

**STUDI KETEBALAN MINIMUM PELAT BETON BERTULANG
MENURUT SNI 2847:2019 TERHADAP KENYAMANAN MANUSIA**

Skripsi

Oleh

**CHATRYNE PRICILLYA RIS MENTARI
NPM 1815011017**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

STUDI KETEBALAN MINIMUM PELAT BETON BERTULANG MENURUT SNI 2847:2019 TERHADAP KENYAMANAN MANUSIA

Oleh

CHATRYNE PRICILLYA RIS MENTARI

Kenyamanan bangunan bagi para penghuninya serta lendutan merupakan hal penting yang harus diperhatikan. Salah satu aspek yang mempengaruhi hal ini adalah ketebalan minimum pelat beton bertulang yang digunakan. Dalam SNI 2847:2019 menjelaskan bagaimana perencanaan ketebalan minimum suatu pelat beton bertulang. Namun, tidak menjelaskan apakah ketebalan minimum pelat ini memberikan kenyamanan dari getaran yang dialami terutama akibat aktivitas manusia berjalan. Penelitian ini memodelkan tiga bangunan kantor dengan nilai L_y/L_x yang berbeda yaitu 2, 1,75, dan 1,5 yang menerima beban manusia yang berjalan lurus pada pelat sebesar 0,7 KN di lantai satu yang dianalisis dengan menggunakan program SAP2000 dan *Microsoft Excel*. Dari hasil analisis menggunakan program SAP2000 v.18 dilihat bahwa seluruh model memiliki nilai lendutan tidak melebihi batas disyaratkan yaitu $L/360$. Untuk model 1 percepatan getaran vertikal terbesar pada redaman 0% adalah $0,2550 \text{ m/s}^2$ dan redaman 3% adalah $0,1282 \text{ m/s}^2$ dengan frekuensi alami vertikal sebesar 13,7371 Hz. Untuk model 2 percepatan getaran vertikal terbesar pada redaman 0% adalah $0,1536 \text{ m/s}^2$ dan redaman 3% adalah $0,0879 \text{ m/s}^2$ dengan frekuensi alami vertikal sebesar 12,7076 Hz. Untuk model 3 percepatan getaran vertikal terbesar pada redaman 0% adalah $0,1229 \text{ m/s}^2$ dan redaman 3% adalah $0,0777 \text{ m/s}^2$ dengan frekuensi alami vertikal sebesar 11,5591 Hz. Nilai ini menunjukkan bahwa model yang dirancang dengan SNI 2847:2019 tidak memberikan jaminan kenyamanan namun memberikan jaminan keamanan dari getaran yang berlebihan.

Kata Kunci: getaran, kenyamanan manusia, pelat beton bertulang, SNI 2847:2019.

ABSTRACT

STUDY OF MINIMUM THICKNESS OF REINFORCED CONCRETE SLABS ACCORDING TO INDONESIAN NATIONAL STANDARD 2847:2019 ON HUMAN COMFORT

By

CHATRYNE PRICILLYA RIS MENTARI

The comfort of the building for its occupants and the deflection are important things that must be considered. One aspect that affects this is the minimum thickness of the reinforced concrete slab used. In SNI 2847:2019 explains how to plan the minimum thickness of a reinforced concrete slab. However, it does not explain whether the minimum thickness of this plate provides comfort from the vibrations experienced mainly due to human walking activities. This study modeled three office buildings with different L_y/L_x values, namely 2, 1.75, and 1.5 which received a human load walking straight on a slab of 0.7 KN on the first floor which was analyzed using the SAP2000 program and Microsoft Excel. From the results of the analysis using the SAP2000 v.18 program, it can be seen that all models have a deflection value that does not exceed the required limit, namely $L/360$. For model 1 the largest vertical vibration acceleration at 0% attenuation is 0.2550 m/s^2 and 3% attenuation is 0.1282 m/s^2 with a vertical natural frequency of 13.7371 Hz. For model 2 the largest vertical vibration acceleration at 0% attenuation is 0.1536 m/s^2 and 3% attenuation is 0.0879 m/s^2 with a vertical natural frequency of 12.7076 Hz. For model 3 the largest vertical vibration acceleration at 0% attenuation is 0.1229 m/s^2 and 3% attenuation is 0.0777 m/s^2 with a vertical natural frequency of 11.5591 Hz. This value indicates that the model designed with SNI 2847:2019 does not guarantee comfort but guarantees safety from excessive vibration.

Keywords: human comfort, reinforced concrete slab, SNI 2847:2019, vibration.

**STUDI KETEBALAN MINIMUM PELAT BETON BERTULANG
MENURUT SNI 2847:2019 TERHADAP KENYAMANAN MANUSIA**

Oleh

CHATRYNE PRICILLYA RIS MENTARI

1815011017

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi : **STUDI KETEBALAN MINIMUM PELAT
BETON BERTULANG MENURUT SNI
2847:2019 TERHADAP KENYAMANAN
MANUSIA**

Nama Mahasiswa : **Chatryne Pricillya Ris Mentari**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1815011017

Program Studi : S1 Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.
NIP 1972308 199802 1 004


Ir. Surya Sebayang, M.T.
NIP 19580124 198703 1 001

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil


Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001


Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 198903 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.**



Sekretaris

: **Ir. Surya Sebayang, M.T.**



Anggota

: **Hasti Riakara Husni, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP 19750928/200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **27 Juni 2022**

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Chatryne Pricillya Ris Mentari**

NPM : 1815011017

Prodi/Jurusan : S1/Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Judul : Studi Ketebalan Minimum Pelat Beton Bertulang Menurut SNI

2847:2019 Terhadap Kenyamanan Manusia

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah ditetapkan.

Apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang berlaku.

Bandar Lampung, 6 Juli 2022

Pembuat Pernyataan,



Chatryne Pricillya Ris Mentari

RIWAYAT HIDUP



Chatryne Pricillya Ris Mentari, lahir pada tanggal 18 Januari 2001 di Kota Bekasi Provinsi Jawa Barat yang merupakan anak kedua dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Zoelhanter Panjaitan S.SI dan Ibu Erika Hutajulu. Penulis memulai pendidikan ditempuh dari Taman Kanak-kanak (TK) di TK Jericho (2005-2006), dilanjutkan ke Sekolah Dasar (SD) di SD Mutiara 17 Agustus 2 (2006-2012), kemudian Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 25 Kota Bekasi (2012-2015), dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 1 Kota Bekasi (2015-2018) dengan mengambil jurusan MIPA. Pada tahun 2018, penulis menempuh pendidikan menjadi seorang mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif mengikuti organisasi kemahasiswaan baik yang ada pada tingkat universitas maupun pada tingkat jurusan. Untuk menyelesaikan pendidikan di universitas, penulis menyusun suatu skripsi yang berjudul “Studi Ketebalan Minimum Pelat Beton Bertulang Menurut SNI 2847:2019 Terhadap Kenyamanan Manusia”.

PERSEMBAHAN

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah menolong dan memberi kekuatan untuk menyelesaikan skripsi ini.

Saya persembahkan skripsi ini kepada orang-orang yang saya sayangi.

Untuk diriku sendiri yang sudah berusaha dan kuat untuk menyelesaikan skripsi ini.

Untuk kedua orang tuaku dan saudara kandungku yang selalu memberikan dukungan dan mendoakan selama menyusun skripsi ini.

