

PENGUJIAN KEMAMPUAN LENTUR PELAT LANTAI TIPIS MODEL GRID MENGGUNAKAN TULANGAN BESI WIRE MESH

Aliem Sudjarmiko

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jln. A. Yani Tromol Pos I Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417
Email : aliem.sudjarmiko@ yahoo.com

Abstrak

Dalam menyikapi kondisi lapangan di masyarakat berkaitan dengan kebutuhan lahan dan papan utamanya perumahan, banyak kasus terkait dengan upaya pengembangan rumah secara vertical mengalami kendala, baik dari segi struktur maupun sampai masalah biaya. Pengembangan rumah vertical yang murah maupun ringan diperlukan pemikiran yang sesuai dengan problem di masyarakat yang mana dalam realisasinya bisa dikerjakan dengan mudah dan sederhana dengan menggunakan struktur plat beton tipis model grid pada bentang pendek.

Dari beberapa pengujian di laboratorium tentang plat beton tipis model grid yang menggunakan tulangan kawat baja las (wire mesh D 6mm) menghasilkan kemampuan lentur yang memadai untuk digunakan plat lantai bentang pendek pada pengembangan rumah tinggal. Pada pengujian menggunakan kawat baja las (wire mesh) yang umum berada di pasaran sebagai penulangan lantai beton tipis. Pengujian dilakukan menggunakan pelat beton tipis dengan tulangan kawat baja las (wire mesh) pada umur 28 hari.

Untuk mengetahui karakter beton pengujian menggunakan benda uji yaitu sampel silinder beton untuk uji karakteristik beton dan plat beton tipis model grid sebagai material untuk uji lentur pelat. Dimensi benda uji silinder \varnothing 15 cm dan tinggi 30 cm, sedangkan bentuk benda uji pelat lantai beton dengan ukuran 100 x 50 x 5 cm³. Baja tulangan menggunakan tulangan kawat baja las (wire mesh) berbentuk jala yang umum berada di pasaran dengan diameter kawat baja 6 mm. Faktor air semen yang digunakan adalah 0,35; 0,4; 0,45. Mix design menggunakan Metode SK SNI T-15-1990-03. Setiap variasi dibuat 3 benda uji, sehingga jumlah total ada 9 benda uji silinder dan 9 plat tipis model grid.

Hasil kuat tekan rata – rata silinder beton dijadikan acuan sebagai bahan pengisi pelat lantai beton dengan variasi fas 0,35; fas 0,4 dan fas 0,45 sebesar 25,48 Mda 23,6MPa; 21,4 MPa . Beban terpusat rata – rata yang dapat ditahan 3 benda uji pelat beton tebal 5cm dari masing-masing variasi fas sebesar 8333,33N; 7655,5N dan 7027,4 N dengan penurunan rata-rata pada masing-masing variasi fas 6,3mm; 5,8 mm dan 5,5 mm

Kata kunci : momen lentur, pelat beton model grid, kuat tekan, kawat baja wiremesh

Pendahuluan

Untuk menyikapi tantangan kebutuhan papan/tempat tinggal ke depan harus dipikirkan tentang bagaimana pengembangan rumah sederhana Setiap orang berhak merancang dan merencanakan secara vertical (2 lantai) secara efisien dan mudah dikerjakan serta murah biaya. Kehidupan di masa depan, termasuk rencana untuk memiliki hunian atau rumah pribadi yang layak perlu ada solusi yang bertanggung jawab. Bagi mereka yang mempunyai dana lebih, tentu tidak menjadi masalah, karena spesifikasi rumah yang mereka idamkan dapat terpenuhi dengan mudah oleh dukungan dana yang tersedia. Namun bagi kalangan yang kurang mampu mestilah cermat dalam menyusun rencana dan ketat dalam anggaran finansialnya. Rumah bisa dianalogikan dengan pohon, disini dapat berarti bahwa rumah dan pohon dapat sama – sama tumbuh, baik tumbuh secara vertikal maupun secara horizontal. Rumah yang seperti ini biasa disebut dengan rumah tumbuh.

