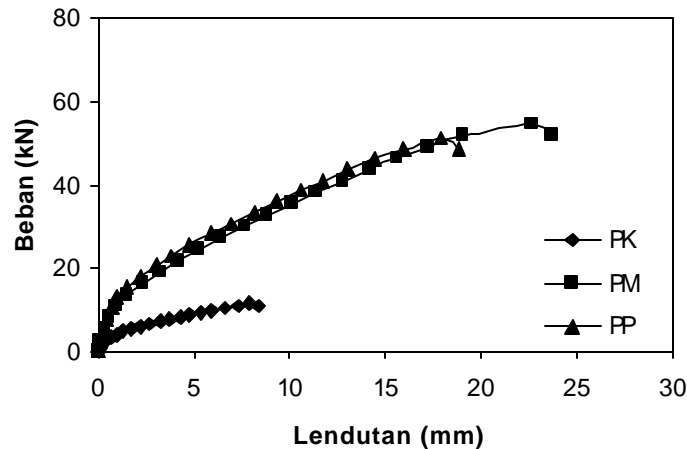
10 = LVDT

11 = Strain Gauge

GAMBAR 1. Set up alat dan pembebanan

TABEL 3. Perhitungan teoritis kapasitas beban dan lendutan benda uji berdasarkan program *Response-2000*

| No | Benda uji | Kapasitas beban (kN) | | | Lendutan yang terjadi (mm) | | | Lebar retak (mm) | | Peningkatan P_{maks} (%) |
|----|-----------|----------------------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|------------------|------|----------------------------|
| | | Retak I | Leleh | Maks | Retak I | Leleh | Maks | Retak I | Maks | |
| 1 | PK | 2,46 | 12,32 | 13,15 | 0,35 | 7,58 | 7,94 | 0,01 | 0,90 | 0 |
| 2 | PM | 7,94 | 37,80 | 45,47 | 0,54 | 11,24 | 22,63 | 0,02 | 0,96 | 245,779 |
| 3 | PP | 9,31 | 38,08 | 45,20 | 0,58 | 10,41 | 17,96 | 0,03 | 0,97 | 243,726 |

GAMBAR 2. Hubungan antara beban dan lendutan pelat dari hasil program *Response-2000*

TABEL 4. Perhitungan teoritis kapasitas beban dan lendutan benda uji

| No | Benda Uji | Kapasitas beban (kN) | | | Lendutan yang terjadi (mm) | | | Persentase peningkatan Pmaks (%) |
|----|-----------|----------------------|-------|-------|----------------------------|-------|------|----------------------------------|
| | | Retak I | Leleh | Maks | Retak I | Leleh | Maks | |
| 1 | BK | 3,36 | 13,09 | 15,89 | 0,69 | 2,68 | 3,25 | 0 |
| 2 | BM | 9,28 | 50,21 | 56,81 | 0,41 | 10,26 | 2,51 | 257,52 |
| 3 | BP | 13,50 | 43,32 | 52,20 | 0,60 | 8,85 | 2,31 | 228,50 |

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Kuat Lentur Pelat Lantai

1. *Pengujian pendahuluan*

Hasil pengujian material berupa kuat tarik baja tulangan, tegangan leleh rata-rata (f_y) baja tulangan polos diameter 10 mm sebesar 378,5 MPa dan tulangan ulir diameter 13 mm sebesar 490,02 MPa. Hasil pengujian kuat tekan beton rerata pada usia 28 hari sebesar 28,51 MPa, sedangkan hasil kuat tekan mortar pada umur 28 hari sebesar 56,13 MPa. Hasil pengujian *pull-out* baja D13 dengan beton sebesar 11,47 MPa, sedangkan hasil uji *pull-out* baja tulangan D13 dengan mortar adalah sebesar 11,2 MPa.

