

EVALUASI DAN SOLUSI VIBRASI PELAT LANTAI GEDUNG RITA DEPARTEMENT STORE AND SUPER MARKET CILACAP

Oleh : Iwan Rustendi

Abstrak

Bangunan gedung Rita Department Store and Super Market yang terletak di Jl. Ahmad Yani Cilacap secara struktur (aspek kekuatan) mampu memikul beban rencana yang bekerja. Namun bangunan tersebut tidak memberikan kenyamanan bagi para pengguna karena terjadi efek vibrasi atau getaran yang berlebihan pada struktur pelat lantai ketika di atasnya ada aktivitas (orang berjalan di atas pelat lantai), sehingga bangunan tersebut tidak memenuhi syarat aspek fungsional. Makalah ini mengupas tentang evaluasi vibrasi struktur pelat lantai dan solusi perbaikannya dari aspek desain dan pelaksanaan. Berdasarkan hasil investigasi struktur pelat lantai mempunyai ukuran panel 6 x 8,7 meter (tidak ada balok anak) dengan ketebalan pelat lantai 12 cm. Berdasarkan evaluasi penyebab vibrasi pada pelat lantai adalah akibat plat lantai yang tidak mempunyai kekakuan yang cukup atau ketebalan plat lantai kurang dari ketebalan minimal sehingga lendutannya melebihi yang diperkenankan. Karena kalau mengacu pada SKSNI T 15 1991 03 dengan ukuran panel plat 6 x 8,7 meter ketebalan pelat lantai seharusnya minimal 16 cm. Alternatif solusi perkuatan struktur yang dilakukan adalah memperkecil bentang pelat dengan cara menambah balok anak (balok perkuatan) berupa profil IWF 300 x 150 x 5,5 x 8 mm mutu St 37 sebanyak 2 buah untuk setiap panel pelat lantai. Bentang plat 8,70 m yang merupakan bentang panjang (ly) dibagi menjadi 3 bagian, sehingga ukuran panel pelat menjadi 2,90 x 6,00 m².

Kata kunci : vibrasi pelat lantai, perkuatan, balok anak

PENDAHULUAN

Bangunan adalah tempat kita melakukan berbagai macam kegiatan atau aktivitas dalam kehidupan sehari-hari. Oleh sebab itu keberadaannya harus bisa menjamin bahwa secara struktur bangunan tersebut kuat atau mampu melayani keberadaan dan aktivitas penghuni atau penggunanya. Keberadaan bangunan yang sesuai dengan yang diharapkan oleh si pemilik (*owner*) tidak lepas dari peran perencana selaku yang merencanakan, kontrktor atau pelaksana selaku yang melaksanakan atau membangun dan pengawas selaku yang mengawasi proses pembangunannya.

Tahap perencanaan yang dilakukan oleh perencana dapat dikatakan sebagai gabungan antara unsur seni dan sains yang membutuhkan keterampilan dan pengetahuan dalam mengolahnya. Secara garis besar proses perencanaan dapat dibedakan menjadi dua bagian. Pertama, perencanaan umum yang merupakan peninjauan secara garis besar keputusan-keputusan perencanaan seperti tipe struktur, tata letak struktur, geometri atau

bentuk bangunan, jarak antar kolom, tinggi lantai dan material bangunan. Tahap kedua adalah perencanaan terinci yaitu menentukan dimensi balok, kolom, plat lantai dan elemen struktur lainnya. Kedua tahap proses perencanaan ini saling mengait, misalnya selama perencanaan terinci mungkin diperlukan modifikasi dalam tata letak dan geometri struktur guna menghasilkan suatu bangunan yang ideal secara struktur maupun ekonomi.

Sasaran yang paling utama dari proses perencanaan adalah bahwa bangunan yang dihasilkan dapat berfungsi dengan baik pada kondisi beban-beban yang bekerja dan mempunyai nilai ekonomis yang bersaing. Tapi pada dasarnya tujuan atau sasaran dari perencanaan suatu bangunan adalah meliputi aspek daya layan, kekuatan yang cukup, fungsi, estetika dan ekonomi (Wahyudi dan Rahim, 1999).

Suatu bangunan gedung dikatakan dapat memberikan daya layan yang baik apabila strukturnya mempunyai defleksi dan deformasi yang tidak terlalu besar pada kondisi beban kerja. Defleksi yang terlalu besar dapat menimbulkan retak-retak pada dinding dan elemen-elemen non struktur lainnya.

Kekuatan yang cukup dimiliki oleh suatu bangunan apabila dapat menahan atau memikul beban puncak selama usia bangunan (*life of service*). Dalam struktur beton bertulang, kekuatan elemen struktur seperti balok, plat dan kolom dibatasi oleh kapasitas atau kemampuan penampang dalam menahan momen maksimum. Sedangkan kapasitas penampang dipengaruhi oleh dimensi penampang, jumlah dan diameter tulangan, mutu material dan detail penjangkaran. Unsur yang juga penting dan berkaitan dengan kekuatan struktur adalah daktilitas. Struktur harus memiliki perilaku daktil dalam menahan beban-beban luar, terutama struktur yang direncanakan untuk menahan beban gempa.

Suatu bangunan bila memberikan kenyamanan bagi setiap orang yang menghuninya atau menggunakannya dalam beraktivitas maka bangunan tersebut dapat dikatakan berfungsi dengan baik. Perencanaan suatu bangunan juga harus memperhatikan atau mengantisipasi terjadinya perubahan pemanfaatan (penggunaan) selama usia bangunan. Sebagai contoh, bangunan untuk perkantoran lebih baik dibuat dengan bentuk denah terbuka (tanpa sekat permanen) sehingga dapat memudahkan pembagian dan perubahan tata letak ruang.

