

ANALISA GETARAN YANG TERJADI PADA GEDUNG BERTINGKAT AKIBAT GERAKAN MANUSIA

**Diajukan Untuk Syarat Dalam Sidang Sarjana
Universitas Medan Area**

OLEH:

AGNES CARNELIA AGATHA HAREFA

16.811.0035



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2020

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 14/12/21

Access From (repository.uma.ac.id)14/12/21

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISA GETARAN YANG TERJADI PADA
GEDUNG BERTINGKAT AKIBAT GERAKAN
MANUSIA

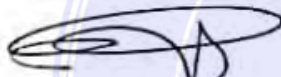
Studi Kasus :Fakultas Teknik Universitas Medan Area

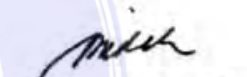
Oleh :

Agnes Carnelia Agatha Harefa

168110035

Disetujui Oleh:


Ir. Irwan, MT.
Pembimbing I


Ir. Nurmaidah, MT.
Pembimbing II


Ir. Nurmaidah, MT.
Ka. Program Studi


Ir. Nurmaidah, MT.
Ka. Program Studi

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karuniannya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Serta penulis mengucapkan syukur telah diberikan pengetahuan, kesehatan, pengalaman, dan kesempatan untuk dapat menyelesaikan Skripsi ini.

Skripsi ini berjudul Analisa Pengaruh Getaran yang Terjadi Pada Gedung Bertingkat Akibat Gerakan Manusia. Skripsi ini dapat dikatakan sebagai prasyarat yang harus diselesaikan setiap mahasiswa untuk menyelesaikan pendidikan di Fakultas Teknik dari Universitas Medan Area. Sesuai dengan judulnya, Skripsi ini membahas mengenai getaran pada gedung bangunan akibat gerakan manusia yang studi kasusnya berada di fakultas teknik Universitas Medan Area. Dalam Skripsi ini juga penyusun menyajikan data yang telah diperoleh dari lapangan ataupun dari yayasan terkait, dan melakukan analisa perbandingan dengan teori yang selama ini telah diperoleh di bangku perkuliahan serta referensi buku yang didapatkan di perpustakaan.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Skripsi ini dapat terselesaikan karena bantuan banyak pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan M.Eng., M.SC, selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Ibu Dr.Dina Maizana, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Ibu Ir. Nurmaidah, MT ,selaku ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Medan Area.

4. Bapak Ir.Irwan, MT, selaku Dosen Pembimbing I dan Ir. Nurmaidah, MT selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan bagi penyusun dalam melaksanakan dan menyelesaikan Skripsi(Tugas Akhir).
5. Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua saya; Papa dan Mama saya yang telah banyak memberi kasih sayang dan dukungan moral maupun materi serta Doa yang tiada henti untuk penulis dan untuk Kakak satu-satunya saya, saya ucapkan juga terimakasih untuk dukungan Doa yang tiada henti.

Dalam penyusunan Skripsi ini penulis menyadari bahwa isi mau pun teknik penulisannya jauh dari kesempurnaan, maka untuk itu penulis mengharapkan kritikkan maupun saran dari para pembaca yang bersifat positif demi menyempurnakan dari Skripsi ini.

Semoga Skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis maupun semua pihak yang membaca skripsi ini, dan dapat menambah wawasan terutama di dunia pendidikan khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Medan, September 2020

Penyusun :



Agnes Carnelia Agatha Harefa

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Agnes Carnelia Agatha Harefa
Npm : 16.811.0035
Judul : Analisa Getaran yang Terjadi pada Gedung Bertingkat akibat Gerakan Manusia

Menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.



Medan, September 2020

Menyusun :

Agatha Harefa
168110035

ABSTRAK

Penelitian Analisa Getaran yang Terjadi pada Gedung Bertingkat Akibat Gerakan Manusia dilakukan pada gedung Fakultas Teknik Universitas Medan Area Lantai 2 Ruang 2.2, pada ruangan tersebut terdapat getaran yang sangat tampak jelas sehingga getaraannya terasa untuk orang-orang yang beraktivitas pada gedung tersebut. Untuk kriteria-kriteria yang harus diperhatikan dalam perencanaan bangunan diantaranya adalah kekakuan, kekuatan, kestabilan, kelenturan dan keekonomisan, sedangkan getaran seringkali terlupakan dalam perencanaan suatu bangunan, padahal hal itu sangat berdampak bagi kenyamanan penghuni bangunan atau yang beraktivitas dalam bangunan. Analisis getaran dilakukan pada beberapa tipe plat dan balok induk pada bangunan, dengan mengukur kerataan permukaan plat lantai bangunan menggunakan alat Theodolite menghitung besarnya lendutan yang terjadi akibat beban yang dipikul oleh bangunan, sehingga dari adanya lendutan tersebut dapat menimbulkan getaran pada gedung serta mengukur kuat tekan beton dengan alat Hammer Test untuk bisa dibandingkan dengan kuat tekan beton sebelumnya. Batasan puncak percepatan untuk bangunan kantor/sekolah berdasarkan panduan *Steel Design Guide 11th Series "Floor Vibration due to Human Activity"* adalah 0,5% - 1,5% sedangkan percepatan yang dihasilkan oleh gedung yang ditinjau adalah 1.4 % sehingga masih dinyatakan aman untuk melakukan aktivitas dalam gedung. Standar ini juga didasari oleh ISO 2631/1-1985 dan ISO 2631/2-1989 dan dengan menggunakan program SAP 2000 V20.0, dimana melalui program SAP 2000 ini diperoleh periode getar dan berat pelat yang ditinjau, sehingga dapat diketahui nilai perkiraan puncak percepatan getaran yang masih berada dalam batas toleransi sesuai dengan *Steel Design Guide 11th Series*..

Kata Kunci : Beban, Getaran, Lendutan, Periode getar, Puncak Percepatan

ABSTRACT

Research on the analysis of vibrations that occur in multi-storey buildings due to human movement is carried out in the building of the Faculty of Engineering, University of Medan, Floor 2, Room 2.2, in that room there is a very clear vibration so that the vibrations are felt for people who are active in the building. The criteria that must be considered in building planning include stiffness, strength, stability, flexibility and economy, while vibrations are often forgotten in the planning of a building, even though it greatly impacts the comfort of building occupants or those who are active in the building. Vibration analysis is carried out on several types of plates and main beams in buildings, by measuring the flatness of the floor plate of the building using the Theodolite tool to calculate the amount of deflection that occurs due to the load borne by the building, so that the deflection can cause vibrations in the building and measure the compressive strength of the concrete. with the Hummer Test tool to be able to compare it with the previous concrete compressive strength. The peak limit of acceleration for office / school buildings based on the Steel Design Guede 11th Series guide "Floor Vibration due to Human Activity" is 0.5% - 1.5% while the acceleration generated by the building under review is 1.4% so it is still declared safe to carry out activities in the building. This standard is also based on ISO 2631 / 1-1985 and ISO 2631 / 2-1989 and by using the SAB 2000 V20.0 program, where through the SAP 2000 program the vibrating period and plate weight under review are obtained, so that the approximate value of the peak acceleration can be found. vibrations that are still within the tolerance limits according to the Steel Design Guide 11 th Series ..

Keywords: *Load, Vibration, Deflection, Period of vibration, Peak Acceleration*

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TEISIS UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Agnes Carnelia Agatha Harefa

NPM : 168110035

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Tugas Akhir/Skripsi/Tesis

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

" Analisa Getaran yang terjadi pada Gedung Bertingkat Akibat Gerakan Manusia, Studi Kasus Fakultas Teknik Universitas Medan Area"

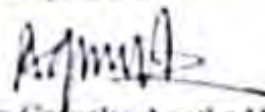
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan) . Dengan Hak Bebas Royalti Non Eksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan , mengalih media format - kan , mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir/Skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Medan

Pada tanggal 8 Februari 2020

Yang menyatakan



(Agnes Carnelia Agatha Harefa)

DAFTAR ISI

LEMBAR	
PENGESAHAN.....	Error!
Bookmark not defined.	
SURAT PERNYATAAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	viii
BAB 1PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Maksud dan Tujuan	1
1.2.1. Maksud.....	2
1.2.2. Tujuan	3
1.3. Perumusan Masalah.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Metode Penelitian	4
BAB 2TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Konsep Getaran	5
2.2 Spectrum Respon.....	7
2.3 Pelat	7
2.3.1 Lendutan	9
2.4 Kesetimbangan Gaya dan Momen.....	16
2.5 Metode Struktur Pelat Lantai pada Bangunan Gedung Bertingkat....	17
2.6 Perhitungan Pelat Bertulang.....	18
2.7 Pelat Satu Arah dan Pelat Dua Arah.....	19
2.8 Kuat Tekan Beton	25
2.9 Prinsip Getaran Lantai	26
2.10 Standar untuk kenyamanan Manusia [Steel Design Guide Series, 2003].....	29
2.10.2 Batas Getaran.....	30
2.10.3 Rekomendasi Kriteria Design Struktural.....	31
2.11 Penelitian Terdahulu (Jurnal Terkait).....	33

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1 Metode Penelitian	35
3.1.1 Metode Survei.....	35
3.1.2 Metode Studi Pustaka	36
3.1.3 Pengumpulan Data	36
3.2 Lokasi Survei	37
3.3. Alat Penelitian.....	39
3.4. Jadwal Penelitian.....	42
3.5 Langkah Penelitian.....	42
3.5.1 Survei Pendahuluan	42
3.5.2 Persiapan Survei dan Penjelasan Kepada Pengamat.....	43
3.5.3 Pengumpulan Data Lapangan	43
3.6 Metode Analisis Data	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1. Pengukuran Menggunakan Theodolite	46
4.2 Pengujian Hammer Test	50
4.2 Perhitungan Plat Lantai	54
4.3.1 Data Pembebanan	63
4.3.2 Kombinasi Pembebanan	64
4.3.3 SAP 2000 V.20.0	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	70
6.1 Kesimpulan.....	70
6.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	72
LAMPIRAN.....	73

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan ekonomi dan bertambahnya jumlah penduduk yang semakin pesat pada saat ini mengakibatkan kebutuhan akan hotel, apartemen, perkantoran, pendidikan, dan pusat perbelanjaan semakin meningkat. Seiring dengan terjadinya hal tersebut dan berkembangnya ilmu pengetahuan dalam bidang Teknik Sipil sehingga kebutuhan pembangunan gedung bertingkat terus meningkat. Pemicu adanya gedung bertingkat adalah keterbatasan lahan atau penghematan penggunaan lahan sehingga manusia mencari alternatif solusi dengan membangun gedung-gedung bertingkat tinggi sehingga penggunaan lahan bisa efektif. Tetapi perlu diingat bahwa semakin tinggi bangunan maka kemungkinan bangunan tersebut semakin besar menimbulkan getaran.

Kenyamanan merupakan faktor utama yang harus diperhatikan dalam perencanaan gedung bertingkat tinggi. Tetapi faktor kenyamanan menjadi sesuatu faktor yang kurang atau bahkan tidak diperhatikan oleh para perencana sehingga menimbulkan ketidaknyamanan. Ketidaknyamanan ini disebabkan oleh terjadinya getaran pada elemen struktur yang melentur, getaran ini bisa dirasakan ketika adanya aktivitas manusia dalam gedung tersebut. Maka hal tersebutlah yang terjadi pada Gedung Fakultas Teknik Universitas Medan Area dimana getaran yang sangat terasa ketika adanya aktivitas manusia yaitu dilantai 2.

Batasan kenyamanan ini memang berbeda-beda antara satu orang dengan orang lain. Suatu badan organisasi yang dikenal dengan “ISO” (*The International Organization For Standardization*)

membuat standar kriteria batasan bagi penghuni/pemakai gedung dan standar ini sudah dipergunakan oleh perencana bangunan di beberapa negara maju seperti Amerika Serikat, Australia, Inggris, dll.

Ada berbagai macam hal yang dapat menjadi penyebab terjadinya getaran pada bangunan, diantaranya :

1. Berasal dari dalam bangunan seperti peralatan mesin (*elevators, escalators, trolli*, mesin pompa, genset, dan lain-lain) serta aktivitas dari orang di dalam gedung (berjalan, berlari, meloncat, menari, dan lain-lain).
2. Berasal dari luar bangunan seperti lalu lintas kendaraan di jalan, kereta api, aktifitas pembangunan di sekitar gedung, ledakan bom, angin kencang dan gempa bumi.

Pada tulisan ini mencoba untuk menganalisis seberapa besar pengaruh getaran pada struktur bangunan bertingkat untuk beberapa tipe dimensi pelat lantai yang sering dipergunakan dalam pembangunan agar kemudian diketahui kelayakan penggunaan dimensi pelat tersebut sehingga mudah untuk diaplikasikan sesuai dengan kriteria batasan vibrasi dari standar “ISO” (*The International Organization For Standardization*).

1.2. Maksud dan Tujuan

1.2.1. Maksud

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh getaran pada gedung bertingkat yang diakibatkan oleh gerakan manusia apakah dapat berdampak buruk terhadap bangunan itu sendiri dan penghuni/orang-orang yang ada didalam gedung tersebut dan menganalisis kelayakan jumlah lantai serta

dimensi pelat, dengan menggunakan kriteria batasan vibrasi dari standar “ISO” (The *International Organization For Standardization*).

1.2.2. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh getaran yang diakibatkan oleh gerakan/aktivitas manusia di dalam gedung bertingkat, sehingga diharapkan tercapai kenyamanan penghuni/orang-orang di dalam bangunan tersebut.

1.3. Perumusan Masalah

1. Seberapa besarkah pengaruh getaran pada struktur bangunan bertingkat dengan dimensi pelat setelah dibebani oleh beban mati dan beban hidup khususnya untuk gedung kampus ?
2. Berapakah perkiraan puncak percepatan struktur untuk dibandingkan dengan batas puncak percepatan ?
3. Apakah dimensi pelat setelah dibebani oleh beban mati dan beban hidup memiliki kelayakan terhadap pengaruh getaran menurut Tata Cara Pembebanan untuk Rumah dan Gedung SNI-1727-2013 ?

