

PENANGGULANGAN GETARAN PADA PELAT LANTAI BETON BERTULANG Overcoming Vibration Problems In Reinforced Concrete Floor Slabs System

Cecep Bakheri Bachroni

Pusat Litbang Permukiman, Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum

Jl. Panyawungan, Cileunyi Wetan – Kabupaten Bandung 40393

E-mail : cecep_bch@yahoo.com

Diterima : 18 Februari 2013; Disetujui : 24 Desember 2014

Abstrak

Getaran pada sistem pelat lantai gedung bertingkat dapat terjadi akibat eksitasi yang timbul dari kegiatan manusia yang bersifat ritmik seperti gerakan berlari, menari dan aerobik. Getaran yang berlebihan pada sistem pelat lantai gedung bertingkat, umumnya tidak terkait dengan keamanan gedung, tapi terkait dengan ketidaknyamanan penghuninya. Getaran yang berlebihan pada sistem pelat lantai dapat terjadi pada gedung bertingkat yang memiliki : (a) sistem pelat lantai yang ringan karena penggunaan bahan bangunan mutu tinggi atau bahan komposit pada elemen-elemen struktur gedung seperti balok yang memungkinkan elemen-elemen struktur tersebut dirancang lebih kecil atau lebih tipis, (b) sistem lantai berbentuk panjang dengan kekakuan yang rendah dimana frekuensi alami lantai yang dominan cenderung rendah dan mendekati frekuensi eksitasi, dan (c) sistem lantai dengan nilai damping yang rendah sebagai akibat dari penggunaan partisi dan barang-barang furnitur yang lebih sedikit. Ketiga hal tersebut menyebabkan getaran pada sistem pelat lantai menjadi berlebihan dan menyebabkan rasa tidak nyaman dan gangguan bagi penghuni gedung. Getaran pada sistem pelat lantai yang menimbulkan ketidaknyamanan tersebut dapat terjadi pada sistem pelat lantai yang memiliki frekuensi getar (f_n) kurang dari 8 Hz. Untuk mengurangi getaran tersebut frekuensi (f_n) sistem pelat harus ditingkatkan hingga mendekati 8 Hz. Makalah ini membahas metode reduksi getar pada sistem pelat lantai beton bertulang melalui penambahan kekakuan pada balok induknya dengan menggunakan rangka baja hollow yang ditempelkan di kedua sisi badan balok induk tersebut. Sebagai studi kasus, metode ini diterapkan pada gedung yang berfungsi sebagai tempat ibadah, berlokasi di Indonesia bagian timur. Lantai-2 gedung ini mengalami getaran yang berlebihan ketika digunakan untuk kegiatan yang bersifat ritmik. Dalam studi ini, sistem lantai dianalisis dengan menggunakan pendekatan analisis modal pada program SAP.2000. 11.1. Hasil analisis memperlihatkan bahwa penanggulangan getaran menggunakan rangka batang baja hollow yang ditempelkan di kedua sisi badan balok induk cukup efektif dalam mengubah frekuensi getar sistem lantai dari semula 3,6 Hz menjadi 8,62 Hz.

Kata Kunci : Getar pada balok, pelat lantai, beton bertulang, rangka batang baja, antisipasi getar

Abstract

Vibration in the floor slab system of multi storey buildings can occur due to excitation caused by human activities that induce rhythmic movements such as running, dancing and aerobics. Excessive vibration in the floor slab system of multi storey building is generally not a safety issue, but it is service ability issue causing disturbance and discomfort to the building occupants. Excessive vibration in the floor slab system typically occurs in buildings that have : (a) a lighter weight slab systems due to the use of high strength building materials or composite materials for structural elements of the building, such as beams, that allows the structural elements designed to be smaller or thinner, (b) long span floor slab systems with low stiffness where the floor dominant natural frequency tends to be low and is close to the frequency of excitation, and (c) low damping floor slab system as a result on the use of less partitions and furniture in the floor. These three factors may induce excessive vibrations of the floor slab system and cause disturbance and discomfort to building occupants. Vibration of the floor slab system that causes such discomfort commonly occurs in the system that has natural frequency (f_n) of less than 8 Hz. To reduce the induced vibration, the natural frequency of the floor slab system should be increased to near 8 Hz. This paper discusses the method of reducing vibration in a reinforced concrete floor slab system by increasing stiffness to the main beam using a hollow steel truss attached on both sides of the beam. This method is applied to a building that serves as a place of worship, located in the eastern part of Indonesia. The 2nd floor of the building exhibits excessive vibration when used in activities that are rhythmic. In the study, the floor slab system is analyzed using

modal analysis of SAP.2000. 11.1. program. The results of the analysis show that the vibration reduction method using hollow steel trusses-attached to both sides of the beam is quite effective in increasing the natural frequency of the floor slab system from 3.6 Hz to 8.62 Hz.

Keywords : *Vibrations of the beam, slab, reinforced concrete, steel trusses, vibration anticipation*

PENDAHULUAN

Getaran lantai berlebihan menjadi masalah umum di kantor-kantor, apartemen, dan pusat perbelanjaan. Getaran pada sistem lantai tersebut tidak hanya membuat tidak nyaman pada penghuni gedung, tetapi lantai tersebut tidak dapat digunakan untuk menyimpan peralatan yang sensitif terhadap getaran. Faktor utama yang memberikan kontribusi terhadap masalah getaran ini diantaranya adalah 1) Penggunaan bahan bangunan mutu tinggi atau bahan komposit pada elemen-elemen struktur gedung seperti balok yang memungkinkan elemen-elemen struktur tersebut dirancang lebih kecil atau lebih tipis, 2) Penurunan frekuensi alami lantai karena bentang lantai yang terlalu panjang, ditambah dengan semakin meningkatnya jumlah kegiatan manusia yang berirama seperti aerobik, 3) Berkurangnya damping komponen sistem pelat lantai karena penggunaan partisi dan barang-barang furnitur yang lebih sedikit dan faktor lainnya (Setareh 2006).

Lantai gedung perkantoran atau apartemen memikul gaya - gaya dinamis yang berasal dari penghuni gedung ketika mereka berjalan dan kadang-kadang berlari atau gerakan yang bersifat ritmik seperti melompat atau menari. Terlebih apabila gedung-gedung tersebut menyediakan fasilitas seperti trek untuk berjalan kaki pada atap gedung, ruang latihan, lantai dansa atau gedung olah raga.

