

KEMAMPUAN LAYAN PLAT LANTAI EKSTING DITINJAU DARI ASPEK PERENCANAAN DAN HASIL PENGUJIAN

Antonius¹, Prabowo Setiyawan² dan Danna Darmayadi³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50012
Email: antoni67a@yahoo.com, prabowosetiyawan@gmail.com, darmayadi@yahoo.com

Abstrak

Paper ini membahas tentang investigasi perilaku plat lantai pada struktur bangunan gedung eksisting yang difungsikan sebagai tempat parkir mobil, dimana berdasarkan kondisi yang ditemui di lapangan telah terjadi penurunan/defleksi plat yang signifikan di beberapa lokasi. Kondisi tersebut dikhawatirkan akan menurunkan kapasitas penampang yang dimiliki plat terhadap beban terfaktor aktual sehingga menimbulkan keraguan akan kemampuan layan plat yang sesungguhnya. Investigasi dilakukan dengan mengevaluasi sistem struktur, gambar perencanaan termasuk pendetailan tulangan serta kualitas bahan yang digunakan. Tahap selanjutnya adalah pengujian (Loading Test) secara skala penuh/full scale terhadap plat dengan memberikan beban air secara bertahap. Hasil investigasi menunjukkan bahwa terjadi degradasi kualitas bahan beton secara signifikan dengan nilai kuat tekan karakteristik sebesar K177, dimana nilai tersebut jauh di bawah ketentuan dalam SNI beton untuk bangunan gedung. Tinjauan detail penulangan pada gambar perencanaan tidak memenuhi kaidah standar maupun aspek mekanika, seperti misalnya sambungan tulangan plat maupun penyaluran tulangan dari balok ke kolom. Berdasarkan hasil pengujian plat dan analisis yang dilakukan, ternyata plat lantai eksisting yang ditinjau hanya mampu menahan beban hidup sebesar 195 kg/m² atau kurang dari 50% beban hidup untuk kendaraan mobil yang seharusnya dapat dipikul. Hasil investigasi yang telah dilakukan memberi pelajaran penting bahwa dalam desain maupun pelaksanaan harus memperhatikan standar maupun kaidah teknis struktur agar mencapai tingkat keamanan maupun kenyamanan yang diinginkan.

Kata kunci: plat lantai; kemampuan layan; detail tulangan; Loading Test

Pendahuluan

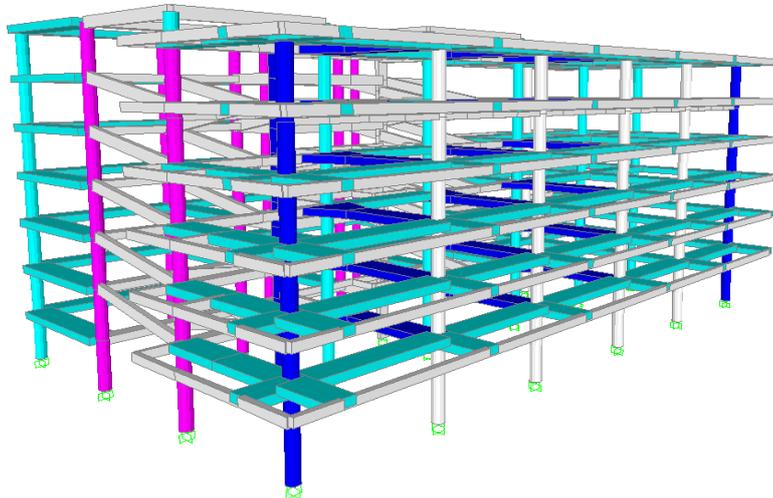
Dewasa ini pembangunan gedung bertingkat di Indonesia telah didukung oleh beberapa peraturan atau standar yang cukup *up to date*, seperti standar perencanaan gedung untuk baja (SNI 03-1729-2000), standar perencanaan gedung untuk beton (SNI 03-2847-2002) maupun standar perencanaan gedung tahan gempa (SNI 03-1726-2002). Konsep beban terfaktor dan kuat perlu diterapkan pada standar tersebut agar setiap elemen struktur mempunyai kapasitas penampang yang cukup dan tingkat keamanan yang memadai.

Namun dalam kenyataannya, masih sering dijumpai kegagalan struktur sehingga kapasitas elemen struktur tidak sesuai dengan yang direncanakan. Selain hal tersebut, kaidah-kaidah perencanaan/pelaksanaan struktur bangunan, terlebih untuk bangunan tahan gempa, kadangkala belum sepenuhnya diterapkan pada pelaksanaan struktur bangunan. Kegagalan maupun kerusakan pada struktur gedung dapat disebabkan oleh sistem bangunan yang digunakan tidak sesuai dengan tingkat kerawanan daerah setempat terhadap gempa, rancangan struktur dan detail penulangan yang diaplikasikan pada dasarnya kurang memadai, kualitas material dan praktek konstruksi pada umumnya kurang baik atau pengawasan dan kontrol pelaksanaan pembangunan kurang memadai [Imran et al 2006, Shakya et al, 2013].