Pertumbuhan rumah yang dapat dikembangkan pada suatu saat tertentu, guna memenuhi kebutuhan akan ruang/papan dan privasi yang lebih memadai. Hal mendesak /penting yang wajib dipikirkan dalam mempersiapkan dan merancang sebuah rumah tumbuh ialah soal konstruksi. Jika direncanakan menambah satu level lantai rumah, berarti harus menyiapkan konstruksi yang aman terhadap tambahan beban, maka perlu diantisipasi dengan menyiapkan rancangan kolom dan balok yang kekuatannya setara untuk mendukung beban . Selain itu, dapat juga disiasati dengan membuat konstruksi yang ringan, tipis, tetapi kuat, sehingga dapat menghemat bahan dan biaya. Untuk merealisasikan/membangun rumah dengan konstruksi yang ringan, tipis tetapi kuat dalam perencanaan

penambahan satu level lantai rumah adalah dengan membuat pelat beton yang ringan yang didukung oleh balok pendukung pada jarak 80 s/d 100 cm. Plat beton tipis kuat dalam menahan beban fungsionalnya. Pengembangan lantai yang berupa pelat beton diupayakan agar tidak terlalu membebani konstruksi balok dan kolom yang mendukungnya.

Pelat beton ini akan menggunakan baja tulangan yang berupa kawat baja las (*wire mesh*) dengan diameter 6 mm dan pelat diuji pada umur 28 hari

Tujuan penelitian

- 1). Untuk mengetahui kuat tekan beton, untuk pembuatan pelat lantai pada umur 28 hari.
- 2). Untuk mengetahui kuat lentur benda uji yang berupa pelat beton tipis dengan tulangan kawat baja las (*wire mesh*) pada umur 28 hari.

Manfaat penelitian

- 1). Bagi perancang bangunan, dapat digunakan sebagai alternatif untuk pelat lantai tipis tetapi kuat.
- 2). Bagi pemilik bangunan, diharapkan dapat lebih menghemat biaya dan waktu dalam pembangunan plat lantai.

Ruang Lingkup

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

- 1). Semen yang digunakan adalah semen *Portland* jenis I
- 2). Agregat halus berupa pasir berasal dari Muntilan Magelang.
- 3). Agregat kasar berupa batu pecah dengan ukuran max 1,5 mm
- 4). Perencanaan adukan beton menggunakan metode SKSNI - 15 - 1990 - 03 dengan faktor air semen (fas) 0.35 , 0.4, 0.45
- 5). Baja tulangan menggunakan tulangan kawat baja las (*wire mesh*)
- 6). Pengujian kuat tekan silinder beton dan pelat lantai beton tipis dilakukan pada umur 28 hari.
- 7). Bentuk benda uji pelat lantai beton dengan ukuran 100 x 50 x 5 cm³

Pelat Lantai Beton

Penggunaan plat beton pada umumnya dipakai sebagai struktur lantai, struktur atap, dan dinding dari gedung gedung, serta sebagai pelat lantai (*decks*) dari jembatan. Untuk bangunan gedung, pelat beton tersebut biasanya ditumpu oleh balok secara monolit. Tetapi bisa juga, pelat tersebut didukung oleh balok dengan sistem *komposit*, atau didukung oleh kolom kolom konstruksi secara langsung contohnya dengan sistem pelat cendawan. Pelat pelat terutama berperilaku sebagai bagian bagian konstruksi lentur. Menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI) 1971, perletakan pelat pada balok dapat digolongkan menjadi 3 (tiga) macam, yaitu pelat terjepit penuh, pelat terjepit elastis, dan pelat terletak bebas. Keadaan terjepit penuh dimungkinkan terjadi jika pelat tersebut ditumpu oleh balok secara monolit yang berukuran (relatif) besar. Keadaan pelat terjepit elastis dimungkinkan terjadi jika pelat ditumpu oleh balok monolit tetapi berukuran (relatif) kecil. Sedangkan untuk pelat terletak bebas akan terjadi jika hubungan antara balok dan pelat tidak menjadi satu kesatuan / tidak monolit (Asroni, 2001).