Untuk semua orang yang membantu dalam proses penyusunan skripsi ini

MOTTO

“Peace I leave with you; my peace I give you. I do not give to you as the world gives. Do not let your hearts be troubled and do not be afraid.”

- John 14:27 -

“Rejoice in the Lord always. I will say it again: Rejoice! Do not be anxious about anything, but in everything, by prayer and petition, with thanksgiving, present your requests to God. And the peace of God, which transcends all understanding, will guard your hearts and your minds in Christ Jesus.”

- Philippians 4:6, 7 -

“Every time you feel tired, remember how hard you started.”

- Twenty Five Twenty One -

“A life that doesn't match your dreams isn't a failed life, and a life that matches your dreams isn't necessarily a successful life.”

- Twenty Five Twenty One -

SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang senantiasa selalu memberikan berkat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan seluruh skripsi ini.

Skripsi ini diberi judul **“Studi Ketebalan Minimum Pelat Beton Bertulang Menurut SNI 2847:2019 terhadap Kenyamanan Manusia”** yang menjadi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sipil di Universitas Lampung.

Selama proses penyusunan skripsi ini penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada seluruh pihak yang berkontribusi memberikan saran, bimbingan, dukungan, hingga doa sehingga skripsi ini dapat diselesaikan, antara lain kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
3. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Prodi S1 Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
4. Bapak Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil., selaku Dosen Pembimbing I skripsi saya yang telah membimbing serta memberikan saran dan arahan selama proses penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Ir. Surya Sebayang, M.T., selaku Dosen Pembimbing II skripsi saya yang telah membimbing serta memberikan saran dan arahan selama proses penyusunan skripsi ini.

6. Ibu Hasti Riakara Husni, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji saya yang telah memberikan saran serta arahan untuk memperbaiki skripsi ini selama proses penyusunannya.
7. Ibu Siti Anugrah Mulya Putri O., S.T., M.T., selaku dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan nasihat serta motivasi dan arahan semasa menjalani proses perkuliahan.
8. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan pengajaran dan ilmu pengetahuan selama menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Lampung.
9. Seluruh teknisi dan karyawan di Fakultas Teknik, yang telah memudahkan kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
10. Kedua orang tuaku Ayah Zoelhanter Panjaitan dan Ibu Erika Hutajulu terima kasih untuk selalu mendoakan, mendukung, menemani, dan atas segala apapun. Saudara kandungku Ka Erentz Angelista Hermina, Bellentz Gabryella Lukrina, dan Jassond Erhant Marcelino serta seluruh keluarga yang saya sayangi. Terima kasih untuk selalu mendoakan, memberi saran dan memberi dukungan setiap saat, sehingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
11. Keluarga Besar Teknik Sipil Universitas Lampung terutama angkatan 2018, terima kasih atas kenangan, bantuan dan segala sesuatunya selama penulis menjalani proses perkuliahan dan seluruh pihak yang tidak mampu penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi banyak orang.

Bandar Lampung, 6 Juli 2022

Penulis,

Chatryne Pricillya Ris Mentari

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pelat Beton Bertulang	5
2.2. Ketebalan Minimum Pelat Menurut SNI 2847:2019	6
2.3. Getaran	8
III. METODOLOGI PENELITIAN	10
3.1. Alat Penelitian	10
3.2. Metode Penelitian	10
3.3. Bagan Alir Penelitian	11
3.4. Pemodelan Struktur dalam SAP2000.....	14
3.5. Pemodelan Beban Akibat Aktivitas Manusia Berjalan.....	16
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1. Uraian Umum.....	18
4.2. Data Bangunan.....	20
4.3. Peraturan yang Digunakan	20
4.4. Data Material	21
4.5. Penentuan Dimensi Balok dan Kolom	21
4.6. Pembebanan	25
4.7. Perhitungan Ketebalan Minimum Pelat Beton Bertulang.....	27
4.8. Lendutan pada Model	50
4.9. Percepatan Getaran Vertikal dan Ketebalan Minimum Pelat	53
4.10. Frekuensi Akibat Beban Manusia Berjalan dan Frekuensi Alami.....	65
Vertikal	65
4.11. Asumsi Lainnya untuk Model.....	75

V. KESIMPULAN DAN SARAN	85
5.1. Kesimpulan	85
5.2. Saran	86
DAFTAR PUSTAKA	88
LAMPIRAN.....	90

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Perencanaan Ketebalan Minimum Tanpa Balok Interior	7
2. Rencana Ukuran dalam Pemodelan Struktur Bangunan	15
3. Estimasi Awal Ketebalan Minimum Pelat	28
4. Lebar Efektif Sayap dan Momen Inersia pada Balok	35
5. Momen Inersia Pelat dan Rasio Kekakuan Rerata dari Balok	45
6. Ketebalan Minimum Pelat Beton Bertulang	49
7. Lendutan pada Model.....	53
8. Percepatan Getaran Vertikal pada Pelat Setiap Model	63
9. Frekuensi Akibat Beban Manusia Berjalan dengan Frekuensi Alami Vertikal.....	74
10. Nilai Lendutan Hasil Modifikasi Ketebalan dari Pelat	82
11. Nilai Percepatan Getaran Vertikal Modifikasi Ketebalan dari Pelat	83
12. Nilai Frekuensi Akibat Aktivitas Manusia Berjalan dan Frekuensi Alami Vertikal Modifikasi Ketebalan dari Pelat.....	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Bagan alir penelitian.	13
2. Pemodelan bangunan.	14
3. Panel yang ditinjau.....	15
4. Pemodelan beban manusia berjalan.	16
5. Model pembebanan akibat aktivitas manusia berjalan.....	16
6. Model 1 pelat lantai 1.....	18
7. Model 2 pelat lantai 1.....	19
8. Model 3 pelat lantai 1.....	19
9. Pelat model pertama.....	21
10. Model pelat kedua.	23
11. Model pelat ketiga.....	24
12. Pemodelan beban berjalan.....	27
13. Pelat model 1.....	27
14. Dimensi penampang balok.	28
15. Dimensi penampang balok T pertama model 1 (BT1).....	29
16. Dimensi penampang balok L pertama model 1 (BL1).....	30
17. Dimensi penampang balok T kedua model 1 (BT2).	31
18. Dimensi penampang balok L kedua model 1 (BL2).	32
19. Dimensi penampang balok T ketiga model 1 (BT3).....	33
20. Dimensi penampang balok L ketiga model 1 (BL3).....	34
21. Potongan pelat A model 1.	35
22. Potongan pelat B model 1.	36
23. Potongan pelat C model 1.	37
24. Potongan pelat D model 1.	38
25. Potongan pelat E model 1.	39
26. Potongan pelat F model 1.....	40

