

SKRIPSI

**STUDI RESPONS DINAMIS STRUKTUR RANGKA
BETON BERTULANG DENGAN BALOK TRANSFER
TERHADAP GEMPA HORIZONTAL DAN VERTIKAL**



**YOSEF HUNTARYO
NPM : 2016410065**

PEMBIMBING: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi berdasarkan SK-BAN PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
AGUSTUS 2020**

SKRIPSI

**STUDI RESPONS DINAMIS STRUKTUR RANGKA
BETON BERTULANG DENGAN BALOK TRANSFER
TERHADAP GEMPA HORIZONTAL DAN VERTIKAL**



**YOSEF HUNTARYO
NPM : 2016410065**

PEMBIMBING: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi berdasarkan SK-BAN PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
AGUSTUS 2020**

SKRIPSI

**STUDI RESPONS DINAMIS STRUKTUR RANGKA
BETON BERTULANG DENGAN BALOK TRANSFER
TERHADAP GEMPA HORIZONTAL DAN VERTIKAL**



**YOSEF HUNTARYO
NPM : 2016410065**

**BANDUNG, 10 Agustus 2020
PEMBIMBING:**

Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi berdasarkan SK-BAN PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
AGUSTUS 2020**

PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini, saya dengan data diri sebagai berikut:

Nama : Yosef Huntaryo

NPM : 2016410065

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi / tesis / disertasi^{*)} dengan judul:

**STUDI RESPONS DINAMIS STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG
DENGAN BALOK TRANSFER TERHADAP GEMPA HORIZONTAL DAN
VERTIKAL**

adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan dosen pembimbing. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini, saya siap menanggung segala resiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatalan gelar akademik yang saya peroleh dari Universitas Katolik Parahyangan.

Dinyatakan: di Bandung

Tanggal: 01 Agustus 2020



Yosef Huntaryo

^{*)} coret yang tidak perlu

STUDI RESPONS DINAMIS STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG DENGAN BALOK TRANSFER TERHADAP GEMPA HORIZONTAL DAN VERTIKAL

**Yosef Huntaryo
NPM: 2016410065**

Pembimbing: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi berdasarkan SK-BAN PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
AGUSTUS 2020**

ABSTRAK

Bangunan bertingkat seringkali memerlukan suatu fungsi ruang khusus yang luas sehingga memerlukan bentang antar kolom yang besar. Untuk memenuhi desain tersebut direncanakan balok transfer. Karena Indonesia rawan terhadap gempa bumi, maka bangunan bertingkat harus didesain untuk memiliki ketahanan terhadap beban gempa. Penelitian ini akan membahas mengenai respons dinamis, elastis dan inelastis, struktur dengan balok transfer terhadap gempa horizontal dan gempa vertikal dengan variasi letak balok transfer, yaitu pada lantai 1, lantai 3, dan lantai 4, disebut sebagai model 1, 2, dan 3. Rekaman percepatan tanah dasar yang digunakan dalam analisis inelastis adalah gempa El Centro 1940 N-S, Denpasar 1979 B-T, dan Flores 1992.

Hasil analisis menunjukkan bahwa desain dengan analisis respons spektrum tidak dapat sepenuhnya dipakai karena pada analisis riwayat waktu agar tidak mengalami kegagalan diperlukan penambahan tulangan dan dimensi penampang. Dari analisis riwayat waktu, simpangan antar lantai pada seluruh model tidak melampaui simpangan izin. Faktor pembesaran defleksi untuk ketiga model berurutan adalah 1,3, 1,2, dan 1,1. Faktor kuat lebih untuk ketiga model masing-masing adalah 3,2, 3,1, dan 3,3. Waktu terjadinya sendi plastis pada ketiga model terjadi dekat dengan waktu puncak percepatan tanah maksimum dengan lokasi sendi plastis kumulatif hampir terjadi pada seluruh balok tiap-tiap lantai. Hasil analisis riwayat waktu akibat adanya penambahan gempa vertikal yang diskalakan terhadap gempa horizontal mengakibatkan bertambahnya gaya aksial pada kolom yang menyebabkan deformasi yang besar pada sistem struktur. Tingkat kinerja struktur untuk ketiga model adalah *Immediate Occupancy*.

Kata kunci: balok transfer, analisis riwayat waktu, gempa vertikal, tingkat kinerja struktur

STUDY ON DYNAMIC RESPONSE OF A REINFORCED CONCRETE FRAME STRUCTURES WITH TRANSFER BEAM UNDER HORIZONTAL AND VERTICAL EARTHQUAKE

**Yosef Huntaryo
NPM: 2016410065**

Advisor: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
(Accredited by SK-BAN PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
JULY 2020**

ABSTRACT

Multi-storey buildings often require a special room that is designed to have a large space function with a large span of columns. To meet the design, the transfer beam is planned. Because Indonesia is prone to earthquakes, high rise buildings must be designed to have resistance to earthquake loads. This study will observed dynamic, elastic and inelastic responses, structures with transfer beams due to horizontal and vertical earthquakes with variations in the location of transfer beams, namely on the 1st floor, 3rd floor, and 4th floor, namely model 1,2, and 3. The ground acceleration records used in the inelastic time history analysis are the El Centro 1940 NS, Denpasar 1979 BT, and Flores 1992 earthquakes.

The results show that the design with response spectrum analysis cannot be fully used because in the time history analysis to prevent failure it is necessary to add reinforcement and cross-sectional dimensions. Storey drift in all models do not exceed limitation. The deflection amplification factors for the three models are 1.3, 1.2, and 1.1. The response modification coefficient for all three models are 3.2, 3.1, and 3.3 respectively. The time of the plastic hinge in the three models occurred in the peak ground acceleration record of the earthquake with the cumulative location of the plastic hinge almost occurring on all beams of each floor. The results of the time history analysis due to the addition of a vertical earthquake scaled to a horizontal earthquake results in increased of the axial forces in the column which causes large deformation in the structure. Performance level of three models was Immediate Occupancy.