Estetika merupakan faktor yang sangat penting dalam keberhasilan karya arsitektur, meskipun sampai taraf tertentu estetika merupakan kebijaksanaan (*judgement*), sehingga estetika bersifat subyektif. Unsur estetika antara lain mencakup tekstur, bentuk, warna,

proporsi, keseimbangan, simetri dan karakter. Estetika dapat menciptakan kesan tertentu yang positif bagi pemilik bangunan, pemakai, dan atau penyewa. Tetapi sering kali estetika bertentangan dengan persyaratan struktur

Dalam perencanaan, arsitek biasanya terlalu dibelenggu dengan segi estetika, tata letak, dan pengaruh lingkungan. Padahal aspek biaya konstruksi juga perlu mendapat perhatian yang serius. Perlu diketahui bahwa biaya konstruksi bangunan bisa mencapai 20 hingga 30 persen dari biaya total bangunan.

Suatu bangunan yang memenuhi kriteria-kriteria seperti di atas adalah yang dikehendaki oleh para pemilik bangunan (*owner*). Apabila semua pihak yang terkait dalam pembangunan suatu bangunan (perencana, pelaksana dan pengawas) bekerja sesuai dengan tugas dan tanggung jawabnya masing-masing maka semua bangunan yang dibangun hampir dipastikan tidak akan bermasalah. Tetapi pada realitasnya tidak jarang suatu bangunan yang sudah dibangun mengalami kondisi yang sebaliknya bahkan sampai mengarah pada kategori kegagalan bangunan.

Bangunan gedung Rita Department Store and Super Market yang terletak di Jl. Ahmad Yani Cilacap adalah salah satu bangunan yang tidak memenuhi salah satu sasaran atau kriteria perencanaan. Bangunan yang mulai beroperasi sejak tahun 1994 (16 tahun beroperasi) dan menempati areal strategis di kawasan bisnis atau pusat perbelanjaan terpenting di kawasan kota Cilacap secara struktur (aspek kekuatan) sebenarnya mampu memikul beban rencana yang bekerja. Namun bangunan tersebut tidak memberikan kenyamanan bagi para pengguna karena terjadi efek vibrasi atau getaran yang berlebihan pada struktur pelat lantai ketika di atasnya ada aktivitas (orang berjalan di atas pelat lantai), sehingga bangunan tersebut tidak memenuhi syarat aspek fungsional.

KEMAMPUAN LAYANAN PELAT

SKSNI T – 15 – 1991 – 03 pasal 3. 2. 1 mensyaratkan bahwa setiap komponen struktur harus memiliki cukup kekuatan struktural untuk mendukung beban rencana terfaktor yang bekerja padanya. Di samping itu komponen struktur harus memenuhi kemampuan layanan pada tingkat beban kerja atau mampu menjamin tercapainya perilaku struktur yang cukup baik pada strata beban kerja. Kemampuan layanan komponen struktur termasuk pelat ditentukan oleh lendutan, retak, korosi tulangan dan rusaknya permukaan komponen struktur.

Sutau struktur yang tidak mempunyai kekakuan yang cukup sehingga lendutannya sangat besar maka akan menimbulkan retak-retak pada dinding atau terjadinya getaran karena orang berjalan pada lantai bangunan (ketidaknyamanan atau gangguan yang tidak dapat diterima) (Kusuma dan Vis, 1994). Fenomena ini merupakan suatu keadaan yang tidak diijinkan.

Nilai lendutan pada komponen struktur sangat ditentukan oleh momen inersia atau ukuran (tinggi) suatu penampang. SKSNI T – 15 – 1991 – 03 Tabel 3. 2. 5a telah memberikan pedoman untuk menentukan tinggi minimum balok atau tebal minimum pelat untuk membatasi atau mengendalikan besarnya lendutan. Nilia-nilai tersebut merupakan fungsi dari bentang komponen struktur (balok atau pelat).

Tabel 1. Tinggi minimum balok dan pelat (Sumber SKSNI T-15-1991-03)

Komponen	Di atas dua tumpuan		Satu tumpuan menerus		Dua tumpuan menerus		Kantilever	
	fy 400	fy 240	fy 400	fy 240	fy 400	fy 240	fy 400	fy 240
Plat satu arah	1/20	1/27	1/24	1/32	1/28	1/37	1/10	1/13
Balok	1/16	1/21	1/18,5	1/24,5	1/21	1/28	1/8	1/11

Nilai-nilai pada tabel di atas juga berlaku untuk pelat lantai dua arah di mana bentang yang digunakan adalah bentang terpendek (l_x).

Retak pada komponen struktur beton bertulang dapat mengakibatkan korosi pada baja tulangan. Apabila karat pada baja tulangan tersebut dibiarkan (tidak dicegah) maka volume karat makin lama makin bertambah dan bahkan volumenya bisa lebih besar dari volume baja tulangan semula, sehingga memungkinkan beton di sekitar tulangan akan pecah dan lepas. Sehingga karat pada baja tulangan tidak hanya mengakibatkan pengecilan penampang tulangan, tetapi penampang beton pun dapat rusak.

Perbaikan retak (retak struktur) dapat digunakan metode injeksi dengan material epoxy yang mempunyai viskositas yang rendah, sehingga dapat mengisi dan sekaligus melekatkan kembali bagian beton yang terpisah. Proses injeksi dapat dilakukan secara manual maupun dengan mesin yang bertekanan, tergantung pada lebar dan dalamnya keretakan.

METODE PERKUATAN STRUKTUR

Dalam melakukan perbaikan atau perkuatan struktur (dalam hal ini struktur beton) ada beberapa alternatif metode yang bisa dipilih. Dalam pelaksanaannya ada beberapa hal

yang harus diperhatikan yaitu kapasitas struktur, lingkungan dimana struktur berada, peralatan yang tersedia, kemampuan tenaga pelaksana serta batasan-batasan dari pemilik seperti keterbatasan ruang kerja, kemudahan pelaksanaan, waktu pelaksanaan dan biaya perkuatan.

