

PENGUJIAN KETAHANAN API PELAT LANTAI SANDWICH BETON – POLYSTYRENE – BETON

Sumargo

Politeknik Negeri Bandung

JL. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga Bandung 40012

Telp.(022)201.3789, Faks.(022)201.3889, email: sumargo2004@yahoo.com

Abstrak

Satu benda uji pelat lantai sandwich beton-polystyrene-beton dengan ukuran 3500 mm x 3600 mm dan tebal 170 mm diuji ketahanan terhadap api. Pelat beton yang dinamakan sebagai *b-deck* ini terdiri dari tiga lapis yaitu 30 mm pada bagian bawah terdiri dari beton semprot demikian juga dengan bagian atas tetapi dengan ketebalan 40 mm. Kedua lapisan beton ini mengapit *polystyrene* setebal 100 mm. Dalam arah melintang dari sisi panjang 3600 mm dipasang balok anak sebanyak 6 buah dan berjarak 600 mm satu dengan lainnya. Balok anak mempunyai tulangan tiga buah berdiameter 12 mm dengan masing-masing 2 tulangan di bawah dan satu di atas. Tulangan sengkang balok ini berdiameter 8 mm dengan jarak 150 mm dengan mutu BJ34. Balok anak mempunyai tinggi 120 mm yang tertanam dalam pelat dan tidak muncul di bawah permukaan pelat. Selimut beton di atas dan bawah *polystyrene* dipasang *wiremesh* berdiameter 3 mm dengan jarak 150 mm x 80 mm dimana jarak 80 mm dipasang dalam arah memanjang atau dalam arah 3600 mm sedangkan *wiremesh* melintang yang berjarak 150 mm berada dalam arah 3500 mm. *Wiremesh* mempunyai tegangan leleh minimum 550 MPa dan mutu beton minimum 22,5 MPa. Pelat ditempatkan pada tungku uji dengan simulasi beban tambahan berupa tumpukan karung pasir merata pada seluruh permukaan atas pelat sebesar 200 kg/m². Pada bagian bawah yaitu sisi selimut beton 30 mm dipanaskan secara bertahap dari kondisi temperatur ambien hingga mencapai temperatur tungku rata-rata 1090°C. Tahapan pengujian ini mengikuti SNI 1741-2008 dimana pada menit ke 10 temperatur dinaikkan hingga 632°C, menit ke 70 mencapai 1006°C dan dihentikan pada menit ke 180 yaitu sebesar 1090°C. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekakuan pelat berkurang sebesar 38% saat pembakaran berlangsung 30 menit atau mencapai 712°C dan menjadi 56% hingga terakhir pembakaran selama 180 menit. Berat sendiri pelat *b-deck* yang hanya 54% dari berat pelat konvensional dengan ketebalan yang sama berikut beban tambahan sebesar 200 kg/m² memberikan defleksi maksimum sebesar 3,5 mm. Sedangkan defleksi maksimum pada akhir pembakaran adalah 60,84 mm. Hal ini menunjukkan bahwa api berpengaruh sangat signifikan pada pelat lantai ini. Hasil verifikasi dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000 dengan model elemen *shell*, dengan ukuran elemen 180 mm x 175 mm, 2 titik integrasi, dengan tiga lapis pelat sesuai dengan faktual, perletakan sendi menghasilkan lendutan maksimum sebesar 73,6161 mm, sedangkan untuk tumpuan jepit memberikan defleksi maksimum sebesar 0,08882 mm. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi peletakan sangat berpengaruh pada defleksi dan hal ini bisa mensimulasi kondisi pelat di lapangan yang mempunyai kekangan dari balok disekelilingnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pelat memenuhi persyaratan Tingkat Ketahanan Api (TKA) 180/180/160 sesuai dengan SNI 1741-2008 yaitu memenuhi stabilitas, integritas, dan insulasi.

Kata kunci: SNI 1741-2008, api, *polystyrene*, temperatur, pelat, *b-deck*

Abstract

One slab of sandwich layered concrete-polystyrene-concrete with dimension of 3500 mm x 3600 mm and 170 mm width was tested for fire resistance. The concrete slab named as *b-deck* consisted of three layers which was 30 mm of shotcrete whereas 40 mm for the top part. Both layers flanked polystyrene of 100 mm width. On the transverse of 3600 mm was equipped with 6 beams spaced of 600 mm. The beams have three bars of 12 mm of diameter with two bars at the bottom and one at the top. Beam's stirrups have 8 mm of diameter at 150 mm with steel grade of BJ34. Beams' depth of 120 mm was embeded in the slab and invisible from the bottom surface of the slab. Concrete cover on both top and bottom of the polystyrene was installed with transverse wiremesh spaced 150 mm in the direction of 3500 mm length. The wiremesh has minimum yield stress of 550 MPa and concrete grade of 22,5 MPa. The slab was installed on test fireplace with additional simulation load of 200 kg/m² as distributed sand bag all over the slab surface. The bottom part which is the concrete cover of 30 mm, was fired gradually from ambient average temperature of 1090°C. The steps followed SNI 1741-2008 in which the temperature was increased up to 632°C at 10th minute, 1006°C at 70th minute, and was stopped at temperature of 1090°C after 180 minutes. The test showed that the stiffness of slab decreased of the amount of 38% after fired for 180 minutes. Slab *b-deck* own weight on only 54% of conventional slab with the same thickness and additional load of 200 kg/m² gave deflection of 3,5 mm. While maximum deflection at the end of the fire was 60,84 mm. This showed that fire has significant effect to the slab. Shell element with 180 mm x 175 mm meshes, two

integration point, three layers as factual were chosen as a model with software SAP2000 for verification, hinge and fixed support resulted maximum deflection of 73,6161 mm and 0,08882 mm, respectively. This illustrated that support condition was very significant on deflection and the latest might simulate field condition in which slab has some restraint from the adjacent beams. The test has proven that the slab complies with the condition of Fire Test Rate 180/180/160 according to SNI 1741-2008 that is fulfill that condition of stability, integrity, and insulation.

