

PENGARUH BEBAN SEJUMLAH ORANG BERNYANYI DAN BERJOGET BERSAMA PADA STRUKTUR LANTAI GEDUNG BERBENTANG PANJANG (Studi kasus gedung Grha Sabha Pramana UGM)

Bambang Supriyadi

Laboratorium T. Struktur, Jurusan T. Sipil dan Lingkungan FT UGM, jln Grafika 2, Kampus UGM Yogyakarta,
email: bb_supri@yahoo.com

Abstract

In a previous research carried out by the writer, a natural frequency of Grha Sabha Pramana's second floor is 4.7 Hz and shows that the building is not dangerous to take on the load of even up to 5000 people at graduation or wedding ceremonies held at the building. However, with the low natural frequency, does the building meet safety requirements for large numbers of people to sing and dance in? In this research, experiments were carried out on the same floor to obtain a frequency and displacement, by using 35 people to dance to songs of different frequencies. The experiment resulted in a frequency of 4.175 to 4.822 Hz and in the highest dynamic displacement of 3.31cm. This exceeds the allowed maximum displacement of 2.729 cm, while the numeric analysis displacement and calculation at graduations in the previous research reached a maximum of 2.6 cm. Also, there was great concern and uneasiness on the part of the observers and recorders at the time when 35 people were dancing, which resulted in a maximum displacement of 3.31 cm. The concern would rise in the case of increase in numbers of people dancing, to more than 1000 people, on the floor.

Keywords:

dynamic displacement, dancing, floor, natural frequency.

PENDAHULUAN

Untuk lebih membuat ramping dimensi balok lantai yang berbentuk panjang, banyak gedung seperti auditorium, convention hall, exhibition hall, sport hall dan sejenisnya didesain dengan beton mutu tinggi. Namun, meskipun dimensi yang dipilih cukup kuat terhadap beban statik dan beban gempa tetapi tanpa disadari menurunkan frekuensi alami lantai gedung, yang menjadi berbahaya akibat resonansi karena frekuensinya berada dekat atau berimpit dengan beban hidup dinamik yang bekerja, seperti misalnya gerakan orang bernyanyi dan berjoget bersama. Dari penelitian ini dapat diketahui batasan batasan frekuensi alami lantai gedung agar tidak terlalu dekat dengan frekuensi frekuensi beban hidup dinamik yang berasal dari gerakan sekelompok orang yang mengikuti alunan musik, hentakan sekelompok orang secara periodik dan bersama dsb.

Untuk selanjutnya dapat ditambahkan dalam peraturan perancangan lantai gedung khususnya yang berbentuk panjang agar selain kuat dari beban statik dan beban gempa juga terhindar dari bahaya resonansi akibat frekuensi beban hidup dinamik yang bekerja.

Problema getaran berlebihan pada lantai gedung berbentuk panjang akibat beban hidup, yang umumnya dijumpai pada bangunan auditorium, *convention hall, exhibition hall*, sport hall dan sejenisnya, mulai mendapat perhatian para peneliti

dan para ahli struktur di negara maju untuk mengatasinya. Disamping dapat menimbulkan ketidak-nyamanan para pengguna gedung tersebut, getaran berlebihan juga dapat membesarkan gaya-gaya internal elemen-elemen struktur akibat semakin membesarnya pengaruh beban hidup dinamik.

Menurut Broch (1972) berdasarkan pertimbangan mekanik maupun psikologis, frekuensi getaran vertikal dari sistem lantai *platform* yang dapat menyebabkan resonansi (ketidak-nyamanan) pada organ-organ tubuh manusia bagian perut dan dada berkisar 3 ~ 6 Hz. Sementara frekuensi yang lebih tinggi, yaitu antara 20 ~ 30 Hz, dapat menyebabkan resonansi pada organ tubuh dibagian kepala. Kondisi tersebut berlaku baik pada posisi orang sedang berdiri maupun sedang duduk.