Beton

Beton merupakan bahan bangunan yang dihasilkan dari campuran antara semen *Portland*, pasir, batu pecah dan air. Beton mempunyai kelebihan daripada bahan yang lain, antara lain karena harganya relative lebih murah, tidak memerlukan biaya perawatan seperti bahan baja, dan tahan lama karena tidak busuk atau berkarat. Semen *Portland* dan air setelah bertemu akan bereaksi membentuk gel/pasta yang dalam beberapa hari menjadi keras dan saling melekat. Agregat (pasir dan batu pecah) tidak mengalami proses kimia, melainkan hanya sebagai bahan pengisi saja, yaitu bahan pengisi beton

Baja

Baja merupakan paduan antara besi dan karbon. Besi murni tanpa paduan karbon tidak dapat kuat, akan tetapi bila dipadu dengan karbon kekuatannya bertambah. Baja dapat dibedakan menjadi 3 jenis sesuai dengan jumlah kandungan karbonnya, yaitu (Tjokrodinuljo, 1996) :

Semen

Semen *portland* adalah suatu jenis bahan yang memiliki sifat adesif dan kohesif yang memungkinkan melekatnya *fragmen - fragmen* mineral menjadi suatu yang padat. Semen yang dimaksud ini adalah bahan yang dapat mengeras dengan adanya air, sehingga dinamakan semen hidrolis (*hidroulic cement*) atau berkecenderungan mengikat air.

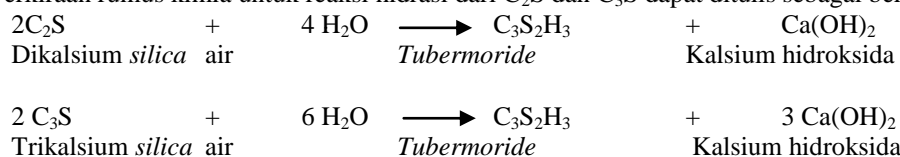
Secara umum, kandungan dasar semen *portland* terdiri atas kapur, *silika*, *alumina* dan *oksida* besi. Setelah melalui beberapa proses, maka dihasilkan material yang sangat halus dan memiliki sifat yang adesif dan kohesif. Semen yang digunakan merupakan jenis semen *portland*, yang merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara

menggiling halus *clincer* yang terutama terdiri atas *silikat-silikat kalsium* yang bersifat hidrolis dan *gips* sebagai bahan pembantu. Adapun komposisi dari bahan utama pembuatan semen dapat dilihat pada Tabel I.

Tabel I. Komposisi bahan utama semen (Gambhir, 1986).

Komposisi (Rumus kimia)	Prosentase (%)
Kapur (CaO)	60 – 70
Silika (SiO ₂)	18 – 25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3 – 8
Oksida besi (Fe ₂ O ₃)	1 – 5
Magnesium (MgO)	1 - 4
Sulfur (SO ₃)	1 - 3

Perkiraan rumus kimia untuk reaksi hidrasi dari C₂S dan C₃S dapat ditulis sebagai berikut :



Kawat baja las (*wire mesh*)

Kawat baja las (*wire mesh*) ini digunakan sebagai tulangan. Batang kawat biasanya didefinisikan/dikelompokkan berdasarkan kandungan karbonnya, yaitu batang kawat dengan karbon rendah, sedang, atau tinggi. Selain itu batang kawat juga dikategorikan berdasarkan aplikasinya. Batang kawat karbon rendah dan sedang memiliki kandungan karbon kurang dari 0,25%. Baja jenis ini umumnya digunakan untuk kawat, paku, *wire mesh*, dan sebagai bahan baku untuk *welded fabrication* (kisi-kisi jendela atau pintu, pagar, dan jeruji). Untuk menghasilkan kawat baja las (*wire mesh*), dipergunakan kawat baja mutu U-50 dengan tegangan leleh karakteristik 5.000 kg/cm², yang kemudian dilas secara fabrikasi dengan jarak tulangan sesuai spesifikasi pabrik.