1.4. Batasan Masalah

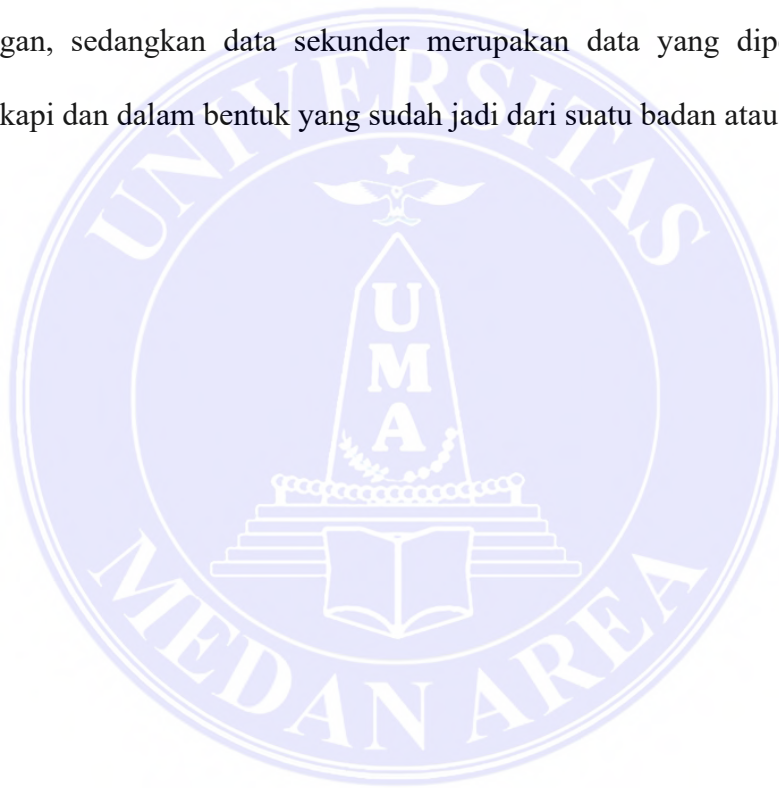
Ruang Lingkup yang dibahas dalam tugas akhir ini, antara lain :

1. Sistem struktur yang ditinjau adalah sistem pelat
2. Sistem pelat beton bertulang yang ditinjau adalah pelat dua arah
3. Analisis dilakukan menggunakan dimensi pelat
4. Analisa dilakukan pada bangunan bertingkat satu dan bertingkat dua

5. Peraturan yang digunakan adalah Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2847-2019 “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya” dan Tata Cara Pembebanan untuk Rumah dan Gedung SNI-1727-2013.

1.5. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini penulis melakukan pengamatan dan pengumpulan data menggunakan data primer dan data sekunder, data primer didapat langsung dilapangan, sedangkan data sekunder merupakan data yang diperlukan untuk melengkapi dan dalam bentuk yang sudah jadi dari suatu badan atau instansi.



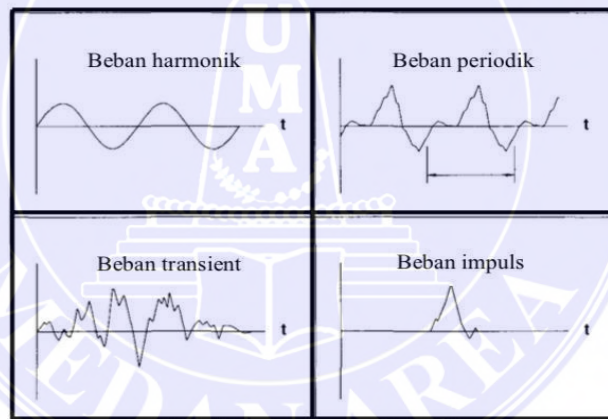
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konsep Getaran

Beberapa istilah yang digunakan dalam analisis antara lain :

1. Beban dinamis dapat diklasifikasikan sebagai beban harmonik atau sinusoidal (mesin berputar), beban periodik (aktivitas berirama manusia), beban sementara (pergerakan orang berjalan dan berlari) dan beban implus (orang melompat). Beberapa bentuk khas dari pembebanan dinamis ini dapat dilihat pada gambar 2.1.

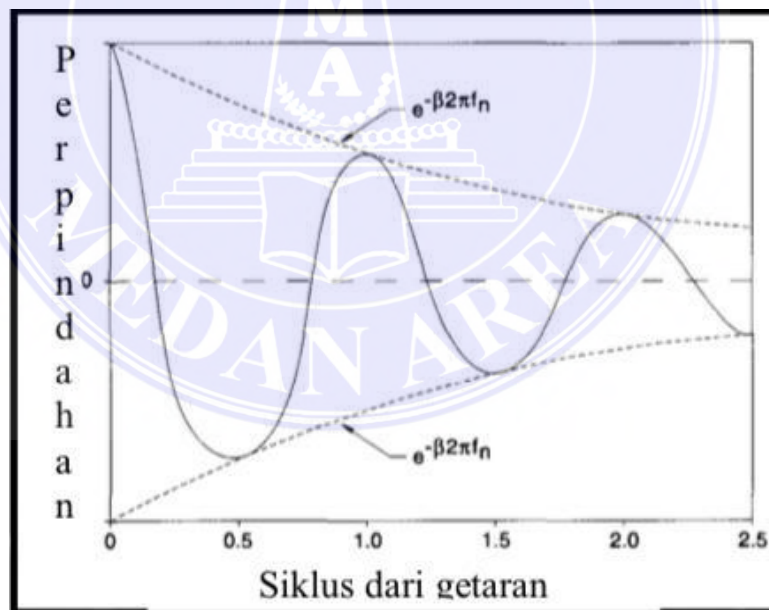


Gambar 2.1 tipe-tipe beban dinamik
 Sumber: [Http://Ejournal.uajy.ac.id](http://Ejournal.uajy.ac.id)

2. Periode adalah waktu yang diperlukan untuk bergetar selama satu kali sedangkan frekuensi adalah kebalikan dari periode yaitu jumlah getaran dalam satu unit waktu.
3. Jika sistem struktur terkena gaya pendorong harmonik terus menerus, gerakan yang dihasilkan memiliki frekuensi dan amplitudo maksimum yang konstan disebut sebagai gerak *steady state*, sedangkan jika sistem

struktur dikenakan gaya implus tunggal dan oleh redaman dalam sistem menyebabkan gerakan berkurang disebut sebagai gerak sementara.

4. Frekuensi alami adalah frekuensi dari sistem yang bergetar secara bebas, kondisi ini disebut sebagai getaran bebas.
5. Redaman mengacu pada kehilangan energi persiklus selama sistem bergetar. *Vicous damping* adalah redaman sebanding dengan kecepatan. Redaman kritis diperlukan untuk mencegah osilasi dari sistem. Rasio redaman merupakan perbandingan redaman aktual dengan redaman kritis. Untuk redaman yang lebih kecil dari redaman kritis, sistem akan berosilasi secara bebas seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Siklus dari getaran
 Sumber: [Http://Ejournal.uajy.ac.id](http://Ejournal.uajy.ac.id)

6. Resonansi terjadi ketika frekuensi dari sebuah sistem gaya dimana frekuensi tersebut berimpit (mendekati sama dengan) frekuensi alami dari sistem tersebut.

7. *Mode shape* yaitu bentuk struktur ketika bergetar paada frekuensi alami.
8. *Deret Fourier* yaitu suatu prosedur matematis untuk mengubah catatan waktu menjadi frekuensi *spectrum* tanpa kehilangan data.
9. *Spectrum* yaitu variasi relatif antara amplitude dengan frekuensi getaran yang berkontribusi ke beban atau gerakan.

2.2 Spectrum Respon

Sebuah kejutan (*Shock*) menyatakan gaya atau gangguan lain yang bekerja secara mendadak yang menghasilkan respon transien pada suatu sistem. Nilai maksimum respons merupakan ukuran yang baik tentang hebatnya kejutan itu dan tentunya tergantung pada karateristik dinamik sistem tersebut. Untuk mengkategorikan semua jenis eksitasi kejutan, osilator (sistem pegas-massa) tanpa redaman dengan satu derajat kebebasan dipilih sebagai system standar.

Para teknisi mendapatkan bahwa kosep *spectrum respons* berguna dalam perencanaan. *Spectrum Respons* adalah gambar respon puncak maksimum suatu osilator dengan satu derajat kebebasan sebagai fungsi frekuensi natural osilator. Jenis eksitasi kejutan yang berbeda akan menghasilkan spectra respon yang berbeda.

2.3 Pelat

Pelat lantai adalah lantai yang tidak terletak di atas tanah langsung, merupakan lantai tingkat pembatas antara tingkat yang satu dengan tingkat yang lain. Pelat lantai didukung oleh balok-balok yang bertumpu pada kolom-kolom bangunan. Ketebalan pelat lantai ditentukan oleh:

1. Besar lendutan yang diinginkan.
2. Lebar bentangan atau jarak antara balok-balok pendukung.
3. Bahan material konstruksi dan pelat lantai.

Pelat lantai harus direncanakan kaku, rata, lurus dan waterpass (mempunyai ketinggian yang sama dan tidak miring), pelat lantai dapat diberi sedikit kemiringan untuk kepentingan aliran air. Ketebalan pelat lantai ditentukan oleh: beban yang harus didukung, besar lendutan yang diijinkan, lebar bentangan atau jarak antara balok-balok pendukung, bahan konstruksi dari pelat lantai. Pelat lantai merupakan suatu struktur solid tiga dimensi dengan bidang permukaan yang lurus, datar dan tebalnya jauh lebih kecil dibandingkan dengan dimensinya yang lain. Struktur pelat bisa saja dimodelkan dengan elemen 3 dimensi yang mempunyai tebal h , panjang b , dan lebar a . Adapun fungsi dari pelat lantai adalah untuk menerima beban yang akan disalurkan ke struktur lainnya. Pada pelat lantai merupakan beton bertulang yang diberi tulangan baja dengan posisi melintang dan memanjang yang diikat menggunakan kawat bendrat, serta tidak menempel pada permukaan pelat baik bagian bawah maupun atas. Adapun ukuran diameter, jarak antar tulangan, posisi tulangan tambahan bergantung pada bentuk pelat, kemampuan yang diinginkan untuk pelat menerima lendutan yang diijinkan.

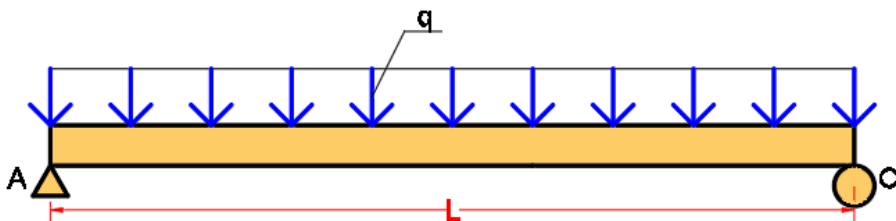
Pelat lantai beton bertulang umumnya dicor ditempat, bersama-sama balok penumpu. Dengan demikian akan diperoleh hubungan yang kuat yang menjadi satu kesatuan. Pada pelat lantai beton dipasang tulangan baja pada kedua arah, tulangan silang, untuk menahan momen tarik dan lenturan. Perencanaan dan hitungan pelat lantai dari beton bertulang harus mengikuti persyaratan yang tercantum dalam buku SNI Beton 2013. Beberapa persyaratan tersebut antara lain:

1. Pelat lantai harus mempunyai tebal sekurang - kurangnya 12 cm, sedang untuk pelat atap sekurang-kurangnya 7 cm.
2. Harus diberi tulangan silang dengan diameter minimum 8 mm dari baja lunak atau baja sedang.
3. Pada pelat lantai yang tebalnya lebih dari 25 cm harus dipasang tulangan rangkap atas bawah.
4. Jarak tulangan pokok yang sejajar tidak kurang dari 2,5 cm dan tidak lebih dari 20 cm atau dua kali tebal pelat, dipilih yang terkecil.
5. Semua tulangan pelat harus terbungkus lapisan beton setebal minimum 1 cm, untuk melindungi baja dari karat, korosi, atau kebakaran.

Untuk menghindari lenturan yang besar, maka bentangan pelat lantai jangan dibuat terlalu lebar, untuk ini dapat diberi balok-balok sebagai tumpuan yang juga berfungsi menambah kekakuan pelat. Bentangan pelat yang besar juga akan menyebabkan pelat menjadi terlalu tebal dan jumlah tulangan yang dibutuhkan akan menjadi lebih banyak, berarti berat bangunan akan menjadi besar dan harga persatuan luas akan menjadi mahal.

2.3.1 Lentutan

Maka untuk mengetahui lentutan pada lantai dapat melakukan perhitungan dengan menghitung reaksi yang terjadi dan momen maksimum yang terjadi akibat beban yang dipikul oleh lantai tersebut.



a. Mengitung reaksi yang terjadi

Dengan adanya beban terbagi rata maka kita harus mengekivalenkan terlebih dahulu sebagai beban terpusat (P) sebagai berikut :

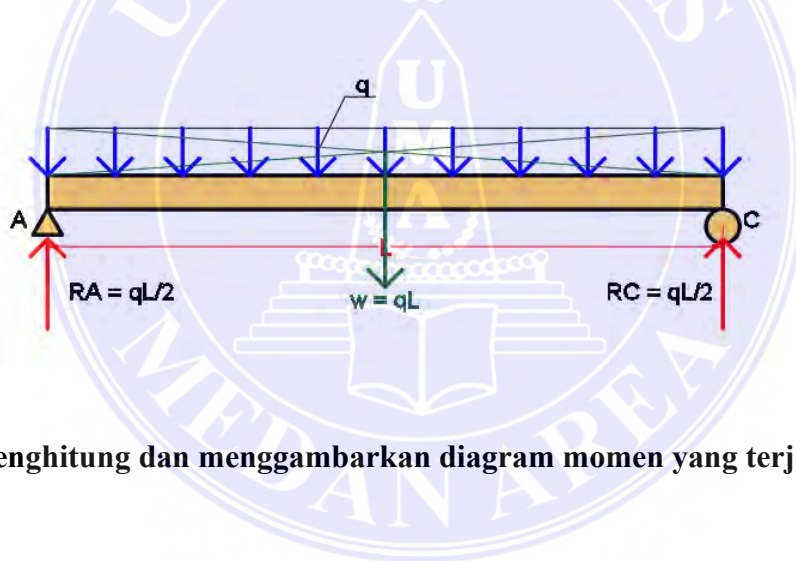
$$P = q \times L = qL$$

Karena beban simetris maka reaksi pada tumpuan A dan C adalah sama.