Keywords: transfer beam, time history analysis, vertical accelleration, structural performance level

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kasih karunia, berkat, dan anugerah-Nya yang senantiasa memberikan kesehatan, akal budi, dan logika yang baik sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul *Studi Respons Dinamis Struktur Rangka Beton Bertulang dengan Balok Transfer terhadap Gempa Horizontal dan Vertikal*. Skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik untuk memperoleh gelar sarjana di Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

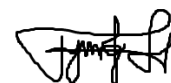
Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak saran, kritik, nasihat, dan dorongan semangat dari banyak pihak sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, papa dan mama, serta adik yang telah memberikan doa, kasih sayang, dan semangat bagi penulis sehingga skripsi ini dapat selesai di tengah pandemi;
2. Dr. Johannes Adhijoso Tjondro selaku dosen pembimbing, yang dengan penuh kesabaran memberikan waktu, tenaga, dan pikiran serta membimbing penulis untuk menyelesaikan skripsi ini;
3. Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T., dan Altho Sagara, S.T., M.T. selaku dosen penguji pada seminar judul, seminar isi dan sidang yang telah memberi banyak masukan;
4. Dosen-dosen program studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan ilmu pengetahuan selama masa perkuliahan bagi penulis;
5. Teman-teman *Woolie The Rescuer*, Seba Ayuningrat, Ariberto Jonathan, Eduardus Gerald, Diana Darapuspa, Ashila Hasya, Gracia Natania, dan Ratu Sima selaku teman yang selalu ceria, menghibur, dan menjadi zona nyaman penulis selama masa perkuliahan;
6. Hartono, Hendry, Yoshan Yosvara, Joshua Kuswardi, Anthony Jeremiah, dan Giovanni Binar selaku teman yang selalu membantu dan menyemangati penulis dalam bidang akademis selama masa perkuliahan;

7. Yolanda Elisabeth Sugiono, Jane Varent Rosalin, Vikharis Chris Addison, Alvinia Rusandriani, dan Martinus Sunandar selaku teman cerita dan *support system* penulis yang berada di luar kota selama masa perkuliahan.
8. Teman-teman seperjuangan skripsi, Pauline, Kennardy Winardo, Lizette, Davin Alkuin, Waraney, David S, dan Kenneth atas kebersamaan dan semangat yang mendukung bagi penulis dalam pengerjaan skripsi;
9. Nicholas Gabel, Jonathan Wijaya dan Christian Arief sebagai teman dan senior yang memberi masukan kepada penulis berkaitan dengan penulisan skripsi ini;
10. Teman-teman angkatan 2016 Sipil Unpar, serta seluruh anggota dan pengurus Himpunan Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, atas kebersamaan, doa, dan dukungannya;
11. Staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan yang telah mendukung penulis menyediakan sarana dan prasarana selama masa perkuliahan;
12. Semua pihak yang telah membantu, memberi dukungan dan semangatnya untuk penulis selama pengerjaan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini sama sekali tidak sempurna karena keterbatasan waktu dan pengetahuan penulis, oleh sebab itu, penulis dengan senang hati menerima saran dan kritik membangun agar dapat lebih baik lagi untuk kedepannya. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberi manfaat untuk mahasiswa Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan pada khususnya dan pembaca pada umumnya.

Bandung, Agustus 2020



Yosef Huntaryo
2016410065

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
PRAKATA	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1-1
1.1 Latar Belakang	1-1
1.2 Inti Permasalahan.....	1-2
1.3 Tujuan Penelitian	1-2
1.4 Pembatasan Masalah.....	1-2
1.5 Metode Penelitian	1-6
1.6 Sistematika Penulisan	1-8
BAB 2 STUDI PUSTAKA	2-1
2.1 SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.....	2-1
2.1.1 Gempa Rencana.....	2-1
2.1.2 Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bagunan	2-1
2.1.3 Kombinasi Pembebanan Dasar	2-2
2.1.4 Kombinasi Pembebanan dengan Pengaruh Beban Seismik	2-2
2.1.5 Klasifikasi Situs.....	2-3
2.1.6 Parameter Percepatan Terpetakan	2-4
2.1.7 Koefisien-Koefisien Situs dan Paramater-Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE _R)	2-4
2.1.8 Parameter Percepatan Spektral Desain	2-6
2.1.9 Kategori Desain Seismik	2-7
2.1.10 Sistem Struktur.....	2-8

2.1.11	Ketidakteraturan Horizontal	2-8
2.1.12	Ketidakteraturan Vertikal	2-9
2.1.13	Faktor Redudansi.....	2-11
2.1.14	Kombinasi dan Pengaruh Beban Seismik.....	2-11
2.1.15	Pengaruh Beban Seismik Termasuk Faktor Kuat Lebih	2-12
2.1.16	Penentuan Periode	2-12
2.1.17	Simpangan Antar Tingkat.....	2-14
2.1.18	Jumlah Ragam	2-15
2.1.19	Penskalaan Gaya.....	2-15
2.2	SNI 1727:2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.....	2-15
2.2.1	Beban Mati.....	2-15
2.2.2	Beban Hidup	2-15
2.2.3	Beban Gempa.....	2-15
2.3	SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung	2-16
2.3.1	Desain Awal Pelat Dua Arah	2-16
2.3.2	Desain Awal Balok	2-17
2.3.3	Desain Awal Kolom.....	2-18
2.3.4	Selimit Beton Minimum.....	2-18
2.4	Balok Transfer	2-19
2.4.1	Kapasitas Struktural	2-19
2.4.2	Kinerja Defleksi	2-20
2.5	Model Histerisis.....	2-21
2.6	Analisis Riwayat Waktu	2-23
2.6.1	Rekaman Percepatan Gempa	2-23
2.6.2	Penskalaan Percepatan Gempa.....	2-24
2.6.3	Metode Integrasi Newmark.....	2-25
2.6.4	Redaman <i>Rayleigh</i>	2-27

