

Studi Kinerja Pelat dan Balok Beton Bertulang di Gedung E Fakultas Teknik Universitas Lampung Akibat Getaran

Dhea Yulia Resmonida¹⁾

Masdar Helmi²⁾

Fikri Alami³⁾

Abstract

In General, the plate of building will restrain the live load from various activities on it. Furthermore, this live load may produce structural vibrations which cause the inconvenient condition for the users.

The study aims to evaluate the vibrations of the plate based on testing on field and numerical analysis using SAP2000 Software. The analysis calculations according to ISO 2631-2 : 2003 and steel design guide 11th series floor vibrations due to human activity

The measurement on field shows that the compression strength of reinforced concrete for the plate and beams are between K-350 and K-400 which means both of them are medium quality concrete in addition. The frequencies of plate are between 12,94 - 23,29 Hz with the acceleration rates of 0,235 - 1,13 m/s². The numerical analysis results that the frequencies of plate in 8,05 Hz and 8,13 Hz frequencies due to walking load with the accelerations under 0,5% g. Based on both of analysis is concluded that the plate E building is a rigid structure.

Keywords: Beam, Plate, Vibrations and Acceleration .

Abstrak

Pada umumnya lantai gedung perkuliahan akan mengalami beban hidup yang berasal dari berbagai aktivitas di atasnya. Pergerakan beban hidup di atas lantai ini akan menghasilkan getaran pada struktur lantai dan dapat menimbulkan ketidaknyamanan bagi pengguna gedung.

Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi getaran lantai ruang kelas dengan metode pengujian di lapangan dan analisis numerik menggunakan *Software* SAP2000. Untuk perhitungan mengacu pada peraturan ISO 2631-2 : 2003 dan Steel Design Guide 11th Series “Floor Vibration due to Human Activity”

Berdasarkan hasil pengujian lapangan, didapatkan kuat tekan beton pelat dan balok bertulang antara K-350 dan K-400 termasuk karakteristik beton mutu sedang dan didapatkan frekuensi pelat lantai berkisar 12,94 – 23,29 Hz dengan akselerasi antara 0,235 – 1,13 m/s². Sedangkan berdasarkan analisis numerik didapatkan hasil frekuensi getaran sebesar 8,0515 Hz dan frekuensi akibat beban berjalan sebesar 8,13 Hz dengan akselerasi frekuensi alami dibawah 0,5%g sehingga struktur tersebut kaku.

Kata kunci: Balok, Pelat, Getaran dan Akselerasi.

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

²⁾ Dosen pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Dosen pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

1. PENDAHULUAN

Sebuah struktur gedung bertingkat maupun rumah tinggal memiliki komponen struktur yang berfungsi untuk menghubungkan kolom bangunan dan menahan beban lantai yang berada di atasnya, struktur tersebut disebut struktur balok. Dalam perencanaannya struktur balok dapat memakai banyak material, antara lain adalah beton bertulang, baja atau kombinasi antara baja dan beton (balok komposit). Banyak gedung dalam mendesain dimensi ramping pada balok yang berbentang panjang dengan mutu tinggi. Namun, meskipun dimensi yang dipilih cukup kuat terhadap beban statik dan beban gempa tetapi tanpa disadari dapat menurunkan frekuensi alami lantai gedung dapat menjadi berbahaya akibat resonansi. Sehingga problema getaran berlebihan pada lantai gedung berbentang panjang akibat beban hidup mulai mendapatkan perhatian dari peneliti dan para ahli struktur di negara maju untuk mengatasinya

Dalam penelitian ini dilakukan pengecekan terhadap pelat dan balok beton bertulang menggunakan data getaran yakni *walking vibration*. Pengambilan data kekuatan beton dilakukan dengan cara tidak merusak konstruksi dengan menggunakan alat *hammer test* dan UPV, sedangkan pengujian getaran pada pelat beton menggunakan *accelerometer*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kenyamanan dan keamanan struktur pelat dan balok. Mengatasi dan memberikan solusi pada permasalahan pelat dan balok yang diakibatkan oleh getaran manusia berjalan maupun melompat di gedung E Fakultas Teknik Universitas Lampung.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Suatu bangunan gedung beton bertulang yang berlantai banyak sangat rawan terhadap keruntuhan jika tidak direncanakan dengan baik. Oleh karena itu, diperlukan suatu perencanaan struktur yang tepat dan teliti agar dapat memenuhi kriteria kekuatan (*strenght*), kenyamanan (*serviceability*), keselamatan (*safety*), dan umur rencana bangunan (*durability*). Beban-beban yang bekerja pada struktur seperti beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), beban gempa (*earthquake*), dan beban angin (*wind load*) menjadi bahan perhitungan awal dalam perencanaan struktur untuk mendapatkan besar dan arah gaya-gaya yang bekerja pada setiap komponen struktur, kemudian dapat dilakukan analisis struktur untuk mengetahui besarnya kapasitas penampang dan tulangan yang dibutuhkan oleh masing-masing struktur (Gideon dan Takim, 1993).