27.	Potongan pelat G model 1.....	41
28.	Potongan pelat H model 1.....	42
29.	Potongan pelat I model 1.....	43
30.	Lendutan pada model 1.....	50
31.	Lendutan pada model 2.....	51
32.	Lendutan pada model 3.....	52
33.	Grafik percepatan getaran vertikal pelat P1 model 1.....	54
34.	Grafik percepatan getaran vertikal pelat P2 model 1.....	55
35.	Grafik percepatan getaran vertikal pelat P3 model 1.....	56
36.	Grafik percepatan getaran vertikal pelat P1 model 2.....	57
37.	Grafik percepatan getaran vertikal pelat P2 model 2.....	58
38.	Grafik percepatan getaran vertikal pelat P3 model 2.....	59
39.	Grafik percepatan getaran vertikal pelat P1 model 3.....	60
40.	Grafik percepatan getaran vertikal pelat P2 model 3.....	61
41.	Grafik percepatan getaran vertikal pelat P3 model 3.....	62
42.	Hubungan ketebalan pelat dengan percepatan getaran model 1.....	64
43.	Hubungan ketebalan pelat dengan percepatan getaran model 2.....	64
44.	Hubungan ketebalan pelat dengan percepatan getaran model 3.....	65
45.	Frekuensi pada panel pelat P1 model 1.....	66
46.	Frekuensi pada panel pelat P2 model 1.....	67
47.	Frekuensi pada panel pelat P3 model 1.....	67
48.	<i>Mode shape</i> 1 model 1.....	68
49.	<i>Mode shape</i> 38 model 1.....	68
50.	Frekuensi pada panel pelat P1 model 2.....	69
51.	Frekuensi pada panel pelat P2 model 2.....	69
52.	Frekuensi pada panel pelat P3 model 2.....	70
53.	<i>Mode shape</i> 1 model 2.....	70
54.	<i>Mode shape</i> 40 model 2.....	71
55.	Frekuensi pada panel pelat P1 model 3.....	71
56.	Frekuensi pada panel pelat P2 model 3.....	72
57.	Frekuensi pada panel pelat P3 model 3.....	72
58.	<i>Mode shape</i> 1 model 3.....	73

59.	<i>Mode shape</i> 40 model 3.	73
60.	Lendutan pada modifikasi 1.	76
61.	Lendutan pada modifikasi 2.	78
62.	Lendutan pada modifikasi 3.	80

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam membangun suatu bangunan dibutuhkan perencanaan yang efektif dan efisien sehingga bangunan yang dibangun dapat kokoh dan stabil dengan biaya yang tidak boros. Selain bangunan harus kokoh dan stabil, kenyamanan bangunan untuk digunakan oleh para penghuninya juga merupakan hal penting yang harus diperhatikan (Rimaza & Wiyono, 2014). Kenyamanan yang diberikan adalah kenyamanan dari pengaruh getaran yang dialami dan lendutan yang berlebihan. Getaran yang menggetarkan pelat lantai pada dasarnya berbeda-beda sesuai dengan kondisi yang dialami (Murray dkk., 2003). Getaran yang dialami pada pelat lantai dapat muncul karena beberapa penyebab, diantaranya akibat pengaruh aktivitas manusia seperti berjalan, berdansa, berjoget, dan sebagainya.

Seringkali dijumpai saat ingin membuat suatu bangunan di lapangan, perencanaan bangunan dibuat hanya untuk menciptakan bangunan yang lebih mementingkan terhadap kemampuan untuk menahan beban yang bekerja serta aman dari lendutan namun mengenyampingkan terhadap kenyamanan penghuninya akibat getaran yang dialami (Rimaza & Wiyono, 2014). Getaran yang terjadi pada bangunan bisa memberikan efek yang signifikan terhadap struktural bangunan dan mendorong munculnya rasa ketidaknyamanan bagi para penghuninya (Bachmann & Ammann, 1987). Salah satu aspek yang memberikan dampak terhadap kemampuan pelat lantai untuk menerima getaran adalah ketebalan minimum pelat beton bertulang yang akan digunakan (Renaldy dan Alisjahbana, 2018).

Oleh karena itu, penggunaan ukuran ketebalan minimum pelat beton bertulang merupakan suatu aspek yang harus direncanakan dengan baik. Dalam SNI 2847:2019 yang mengatur mengenai perencanaan beton struktural, dijelaskan bagaimana perencanaan ketebalan minimum suatu pelat beton bertulang. Namun, tidak menjelaskan apakah ketebalan minimum pelat yang dirancang memberikan kenyamanan dari getaran yang dialami. Padahal SNI 2847:2019 merupakan salah satu pedoman dasar dalam merencanakan bangunan yang ada di Indonesia. Yang mana pada dasarnya kenyamanan dari bangunan merupakan suatu persyaratan teknis bangunan gedung yaitu menyangkut persyaratan keandalan dari pembangunan suatu bangunan (Permen PUPR, 2006). Oleh sebab itu, dari penelitian yang dilakukan ini kiranya dapat diketahui efektifitas perencanaan ketebalan minimum pelat beton bertulang menurut SNI 2847:2019 terhadap kenyamanan para penghuninya.

1.2. Rumusan Masalah

Berikut ini merupakan rumusan masalah yang muncul akibat dari latar belakang dalam melakukan penelitian ini adalah:

1. Bagaimana korelasi hubungan antara ketebalan minimum pelat beton bertulang dengan kenyamanan bangunan terhadap manusia?
2. Bagaimana efektifitas perencanaan ketebalan minimum pelat beton bertulang menurut SNI 2847:2019 terhadap kenyamanan manusia?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini diambil mengikuti latar belakang penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui apakah ketebalan minimum pelat beton bertulang berpengaruh terhadap kenyamanan bangunan bagi manusia.

2. Untuk mengetahui efektifitas ketebalan minimum pelat beton bertulang menurut SNI 2847:2019 terhadap kenyamanan bangunan bagi manusia.

1.4. Batasan Masalah

Selama melakukan penelitian ini, diperlukan pembatasan masalah untuk memfokuskan penelitian yang dilakukan, diantaranya adalah:

1. Pelat yang direncanakan merupakan pelat sistem dua arah.
2. Tidak terdapat balok anak.
3. Pelat yang dimodelkan memiliki perbandingan bentang panjang terhadap bentang pendek 2, 1,75, dan 1,5.
4. Ukuran dimensi untuk balok serta kolom dalam satu model disamakan.
5. Kenyamanan yang ditinjau berdasarkan getaran yang timbul akibat aktivitas manusia yang berjalan.
6. Analisis dilakukan untuk bangunan dua lantai.
7. Panel pelat yang diteliti berada di lantai satu model yang direncanakan.
8. Struktur yang direncanakan merupakan bangunan yang difungsikan sebagai kantor.
9. Batas percepatan puncak yang diterima untuk bangunan yang berfungsi sebagai kantor adalah 0,5% percepatan gravitasi (Murray dkk., 2003).
10. Beban yang diterima pada model struktur hanya beban gravitasi yang meliputi beban hidup dan beban mati pada model.

1.5. Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini kiranya para pembaca bisa memperoleh manfaat berupa pengetahuan mengenai perencanaan ketebalan minimum pelat beton bertulang menurut SNI 2847:2019 serta mengetahui efektifitas dan hubungan ketebalan minimum pelat beton bertulang menurut SNI 2847:2019 untuk menahan getaran yang berpengaruh terhadap kenyamanan manusia.