2.7 Sendi Plastis	2-28
2.8 Tingkat Kinerja Struktur	2-30
BAB 3 DESAIN DAN PEMODELAN STRUKTUR	3-1
3.1 Data Bangunan.....	3-1
3.1.1 Data Struktur.....	3-1
3.1.2 Data Material	3-1
3.2 Pembebanan	3-2
3.2.1 Beban Sendiri Struktur	3-2
3.2.2 Beban Mati Tambahan.....	3-2
3.2.3 Beban Hidup	3-2
3.2.4 Beban Gempa	3-3
3.2.5 Kombinasi Pembebanan	3-4
3.3 Dimensi Elemen Struktur.....	3-4
3.4 Analisis Riwayat Waktu.....	3-7
3.4.1 Penskalaan Percepatan Tanah Dasar	3-8
3.4.2 Beban Gravitasi	3-8
3.4.3 <i>Direct Integration Time History Analysis</i>	3-8
3.4.4 Metode <i>Newmark</i>	3-8
3.4.5 Redaman <i>Rayleigh</i>	3-8
3.4.6 Pemodelan Sendi Plastis.....	3-9
BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	4-1
4.1 Pemeriksaan Struktur	4-1
4.1.1 Model 1: Balok Transfer Diletakkan di Lantai 1.....	4-1
4.1.2 Model 2: Balok Transfer Diletakkan di Lantai 3.....	4-3
4.1.3 Model 3: Balok Transfer Diletakkan di Lantai 4.....	4-6
4.2 Respons Elastis Struktur	4-8
4.2.1 Peralihan Lantai.....	4-8
4.2.2 Rasio Simpangan Antar Lantai.....	4-11
4.2.3 Gaya Geser Dasar	4-13

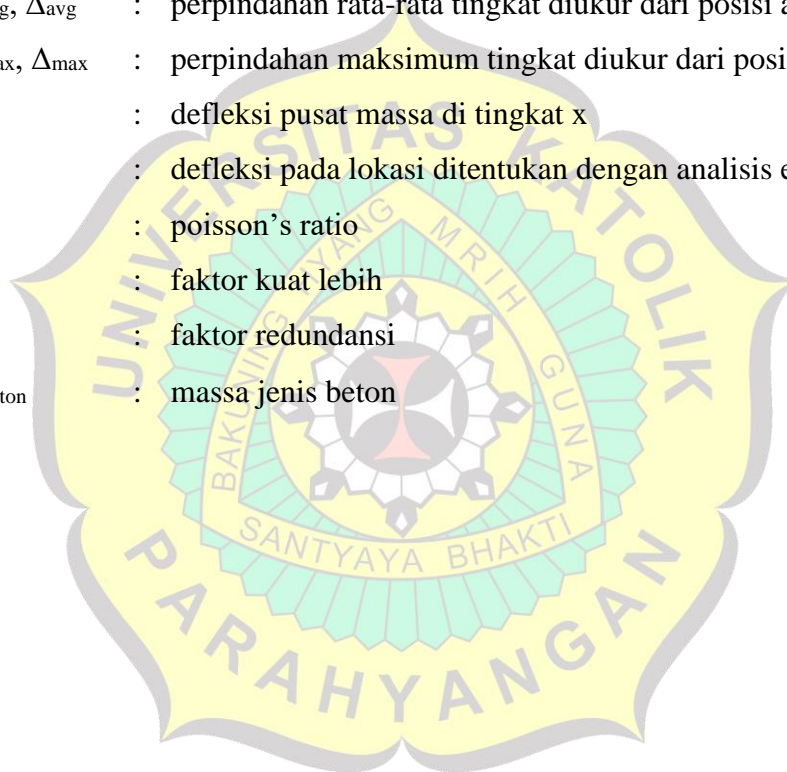
4.3 Respons Inelastis Struktur	4-14
4.3.1 Peralihan Lantai	4-14
4.3.2 Rasio Simpangan Antar Lantai	4-17
4.3.3 Faktor Pembesaran Defleksi	4-21
4.3.4 Gaya Geser Dasar dan Faktor Kuat Lebih	4-22
4.3.5 Koefisien Modifikasi Respons	4-23
4.3.6 Sendi Plastis	4-24
4.3.7 Kurva Histeresis Elemen Struktur.....	4-33
4.3.8 Tingkat Kinerja	4-40
4.4 Analisis Respons Inelastis Akibat Gempa Horizontal dan Vertikal.....	4-40
4.4.1 Gaya Aksial pada Kolom	4-41
4.4.2 Peralihan Lantai	4-42
4.4.3 Rasio Simpangan Antar Lantai	4-44
4.4.4 Gaya Geser Dasar.....	4-45
4.4.5 Tingkat Kinerja	4-46
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	5-1
5.1 Kesimpulan.....	5-1
5.2 Saran	5-2
DAFTAR PUSTAKA	xxv

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A_g	: luas bruto penampang beton
A_{st}	: luas total tulangan longitudinal non-prategang
A_{sh}	: luas penampang total tulangan transversal (termasuk kait silang)
b_e	: lebar <i>slab</i> efektif
b_w	: lebar badan penampang balok
c	: panjang sisi kolom
C_d	: faktor amplifikasi defleksi
C_s	: koefisien respons seismik
C_u	: koefisien untuk batas atas perioda
E	: modulus elastisitas
E_h	: pengaruh beban gempa horizontal
E_v	: pengaruh beban gempa vertikal
F_a	: koefisien situs untuk perioda pendek (pada perioda 0,2 detik)
f_c'	: kuat tekan beton
f_d	: faktor skala gaya gempa
F_v	: koefisien situs untuk perioda panjang (pada perioda 1 detik)
f_y	: tegangan leleh material baja
g	: percepatan gravitasi
h_i	: tinggi lantai pada tingkat ke i
h_n	: ketinggian struktur
h_{sx}	: tinggi tingkat di bawah tingkat x
I_e	: faktor keutamaan gempa
KDS	: Kategori Desain Seismik
MCE_R	: <i>Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake</i>
MEP	: <i>Mechanical, Electrical, and Plumbing</i>
P_u	: beban aksial yang terjadi