Beban hidup yang dihasilkan dari fungsi dan jenis hunian gedung, secara umum, adalah beban hidup manusia. Beban manusia ini dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori besar, yaitu beban hidup manusia tidak bergerak dan beban hidup manusia yang bergerak. Melompat secara periodik dengan musik, berdiri secara tiba-tiba dari kerumunan, dan gerakan di tempat secara sembarang/random adalah contoh-contoh dari beban hidup manusia tidak bergerak. Sementara berjalan, berbaris, dan berlari adalah contoh-contoh beban hidup manusia yang bergerak (Ebrahimpour & Sack 2005).

Eksitasi Manusia

Eksitasi kegiatan penghuni gedung pada lantai seperti berjalan, menari dan melompat menimbulkan gaya-gaya pada lantai. Gaya-gaya ini yang akan menimbulkan getaran pada sistem lantai karena antara struktur gedung dengan gaya gerakan manusia tidak dapat diisolasi (Hanagan & Murray 1997). Getaran yang ditimbulkan pejalan

kaki dapat menginduksi beban berirama dinamis impulsif pada arah vertikal dan horisontal yang didominasi oleh tingkat mondar-mandir. Tingkat mondar-mandir untuk berjalan adalah antara 1,6 dan 2,4 langkah per detik, yaitu 1,6-2,4 Hz (berjalan lambat sampai dengan cepat) sementara untuk kecepatan langkah jogging adalah sekitar 3 Hz (Collette 2004).

Beban pejalan kaki yang didominasi oleh tingkat mondar-mandir, juga mencakup komponen harmonik yang lebih tinggi yang disebabkan oleh sifat impulsif beban dengan frekuensi sesuai dengan *multiple integer* dari tingkat mondar-mandir. Gerakan berjalan pejalan kaki pada tingkat mondar-mandir 2 Hz akan membebani lantai dengan kekuatan yang terdiri dari komponen harmonik pada 2 Hz (harmonik pertama), 4 Hz (harmonik kedua), dan 6 Hz (harmonik ketiga). Sistem lantai gedung bertingkat mungkin rentan terhadap resonansi yang disebabkan oleh gerakan pejalan kaki; hal ini akan terjadi bila satu atau lebih frekuensi alaminya berada dalam rentang 1,6-2,4 Hz (harmonik pertama), 3,2-4,8 Hz (harmonik kedua) dan 4,8-7,2 Hz (harmonik ketiga). Karena amplitudo getaran yang mengganggu yang disebabkan oleh frekuensi alami (f_n) lantai terjadi bersamaan dengan salah satu harmonik dari eksitasi gerakan berjalan kaki, maka komponen harmonik yang lebih tinggi pada gerakan ini masih dapat diterima. Untuk sistem lantai dengan damping tinggi ($\zeta \geq 5\%$), frekuensi alami (f_n) sistem lantai terendah harus berada di atas rentang frekuensi harmonik kedua (yaitu di atas 4,8 Hz) dan untuk lantai dengan damping rendah ($\zeta \leq 2\%$), frekuensi resonansi terendah harus berada di atas harmonik ketiga, yaitu di atas 7,2 Hz (Haritos, et al. 2005). Frekuensi alami getar harus ditergetkan lebih besar atau sama dengan 7,5 Hz ($f_n \geq 7,5$ Hz), agar parameter getar menyebar dengan akurat, maka. Beberapa lantai dengan frekuensi dasar kurang dari 7,5 Hz cukup memuaskan untuk aktivitas berjalan normal atau berjalan cepat (Bachmann 1995). Di sisi lain, lantai komposit dengan redaman yang sangat rendah ($\zeta \leq 2\%$), dapat mengalami tingkat getaran yang tinggi walaupun frekuensi alami pertama berada di atas 7,5Hz (Haritos, et al. 2005).

Frekuensi Getaran Pada Sistem Lantai

Getaran lantai merupakan fenomena yang dipengaruhi oleh beberapa parameter, termasuk evaluasi subjektif. Studi telah menunjukkan bahwa

orang memiliki tingkat sensitivitas yang berbeda terhadap getaran lantai, dan perbedaan ini diperburuk oleh keadaan dalam ruangan. Misalnya, orang yang duduk di sebuah ruangan memiliki toleransi lebih sedikit terhadap getaran lantai daripada orang yang sama berjalan di sekitar ruangan. Sementara barang-barang yang ada di dalam ruang akibat getaran lantai, seperti gemeretak piring dalam lemari dapat juga mempengaruhi penerimaan manusia. Maka sifat subjektif dari persepsi getaran lantai membuat standar evaluasi objektif sulit tercapai.

Konten frekuensi adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan jumlah mode seluruh frekuensi sistem lantai. Untuk getaran lantai, frekuensi alami pertama (f_n), dikenal sebagai frekuensi alami fundamental yang digunakan untuk tujuan desain. Dengan memperhatikan frekuensi alami fundamental, manusia lebih sensitif terhadap frekuensi rendah daripada getaran frekuensi tinggi. Kisaran sensitif bagi manusia dalam merespon getaran lantai biasanya antara 4 dan 8 Hz.

Frekuensi alami fundamental dari sistem lantai adalah fungsi dari bentang, kekakuan dalam arah balok lantai, dan satuan massa lantai, dalam bentuk umum dapat dinyatakan sebagai berikut (Technical Note, E70, APAEWS, September 2004) :

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{g/\delta_{st}} \dots\dots\dots (1)$$

$$\delta_{st} = \frac{g}{f_n^2 \cdot (2\pi)^2} \dots\dots\dots (2)$$

$$\zeta = \frac{\delta_{st}/2\pi}{\sqrt{1+(\delta_{st}/2\pi)^2}} \dots\dots\dots (3)$$

$$k = \frac{(2\pi)^2 \cdot m}{T^2} \dots\dots\dots (4)$$

dengan : f_n = frekuensi alami dasar (Hz), g = gravitasi (cm/det²), δ_{st} = lendutan statis (cm), dan ζ = damping (%), k = kekakuan sistem, T = waktu getar sistem dan m = massa sistem, C = damping sistem, C_c = damping kritis sistem.

Retrofit Untuk Lantai Bergetar

Berbagai pilihan (atau kombinasi dari beberapa pilihan) dapat diambil untuk mengoreksi masalah getaran sistem lantai gedung bertingkat, tetapi efektivitasnya dapat bervariasi. Menyediakan pilihan untuk memperbaiki getaran pada sistem lantai menjadi penting, pertama mengidentifikasi penyebab terjadinya getaran pada sistem lantai sebelum kemudian menentukan tindakan yang tepat yang harus dilakukan.