Keywords: SNI 1741-2008, fire, polystyrene, temperature, slab, b-deck

PENDAHULUAN

Berangkat dari suatu kebutuhan akan percepatan penyediaan sarana rumah susun sebagaimana diprogramkan oleh pemerintah maka sejak tahun 2007 telah dicoba suatu sistem konstruksi inovatif sandwich beton-*polystyrene*-beton yang selanjutnya dinamakan b-panel untuk dinding dan *b-deck* untuk pelat lantai atau atap. Jenis konstruksi ini memberikan beberapa keunggulan yaitu: (a) mempunyai berat yang relatif lebih ringan 42% dibandingkan dengan dinding bata konvensional, (b) kemampuan sebagai isolator dan kedap suara, (c) daya dukung terhadap beban lateral dan vertikal yang tinggi, (d) kemudahan dan kecepatan pelaksanaan konstruksi, (e) harga yang relatif lebih ekonomis. Diharapkan dengan penelitian yang intensif terhadap jenis konstruksi ini dapat memberikan terobosan untuk tujuan tersebut di atas.

Studi ini bertujuan melakukan analisis dan pengujian skala penuh terhadap pelat lantai *b-deck*. Pengujian meliputi ketahanan pelat terhadap api dan analisis dilakukan dengan perangkat lunak sebagai verifikasi dan mempelajari perilaku pelat terhadap beban mekanikal dan beban thermal. Melalui pengujian ini akan didapat informasi tentang kinerja struktur.

Pengujian ketahanan api untuk dinding b-panel telah dilakukan pada tahun 2007, diuraikan dalam Bagian 2 dari tulisan ini. Untuk melengkapi perlindungan konsumen terhadap keseluruhan jenis elemen struktur ini maka perlu dilakukan pengujian ketahanan api terhadap lantai *sandwich* beton-*polystyrene*-beton yang dinamakan *b-deck*.

METODE PENELITIAN

Untuk membuktikan kinerja *b-deck* terhadap kemungkinan kebakaran, telah dilakukan pengujian tingkat ketahanan api pada tanggal 1 Juli 2010. Pengujian harus mengikuti prosedur yang ditetapkan dalam SNI 1741-2008 dan harus memenuhi tiga kriteria yaitu stabilitas, integritas, dan insulasi. Selanjutnya sebagai verifikasi terhadap hasil pengujian dilakukan analisa dengan perangkat lunak SAP2000 yang memodelkan pelat lantai dengan beban mekanikal berupa berat sendiri dan beban tambahan, diikuti dengan beban temperatur.

Pengujian dilakukan di Laboratorium Pengujian Puslitbang Permukiman Bidang Sains Bangunan, Dept. PU. Pengujian dilakukan pada tanggal 01 Juli 2010 atau tiga bulan setelah pembuatan sampel. Produk yang diuji pelat lantai sebanyak 1 buah dengan tebal 170 mm dengan sistem *b-deck* bertulangan tipe 2 besi. Jenis pengujian adalah mengukur tingkat ketahanan api yang mengacu pada SNI 1741-2008.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Teori dan Pengujian Sebelumnya

Beberapa penelitian pendahuluan terhadap material b-panel telah dilakukan selama tahun 2007-2010 dengan mengacu pada Peraturan Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung [Dept PU^a, 2002], Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung [Dept PU^b, 2002], dan Cara uji ketahanan api komponen struktur bangunan untuk pencegahan bahaya kebakaran pada bangunan rumah dan gedung [Dept PU, 2008]. Pengujian tersebut yaitu: (a) uji ketahanan api dinding, (b) uji transmisi suara, (c) uji thermal, (d) uji dinding terhadap beban lateral dan vertikal, (e) uji sambungan

antar dinding b-panel, (f) uji lantai b-panel, dan (g) uji skala penuh bangunan 3 dimensi dua lantai. Seluruh pengujian dilakukan di laboratorium Struktur, Pusat Penelitian dan Pengembangan Masalah Bangunan, Departemen Pekerjaan Umum, Cileunyi Bandung, kecuali pengujian transmisi suara dilakukan di laboratorium Program Studi Fisika Teknik Institut Teknologi Bandung.

Hasil uji ketahanan api terhadap dinding b-panel menunjukkan bahwa setelah dilakukan pembakaran selama 2 jam dengan temperatur mencapai 1000°C disatu sisi hanya menghasilkan temperatur 55°C disisi lainnya. Pengujian transmisi suara menunjukkan nilai STC (sound transmission coefficient) dari benda uji b-panel adalah 42-44, tetapi nilai kehilangan transmisi diatas 1000 Hz dapat mereduksi suara 60-70 dB.

Berdasarkan pada uji thermal, nilai koefisien dari dinding b-panel memberikan koefisien konduktivitas yang bervariasi antara 1.383, 1.616, 1.445, 1.678. Kesimpulan dari pengujian ini adalah: (a) semakin tinggi berat jenis *styrofoam* (*polystyrene*) akan semakin besar pula koefisien konduktivitas, (b) ketebalan *styrofoam* tidak berpengaruh pada nilai koefisien konduktivitas, (c) makin tinggi mutu beton akan memperbesar koefisien konduktivitas. [Sumargo, 2008].