Metode perkuatan yang umumnya dilakukan adalah :

1) Memperpendek bentang dari struktur

Metode ini bisa dilakukan dengan menggunakan material yang sama (beton) ataupun dengan material baja. Tujuannya adalah memperkecil gaya-gaya dalam yang terjadi, tetapi harus dianalisa ulang akibat dari perpendekan bentang ini yang menyebabkan perubahan dari gaya-gaya dalam tersebut. Umumnya dilakukan dengan menambah balok atau kolom baik dari beton maupun dari baja.

2) Memperbesar dimensi komponen struktur

Pada metode ini material yang digunakan untuk memperbesar dimensi komponen struktur adalah berupa beton. Dengan adanya admixture beton generasi baru, dimungkinkan untuk menghasilkan beton yang dapat memadat sendiri (*self compacting concrete*), Akibat dari penambahan dimensi tersebut, maka harus diperhatikan bahwa secara keseluruhan beban dari bangunan tersebut bertambah, sehingga harus dilakukan analisa secara menyeluruh dari struktur atas sampai pondasi.

3) Menambah plat baja.

Tujuan dari penambahan plat baja ini adalah untuk menambah kekuatan pada bagian tarik dari struktur bangunan. Didalam penambahan plat baja tersebut, harus dijamin bahwa plat baja menjadi satu kesatuan dengan struktur yang ada. Dan umumnya untuk menjamin lekatan antara plat baja dengan struktur beton digunakan epoxy adhesive.

4) Melakukan *external prestressing*.

Dengan metode ini, kapasitas struktur ditingkatkan dengan melakukan *prestress* di luar struktur, bukan didalam seperti pada struktur baru. Yang perlu diperhatikan adalah penempatan *anchor head*, sehingga tidak menyebabkan perlemahan pada struktur yang ada. Material yang umumnya digunakan adalah baja *prestress*, tetapi pada saat ini sudah mulai digunakan bahan dari *FRP (Fibre Reinforced Polymer)*.

5) Menggunakan *FRP (Fibre Reinforced Polymer)*

Prinsip daripada penambahan FRP sama seperti penambahan plat baja, yaitu menambah kekuatan di bagian tarik dari struktur. Tipe FRP yang sering dipakai pada perkuatan struktur adalah dari bahan carbon, aramid dan glass. Bentuk FRP yang sering digunakan pada perkuatan struktur adalah *plate/composite* dan *fabric/wrap*. Bentuk *plate* lebih efektif dan efisien untuk perkuatan lentur baik pada balok maupun plat serta pada dinding; sedang bentuk *wrap* lebih efektif dan efisien untuk perkuatan geser pada balok serta untuk meningkatkan kapasitas beban axial dan geser pada kolom.

METODOLOGI

Menurut ACI 364.1R-94 dalam Yunita (2009) langkah awal yang harus dilaksanakan untuk mengevaluasi bangunan eksisting adalah investigasi awal (*preliminary investigation*). Investigasi awal adalah merupakan langkah awal dalam mengevaluasi bangunan eksisting, di mana bertujuan untuk memperoleh informasi awal tentang kondisi bangunan dan tingkat kerusakannya, kemungkinan perbaikan serta informasi tentang kebutuhan investigasi yang lebih jauh. Kondisi bangunan diamati secara visual dan dilakukan pengambilan gambar. Bagian struktur bangunan yang bermasalah (mengalami kerusakan) diamati dan difoto.

Tahap selanjutnya adalah investigasi lengkap (*detailed investigation*), yang terbagi menjadi lima tahapan, yaitu dokumentasi, observasi kondisi lapangan, pengambilan dan pengujian sampel, serta evaluasi.

Investigasi Awal

Investigasi awal dilakukan dengan langsung mengamati kondisi bangunan Rita Departemen Store and Super Market yang terletak di Jl. Ahmad Yani Cilacap. Dari hasil investigasi awal didapatkan informasi-informasi sebagai berikut :

- 1) Tinggi bangunan : 3 lantai (termasuk lantai dasar)
- 2) Jenis portal : balok dan kolom beton bertulang (tanpa balok anak)
- 3) Kerusakan struktur :
 - a) Secara kasat mata tidak ada komponen struktur (balok, kolom, plat lantai) yang mengalami kerusakan (retak).
 - b) Plat lantai (lantai 2 dan 3) mengalami vibrasi (getaran) yang berlebih ketika ada orang (pengunjung) berjalan di atasnya.
 - c) Timbul retak-retak pada sambungan keramik bahkan ada beberapa keramik pecah dan lepas (terangkat).

Investigasi Lengkap

Investigasi lengkap dilakukan dengan teknik dokumentasi (data sekunder) dan langsung melakukan observasi di lapangan (data primer).

1) Dokumentasi

Gambar yang dimiliki oleh pemilik bangunan hanya berupa gambar perencanaan (bestek). Sementara gambar konstruksi bangunan eksisting (as built drawing) tidak dimiliki oleh pemilik bangunan. Teknik dokumentasi gambar bestek hanya mendapatkan informasi denah ruangan lantai dasar, lantai 2 dan lantai 3. Sementara informasi berupa gambar potongan dan gambar struktur (dimensi dan penulangan balok, kolom, fondasi dan plat) tidak didapatkan. Sehingga data sekunder yang diperoleh dari teknik dokumentasi gambar bestek antara lain :

- a) Panjang bentang balok melintang = 5,40 m, 5,80 m dan 8,70 m.
- b) Panjang bentang balok memanjang = 3,00 m, 3,90 m dan 6,00 m.
- c) Tidak terdapat balok anak
- d) Dimensi panel plat = $3,00 \times 8,70 \text{ m}^2$, $6,00 \times 5,40 \text{ m}^2$,
 $6,00 \times 5,80 \text{ m}^2$, $6,00 \times 8,70 \text{ m}^2$.