Memperbesar frekuensi alami fundamental dan memperkecil amplitudo getaran dapat dilakukan pada sistem lantai yang memiliki frekuensi alami fundamental dalam rentang frekuensi rendah, dan masalah getarannya dapat ditanggulangi dengan cara menambah kekakuan sistem lantai tersebut. Di sisi lain, jika getaran pada sistem lantai terjadi disebabkan oleh amplitudo getaran yang besar, masalah getaran lantai dapat diselesaikan dengan menambah masa lantai (Technical Note, E70, APAEWS, September 2004).

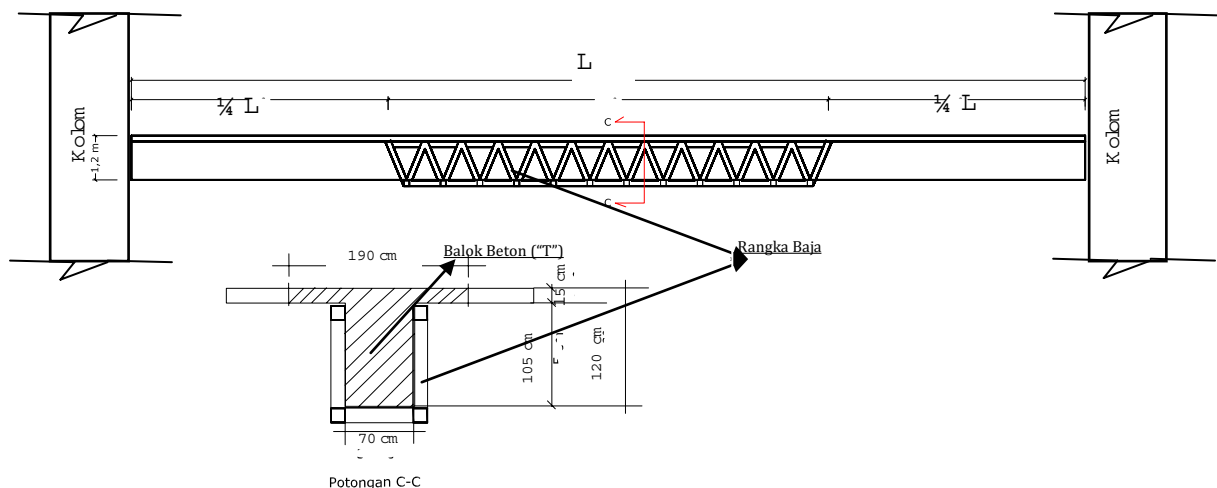
Berikut ini adalah beberapa pilihan penanggulangan getaran pada sistem lantai, meskipun beberapa opsi mungkin tidak layak karena ruang lantai yang tersedia tidak memungkinkan dan/atau pertimbangan ekonomi :

- a) Perkuatan pada Balok (balok induk/balok anak)
Sistem Lantai : frekuensi alami fundamental dari sistem lantai yang dibuat dari bahan kayu dapat ditingkatkan dengan menambah kekakuan balok sistem lantai tersebut, dengan cara menempelkan papan kayu struktural pada kedua sisi dari setiap balok induk dan balok yang bermasalah.
- b) Pelat Lantai : penambahan tebal pelat lantai akan menambah kekakuan sistem lantai di disepanjang bentang jika sistem lantai terpasang dengan benar pada balok lantainya. Di sisi lain, penambahan tebal pelat lantai juga akan meningkatkan massa lantai, yang cenderung menurunkan amplitudo getaran. Secara keseluruhan, menambah massa pada lapisan lantai memiliki efek positif pada kinerja lantai.
- c) Memasang Rangka Plafon dan Penutup Plafon : Untuk sistem lantai yang dibuat dari bahan kayu memasang rangka plafon dan penutup plafon dapat menambah kekakuan pada sistem lantai, terlebih bila rangka tersebut dipasang dengan cara dipaku atau dibaut pada balok sistem lantai.
- d) Memperpendek Bentang Sistem Pelat Lantai : Jika memungkinkan, memperpendek bentang sistem lantai dengan cara menambahkan tumpuan ditengah bentangnya, tapi harus memperhitungkan juga momen negatif yang akan terjadi yang sebelumnya tidak diperhitungkan.

Tulisan ini mengenai penanggulangan getar pada sistem lantai gedung bertingkat beton bertulang dengan cara memberikan kekakuan tambahan pada balok induk lantai tersebut menggunakan sistem rangka baja. Dengan mempertimbangkan, karena bagian terlemah balok berada ditengah bentang, maka rangka baja tersebut dipasang ditengah bentang balok induk sepanjang ½ bentang balok seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Metode ini diterapkan pada gedung yang berfungsi sebagai tempat ibadah berlokasi di Indonesia bagian timur dan di analisis menggunakan analisa

modal program SAP.2000. 11.1 (Asraf Habibullah 1995).



Gambar 1 Sketsa Pemasangan Pengaku Rangka Baja pada Balok Induk Sistem Lantai

Tujuan Studi

Studi ini bertujuan mengkaji suatu metode penanggulangan getar pada sistem pelat lantai gedung bertingkat dengan cara menambah frekuensi getar pada balok induknya.

METODE

Pengkajian dilakukan dengan metode analisis modal menggunakan program komputer SAP 2000.11.1 (Asraf Habibulah 1995). Metoda ini diterapkan sebagai studi kasus pada bangunan bertingkat yang berfungsi sebagai tempat ibadah di wilayah Timur Indonesia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Gedung

Bangunan gedung berfungsi sebagai tempat ibadah yang berlokasi di daerah dengan resiko gempa tinggi. Gedung dengan sistem penahan beban lateral rangka beton bertulang terbuka, terbagi kedalam dua blok yang saling berhimpit, yaitu blok A dan blok B. Blok A terdiri dari 4 lantai berfungsi sebagai kantor, *food court*, dan asrama. Gedung blok B terdiri dari 2 lantai berfungsi sebagai ruang serba guna tempat ibadah di lantai pertama dan latihan yang berkaitan dengan kegiatan ibadah. Tampak samping gedung diperlihatkan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Pada gedung blok B, karena difungsikan sebagai tempat latihan dan orang berkumpul dalam kegiatan ibadah diperlukan ruang yang besar tidak terhalang oleh adanya kolom-kolom ini mengakibatkan dibuatnya balok bentang panjang (sampai dengan 26 m) dari beton berulang. Pada saat digunakan kegiatan latihan pada lantai ini dirasakan getaran yang mengganggu sehingga getaran pada pelat lantai ini

perlu ditanggulangi. Balok utama pada pelat lantai berukuran 120 cm x 70 cm, panjang 26 m dan tebal pelat 15 cm, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