Jenis-jenis semen juga mempunyai kecepatan kenaikan kekuatan berbeda-beda. Semen yang mengandung *Trikalsium silikat* (C₃S) tinggi (untuk jenis III) menghasilkan kekuatan awal yang tinggi, sedangkan semen dengan kandungan *Trikalsium silikat* (C₃S) rendah (untuk jenis IV) membutuhkan waktu yang lama untuk mengeras. Semen membutuhkan air sekitar 30% dari beratnya untuk bereaksi secara sempurna.

Jumlah kandungan semen berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Hal ini berhubungan dengan factor air semen dan nilai *slump*. Jika faktor air semen sama, (nilai *slump* berubah) beton dengan jumlah kandungan semen tertentu mempunyai kuat tekan tertinggi seperti pada Pada jumlah semen yang terlalu sedikit, maka adukan beton sulit menjadi padat, sehingga kuat tekan beton rendah. Namun jika jumlah semen berlebihan, berarti jumlah air juga berlebihan, sehingga beton mengandung banyak pori dan akibatnya kuat tekan rendah.

Jika nilai *slump* sama (nilai faktor air semen berubah), beton dengan kandungan semen lebih banyak mempunyai kuat tekan lebih tinggi. Hal ini karena pada nilai *slump* sama jumlah air hampir sama, sehingga penambahan semen berarti pengurangan nilai faktor air semen

Sifat agregat akan mempengaruhi kuat tekan beton. Agar kekuatan beton tinggi diperlukan agregat yang kuat melebihi pastanya. Sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton ialah kekasaran permukaan dan ukuran maksimum butir agregat.

Kekasaran permukaan berpengaruh pada lekatan dan besar tegangan saat retak-retak beton mulai terbentuk. Pengaruh itu akan berkurang jika adukan beton didasarkan pada nilai *slump* yang sangat besar, karena agregat yang permukaannya halus memerlukan air yang sedikit.

Semakin besar ukuran maksimum agregat yang dipakai akan berakibat semakin tinggi kekuatan betonnya. Hal ini karena pada pemakaian butiran agregat maksimum yang besar, menyebabkan pemakaian pasta yang lebih sedikit berarti pori-porinya sedikit pula. Namun karena butir-butirnya besar menyebabkan luas permukaan jauh lebih sempit, dan ini berakibat lekatan antara pasta semen dan agregatnya kurang kuat. Selain itu karena butiran besar menghalangi susutnya pasta, maka mengakibatkan terjadinya retak-retak kecil pada pasta disekitar butirannya. Kedua hal ini memperlemah kekuatan beton (Tjokrodinuljo, 1996).

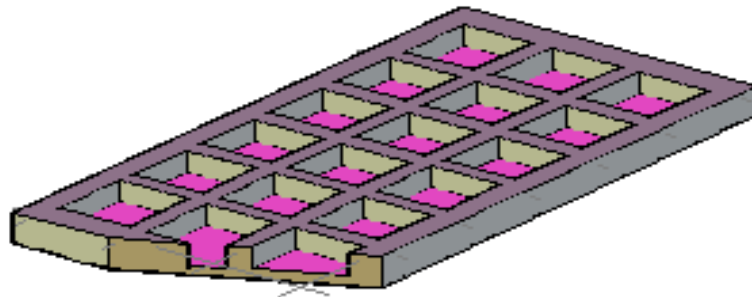
Cetakan yang digunakan adalah cetakan silinder beton dan cetakan balok pelat beton. Cetakan silinder digunakan untuk mencetak benda uji campuran beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Cetakan plat dengan menggunakan kayu dan stereofum digunakan untuk mencetak benda uji pelat beton dengan ukuran panjang 100 cm lebar 50 cm dan tinggi 5cm(untuk bagian yang tebal 1,5cm atau 3cm(untuk bagian yang tipis).