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk memberika kesan rapi dan tersusun dalam melakukan penelitian, disusun sistematika penulisan pada penelitian ini. Sistematika penulisan yang dipakai sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Didalamnya mengandung penjelasan tentang latar belakang dilakukannya penelitian, rumusan permasalahan yang muncul, tujuan dari penelitian ini, manfaat yang diperoleh dalam melakukan penelitian, batasan-batasan yang diberikan di dalam penelitian, serta sistematika dari penulisan skripsi ini.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Didalamnya mengandung penjelasan tentang landasan teori yang digunakan selama melakukan penelitian ini.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Didalamnya memberitahu tentang alat yang dipakai untuk mempermudah penelitian ini, metode saat melakukan penelitian, bagan alir penelitian, serta gambaran mengenai pemodelan yang akan direncanakan.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Didalamnya mengandung penjelasan mengenai hasil yang diperoleh serta pembahasan penelitian ini.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Didalamnya mengandung penjelasan mengenai kesimpulan yang diambil selama dilakukannya penelitian ini dan saran-saran yang membangun selama melakukan penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pelat Beton Bertulang

Pelat beton bertulang termasuk dalam suatu sistem struktur yang didesain agar mampu menahan kombinasi pembebanan akibat beban gravitasi (SNI 2847, 2019). Pelat beton bertulang merupakan elemen yang berasal dari struktur bangunan yang akan menerima beban gravitasi yang bekerja pada bangunan kemudian mengalirkan beban tersebut menuju elemen struktur lainnya hingga menuju pondasi dan dapat membantu menjaga kekakuan dari struktur suatu bangunan (Renaldy dan Alisjahbana, 2018).

Selain membantu untuk menjaga kekakuan struktur pada suatu bangunan, pelat beton bertulang juga dapat difungsikan sebagai tempat berjalan yang memisahkan bangunan dengan tanah, pembatas antar ruangan, serta tempat peletakan komponen-komponen mekanikal (Syahland, 2017). Maka dari itu, saat proses perencanaan pelat beton bertulang dibutuhkan pendesainan yang baik yang mengikuti acuan yang resmi digunakan di Indonesia. Sebab apabila pelat ini tidak direncanakan dengan baik, pelat ini malah akan memberikan ketidaknormalan kepada bangunan yang dapat berdampak buruk terhadap bangunan.

Penggunaan pelat lantai berupa pelat dari beton bertulang pada bangunan biasanya lebih banyak untuk digunakan. Selain karena material yang lebih dikenal oleh masyarakat, pelat dari beton bertulang juga memiliki kemampuan tahan api yang lebih tinggi dan dapat tahan jika terkena air sehingga tidak memerlukan perawatan yang spesial dalam penggunaannya (Renaldy dan Alisjahbana, 2018). Dalam penggunaan pelat beton bertulang

dapat berupa sistem pelat satu arah maupun sistem pelat dua arah (SNI 2847, 2019). Namun, penggunaan pelat sistem dua arah lebih sering dipilih untuk digunakan. Pelat dari beton bertulang dapat dikatakan sistem pelat dua arah apabila menghasilkan perbandingan pada bentang terpanjang dengan bentang terpendek dari suatu segmen pelat memiliki nilai kurang dari dua (SNI 2847, 2019).

Hal pertama yang biasanya dilakukan dalam perencanaan bangunan dari beton bertulang adalah menghitung ketebalan minimum pelat yang dibutuhkan. Perencanaan ketebalan minimum pelat beton bertulang dapat dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya, tingkat lendutan izin, mutu material yang digunakan, serta panjang-pendeknya dari bentang yang direncanakan (Putri & Kurniawan, 2021). Perencanaan ketebalan minimum untuk pelat dua arah memiliki perbedaan terhadap perencanaan ketebalan untuk pelat satu arah. Ketebalan minimum pelat beton bertulang untuk pelat dua arah di atur di dalam SNI 2847:2019 pasal 8 tentang pelat dua arah.

2.2. Ketebalan Minimum Pelat Menurut SNI 2847:2019

Ketebalan minimum suatu pelat beton bertulang memiliki pengaruh yang signifikan terhadap lendutan yang terjadi (SNI 2847, 2019). Dalam perencanaan ketebalan minimum pelat beton bertulang cukup banyak yang harus diperhatikan seperti yang sudah diterangkan sebelumnya. Oleh karena itu, untuk membantu perencanaannya, di Indonesia terdapat SNI 2847:2019 yang dijadikan sebagai acuan untuk persyaratan beton struktural termasuk didalamnya persyaratan perhitungan ketebalan minimum untuk pelat dua arah. Maka dari itu, perencanaan ketebalan minimum pelat dua arah direncanakan menggunakan rumus empiris yang diambil berdasarkan SNI 2847:2019 pada Tabel 8.3.1.1. dan Tabel 8.3.1.2 sebagai berikut:

- (a) Untuk $\alpha_{fm} \leq 0,2$, h minimum yang diambil berdasarkan perhitungan tanpa adanya balok interior :

Tabel 1. Perencanaan Ketebalan Minimum Tanpa Balok Interior

f_y (MPa)	Tanpa <i>drop</i> panel, $h \geq 125$ mm			Dengan <i>drop</i> panel, $h \geq 100$ mm		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok Tepi	Dengan balok Tepi		Tanpa balok Tepi	Dengan balok Tepi	
280	$L_n/33$	$L_n/36$	$L_n/36$	$L_n/36$	$L_n/40$	$L_n/40$
420	$L_n/30$	$L_n/33$	$L_n/33$	$L_n/33$	$L_n/36$	$L_n/36$
520	$L_n/28$	$L_n/31$	$L_n/31$	$L_n/31$	$L_n/34$	$L_n/34$

Sumber: Standar Nasional Indonesia (2019).

- (b) Untuk $0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$, h minimum yang diambil dengan rumus:

$$\frac{L_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \text{ dengan hasil tidak boleh kurang dari 125 mm.}$$

- (c) Untuk $\alpha_{fm} > 2,0$, h minimum yang diambil dengan rumus:

$$\frac{L_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \text{ dengan hasil tidak boleh kurang dari 90 mm.}$$

Dengan:

L_n = Bentang bersih antara muka tumpuan pelat yang direncanakan.

L_b = Momen inersia yang dihasilkan dari penampang bruto balok.

I_s = Momen inersia yang dihasilkan dari penampang bruto pelat.

α_f = Rasio antara momen inersia yang dihasilkan dari penampang bruto balok dikalikan dengan modulus elastisitas dari balok dibandingkan dengan momen inersia yang dihasilkan dari penampang bruto pelat dikalikan dengan modulus elastisitas dari pelat.

α_{fm} = Nilai rerata dari α_f hasil perhitungan.

β = Rasio bentang bersih terpanjang dengan bentang bersih terpendek pada suatu segmen pelat.

Namun, ketebalan minimum pelat beton bertulang yang direncanakan menurut SNI 2847:2019 tidak menjelaskan mengenai jaminan untuk menahan getaran yang dihasilkan termasuk akibat aktivitas manusia

berjalan. Ketebalan minimum menurut SNI 2847:2019 hanya memberikan penjelasan untuk menghindari terjadinya lendutan yang bisa terjadi pada struktur bangunan yang direncanakan. Padahal, getaran yang dialami suatu bangunan dapat menurunkan tingkat kenyamanan bangunan tersebut.

Kenyamanan dari bangunan merupakan suatu aspek yang penting untuk diperhatikan, karena pada dasarnya kenyamanan dari bangunan merupakan suatu persyaratan teknis dari bangunan gedung yaitu menyangkut persyaratan keandalan dari pembangunan suatu bangunan (Permen PUPR, 2006). Maka dari itu, jika kenyamanan dari getaran tidak diperhitungkan maka fungsi penting dari suatu bangunan tidak dipenuhi dan bangunan tersebut tidak memenuhi seluruh kebutuhan yang diharapkan oleh penghuninya.