Getaran pada komponen balok atau pelat pada suatu gedung bertingkat memang tidak dapat dihindarkan, terutama untuk gedung yang digunakan sebagai tempat pertunjukan musik. Getaran pada sistem lantai ini dapat diperkecil sehingga getaran tersebut tidak menimbulkan ketidaknyamanan. Getaran yang menimbulkan ketidaknyamanan tersebut adalah getaran dengan frekuensi (f_n) kurang dari 10 Hz, maka untuk mengurangi getar pada komponen balok atau pelat harus memperbesar frekuensi (f_n) sebesar 8 Hz sampai dengan 10 Hz (Koo J 2003).

Parameter Getar Sistem Rantai Asli (Sebelum Diperbaiki)

Pemeriksaan frekuensi getar balok asli dilakukan dengan analisis modal menggunakan program komputer SAP 200.11.1 (Asraf Habibullah 1995). Dimana sistem lantai dimodelkan sebagai balok T berukuran 70 cm x 120 cm dengan lebar flens efektif 190 cm seperti pada Gambar 4. Berat sendiri balok ditambah beban hidup yang dipikulnya adalah :

- B.s. balok T =

$$\begin{aligned} 0,15\text{m} \times 3,1\text{m} \times 26\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 &= 29.016 \text{ kg} \\ \underline{0,70\text{m} \times 1,05\text{m} \times 26\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3} &= 45.864 \text{ kg} \\ &= 74.880 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Beban hidup =

Desain hidup	
$26m \times 3,1m \times 400 \text{ kg/m}^2$	= 32.240 kg
Total	= 107.120 kg

$$\text{- Massa balok} = \frac{74880 \text{ kg} + 32240 \text{ kg}}{981 \text{ cm/det}^2} = 109,2 \text{ kg}$$

Berdasarkan hasil analisis modal diperoleh waktu getar balok (T) adalah 0,277 detik atau frekuensi

alami $f_n = 1/T = 3,6 \text{ Hz}$. Parameter balok lainnya dihitung menggunakan persamaan 1 s.d 4 diatas dan diperoleh :

kekakuan balok $T = k_b = (2 \times 3,14)^2 \times 109,2 / (0,277)^2 = 56.128,4 \text{ kg/cm}$,

lendutan statis $= \delta_{st} = (981) / (3,6)^2 \times (2 \times 4,14)^2 = 1,9 \text{ cm}$.

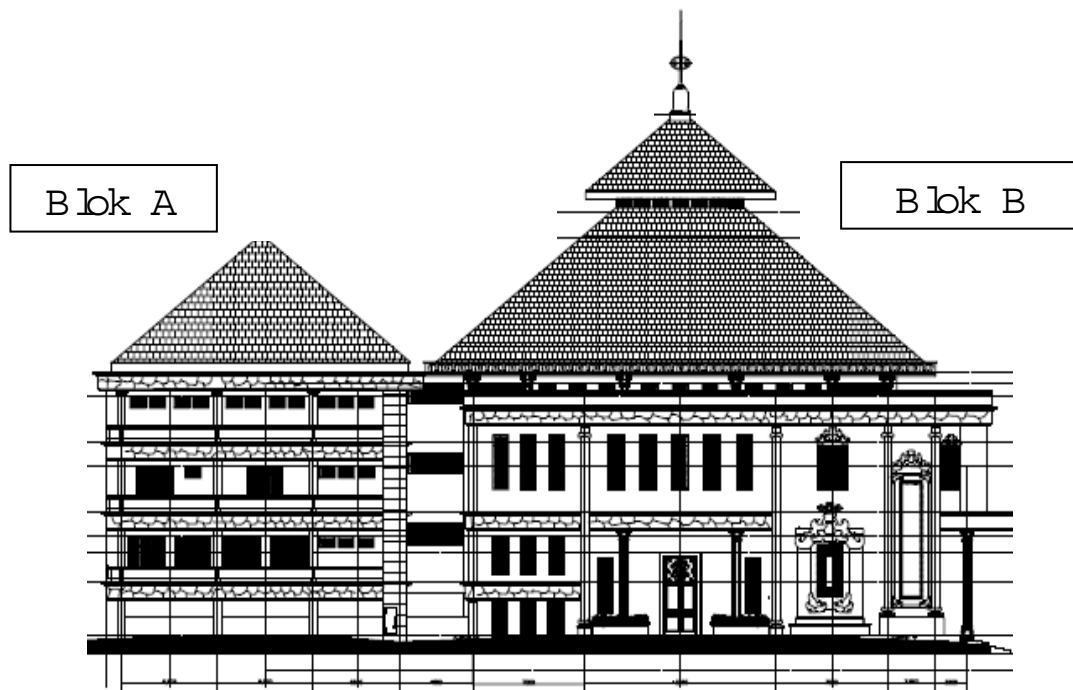
Frekuensi alami $= f_n = (\sqrt{981/1,9}) / 2\pi = 3,6 \text{ Hz}$ dan rasio damping $= \zeta = 1,9 \text{ cm} / 2 \times 3,14 = 3,025 \%$.

Gambar 5, adalah model sistem lantai dan mode getar sistem pelat lantai sebelum ditambah kekakuannya. Berdasarkan hasil penghitungan diatas frekuensi getar sistem balok lantai terpasang adalah sebesar $3,6 \text{ Hz}$. Sistem pelat lantai dengan frekuensi getar $3,6 \text{ Hz}$, bila digunakan untuk gerakan jalan kaki biasa (normal) sistem lantai gedung ini tidak dirasakan getaran yang mengganggu. Hal ini sesuai dengan hasil pengamatan dilapangan, pada saat ada gerakan "jalan kaki biasa" pada sistem pelat lantai terpasang (yang sedang diamati) tidak dirasakan adanya getaran, tetapi pada saat lantai ini