Pengujian kemampuan menahan beban aksial dan lateral dilakukan melalui 2 pengujian masing-masing dengan 2 benda uji selebar 2,50 m dan tinggi 3,00 m, Foto 1. Setiap benda uji diberikan pembebanan vertikal statik dan lateral monotonik. Pada pengujian pertama beban aksial ditetapkan sebesar 8 ton dan besar gaya lateral yang mampu ditahan adalah 3,306 ton. Spesimen kedua ditetapkan untuk dapat menahan beban statik vertikal sebesar 20 ton dan beban dinamik lateral hingga lendutan 1% adalah 7,719 ton. [Sumargo^b, 2009]



Foto 1. Pengujian dinding b-panel



Foto 2. Pengujian sambungan antar dinding b-panel

Pengujian sambungan antar panel dilakukan dengan memberikan beban lateral dinamik pada b-panel membentuk denah “L” dengan lebar 1,20 m dan tinggi 3,00 m, Foto 2. Uji dilakukan untuk mengetahui kapasitas sambungan *wiremesh* antara 2 panel yang saling tegak lurus. Beban dinamik lateral hanya diterapkan pada satu sisi panel tanpa beban statik vertikal karena keterbatasan alat pengujian. Namun terjadi kerusakan pada sambungan antara *sloof* dengan panel dan pengujian dihentikan pada beban lateral 600 kg. Tidak terjadi keretakan sambungan pada kondisi beban ini. [Sumargo^b, 2009].

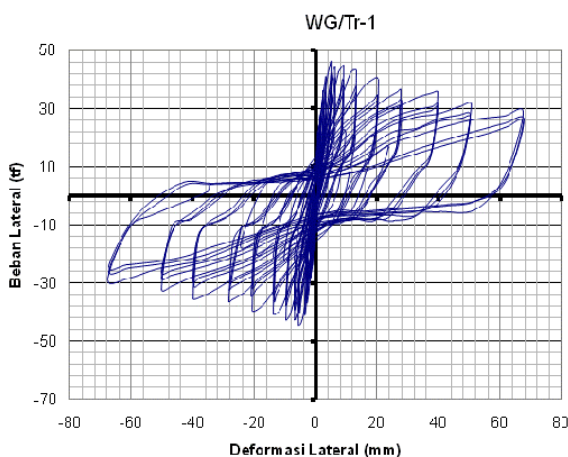
Selanjutnya pada tahun 2009-2010 dilakukan pengujian struktur bangunan 2 lantai dengan

luas lantai 18 m^2 berukuran $6 \times 3,0$ dan atap datar yang juga terbuat dari elemen b-panel. Elemen penyusun bangunan yang diuji terdiri dari lantai *b-deck* dan dinding b-panel untuk mendapatkan informasi tentang kinerja struktur. Pada bangunan ini diberikan gaya *pseudo* dinamik sebagai simulasi beban gempa di zona gempa 6, Foto 3. Pengujian menunjukkan bahwa bangunan mampu menahan beban lateral sampai dengan 54 ton dibandingkan dengan gaya geser dasar wilayah gempa 6 yaitu sebesar 6,6 ton, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1. Namun demikian terjadi pergerakan pada sambungan dinding dengan *sloof* bangunan sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan terhadap sambungannya.

Perbaikan terhadap sambungan sedang dilakukan, pembuatan 3 benda uji dinding telah diselesaikan dan pengujian akan dilaksanakan pada minggu ke 2 Oktober 2010. Diharapkan pengujian ini dapat menyelesaikan permasalahan yang muncul seperti pada pengujian bangunan 2 lantai sebelumnya.



Foto 3. Pengujian bangunan 2 lantai



Gambar 1. *Hysteresis Loop Transducer Lantai Atas*

Untuk melengkapi pengujian yang telah dan sedang dilakukan, pada tanggal 1 Juli 2010 telah dilakukan pengujian Tingkat Ketahanan Api untuk pelat lantai sebagai bagian dari perlindungan terhadap konsumen.

Tingkat Ketahanan Api

Kurva beban-defleksi dari hasil pengujian struktur atau elemen struktur dapat menjelaskan perilaku benda uji. Perhitungan kapasitas daya dukung beban dari pelat beton bertulang didasarkan pada pelat yang runtuh akibat lentur saja dan teori ini banyak diadopsi oleh banyak peraturan perancangan pelat beton bertulang. Tetapi jika pelat dikekang secara lateral, pelat akan melengkung dari satu batas ke batas lainnya. Hal ini menghasilkan gaya tekan membran dalam pelat beton, sehingga dapat meningkatkan kapasitas daya dukung beban.

Saat komponen dari bangunan terbakar, temperatur di sekitar elemen struktur akan meningkat. Karena kekuatan dan kekakuan material berkurang dengan meningkatnya temperatur, kapasitas daya dukung beban juga akan menurun. Kondisi batas keruntuhan dari elemen struktur dicapai jika kapasitas daya dukung beban berada dibawah beban yang bekerja pada elemen. Saat ini, kondisi batas tersebut tidak diijinkan. Oleh karenanya, pedoman perancangan merekomendasikan agar elemen struktur dilindungi untuk mereduksi peningkatan temperatur saat terjadi kebakaran sehingga kapasitas daya dukungnya lebih tinggi dari pada beban yang bekerja pada temperatur maksimum.