2) Observasi kondisi lapangan

Observasi yang dilakukan di lapangan dalam rangka untuk mendapatkan informasi detail yang tidak bisa didapatkan dari teknik dokumentasi. Observasi yang dilakukan di lapangan meliputi aktivitas :

- a) Pengukuran jarak antar kolom (bentang balok)
- b) Pengukuran dimensi balok (lebar dan tinggi penampang)
- c) Pembongkaran keramik lantai dan pengelupasan adukan (mengukur tebal spesi keramik)
- d) Pembobokan dan pengeboran plat lantai (mengukur tebal pelat lantai dan mengukur diameter dan jarak tulangan pelat lantai)

Data primer yang diperoleh dari observasi kondisi lapangan yaitu :

- a) Panjang bentang balok melintang = 8,70 m (as ke as, bentang maksimal)
- b) Panjang bentang balok memanjang = 6,00 m.(as ke as, bentang maksimal)
- c) Dimensi penampang balok = 400 x 600 mm (semua balok sama)
- d) Tebal spesi keramik = rata-rata 14 cm
- e) Tebal pelat lantai = $\pm 12 \text{ cm}$

- f) Tulangan pelat lantai = $\varnothing 10 - 100$ (tulangan polos, dua lapis atas dan bawah)
- g) Tulangan balok = $\varnothing 19$ (jumlah tulangan tidak didapatkan datanya).

3) Evaluasi

Berdasarkan hasil investigasi (observasi di lapangan) bahwa tidak ditemukan adanya kerusakan struktur (komponen struktur yang mengalami retak). Problem atau fenomena yang ada hanya berupa timbulnya vibrasi (getaran) pada pelat lantai ketika pelat lantai tersebut dilalui pengunjung.

Menurut Kusuma dan Vis (1994), penyebab vibrasi pada pelat lantai adalah akibat plat lantai yang tidak mempunyai kekakuan yang cukup atau ketebalan plat lantai kurang dari ketebalan minimal sehingga lendutannya melebihi yang diperkenankan. Kalau mengacu pada Tabel 1 tentang ketebalan minimum pelat lantai, dengan bentang pendek pelat $l_x = 6000$ mm maka ketebalan pelat minimal adalah,

$$\begin{aligned} h_{\min} &= 1/37 \cdot 6000 \\ &= 162 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sementara berdasarkan observasi di lapangan pelat lantai eksisting hanya mempunyai ketebalan $h = 120$ mm. Sehingga berdasarkan syarat ketebalan pelat minimum plat lantai tersebut tidak memenuhi syarat, atau plat lantai tersebut lendutannya melebihi batas maksimum.

DESAIN PERKUATAN STRUKTUR DAN PELAKSANAAN

Solusi Perkuatan Struktur

Berdasarkan hasil evaluasi di atas maka alternatif solusi perkuatan struktur yang dilakukan adalah memperkecil bentang pelat dengan cara menambah balok anak (balok perkuatan). Berdasarkan Tabel 1, dengan ketebalan pelat lantai 120 mm maka bentang pelat maksimal adalah,

$$\begin{aligned} h &= 1/37 \cdot L_{\text{maks}} \\ L_{\text{maks}} &= 120 \cdot 37 \\ &= 4440 \text{ mm} \end{aligned}$$

Bentang plat 8,70 m yang merupakan bentang panjang (l_y) dibagi menjadi 3 bagian, sehingga dimensi panel pelat menjadi $2,90 \times 6,00 \text{ m}^2$. Panel pelat lantai $2,90 \times 6,00 \text{ m}^2$

tersebut dipikul oleh balok anak (Gambar 2). Ditinjau dari aspek teknis dan pelaksanaan yang paling mungkin dilaksanakan adalah menggunakan balok anak profil baja IWF.

Dengan adanya balok anak IWF maka balok melintang ($L = 8,70$ m) akan menerima beban tambahan (berupa beban terpusat) akibat berat sendiri balok anak IWF. Dan untuk mengantisipasi balok memanjang ($L = 8,70$ m) momen rencananya melebihi momen kapasitasnya maka ketebalan spesi keramik yang semula sekitar 12 cm direduksi setebal 8 cm sehingga menjadi 4 cm. Dengan demikian balok memanjang ($L = 8,70$ m) momen rencananya akan berkurang.

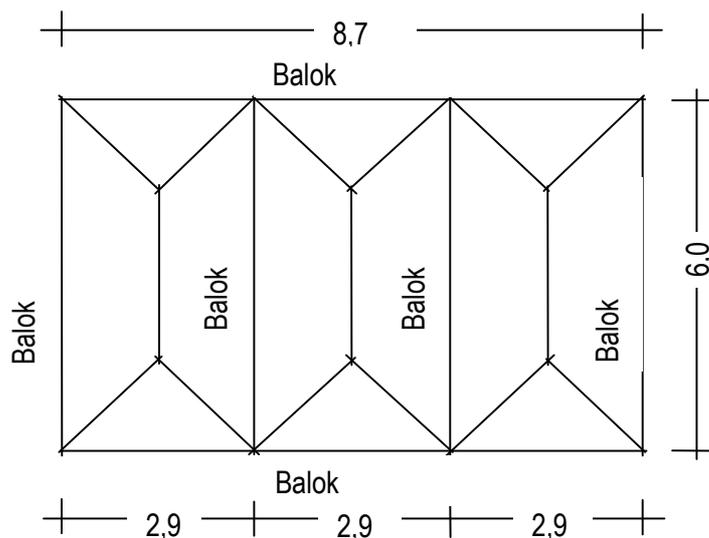
Desain Struktur Balok Anak

Setelah tebal spesi keramik direduksi dari 14 cm menjadi 3 cm maka beban kerja pada pelat lantai adalah sebagai berikut :

1) Beban mati pada pelat (DL)

- | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| a) Berat sendiri pelat lantai (12 cm) | = $0,12 \times 24 \text{ kN/m}^3$ | = $2,88 \text{ kN/m}^2$ |
| b) Berat spesi (4 cm) | = $3 \times 0,21 \text{ kN/m}^2$ | = $0,63 \text{ kN/m}^2$ |
| c) Berat keramik (1 cm) | = $1 \times 0,24 \text{ kN/m}^2$ | = $0,24 \text{ kN/m}^2$ |
| d) Berat plafond dan penggantung | = $(0,11 + 0,07) \text{ kN/m}^2$ | = $0,18 \text{ kN/m}^2$ |
| Jumlah | | = $3,93 \text{ kN/m}^2$ |

2) Beban hidup pada pelat (LL) = $2,50 \text{ kN/m}^2$.