2. *Pengujian Lentur*

a. *Pengujian lentur hasil eksperimen*

Hasil pengujian lentur pelat dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6. Kapasitas lentur

untuk pelat perkuatan dengan epoxy (PPE) meningkat sebesar 109,02% terhadap pelat kontrol (PK), tetapi mengalami penurunan sebesar 41,45% terhadap pelat monolit (PM). Untuk pelat perkuatan tanpa epoxy (PTE) kapasitas lenturnya meningkat 131,55% terhadap pelat kontrol (PK), tetapi mengalami penurunan sebesar 35,14% terhadap pelat monolit (PM). Penurunan kapasitas lentur pelat perkuatan terhadap pelat monolit disebabkan karena pelat perkuatan mengalami kerusakan delaminasi sebelum mencapai beban maksimum. Dengan melihat hasil kenaikan kapasitas lentur antara pelat perkuatan tanpa epoxy dan dengan epoxy yang relatif sama, menunjukkan bahwa penggunaan epoxy Sikadur 732 dapat dikatakan tidak akan memberikan kenaikan beban yang maksimal oleh perkuatan pelat di daerah tarik pada pembebanan statik.

Hubungan antara beban dan lendutan hasil eksperimen dapat dilihat pada Gambar 3.

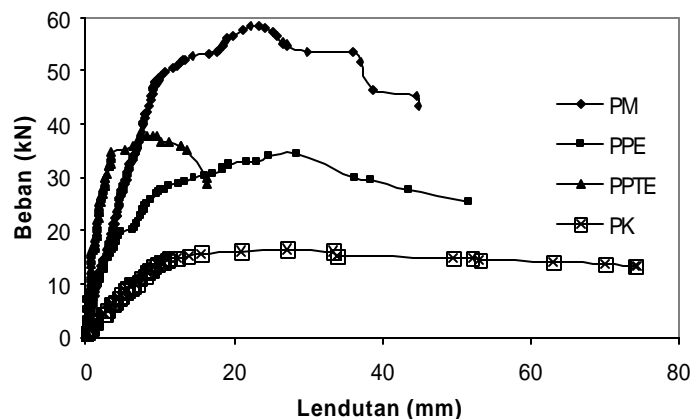
TABEL 5. Hasil pengujian lentur pelat hasil eksperimen

| No | Benda uji | Beban (P) pada saat | | | Lendutan (d) pada saat | | |
|----|-----------|---------------------|------------|--------------|----------------------------|------------|--------------|
| | | Crack (kN) | Leleh (kN) | Ultimit (kN) | Crack (mm) | Leleh (mm) | Ultimit (mm) |
| 1 | PK | 3,11 | 12,21 | 16,41 | 1,38 | 8,41 | 27,06 |
| 2 | PPE | 8,91 | 21,21 | 34,31 | 0,93 | 6,79 | 28,32 |
| 3 | PPTE | 6,71 | 28,11 | 38,01 | 0,56 | 2,41 | 9,23 |
| 4 | PM | 9,20 | 45,95 | 58,60 | 1,43 | 9,04 | 23,34 |

TABEL 6 Peningkatan kuat lentur pelat lantai hasil eksperimen

| Benda uji | P maks (kN) | M maks (kN-m) | Persentase peningkatan (%) |
|-----------|-------------|---------------|----------------------------|
| PK | 16,41 | 5,99 | 0 |
| PPE | 34,31* | 12,52 | 109,02 |
| PPTE | 38,01* | 13,87 | 131,55 |
| PM | 58,60 | 21,38 | 256,93 |