Q_E	: pengaruh gaya gempa horizontal dari V atau F_p . Pengaruh tersebut harus dihasilkan dari penerapan gaya horizontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu sama lain
R	: koefisien modifikasi respons
S_a	: spektrum respons percepatan desain
S_{DS}	: parameter percepatan respons spektral pada periode pendek, redaman 5 persen
S_{D1}	: parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik, redaman 5 persen
S_{MS}	: parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{M1}	: parameter percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
SNI	: Standar Nasional Indonesia
$SRPMK$: Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus
S_s	: parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5 persen
S_1	: parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5 persen
T	: periode fundamental bangunan
T_a	: periode fundamental pendekatan
t_p	: tebal pelat
T_s, T_0	: parameter periode untuk respons spektrum desain elastik
V, V_s	: gaya geser dasar seismik statik
V_{dyn}	: gaya geser dasar seismik dinamik
W	: berat seismik efektif
W_i	: massa lantai pada tingkat ke i
z_i	: ketinggian lantai hingga tingkat ke i diukur dari elevasi dasar

- α_f : rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur lebar pelat yang dibatasi secara lateral oleh garis pusat panel yang di sebelahnya (jika ada) pada setiap sisi balok
 α_{fm} : nilai rata-rata α_f untuk semua balok pada tepi panel
 β : rasio dimensi panjang terhadap pendek: bentang bersih untuk pelat dua arah
 Δ : simpangan antar lantai tingkat desain
 Δ_a : simpangan antar lantai yang diijinkan
 $\delta_{avg}, \Delta_{avg}$: perpindahan rata-rata tingkat diukur dari posisi awal
 $\delta_{max}, \Delta_{max}$: perpindahan maksimum tingkat diukur dari posisi awal
 δ_x : defleksi pusat massa di tingkat x
 δ_{xe} : defleksi pada lokasi ditentukan dengan analisis elastis
 μ : poisson's ratio
 Ω_0 : faktor kuat lebih
 ρ : faktor redundansi
 ρ_{beton} : massa jenis beton



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Model 1 dengan Balok Transfer di Lantai 1 (Potongan 2-2).....	1-3
Gambar 1. 2 Model 2 dengan Balok Transfer di Lantai 3 (Potongan 2-2).....	1-4
Gambar 1. 3 Model 3 dengan Balok Transfer di Lantai 4 (Potongan 2-2).....	1-4
Gambar 1. 4 Denah Balok Transfer.....	1-5
Gambar 1. 5 Denah Lantai Tipikal	1-5
Gambar 2. 1 Spektrum Respons Desain	2-7
Gambar 2. 2 Penentuan Simpangan Antar Tingkat	2-14
Gambar 2. 3 Dampak Defleksi pada Balok Transfer.....	2-21
Gambar 2. 4 Model Histerisis <i>Kinematic</i>	2-22
Gambar 2. 5 Model Histerisis <i>Takeda</i>	2-22
Gambar 2. 6 Rekaman Gempa El Centro 1940 N-S.....	2-23
Gambar 2. 7 Rekaman Gempa Denpasar 1979 B-T	2-24
Gambar 2. 8 Rekaman Gempa Flores 1992.....	2-24
Gambar 2. 9 Redaman <i>Rayleigh</i>	2-28
Gambar 2. 10 Mekanisme Keruntuhan Ideal Suatu Struktur Gedung.....	2-28
Gambar 2. 11 Kinerja Struktur terhadap Gaya Geser dan Perpindahan.....	2-30
Gambar 2. 12 Rasio Peralihan Lantai Paling Atas	2-31
Gambar 3. 1 Kurva Spektrum Kota Bandung Respons Desain Elastis	3-4
Gambar 3. 2 Pemodelan Sendi Plastis Di Kolom dan Balok Pada (A) Model 1, (B) Model 2, Dan (C) Model 3.....	3-9
Gambar 4. 1 Peralihan Lantai Maksimum Elastis Arah X dan Y Model 1	4-9
Gambar 4. 2 Peralihan Lantai Maksimum Elastis Arah X dan Y Model 2	4-10
Gambar 4. 3 Peralihan Lantai Maksimum Elastis Arah X dan Y Model 3	4-10
Gambar 4. 4 Simpangan Antar Lantai Maksimum Elastis Arah X dan Y Model 1	4-11
Gambar 4. 5 Simpangan Antar Lantai Maksimum Elastis Arah X dan Y Model 2	4-12
Gambar 4. 6 Simpangan Antar Lantai Maksimum Elastis Arah X dan Y Model 3	4-13
Gambar 4. 7 Peralihan Lantai Maksimum Inelastis Arah X Model 1	4-15
Gambar 4. 8 Peralihan Lantai Maksimum Inelastis Arah Y Model 1	4-15

Gambar 4. 9 Peralihan Lantai Maksimum Inelastis Arah X Model 2.....	4-16
Gambar 4. 10 Peralihan Lantai Maksimum Inelastis Arah Y Model 2.....	4-16
Gambar 4. 11 Peralihan Lantai Maksimum Inelastis Arah X Model 3.....	4-17
Gambar 4. 12 Peralihan Lantai Maksimum Inelastis Arah Y Model 3.....	4-17
Gambar 4. 13 Rasio Simpangan Antar Lantai Maksimum Inelastis Arah X Model 1	4-18
Gambar 4. 14 Rasio Simpangan Antar Lantai Maksimum Inelastis Arah Y Model 1	4-18
Gambar 4. 15 Rasio Simpangan Antar Lantai Maksimum Inelastis Arah X Model 2	4-19
Gambar 4. 16 Rasio Simpangan Antar Lantai Maksimum Inelastis Arah Y Model 2	4-19
Gambar 4. 17 Rasio Simpangan Antar Lantai Maksimum Inelastis Arah X Model 3	4-20
Gambar 4. 18 Rasio Simpangan Antar Lantai Maksimum Inelastis Arah Y Model 3	4-20
Gambar 4. 19 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik 1,9 (b) Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Gempa El-Centro 1940 N-S Arah X Model 1	4-25
Gambar 4. 20 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik 5,1 (b) Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Gempa Denpasar 1979 B-T Arah X Model 1	4-25
Gambar 4. 21 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik 11,0 (b) Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Gempa Flores 1992 Arah X Model 1	4-26
Gambar 4. 22 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik 1,8 (b) Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Gempa El-Centro 1940 N-S Arah Y Model 1	4-26
Gambar 4. 23 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik 4,8 (b) Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Gempa Denpasar 1979 B-T Arah Y Model 1	4-27
Gambar 4. 24 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik 17,5 (b) Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Gempa Flores 1992 Arah Y Model 1	4-27
Gambar 4. 25 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik 2,0 (b) Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Gempa El-Centro 1940 N-S Arah X Model 2.....	4-28
Gambar 4. 26 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik 5,2 (b) Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Gempa Denpasar 1979 B-T Arah X Model 2	4-28