Disamping prinsip perlindungan api untuk elemen struktur guna mencegah keruntuhan struktur saat terjadi kebakaran merupakan hal yang harus dilakukan dan praktek perlindungan api selama ini terbukti aman, penerapannya dalam hal perlindungan terhadap api untuk seluruh bangunan harus diperiksa dengan seksama dengan alasan:

1. Pendekatan yang ada sekarang untuk ketahanan terhadap api dari elemen struktur didasarkan pada batas lendutan dalam uji ketahanan api atau keruntuhan struktur pada defleksi yang kecil. Karena tujuan utama dari perancangan keamanan terhadap api adalah mencegah keruntuhan total bangunan, defleksi yang besar dari elemen struktur dapat ditolerir. Dengan demikian kontrol defleksi tidak lagi berarti. Hal yang lebih penting, suatu elemen struktur bisa stabil pada defleksi yang besar setelah ragam keruntuhan pertama pada defleksi yang kecil.
2. Ketahanan api dari struktur lengkap sangat berbeda dengan konsep ketahanan api untuk elemen tunggal struktur. Keruntuhan dari elemen individual terhadap akibat api berarti elemen tersebut tidak lagi aman untuk memikul beban, keruntuhan dari beberapa elemen struktur terhadap api tidak selalu membahayakan keamanan dari bangunan secara keseluruhan. Seringkali, ketahanan api dari struktur lengkap tidak tergantung dari keruntuhan elemen struktur karena kemampuan dari bagian struktur lainnya untuk mengembangkan pola pembebanan lain sebagai akibat runtuhnya salah satu atau beberapa bagian elemen struktur.

Standar uji ketahanan api komponen struktur bangunan untuk pencegahan bahaya kebakaran pada bangunan rumah dan gedung ini dimaksudkan untuk digunakan sebagai panduan dalam melakukan pengujian ketahanan api komponen-komponen struktur bangunan meliputi lantai, kolom, balok, atap, dan dinding bangunan. Tujuan dari standar uji ini adalah untuk menentukan Tingkat Ketahanan Api (TKA) komponen-komponen struktur bangunan yang dinyatakan dalam aspek-aspek stabilitas, integritas, dan insulasi terukur sebagai durasi dalam satuan waktu (menit). Tingkat Ketahanan Api menunjukkan lamanya (dalam menit) benda uji tetap memenuhi tiga kriteria kerja: stabilitas / integritas / insulasi. Dalam pengujian ini akan diperiksa perilaku pelat *sandwich* beton-

polystyrene-beton dalam pengujian tahan api dengan beban penuh.

Sesuai dengan standar, temperatur rata-rata tungku pembakaran yang diperoleh dari termokopel harus dimonitor dan dikontrol sehingga mengikuti hubungan temperatur – waktu pengujian berdasarkan persamaan berikut.

$$T = 345 \log_{10} (8t + 1) + 20 \quad (1)$$

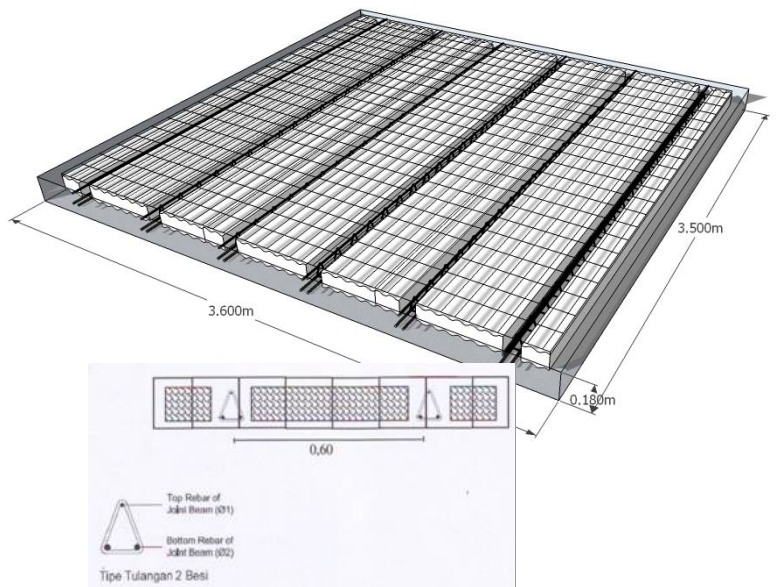
dengan

T adalah temperatur tungku perapian rata-rata, °C.

t adalah waktu, menit.

Spesifikasi

Sampel pelat lantai dibuat menggunakan *b-deck system* yang tersusun dari *b-foam polystyrene* dengan densitas $\pm 12 \text{ kg/m}^3$ dan wiremesh berukuran jaring 150 mm x 150 mm ditambah tulangan tipe 2 besi. Pelat lantai dibuat berukuran 3600 mm x 3500 mm x 170 mm dengan menggunakan mutu beton $\geq 22,5 \text{ MPa}$. Dimensi benda uji diperlihatkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Dimensi benda uji *b-deck system*