2.3. Getaran

Getaran yang berlebihan dapat menimbulkan rasa cemas dan takut bagi para penghuni bangunan yang mendorong timbulnya ketidaknyamanan jika berada pada bangunan tersebut. Getaran itu sendiri merupakan suatu peristiwa berupa gerakan yang terjadi secara bolak-balik pada selang waktu tertentu secara seimbang (Kepmen LH, 1996). Ada berbagai hal yang dapat menyumbangkan getaran pada bangunan seperti aktivitas manusia berjalan, berjoget, getaran yang dikeluarkan oleh mesin, getaran akibat kendaraan yang melintas di sebelah bangunan maupun getaran alami seperti gempa bumi (Rimaza dan Wiyono, 2014). Getaran yang diciptakan setiap orang pastinya berbeda-beda sesuai dengan kegiatan yang dilakukan.

Orang yang berjalan pelan di atas lantai menyumbang lebih sedikit getaran dibandingkan yang berjalan cepat. Selain itu, setiap orang memiliki tingkat penerimaan terhadap getaran yang berbeda-beda dan dipengaruhi pula terhadap kondisi di sekitarnya (Wahyuni, 2012). Sebagai contoh, orang yang berdiri di lantai tempat kebugaran memiliki tingkat toleransi lebih besar terhadap getaran (percepatan puncak 1,5% dari percepatan gravitasi)

dari pada orang yang berdiri di lantai kantor (percepatan puncak 0,5% dari percepatan gravitasi) (Murray dkk., 2003). Dengan kata lain, jika getaran dengan percepatan puncak 0,5% dari percepatan gravitasi dapat mempengaruhi orang pada kondisi wilayah tenang, tetapi dapat meningkatkan penerimaannya jika kondisi wilayahnya lebih ramai (Wahyuni, 2012). Namun, pada dasarnya nilai ambang dari frekuensi getaran yang mampu diterima berada di interval 4 Hz hingga 8 Hz (Murray dkk., 2003). Jika melebihi atau kurang dari batasan ini maka percepatan getaran yang dihasilkan akan bertambah menjadi besar (Murray dkk., 2003).

Aktivitas berjalan yang dilakukan oleh manusia merupakan salah satu jenis dari beban dinamik (Bachmann dan Ammann, 1987). Beban akibat manusia berjalan ini pada dasarnya dapat menciptakan reaksi yang saling berhubungan terhadap pelat yang dipijak (Allen dan Murray, 1993). Jika frekuensi alami struktur memiliki nilai yang sama atau mendekati dengan frekuensi yang terjadi akibat beban berjalan maka akan terjadi reaksi pada tingkat tertinggi (Allen dan Murray, 1993). Untuk aktivitas berjalan secara normal biasanya memberikan frekuensi getaran bernilai sekitar 2 Hz (Bachmann dan Ammann, 1987). Besarnya getaran akibat aktivitas berjalan pada pelat lantai terjadi karena beberapa aspek termasuk diantaranya berat dari orang yang berjalan, jenis alas kaki yang dipakai untuk berjalan maupun kondisi permukaan dari lantai yang dipijak (Bachmann dan Ammann, 1987). Aktivitas manusia berjalan merupakan bentuk gaya berulang yang terjadi pada struktur pelat (Murray dkk., 2003).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Alat Penelitian

Penulis akan melakukan penelitian terhadap topik yang menjadi pembahasan. Untuk menunjang pelaksanaan penelitian ini, dibutuhkan alat bantu yang akan memudahkan proses pengerjaan yang dilakukan. Terdapat dua alat bantu utama yang dibutuhkan, yaitu program SAP2000 dan aplikasi *Microsoft Excel*. Program SAP2000 digunakan untuk membantu melakukan pemodelan terhadap bangunan yang dianalisis. Dalam SAP2000 ini nantinya diinput berbagai data untuk membentuk struktur bangunan yang direncanakan baik beban, dimensi penampang, mutu material, dan berbagai data lainnya yang diperlukan. Dalam pemodelan yang dilakukan, digunakan program SAP2000 v.18.

Sedangkan, *Microsoft Excel* digunakan untuk membantu melakukan perhitungan terhadap desain ketebalan minimum pelat beton bertulang. Yang mana, hasil perhitungan ini nantinya juga dimasukkan ke dalam program SAP2000. Selain itu, *Microsoft Excel* juga akan digunakan untuk membantu memudahkan perhitungan dan pengelolaan data-data lainnya secara matematis. Kedua program yang digunakan ini akan saling berkaitan sehingga proses penelitian dapat terpantau dengan baik.

3.2. Metode Penelitian

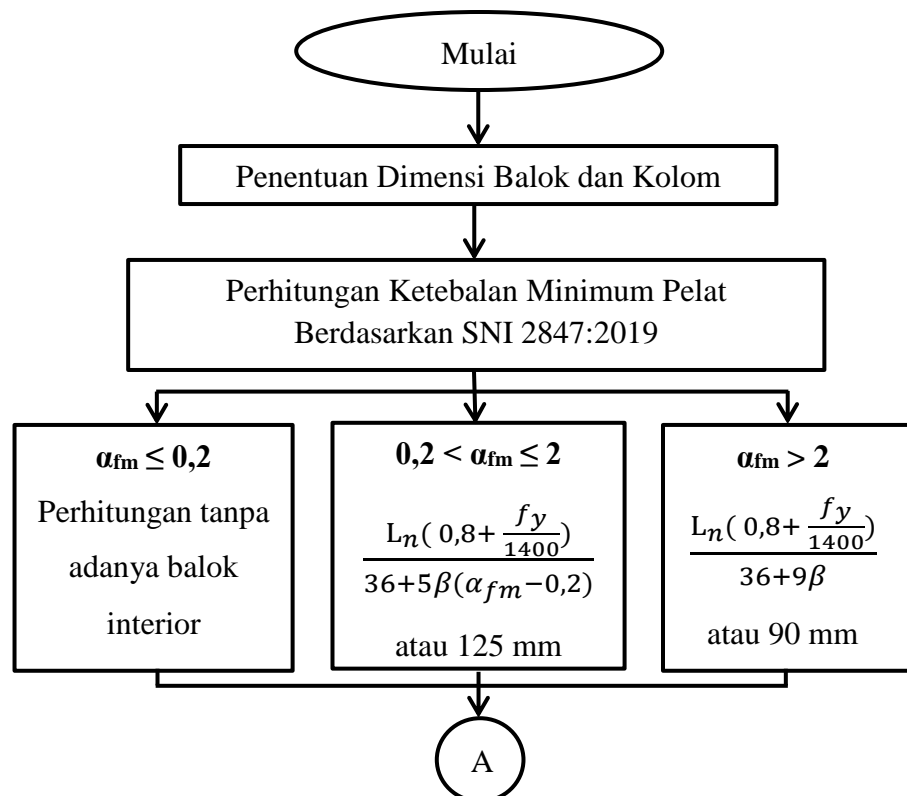
Terdapat dua metode penelitian yang dibutuhkan untuk membantu menyelesaikan penelitian ini. Metode yang digunakan adalah metode teoritis dan metode numerik. Metode teoritis yang dimaksud disini adalah berupa