Salah satu komponen struktur utama dalam bangunan gedung adalah struktur plat, dimana secara struktur fungsinya adalah sebagai diafragma atau pengikat antar balok maupun kolom, dan plat tersebut secara langsung menerima beban mati maupun beban hidup beserta kombinasinya. Beberapa contoh beban yang langsung dipikul oleh plat lantai selain berat sendiri adalah beban spesi, keramik, dinding dan beban hidup seperti kendaraan atau mobil.

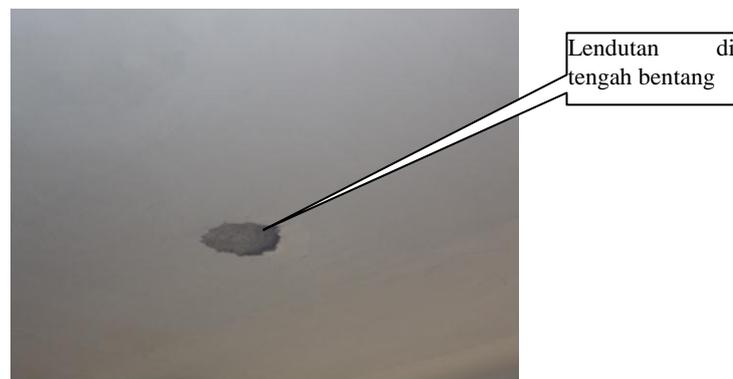
Salah satu plat lantai yang terindikasi mengalami degradasi kualitas adalah plat lantai yang difungsikan sebagai tempat parkir mobil yang terletak di salah satu gedung di kota Semarang. Gedung tersebut terdiri dari 8 (delapan) lantai dengan fungsi utama sebagai tempat parkir bagi kendaraan roda empat (pemodelan struktur pada Gambar 1). Bahan utama gedung tersebut terbuat dari struktur beton bertulang dan sistem struktur yang digunakan

adalah portal, dimana kolom-kolom utama sebagai penyangga dirangkai oleh balok. Secara detail sistim elemen struktur adalah gabungan antara semi-struktur rangka dan model plat cendawan, karena tinggi balok (h) relatif tidak sebanding dengan bentangnya dan di atas kolom diberi penebalan. Berdasarkan letak gedung yang berada di kota Semarang, maka struktur gedung tersebut termasuk sistim Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dimana pada dasarnya sistem struktur ini setidaknya harus didesain dengan tingkat daktilitas sedang.



Gambar 1. Struktur gedung parkir 3 D

Berdasarkan tinjauan di lapangan, ternyata banyak ditemui penurunan/defleksi plat di beberapa lantai, dan defleksi terbesar adalah plat di lantai 6 yang mengalami penurunan sangat signifikan, dimana secara visual lendutan yang terjadi dapat diindikasikan bahwa plat telah mengalami deformasi inelastik atau lendutan yang sangat signifikan (Gambar 2). Hal ini akan membahayakan kendaraan/mobil yang melewati plat lantai tersebut. Berdasarkan kondisi tersebut, maka perlu dilakukan evaluasi terhadap plat terutama untuk mengetahui beban yang masih mampu didukung.

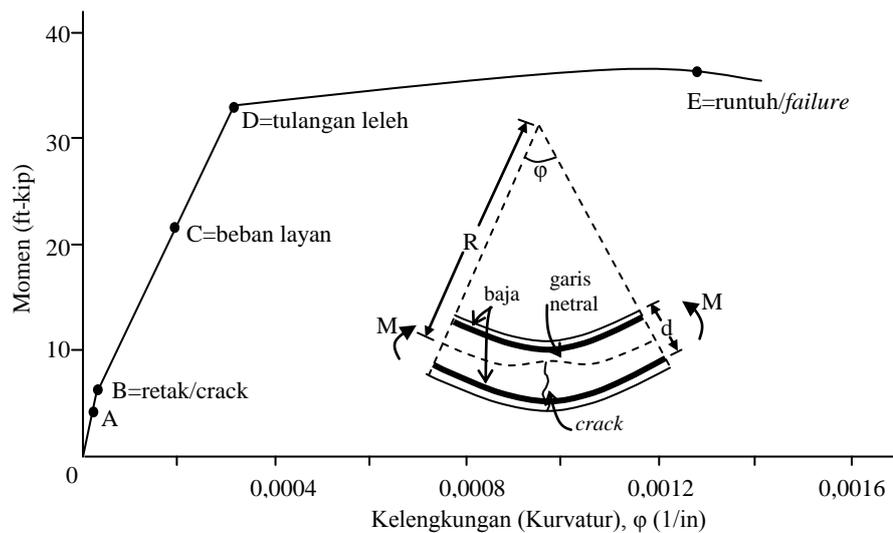


Gambar 2. Plat Lantai 6 bagian bawah dan kondisi lendutan

Paper ini menguraikan investigasi pada struktur plat gedung eksisting tersebut di atas yang bertujuan untuk mengetahui tingkat keamanan ataupun beban yang masih mampu dipikul paska terjadinya defleksi plat yang berlebihan. Pengujian skala penuh (*Loading Test*) dilakukan dengan memberi beban air secara bertahap hingga diperoleh gambar perilaku beban terhadap lendutan sebagai dasar evaluasi penentuan kemampuan layan plat.