Menurut Pernica (1983) berdasarkan pengukuran langsung respon dinamik suatu struktur lantai *stand area* (yang dibangun dari balok beton pratekan) yang mempunyai frekuensi fundamental kurang dari 5 Hz pada saat berlangsungnya *rock concert* selama tiga jam, mengungkapkan bahwa gerakan para pengunjung (dari hentakan kaki dan tepuk tangan) menimbulkan beban dinamik ritmik dengan frekuensi berkisar 2 sampai 3 Hz.

Allen dkk (1985) mempresentasikan suatu metode perhitungan, yang didasarkan pada frekuensi beban terpilih, untuk struktur lantai yang dibebani gerakan sekelompok orang berdansa atau loncat-loncat

secara ritmik. Metode ini diterapkan pada lantai gedung dengan beban multi guna dan diperoleh frekuensi alami minimum. Prosedur ini selanjutnya dimasukkan sebagai peraturan tambahan pada *National Building Code of Canada* 1985. Penelitian yang dilakukan Reither-Meister (dalam Sctrach dkk, 1992) memberikan informasi bahwa frekuensi getaran sekitar 4 Hz, amplitudo lendutan yang sangat mengganggu kenyamanan pada manusia adalah 0,06 inci atau 1,5 mm. Setareh dan Hanson (1992) menggunakan teknik Tuned Mass Dampers untuk mengatasi masalah getaran berlebihan dari balkon sebuah auditorium (bentang arah lebar 15 m dan berkantilever sepanjang 5,5 m) akibat beban hidup pengunjung yang bersorak-sorak, dan telah melakukan simulasi dengan model *Finite Element Method* tiga dimensi maupun melakukan pengujian experimental dinamik skala penuh pada struktur tersebut, untuk mendukung solusi yang diusulkan. Hasil pengukuran respon dinamik lantai pada kondisi sebelum dan setelah dilengkapi dengan Tuned Mass Dampers menunjukkan bahwa teknik yang diusulkan cukup efektif untuk mereduksi getaran yang terjadi.

Menurut Bachmann (1995) frekuensi fundamental dari sistem lantai bentang panjang yang dirancang dengan hanya menggunakan beban statis (seperti yang lazim dilakukan di Indonesia) berkisar antara 4,5 sampai dengan 5,5 Hz. Sedangkan beban dinamis akibat sekelompok orang yang berjoged, berdansa dan bergerak bersama dengan ritme tertentu yang berlangsung lebih dari 20 detik, memiliki frekuensi sekitar 2,0 sampai 3,0 Hz. Kriteria utama perancangan yang sesuai untuk sistem lantai yang kemungkinan digunakan untuk gerakan bersama sekelompok orang dengan ritme tertentu, seharusnya lebih besar dari dua kali frekuensi beban dinamis yang bekerja. Bachman juga mensyaratkan sistem lantai dengan balok-balok prategang harus memiliki frekuensi fundamental minimal sebesar 7,0 Hz. Dalam buku standard dari Departemen Pekerjaan Umum (1991) menyarankan bahwa apabila timbul suatu keraguan mengenai keamanan dari suatu struktur atau komponen struktur, perlu dilakukan suatu penelitian terhadap kekuatan struktur dengan cara analisis ataupun cara uji beban, atau dengan kombinasi dari analisis dan uji beban.

Supriyadi, (2001,2002) secara numerik dan eksperimen menunjukkan bahaya dan resiko struktur lantai berbentang panjang akibat beban hidup statik dan dinamik.

Batasan batasan lendutan ijin maksimum dan tinggi minimum balok/pelat yang tercantum dalam berbagai Pedoman Perancangan Struktur Beton yang ada di Indonesia maupun pedoman besarnya

beban hidup yang bekerja (dalam peraturan muatan) dirasa tidak mencukupi untuk digunakan sebagai pedoman perancangan struktur lantai ruangan berbentang panjang, karena dalam prosesnya kesemuanya diasumsikan sebagai beban statik. Disamping itu, masalah getaran berlebihan pada struktur lantai berbentang panjang belum mendapat perhatian serius dari para perencana struktur di Indonesia, seperti halnya telah dilakukan untuk mengatasi beban dinamik akibat gempa.