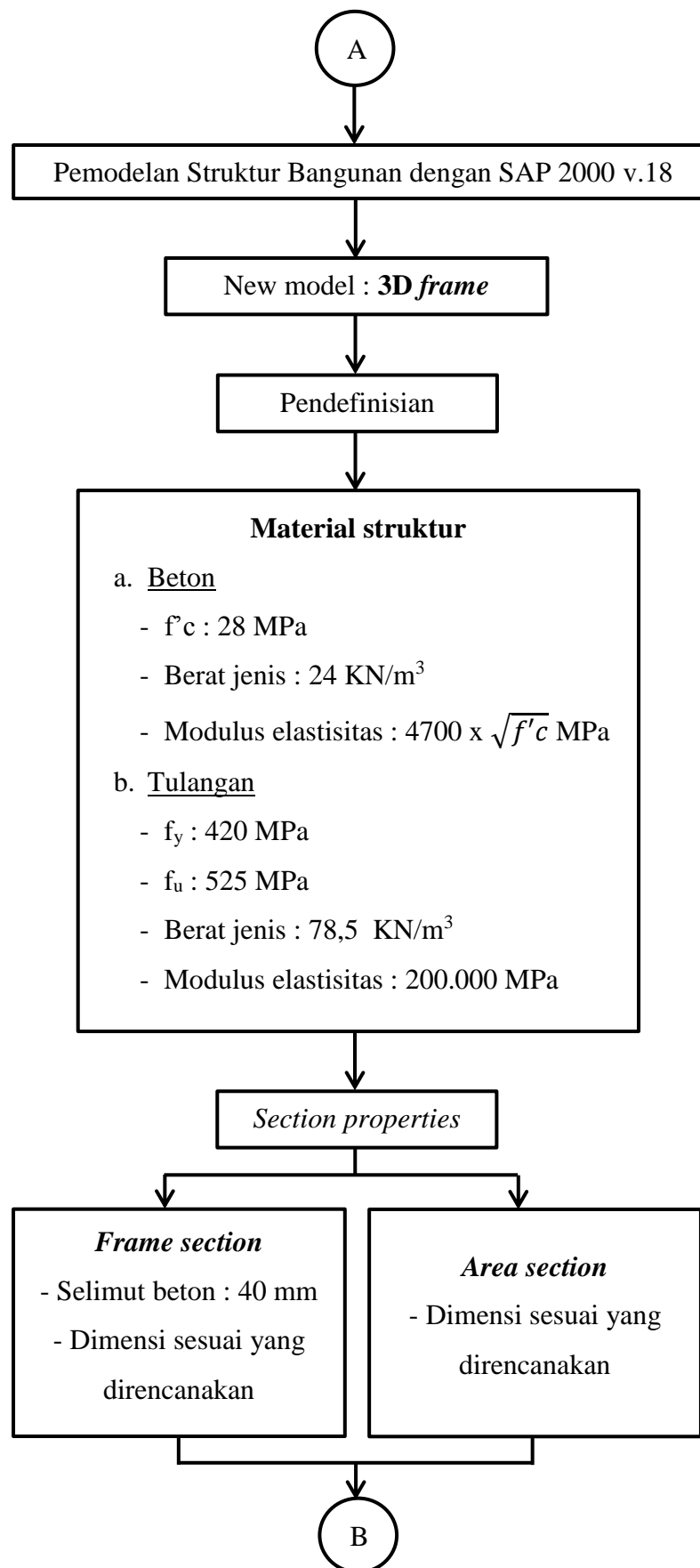
pengelolaan dan penganalisisan terhadap data yang diperoleh untuk menghasilkan suatu *output* yang dapat memberikan penjelasan mengenai bahasan yang sedang diteliti. Sehingga data hasil *output* maupun data hasil pendesainan struktur yang direncanakan menjadi lebih dapat dipahami dan tertata secara sistematis.

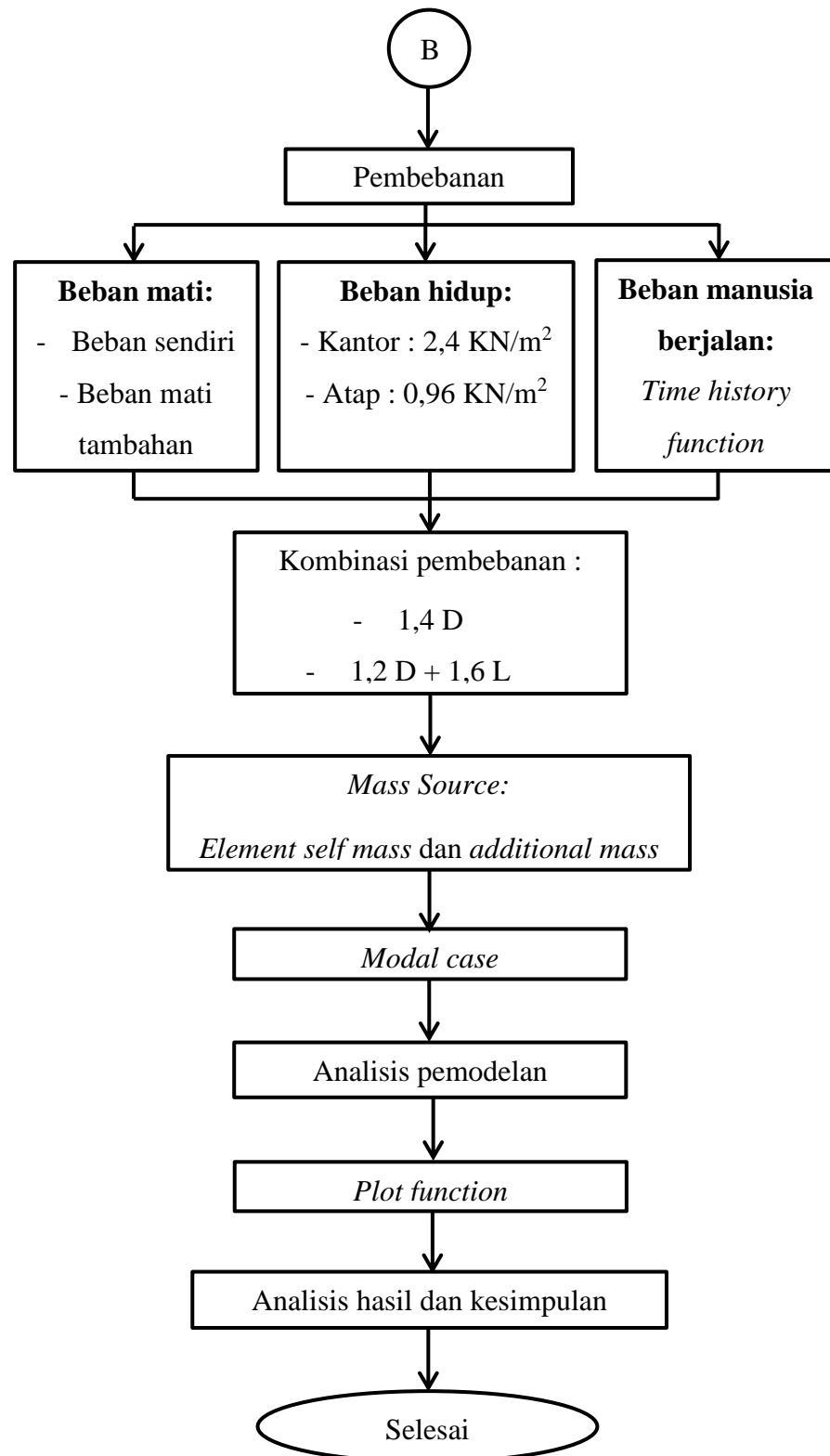
Sedangkan, metode numerik yang dimaksud disini adalah untuk melakukan pemodelan atau simulasi terhadap struktur model yang didesain dengan menggunakan program SAP2000 serta perhitungan terhadap pendesainan komponen elemen struktur bangunan tersebut dengan menggunakan *Microsoft Excel*. Yang mana, pemodelan dari SAP2000 menggunakan data yang dikelola sebelumnya menggunakan *Microsoft Excel*.