Pelat beton (*concrete slabs*) merupakan elemen struktural yang menerima beban hidup dan beban mati pada lantai yang selanjutnya akan disalurkan ke balok dan kolom sampai ke struktur bawah. Pelat beton mempunyai peranan yang penting pada bangunan gedung bertingkat, baik sebagai pelat lantai dan pelat bordes ataupun pelat pada dak atap. Pelat diklasifikasikan berdasarkan cara pelat tersebut didukung. Dengan sistem pendukung tersebut, pelat akan melendut dalam satu arah atau dua arah.

Balok beton adalah bagian dari struktur yang berfungsi sebagai penyalur momen menuju struktur kolom. Balok dikenal sebagai elemen lentur, yaitu elemen struktur yang dominan memikul gaya dalam berupa momen lentur dan gaya geser. Beton yang dibebani secara tetap dalam jangka waktu yang lama mengakibatkan beton memiliki sifat rangka. Oleh karena itu pada balok beton dikenal istilah *shortterm (immediate) deflection* dan *long-term deflection* yang membuat lendutan. Lendutan adalah fungsi dari kekakuan yaitu perkalian antara modulus elastisitas beton (E_c) dengan inersia penampang (I). Lendutan itu harus dibatasi, karena berkaitan dengan kenyamanan dan seni dalam arsitektur.

Getaran adalah gerakan bolak balik (*reciprocating*), memantul ke atas dan kebawah atau ke belakang dan kedepan. Gerakan tersebut terjadi secara teratur dari benda atau media dengan arah bolak balik dari kedudukannya. Hal tersebut dapat berpengaruh terhadap semua atau sebagian tubuh (ILO, 2013). Dalam satu getaran memiliki periode dan frekuensi. Periode adalah waktu yang ditempuh untuk melakukan suatu peristiwa. Dalam getaran, periode adalah waktu yang diperlukan untuk menempuh satu getaran. Satuan yang sering digunakan untuk periode adalah detik atau sekon (s). Simbol yang digunakan untuk melambangkan periode adalah T (huruf besar). Sedangkan, frekuensi sendiri memiliki arti yakni besaran ukuran jumlah putaran ulang suatu peristiwa dalam waktu tertentu.

$$Fn = \frac{1}{2\pi} \sqrt{(k/m)} \quad (1)$$

Dimana:

fn = frekuensi alami dalam Hertz (siklus/detik)
k = kekakuan (N/m)
m = massa (kg)

$$[k - \omega_n^2 - m]\Phi_n = 0 \quad (2)$$

Dimana :

m = massa struktur (ton)
K = kekakuan struktur (kN/m)
 ω_n^2 = frekuensi alamiah struktur (rad/s)
 Φ_n = pola getar alamiah

Frekuensi dan amplitudo yang diakibatkan oleh kegiatan manusia 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 and 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.

3. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian berada lantai 2 Gedung E Fakultas Teknik Universitas Lampung yakni di ruangan E.24 Penelitian dilakukan dengan dua metode, yaitu :

3.1. Metode Eksperimental

Metode ini berupa kegiatan investigasi lapangan / survey lapangan bertujuan untuk memperoleh kekuatan beton pada struktur yang diuji, dan mengetahui secara visual kerusakan-kerusakan yang terjadi di lapangan tanpa merusak konstruksi yang ada. Kegiatan ini terbagi menjadi 2 yaitu uji *Non-Destructive* (tanpa merusak) dan pengamatan visual dan koleksi data.

Uji *Non-Destructive* dilakukan dengan menggunakan alat-alat bantu tertentu untuk mendapatkan *property* dari material seperti, kekuatan beton dari struktur balok dan pelat.

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat bantu seperti *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV), dan *Hammer Test*. Serta pengujian getaran dan percepatan yang diakibatkan beban manusia dengan *Accelerometer*.