Gambar 2. Dimensi panel pelat

Struktur balok anak dicoba menggunakan baja IWF 300 x 150 x 5,5 x 8 mm mutu St

37. Sehingga data profil dan material adalah sebagai berikut :

- Berat = 32,0 kg/m
- $I_x = 6\,320\text{ cm}^4 = 63\,200\,000\text{ mm}^4$
- $I_y = 442\text{ cm}^4 = 4\,420\,000\text{ mm}^4$
- $Z_x = 424\text{ cm}^3 = 424\,000\text{ mm}^3$
- $Z_y = 59,3\text{ cm}^3 = 59\,300\text{ mm}^3$
- $f_y = 240\text{ MPa}$
- $E = 200\,000\text{ MPa}$

Untuk mengetahui apakah penampang tersebut merupakan penampang kompak maka diperiksa syarat kelangsingan profil.

$$1) \text{ Flens} : \frac{b_f}{2 \cdot t_f} < \frac{170}{\sqrt{f_y}}$$

$$\frac{150}{2 \cdot 8} < \frac{170}{\sqrt{240}}$$

$$9,375 < 10,97$$

$$2) \text{ Web} : \frac{h}{t_w} < \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$$

$$\frac{300 - 2(8 + 13)}{5,5} < \frac{1680}{\sqrt{240}}$$

$$46,91 < 108,44$$

Ternyata profil IWF IWF 300 x 150 x 5,5 x 8 merupakan penampang kompak, sehingga,

$$M_n = Z_x \cdot f_y = 424\,000 \times 240 = 101\,760\,000\text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 101\,760\,000 = 91\,584\,000\text{ Nmm}$$

Beban yang diterima oleh balok anak adalah sebagai berikut :

1) Beban mati (w_D)

a) Berat sendiri balok anak = 0,32 kN/m

b) Beban mati pada pelat lantai = $2 \left\{ DL \left(b - \frac{4}{3} \frac{b^3}{L^2} \right) \right\}$

$$= 2 \left\{ 3,93 \left(1,45 - \frac{4}{3} \cdot \frac{1,45^3}{6^2} \right) \right\}$$

$$= 10,51 \text{ kN/m}$$

Jumlah

$$= 10,83 \text{ kN/m.}$$

$$2) \text{ Beban hidup } (w_L) = 2 \left\{ LL \left(b - \frac{4}{3} \frac{b^3}{L^2} \right) \right\}$$

$$= 2 \left\{ 2,50 \left(1,45 - \frac{4}{3} \cdot \frac{1,45^3}{6^2} \right) \right\}$$

$$= 6,68 \text{ kN/m.}$$

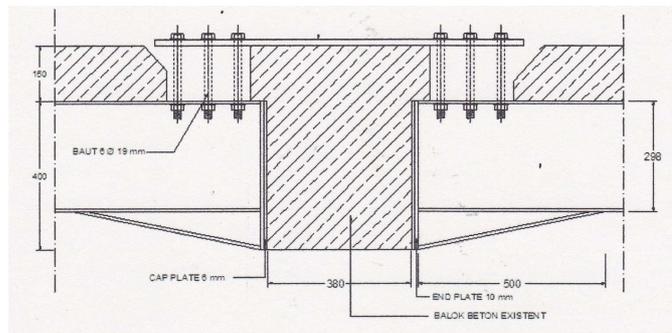
$$3) \text{ Beban terfaktor } (w_u) = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$= (1,2 \times 10,83) + (1,6 \times 6,68)$$

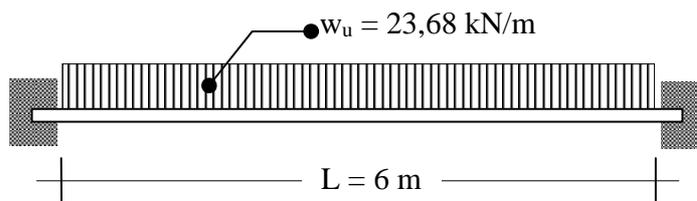
$$= 23,68 \text{ kN/m.}$$

$$= 23,68 \text{ N/mm}$$

Model pertemuan balok anak dengan balok memanjang ($L = 8,7 \text{ m}$) seperti tampak pada Gambar 5. Sehingga balok anak tersebut lebih tepat diasumsikan sebagai balok di atas dua tumpuan sederhana (Gambar 3).



Gambar 3. Pertemuan balok anak dengan balok melintang



Gambar 4. Pemodelan struktur balok anak

Momen maksimal yang bekerja pada balok anak yaitu (momen tumpuan):

$$\begin{aligned}M_u &= 1/12 w_u L^2 \\ &= 1/12 \cdot 23,68 \cdot 6^2 \\ &= 71,05 \text{ kNm.} \\ &= 71\,050\,000 \text{ Nmm.}\end{aligned}$$

Didapatkan bahwa $M_u < \phi M_n$ ($71\,050\,000 \text{ Nmm} < 91\,584\,000 \text{ Nmm}$) maka profil baja IWF 300 x 150 x 5,5 x 8 aman sebagai balok anak.