Kondisi Pengujian

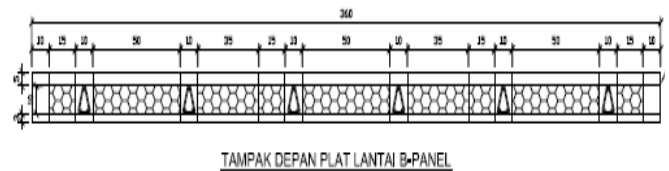
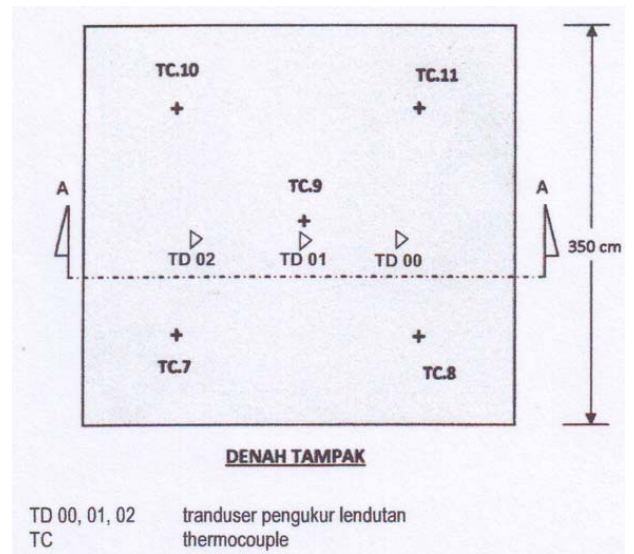
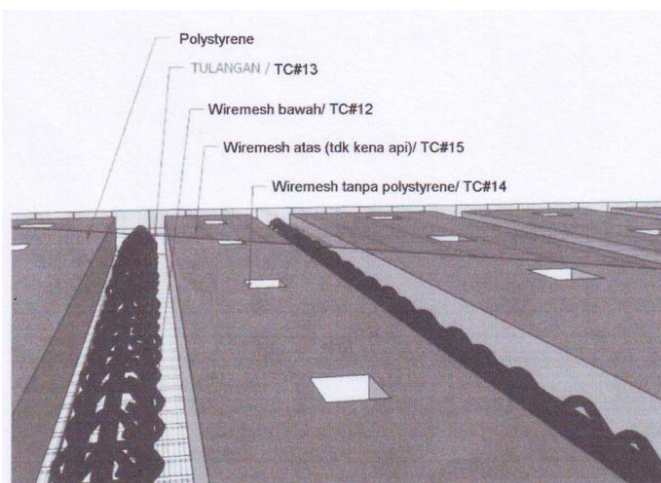
Pelat lantai diletakkan sebagai penutup pada tungku uji horizontal. Temperatur udara ambien pada permulaan pengujian adalah 25°C. Sedangkan temperatur tungku diatur agar mengikuti kurva waktu-temperatur standar sesuai SNI 1741-2008. Temperatur tungku diukur oleh enam buah termokopel (TC#1 – TC#6) yang ditempatkan secara merata dengan jarak 100 mm dari permukaan pelat lantai yang terekspos api. Temperatur permukaan belakang benda uji diukur dengan lima buah termokopel (TC#7 – TC#11) yang dipasang secara tetap pada permukaan sampel uji yang tidak terekspos api. Posisi termokopel diperlihatkan dalam Gambar 3. Temperatur di dalam pelat lantai dimonitor melalui empat buah termokopel yang dipasang dengan cara di las dengan lokasi sebagai berikut:

TC#12 dilas pada *wiremesh* bagian bawah, dekat dengan api.

TC#13 dilas pada tulangan

TC#14 dilas di *wiremesh* tanpa *polystyrene*, di bagian lubang di tengah balok *polystyrene*.

TC#15 dilas di *wiremesh* bagian atas yang terlindung *polystyrene*.



Gambar 3. Lokasi termokopel

Kemampuan pelat lantai dalam memikul beban dievaluasi dari lendutan yang terjadi selama pengujian. Lendutan ini dimonitor dengan tiga buah tranduser (TD) yang dipasang di bagian tengah pelat lantai. Suatu tranduser dipasang di titik tengah (TD#01), dua lainnya (TD#00 dan TD#02) dipasang pada jarak seperempat bentang dari tepi pelat lantai (lihat Gambar 3).

Selama pengujian, pelat lantai diberikan pembebanan statis secara merata menggunakan pemberat berupa karung pasir. Pembebanan yang diberikan adalah sebesar 200 kg/m². Keempat sisi pelat lantai bertumpu ke tepi/bordes tungku dalam keadaan bebas tanpa penjepit, Foto 4.

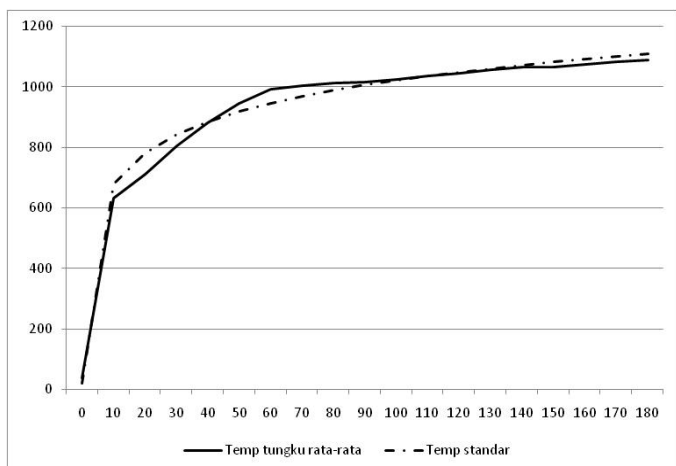


Foto 4. Tungku pengujian dan beban

Pengamatan Selama Pengujian

Pengujian berlangsung selama 180 menit dengan temperatur tungku rata-rata seperti diperlihatkan dalam Gambar 4 dan Tabel 1. Pada pembakaran puncak 180 menit, temperatur tungku mencapai 1090°C.