3.3. Bagan Alir Penelitian

Untuk memberikan gambaran singkat mengenai penelitian yang akan dilakukan dibuat bagan alir penelitian. Berikut bagan alir penelitian yang dilakukan.



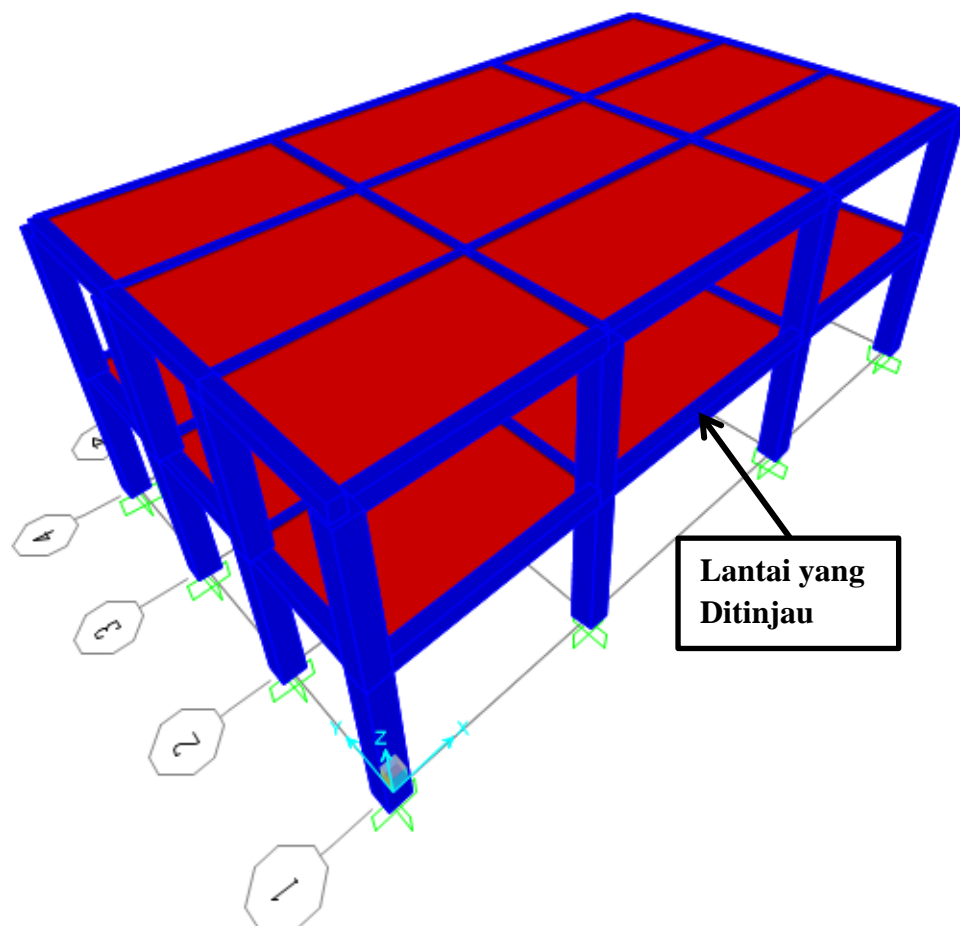




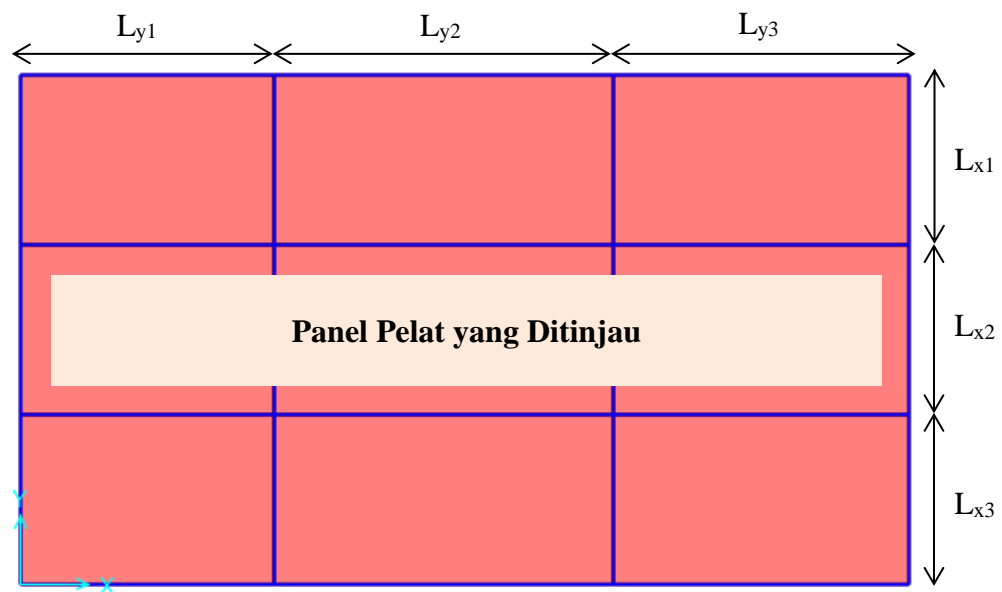
Gambar 1. Bagan alir penelitian.

3.4. Pemodelan Struktur dalam SAP2000

Penelitian yang dilakukan akan meninjau panel pelat lantai pada bagian tengah dari lantai satu struktur yang direncanakan. Struktur yang direncanakan adalah bangunan yang berfungsi sebagai kantor. Panel pelat yang diteliti akan memiliki nilai L_y/L_x yang berbeda yaitu 2, 1,75, dan 1,5. Berikut bentuk pemodelan bangunan dalam SAP2000 v.18 yang direncanakan dalam melakukan penelitian ini:



Gambar 2. Pemodelan bangunan.



Gambar 3. Panel yang ditinjau.

Berikut ini rencana ukuran dalam pemodelan struktur bangunan yang direncanakan:

Tabel 2. Rencana Ukuran dalam Pemodelan Struktur Bangunan

	L_x (mm)	L_y (mm)	L_y/L_x	Ket.	Tebal Pelat (mm)	Dimensi Balok (cm)	Dimensi Kolom (cm)
Model 1	3000	4500	1,5	Pelat	100		
	3000	6000	2	dua	120	25 x 35	45 x 45
	3000	5250	1,75	arah	110		
Model 2	3500	5250	1,5	Pelat	115		
	3500	7000	2	dua	135	28 x 40	50 x 50
	3500	6125	1,75	arah	125		
Model 3	4000	6000	1,5	Pelat	130		
	4000	8000	2	dua	155	32 x 45	55 x 55
	4000	7000	1,75	arah	145		

3.5. Pemodelan Beban Akibat Aktivitas Manusia Berjalan

Beban aktivitas manusia berjalan direncanakan akan berjalan sepanjang pelat lantai pada setiap model struktur. Panjang langkah yang dari kegiatan berjalan yang dilakukan manusia biasanya memiliki panjang sekitar 0,75 meter (Bachmann & Ammann, 1987). Sehingga pada penelitian ini panjang langkah yang akan digunakan kurang lebih 0,75 meter. Berat manusia sendiri biasanya memberikan beban kepada pelat lantai yang dipijak sebesar 0,7 KN (Murray dkk., 2003) sehingga pada penelitian ini akan mengasumsikan berat 0,7 KN untuk berat manusia yang dimodelkan. Berikut rencana pemodelan beban akibat aktivitas manusia berjalan pada model struktur yang direncanakan.