Apabila ditinjau dari lendutan yang terjadi maka,

Lendutan yang terjadi,

$$f_{\text{maks}} = \frac{1}{384} \cdot \frac{w_u L^4}{EI_x} = \frac{1}{384} \cdot \frac{23,68 \cdot 6000^4}{200000 \cdot 63200000} = 6,3 \text{ mm.}$$

Lendutan yang diijinkan,

$$\bar{f} = \frac{L}{300} = \frac{6000}{300} = 20 \text{ mm.}$$

Didapatkan bahwa lendutan yang terjadi jauh lebih kecil daripada lendutan yang diijinkan.

Analisis Struktur Balok Eksisting

Sudah dijelaskan sebelumnya bahwa berdasarkan hasil investigasi tidak ditemukan adanya komponen struktur (terutama balok dan kolom) yang mengalami kerusakan (retak-retak) akibat tidak mampu memikul beban. Pada balok memanjang ($L = 6,0$ meter) dengan adanya pengurangan spesi (adukan) dari 12 cm menjadi 4 cm berarti beban pada balok tersebut menjadi berkurang. Sedangkan pada balok melintang ($L = 8,7$ meter) selain terjadi pengurangan beban akibat pengurangan tebal spesi (adukan) juga terjadi penambahan beban berupa beban terpusat akibat adanya balok anak. Sehingga permasalahannya sekarang apakah momen pada balok melintang akibat beban spesi tebal 8 cm (yang dibuang) lebih besar daripada akibat beban berat sendiri balok anak (IWF). Atau dengan kata lain apakah momen balok melintang kondisi awal (tebal spesi masih 12 cm dan belum ada balok anak) lebih besar dari pada kondisi akhir (tebal spesi 4 cm tapi sudah ada balok anak). Apabila keadaan tersebut tercapai maka balok melintang berarti dalam kondisi aman, karena momen yang bekerja berarti menjadi lebih kecil.

1) Sebelum adanya balok anak

Sebelum adanya balok anak beban kerja pada pelat lantai adalah sebagai berikut :

a) Beban mati pada pelat (DL)

- Berat sendiri pelat lantai (12 cm) = $0,12 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 2,88 \text{ kN/m}^2$
- Berat spesi (14 cm) = $14 \times 0,21 \text{ kN/m}^2 = 2,92 \text{ kN/m}^2$
- Berat keramik (1 cm) = $1 \times 0,24 \text{ kN/m}^2 = 0,24 \text{ kN/m}^2$
- Berat plafond dan penggantung = $(0,11 + 0,07) \text{ kN/m}^2 = 0,18 \text{ kN/m}^2$
- Jumlah = $6,24 \text{ kN/m}^2$

b) Beban hidup pada pelat (LL) = $2,50 \text{ kN/m}^2$.

Beban yang diterima oleh balok melintang adalah sebagai berikut (Gambar 7):

$$\begin{aligned} \text{a) Beban mati (w}_D) &= 2 \left\{ \text{DL} \left(b - \frac{4}{3} \frac{b^3}{L^2} \right) \right\} \\ &= 2 \left\{ 6,24 \left(3,0 - \frac{4}{3} \cdot \frac{3,0^3}{8,7^2} \right) \right\} \\ &= 31,50 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{2) Beban hidup (w}_L) &= 2 \left\{ \text{LL} \left(b - \frac{4}{3} \frac{b^3}{L^2} \right) \right\} \\ &= 2 \left\{ 2,50 \left(3,0 - \frac{4}{3} \cdot \frac{3,0^3}{8,7^2} \right) \right\} \\ &= 12,62 \text{ kN/m.} \end{aligned}$$

Dengan bantuan soft ware SAP 2000 versi 9 momen pada balok melintang adalah sebagai berikut :

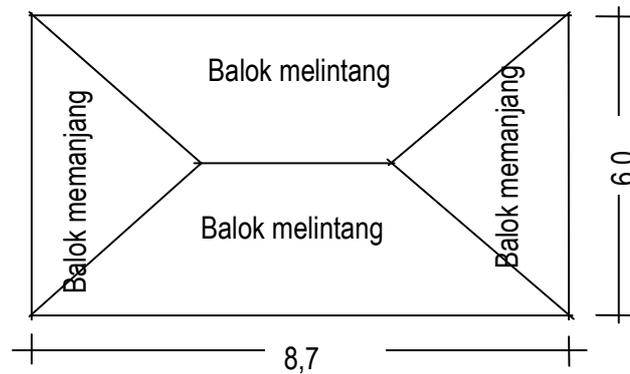
- Tumpuan, Mu = $-408,59 \text{ kNm}$
- Lapangan, Mu = $204,29 \text{ kNm}$

2) Sesudah adanya balok anak

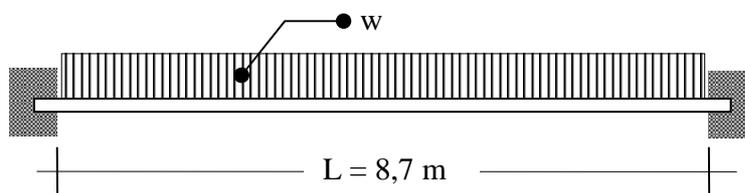
Berdasarkan Gambar 4 beban yang diterima oleh balok melintang adalah sebagai berikut :

a) Beban mati

- Merata (w_D) = $2 \left(\frac{1}{3} \cdot \text{DL} \cdot L \right) = 2 \left(\frac{1}{3} \cdot 3,93 \cdot 2,9 \right) = 7,60 \text{ kN/m}$
- Terpusat (P_D) = $10,83 \times 6 = 64,98 \text{ kN}$



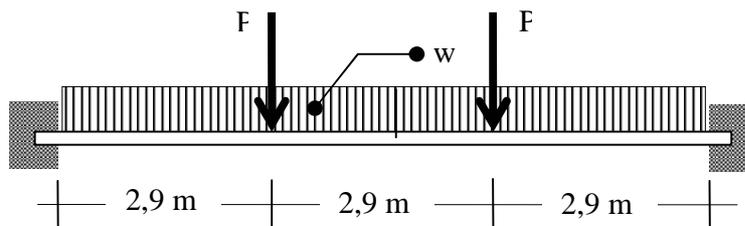
Gambar 5. Dimensi panel pelat sebelum ada balok anak