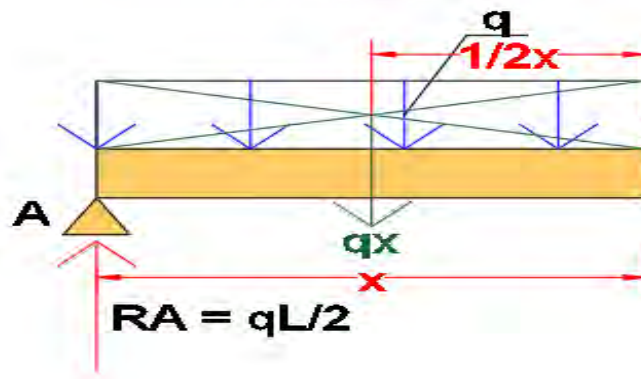
Sehingga:

$$R_A = R_C = P/2 = qL/2$$

Lebih jelasnya dapat dilihat pada ilustrasi gambar di bawah ini :



b. Menghitung dan menggambar diagram momen yang terjadi



Maka akan didapat rumus momen sebagai berikut :

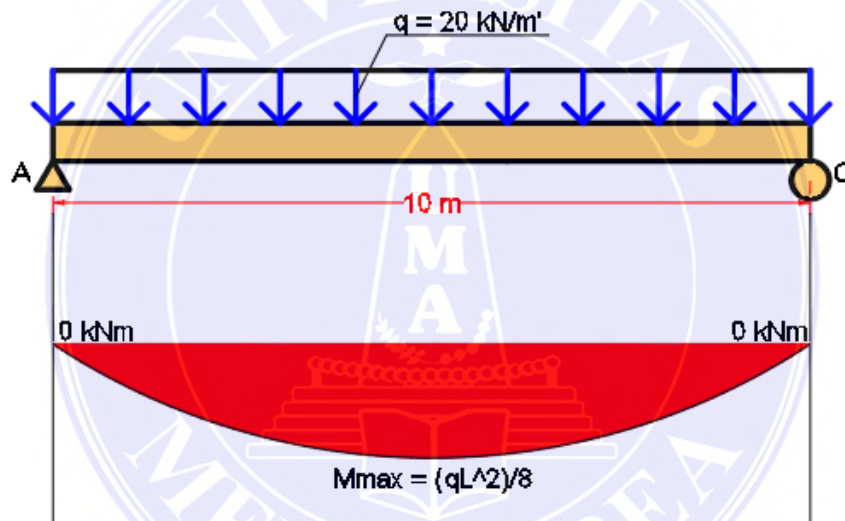
$$M_x = R_A \cdot x - q \cdot x \cdot (x/2) = (qLx)/2 - (qx^2)/2$$

Sehingga momen maksimum adalah pada **bagian tengah bentang** ($x = L/2$) :

$$M_{max} = (qL^2)/8$$

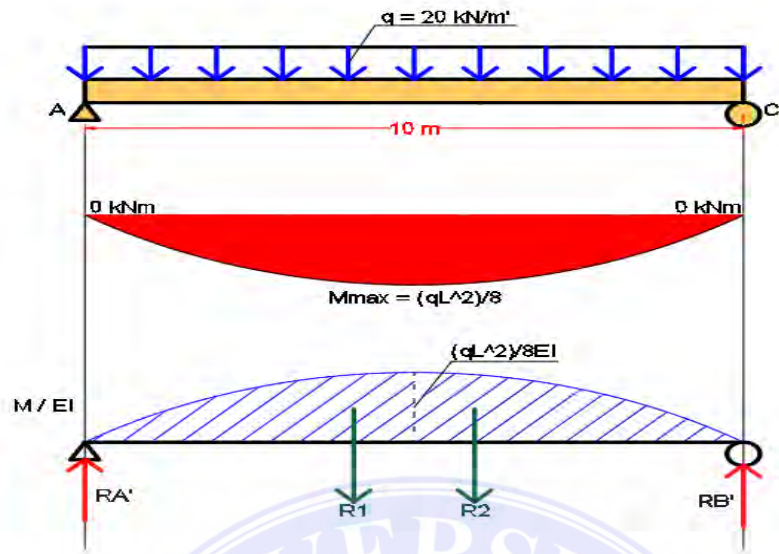
Rumus momen maksimum ini akan selalu sama apabila bentuk soal sama yaitu balok sederhana dengan beban merata pada seluruh bentang.

Sehingga dapat kita gambarkan diagram momen sebagai berikut :

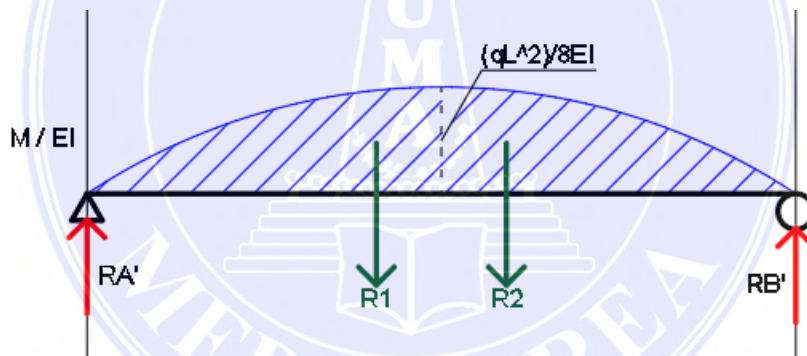


c. Bidang Momen dijadikan sebagai beban

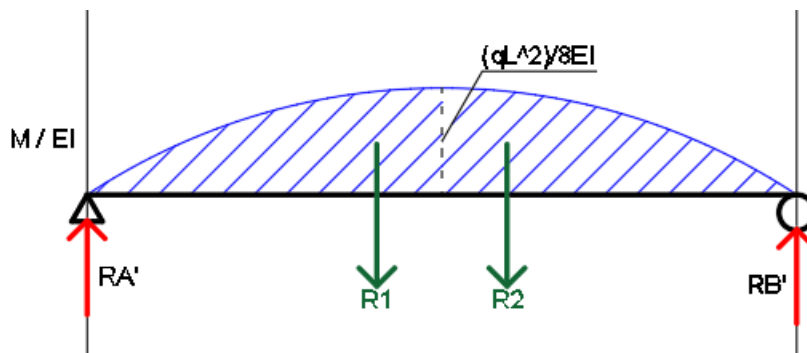
Setelah bidang momen didapatkan maka perlu menjadikan bidang momen tersebut sebagai beban dengan struktur balok yang sama yaitu balok sederhana dimana bidang momen dibagi dengan suatu rumus kekakuan Modulus Elastisitas (E) x Momen Inersia Penampang balok (I). Disingkat EI . Untuk lebih jelasnya dapat kalian perhatikan pada gambar di bawah ini.



Sehingga didapatlah persoalan baru dimana harus cari momen yang diakibatkan oleh beban bidang momen di atas, yaitu :



d. Hitung Luasan Bidang Momen Tersebut (Menghitung RA' dan RB')

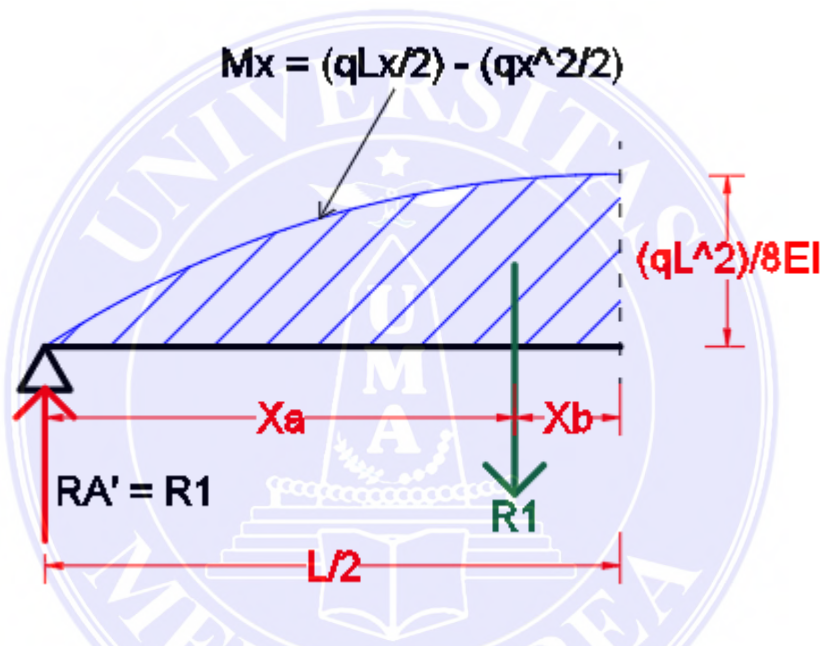


Luasan bidang momen digunakan sebagai ekuivalen beban terpusat (R) dengan bidang momen pada soal di atas.

$$R = R_1 + R_2$$

dimana $R_1 = R_2$, sehingga $R = 2 \times R_1$

R_1 dapat di cari dengan cara di bawah ini :



Karna bidang momen tersebut berbentuk seperti parabola maka untuk mencari luasannya adalah dengan cara meng-integralkan dalam batas-batas 0 sampai L/2 meter yang dapat kalian lihat pada perhitungan di bawah ini :

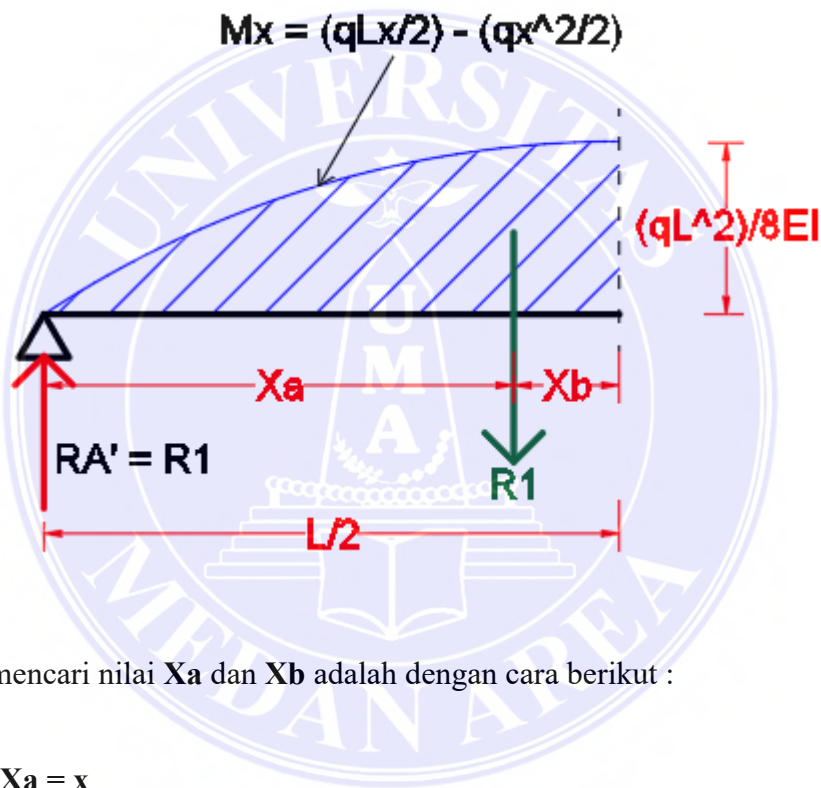
$$R_1 = \int_0^{L/2} Mx \cdot dx = \int_0^{L/2} \left(\frac{qLx}{2} - \frac{qx^2}{2}\right) \cdot dx = \frac{qL\left(\frac{L}{2}\right)^2}{4} - \frac{q\left(\frac{L}{2}\right)^3}{6}$$

$$R_1 = \frac{qL\left(\frac{L}{2}\right)^2}{4} - \frac{q\left(\frac{L}{2}\right)^3}{6} = \frac{qL^3}{16} - \frac{qL^3}{48} = \frac{qL^3}{24}$$

Sehingga didapat $R_A' = R_B' = R_1 = \frac{ql^3}{24EI}$

*Note : Untuk memudahkan perhitungan EI dimasukkan di akhir saja

e.Mencari pusat gaya dari diagram momen berbentuk parabola di atas
(Mencari X_a dan X_b)



Untuk mencari nilai X_a dan X_b adalah dengan cara berikut :

anggap $X_a = x$

Sehingga :

$$Xb.R1 = x \int_0^{L/2} Mx \cdot dx = \int_0^{L/2} \left(\frac{qLx^2}{2} - \frac{qx^3}{2} \right) \cdot dx = \frac{qL\left(\frac{L}{2}\right)^3}{6} - \frac{q\left(\frac{L}{2}\right)^4}{8}$$

$$Xb.R1 = \frac{qL\left(\frac{L}{2}\right)^3}{6} - \frac{q\left(\frac{L}{2}\right)^4}{8} = \frac{qL^4}{48} - \frac{qL^4}{128} = \frac{5qL^4}{384}$$

$$Xb.R1 = \frac{5qL^4}{384}$$

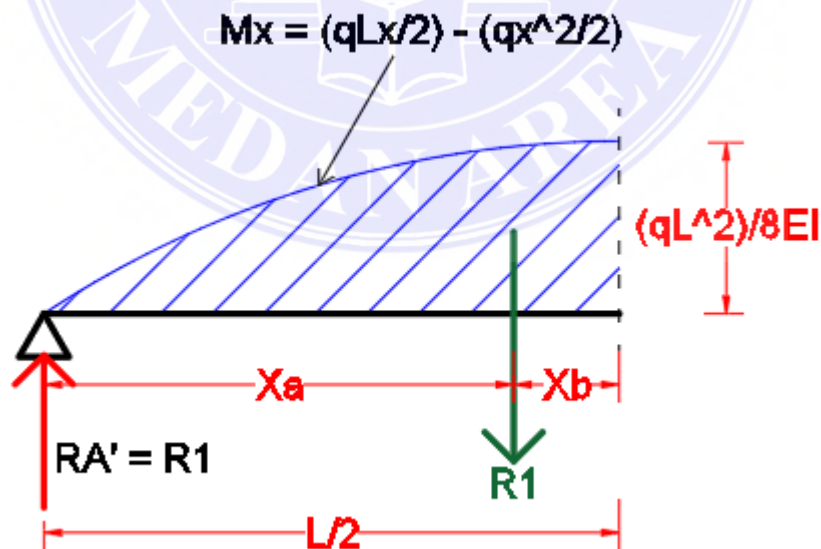
$$Xb \cdot \frac{qL^3}{24} = \frac{5qL^4}{384}$$

$$Xb = \frac{5L}{16}$$

Karena $Xa = \frac{5L}{16}$ maka $Xb = \frac{L}{2} - \frac{5L}{16} = \frac{3L}{16}$