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian dengan berbagai beban hidup dinamik yang sesuai dengan kondisi di Indonesia, dan diharapkan hasilnya dapat ditindak-lanjuti untuk menjadi suplemen pedoman perancangan beton di Indonesia agar dengan mudah dapat diikuti oleh para perencana struktur gedung dalam hal untuk menghindari masalah getaran berlebihan pada struktur lantai berbentang panjang.

METODE

Sebagai bahan atau lokasi penelitian dilaksanakan pada lantai 2 gedung auditorium UGM dengan luas efektif 18 m x 25 m yang didukung oleh kolom beton bertulang dan balok beton pratekan. Gedung ini mempunyai fungsi serbaguna seperti wisuda sarjana, resepsi pernikahan, pertemuan masal, ospek mahasiswa baru dan sebagai gedung pertunjukan.

Alat yang digunakan untuk eksperimen, antara lain alat-alat: Accelerator: PCB dan Wilcoxon Research, Sensor Amplifier, Software PC-SCOPE dengan kelengkapannya *A/D conversion card* dan Komputer.

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan mengumpulkan sejumlah 35 orang untuk berjoget mengikuti musik pada tanggal 9 September 2002. Accelerometer dipasang pada plat ditempat yang sudah terpasang di bawah balok yaitu ditempat yang sama dengan penelitian terdahulu yang pernah dilakukan dan terpasang di tengah bentang. Untuk penjumlahan data pada penelitian ini sensor diletakkan di tengah bentang, dimana kemungkinan terjadi lendutan maksimum sangat besar. Dan frekuensi natural yang didapatkan dapat mewakili struktur plat gedung Grha Sabha Pramana ini.

Pengambilan data dilakukan di lantai satu. Data diambil dengan bantuan alat komputer dan A/D konverter yang dapat merubah sinyal analog (berupa arus listrik) dari getaran yang terjadi menjadi getaran digital yang bisa dibaca oleh komputer.

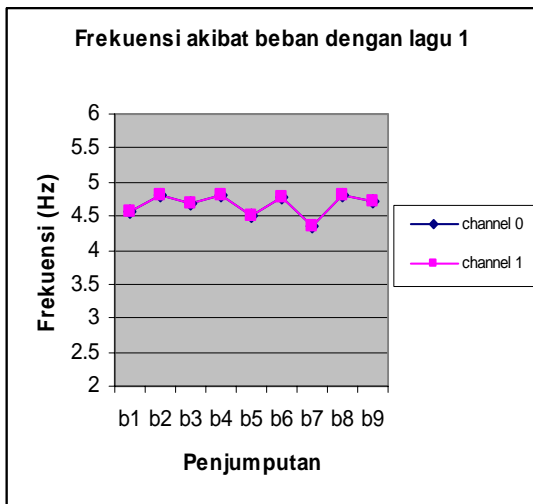
Penjumlahan data dilakukan bertepatan dengan sejumlah 35 orang yang berjoget mengikuti beberapa lagu dengan frekuensi yang berbeda dan dilakukan pada tanggal 9 September 2002. Lagu yang pertama dengan frekuensi 1 ketukan per detik

dan lagu kedua dengan frekuensi 2,1 ketukan per detik

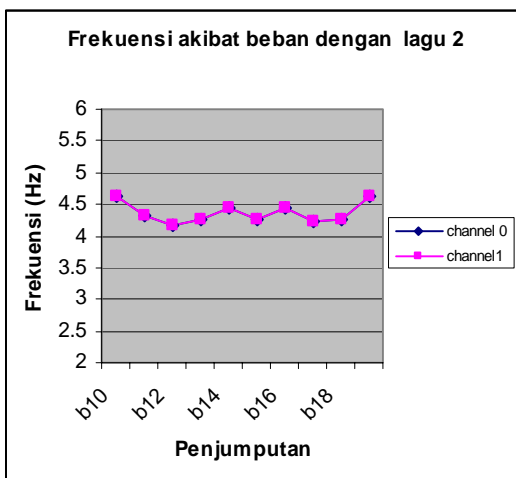
HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah data diolah maka dilakukan perhitungan lagi untuk merubah nilai amplitudo maksimum yang bisa berupa *velocity* atau *acceleration* menjadi *displacement*.