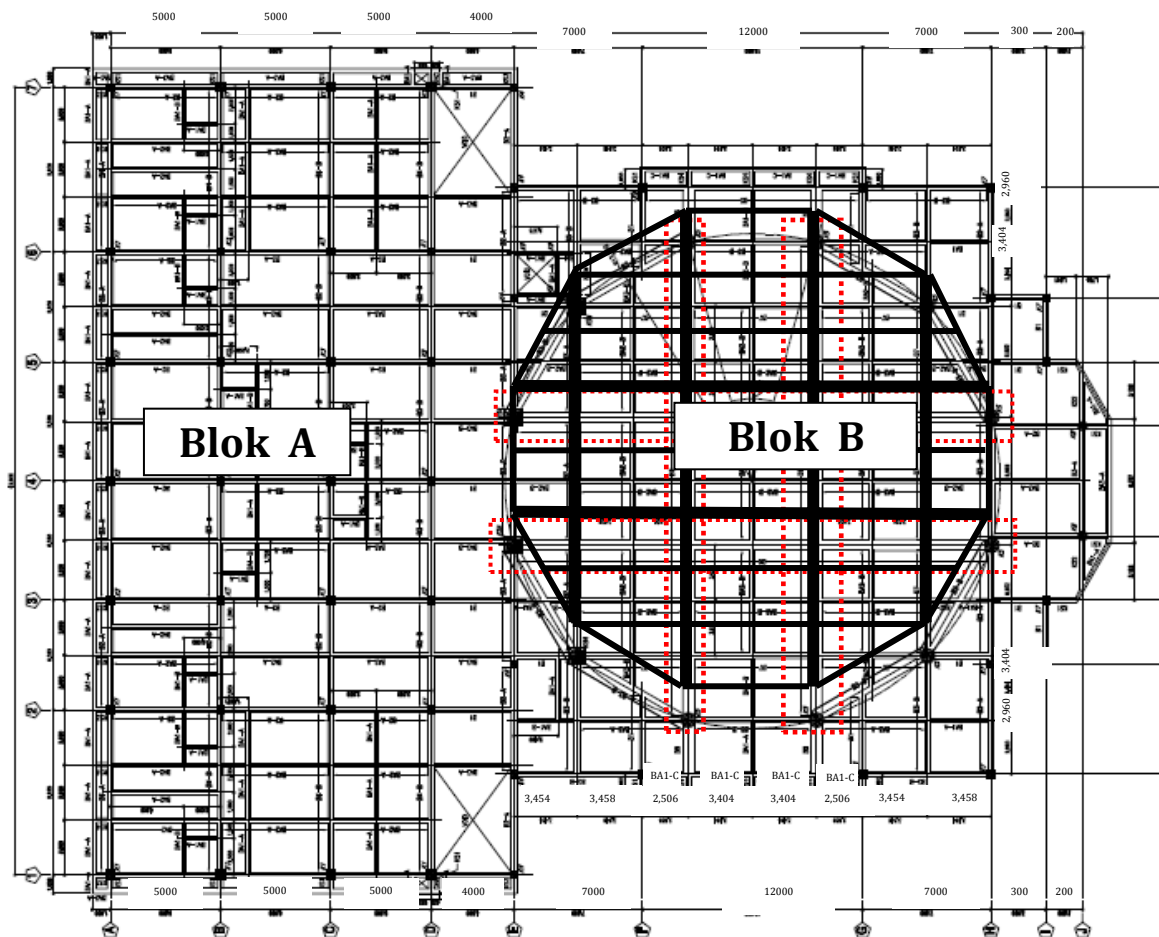
digunakan latihan menari yang ada gerakan ritmik, dapat dirasakan adanya getaran yang dapat menimbulkan kekhawatiran orang awam.

Seperti dijelaskan diatas gerakan ritmik ini menimbulkan frekuensi pada sistem lantai sampai dengan $7,5 \text{ Hz}$. Dengan mempertimbangkan kemungkinan amplifikasi resonansi oleh harmonik yang lebih tinggi dari kekuatan langkah kaki gerakan berjalan dan sistem lantai ini tidak akan digunakan sebagai tempat pertunjukan musik, maka frekuensi getar sistem lantai pada gedung ini akan ditingkatkan sampai dengan sekurang-kurangnya 8 Hz .

Bila frekuensi alami (f_n) balok sistem lantai terpasang (*existing*) didesain $= 8 \text{ Hz}$, maka parameter getar sistem balok harus memiliki kekakuan $k_b = ((2 \pi)^2 \times 109,2) / (0,125)^2 = 275.627 \text{ kg/cm}$ dengan lendutan statis $= \delta_{st} = 981 / (8^2 \cdot 2\pi^2) = 0,39 \text{ cm}$ dan rasio damping $= \zeta = 0,39 \text{ cm} / 2 \times 3,14 = 6,2 \%$. Untuk itu diperlukan suatu sistem yang dapat menambah kekakuan balok sistem lantai ini sehingga frekuensi sistem lantai bertambah hingga lebih dari 8 Hz .



Gambar 2 Tampak Samping Gedung



Gambar 3 Denah Balok dan Kolom

$$b_f = 8 \times t_{\text{pelat}} = 8 \times 15 \text{ cm} = 120 \text{ cm}$$

$$b_w = 70 \text{ cm}$$

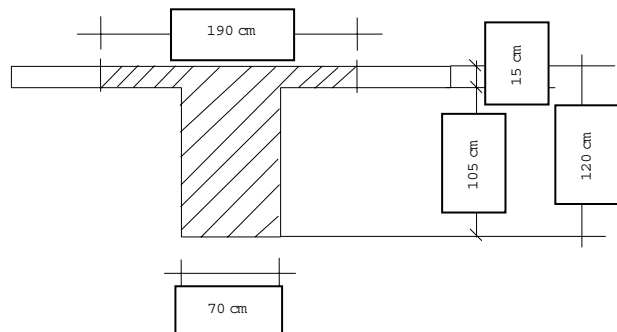
$$b_{ef} = b_w + 8 h_f = 190 \text{ cm}$$