*Edit : Pada Rumus tsb seharusnya $Xa.R1$

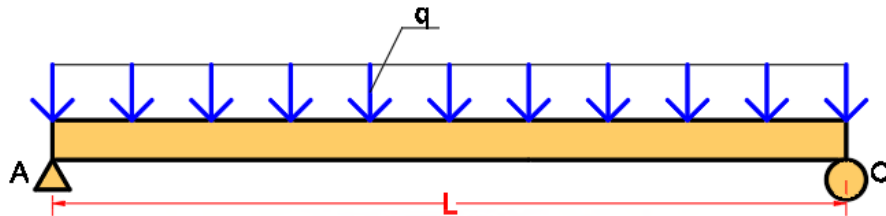
f. Mengitung Momen maksimum akibat beban bidang momen tersebut



Karena beban simetris maka momen maksimum berada pada jarak $L/2$. Sehingga :

$$M_{maks}' = (R_A \cdot x) - (R_1 \cdot x_b) = \left(\frac{ql^3}{24EI} \cdot \frac{L}{2} \right) - \left(\frac{ql^3}{24EI} \cdot \frac{3L}{16} \right) = \frac{5qL^4}{384EI}$$

Nah nilai momen maksimum inilah yang disebut sebagai lendutan maksimum pada permodelan struktur di bawah ini :



$$\text{Lendutan maksimum} = M_{maks}' = \frac{5qL^4}{384EI} \dots\dots\dots(2.1)$$

2.4 Kestimbangan Gaya dan Momen

Sebuah gaya adalah sebuah dorongan atau sebuah tarikan yang bekerja pada sebuah benda, sedangkan momen adalah kecenderungan dari sebuah gaya untuk berputar terhadap satu titik. Besaran momen adalah gaya dikalikan dengan jarak terdekat antara titik itu dengan garis gaya. Jarak terdekat ini disebut lengan tuas (*lever arm*) atau lengan momen, dan tegak lurus terhadap garis kerja gaya.

Kestimbangan terjadi ketika aksi-aksi dilawan oleh reaksi-reaksi yang sama besar. Apabila sebuah benda berada dalam kestimbangan, maka benda tersebut tidak bergerak terhadap titik acuan manapun. Pilihlah suatu titik dan momen-momen dari semua gaya yang bekerja pada sebuah benda harus saling melawan satu dengan yang lainnya, sehingga kecenderungan keseluruhan benda untuk mengalami perputaran adalah nol. Keadaan ini harus merupakan sebuah kebenaran dari titik manapun yang dipilih, sebab jika tidak, benda akan berputar

terhadap titik tersebut. Jadi, selain kedua kondisi kesetimbangan gaya, kita memerlukan kondisi ketiga, yaitu kesetimbangan momen adalah jumlah dari semua momen terhadap sebuah titik manapun harus sama dengan nol.

2.5 Metode Struktur Pelat Lantai pada Bangunan Gedung Bertingkat

Macam- macam metode struktur pelat lantai gedung ini yaitu:

1. Metode Konvensional

Yaitu pengerjaannya dilakukan di tempat, dengan bekisting yang menggunakan *plywood* dengan perancah *scaffolding*. Ini adalah cara yang masih terbilang kuno dan memakan banyak waktu dan biaya, sehingga banyak yang berlomba-lomba untuk mendapatkan inovasi terbaru dan untuk mendapatkan waktu yang cepat dan biaya yang murah.

2. Metode Halfslab

Metode ini disebut metode halfslab karena sebagian struktur pelat lantai dikerjakan dengan sistem precast. Bagian tersebut dibuat di pabrik untuk kemudian dikirim ke lokasi proyek untuk dipasang, yang kemudian dipasang besi tulangan atas, kemudian di cor sebagian pelat yang dilakukan di tempat proyek. Kelebihan dari metode halfslab ini yaitu terdapat penghematan waktu dan biaya untuk pekerjaan bekisting. Akan tetapi, tidak semua bagian pelat gedung bisa dibuat dengan sistem ini, contohnya area toilet.

3. Metode Full precast

Metode ini bisa disebut dengan metode yang paling cepat pengerjaannya. Akan tetapi, perlu diperhatikan juga, metode ini harus memperhatikan kekuatan

alat angkat, dimana kuat angkut ujung *tower crane* harus lebih besar dari total beton *precast*.

4. Metode Bondek

Yaitu metode dengan mengganti tulangan bawah diganti oleh pelat bondek, dengan harapan mampu menghemat besi tulangan dan bekesting dibawahnya. Tulangan atas bisa dibuat dalam bentuk batangan atau bisa juga diganti dengan besi wiremesh agar lebih cepat dalam pemasangannya.

2.6 Perhitungan Pelat Bertulang

1. Tebal selimutbeton minimal (SNI 03-2847-2013)
 Untuk batang tulangan $D \leq 36$,
 Tebal selimut beton $\geq 20\text{mm}$ (2.2-1a)
 Untuk batang tulangan $D44 - D56$,
 Tebal selimut beton $\geq 40 \text{ mm}$ (2.2-1b)
2. Jarak bersih antar tulangan s (SNI 03-2847-2013):
 $s \geq D$ dan $s \geq 25 \text{ mm}$ (D adalah diameter tulangan).....(2.2-2a)
 Pasal 5.3.2.3: $s \geq 4/3 \times$ diameter maksimal agregat,
 Atau $s \geq 40\text{mm}$ (2.2-2b)
 (Catatan: Diameter nominal maksimal kerikil $\approx 30 \text{ mm}$)
3. Jarak maksimal tulangan (as ke as) :
 Tulangan pokok :
 Pelat 1 arah : $s \leq 3.h$ dan $s \leq 450 \text{ mm}$ (2.2-3a)
 Pelat 2 arah : $s \leq 2.h$ dan $s \leq 450 \text{ mm}$ (2.2-3b)

Tulangan bagi:

$$s \leq 5.h \text{ dan } s \leq 450 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.2-3c)$$

4. Luas tulangan minimal pelat

a. Tulagan pokok (SNI 03-2847-2013):

$$F_c' < 31.36 \text{ Mpa, Jadi } A_s \geq \frac{1.4}{F_y}.b.d \dots\dots\dots(2.2-4a)$$

b. Tulangan bagi/tulangan susut dan suhu (SNI 03-2847-2013)

$$\text{Untuk } f_y \leq 300 \text{ Mpa, maka } A_{sb} \geq 0,0020.b.h \dots\dots\dots(2.2-4b)$$

$$\text{Untuk } f_y = 400 \text{ Mpa, maka } A_{sb} \geq 0,0028.b.h \dots\dots\dots(2.2-4c)$$

$$\text{Untuk } f_y \geq 400 \text{ Mpa, maka } A_{sb} \geq 0,0018.b.h.(400/f_y) \dots\dots(2.2-4d)$$

$$\text{Tetapi } A_{sb} \geq 0.0014.b.h \dots\dots\dots(2.2-4e)$$

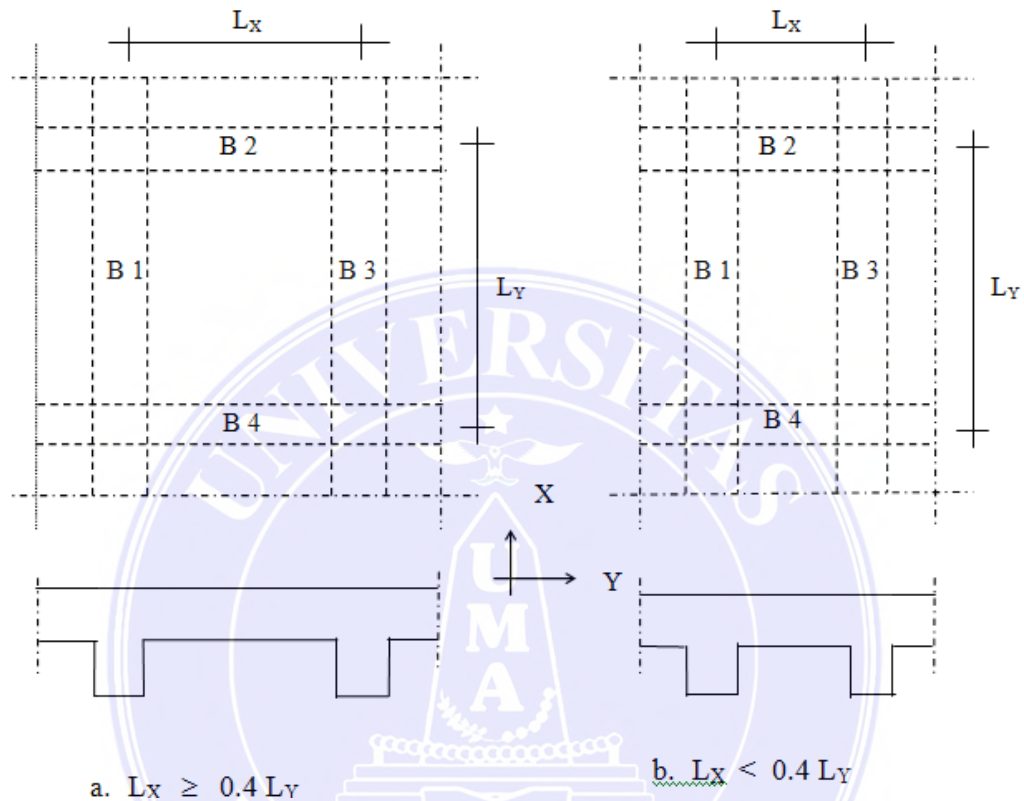
2.7 Pelat Satu Arah dan Pelat Dua Arah

Sistem perencanaan tulangan Pelat Beton pada dasarnya dibagi menjadi 2 macam yaitu :

1. Sistem perencanaan pelat dengan tulangan pokok satu arah (selanjutnya disebut : pelat satu arah/ *one way slab*)
2. Sistem perencanaan pelat dengan tulangan pokok dua arah (disebut pelat dua arah/*two way slab*)

Apabila $L_x \geq 0,4 L_y$ seperti gambar 2.3 , pelat dianggap sebagai menumpu pada balok B1,B2,B3,B4 yang lazimnya disebut sebagai pelat yang menumpu keempat sisinya disebut sebagai pelat yang menumpu keempat sisinya. Dengan demikian pelat tersebut dipandang sebagai pelat dua arah (arah x dan arah y), tulangan pelat

dipasang pada kedua arah yang besarnya sebanding dengan momen-momen setiap arah yang timbul.



Gambar 2.3 Pelat satu arah dan dua arah

Sumber : <https://nawarsyarif.blogspot.com/2012/08/definisi-pelat-satu-arah-dan-pelat-dua.html>

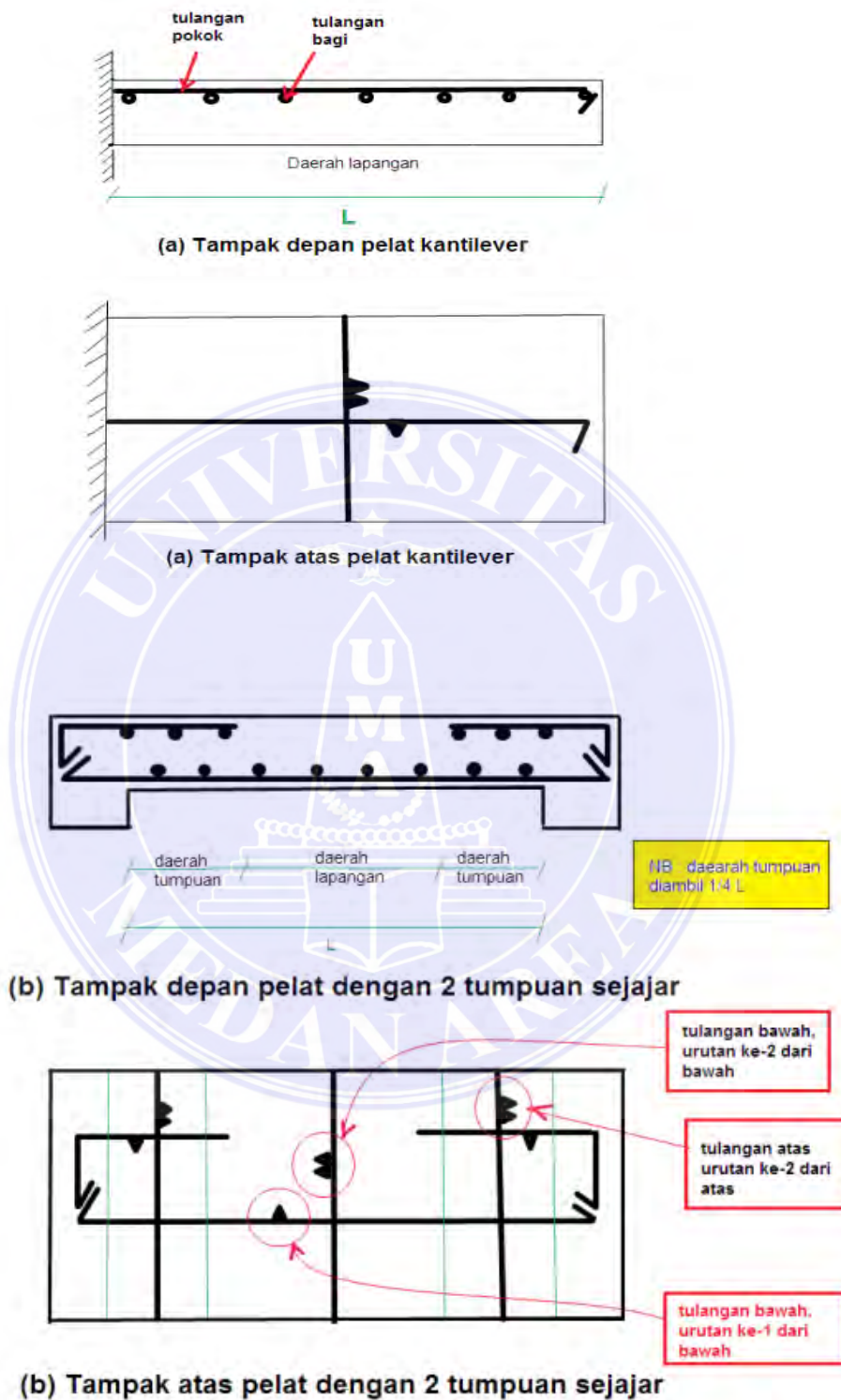
Apabila $L_x < 0,4 L_y$ Seperti pada gambar 2.3 pelat tersebut dapat dianggap sebagai pelat menumpu balok B1 dan B3, sedangkan balok B2 dan B4 hanya kecil didalam memikul beban pelat. Dengan demikian pelat dapat dipandang sebagai *pelat satu arah* (arah x), tulangan utama dipasang pada arah x dan pada arah y hanya sebagai tulangan pembagi.