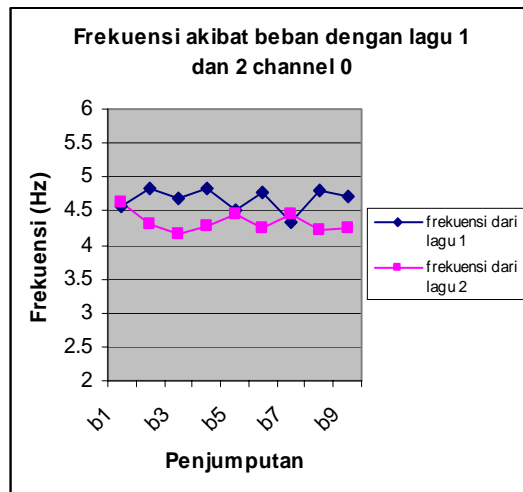
Dari Gambar 1 s.d 5 dapat dilihat bahwa hasil pengukuran frekuensi, lendutan rata-rata, dan lendutan maksimum dari sejumlah 35 orang berjoget untuk lagu pertama dengan frekuensi 1 ketukan per detik berturut-turut adalah 4,68 Hz, 9,46 mm dan 33,18 mm, sedang lagu kedua dengan frekuensi 2,1 ketukan per detik berturut-turut adalah 4,36 Hz, 11,1 mm dan 20,54 mm.



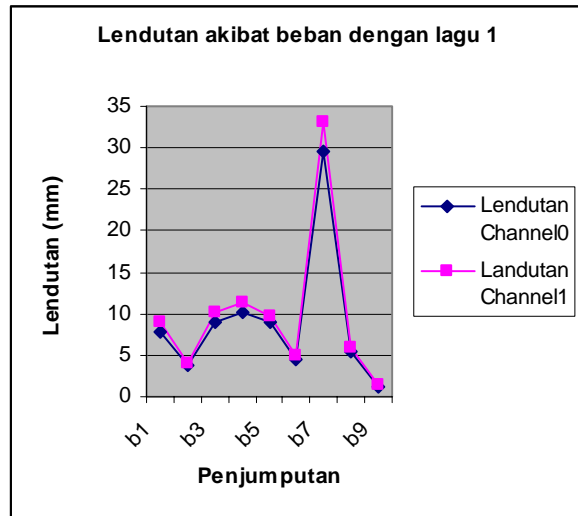
Gambar 1. Frekuensi fundamental akibat beban 35 orang dengan lagu 1



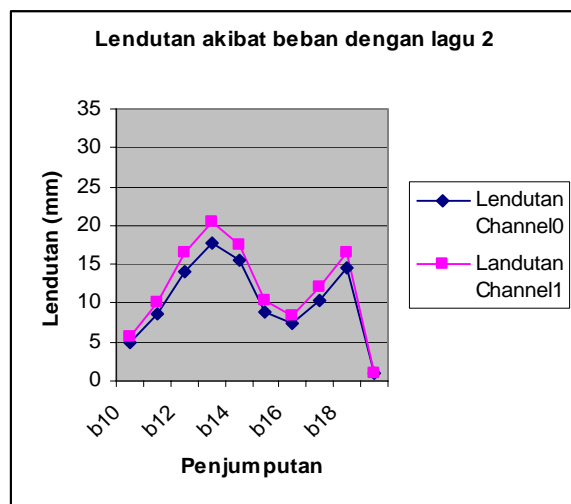
Gambar 2. Frekuensi fundamental akibat beban 35 orang dengan lagu 2



Gambar 3. Perbandingan frekuensi fundamental akibat beban 35 orang dengan lagu 1 dan 2