Gambar 4. 27 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik 18,2 (b) Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Gempa Flores 1992 Arah X Model 2	4-29
Gambar 4. 28 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik 1,9 (b) Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Gempa El-Centro 1940 N-S Arah Y Model 2	4-29
Gambar 4. 29 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik 4,5 (b) Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Gempa Denpasar 1979 B-T Arah Y Model 2.....	4-30
Gambar 4. 30 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik 17,8 (b) Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Gempa Flores 1992 Arah Y Model 2	4-30
Gambar 4. 31 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik 2,2 (b) Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Gempa El-Centro 1940 N-S Arah X Model 3	4-31
Gambar 4. 32 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik 5,3 (b) Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Gempa Denpasar 1979 B-T Arah X Model 3	4-31
Gambar 4. 33 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik 18,2 (b) Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Gempa Flores 1992 Arah X Model 3	4-32
Gambar 4. 34 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik 2,0 (b) Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Gempa El-Centro 1940 N-S Arah Y Model 3	4-32
Gambar 4. 35 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik 4,9 (b) Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Gempa Denpasar 1979 B-T Arah Y Model 3	4-33
Gambar 4. 36 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik 17,9 (b) Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Gempa Flores 1992 Arah Y Model 3	4-33
Gambar 4. 37 Kurva Histeresis pada Balok Transfer akibat (a) Gempa El-Centro 1940 N-S (b) Gempa Denpasar 1979 B-T (c) Gempa Flores 1992 Arah X Model 1	4-34
Gambar 4. 38 Kurva Histeresis pada Balok Induk akibat (a) Gempa El-Centro 1940 N-S (b) Gempa Denpasar 1979 B-T (c) Gempa Flores 1992 Arah Y Model 1 .	4-35
Gambar 4. 39 Kurva Histeresis pada Balok Transfer akibat (a) Gempa El-Centro 1940 N-S (b) Gempa Denpasar 1979 B-T (c) Gempa Flores 1992 Arah X Model 2	4-36
Gambar 4. 40 Kurva Histeresis pada Balok Induk akibat (a) Gempa El-Centro 1940 N-S (b) Gempa Denpasar 1979 B-T (c) Gempa Flores 1992 Arah Y Model 2 .	4-37

Gambar 4. 41 Kurva Histeresis pada Balok Transfer akibat (a) Gempa El-Centro 1940 N-S (b) Gempa Denpasar 1979 B-T (c) Gempa Flores 1992 Arah X Model 34-38

Gambar 4. 42 Kurva Histeresis pada Balok Induk akibat (a) Gempa El-Centro 1940 N-S (b) Gempa Denpasar 1979 B-T (c) Gempa Flores 1992 Arah Y Model 3..4-39



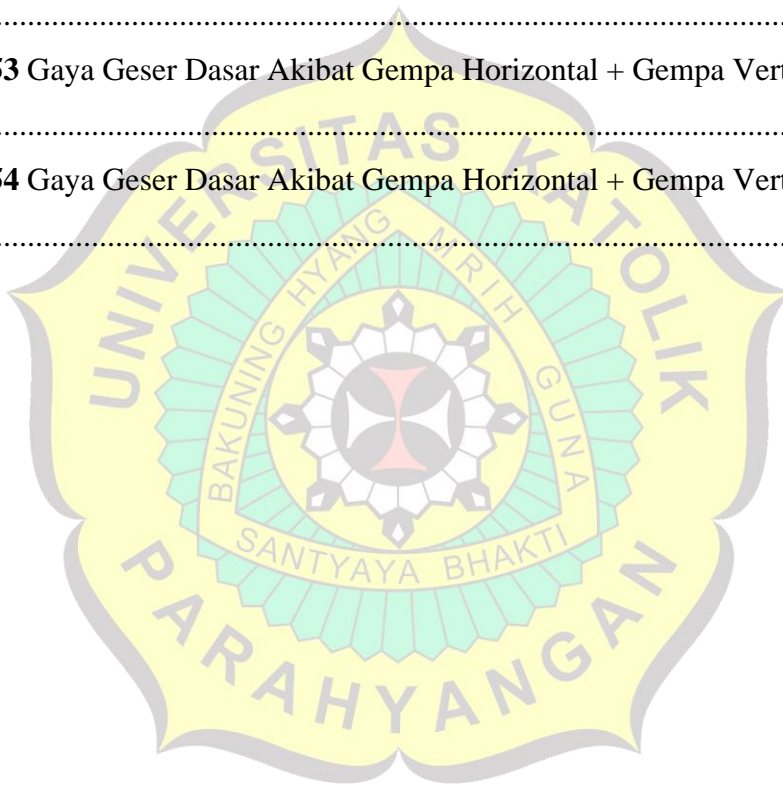
DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kategori Risiko Bangunan Gedung untuk Beban Gempa.....	2-1
Tabel 2. 2 Faktor Keutamaan Gempa.....	2-2
Tabel 2. 3 Klasifikasi Situs.....	2-3
Tabel 2. 4 Koefisien Situs, F_a	2-5
Tabel 2. 5 Koefisien Situs, F_v	2-5
Tabel 2. 6 KDS Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek	2-7
Tabel 2. 7 KDS Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik	2-7
Tabel 2. 8 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik	2-8
Tabel 2. 9 Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur	2-8
Tabel 2. 10 Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur	2-10
Tabel 2. 11 Persyaratan untuk Masing-Masing Tingkat yang Menahan Lebih dari 35% Gaya Geser Dasar	2-11
Tabel 2. 12 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung	2-13
Tabel 2. 13 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_i dan x	2-13
Tabel 2. 14 Simpangan Antar Tingkat Izin, Δ_x	2-14
Tabel 2. 15 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior (mm) ^[1]	2-16
Tabel 2. 16 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang dengan Balok di antara Tumpuan Pada Semua Sisinya.....	2-17
Tabel 2. 17 Tinggi Minimum Balok Nonprategang	2-17
Tabel 2. 18 Ketebalan Selimut Beton Untuk Komponen Struktur Beton Nonprategang yang Dicor di Tempat.....	2-18
Tabel 2. 19 Syarat Roof Drift Ratio	2-31
Tabel 3. 1 Beban Mati Tambahan	3-2
Tabel 3. 2 Parameter Respons Spektra.....	3-3
Tabel 3. 3 Tabel Dimensi Pelat Dan Balok	3-4
Tabel 3. 4 Tipe dan Penulangan Balok pada Model 1.....	3-5
Tabel 3. 5 Tipe, Dimensi, dan Penulangan Kolom pada Model 1.....	3-5
Tabel 3. 6 Tipe dan Penulangan Balok pada Model 2.....	3-6