1) Penulangan pelat satu arah

a) Konstruksi pelat satu arah.

Pelat dengan tulangan pokok satu arah ini akan dijumpai jika pelat beton lebih dominan menahan beban yang berupa momen lentur pada bentang satu arah saja. Contoh pelat satu arah adalah pelat kantilever (*luifel*) dan pelat yang ditumpu oleh 2 tumpuan. Karena momen lentur hanya bekerja pada 1 arah saja, yaitu searah bentang L (lihat gambar di bawah), maka tulangan pokok juga dipasang 1 arah yang searah bentang L tersebut. Untuk menjaga agar kedudukan tulangan pokok (pada saat pengecoran beton) tidak berubah dari tempat semula maka dipasang pula tulangan tambahan yang arahnya tegak lurus tulangan pokok. Tulangan tambahan ini lazim disebut :tulangan bagi. (seperti terlihat pada gambar dibawah).

Kedudukan tulangan pokok dan tulangan bagi selalu bersilangan tegak lurus, tulangan pokok dipasang dekat dengan tepi luar beton, sedangkan tulangan bagi dipasang di bagian dalamnya dan menempel pada tulangan pokok. Tepat pada lokasi persilangan tersebut, kedua tulangan diikat kuat dengan kawat *binddraad*. Fungsi tulangan bagi, selain memperkuat kedudukan tulangan pokok, juga sebagai tulangan untuk menahan retak beton akibat susut dan perbedaan suhu beton.



Gambar 2.4 Gambar di atas adalah pelat dengan tulangan pokok 1 arah
 Sumber : <https://nawarsyarif.blogspot.com/2012/08/definisi-pelat-satu-arah-dan-pelat-dua.html>

b) Simbol gambar penulangan.

Pada pelat kantilever, karena momennya negatif, maka tulangan pokok (dan tulangan bagi) dipasang di atas. Jika dilihat gambar 2.4 Tampak depan (gambar (a)), maka tampak jelas bahwa tulangan pokok dipasang paling atas (dekat dengan tepi luar beton), sedangkan tulangan bagi menempel di bawahnya. Tetapi jika dilihat pada gambar Tampak Atas (gambar (a)), pada garis tersebut hanya tampak tulangan horizontal dan vertikal bersilangan, sehingga sulit dipahami tulangan mana yang seharusnya dipasang di atas atau menempel di bawahnya.

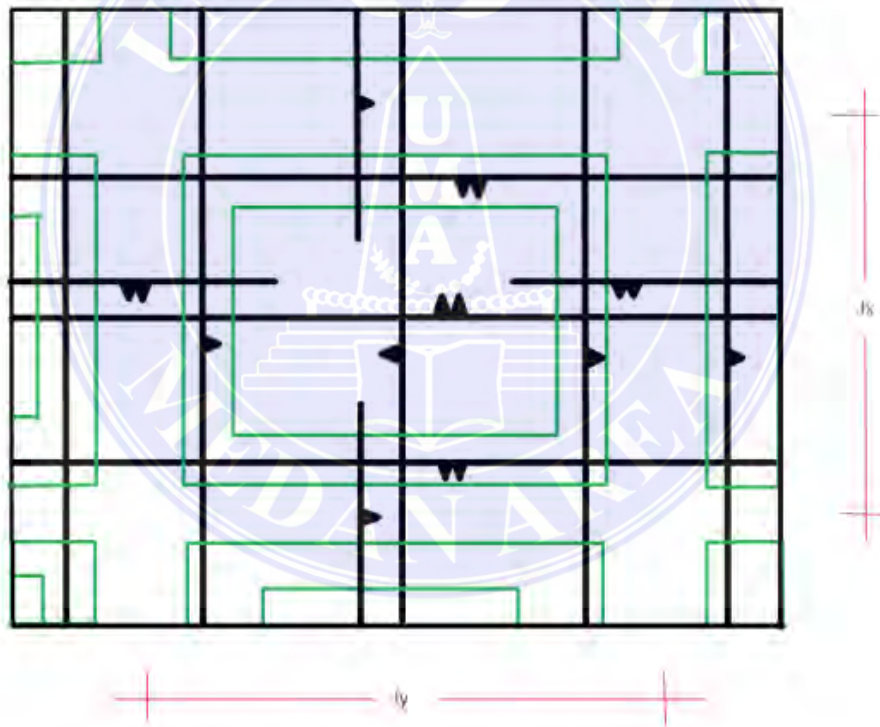
2) Penulangan pelat 2 arah

a) Konstruksi pelat 2 arah.

Pelat dengan tulangan pokok 2 arah ini akan dijumpai jika pelat beton menahan beban yang berupa momen lentur pada bentang 2 arah. Contoh pelat 2 arah adalah pelat yang ditumpu oleh 4 sisi yang saling sejajar. Karena momen lentur bekerja pada 2 arah, yaitu searah dengan bentang (l_x) dan bentang (l_y), maka tulangan pokok juga dipasang pada 2 arah yang saling tegak lurus (bersilangan), sehingga tidak perlu tulangan lagi. Tetapi pada pelat di daerah tumpuan hanya bekerja momen lentur 1 arah saja, sehingga untuk daerah tumpuan ini tetap dipasang tulangan pokok dan bagi, seperti terlihat pada gambar dibawah. Bentang (l_y) selalu dipilih $>$ atau $=$ (l_x), tetapi momennya M_{l_y} selalu $<$ atau $=$ M_{l_x} , sehingga tulangan arah (l_x) (momen yang besar) dipasang di dekat tepi luar (urutan ke-1)



Tampak depan pelat tulangan pokok 2 arah



Tampak atas pelat tulangan pokok 2 arah

Gambar 2.5 Gambar di atas adalah pelat dengan tulangan pokok 2 arah
Sumber : <https://nawarsyarif.blogspot.com/2012/08/definisi-pelat-satu-arah-dan-pelat-dua.html>

2.8 Kuat Tekan Beton

Berdasarkan SNI 03 – 1974 – 1990 kuat tekan beton merupakan besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu oleh mesin tekan.

Mulyono (2004), sifat utama beton adalah memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya. Kekuatan tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Kualitas atau mutu beton bergantung pada kuat tekan beton yang dihasilkan, bila kuat tekan beton yang dihasilkan semakin tinggi maka mutu beton tersebut akan semakin tinggi, begitu pula sebaliknya.

Nilai kuat tekan beton dapat diperoleh dengan pengujian yang mengacu pada standar yang umumnya digunakan yaitu standar ASTM (*American Society for Testing and Material*). Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.

Persamaan yang digunakan dalam menentukan nilai kuat tekan beton adalah:

$$f'c = \frac{P}{A}$$

dimana : $f'c$ = Kuat tekan beton (MPa)

A = Luas bidang desak benda uji (mm²)

P = Beban tekan (N)

Pengujian kuat tekan beton pada bangunan menggunakan Hammer Test, Hammer Test adalah suatu alat pemeriksaan mutu beton tanpa merusak beton.

Disamping itu dengan menggunakan metode ini akan diperoleh cukup banyak data dalam waktu yang relatif singkat dengan biaya yang murah. Alat ini sangat peka terhadap variasi yang ada pada permukaan beton, misalnya keberadaan partikel batu bagian-bagian tertentu dekat permukaan. Oleh karena itu, diperlukan pengambilan beberapa kali pengukuran disekitar setiap lokasi pengukuran, yang hasilnya kemudian dirata – ratakan.

Secara umum alat ini bisa digunakan untuk :

- Memeriksa keseragaman kualitas beton pada struktur
- Mendapatkan perkiraan kuat tekan beton

2.9 Prinsip Getaran Lantai

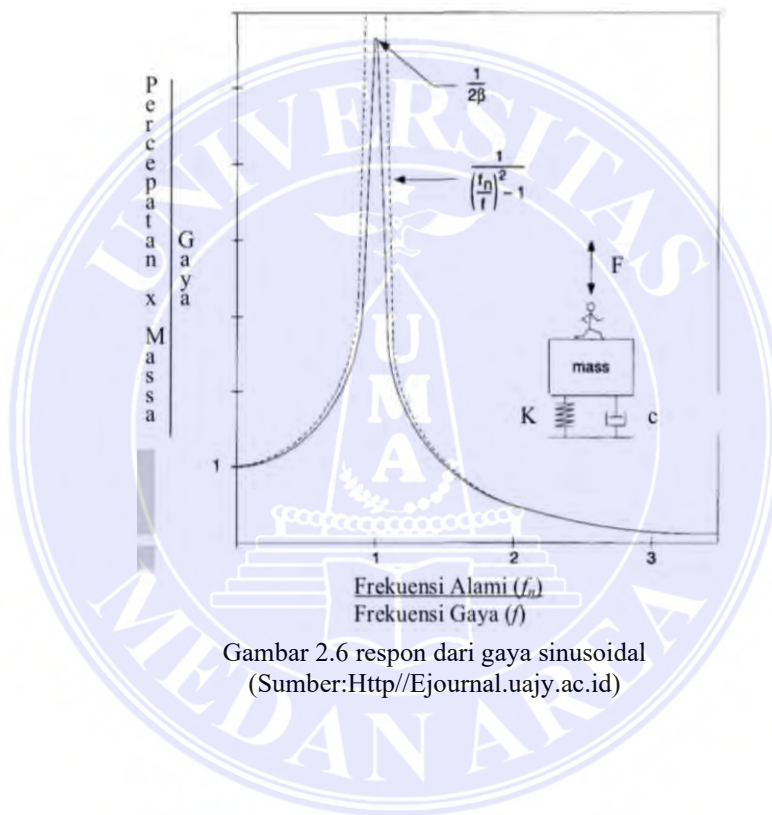
Kebanyakan masalah getaran lantai diakibatkan adanya gaya berulang yang disebabkan oleh mesin atau kegiatan manusia seperti menari, aerobic atau berjalan, meskipun berjalan sedikit lebih rumit dari yang lain karena lokasi beban berubah pada setiap langkah. Gaya berulang bias diwakili oleh deret Fourier:

$$F = P (1 + \alpha_i \cos(2\pi_i f_{step} t + \Phi_i)) \dots \dots \dots (2.3)$$

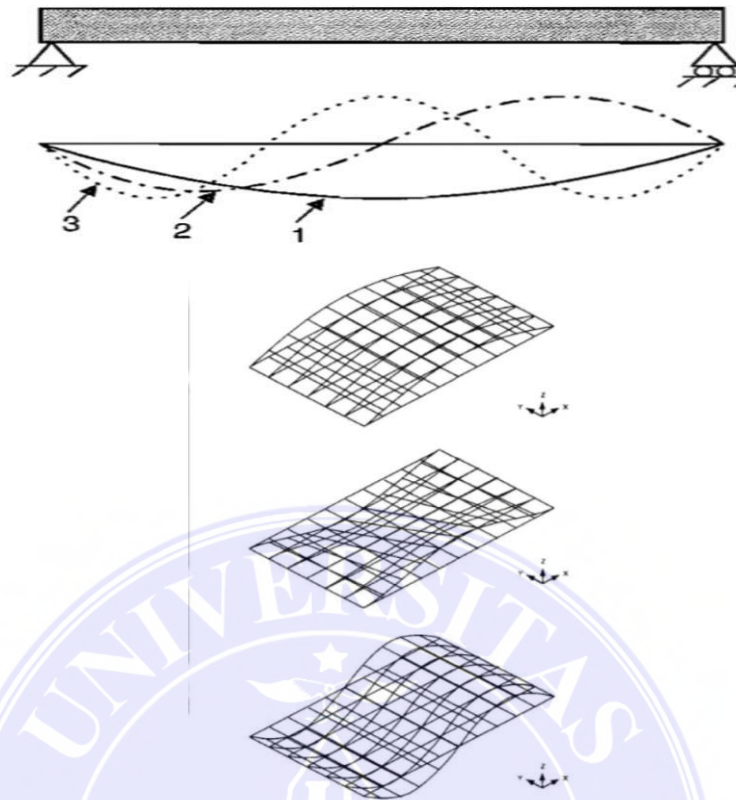
Dengan :

- P = Berat Manusia
- α_i = Koefesien dinamik dari beban harmonic
- I = banyaknya harmonik
- f_{step} = Frekuensi langkah dari aktivitas manusia
- t = Waktu
- Φ_i = Besarnya sudut beban harmonic

Secara umum besarnya koefesien dinamis menurun dengan meningkatkan beban harmonik, secara teori jika setiap frekuensi yang terkait dengan beban sinusoidal mengimbangi frekuensi alami dari bentuk getaran. Gambar 2.7 menunjukkan respon sinusoidal jika hanya satu modulus getaran walaupun banyak orang di system lantai, setiap modulus getaran memiliki konfigurasi perpindahan sendiri atau *mode shape* dan frekuensi alami.