Gambar 4. Pemodelan beban manusia berjalan.



Gambar 5. Model pembebanan akibat aktivitas manusia berjalan.

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa beban akibat aktivitas manusia yang akan dimodelkan berjalan secara lurus pada pelat lantai. Yang mana durasi

akibat *impact* beban aktivitas manusia berjalan akan diasumsikan terjadi setiap 0,45 detik (*Computer and Structure*, 2014). Manusia yang berjalan pada pelat lantai inilah yang akan memberikan beban yang berpotensi untuk menggetarkan pelat yang dipijak sebesar berat manusia tersebut. Dapat dilihat dari Gambar 5 bahwa beban manusia sebesar P akan berjalan dari ujung pelat lantai menuju ujung pelat lantai lainnya. Dengan kata lain, beban manusia sebesar 0,7 KN akan ditambahkan secara sementara di setiap panjang jalur langkah yang dilakukan pada pelat yang dimodelkan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian diatas adalah:

- a. Model yang direncanakan dengan redaman 0% maupun redaman 3% tidak memenuhi batas persyaratan dari percepatan getaran vertikal yang diizinkan. Perencanaan ketebalan minimum dari pelat beton bertulang yang mengacu pada pedoman di dalam SNI 2847:2019 tidak memberikan jaminan kenyamanan kepada para penghuninya dari getaran yang timbul akibat aktivitas manusia berjalan.
- b. Model bangunan dengan redaman 0% menghasilkan percepatan getaran yang lebih besar dibandingkan model dengan redaman 3%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar redaman yang diberikan maka semakin kecil percepatan getaran yang akan terjadi pada bangunan.
- c. Perencanaan struktur berdasarkan SNI 2847:2019 mensyaratkan bangunan yang dapat aman dari getaran berlebihan akibat manusia berjalan, namun tidak memberikan jaminan kenyamanan bagi para penghuninya.
- d. Semakin panjang bentang maka frekuensi alami vertikal pada struktur akan semakin berkurang. Yang berarti jika rasio bentang mengalami peningkatan maka frekuensi alami dari struktur akan semakin berkurang. Semakin panjang bentang maka massa dari struktur akan bertambah pula. Penambahan massa ini akan menyebabkan penurunan terhadap frekuensi alami vertikal dari bangunan. Semakin panjang bentang maka kekakuan dari pelat akan berkurang sehingga frekuensi alami vertikal yang dialami oleh struktur akan mengalami penurunan.

- e. Begitu pula dengan frekuensi fundamental dari struktur. Semakin panjang bentang maka frekuensi dari getaran akan semakin berkurang namun periode getarannya akan mengalami peningkatan.
- f. Seiring dengan penambahan ketebalan dari pelat maka percepatan dan lendutan getaran yang terjadi akan semakin berkurang baik pada kondisi dengan redaman 0% maupun dengan redaman 3%. Penurunan nilai percepatan getaran ini dapat terjadi karena adanya peningkatan kekakuan dari model.
- g. Penurunan percepatan getaran pada model menghasilkan nilai yang memenuhi standar percepatan getaran yang disyaratkan saat ketebalan pelat ditambah sebesar 40 mm dari ketebalan awal pelat pada kondisi dengan redaman 3%. Pada kondisi redaman 0% percepatan getaran akan memenuhi standar percepatan getaran yang disyaratkan jika ditambahkan 60 mm dari ketebalan awal pelat.
- h. Seiring dengan penambahan ketebalan dari pelat maka frekuensi alami vertikal pada model akan semakin meningkat. Peningkatan nilai frekuensi alami vertikal yang terjadi karena adanya peningkatan kekakuan dari model akibat penambahan ketebalan dari pelat.

5.2. Saran

Berikut beberapa saran yang di dapat setelah melakukan penelitian ini.

1. Sebaiknya penelitian ini dapat dimodifikasi seperti melakukan variasi juga kepada dimensi kolom maupun seperti variasi terhadap ketinggian modelnya.
2. Sebaiknya penelitian ini dapat divariasikan seperti melakukan penelitian terhadap model jika terdapat balok anak karena dalam penelitian ini dibatasi untuk tidak terdapat balok anak.
3. Sebaiknya penelitian ini dapat ditingkatkan lebih lanjut dengan melakukan variasi terhadap jenis bangunan yang akan direncanakan, seperti bangunan yang memiliki fungsi rumah sakit, gedung olah raga, dan sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, D. E., & Murray, T. M. (1993). Design Criterion for Vibrations due to Walking. *Engineering Journal*, 30(4), 117-129,93.
- Bachmann, H., & Ammann, W. (1987). *Vibrations in Structures: Induced by Man and Machines*. IABSE-AIPC-IVBH.
- Computer and Structure, I. (2014). *ETABS - 15 Time History Plots due to Walking Excitation: Watch & Learn*. www.youtube.com.
<https://www.youtube.com/watch?v=faUI-IJVqS4>
- Kepmen LH. (1996). *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No . 49 Tahun 1996 Tentang : Baku Tingkat Getaran*.
- Murray, T. M., Allen, D. E., & Ungar, E. E. (2003). Floor Vibrations Due to Human Activity. In *American Institute of Steel Construction*.
- Permen PUPR. (2006). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor : 29/PRT/M/2006 Tentang Pedoman Persyaratan Teknis Bangunan Gedung*.
- Pratama. I. G. N.E. (2017). Penentuan Tebal Pelat Gedung yang Ditumpu pada Keempat Sisinya sesuai SNI 2847:2013. *Jurnal Teknik Gradien*, 9(1).
<https://doi.org/10.31227/osf.io/w8gam>
- Putri, A. H., & Kurniawan, D. (2021). Perencanaan Struktur Gedung Pasar Raya Padang. *Jurnal Ensiklopediaku*, 1(1), 137–143.
- Renaldy, D. K., & Alisjahbana, S. W. (2018). Analisis Kenyamanan Pelat Lantai Terhadap Beban Mesin Bergetar. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran, Dan Ilmu Kesehatan*, 2(1), 87–95.
- Rimaza, D. C., & Wiyono, D. R. (2014). Pengaruh Getaran pada Struktur Bangunan Satu Tingkat Akibat Gerakan Manusia. *Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 92–203. <https://doi.org/10.28932/jts.v10i2.1388>
- Semerdenken, Y. (2019). *Evaluation of Floor Vibration in an Existing Building*.

Middle East Technical University.

SNI 1727. (2020). *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020)*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).

SNI 2847. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019)*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).

Syahland, S. J. (2017). Perhitungan Plat Lantai Struktur Existing pada Gedung Puskesmas Ganjar Agung Kota Metro. *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi)*, 6(2), pp.190-203.

Wahyuni, E. (2012). Studi Kelakuan Dinamis Struktur Jembatan Penyeberangan Orang (JPO) Akibat Beban Individual Manusia Bergerak. *Jurnal Teknik Sipil*, 19(3). <https://doi.org/10.5614/jts.2012.19.3.1>