Hammer test adalah pengujian mutu permukaan beton yang bersifat tidak merusak. Metode penggunaan alat ini yaitu dengan memberikan suatu impuls (tumbukan pada permukaan beton yang di uji dengan suatu massa yang diaktifkan dengan memberikan energi tertentu. Nilai indikator pantulan pukulan inilah yang selanjutnya akan dikonversikan menjadi nilai kuat tekan. *Hammer test* yang umumnya digunakan adalah *Hammer* jenis *Rebound Hammer*.

Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT) adalah cara untuk memperkirakan kekerasan beton yang didasarkan pada hubungan kecepatan gelombang UPV melalui media beton dengan kekuatan tekan beton (*International Atomic Energy Agency*, 2002). Saat gelombang merambat dalam medium berbeda, yaitu gel dan beton, pada batas beton dan gel akan terjadi pantulan gelombang yang merambat dalam bentuk gelombang transversal dan longitudinal. yang merambat dalam bentuk gelombang transversal dan longitudinal. Alat uji UPV digunakan untuk memprediksi kekuatan, mendeteksi keberadaan kerusakan internal seperti retak, rongga-rongga, lapuk ataupun kerusakan-kerusakan lain dan mengukur modulus elastis

Accelerometer digunakan untuk mendapatkan hasil berupa besarnya frekuensi dan akselerasi yang didapatkan dari beban berjalan (*walking vibration*) dimana alat diletakan di tengah pelat lantai yang dibebani orang berjalan.

3.2. Metode Numerik

Kegiatan analisis struktur bertujuan untuk menganalisis elemen-elemen struktur baik secara partial maupun secara keseluruhan dalam menentukan Kegiatan ini dilaksanakan dengan bantuan *software* yang tersedia sekarang seperti *software Structural Analysis Program* (SAP) 2000.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan hasil pengukuran getaran mengacu pada penelitian Bachroni (2015) dengan SAP 2000 serta dilengkapi dengan pengukuran di lapangan berupa kuat tekan beton dan frekuensi struktur.:

4.1. Pembahasan Metode Eksperimental

Pengujian pertama yang dilakukan adalah pengujian *Hammer test*. Pengujian *hammer test* dilakukan pada titik-titik kolom dan balok yang sudah ditentukan, pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan hasil kekuatan beton yang berada di lantai 1 gedung E Fakultas Teknik. Pengujian ini untuk mengestimasi nilai kuat tekan dari setiap titik pukul *hammer test* pada satu daerah uji dengan menggunakan grafik *hammer*. Nilai indikator pantulan pukulan inilah yang selanjutnya akan dikonversikan menjadi nilai kuat tekan.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Hammer Test* Pada Kolom

Pengujian	Kolom			
	Reabar reading	Kuat tekan (MPa)	Reabar reading	Kuat tekan (MPa)
1	40	39,5	42	43
2	42	43	46	50
3	44	45,5	40	49,5
4	46	50	42	43
5	40	39,5	44	46,5
6	42	43	46	50
7	44	46,5	40	39,5
8	42	43	40	39,5
9	46	50	44	46,5
10	44	46,5	46	50
11	44	46,5	42	43
12	44	46,5	40	39,5
13	42	43	46	50
14	46	50	42	43
15	42	43	40	39,5
16	40	39,5	40	39,5

Dari tabel di atas didapatkan:

Standar Deviasi (SD) = 3,6148
 Kuat tekan kubus (σ_{bk}) = 37,7940 kg/cm²
 Kuat tekan silinder (f'_c) = 31,3694 Mpa

Tabel 2. Hasil Pengujian *Hammer Test* Pada Balok

Pengujian	Balok			
	Reabar reading	Kuat tekan (MPa)	Reabar reading	Kuat tekan (MPa)
1	49	50	54	60
2	47	46	42	36
3	52	56	46	44
4	46	44	47	46
5	47	46	45	42
6	47	46	44	40
7	50	52	42	36
8	49	50	48	48
9	42	36	50	52
10	46	44	42	36
11	48	48	36	26
12	46	44	47	46
13	47	46	42	36
14	44	40	47	46
15	54	60	45	42
16	50	52	42	36

Dari tabel di atas didapatkan:

Standar Deviasi (SD) = 6,9735
 Kuat tekan kubus (σ_{bk}) = 33,2509 kg/cm²
 Kuat tekan silinder (f'_c) = 27,5983 Mpa

Pengujian UPV dalam penelitian ini untuk memperkirakan mutu beton karena kecepatan rambat gelombang merupakan fungsi dari kepadatan material, maka dengan diketahuinya cepat rambat gelombang ultrasonik di dalam beton, kecepatan tersebut dapat dikorelasikan ke nilai kepadatan beton dan dikorelasikan lagi ke mutu beton, berdasarkan grafik empiris hubungan kecepatan rambat gelombang. Pada perhitungan kekuatan struktur menggunakan alat UPV ini digunakan dua metode yaitu metode *direct* dan *indirect*.