Gambar 2.6 respon dari gaya sinusoidal
(Sumber: [Http://Ejournal.uajy.ac.id](http://Ejournal.uajy.ac.id))



Gambar 2.7 Tiga bentuk awal dari ragam balok dengan dukungan Sederhana dan pada system lantai (Sumber:Http//Ejournal.uajy.ac.id)

Getaran akibat aktivitas manusia untuk ragam yang lebih tinggi sulit dihasilkan karena orang yang tersebar di daerah yang relative besar dan cenderung memaksa panel yang berdekatan bergerak dalam arah yang berlawanan. Berjalan menghasilkan beban dinamis sehingga dapat menyebabkan terjadinya ragam yang lebih tinggi. Model dasar pada gambar 2.6 dapat diwakili oleh persamaan :

$$\text{Percepatan Sinosiodal} = \left(\frac{\text{force}}{\text{massa}}\right) \times \text{Faktor Respons} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana factor respons sangat tergantung dari perbandingan frekuensi alami dengan frekuensi gaya (f_n/f).

Untuk mengontrol percepatan pada resonansi yang disebabkan oleh meningkatnya redaman atau massa, percepatan adalah gaya dibagi redaman kali massa. Frekuensi alami juga mempunyai fungsi karena gaya sinusoidal umumnya

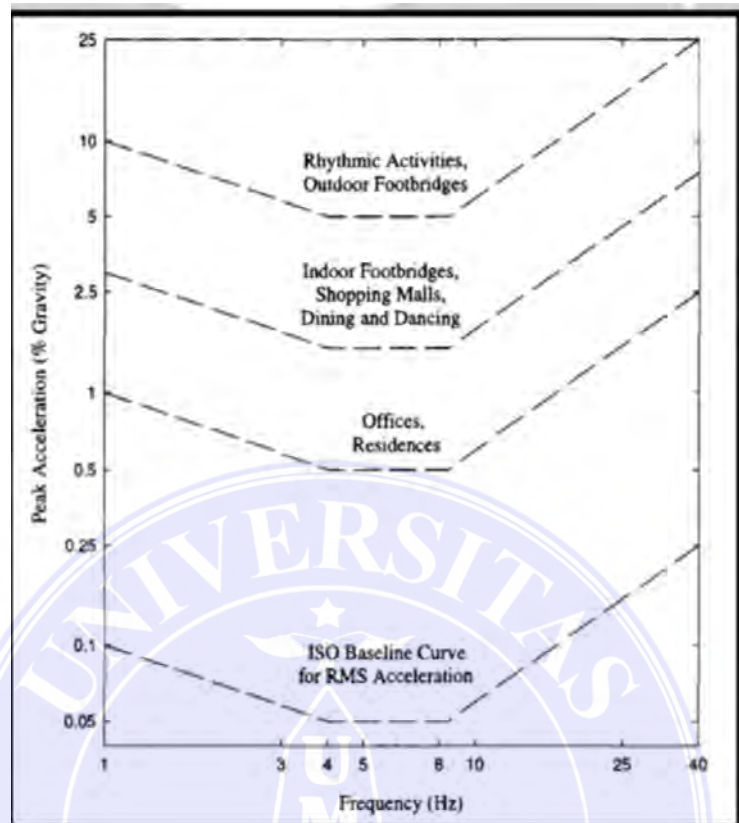
menurun dengan meningkatnya harmonik, semakin tinggi frekuensi alami semakin rendah gaya.

2.10 Standar untuk kenyamanan Manusia [Steel Design Guide Series, 2003]

2.10.1. Respon Manusia Terhadap Gerakan Lantai

Sebuah gerak kontinyu (*steady-state*) dapat menimbulkan getaran yang berlebihan daripada gerak yang disebabkan oleh gaya transien. Batas persepsi gerakan lantai di tempat kerja yang sibuk bisa lebih tinggi daripada di sebuah apartemen yang tenang. Reaksi orang yang lebih tua berbeda dengan orang dewasa walaupun keduanya mengalami gerakan yang sama.

Reaksi dari orang-orang yang merasakan vibrasi tergantung dari apa yang sedang mereka lakukan. Orang-orang di kantor atau di tempat tinggal mereka tidak menyukai vibrasi yang “nampak jelas” (puncak percepatan sekitar 0,5 % dari percepatan gravitasi, g), sedangkan orang-orang yang mengambil peran dalam sebuah aktifitas akan menerima vibrasi kurang lebih 10 kali lebih besar (5 % g atau lebih). Orang-orang yang berada di lantai dansa, mengangkat beban di gedung aerobik atau gedung olahraga, atau berada di pusat perbelanjaan akan menerima vibrasi sekitar 1,5 % g . Kepekaan dalam setiap pekerjaan juga berbeda-beda sesuai dengan lamanya vibrasi dan jauhnya letak sumber vibrasi. Batasan limit untuk frekuensi vibrasi adalah diantara 4 Hz dan 8 Hz. Di luar batasan tersebut, orang-orang menerima percepatan vibrasi yang lebih tinggi seperti yang terlihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Kurva puncak percepatan yang disarankan untuk kenyamanan manusia Untuk getaran lantai akibat aktivitas manusia (Sumber: [Http://Ejournal.uajy.ac.id](http://Ejournal.uajy.ac.id))

2.10.2 Batas Getaran

Besarnya getaran harus dibandingkan dengan beberapa nilai batas untuk memastikan apakah tingkat getaran tersebut dapat diterima. Tidak ada nilai tunggal sebagai pedoman untuk membatasi tingkat getaran. Persepsi manusia terhadap tingkat getaran sangat tergantung pada lingkungan dimana getaran dirasakan dan juga tergantung pada lingkungan dimana getaran dirasakan dan juga tergantung pada frekuensi dan durasi getaran. Standart ISO 2361-1 dan 2 biasanya digunakan sebagai dasar dalam menentukan nilai batas yang digunakan untuk mendefinisikan kenyamanan manusia akibat getaran yang berlebihan.

2.10.3 Rekomendasi Kriteria Design Struktural

Banyak kriteria untuk kenyamanan manusia telah diusulkan selama bertahun-tahun. Berikut ini direkomendasikan kriteria design untuk eksitasi berjalan, metode untuk memperkirakan sifat lantai yang diperlukan dan prosedur design yang pertama kali diusulkan oleh Allen dan Murray (1993). Kriteria ini didasarkan pada respon dinamik balok-balok silang atau dukungan baja pada sistem lantai untuk beban berjalan dan dapat digunakan untuk mengevaluasi sistem struktur kantor, pusat perbelanjaan, jembatan pejalan kaki dan bangunan hunian. Perkembangannya dijelaskan sebagai berikut:

1. Kriteria ini dikembangkan dengan menggunakan :

Batas percepatan seperti yang direkomendasikan oleh *International Standard Organization* (ISO 2631-2,1989) Menunjukkan batas percepatan rms sebagai kelipatan dari dasar kurva garis seperti pada gambar 8 yaitu percepatan puncak untuk kantor adalah 10, pusat perbelanjaan adalah 30 dan jembatan pejalan kaki. Untuk keperluan design batas percepatan dapat diasumsikan berkisar antara 0,8 sampai 1,5 kali nilai yang dianjurkan tergantung pada durasi getaran dan frekuensi getaran yang terjadi.

2. Menurut Murray et al. (1997), waktu tergantung pada komponen harmonik yang sesuai dengan frekuensi dasar lantai :

$$F_i = P \cdot \alpha_i \cdot \cos(2\pi f_{step} t) \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

P = Berat Manusia (untuk design = 0,7 kN)

α_i = Koefisien dinamik dari beban harmonik

i = banyaknya harmonik

f_{step} = Frekuensi langkah dari aktivitas manusia

t = Waktu

Nilai yang direkomendasikan untuk koefisien dinamik dari beban dinamik diberikan pada table 2.1.

Tabel 2.1. Hubungan antara frekuensi gaya dengan koefisien dinamis

Harmonik	Manusia berjalan	
I	F, Hz	α_i
1	1,6-2,2	0,5
2	3,2-4,4	0,2
3	4,8-6,6	0,1
4	6,4-8,8	0,01

Sumber : Steel Design Guide 11 (Murray et al., 1997)

3. Bentuk fungsi respons resonansi :

$$\frac{a}{g} = \frac{R\alpha_i P}{\beta W} \cdot \cos(2\pi i f_{step} t) \dots \dots \dots (2.6)$$

a/g = Rasio percepatan lantai terhadap percepatan gravitasi

R = Faktor reduksi (0,5 untuk lantai)

β = Rasio redaman

W = Berat efektif lantai

Oleh Allen dan Murray (1993), persamaan (2.5) dapat disederhanakan menjadi :

$$\frac{a_p}{g} = \frac{P_o \exp(-0,35 f_n)}{\beta W} \leq \frac{P_o}{g} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

a_p/g = Perkiraan percepatan puncak (inchi)

a_0/g = Batas percepatan (lihat gambar 8)

f = Frekuensi alami struktur lantai

P_0 = Gaya konstan sebesar 0,29 Kn

Persamaan tersebut di atas merupakan beban harmonik akibat berjalan yang menghasilkan respons pada frekuensi alami lantai.

2.11 Penelitian Terdahulu (Jurnal Terkait)

Penelitian terdahulu adalah salah satu acuan penulis dalam melakukan penelitian sehingga penulis dapat memperkaya teori yang digunakan dalam mengkaji penelitian yang dilakukan.

Berikut merupakan penelitian terdahulu berupa beberapa jurnal terkait dengan penelitian yang dilakukan penulis.

1. Skripsi: Pengaruh Getaran Pada Struktur Bangunan Satu Tingkat Akibat Gerakan Manusia. Oleh: Dwi Catra Rimaza, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha.
2. Skripsi: Penanggulangan Getaran Pada Pelat Lantai Beton Bertulang (Overcoming Vibration Problems In Reinforced Concrete Floor Slabs System). Oleh: Cecep Bakheri Bachroni, Pusat Litbang Permukiman, Badan Litbang Pekerjaan Umum.

Dari jurnal diatas, analisis yang dilakukan adalah analisis getaran pada beberapa tipe pelat, balok induk, dan kolom dengan variasi pada ukuran dimensi. Pembahasan hanya dilakukan terhadap bangunan kantor, pusat pembelanjaan, dan tempat ibadah. Jurnal yang terkait tersebut menggunakan bantuan program ETABS V9.5. melalui program tersebut akan diperoleh periode getar dan berat struktur dari pemodelan bangunan yang dibuat. Dari program tersebut dapat

diketahui dimensi minimum dari ketebalan pelat, balok induk dan kolom serta nilai perkiraan puncak percepatan getaran yang masih berada dalam batas toleransi sesuai dengan peraturan Steel Design Guide 11th Series.



BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan cara ilmiah dalam mencari dan mendapatkan data, serta memiliki kaitan dengan prosedur dalam melakukan penelitian dan teknis penelitian. Penulisan penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, dimana cara (metode) pengumpulan data, analisa data, dan interpretasi hasil analisa untuk mengambil keputusan dan kesimpulan. Sehingga data yang digunakan adalah data kuantitatif yang berbentuk angka atau data yang diangkakan. Pada penelitian ini, perencanaan gedung bertingkat dilakukan ketika mendapat desain gambar dari perencana, analisa dan perhitungan, dilakukan komputersasi model secara 3D menggunakan software SAP 2000.20 dengan memasukkan data *material properties* dan *parameter properties*. Proses perencanaan dalam melakukan penelitian perlu dilakukan analisis yang teliti, semakin rumit permasalahan yang dihadapi semakin kompleks pula analisis yang akan dilakukan. Analisis yang baik memerlukan data atau informasi yang lengkap dan akurat disertai dengan teori atau konsep dasar yang relevan. Adapun metode penelitian yang digunakan antara lain :

3.1.1 Metode Survei

Metode survei yaitu dengan mengadakan pengamatan langsung keadaan lapangan sesungguhnya. Hal ini mutlak dilakukan agar dapat diketahui kondisi aktual pada saat ini, sehingga diharapkan tidak terjadi kesalahan dalam evaluasi dan perencanaan. Data yang diperoleh dari kegiatan survei ini disebut data

primer. Data primer adalah data utama yang diperoleh dengan cara observasi langsung ke lapangan.

3.1.2 Metode Studi Pustaka

Studi pustaka diperlukan sebagai acuan penelitian setelah subyek ditentukan. Studi pustaka juga merupakan landasan teori bagi penelitian yang mengacu pada buku, pendapat, dan teori yang berhubungan dengan penelitian.

3.1.3 Pengumpulan Data

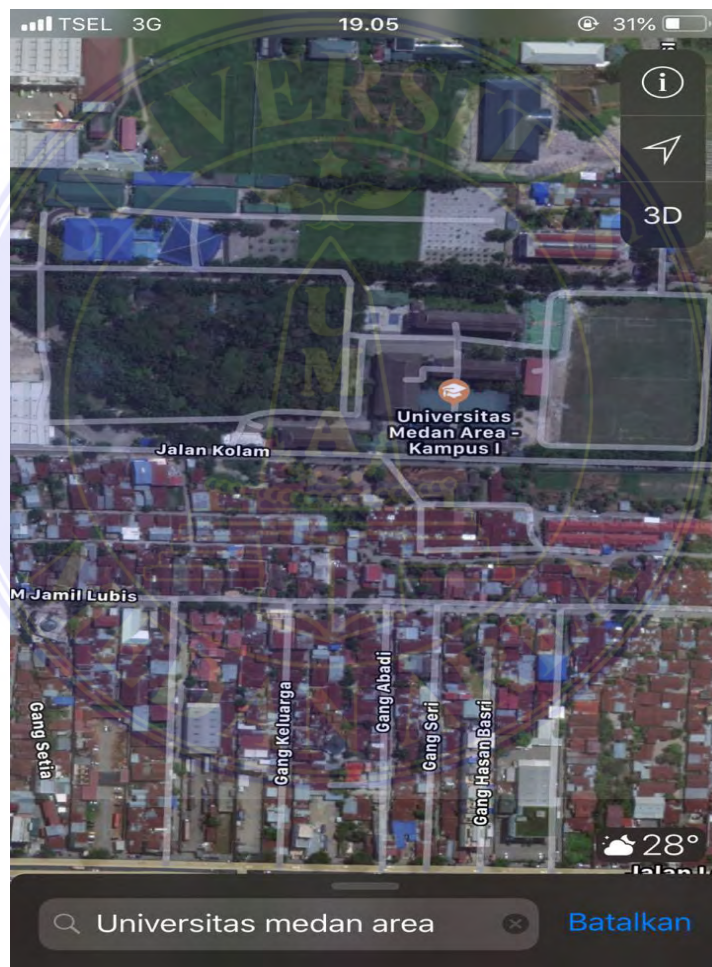
Dalam penelitian ini diperlukan data-data pendukung berupa data primer dan data sekunder yang digunakan untuk pengolahan data dan analisa.