Perilaku Lentur Beton Bertulang

Secara umum, plat lantai karena ukuran panjang dan lebarnya relatif sangat besar terhadap tebalnya maka plat tersebut akan mengalami lentur, baik searah maupun dua arah tergantung jenis plat yang digunakan. Secara garis besar, perilaku balok maupun plat beton bertulang dalam menahan lentur dapat dijelaskan seperti Gambar 3.



Gambar 3. Perilaku momen-kurvatur balok beton bertulang [Wight and MacGregor 2009]

Pada saat awal, dimana retak belum terjadi, nilai kelengkungan yang terjadi akibat momen maupun beban yang bekerja adalah sangat kecil, sehingga distribusi tegangan yang diperoleh pada dasarnya masih linier (titik A). Pada kondisi ini hubungan momen dan kelengkungan pada penampang juga bersifat linier (lihat segmen O-B).

Jika beban yang bekerja terus ditingkatkan, retak akan terjadi pada tepi bawah penampang yang mengalami momen maksimum. Retak terjadi pada saat tegangan tarik pada tepi bawah mencapai kekuatan tarik beton. Pada saat terjadi gaya tarik pada beton di lokasi retak akan ditransfer ke tulangan baja, sehingga penampang beton yang efektif dalam menahan momen menjadi berkurang. Pada saat ini kekakuan balok juga berkurang (segmen B-C-D). Jika beban terus ditingkatkan, pada akhirnya tulangan baja akan leleh (titik C). Setelah leleh terjadi, kelengkungan balok meningkat dengan cepat dengan sedikit peningkatan pada momen (segmen D-E). Titik C tersebut di atas sering disebut dengan batas layan struktur.

Metode Investigasi

Investigasi ini dilakukan dengan metode pengujian di lapangan dan analisis struktur. Data Primer yaitu data-data yang diperoleh dari hasil pengujian di lapangan, namun untuk Data Sekunder karena gambar *As-Built Drawing* tidak ada, maka kondisi struktur eksting diukur secara manual.

Tahapan Pelaksanaan Investigasi

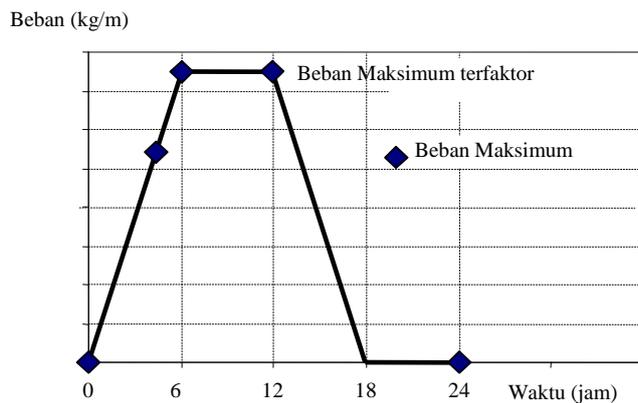
Tahapan investigasi dimulai dengan pengamatan visual untuk mengetahui retak permukaan pada beton, dan ada tidaknya deformasi pada elemen struktur. Tahap berikutnya adalah Pengujian Lapangan yaitu uji non-destruktif meliputi *hammer test*, dan pengujian semi-destruktif yaitu *Loading Test* dengan menggunakan beban air. ACI-318-11 menyarankan bahwa besarnya beban yang harus diaplikasikan selama *Loading Test* (termasuk beban mati yang sudah ada pada struktur) adalah:

$$\text{Beban total} \geq 0,85 (1,4D+1.L) \quad (1)$$

Dimana D=beban mati

L=benda hidup (termasuk faktor reduksinya)

Skema pembebanan air dilakukan secara bertahap yang diperlihatkan pada Gambar 4. Pentahapan beban sampai dicapai beban maksimum terfaktor adalah dalam waktu enam jam pertama. Apabila kurva Beban-Perpindahan yang diperoleh tidak menunjukkan tanda terjadi deformasi inelastik maka pengisian beban air dilakukan hingga dicapainya beban maksimum terfaktor dimana beban ini berlangsung statis selama enam jam. Selama waktu tersebut diamati perilaku plat hingga dalam enam jam terakhir dilakukan pengurangan beban sampai air kosong (beban nol). Apabila selama proses penambahan beban tersebut terjadi deformasi inelastik ataupun sifat non-linearitas yang tinggi pada kurva beban-deformasi, maka pembebanan segera dihentikan dan langsung dilakukan pengurangan beban secara bertahap.