Tabel 3. Perhitungan Metode *Direct* Pada Kolom

<i>direct</i>					
Posisi	Jarak (cm)	Waktu (μs)	Jarak (m)	Waktu (s)	Velocity (m/s)
R1	41	53,2	0,41	0,000053	7706,7669
R2	41	89	0,41	0,000089	4606,7416
R3	41	130,6	0,41	0,000131	3139,3568
R4	41	175,2	0,41	0,000175	2340,1826
R5	41	323,7	0,41	0,000324	1266,6049
Rata- rata					3811.9306

Tabel 4. Perhitungan Metode *Indirect* Pada Kolom

<i>Indirect</i>						
Posisi	Jarak (cm)	Waktu (μs)	Jarak (m)	Waktu (s)	Velocity (m/s)	Mutu beton (MPa)
T	0	0	0	0	0	0
R1	15	196,7	0,15	0,00020	750	10,96
R2	30	275,5	0,30	0,00028	1071	12,34
R3	45	267,2	0,45	0,00026	1730,76	15,74
R4	60	188,5	0,60	0,00019	3157,89	26,66
R5	75	166,5	0,75	0,00017	4411,76	42,34
Rata-rata					2224,28	21,59

Berdasarkan penelitian diatas dengan nilai kecepatan yang telah diperoleh pada metode *direct* yaitu 3811,9306 m/s maka jika dilihat dari grafik yang ada kolom yang ditinjau menghasilkan kekuatan sebesar 35 Mpa dan menggunakan metode *indirect* didapatkan hasil kekuatan sebesar 21,59 Mpa.

Tabel 5. Perhitungan Metode *Indirect* pada Balok 1

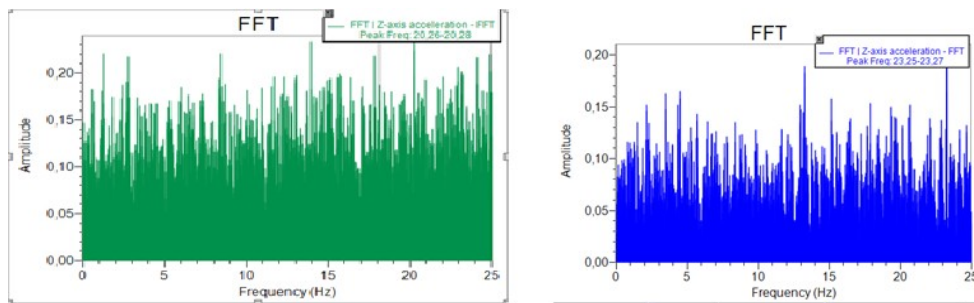
<i>Indirect</i>						
Posisi	Jarak (cm)	Waktu (μs)	Jarak (m)	Waktu (s)	Velocity (m/s)	Mutu beton (MPa)
T	0	0	0	0	0	0
R1	10	30,9	0,10	0,00003	3333,33	28,44
R2	10	31,4	0,10	0,00003	3333,33	28,44
R3	10	36,2	0,10	0,00004	2500	20,91
R4	10	40,5	0,10	0,00004	2500	20,91
R5	10	41,7	0,10	0,00004	2500	20,91
Rata -Rata					2833,33	23,92