Tabel 3. 7 Tipe, Dimensi, dan Penulangan Kolom pada Model 2	3-6
Tabel 3. 8 Tipe dan Penulangan Balok pada Model 3	3-7
Tabel 3. 9 Tipe, Dimensi, dan Penulangan Kolom pada Model 3	3-7
Tabel 4. 1 Tinggi dan Massa Struktur Model 1	4-1
Tabel 4. 2 <i>Mode Shape</i> Model 1	4-1
Tabel 4. 3 Periode dan Ragam Getar Model 1	4-2
Tabel 4. 4 Hasil Pemeriksaan Ketidakberaturan Horisontal Model 1	4-2
Tabel 4. 5 Hasil Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Model 1	4-3
Tabel 4. 6 Tinggi dan Massa Struktur Model 2	4-3
Tabel 4. 7 <i>Mode Shape</i> Model 2	4-4
Tabel 4. 8 Periode dan Ragam Getar Model 2.....	4-4
Tabel 4. 9 Hasil Pemeriksaan Ketidakberaturan Horisontal Model 2	4-5
Tabel 4. 10 Hasil Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Model 2	4-5
Tabel 4. 11 Tinggi dan Massa Struktur Model 3	4-6
Tabel 4. 12 <i>Mode Shape</i> Model 3	4-6
Tabel 4. 13 Periode dan Ragam Getar Model 3.....	4-7
Tabel 4. 14 Hasil Pemeriksaan Ketidakberaturan Horisontal Model 3	4-7
Tabel 4. 15 Hasil Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Model 3	4-8
Tabel 4. 16 Peralihan Lantai Maksimum Elastis Arah X dan Y Model 1	4-9
Tabel 4. 17 Peralihan Lantai Maksimum Elastis Arah X dan Y Model 2	4-9
Tabel 4. 18 Peralihan Lantai Maksimum Elastis Arah X dan Y Model 3	4-10
Tabel 4. 19 Simpangan Antar Lantai Maksimum Elastis Arah X dan Y Model 1 4-	11
Tabel 4. 20 Simpangan Antar Lantai Maksimum Elastis Arah X dan Y Model 2 4-	12
Tabel 4. 21 Simpangan Maksimum Antar Lantai Elastis Model 3.....	4-12
Tabel 4. 22 Gaya Geser Dasar Elastis Arah X dan Y Model 1.....	4-13
Tabel 4. 23 Gaya Geser Dasar Elastis Arah X dan Y Model 2.....	4-13
Tabel 4. 24 Gaya Geser Dasar Elastis Arah X dan Y Model 3.....	4-13
Tabel 4. 25 Peralihan Lantai Maksimum Inelastis Arah X dan Y Model 1.....	4-14
Tabel 4. 26 Peralihan Lantai Maksimum Inelastis Arah X dan Y Model 2.....	4-15

Tabel 4. 27 Peralihan Lantai Maksimum Inelastis Arah X dan Y Model 3	4-16
Tabel 4. 28 Rasio Simpangan Antar Lantai Maksimum Inelastis Arah X dan Y Model 1	4-18
Tabel 4. 29 Rasio Simpangan Antar Lantai Maksimum Inelastis Arah X dan Y Model 2	4-19
Tabel 4. 30 Rasio Simpangan Antar Lantai Maksimum Inelastis Arah X dan Y Model 3	4-20
Tabel 4. 31 Faktor Pembesaran Defleksi (C_d) Model 1.....	4-21
Tabel 4. 32 Faktor Pembesaran Defleksi (C_d) Model 2.....	4-21
Tabel 4. 33 Faktor Pembesaran Defleksi (C_d) Model 3.....	4-21
Tabel 4. 34 Gaya Geser Dasar dan Faktor Kuat Lebih (Ω_0) Model 1	4-22
Tabel 4. 35 Gaya Geser Dasar dan Faktor Kuat Lebih (Ω_0) Model 2	4-22
Tabel 4. 36 Gaya Geser Dasar dan Faktor Kuat Lebih (Ω_0) Model 3	4-23
Tabel 4. 37 Nilai Koefisien Modifikasi Respons Model 1	4-23
Tabel 4. 38 Nilai Koefisien Modifikasi Respons Model 2.....	4-24
Tabel 4. 39 Nilai Koefisien Modifikasi Respons Model 3.....	4-24
Tabel 4. 40 Detik Pertama Terjadinya Sendi Plastis Arah X Model 1.....	4-25
Tabel 4. 41 Detik Pertama Terjadinya Sendi Plastis Arah X Model 1.....	4-27
Tabel 4. 42 Detik Pertama Terjadinya Sendi Plastis Arah X Model 1.....	4-30
Tabel 4. 43 Tingkat Kinerja Struktur Model 1.....	4-40
Tabel 4. 44 Tingkat Kinerja Struktur Model 2.....	4-40
Tabel 4. 45 Tingkat Kinerja Struktur Model 3.....	4-40
Tabel 4. 55 Gaya Aksial Kolom Akibat Gempa El-Centro Arah X dan Penambahan Gempa Vertikal pada Model 1	4-41
Tabel 4. 56 Gaya Aksial Kolom Akibat Gempa El-Centro Arah X dan Penambahan Gempa Vertikal pada Model 2	4-42
Tabel 4. 57 Gaya Aksial Kolom Akibat Gempa El-Centro Arah X dan Penambahan Gempa Vertikal pada Model 3	4-42
Tabel 4. 46 Peralihan Lantai Maksimum Inelastis Akibat Gempa Horizontal + Gempa Vertikal Model 1.....	4-43
Tabel 4. 47 Peralihan Lantai Maksimum Inelastis Akibat Gempa Horizontal + Gempa Vertikal Model 2.....	4-43