Ket : * = Maksimum saat terjadi kerusakan delaminasi



GAMBAR 3. Hubungan antara beban dan lendutan pelat dari hasil eksperimen

b. Perbandingan beban hasil teoritis, pengujian dan *Response-2000*

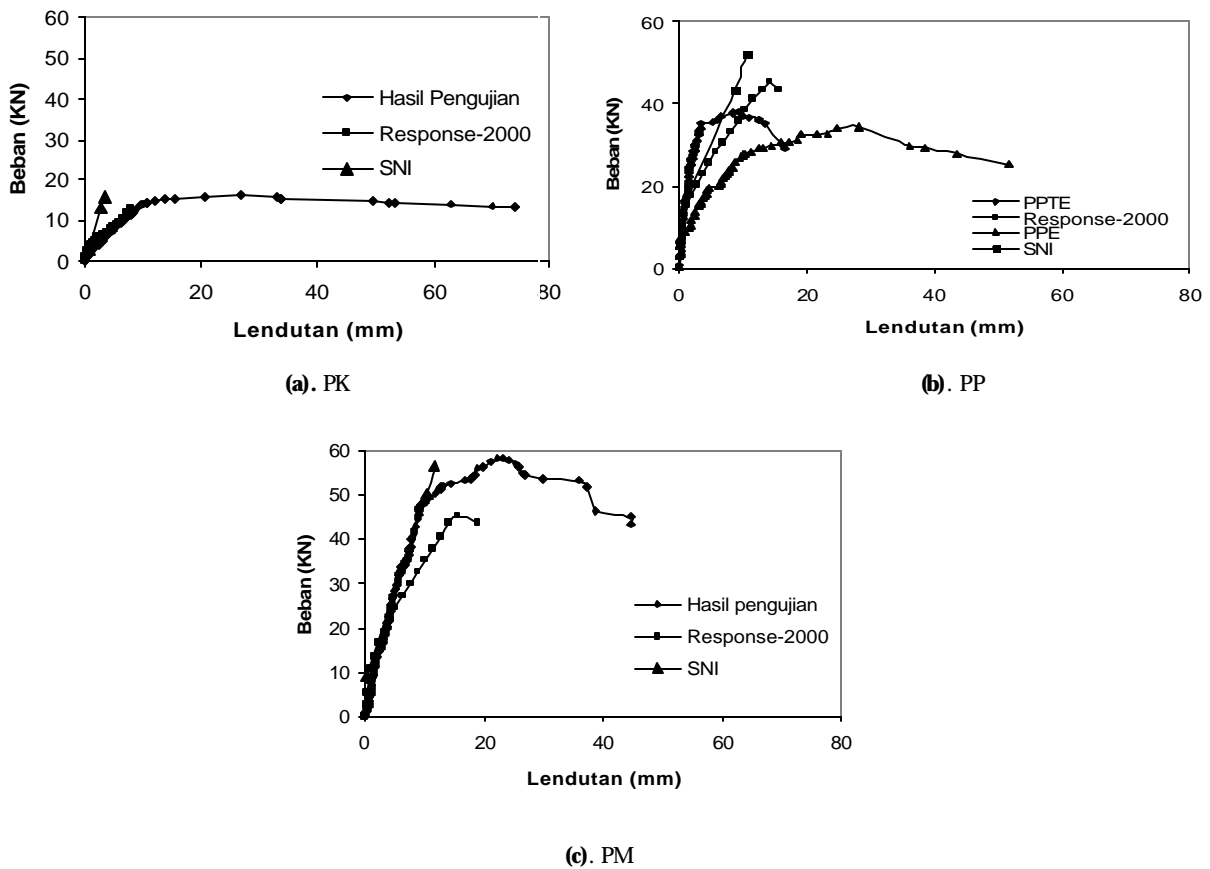
Secara keseluruhan beban hasil eksperimen yang diperoleh berbeda dengan beban hasil analisis secara teoritis dengan metode SNI maupun dengan analisis program *Response-2000*. Besarnya perbedaan tersebut secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 7.

Dari Tabel 7 dapat dilihat bahwa hasil eksperimen dari pelat kontrol (PK) dan pelat

monolit (PM) kekuatannya lebih besar jika dibandingkan dengan hasil teoritis metode SNI maupun dengan metode analisis plastis menggunakan *Response-2000*. Untuk pelat perkuatan dengan *epoxy* (PPE) maupun tanpa *epoxy* (PPTE) hasil pengujiannya lebih kecil dari hasil teoritis metode SNI dan *Response-2000*. Hal ini disebabkan pada saat pengujian, pelat mengalami kerusakan delaminasi dan runtuh sebelum mencapai beban maksimum.