Tabel 6. Perhitungan Metode *Indirect* pada Balok 2

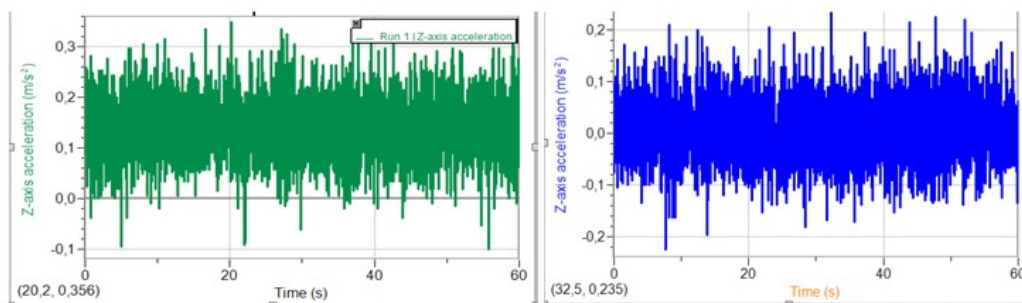
Posisi	Jarak (cm)	Waktu (μ s)	<i>Indirect</i>			
			Jarak (m)	Waktu (s)	Velocity (m/s)	Mutu beton (MPa)
T	0	0	0	0	0	0
R1	10	32,4	0,10	0,00003	3333,33	28,44]
R2	20	75,6	0,20	0,00008	2500	20,91
R3	30	108,8	0,30	0,00011	2727,27	22,74
R4	40	121,3	0,40	0,00012	3333,33	28,44
R5	50	145,9	0,50	0,00015	3333,33	28,44
Rata -Rata					3045,4520	25,79

Hasil dari perhitungan *ultrasonic pulse velocity* pmenggunakan metode *indirect* pada balok 1 mendapatkan hasil sebesar 23,92 MPa dan pada balok 2 sebesar 25,79 MPa.

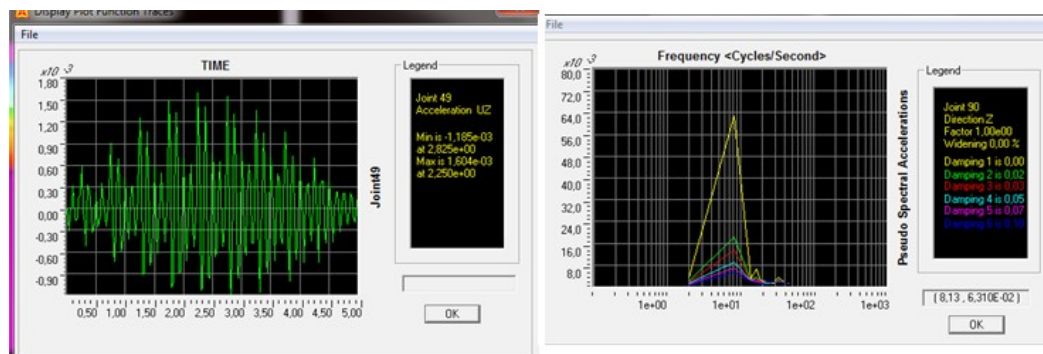
Pengujian selanjutnya adalah accelerometer. Accelerometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran (*vibrasi*), dan mengukur percepatan akibat gravitasi (*inklinasi*). Dengan *accelerometer* dapat menghasilkan percepatan (akselerasi) yang diakibatkan oleh getaran yang terjadi pada sebuah struktur dimana akselerasi yang di butuhkan untuk pelat lantai perkuliahan adalah dibawah 0,5%g. Hasil pengujian eksperimental uji *natural frequency* balok anak tanpa pembebanan yang di ketahui adalah:

Gambar 1. Hasil Eksperimental pada *natural frequency* pengujian ke satu dan kedua.

Selain pengujian *natural frequency* dilakukan pengujian dengan beban seseorang berjalan untuk mengetahui besarnya *acceleration* melebihi standar 0.5%g atau tidak.

Gambar 2. *Acceleration* pada pengujian *walking* pertama dan kedua.

Grafik di bawah ini menunjukkan grafik sinyal data yang diperoleh pada beban berjalan. Sinyal tersebut adalah sinyal percepatan versus waktu. Kemudian untuk dapat mengetahui amplitudo dalam satuan frekuensi digunakan *Fast Fourier Transform* (FFT):



Gambar 3. Hasil metode numerik pengujian tanpa beban dan *walk* searah sumbu y.

Dari pengujian *acceleration* menggunakan *accelerometer* menunjukkan bahwa *frequency* yang dihasilkan melebihi batas nyaman yakni 4-8 Hz bahkan melebihi batas kenyamanan apabila ada aktivitas di ruangan perkantoran atau perkuliahan tersebut yakni 8-10 Hz. Pengujian Eksperimental menunjukkan melebihi *peak acceleration* pada grafik tingkat kenyamanan (gambar 3), sehingga manusia dapat menerima vibrasi diatas yang lebih tinggi. Percepatan *vibrasi* yang disarankan 0.5% g untuk perkantoran, namun yang didapatkan adalah mencapai 1,5% g yang biasanya digunakan untuk pusat perbelanjaan atau ruang olahraga.