Tabel 4. 48 Peralihan Lantai Maksimum Inelastis Akibat Gempa Horizontal + Gempa Vertikal Model 3	4-43
Tabel 4. 49 Rasio Simpangan Antar Lantai Maksimum Inelastis Akibat Gempa El-Centro 1940 N-S Arah X + Gempa Vertikal Model 1	4-44
Tabel 4. 50 Rasio Simpangan Antar Lantai Maksimum Inelastis Akibat Gempa El-Centro 1940 N-S Arah X + Gempa Vertikal Model 2.....	4-44
Tabel 4. 51 Rasio Simpangan Antar Lantai Maksimum Inelastis Akibat Gempa El-Centro 1940 N-S Arah X + Gempa Vertikal Model 3.....	4-45
Tabel 4. 52 Gaya Geser Dasar Akibat Gempa Horizontal + Gempa Vertikal Model 1	4-45
Tabel 4. 53 Gaya Geser Dasar Akibat Gempa Horizontal + Gempa Vertikal Model 2	4-46
Tabel 4. 54 Gaya Geser Dasar Akibat Gempa Horizontal + Gempa Vertikal Model 3	4-46



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1.....	L1-1
LAMPIRAN 2.....	L2-1
LAMPIRAN 3.....	L3-1
LAMPIRAN 4.....	L4-1
LAMPIRAN 5.....	L5-1
LAMPIRAN 6.....	L6-1
LAMPIRAN 7.....	L7-1



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan Proyeksi Penduduk Indonesia 2015 – 2045 Hasil Survei Penduduk Antar Sensus (SUPAS) 2015 – 2045, pada tahun 2020 jumlah penduduk di Indonesia mencapai angka 269.603,4 juta jiwa. Jumlah tersebut mengalami kenaikan sebesar 54,8% dibandingkan dengan jumlah penduduk pada tahun 2015 dan diperkirakan akan mencapai 318.961 juta jiwa pada tahun 2045. Bertambahnya jumlah penduduk mengakibatkan kebutuhan manusia akan lahan untuk tempat tinggal dan beraktivitas meningkat. Akan tetapi, meningkatnya permintaan lahan tidak diimbangi dengan ketersediaan lahan. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan membangun bangunan bertingkat sehingga dapat mengoptimalkan penggunaan lahan.

Bangunan bertingkat seringkali memerlukan suatu ruang khusus, seperti ruang pertemuan yang luas dengan bentang kolom besar. Untuk memenuhi desain tersebut, direncanakan suatu balok panjang dengan dimensi yang besar dibanding dengan balok-balok lainnya, yaitu balok transfer. Balok transfer bertujuan untuk memikul gaya aksial yang besar dari kolom di atasnya.

Pada bangunan bertingkat, berarti sifat dari bangunan tersebut harus mendapat perhatian khusus dalam kaitannya dengan gaya-gaya dan beban lateral yang berkerja padanya. Salah satu beban lateral yang sering menimbulkan kerusakan pada bangunan adalah beban gempa. Karena Indonesia merupakan wilayah yang terletak pada gempa kuat, terletak pada daerah pertemuan tiga lempeng tektonik, maka setiap elemen struktur pada bangunan bertingkat perlu didesain untuk memiliki ketahanan terhadap beban gempa.

Beban gempa tidak hanya terjadi pada arah horizontal melainkan juga dalam arah vertikal. Beban gempa vertikal ini akan mempengaruhi komponen struktur bangunan terutama desain bangunan menggunakan balok transfer.

1.2 Inti Permasalahan

Untuk memenuhi kebutuhan desain, balok transfer digunakan untuk memikul gaya aksial dari kolom di atasnya sehingga akan memiliki perilaku yang berbeda ketika menghadapi beban dinamik akibat gempa. Komponen gempa arah horizontal lebih dominan terhadap respons bangunan, akan tetapi komponen gempa arah vertikal dapat berpengaruh pada elemen-elemen tertentu pada bangunan dengan balok transfer.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk mengetahui kinerja dan perilaku dinamik struktur rangka beton bertulang dengan balok transfer dan responsnya berupa peralihan total, simpangan antar lantai (*interstory drift*), dan penyebaran sendi plastis saat mengalami percepatan tanah dasar dalam arah horizontal dan vertikal akibat gempa.