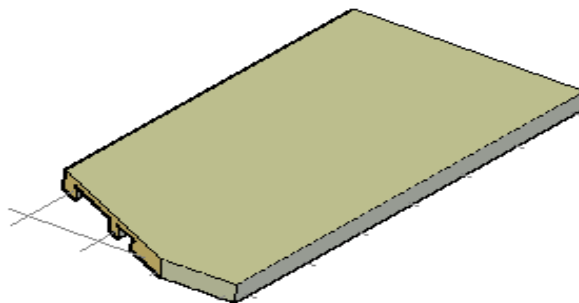
Gambar 1. Cetakan silinder beton



Gambar 2. Pencetakan pelat beton



Gambar 3. Hasil cetakan pelat beton(tampak bawah)



Gambar 4. Hasil cetakan pelat beton (tampak atas)



Gambar 5. Portal uji kuat lentur pelat beton

Dalam perencanaan proporsi campuran digunakan perencanaan menurut SK.SNI.T-15-1990-03.

Data-data untuk perencanaan campuran adukan beton adalah sebagai berikut :

- a) Kuat tekan beton f'_c = 25,48 MPa
- b) Faktor air semen (fas) = 0,35
- c) Nilai slump rencana = 7,5 cm – 15 cm
- d) Ukuran maksimum agregat = 15 mm
- e). Berat jenis pasir (SSD) = 2,70
- f). Berat jenis batu pecah (SSD) = 2,68

Pengujian nilai *slump* ini dimaksudkan untuk mendapatkan kekentalan beton segar. Pengujian dilakukan dengan menggunakan kerucut *Abrams*, yaitu berbentuk kerucut dengan diameter atas 10 cm, diameter bagian bawah 20 cm dan tinggi 30 cm dengan bagian atas maupun bawah berlubang. Pembuatan benda uji sesuai dengan perhitungan proporsi campuran beton yang telah direncanakan, dan telah diuji nilai *slump*-nya. Masing-masing variasi dibuat 3 buah benda uji sehingga jumlah total benda uji adalah 9 buah. Perawatan beton dimaksudkan untuk menjaga permukaan beton segar selalu lembab, sejak adukan beton dipadatkan sampai beton dianggap cukup keras.

Sebelum pengujian benda uji, terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan terhadap berat jenis. Berat jenis dapat diketahui dengan cara menimbang dan mengukur tinggi, panjang, lebar serta diameter benda uji, sehingga dapat diketahui berat dan volume benda uji tersebut.

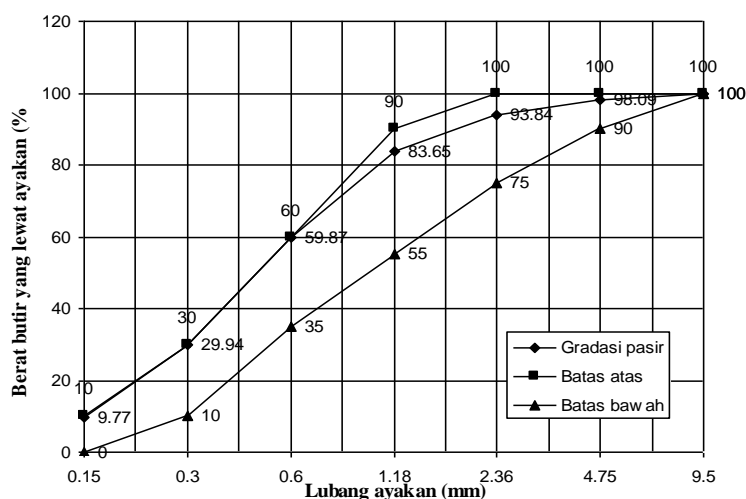
Hasil Pengujian

Hasil pemeriksaan gradasi agregat halus masih dalam batasan persyaratan karena masih dalam wilayah antara batas atas dan batas bawah (lihat Garfik 1.). Dalam pengujian lain terkait kandungan lumpur masih dalam batasan diterima