Gambar 4. Skema tahap pembebanan Loading Test

Hasil Investigasi dan Pembahasan

Tinjauan Detail Gambar Perencanaan

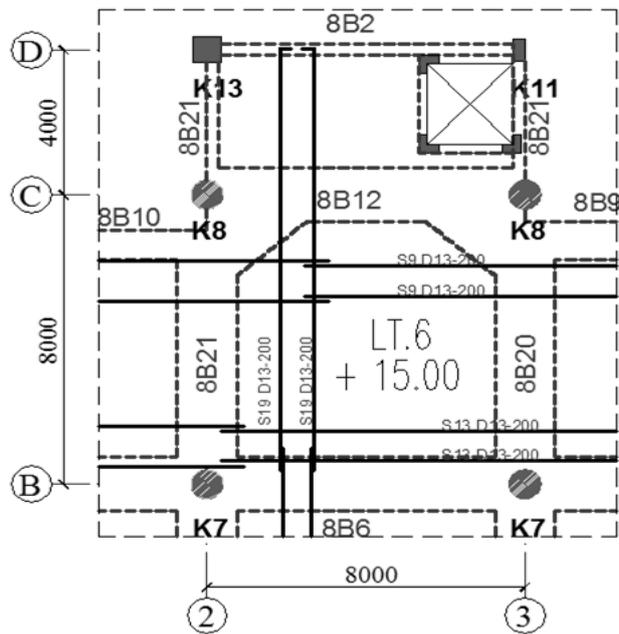
Gambar tulangan Plat

Tinjauan terhadap gambar perencanaan plat dilakukan dengan mengevaluasi gambar sistim penulangan, yang salah satunya diperlihatkan pada Gambar 5. Berdasarkan gambar tersebut diketahui bahwa plat menggunakan tulangan ganda, dan pada semua bentang baik di daerah tumpuan maupun lapangan menggunakan diameter dan jarak yang sama yaitu D13-200. Sistim pemasangan tersebut dalam prinsip analisis struktur di luar kebiasaan dimana pada umumnya pemasangan rasio/luas tulangan yang direpresentasikan dalam jarak tulangan di daerah tumpuan seharusnya lebih rapat daripada tulangan di lapangan. Pada bagian lain terlihat pendetailan sambungan tulangan dimana letak sambungan tersebut diletakkan di daerah yang akan dilewati garis leleh plat (Gambar 6). Sebagaimana diketahui pada daerah yang dilewati garis leleh adalah daerah yang mengalami tegangan tarik terbesar. Dengan letak sambungan di daerah yang dilewati garis leleh tersebut akan menyebabkan sambungan *lap splices* tulangan juga akan mengalami gaya tarik yang besar dan akan memicu kehilangan lekatan (*debonding*) antara tulangan dengan beton. Perilaku tersebut akan mengakibatkan perilaku lentur yang berlebihan dan momen yang terjadi di daerah tersebut juga meningkat. Perilaku ini dapat memicu plat untuk melendut secara signifikan pada daerah tersebut.

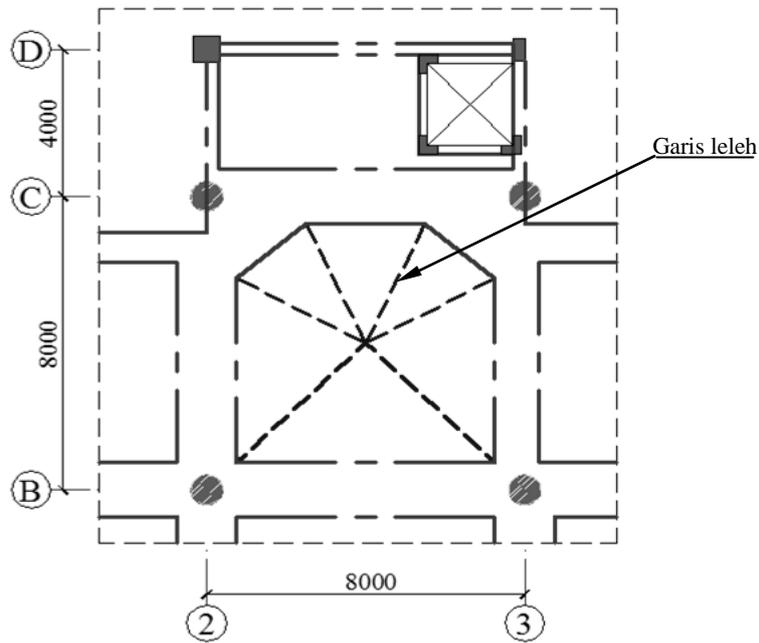
Gambar tulangan Balok

Tinjauan pemasangan tulangan balok As-B menunjukkan bahwa pada daerah tumpuan, tulangan paling atas adalah 10D19 dan tulangan pada lapisan bawahnya adalah 14D19 (Gambar 7). Secara mekanika pemasangan tersebut adalah terbalik dimana seharusnya tulangan dengan jumlah tulangan yang paling banyak adalah yang berada pada daerah tarik maksimum, dan apabila lebar penampang tidak mampu menampung jumlah tulangan maka tulangan sisanya dilimpahkan ke lapisan yang kedua. Dengan kondisi pemasangan seperti gambar tersebut maka kapasitas lentur balok dikhawatirkan tidak akan sebesar yang diprediksi dalam desain. Selain itu distribusi momen dari daerah lapangan akan terhambat karena tidak terbentuknya pengalihan momen secara sempurna. Keadaan ini juga dapat memicu terjadinya retak-retak dan lendutan plat di lapangan juga membesar.