TABEL 7. Perbandingan beban hasil eksperimen dan teoritis

| No | Benda Uji | P Metode SNI (kN) | P Response-2000 (kN) | Pmaks (Pengujian) (kN) | Pmaks / P ^{SNI} (%) | Pmaks / P Response-2000 (%) |
|----|-----------|-------------------|----------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1 | BK | 15,89 | 13,15 | 16,41 | 103,27 | 124,79 |
| 2 | PPE | 52,20 | 45,20 | 34,31 | 65,73 | 75,91 |
| 3 | PPTE | 52,20 | 45,20 | 38,01 | 65,73 | 84,09 |
| 4 | PM | 56,81 | 45,47 | 58,60 | 103,15 | 128,88 |



GAMBAR 4. Perbandingan beban-lendutan benda uji pelat

c. Kekakuan Benda Uji

Hubungan beban dan lendutan hasil pengujian untuk perhitungan kekakuan di bagi menjadi dua bagian, untuk *initial stiffness* yaitu kekakuan yang didapat dari awal pembebanan hingga retak pertama (Tabel 8), sedangkan untuk kekakuan tahap kedua yaitu kekakuan yang didapat dari pembebanan mulai retak pertama hingga leleh (Tabel 9).

d. Daktilitas Pelat Lantai

Perhitungan nilai daktilitas pada penelitian ini mengacu pada teori daktilitas Park dan Paulay (1975) bahwa nilai daktilitas adalah perbandingan antara lendutan pada saat ultimit dan lendutan pada saat leleh. Nilai daktilitas pelat lantai pada pengujian di laboratorium ditunjukkan pada Tabel 10. Dari Tabel 10 dapat dilihat bahwa daktilitas pelat perkuatan baik dengan epoxy (PPE) maupun tanpa epoxy (PPTE) mengalami peningkatan yaitu secara

berturut-turut sebesar 29,63 % dan 19,03 % terhadap pelat kontrol. Peningkatan ini terjadi akibat pelat perkuatan mengalami keruntuhan delaminasi sebelum beban ultimit terlampaui, sehingga beban yang bekerja setelah terjadi delaminasi antara pelat utama dan mortar perkuatan diterima oleh pelat utama sampai pelat mengalami kehancuran pada lendutan yang besar. Seharusnya daktilitas pelat perkuatan menurun sekitar 19,758 % terhadap pelat kontrol sebagai mana yang terjadi pada pelat monolit (PM).

e. *Regangan tulangan*

Nilai regangan benda uji hasil eksperimen dan regangan hasil analisis *Response-2000* disajikan pada Gambar 5.

f. *Pola Retak dan Keruntuhan*

Pola keruntuhan yang terjadi pada pelat kontrol (PK) dan pelat monolit (PM) adalah keruntuhan lentur sedangkan pelat pada pelat perkuatan dengan epoxy (PPE) dan tanpa epoxy (PPTE) mengalami kerusakan debonding. Pola keruntuhan dari benda uji dapat dilihat pada Gambar 6.