Kontrol toleransi dinyatakan dalam persentasi deviasi d_e dalam daerah kurva temperatur rata-rata yang direkan oleh termokopel tungku pembakaran terhadap waktu di daerah kurva standar waktu/temperatur dalam, dengan mengikuti rumusan dari SNI 1741-2008 di tabel 1.



Gambar 4. Kurva temperatur standar dibandingkan dengan kurva aktual

- a. $d_e \leq 15\%$ untuk 5
 $< t \leq 10$ (2a)
- b. $d_e = 15 - 0,5(t - 10)\%$ untuk 10
 $< t \leq 30$ (2b)
- c. $d_e = 5 - 0,083(t - 30)\%$ untuk 30
 $> t \leq 60$ (2c)
- d. $d_e = 2,5\%$ untuk t
 > 60 (2d)

dengan

d_e adalah persen deviasi

A adalah luas daerah di bawah kurva waktu-temperatur aktual

A_s adalah luas daerah di bawah kurva waktu-temperatur standar

t adalah waktu, menit.

Semua luas dihitung dengan metode yang sama, dengan menjumlahkan luas di bawah kurva dengan interval tidak lebih dari 1 menit untuk (a) dan 5 menit untuk (b), (c), dan (d) dihitung dari waktu nol.

Selama 10 menit pertama pengujian, perbedaan temperatur di mana pun dalam tungku pembakaran terhadap temperatur standar tidak boleh lebih dari 100°C. Untuk benda uji bahan yang mudah menyala dalam jumlah besar seperti halnya pada *polystyrene*, maka deviasi berlebih boleh terjadi selama tidak lebih dari 10 menit dengan ketentuan bahwa deviasi tersebut jelas teridentifikasi sebagai hasil pembakaran bahan mudah menyala tersebut jumlah signifikan sehingga meningkatkan temperatur rata-rata tungku.

Temperatur permukaan belakang (*unexposed surface*) diperlihatkan dalam Gambar 5 dan Tabel 2, sedangkan temperatur internal pada pelat lantai diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Data temperatur permukaan belakang (*unexposed surface*)

Menit ke-	TC #7	TC# 8	TC# 9	TC# 10	TC# 11	Rata-rata	Maksimum
	oC	oC	oC	oC	oC		
0	24,3	22,8	25,4	23,8	24,5	24,2	25,4
10	24,2	24	24,5	23,8	24,7	24,2	24,7
20	24,3	24	24,5	24	24,8	24,3	24,8

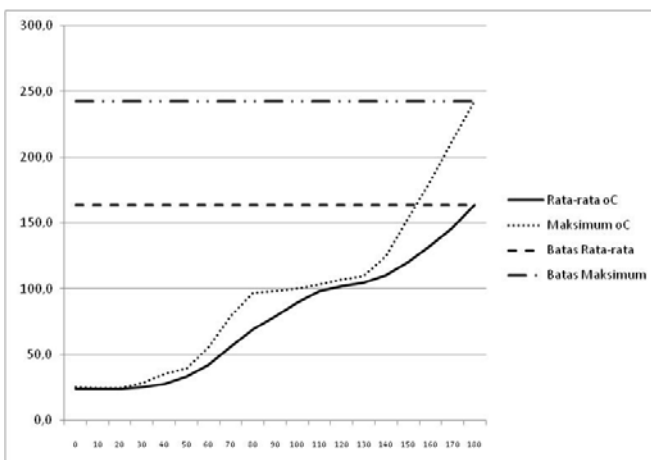
30	28,5	25,2	24,4	25,6	24,8	25,7	28,5
40	35,1	25,3	26,9	27,6	25,8	28,1	35,1
50	39,5	27,9	39,6	32,1	27,7	33,4	39,6
60	46,6	33	55,3	42,1	36,6	42,7	55,3
70	58,0	41,7	79,3	53,3	48,3	56,1	79,3
80	68,8	53,8	96,8	64,2	62,8	69,3	96,8
90	78,5	66,8	98,5	75,4	77	79,2	98,5
100	90,2	80	100,1	85,4	92,7	89,7	100,1
110	98,7	92,6	102,6	93,8	103,5	98,2	103,5
120	99,1	101,7	104,6	99,1	107,3	102,4	107,3
130	100,5	105,7	108,1	100,9	109,8	105,0	109,8
140	106,8	106,3	106,1	101,7	112,7	110,5	125,0
150	121,3	107,9	107,1	116,1	120,5	154,0	154,0
160	146,9	111,2	182,2	104,9	120	133,0	182,2
170	173,1	113,8	212,5	106,4	127,1	146,6	212,5
180	196,2	120,6	242,5	113,6	146,7	163,9	242,5

50	N.A	263,9	428,7	58,8
60	N.A	329,5	512,9	88,9
70	N.A	405,1	568,8	102,1
80	N.A	465,2	614,9	107,9
90	N.A	507,9	650,9	117,6
100	N.A	539,5	680,1	137,2
110	N.A	568	708,9	162
120	N.A	593,4	735,7	187,2
130	N.A	623	762	216,4
140	N.A	649,8	788	247,8
150	N.A	672,1	805,6	276,9
160	N.A	691,2	824,6	303,4
170	N.A	710,1	842,6	326,6
180	N.A	729,4	859,6	348,5

Pengamatan yang dilakukan selama pengujian ini diberikan dalam Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Pengamatan selama pengujian