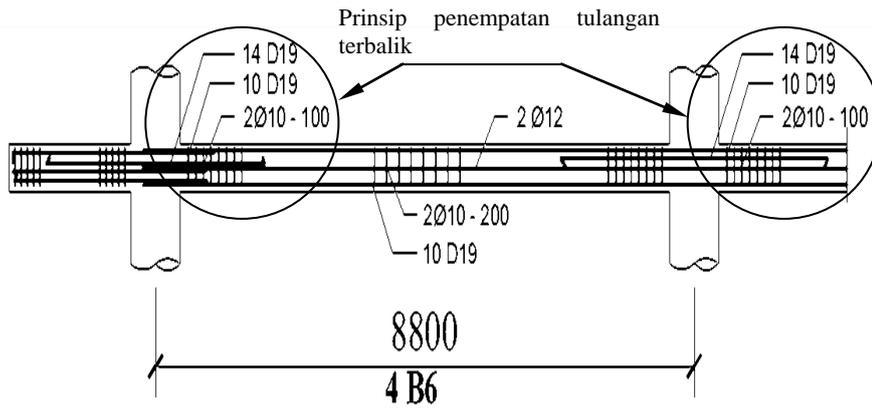
Pendetailan tulangan lainnya yang tidak sesuai standar dicontohkan pada balok As-C. Seperti terlihat pada Gambar 8, pada ujung kiri dan kanan tulangan hanya sekedar diletakkan mendatar, dimana pada daerah akhir terutama pada daerah kolom, tulangan seharusnya diangkurkan masuk ke kolom. Pendetailan tulangan lainnya yang tidak sesuai standar diperlihatkan pada balok As-2 dan As-3 (Gambar 9), dimana kasus pemasangan penulangan sama dengan penulangan balok As-B di atas dan kait tulangan yang dipasang terbalik.



Gambar 5. Gambar penulangan plat lantai 6 (gambar perencanaan)