$$b_{ef} = b_w + 2 \times h_b$$

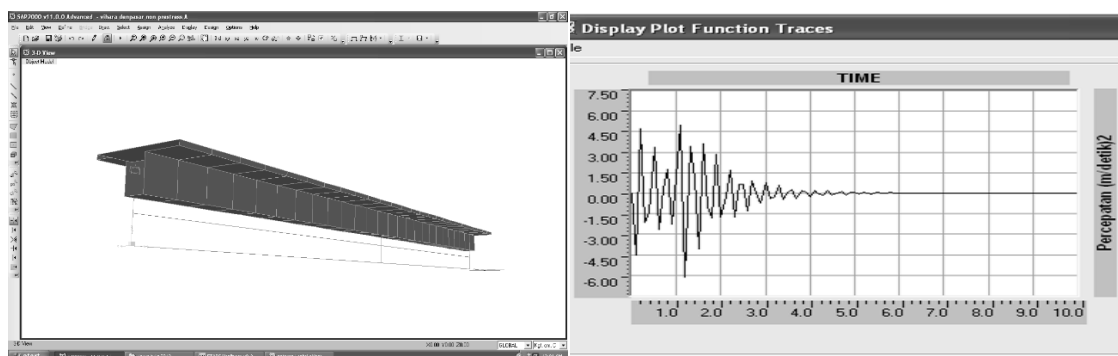
$$b_o = 70 \text{ cm}, h_b = 105$$

$$b_{ef} = 70 + 2 \times 105 = 280 \text{ cm}$$

$$b_{\text{diam.bilyang terkecil}} = 190 \text{ cm}$$



Gambar 4 Penampang Melintang Balok T Gedung



Gambar 5 Pemodelan Balok T Dalam Perhitungan Komputer dan *Traces* Getar Sistem Lantai

Pengaku Untuk Balok Pada Sistem Pelat Lantai

Agar pengaku dapat bekerja efektif maka rasio berat rangka baja dengan masa sistem pelat lantai harus berada dalam rentang 1 % s.d 4 % (Technical Note, E70, APAEWS, September 2004), dan untuk mendapatkan momen inersia batang yang besar tapi ringan, pengaku dirancang terbuat dari rangka batang baja hollow, dengan panjang rangka batang baja 1200 cm dengan jarak titik simpul 100 cm dan tinggi 120 cm seperti diperlihatkan pada Gambar 6. Konfigurasi rangka baja seperti ini sudah memperhitungkan tinggi balok sampai dengan ujung bawah lantai dan adanya balok-balok anak pada sistem lantai. Rangka baja ini ditempelkan di kedua sisi balok dalam posisi ditengah bentang balok dari sistem lantai seperti diperlihatkan pada Gambar 1.

Dimensi penampang melintang batang dari rangka tersebut, diperoleh dengan cara coba-coba melalui proses penghitungan menggunakan program SAP 2000.11.1 (Asraf Habibullah 1995). Hasil akhir coba-coba tersebut diperoleh hasil dimensi penampang melintang batang 15 cm x 10 cm dan tebal 0,4 cm. Ukuran baja seperti ini mudah diperoleh dari pabrik baja Krakatau Steel sesuai dengan katalog profil baja yang diterbitkan oleh Pabrik Baja Krakatau Steel (Katalog Profil Baja 2008).

Berat rangka batang baja seluruhnya :

$$\begin{aligned}
 &\text{- Batang tarik} = 22 \text{ btg} \times 1 \text{ m} \\
 &\quad \times ((2 \times 0,15 \text{ m} + 2 \times 0,1) \times 0,005 \text{ m}) \\
 &\quad \times 7850 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{310,86 \text{ kg}} \\
 &\text{- Batang diagonal} = 48 \text{ btg} \times 1,6 \text{ m} \\
 &\quad \times ((2 \times 0,15 \text{ m} + 2 \times 0,1 \text{ m}) \times 0,005 \text{ m}) \\
 &\quad \times 7850 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{1.085,20 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{- Batang tekan} = 12 \text{ btg} \times 1 \text{ m} \\
 &\quad \times ((2 \times 0,15 \text{ m} + 2 \times 0,1) \times 0,005 \text{ m}) \\
 &\quad \times 7850 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{339,12 \text{ kg}} \\
 &\text{Total berat rangka baja} = \mathbf{1.735,18 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

$$\text{Masa rangka baja} = 1.735,18 / 981 \text{ cm/det}^2 = \mathbf{1,769 \text{ kg}}$$

$$\text{Masa balok T (sudah dihitung)} = \mathbf{109,2 \text{ kg}}$$

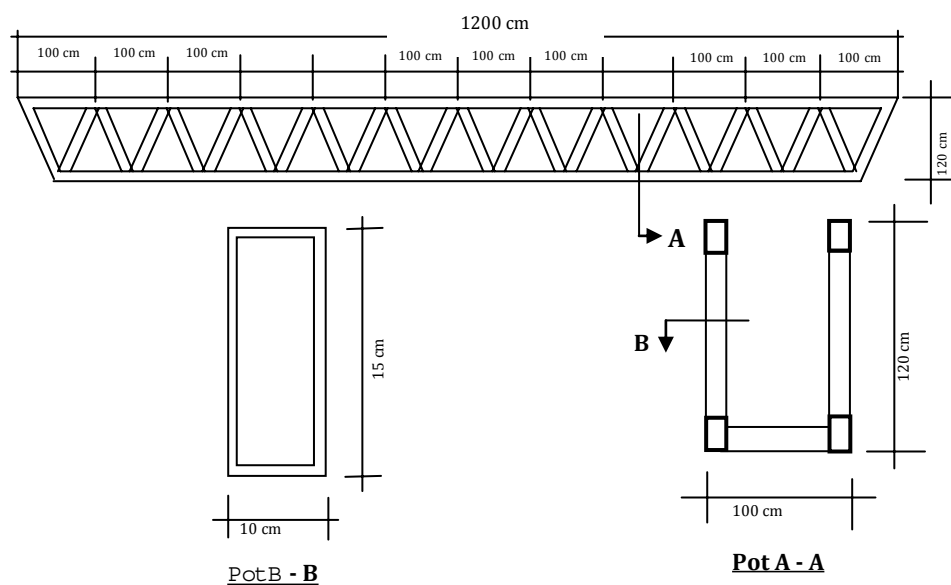
$$\begin{aligned} &\text{Rasio masa rangka baja dengan masa balok} = \\ &1,769 / 109,2 \times 100 \% = \mathbf{1,62 \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total Berat balok} &= \mathbf{107.120,00 \text{ kg}} \\
 \text{Total berat rangka baja} &= \mathbf{1.735,18 \text{ kg}} \\
 \text{Berat total balok + rangka} &= \mathbf{108.855,18 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