TABEL 8. Kekakuan benda uji pada saat *initial stiffness*

| Benda uji | Pcrack (N) | Lendutan (mm) | Kekakuan (Nmm) | Persentase peningkatan* (%) |
|-----------|------------|---------------|----------------|-----------------------------|
| PK | 3114 | 1,38 | 2256,52 | 0 |
| PPE | 8914 | 0,93 | 9584,95 | 324,77 |
| PPTE | 6700 | 0,56 | 11964,27 | 430,21 |
| PM | 9200 | 1,43 | 6433,57 | 185,11 |

Ket : * = persentase peningkatan dihitung terhadap pelat kontrol

TABEL 9. Kekakuan benda uji pada tahap kedua

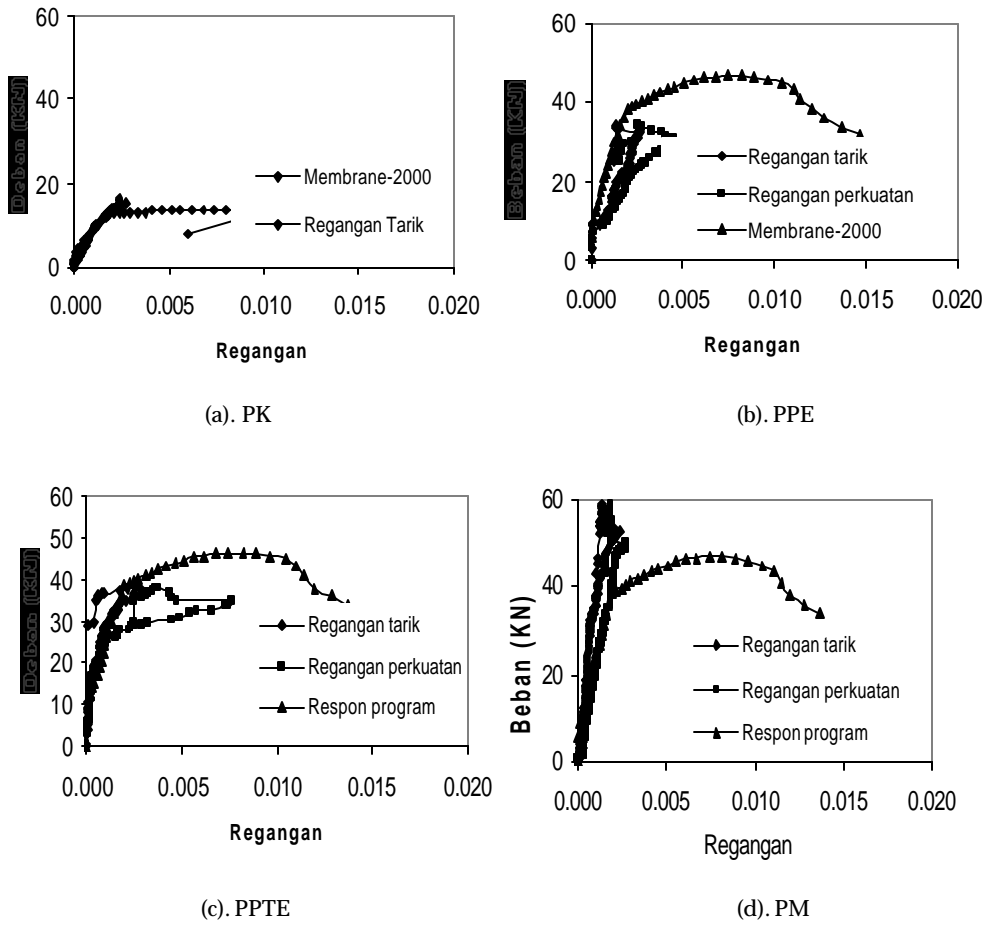
| Benda uji | Pcrack (N) | Lendutan (mm) | Kekakuan (Nmm) | Persentase peningkatan (%) |
|-----------|------------|---------------|----------------|----------------------------|
| PK | 12300 | 8,66 | 1459,08 | 0 |
| PPE | 25500 | 9,15 | 2786,89 | 91,00 |
| PPTE | 28500 | 2,57 | 11067,96 | 658,56 |
| PM | 43950 | 8,64 | 5086,81 | 248,63 |