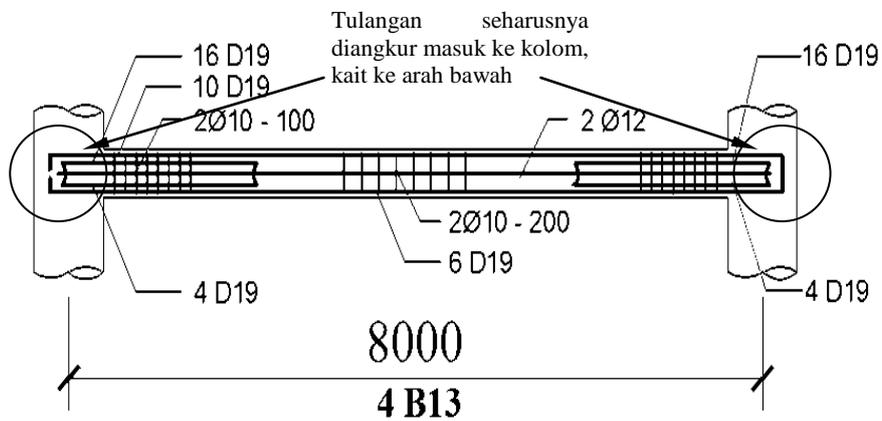


Gambar 6. Estimasi pola garis leleh pada plat



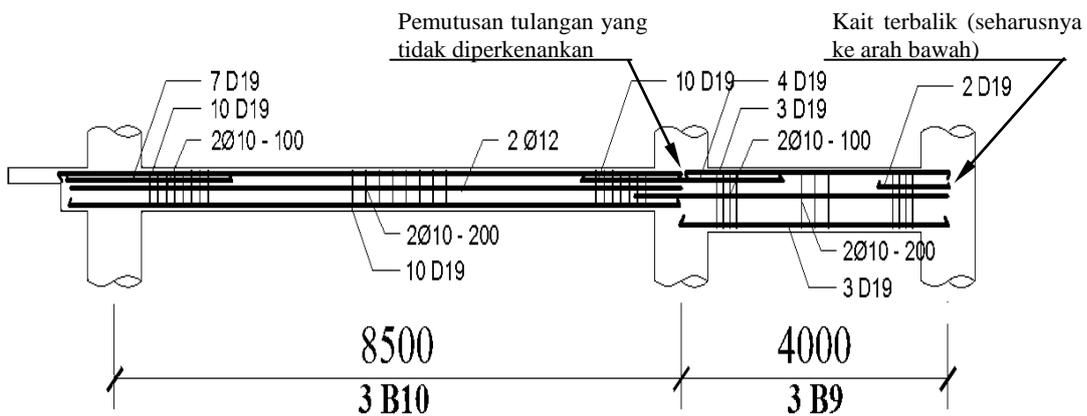
AS B +15.00

Gambar 7. Penulangan balok As-B



AS C +15.00

Gambar 8. Penulangan balok As-C



AS 2 & AS 3 +16.50

Gambar 9. Penulangan balok As-2 dan As-3

Mutu Beton Eksisting

Mutu beton eksisting dievaluasi dengan menggunakan sistim pengujian *Non-destructive* yaitu *Hammer Test* yang dilakukan di beberapa lantai bangunan karena pengujian *Semi-destructive* yaitu *Core Drill* tidak dilakukan mengingat kondisi plat lantai dan material yang terlihat rapuh. Hasil pengujian menunjukkan kuat tekan beton yang bervariasi dan mempunyai deviasi yang relatif besar. Disimpulkan bahwa kuat tekan beton karakteristik pada plat lantai yang paling kritis (lantai 6) adalah K177 atau setara dengan $f'_c=14,7$ MPa. Nilai kuat tekan tersebut sangat rendah bila dikaitkan dengan persyaratan kuat tekan beton minimum berdasarkan SNI beton (SNI 03-2847-2002) yang mensyaratkan bahwa kuat tekan beton minimal untuk material beton yang berada di daerah rawan gempa adalah setara dengan K250.

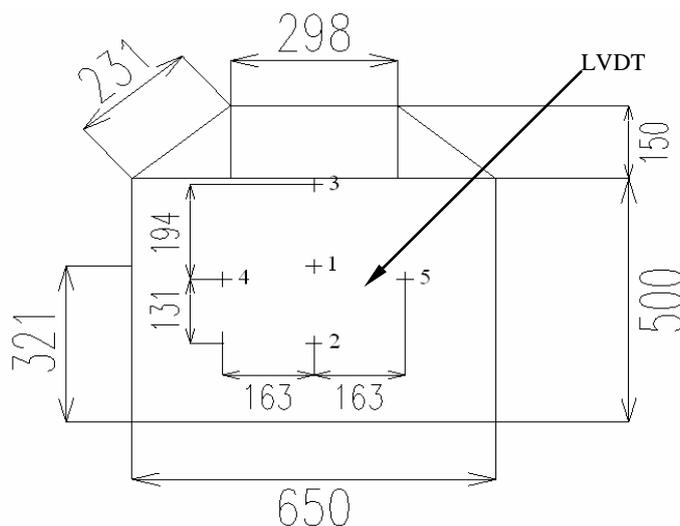
Uji Pembebanan (Loading Test)

Persiapan

Plat lantai yang akan dilakukan Loading test adalah Plat Lantai 6 (paling kritis) yaitu antara As 2-3 dan As B-C. Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan, bentang bersih plat lantai adalah 5x6,5 meter dengan tebal 150 mm. Langkah pertama Loading test adalah dengan membuat bak untuk menampung beban air pada plat lantai yang akan diuji. Bak air berfungsi sebagai cetakan (bekisting) dan terbuat dari kayu dan multiplek tebal 15 mm (Gambar 10). Untuk menghindari kebocoran di atas plat lantai dan di sisi dinding, maka di sebelah dalam bak dipasang plastik tebal. Untuk mengukur lendutan plat, di tengah bentang dipasang LVDT dengan kapasitas 100 mm (titik 1). Pada titik 2, 3, 4 dan 5 dipasang dial gauge kapasitas 25 mm. Skema penempatan pengukur lendutan ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 10. Pemasangan bekisting untuk Loading Test

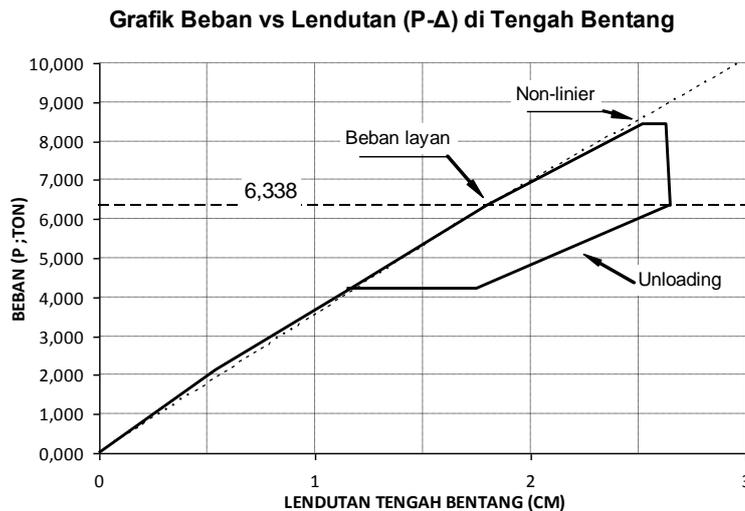


Gambar 11. Lokasi penempatan perekam lendutan (LVDT) dan Dial gauge pada plat

Hasil Loading Test

Penambahan beban air dilakukan secara bertahap dengan inkrementasi penambahan ketinggian air sebesar 50 mm. Pada setiap penambahan tinggi air dilakukan pengamatan pada daerah bawah plat dan pola retak diamati dan ditandai. Dalam waktu yang bersamaan juga dibuat kurva hubungan Beban terhadap Lendutan ($P-\Delta$) untuk mengetahui perilaku plat akibat penambahan beban.