- Data primer diperoleh dengan cara observasi atau survei langsung di lapangan, data primer dibedakan menjadi dua yaitu :
 - a. Observasi awal, yaitu pengamatan secara visual terhadap bangunan gedung yang akan diteliti, terutama melihat secara visual struktur lantai apakah mengalami penurunan yang sangat besar ataupun sebaliknya.
 - b. Observasi akhir, yaitu mencatat terjadinya getaran akibat gerakan manusia dan melihat penurunan yang terjadi pada lantai dengan cara menggunakan Waterpass, mengecek kuat tekan beton dengan alat yang dinamakan Hammer Test dan mencatatnya serta menyimpulkan apa yang mempengaruhi getaran pada gedung apa karna faktor umur gedung atau kah dimensi balok, maupun tulangan pada balok dan lantai.
- Data sekunder diperoleh dengan meminta langsung ke Yayasan terkait atau ke Dinas terkait, tetapi karena tidak adanya data bangunan yang tersimpan sebab

berhubungan bangunan gedung tersebut telah lama maka untuk data bangunan dapat diperoleh langsung dengan bertanya kepada narasumber terkait yang mengetahui pembangunan gedung tersebut.

3.2 Lokasi Survei

Dalam penelitian ini, lokasi survei dilakukan pada Gedung Kampus 1 Universitas Medan Area, yang bertempat di Jalan Kolam No 1 Medan Estate.



Gambar 3.1 Lokasi Survei
Sumber : Google Maps 2020

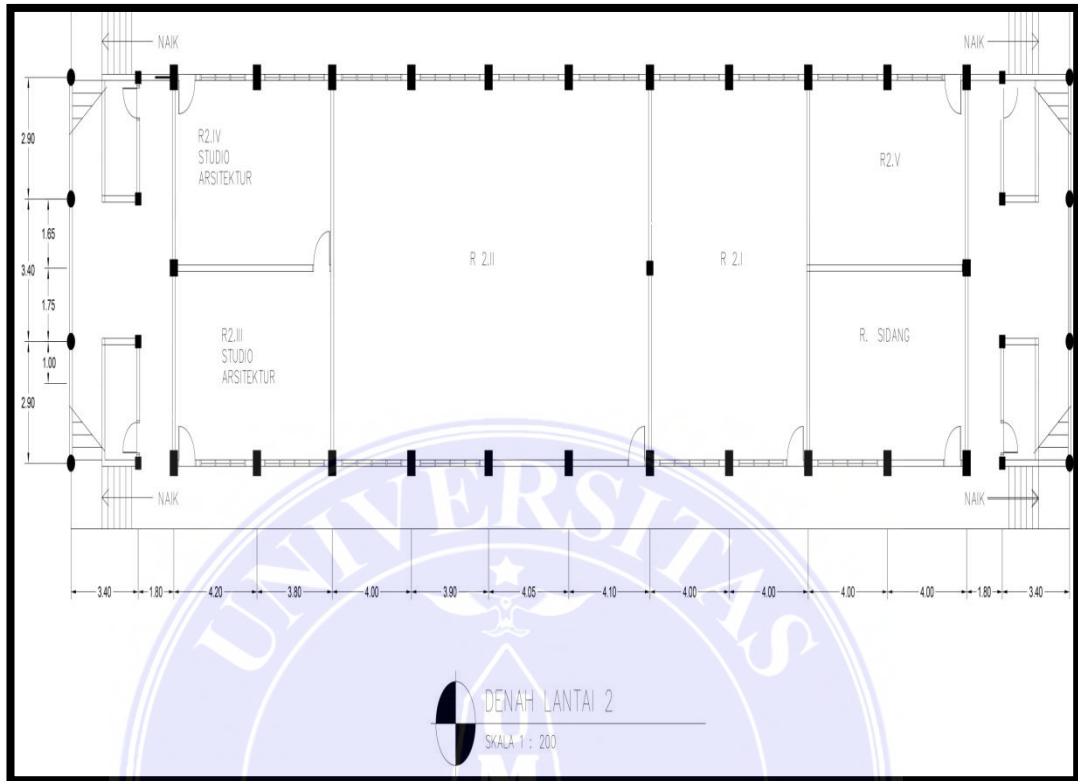
Gedung Fakultas Teknik berdiri pada tahun 1983, dimana bangunan gedung Fakultas Teknik berlantai 4. Memiliki tinggi bangunan 17 m, lebar bangunan 9.20 m, panjang bangunan 50.45 m. Bangunan Fakultas Teknik Universitas

Medan Area mempunyai selasar. Data pendukung yang didapat tersebut di dapat, diambil langsung dari lapangan.



Gambar 3.2 Gedung Fakultas Teknik UMA
Sumber : Langsung dari lapangan

Dalam penelitian ini, Lantai yang ditinjau adalah lantai 2 diruangan 2.2 Fakultas Teknik Universitas Medan Area karena getaran yang besar terjadi pada daerah tersebut.



Gambar 3.3 Denah Lantai 2 Fakultas Teknik Universitas Medan Area
Sumber : Autocad 2013

3.3. Alat Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan beberapa alat untuk menunjang pelaksanaan di lapangan sebagai berikut ini :

1. Surat izin melakukan penelitian
2. Alat tulis.
3. Theodolite



Gambar 3.4 Alat Theodolite
Sumber : Pengambilan di lapangan



Gambar 3.5 Bak Ukur Theodolite



Gambar 3.6 Statif Theodolite

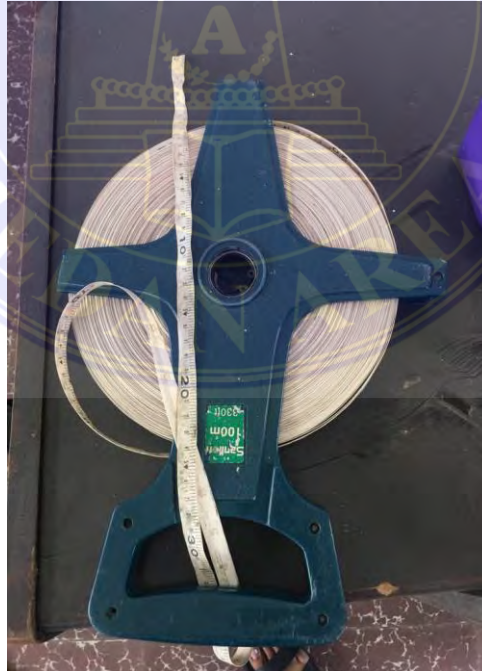
Sumber : Pengambilan di lapangan

4. Hammer Test (Uji Kekuatan Beton)



Gambar 3.7 Alat Uji Kuat beton (*Hammer Test*)
Sumber : Pengambilan di Lapangan

5. Roll meter (alat ukur).



Gambar 3.8 Rol Meter
Sumber : Pengambilan dari Lapangan

3.4. Jadwal Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada jam 4 sore karena lokasi penelitian adalah gedung kampus sehingga jam 4 sore adalah jam efektif untuk melakukan penelitian, tetapi berhubung penelitian dilakukan pada saat pandemik dan kampus masih melakukan kuliah daring maka penelitian dilaksanakan pada pagi hari dan dilakukan 2 kali, dengan jadwal sebagai berikut :

Tabel 3.1. Jadwal Penelitian

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Jam (Wib)	
			Mulai	Selesai
1	Selasa, 1-09-2020	Mengukur Luas gedung, Ruang kelas, dan dimensi kolom balok serta ketebalan lantai	10.00	11.30
2	Kamis, 3-09-2020	Melakukan pengukuran permukaan plat lantai ruang kelas 2.2 dengan Theodolite dan pengukuran kuat tekan beton dengan hammer test	11.00	14.30

3.5 Langkah Penelitian

Langkah dari penelitian ini adalah :

3.5.1 Survei Pendahuluan

Survei pendahuluan ini bertujuan untuk mengetahui data awal mengenai lantai yang memiliki frekuensi getaran yang sangat tinggi, lokasi survei yang akan dipilih dan jam efektif dilakukannya penelitian.

Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan dari survei ini adalah :

- a. Penempatan tempat atau titik lokasi survei yang memudahkan pengamat,
- b. Penentuan patokan pemasangan tali untuk mengetahui penurunan lantai dan seberapa besar frekuensi getaran,
- c. Membiasakan para pensurvei dalam menggunakan alat yang akan digunakan untuk survei, dan
- d. Memahami kesulitan yang memungkinkan muncul pada saat pelaksanaan survei dan melakukan revisi sesuai dengan keadaan lapangan serta kondisi yang mungkin dihadapi.

3.5.2 Persiapan Survei dan Penjelasan Kepada Pengamat

Tahapan ini dilakukan agar pelaksanaan survei dapat berjalan dengan baik. Kegiatan yang disiapkan antara lain: membuat formulir penelitian (untuk mendapatkan data sekunder/data pendukung penelitian) dan pengujian efektif dari formulir yang digunakan, mengumpulkan sejumlah pengamat, pemberian informasi kepada pengamat tentang kegiatan yang akan dilakukan dan cara-cara mengisi formulir, menentukan survei dan periode pengamatan, dan mempersiapkan alat-alat yang digunakan untuk penelitian.

3.5.3 Pengumpulan Data Lapangan

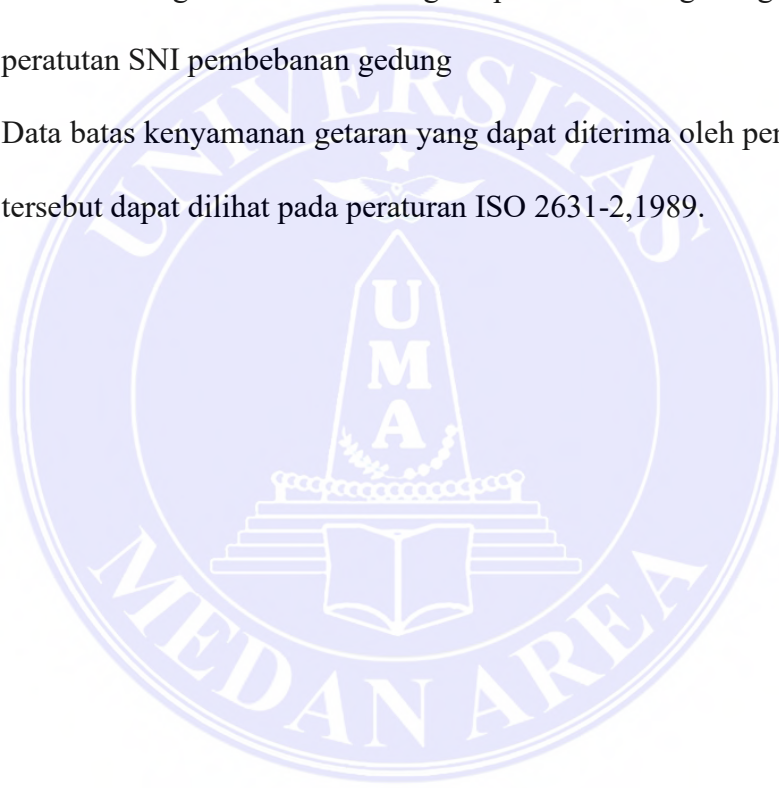
Untuk memperoleh tujuan seperti yang telah dijelaskan sebelumnya maka dilakukan pengumpulan data. Pengumpulan data tersebut digolongkan menjadi dua yaitu data primer dan data sekunder. Data primer yang diambil dari lapangan meliputi kondisi gedung yang ditinjau, dan kondisi struktur dalam hal ini struktur balok dan pelat lantai. Untuk data sekunder adalah data yang didapat dari

sumber lain, sumber ini didapat dari instansi kampus yang bersangkutan antara lain dapat berupa laporan penelitian, gambar bestek bangunan, peta, dan foto.