Ket : * = persentase peningkatan dihitung terhadap pelat kontrol

TABEL 10. Nilai daktilitas pelat

| Benda uji | d_y (mm) | d_u (mm) | Daktilitas $U = d_u/d_y$ | Penurunan (%)* |
|-----------|------------|------------|--------------------------|----------------|
| PK | 8,41 | 27,06 | 3,22 | 0 |
| PPE | 6,79 | 28,32 | 4,17 | 29,63 |
| PPTE | 2,41 | 9,23 | 3,83 | 19,03 |
| PM | 9,04 | 23,34 | 2,58 | -19,76 |

Keterangan : * = Persentase penurunan daktilitas terhadap pelat kontrol



GAMBAR 5. Hubungan beban dan regangan benda uji



(a). PK

(b). PPE

GAMBAR 6. Bersambung ...



GAMBAR 6. Pola retak benda uji

KESIMPULAN

1. Besarnya kapasitas lentur dari hasil pengujian PK, PPE, PPTE dan PM berturut-turut adalah : 5,99 kNm, 12,52 kNm, 13,87 kNm dan 21,38 kNm. Dengan membandingkan terhadap pelat kontrol, perkuatan lentur pelat beton bertulang dengan penambahan tulangan meningkatkan kapasitas lentur untuk PPE, PPTE, PM masing-masing sebesar 109,02%, 131,55% dan 256,93%. Perbandingan kapasitas lentur hasil eksperimen dengan teoritis metode SNI dan program *Response-2000* didapatkan sebesar 103,27% dan 124,79% untuk PK, 65,72% dan 75,91% untuk PPE, 65,72% dan 84,09% untuk PPTE, 103,15% dan 128,88% untuk PM
2. Kekakuan lentur hasil eksperimen benda uji PK, PPE, PPTE dan PM secara berturut-turut untuk *initial stiffness* adalah 2256,52 N/mm, 9584,95 N/mm, 11964,29 N/mm, 6433,57 N/mm. Kenaikan kekakuan lentur pelat PPE, PPTE, PM terhadap PK adalah 324,77%, 430,21% dan 185,11%. Kekakuan tahap kedua benda uji secara berturut-turut adalah 1459,08 N/mm, 2786,89 N/mm, 11067,96 N/mm dan 5086,81 N/mm dengan kenaikan terhadap PK secara berturut-turut adalah 91,00%, 658,56% dan 248,63%.
3. Perkuatan lentur dengan penambahan tulangan pada pelat beton bertulang mengalami kenaikan faktor daktilitas, hal ini disebabkan karena pelat perkuatan mengalami keruntuhan delaminasi sebelum beban ultimit terlampaui. Secara berturut-turut untuk PPE dan PPTE sebesar 29,63% dan 19,03%.
4. Kegagalan benda uji sebelum diperkuat adalah kegagalan lentur dan setelah diperkuat adalah kegagalan *debonding/ delaminasi*.
5. Perkuatan dengan menggunakan metode ini memberi kemudahan dalam proses pengecoran selimut mortar, dimana mortar dapat dengan sendirinya mengalir melalui celah yang sempit ke dalam setiap sisi bekisting tanpa digetarkan dan hasilnya permukaan mortar tetap halus setelah bekisting dibuka.

DAFTAR PUSTAKA

- Hendra (2005). *Pengaruh penggunaan serutan besi dengan metode preplaced concrete pada kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lentur*. Tesis M.Eng., Universitas Gadjah Mada.
- Park, R. & Paulay, T. (1975). *Reinforced concrete structures*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Piyong (2004). *Perkuatan pelat beton menggunakan sistem tiga tahap pemasangan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) pratekan pada pelat beton*. Tesis M.Eng., Universitas Gadjah Mada.

PENULIS:

Juandra Hartono✉

Alumni Program Pascasarjana, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia.

Iman Satyarno, Andreas Triwiyono

Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia.

✉Email: Docyy_Juandra@yahoo.com

Diskusi untuk makalah ini dibuka hingga tanggal 1 April 2011 dan akan diterbitkan dalam jurnal edisi Mei 2011