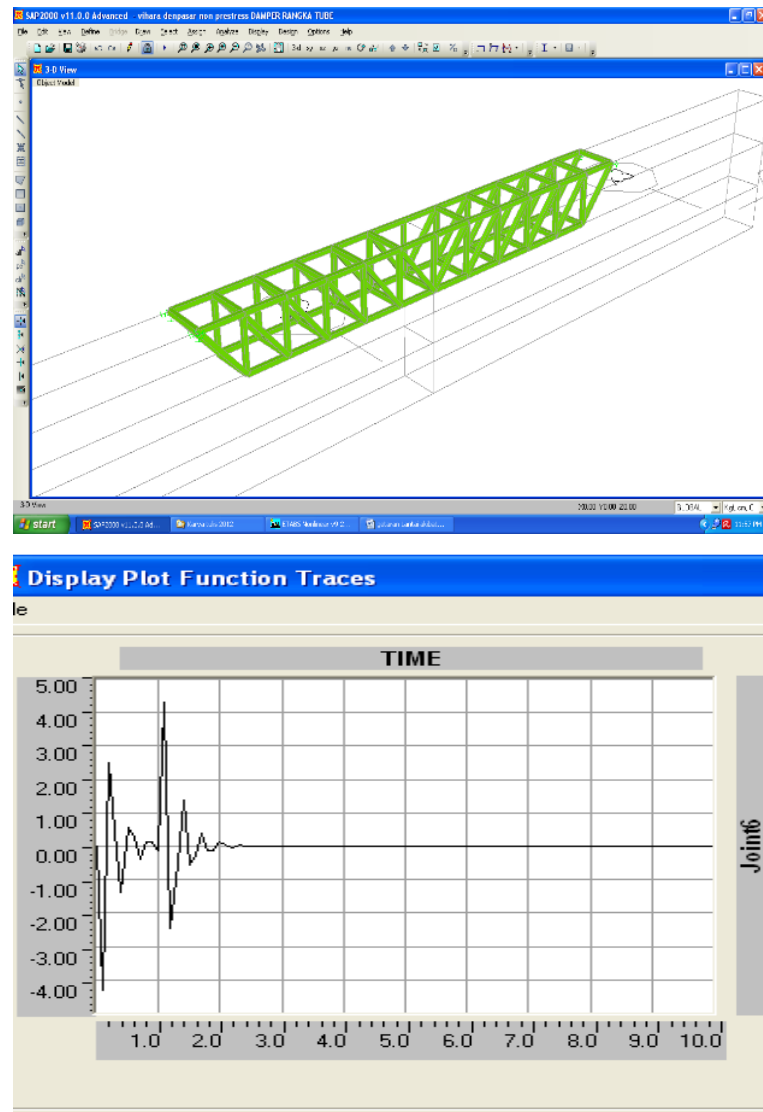
$$\text{Masa balok + rangka} = \frac{\mathbf{108.855,18 \text{ kg}}}{\mathbf{981 \text{ cm/det}^2}} = \mathbf{111 \text{ kg}}$$

Gambar 7 adalah pemodelan dan *traces* getar pengaku rangka baja. Waktu getar (T) sistem pengaku rangka baja dari hasil yang dihitung menggunakan analisis modal = **0,075** detik atau frekuensi $f = 13,3 \text{ Hz}$. Parameter getar rangka baja lainnya dihitung menggunakan persamaan 1 s.d 4 diatas diperoleh, $\delta_{st} = 0,14 \text{ cm}$, $\zeta = 2,2 \%$, dan kekakuan rangka baja $k_{Rb} = ((2\pi)^2 \times 111) / (0,075)^2 = 778.251 \text{ kg/cm}$.

Sudah dihitung di atas bahwa kekakuan sistem pelat lantai terpasang (*existing*) adalah **56.128,4** kg/cm. Maka rangka baja ini memiliki kekakuan (= **778.251** kg/cm) kira-kira 13 kali lipat kekakuan sistem lantai terpasang, kemudian rangka baja ini dipasang pada kedua sisi balok dari sistem lantai dengan cara sambungan baut seperti Gambar 6 dibawah ini, maka sebagian energi getar balok diharapkan terserap oleh rangka baja.