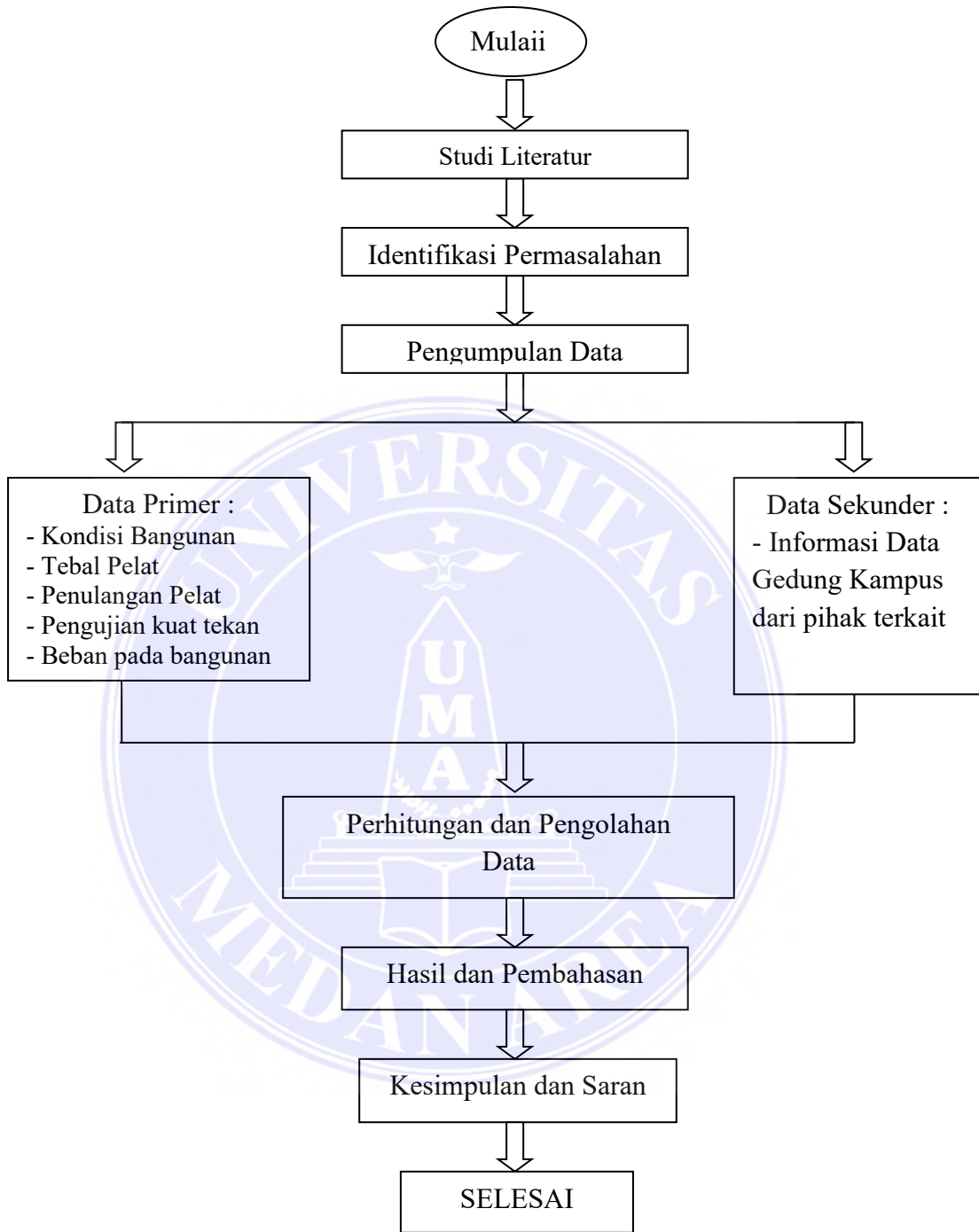
3.6 Metode Analisis Data

Data yang dikumpulkan akan diolah sesuai dengan keperluan analisis data yang terdapat pada SNI (Standar Nasional Indonesia) sebagai pembandingan, antara lain :

1. Kondisi bangunan sesuai dengan pembebanan gedung dilihat pada peraturan SNI pembebanan gedung
2. Data batas kenyamanan getaran yang dapat diterima oleh penghuni gedung tersebut dapat dilihat pada peraturan ISO 2631-2, 1989.



Berikut ini adalah diagram alir urutan kerja penelitian yang akan dilakukan :



Gambar 3.8 Bagan Alir Penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dari gedung dan ukuran dimensi struktur yang ada, didapatkan beberapa kesimpulan :

1. Besaran nilai puncak percepatan pada bangunan bergantung pada kuat tekan beton, ketebalan lantai, diameter tulangan pelat lantai, dan umur sebuah gedung tersebut dimana penurunannya terlihat pada pelat lantai yang mengakibatkan periode getar besar.
2. Perkiraan puncak getaran struktur yang didapat adalah 1,4% sedangkan batas puncak percepatan adalah 0,5% – 1,5% sehingga getaran yang terjadi pada bangunan masih dinyatakan aman. Untuk mencapai kenyamanan penghuni/orang-orang di dalam gedung maka ketebalan pelat dan tulangan harus diperbesar dan rasio redaman juga harus diperbesar.
3. Dimensi pelat pada bangunan memiliki pembebanan yang sesuai dengan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung SKBI-1.3.53.1987 sehingga getaran bangunan yang dirasakan/terjadi akibat aktivitas manusia masih tergolong aman/normal terjadi pada gedung sekolah/kampus sesuai dengan yang telah di analisis.
4. Besar lendutan/penurunan yang terjadi pada pelat gedung adalah $2,15 \times 10^{-7}$ mm.
5. dari beban $8,8 \text{ kN/m}^2$ yang dipikul pelat maka harus digunakan tulangan pokok D10 dan tulangan bagi D6 sehingga dapat mengurangi getaran yang terjadi pada gedung.

6.2 Saran

Adapun beberapa saran yang sebaiknya dilakukan lebih lanjut dari tulisan ini, antara lain :

1. karena penelitian ini hanyaterfokus pada pelatlantai saja maka Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut untuk cakupan yang lebih luas, seperti melibatkan pengaruh dimensi kolom dan balok yang bervariasi.
2. dalam melakukan input data pada program SAP hendaknya dilakukan dengan teliti sesuai dengan asumsi-asumsi yang telah ditetapkan sebelumnya sehingga dapat dihasilkan analisis struktur yang mendekati keadaan sebenarnya.
3. dalam perhitungan seperti penentuan tulangan pelat digunakan ukuran yang hampir seragam untuk memudahkan perhitungan.
4. untuk mengurangi terjadinya getaran pada gedung bangunan diharapkan memperkecil bentang pelat atau menambah kolom ditengah pelat sebagai penopang pelat serta menambahkan balok anak pada gedung tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Bachroni, Bakheri Cecep. 2015. *Penanggulangan Getaran Pelat Lantai Beton Bertulang* (Study Kasus Pusat Litbang Pemukiman di jalan Panyawungan, Cileunyi Wetan – Kabupaten Bandung 40393). Bandung: Jurnal Pemukiman Vol.10. 1 Mei 2015 1-10.
- Dishongh, Burl E. 2001. *Essential Atructural Technology For Construction and Architecrure*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Departemen Pekerjaan Umum (1987), *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*, SKBI-1.3.53.1987.UDC:624.042.
- [Http://E-journal.uajy.ac.id/5254/3/2MTS01813.pdf](http://E-journal.uajy.ac.id/5254/3/2MTS01813.pdf) “Analisa Getaran yang terjadi pada Gedung Satu Tingkat Akibat Gerakan Manusia” Universitas Atma Jaya Jogjakarta.
- <https://mekanikateknikcom.wordpress.com/2018/03/16/ccontoh-soal-mekanika-teknik-menghitung-lendutan-maksimum-pada-balok-sederhana-dengan-beban-merata-momen-area-method/amp/>
- <http://www.ikons.id/pengujian-struktur-beton-dengan-metoda-hammer-test-metoda-uji-pembebanan-load>
- <https://lauwtjunnji.weebly.com/pbi--sni--satuan-dan-benda-uji.html>
- <https://bramanalendrablog.files.wordpress.com/2017/01/balok-dan-pelat-beton-bertulang.pdf>
- <https://nawarsyarif.blogspot.com/2012/08/definisi-pelat-satu-arah-dan-pelat-dua.html>
- <https://tekonsipil.sv.ugm.ac.id/file/sni-2847-2019-persyaratan-beton-struktural-untuk-bangunan-gedung-sni-1726-2019-persyaratan-beton-struktural-untuk-bangunan-gedung/>
- McCormac, J.C. (2001), *Design of Renforced Concrete*, 5th Edition, John Wiley and Sons, Inc.
- Rimaza, Catra Dwi dan Wiyono, Rachmat Daud. 2014. *Pengaruh Getaran Pada Struktur Bangunan Satu Tingkat Akibat Gerakan Manusia*. Bandung: Jurnal Teknik Sipil Volume 10 Nomor 2, Oktober 2014 : 92-203
- Thomson, William T. 1988. *Theory of Vibration With Applications*, 2nd Edition. Jakarta: Penerbit Erlangga.

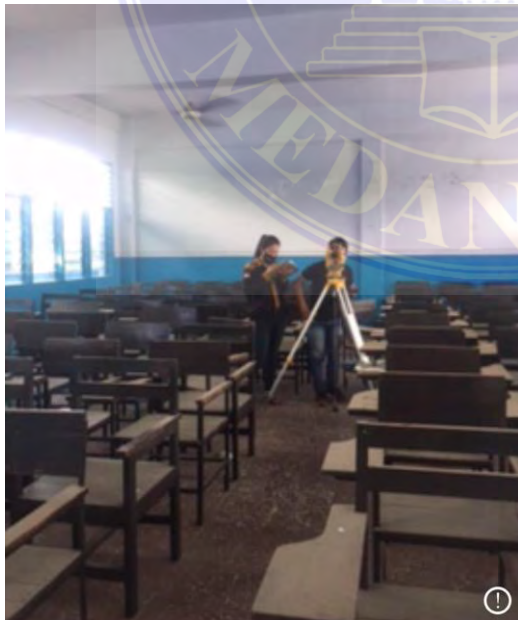
LAMPIRAN



Persiapan Alat Penelitian



Pemasangan Theodolite



Membidik titik tengah dengan alat theodolite



Membidik titik sudut ruangan



Alat uji kuat tekan beton (Hammer Test)



Pengujian kuat tekan beton menggunakan Hammer Test dengan cara menekan /menembakkan alat kepermukaan beton yang ditinjau

Tabel Faktor momen pikul maksimal

Tabel L.2.1 Faktor momen pikul maksimal (K_{maks}) dalam MPa

Mutu beton f_c' (MPa)	Mutu baja tulangan f_y (MPa)					
	240	300	350	400	450	500
15	4,4839	4,2673	4,1001	3,9442	3,7987	3,6627
20	5,9786	5,6897	5,4668	5,2569	5,0649	4,8836
25	7,4732	7,1121	6,8335	6,5736	6,3311	6,1045
30	8,9679	8,5345	8,2002	7,8883	7,5973	7,3254
35	10,1445	9,6442	9,2595	8,9016	8,5682	8,2573
40	11,2283	10,6639	10,2313	9,8296	9,4563	9,1087
45	12,1948	11,5704	11,0930	10,6509	10,2407	9,8593
50	13,0485	12,3683	11,8497	11,3705	10,9266	10,5145
55	13,7846	13,0535	12,4977	11,9850	11,5109	11,0716
60	14,6670	13,8816	13,2853	12,7358	12,2283	11,7583

Sumber : Buku Pelat Beton Bertulang Oleh Ali Asroni

Tabel untuk penentuan momen pelat (PBI-1971)

Tabel L.3.1 Momen di dalam Pelatyang Memumpu pada Keempat Tepinya akibat Beba Terbagi Rata

		l_1 / l_2	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	>2,5
I		$M_{lx} = +0,001 q \cdot l_x^2 \cdot X$	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	112	125
		$M_{ly} = +0,001 q \cdot l_y^2 \cdot X$	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	25
II		$M_{lx} = +0,001 q \cdot l_x^2 \cdot X$	21	25	28	31	34	36	37	40	40	41	41	41	41	42	42	42	42
		$M_{ly} = +0,001 q \cdot l_y^2 \cdot X$	21	21	20	19	18	17	16	14	13	12	12	11	11	11	10	10	8
III		$M_{lx} = +0,001 q \cdot l_x^2 \cdot X$	52	59	64	69	73	76	79	81	82	83	83	83	83	83	83	83	83
		$M_{ly} = -0,001 q \cdot l_y^2 \cdot X$	52	54	56	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
IV		$M_{lx} = +0,001 q \cdot l_x^2 \cdot X$	28	33	38	42	45	48	51	53	55	57	58	59	59	60	61	61	63
		$M_{ly} = +0,001 q \cdot l_y^2 \cdot X$	28	28	28	27	26	25	23	23	22	21	19	18	17	17	16	16	13
IVA		$M_{lx} = +0,001 q \cdot l_x^2 \cdot X$	68	77	85	92	98	103	107	111	113	116	118	119	120	121	122	122	125
		$M_{ly} = -0,001 q \cdot l_y^2 \cdot X$	68	72	74	76	77	77	78	78	78	78	79	79	79	79	79	79	79
IVB		$M_{lx} = +0,001 q \cdot l_x^2 \cdot X$	22	28	34	42	49	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	125
		$M_{ly} = +0,001 q \cdot l_y^2 \cdot X$	32	35	37	39	40	41	41	41	40	39	38	37	36	35	35	35	25
VA		$M_{lx} = +0,001 q \cdot l_x^2 \cdot X$	70	79	87	94	100	105	109	112	115	117	119	120	121	122	123	123	125
		$M_{ly} = -0,001 q \cdot l_y^2 \cdot X$	70	74	77	79	81	82	83	84	84	84	84	84	84	83	83	83	83
VB		$M_{lx} = +0,001 q \cdot l_x^2 \cdot X$	31	38	45	53	60	66	72	78	83	88	92	96	99	102	105	108	125
		$M_{ly} = +0,001 q \cdot l_y^2 \cdot X$	37	39	41	41	42	42	41	41	40	39	38	37	36	35	34	33	25
VIA		$M_{lx} = +0,001 q \cdot l_x^2 \cdot X$	84	92	99	106	109	112	115	117	119	121	122	122	123	123	123	124	125
		$M_{ly} = -0,001 q \cdot l_y^2 \cdot X$	84	92	98	103	108	111	114	117	119	120	121	121	122	122	123	123	124
VIB		$M_{lx} = +0,001 q \cdot l_x^2 \cdot X$	21	26	31	36	40	43	46	49	51	53	55	56	57	58	59	60	63
		$M_{ly} = +0,001 q \cdot l_y^2 \cdot X$	26	27	28	28	27	26	25	23	22	21	20	19	18	17	16	15	13
VII		$M_{lx} = +0,001 q \cdot l_x^2 \cdot X$	55	65	74	82	89	94	99	103	106	110	114	116	117	118	119	120	125
		$M_{ly} = -0,001 q \cdot l_y^2 \cdot X$	60	65	69	72	74	76	77	78	78	78	78	78	78	78	78	78	79
VIII		$M_{lx} = +0,001 q \cdot l_x^2 \cdot X$	26	29	32	35	36	38	39	40	40	41	41	42	42	42	42	42	42
		$M_{ly} = +0,001 q \cdot l_y^2 \cdot X$	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	11	11	10	10	10	10	8
IX		$M_{lx} = +0,001 q \cdot l_x^2 \cdot X$	60	66	71	74	77	79	80	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83
		$M_{ly} = -0,001 q \cdot l_y^2 \cdot X$	55	57	57	57	58	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57

Keterangan : = Terletak bebas
 = Terjepit penuh

Sumber : Buku Pelat Beton Bertulang Oleh Ali Asroni