Waktu (menit)	Pengamatan
00	Pengujian dimulai
15	Asap mulai keluar dari bagian samping benda uji
60	Lendutan maksimum 24,72 mm
120	Lendutan maksimum 44,22 mm
180	Lendutan maksimum 60,84 mm
	Pengujian dihentikan



Gambar 5. Temperatur permukaan belakang (unexposed surface)

Tabel 3. Data temperatur termokopel internal

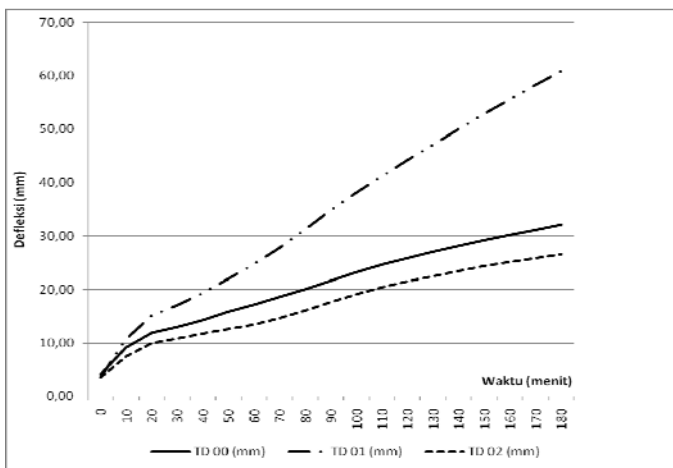
Menit ke-	TC#12 (oC)	TC#13 (oC)	TC#14 (oC)	TC#15 (oC)
0	N.A	24,4	24,9	23,6
10	N.A	71,7	82,6	24
20	N.A	125,3	121,3	24,3
30	N.A	156,7	170,8	25
40	N.A	203,2	313,2	33,1

Pengamatan terhadap lendutan yang terjadi pada pelat lantai selama pengujian diperlihatkan pada Tabel 5 dan Gambar 6. Dari gambar defleksi terhadap waktu tampak bahwa kekakuan benda uji turun secara signifikan saat pembakaran berlangsung antara menit ke 0 dan 10 atau saat temperatur mencapai sekitar 632°C. Hal ini menunjukkan bahwa *b-deck system* ini dapat memikul beban mati dan simulasi beban hidup dengan cukup baik yaitu dengan lendutan tidak lebih dari 10,68 mm. Tetapi setelah pembakaran berlanjut hingga mencapai 1090°C, terjadi

lendutan yang semakin besar dengan maksimum 60,84 mm.

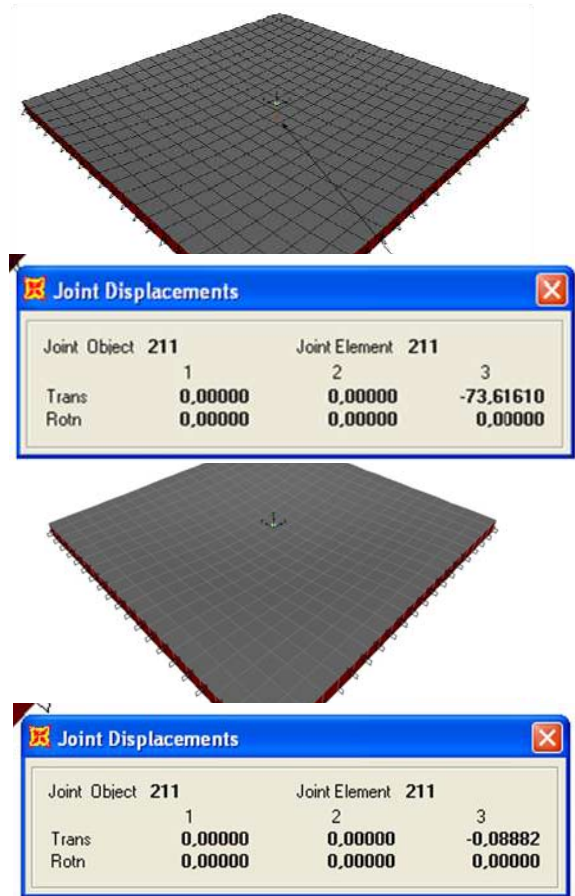
Tabel 5. Lendutan selama pengujian

Menit ke-	TD 00 (mm)	TD 01 (mm)	TD 02 (mm)
0	4,16	3,50	3,57
10	9,24	10,68	7,57
20	11,98	15,12	10,08
30	13,01	17,06	10,90
40	14,35	19,40	11,88
50	15,90	22,00	12,68
60	17,23	24,72	13,53
70	18,60	27,80	14,69
80	20,06	31,22	16,11
90	21,69	34,82	17,65
100	23,23	38,16	19,09
110	24,62	41,24	20,44
120	25,80	44,22	21,55
130	26,97	47,18	22,49
140	28,07	50,08	23,39
150	29,18	52,92	24,32
160	30,17	55,60	25,12
170	31,15	58,26	25,83
180	32,05	60,84	26,53



Gambar 6. Lendutan terhadap waktu

Analisis dengan SAP2000



Gambar 7. Lendutan maksimum untuk kondisi tumpuan (a) sendi dan (b) jepit

Hasil pengujian telah juga dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 7. Kedua gambar ini menunjukkan lendutan maksimum untuk kondisi tumpuan yang berlainan yaitu kondisi sendi dan jepit pada semua titik. Perbedaan yang mencolok tampak bahwa untuk kondisi tumpuan jepit akan memberikan lendutan sangat kecil yaitu sebesar 0,08882 mm, sedangkan untuk kondisi tumpuan sendi memberikan lendutan sebesar 73,6161 mm. Kondisi tumpuan sendi merupakan simulasi dari kondisi pelat dalam pengujian, namun terdapat perbedaan dengan kondisi lendutan aktual sebesar 60,84 mm. Hal ini bisa disebabkan oleh beberapa hal, antara lain: (a) balok anak tidak dapat dimodelkan dengan sempurna pada perangkat lunak, (b) kondisi tumpuan yang tidak mencerminkan kondisi

aktual, (c) karakteristik elemen struktur beton dan baja yang tidak dapat diwakili sepenuhnya oleh perangkat lunak, dan (d) model dari elemen struktur lapisan pelat juga tidak dapat diwakili dengan baik oleh perangkat lunak.