Gambar 4. Lendutan akibat beban 35 orang dengan lagu 1



Gambar 5. Lendutan akibat beban 35 orang dengan lagu 2

Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa dengan frekuensi beban yang lebih mendekati frekuensi fundamentalnya menghasilkan nilai lendutan rata-rata lebih besar yaitu $11,1 \text{ mm} > 9,46 \text{ mm}$. Namun nilai lendutan maksimum yang pernah terjadi justru pada saat lagu pertama dan nilainya lebih besar dari lagu kedua, yaitu $33,18 \text{ mm} > 20,54 \text{ mm}$. Hasil lain yang dapat diamati pada saat pengukuran antara lain; pada lagu kedua dimana lendutan rata-rata lebih besar, pintu dan jendela atas lantai I ikut bergetar. Lantai II tampak bergoyang yang mengakibatkan ketidaknyamanan dan ketidaktenangan orang yang berjoget di atasnya maupun juga orang yang sedang melakukan pengukuran di lantai I.

SIMPULAN

Frekuensi fundamental yang diperoleh secara eksperimen dilapangan sebesar antara 4,175 s.d 4,822 Hz. Lendutan dinamik yang terjadi karena beban 35 orang yang berjoget di daerah tengah bentang menghasilkan lendutan dinamik terbesar 3,31 cm. Ini melebihi lendutan ijin maksimum 2,729 cm (yang mendasarkan bentang pada daerah momen lapangan sebesar 13,1 m). Dibandingkan hasil lendutan analisis numerik dan pengukuran saat wisuda pada penelitian sebelumnya maksimum hanya sebesar 2,6 cm. Selain itu, pada saat dilakukan pembebanan dengan sejumlah 35 orang yang berjoget mencapai lendutan maksimum sebesar 3,31 cm, terasa ketidaknyamanan dan kekhawatiran pada para pencatat dan pengamat yang tidak ikut berjoget/bergoyang. Kekhawatiran akan terbayang bila jumlah orang yang berjoget bertambah banyak atau lebih dari 1000 orang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Diucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi melalui Pengelola Penelitian Hibah Bersaing IX, karena berkat keluarnya dana penelitian pada tahun anggaran 2002 apa yang direncanakan dalam penelitian dapat terealisasi. Tidak lupa pula diucapkan terima kasih kepada semua anggota tim atas kerjasamanya.

REFERENSI

- Allen, D.E, Rainer, J.H, and Pernica, G, 1985, "Vibration Criteria for Assembly Occupancies", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 12 (3), 617 - 623
- Anonim, 1991, "Tata cara penghitungan struktur beton untuk bangunan gedung", Yayasan LPMB Departemen Pekerjaan Umum, SK SNI T-15-1991-03, pp 106-108.
- Bachmann, H dan Pretlove, A.J, 1995, "Vibration Problems in Structures, Birkhauser Verlag", Boston
- Broch, J.T, 1972, "Hand Book of Mechanical Vibration and Shock Measurement", Bruel & Kjaer.
- Pernica, G, 1983, "Dynamic Live Loads at a Rock Concert", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 10 (2), 185 -191
- Setareh, M and Hanson R.D, 1992, "Tuned Mass Dampers for Balcony Vibration Control", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 118, No.3, 723-740.
- Setareh, M and Hanson R.D, 1992, "Tuned Mass Dampers to Control Floor Vibration from Humans", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 118, No.3, 741-762.
- Setareh, M and Hanson R.D, 1992, "Using Component Mode Synthesis and Static Shapes for Tuning TMDs", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 118, No.3, 763-782.
- Supriyadi, B, dkk, 2001, "Pengaruh beban hidup dinamik pada struktur lantai gedung berbentuk panjang", Laporan penelitian Hibah Bersaing IX/1, LP-UGM.
- Supriyadi, B, dkk, 2002, "Pengaruh beban hidup dinamik pada struktur lantai gedung berbentuk panjang", Laporan penelitian Hibah Bersaing IX/2, LP-UGM.
- Supriyadi, B., 2002, "The Influence of Dynamic Live Load on the Long Span Floor Building Structure", *International Conference on Advancement in Design, Construction, Construction Management and Maintenance of Building Structures*, Ministry of Settlement and Regional Infrastructure, 27-28 March 2002, Bali