Gambar 12 menunjukkan bahwa hingga beban air mencapai beban ekuivalen sekitar 5-6 ton, dapat dikatakan bahwa perilaku plat masih bersifat linier/proporsional. Pada tahap selanjutnya dalam pengamatan kurva $P-\Delta$ (selama kurang lebih 4 jam pertama), ternyata pada beban ekuivalen sekitar 8,5 ton perilaku kurva $P-\Delta$ mulai menyimpang dari kondisi linier. Perilaku ini mengindikasikan bahwa beton sudah tidak mampu menahan beban dan tulangan telah leleh.



Gambar 12. Kurva Beban-Lendutan plat di tengah bentang

Mengingat sifat lendutan yang inelastik dan struktur yang diuji adalah struktur eksisting, maka penambahan beban air dihentikan dan dalam pengamatan selama sekitar 1 jam ternyata lendutan plat tetap bertambah. Perilaku ini mirip dengan efek *strain hardening* pada sifat baja. Maka tahap selanjutnya adalah pengurangan beban air secara bertahap untuk menghindari keruntuhan plat.

Berdasarkan pengolahan pada kurva $P-\Delta$, dimana ditentukan kondisi batas linier diambil sekitar 30% dari beban maksimum, maka beban hidup yang dapat dipikul oleh plat eksisting adalah 6,338 ton.

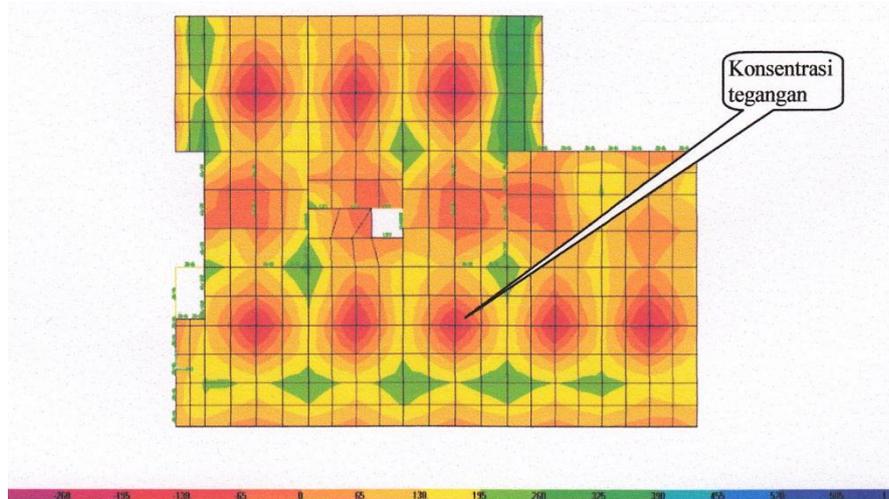
Analisis Plat Eksisting

Beban layan

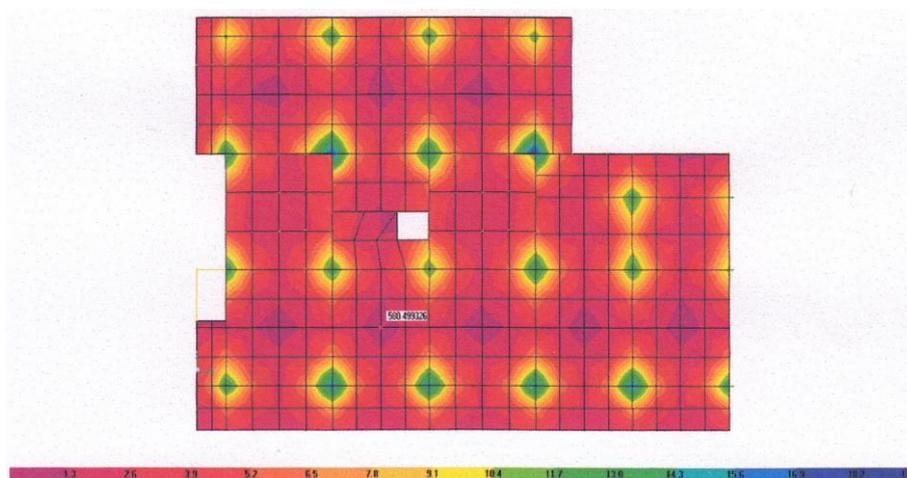
Hasil yang diperoleh dari Loading Test terhadap plat lantai eksisting di atas selanjutnya divalidasi dengan analisis yang menggunakan data-data hasil pengujian material di lapangan. Dengan menggunakan data hasil pengukuran di lapangan yaitu tebal plat sebesar 150 mm dan mutu beton K177 ($f'_c=14,7$ MPa), diperoleh hasil analisis plat eksisting bahwa beban hidup yang dapat didukung adalah sebesar 6,939 ton atau $150,42$ kg/m², dan lendutan yang terjadi adalah 41,64 mm. Perbedaan besarnya beban hidup antara hasil analisis dengan hasil Loading Test di atas adalah sekitar 10%, sehingga dengan demikian dapat dikatakan bahwa analisis dan pengujian yang dilakukan di lapangan cukup akurat.