Gambar 6. Pemodelan struktur balok melintang sebelum ada balok anak

b) Beban hidup

- Merata (w_L) = $2 \left(\frac{1}{3} \cdot LL \cdot L \right) = 2 \left(\frac{1}{3} \cdot 2,5 \cdot 2,9 \right) = 4,83 \text{ kN/m}$
- Terpusat (P_L) = $6,68 \times 6 = 40,08 \text{ kN}$



Gambar 7. Pemodelan struktur balok melintang sesudah ada balok anak

Dengan bantuan soft ware SAP 2000 versi 9 momen pada balok melintang adalah sebagai berikut :

- Tumpuan, $M_u = -423,81 \text{ kNm}$
- Lapangan, $M_u = 211,90 \text{ kNm}$

Tabel 2. Perbandingan balok melintang setelah dan sebelum ada balok anak

	Sebelum ada balok anak	Sesudah ada balok anak
Dimensi (mm)	400 x 600	400 x 600
Momen tumpuan (kNm)	- 408,59	- 423,81
Momen lapaangan (kNm)	204,29	211,90
A _s perlu tumpuan (mm ²)	4.009	4.209
A _s perlu lapaangan (mm ²)	1.769	1.842

Dari Tabel 2 terlihat bahwa momen balok melintang setelah ada balok anak lebih besar dari pada sebelum ada balok anak. Itu berarti walaupun tebal spesi keramik sudah dikurangi untuk memperkecil momen balok melintang, tapi dengan keberadaan balok anak momen balok melintang menjadi lebih besar. Apabila penulangan balok melintang sebelum ada balok anak dianggap memenuhi syarat (karena tidak ada retakan), maka dengan adanya balok anak penulangan balok melintang berarti kurang. Dengan asumsi bahwa mutu beton adalah f_c 17,5 (setara K 225) dan mutu baja tulangan adalah f_y 300 MPa maka kekurangan penulangan tersebut adalah sebagai berikut :

- Tumpuan = $4209 - 4009 = 200 \text{ mm}^2 \approx 1 \text{ } \varnothing 16$
- Lapangan = $1842 - 1769 = 200 \text{ mm}^2 \approx 1 \text{ } \varnothing 10$.

Sehingga setelah ada balok anak, kekurangan penulangan balok melintang adalah 1 $\varnothing 16$ untuk tumpuan dan 1 $\varnothing 10$ untuk lapangan. Dengan kekurangan penulangan yang tidak begitu signifikan, maka balok melintang diprediksi masih kuat (mampu memikul beban berat sendiri balok anak)

Pelaksanaan Perkuatan Struktur

Proses pelaksanaan pekerjaan perbaikan merupakan fase yang banyak membutuhkan pemikiran, metode dan strategi. Bagaimana tidak, karena pertimbangan bisnis selama proses pelaksanaan pekerjaan tersebut pihak owner tidak menghendaki operasional perbelanjaan menjadi berhenti. Akibat dari kebijakan tersebut adalah pekerjaan dalam satu lantai tidak mungkin dikerjakan serentak atau menyeluruh tapi dengan sistim segmen per segmen lantai. Sehingga untuk mengejar target waktu konsekwensinya tidak bisa menambah jumlah tenaga kerja tapi dengan sistem jam lembur dan pengaturan sift kerja.

Tahap pelaksanaan pekerjaan perbaikan meliputi tahapan-tahapan sebagai berikut :

1) Pekerjaan pembongkaran

a) Pembongkaran lantai

- Pekerjaan pembongkaran penutup lantai dilaksanakan setelah terlebih dahulu mensterilisasi area/segmen lantai dari semua rak dan barang toko. Prosedur pembongkaran dilakukan segmen per segmen dimaksudkan agar kegiatan operasional supermarket tidak mengalami gangguan akibat renovasi ini.
- Keramik dikelupas dengan cara manual agar keramik tidak hancur sehingga dapat dimanfaatkan kembali. Dari segi waktu cara ini mungkin kurang efisien dibanding jika menggunakan alat bongkar mekanis. Cara manual tersebut juga dilakukan untuk mengurangi getaran plat lantai yang berlebih.
- Setelah keramik terangkat semua pada segmen tersebut, proses berikut mengelupas adukan (spesi) yang mempunyai ketebalan berbeda-beda. (rata-rata 14 cm). Peralatan manual kembali digunakan karena getaran plat lebih terasa setelah keramik diangkat. Sehingga apabila menggunakan alat bongkar mekanis akan memberikan dampak getaran yang berlebihan dan resonansi getaran dikhawatirkan akan melepaskan ikatan antara beton plat lantai dengan tulangnya.
- Pekerjaan selanjutnya membuat lobang pada plat lantai dengan ukuran 15 cm x 30 cm pada tempat dimana nanti akan ditempatkan atau dipasang ujung balok anak (baja IWF 300 x 150). Lubang tersebut dibuat pada dua sisi plat lantai ditepi balok yang akan menerima beban dari balok anak (balok melintang). Lubang tersebut nantinya juga merupakan tempat tali katrol untuk mengangkat balok baja dari bawah lantai.

b) Pembongkaran plafond

- Pembongkaran plafond hanya dilakukan pada lokasi di mana akan dipasang balok anak yaitu seluas 1 m x 6 m tepat dibawah lokasi rencana masing masing balok anak. Pemotongan plafon dilakukan segmen per segmen mengikuti plat lantai atasnya yang telah dibongkar.
- Pembongkaran plafon dilakukan juga dengan turut membongkar sebagian deret lampu maupun jalur-jalur kabel lampu dan dayanya. Pembongkaran plafon diusahakan untuk tidak membongkar *duckting* AC sehingga ada luasan plafond yang dibongkar lebih besar untuk memberi keleluasaan ketika mengangkat balok anak yang lokasinya dekat dengan *ducting* AC.