Gambar 6 Pengaku Rangka Batang Baja Hollow

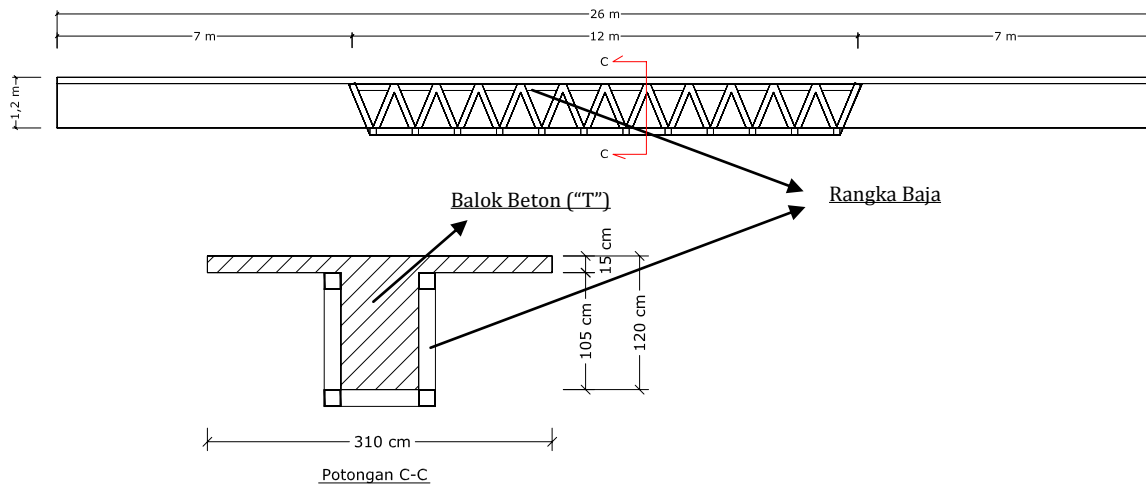


Gambar 7 Model Komputer Dan *Traces* Pengaku Rangka Baja

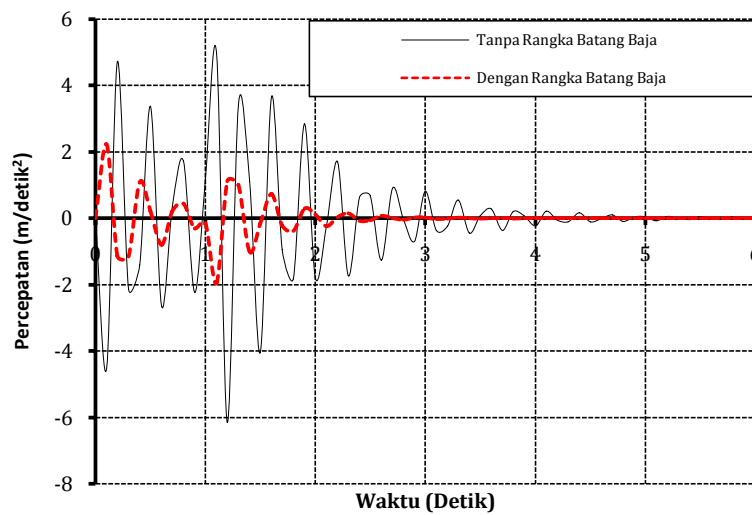
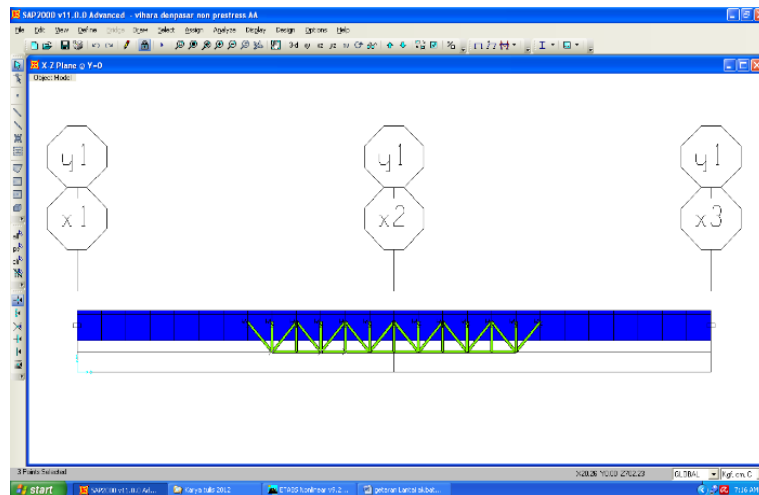
Parameter Getar Balok Setelah Dipasang Pengaku Rangka Baja

Telah dijelaskan di atas, rangka baja dipasang ditengah bentang balok dari sistem lantai sepanjang 12 m seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Dari hasil analisis modal menggunakan program SAP 2000.11.1 (Asraf Habibullah 1995) diperoleh parameter getar sistem lantai yang telah ditambah kekakuannya adalah : waktu getar $T = 0,116$ detik, frekuensi $f = 8,62$ Hz, lendutan statis $\delta_{st} = 0,33$ cm rasio damping $\zeta = 5,2$ %, dan kekakuan balok $k_b =$

325.332 kg cm. Penanggulangan getar menggunakan rangka batang baja hollow ternyata cukup efektif dalam mengubah frekuensi getar sistem lantai dari semula 3,6 Hz menjadi 8,62 Hz, dengan demikian masalah getaran yang berlebihan pada sistem lantai telah dapat ditanggulangi. Gambar 9 adalah gambar *traces* pelat lantai setelah diberi tambahan pengaku pada balok lantainya, dimana garis putus-putus adalah *traces* getar sistem pelat lantai dengan rangka batang baja pada balok induknya.



Gambar 8 Sketsa Pemasangan Pengaku Rangka Baja Pada Balok Sistem Pelat Lantai



Gambar 9 Model Komputer Balok Lantai Setelah Dipasang Rangka Baja Dan *Traces* Getaran Lantai Setelah Dipasang Pengaku Tambahan

KESIMPULAN

Tulisan ini mengenai penanganan getar pada sistem pelat lantai bangunan gedung beton bertulang dengan menggunakan rangka batang baja hollow. Sebagai studi kasus, metode ini diterapkan pada gedung yang berfungsi sebagai tempat ibadah di wilayah Indonesia Bagian Timur. Berdasarkan hasil penghitungan analisis modal, frekuensi sistem lantai asli (sebelum ditambah rangka baja) adalah 3,6 Hz. Nilai frekuensi alami ini terlalu rendah dan menyebabkan pelat lantai bergetar saat tereksitasi gerakan yang bersifat ritmik.

Penanggulangan getaran menggunakan rangka batang baja hollow dengan dimensi penampang batang baja hollow 10 x 15 cm dan tebal 0,4 mm ternyata cukup efektif dalam mengubah frekuensi getar sistem lantai dari semula 3,6 Hz menjadi 8,62 Hz. Dengan frekuensi alami sebesar ini, masalah getaran yang berlebihan pada sistem lantai pada dasarnya telah dapat tertanggulangi, karena gerakan ritmik pada sistem pelat lantai beton bertulang hanya akan memberikan eksitasi pada pelat lantai sebesar 7 Hz.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kami sampaikan kepada pihak-pihak yang telah membantu atas terselesaikannya tulisan ini, terutama Kepada Balai Struktur dan Konstruksi Bangunan Pusat Litbang Permukiman Kementerian Pekerjaan Umum dan para penelaah sehingga tulisan ini dapat diterbitkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asraf Habibullah. 1995. *Analysis Structure Program*, SAP 2000.11.1.
- Bachmann H. 1995. *"Vibration Problems in Structures : Practical Guidelines"*. Birkhäuser Verlag, Berlin.
- Collette F. 2004. *"Comfort and Vibrations on Floors due to Walking Loads"*. COWI Publications, The Scandinavian Vibration Society (SVIB). Stockholm.
- Computers & Structures. Vol. 83. Issues 28-30; Nov pp 2488-2494.
- Hanagan L. and Murray T. 1997. *"Active Control Approach for Reducing Floor Vibrations"*. *Journal of Structural Engineering*, Nov pp1497-1505.
- Haritos N., Gad E., Wilson J. 2005. *"Evaluating the Dynamic Characteristics of Floor Systems using Dynamic Testing"*. Proceedings of ACAM2005, Melbourne, Australia, pp 225-230.
- Katalog Profil Baja. 2008. Pabrik Baja Krakatau Steel.
- Koo J., 2003. *"Using Magneto-Rheological Dampers in Semiactive Tuned Vibration Absorbers to Control Structural Vibration"*. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Setareh M. 2006. *"Pendulum Tuned Mass Dampers for Floor Vibration Control"*. *Journal of Performance of Construction Facilities*.
- Technical Note, E70. APAEWS. September 2004. *"Minimizing Floor Vibration by Design And Retrofit"*. ADAPT Corporation, Redwood City. California, USA.