Tegangan Plat Eksisting

Selain beban layan, juga dilakukan analisa tegangan yang terjadi pada struktur plat. Hasil analisis struktur yang diperlihatkan pada Gambar 13 menunjukkan bahwa terjadi konsentrasi tegangan yang sangat besar di beberapa lokasi plat, yang diperkirakan berada pada daerah yang dilewati garis leleh seperti yang telah dijelaskan pada Gambar 6 di atas. Kondisi tersebut dikhawatirkan dapat memicu deformasi/lendutan plat yang sangat signifikan seperti yang telah diamati di lapangan. Tegangan geser plat yang terjadi memperlihatkan nilai rasio tegangan yang cukup besar (Gambar 14), dimana hal ini salah satunya dapat diakibatkan oleh tebal plat yang relatif tipis ($t=150$ mm) bila dievaluasi terhadap bentang plat dan beban hidup yang dipikul.



Gambar 13. Diagram tegangan lentur plat eksisting



Gambar 14. Diagram tegangan geser plat eksisting

Kesimpulan

Hasil investigasi yang telah diuraikan di atas memberi banyak pelajaran bagi para perencana, pengawas maupun pelaksana fisik struktur gedung, bahwa pemilihan sistim struktur termasuk detail penulangan, standar perencanaan maupun kaidah teknis yang seharusnya dilakukan merupakan faktor-faktor yang berperan penting dalam menentukan keamanan, kenyamanan maupun kegagalan struktur. Secara khusus dari hasil investigasi plat lantai di atas dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan kondisi aktual ternyata plat lantai hanya mampu menahan beban hidup sebesar 195 kg/m^2 . Nilai tersebut berada jauh di bawah beban hidup yang disyaratkan dalam Peraturan Pembebanan Indonesia untuk beban hidup (beban kendaraan) sebesar 400 kg/m^2 .
2. Tebal plat eksisting (150 mm) ternyata kurang dari yang dipersyaratkan, karena syarat tebal plat minimum berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 11.5 Tabel.10 adalah sepertigapuluh enam kali bentang bersih. Sehingga untuk plat yang ditinjau seharusnya mempunyai tebal di atas 166,7 mm. (Biasanya untuk menahan beban hidup 400 kg/m^2 digunakan tebal plat 200 mm).
3. Plat Lantai 6 pada As 2-3 dan As B-C yang ditinjau seperti uraian di atas tidak dapat digunakan untuk dilewati beban mobil maupun kendaraan dan diprioritaskan agar segera diadakan perbaikan/dibongkar terlebih dahulu kemudian direkonstruksi.
4. Pada plat lantai lainnya di semua tingkat juga harus segera diperkuat untuk mencegah perambatan tegangan yang dikhawatirkan akan memicu penambahan lendutan. Selain itu juga untuk mengantisipasi pemasangan detail tulangan yang tidak sesuai standar.

5. Mengingat konsentrasi tegangan yang terjadi di setiap lantai bangunan yang diperkirakan mempunyai pola dan tempat yang sama, maka pada plat lantai lainnya juga agar segera diperkuat (bisa dengan mempertebal plat dan dipasang tulangan tambahan terlebih dahulu sebelum dicor dengan beton dengan mutu minimal K250).

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Aref Widhianto, ST dan Teguh Santosa, ST yang telah membantu dalam pelaksanaan Loading Test dan pengolahan data-data hasil pengujian.

Daftar Pustaka

- ACI Committee 318 (2011), "*Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI-318-11) and Commentary (318R-11)*", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- Badan Standardisasi Nasional (2000), "*Tata Cara Perhitungan Struktur Baja untuk Gedung SNI-03-1729-2000*".
- Badan Standardisasi Nasional (2002), "*Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Gedung SNI-03-2847-2002*".
- Badan Standardisasi Nasional (2002), "*Tata Cara Perhitungan Struktur Tahan Gempa untuk Gedung SNI-03-1726-2002*".
- Imran, I., Suarjana, M., Hoedajanto, D., Soemardi, B., and Abduh, M. (2006), "Beberapa Pelajaran dari Gempa Yogyakarta: Studi Kinerja Bangunan", *JurnalHAKI*, Vol.7, pp.1-13.
- Shakya, K., Pant, D.R., Maharjan, M., Bhagat, S., Wijeyewickrema, A.C. and Maskey, P.N. (2013), "Lessons Learned from Performance of Buildings During The September 18, 2011 Earthquake in Nepal", *Asian Journal of Civil Engineering*, Vol. 14, No.5, pp.719-733.
- Wight, J.K. and MacGregor, J.G. (2009), "*Reinforced Concrete, Mechanics and Design*", Fifth Edition, Pearson Education International.