- Pengukuran bentang balok anak dilakukan setelah lubang plafond selesai dikerjakan dan dilakukan dengan seteliti mungkin agar balok terpasang tepat (panjangnya tidak lebih dan tidak kurang).
- 2) Pekerjaan pabrikasi
- Baja yang telah disiapkan selanjutnya dipotong sesuai ukuran bentang balok tiap lokasi dan dilakukan bertahap sesuai tahapan segmen lantainya. Pemotongan dilakukan terhadap profil IWF 300 x 150 dan pelat untuk *end plate* dan *splice plate* menggunakan blander dengan bahan bakar gas (LPG).
 - Potongan baja yang sudah dipasang *end plate* dan *splice plate* selanjutnya dibur (dilubangi) sesuai ukuran yang direncanakan sebelumnya untuk lubang boud sambungan dengan balok melintang.
 - Untuk menghindari korosi, baja yang telah siap dipasang dilapis cat zincromat yang sebelumnya telah dibersihkan dari kotoran dan karat yang masih menempel.
- 3) Pekerjaan instalasi
- a) Pengangkatan balok anak
- Mobilisasi balok anak dari tempat pabrikasi menuju halaman gedung dilakukan menggunakan bantalan pipa sebagai rodanya hingga lebih hemat tenaga. Untuk balok dengan bentang yang tidak terlalu panjang diangkat dengan tenaga manusia sebanyak 6 - 8 orang.
 - Balok yang telah mencapai pintu gedung kemudian diangkat oleh 9 - 11 orang menuju lokasi pemasangan, bantalan pipa tidak lagi digunakan karena bisa menghancurkan keramik lantai.
 - Balok yang telah diletakan dibawah segmen yang siap dipasang selanjutnya diikat menggunakan seling baja dan tali goni sebagai pengarah gerak balok ketika harus bermanuver, terutama ketika menghindari *ducting* AC maupun jaringan kabel listrik.
 - Dengan hati-hati kemudian balok anak diangkat menuju tempat kedudukannya dengan sistem katrol (kerekan).
- b) Pemasangan pelat sambung dan boud
- Pelat sambung (*splice plate*) diletakkan pada posisi yang tepat saat balok anak telah menempel pada dasar pelat lantai sesuai posisi yang direncanakan.

- Setelah balok anak tepat pada posisinya, supaya sayap balok anak betul-betul menempel pada dasar pelat lantai sepanjang bentang balok anak maka balok didorong dari bawah dengan menggunakan dongkrak.
 - Apabila balok anak betul-betul sudah menempel pada dasar pelat lantai selanjutnya diikat secara menyeluruh dengan baud. Pengencangan baud dilakukan setelah balok anak terpasang secara sempurna.
- 4) Pekerjaan penutup lantai
- Lubang plat lantai pada posisi baud selanjutnya dicor dengan beton agar lubang tersebut tertutup kembali dan baud menjadi monolith dengan plat lantai sehingga kedudukan balok anak menjadi lebih kokoh.
 - Setelah dalam satu segmen plat lantai kedua balok anaknya sudah terpasang selanjutnya lantai ditutup dengan keramik hingga segmen tersebut selesai dikerjakan.

KESIMPULAN

Dari hasil evaluasi, analisis struktur dan pelaksanaan perkuatan struktur dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Timbulnya vibrasi (getaran) yang berlebihan pada struktur plat lantai Gedung Rita Departement Store and Supermarket Cilacap adalah akibat ukuran panel plat yang terlalu besar atau akibat ketebalan plat lantai yang tidak memenuhi syarat ketebalan minimal.
- 2) Dengan sistem penambahan balok anak maka ukuran panel pelat menjadi lebih kecil dan akhirnya ketebalan plat lantai bisa memenuhi syarat ketebalan minimal.
- 3) Karena ketebalan pelat lantai sudah memenuhi syarat ketebalan minimal maka lendutan yang terjadi tidak melampaui batas dan akhirnya bisa menghilangkan getaran yang berlebihan.

DAFTAR PUSTAKA

Departemen Pekerjaan Umum, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, SKSNI T 15 1991 03

Departemen Pekerjaan Umum, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (NI – 2)*, Penerbit Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan

Departemen Pekerjaan Umum, *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983*, Penerbit Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan

- Dipohusodo, I.,1999, *Struktur Beton Bertulang*, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Hartono, H., 2007, *Analisis Kerusakan Struktur Bangunan Gedung BAPPEDA Wonogiri*, Dinamika Teknik Sipil Volume 7 No. 1 Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Rinawati dkk., *Analisis dan Perkuatan Struktur pada Bangunan Tiga Lantai Rumah Tinggal Aruba Residence*, Seminar Nasional Teknik Sipil 2010 Politeknik Negeri Jakarta
- Salmon, C.G., dan John E.J.,1992, *Struktur Baja Desain dan Prilaku 2*, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Setiawan, A., 2008, *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI 03 1729 2002)*, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Sudarmoko, dan Agus T.,1996, *Perancangan dan Analisis Pelat Beton Bertulang – Berdasarkan SNI 03 2847 1992*, Biro Penerbit UGM
- Vis, W. C., dan Gideon K., 1994, *Dasar-Dasar Perncanaan Beton Bertulang – Berdasarkan SKSNI T 15 1991 03*, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Wahyudi, L., dan Syahril A.R., 1999, *Struktur Beton Bertulang – Standar Baru SNI T 15 1991 03*, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Williams, A.,2000, *Design of Reinforced Concrete Structures*, Engeneering Press, Austin, Texas
- Yunita, H., 2009, *Strategi Perkuatan Struktur Bangunan Atas Gedung Asrama Pesantren Inshafuddin (Studi Kasus Kegagalan Akibat Gempa)*, Media Teknik Sipil, Volume IX, Juli 2009 ISSN 1412-0976 Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Banda Aceh