Pemeriksaan agregat kasar sudah sesuai dengan persyaratan

Tabel II Hasil pengujian agregat kasar

Jenis pengujian	Hasil pengujian	SyaratSK SNI	Keterangan
• Keausan agregat batu pecah	• 23,22 %	27 %	Memenuhi syarat
• <i>Bulk specific gravity</i>	• 2,58 gram/cm ³	2,5 – 2,7 gram/cm ³	Memenuhi syarat
• <i>Absorbtion</i>	• 1.81 %	1 – 2 %	Memenuhi syarat
• Modulus halus butir	• 6,72	5 – 8	Memenuhi syarat



Grafik 1. Hasil pemeriksaan gradasi agregat halus

Pengujian Slump

Pengujian nilai *slump* dilaksanakan sebelum campuran beton dituang dalam cetakan. Pengujian *slump* dilakukan untuk mengetahui workabilitas dan kekentalan adukan beton yang akan dituang ke dalam cetakan silinder beton

Dari hasil pengujian nilai *slump* menunjukkan nilai *slump* adukan beton antara 12 – 14 cm. Dari hasil pengujian *slump* tersebut dapat dilihat bahwa *slump* yang dicapai pada adukan beton untuk silinder dan pelat beton, yaitu antara 7,5 – 15 cm. Hasil pengujian *slump* yang dilakukan di laboratorium ternyata masih masuk dalam batas nilai *slump* rencana. Tingkat pengerjaan/ *workability* betonnya tidak mengalami kesulitan.

Pengujian berat jenis beton dilakukan sebelum diadakannya pembebanan terhadap benda uji silinder. Berat jenis beton dapat diketahui dengan cara menimbang dan mengukur tinggi serta diameter benda uji, sehingga didapatkan berat dan volume benda uji sebagai tertera dalam table III

Tabel III. Spesifikasi ukuran benda uji

Benda uji	Ukuran benda uji (m)	Volume (m ³)	Berat beton (kg)	Fas	Umur beton
Silinder beton	D=0,15; h=0,30	0,0053	11,17	0,35	28 hari
Silinder beton	D=0,15; h=0,30	0,0053	11,03	0,40	28 hari
Silinder beton	D=0,15; h=0,30	0,0053	10,97	0,45	28 hari
Pelat beton	L=1; B=0,5; T=0.05	0.025	45,67	0,35	28 hari
Pelat beton	L=1; B=0,5; T=0.05	0.025	44,83	0,40	28 hari
Pelat beton	L=1; B=0,5; T=0.05	0.025	43,45	0,45	28 hari

berat jenis silinder beton yaitu 2167.974 kg/m³, dan berat jenis pelat beton yang tertinggi 1786 kg/m³. Pengurangan berat akibat adanya stereofom yang ada pada plat beton sebagai bahan pengisi dan pembentuk plat grid. Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan setelah benda uji silinder berumur 28 hari.

Tabel IV. Hasil pengujian kuat tekan silinder beton

Fas	Beban maksimum benda uji rata-rata (kN)	Beban rata – rata (N)	Luas permukaan (mm ²) D=150 mm	Kuat tekan rata- rata (MPa)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
0.35	450	450.000	17.662,5	25,48
0.40	416	416.000		23.6
0.45	377	377.000		21.4

Pengujian Momen Lentur Pelat Beton

Pengujian momen lentur pelat beton dilakukan setelah benda uji pelat beton berumur 28 hari, untuk memperoleh nilai gaya maksimal benda uji (P) dalam uji lentur pelat beton dan penurunan yang terjadi dengan

perbedaan ukuran pelat beton , beban garis ditempatkan pada tengah bentang dan jarak tumpuan sesuai dengan jarak penyangga (jarak sendi dan rol = $L-2*(5)$)

Hasil uji laboratorium

Pada pengujian momen lentur pelat beton hasil uji laboratorium diperhitungkan 2 jenis beban, yaitu beban terpusat P (oleh benda uji) dan beban terbagi rata q (oleh berat sendiri). dan kisaran kemampuan menyangga lentur sebesar 1991014,5 Nmm s/d 2447465,5 Nmm.