Sedangkan perbedaan lendutan yang sangat mencolok antara kedua jenis tumpuan ini dapat mewakili kondisi pelat lantai yang hampir tidak pernah berdiri sendiri melainkan akan menjadi struktur lengkap yang berhubungan dengan balok atau dinding yang akan memberikan kekangan sehingga mengurangi lendutan.

Dengan perbandingan berat pelat lantai konvensional untuk tebal yang sama yaitu 170 mm sebesar 408 kg/m² berbanding 240 kg/m², atau *b-deck system* mempunyai berat 42% lebih ringan dengan kemampuan daya dukung beban yang lebih tinggi dibandingkan dengan pelat beton konvensional [Sumargo^b, 2009] pada kondisi normal dan juga memenuhi kriteria SNI 1741-2008. Dengan keunggulan ini, *b-deck system* akan menghasilkan struktur yang lebih ringan dan secara total struktur juga menjadi lebih ekonomis.

KESIMPULAN

Benda uji pelat lantai tebal 170 mm menggunakan *b-deck system* dengan tulangan tipe 2 besi, mutu beton lebih besar dari 22,5 MPa memenuhi persyaratan Tingkat Ketahanan Api (TKA) 180/180/160 sesuai dengan SNI 1741-2008. TKA 180/180/160 diartinya bahwa selama 180 menit pengujian benda uji memenuhi kriteria **stabilitas** yaitu tetap memenuhi kriteria kinerja sebagai komponen struktural pemikul beban; bahwa benda uji memenuhi kriteria **integritas** karena benda uji tidak terjadi retak tembus asap/api; bahwa benda uji memenuhi kriteria **insulasi** dimana kenaikan temperatur maksimum permukaan sisi belakang benda uji (*unexposed surface*) tidak lebih dari 180°C atau kenaikan temperatur rata-rata tidak lebih dari 140°C di atas temperatur awal.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih disampaikan kepada PT. Beton Elemenindo Putra yang telah memberikan seluruh informasi tentang pengujian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Departemen Pekerjaan Umum^a (2002), *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002*.
- [2] Departemen Pekerjaan Umum^b (2002), *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 03-1726-2002*.
- [3] Departemen Pekerjaan Umum (2008), *Cara uji ketahanan api komponen struktur bangunan untuk pencegahan bahaya kebakaran pada bangunan rumah dan gedung SNI 1741-2008*.
- [4] Sumargo (2008), *Uji Thermal dan Akustik Dinding B-panel*, Laporan Pengujian, Tidak dipublikasikan, Agustus 2008.
- [5] Sumargo^a (2009), *Pengujian Pelat Lantai B-Panel Skala Penuh Terhadap Beban Vertikal*, Vol. 3, Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian, Politeknik Negeri Jakarta. Dipresentasikan.
- [6] Sumargo^b (2009), "*Pengujian Dinding B-Panel Skala Penuh Terhadap Beban Vertikal dan Lateral*", Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian, Politeknik Negeri Jakarta, 12 Januari 2009.
- [7] Sumargo (2010), *Analisis Struktur dan Evaluasi Kinerja Bangunan Sandwich Beton-Styrofoam-Beton*. ISBN: 978-602-96648-0-5, Proceeding Seminar Nasional 2010, Sekolah Tinggi Teknologi Banten Jaya, Serang, 18 Maret 2010. Dipresentasikan.

Tabel 1. Data termokopel tungku

Menit ke-	Temperatur tungku rata-rata (oC)	Temperatur Standar SNI 1741-2008 (oC)	Luas area di bawah kurva tungku A (menit.oC)	Luas area di bawah kurva standar As (menit.oC)	Deviasi
0	37	20			
10	632	678,4	3345,00	3492,14	-4,21
20	712	781,4	6720,00	7298,91	-7,93
30	806	841,8	7590,00	8115,75	-6,48
40	882	884,7	8440,00	8632,70	-2,23
50	947	918,1	9145,00	9014,15	1,45
60	992	945,3	9695,00	9317,12	4,06
70	1006	968,4	9990,00	9568,66	4,40
80	1013	988,4	10095,00	9783,79	3,18
90	1018	1006,0	10155,00	9971,77	1,84
100	1026	1021,8	10220,00	10138,70	0,80
110	1036	1036,0	10310,00	10288,85	0,21
120	1047	1049,0	10415,00	10425,28	-0,10
130	1058	1061,0	10525,00	10550,30	-0,24
140	1066	1072,1	10620,00	10665,67	-0,43
150	1068	1082,4	10670,00	10772,78	-0,95
160	1075	1092,1	10715,00	10872,73	-1,45
170	1084	1101,2	10795,00	10966,43	-1,56
180	1090	1109,7	10870,00	11054,60	-1,67