4.2. Pembahasan Metode Numerik

Kegiatan ini bertujuan untuk memodelkan kembali struktur eksistensinya yang ada dengan bantuan *software Finite Element Analysis* (FEA) dalam hal ini adalah *software* SAP 2000 Ver.14. Untuk mendapatkan gaya-gaya yang bekerja pada struktur lantai. Pemodelan dengan SAP 2000 juga akan mensimulasikan pelat lantai pada bangunan bertingkat yang dipengaruhi oleh orang berjalan. Berikut adalah prosedur yang dilakukan untuk mendapatkan hasil frekuensi dan akselerasi menggunakan metode numerik dari SAP 2000:

Tabel 7. Hasil Metode Eksperimental Dan Numerik

No	Pelat Lantai	Frekuensi		Akselerasi	
		Sap.2000 (Hz)	Eksperimental (Hz)	Sap.2000 (m/s ²)	Eksperimental (m/s ²)
1	Tanpa Perkuatan	8,05	20,28-23,27	0,0016	1,13-0,474
2	Walking	8,13	12,95-14,99	0,06	0,356-0,235

Dari hasil perhitungan data eksperimental dan numerik dalam pengujian menggunakan beban berjalan searah sumbu Y, didapatkan hasil seperti data di tabel. Pada pengujian di

lapangan didapatkan frekuensi melebihi 4-8 Hz sehingga tingkat akselerasi melebihi 0,5%g. Pengujian numerik didapatkan hasil 8,05 Hz tanpa perkuatan dan *walking* 8,13 Hz dengan *acceleration* frekuensi alami sebesar 0,0016 m/s² dimana *acceleration* berada di bawah 0,5% g sehingga dinyatakan aman dan sesuai dengan grafik peak acceleration tanpa perlu penambahan kekakuan pada struktur tersebut.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan, Berdasarkan pengujian di lapangan kuat tekan karakteristik beton yang telah di uji, hasil yang didapatkan kuat beton (f_c) bila dikonversikan ke mutu beton K menunjukan mutu beton yakni antara K-350 dan K-400 yang menunjukan bahwa mutu beton termasuk karakteristik beton mutu sedang. Frekuensi pelat lantai di lapangan didapatkan hasil frekuensi getaran alami mencapai 20,26 – 23,25 Hz dan pengujian menggunakan beban berjalan frekuensi mencapai 12,94-14,98 Hz dimana hasil ini melebihi 4-8 hz pada gedung perkuliahan atau perkantoran. Penelitian di lapangan akselerasi mencapai 1,5% g dimana ini jauh lebih besar untuk gedung perkuliahan atau perkantoran. Pada pemodelan struktur menggunakan SAP ver'14 frekuensi sistem lantai asli sebelum ditambahkan kekakuan balok dan pelat adalah 8,05 Hz dan apabila diberi beban berjalan didapatkan frekuensi sebesar 8,13 Hz. Nilai frekuensi alami ini sudah cukup untuk mengatasi pelat lantai yang bergetar saat tereksitasi getaran yang bersifat ritmik. Hasil akselerasi / vibrasi pada pemodelan struktur menunjukan bahwa nilai akselerasi frekuensi alami mencapai 0,0016 sehingga nilai ini dibawah 0,5%g yang berarti struktur tersebut kaku .

DAFTAR PUSTAKA

- Bachroni, C.B. 2015. Penanggulangan Getaran Pada Pelat Lantai Beton Bertulang. Jurnal Pemukiman. Vol.10 No. 1 Mei 2015 : 1-10.
- Hanagan, L. and Murray, T. 1997. *Active Control Approach for Reducing Floor Vibrations*. Journal of Structural Engineering. Nov pp1497-1505.
- International Atomic Energy Agency. 2002. *Guidebook on Non-Destructive Testing of Concrete Structures*. IAEA 2002. Industrial Applications and Chemistry Section. Vienna.
- ILO. 2013. *Health and Safety in Work Place for Productivity*. Geneva: International Labour Office.
- ISO 2631-2, 2003. *Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)*.