Hasil analisis teoritis

Pada pengujian momen lentur pelat beton hasil analisis teoritis berdasarkan hitungan sesuai spesifikasi hasil uji silinder pada pelat beton pada kisaran 1775629,9 Nmm s/d 1981912,25 Nmm

Perbandingan hasil uji laboratorium dan analisis teoritis

Berdasar hasil uji laboratorium dan hasil analisis teoritis di atas terdapat perbedaan selisih nilai momen lentur pelat beton diantara keduanya, maka dari itu perlu dicari perbandingan nilai dan persentase hasil uji laboratorium dengan hasil analisis teoritisnya. Pada hakekatnya bila pengerjaan sampel lebih teliti hasil teoritis dan hasil uji laboratorium tidak jauh berbeda

Tabel V. Selisih momen lentur hasil uji laboratorium dan analisis teoritis

Variasi ukuran benda uji	Hasil uji laboatorirum (kN-m) (A)	Hasil hitungan teoritis (kN-m) (B)	Selisih hasil (kN-m) (C=A-B)	Persentase selisih (C/B)*100%	selisih rata - rata
Pelat 100x50x5 cm ³ Fas 0.35	1.87	1,78	0.09	5.06 %	5.06 %
	1.89	1,78	0.11	6.18 %	
	1.85	1,78	0.07	3.93 %	
Pelat 100x50x5 cm ³ Fas 0.40	1.73	1,66	0.07	4.22 %	3.61%
	1.71	1,66	0.05	3.01 %	
	1.72	1,66	0.06	3.61 %	
Pelat 100x50x5 cm ³ Fas 0.45	1.58	1.53	0.05	3.27 %	3.05%
	1.56	1.53	0.03	1.96 %	
	1.59	1.53	0.06	3.92 %	

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kisaran kemampuan momen lentur tidak jauh berbeda dengan analisa teoritik, dengan demikian plat dapat digunakan untuk plat lantai bentang pendek. Plat ditumpu di atas dua balok berjarak 80 s/d 100 cm . tulangan sisa pada ujung keempat sisi plat dihubungkan berkait atau dilas dan kemudian ditutup adukan beton dengan agregat kasar kisaran maksimum diameter 10 mm. Finishing lanjutan akan lebih meningkatkan daya dukung momen lentur plat yang terpasang termasuk penambahan lapisan finishing lapis atas berupa porselen atai plester biasa.

Daftar Pustaka

- Asroni, A, 2001. *Struktur Beton 1*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UMS, Surakarta.
 Departemen Pekerjaan Umum, 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*, N.1-2 1971, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
 Departemen Pekerjaan Umum, 1982. *Persyaratan Umum Bahan Bangunan Di Indonesia*,(PUBI 1982), Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Jakarta
 Departemen Pekerjaan Umum 1990, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, SK SNI T-15-1990-03,Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum, Jakarta.
 Departemen Pekerjaan Umum, 1991. *Standar Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, SK SNI T-15-1991-03, Badan Pengembangan Pekerjaan Umum, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
 Gambhir, M. I., 1986. *Concrete Technology*, Mc Graw Hill, New Delhi.
 Subakti, A. 1995. *Teknologi Beton Dalam Praktek*. FTSP, ITS, Surabaya.
 Suprpto, 2006. *Uji Kuat Lentur Dinding Panel Hardflex Dan Styrofoam Dengan Tulangan Bambu*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Univesitas Muhammadiyah Surakarta.
 Tjokrodimuljo, K., 1995. *Bahan Bangunan*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UGM, Yogyakarta