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah lingkup penelitian pada skripsi ini adalah:

1. Desain dan analisis menggunakan bantuan perangkat lunak ETABS 2016.
2. Pemodelan gedung menggunakan struktur beton bertulang tiga dimensi bergeometri simetris dengan jumlah lantai sebanyak 6, ketinggian lantai dengan balok transfer adalah 6 meter dan lantai tipikal adalah 3,5 meter. Gedung terdiri atas 4 bentang dengan panjang bentang 4 meter untuk arah x dan arah y.
3. Balok transfer diletakkan dengan variasi di lantai 1, 3, dan 4.
4. Fungsi bangunan adalah perkantoran.
5. Bangunan terletak di kota Bandung dengan kelas situs tanah sedang (SD)
6. Struktur menggunakan beton dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis beton} = 24 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Mutu tulangan } (F_y) = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu kuat beton } (f_c') = 35 \text{ MPa (untuk balok, kolom dan pelat)}$$

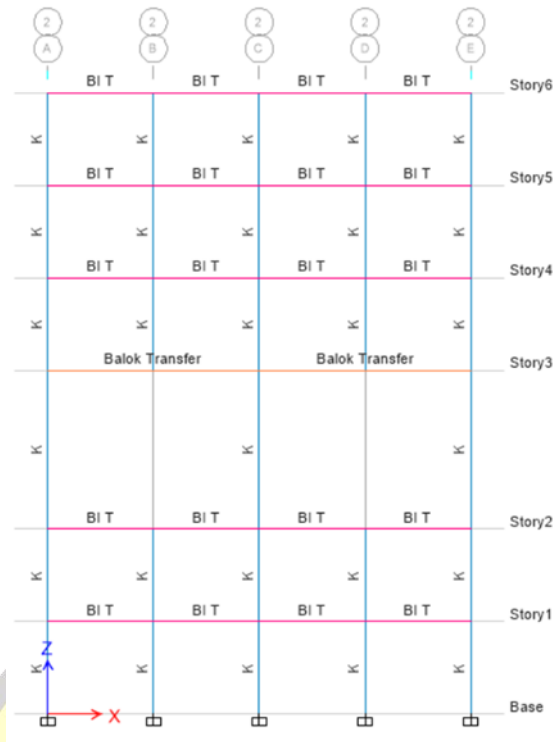
$$\text{Elastisitas beton } (E) = 4700\sqrt{f_c'} \text{ MPa}$$

$$\text{Poisson's ratio } (\mu) = 0,2$$

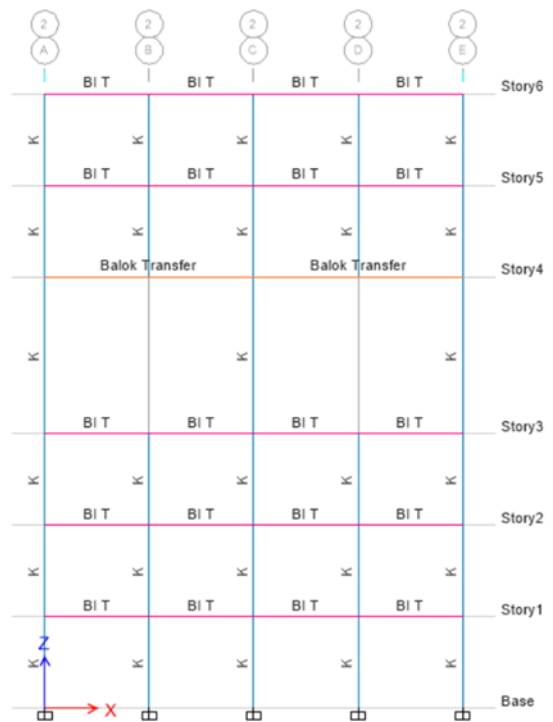
7. Analisis dinamik riwayat waktu menggunakan tiga buah rekaman gempa, yaitu Gempa El-Centro N-S tahun 1940, Gempa Denpasar B-T tahun 1979, dan Gempa Flores tahun 1992.
8. Peraturan-peraturan umum yang digunakan sebagai berikut:
 - a. SNI 1726:2019. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
 - b. SNI 1727:2013. (2013). *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
 - c. SNI 2847:2019. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
9. Kekuatan pondasi dan dinding penahan tanah di sekitar bangunan tidak diperhitungkan.



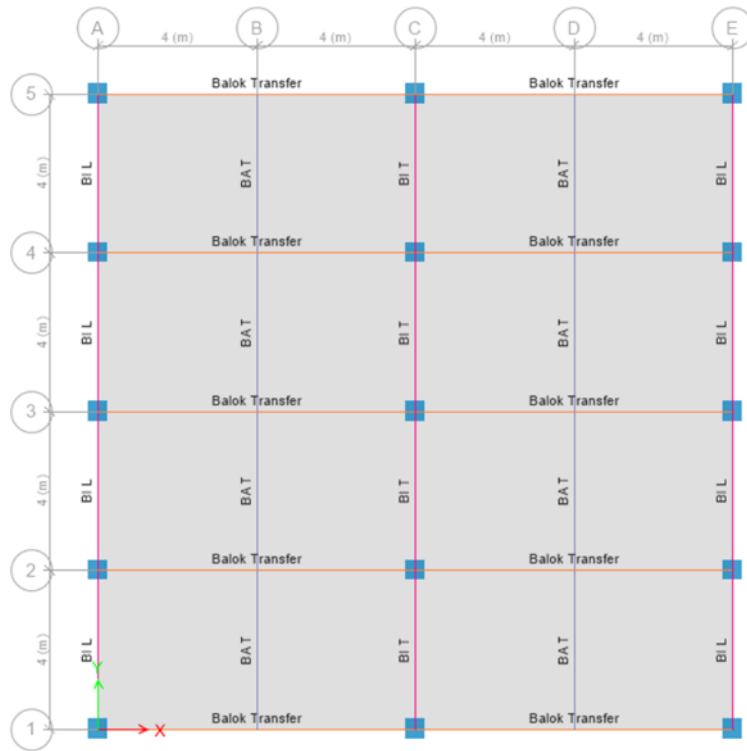
Gambar 1. 1 Model 1 dengan Balok Transfer di Lantai 1 (Potongan 2-2)



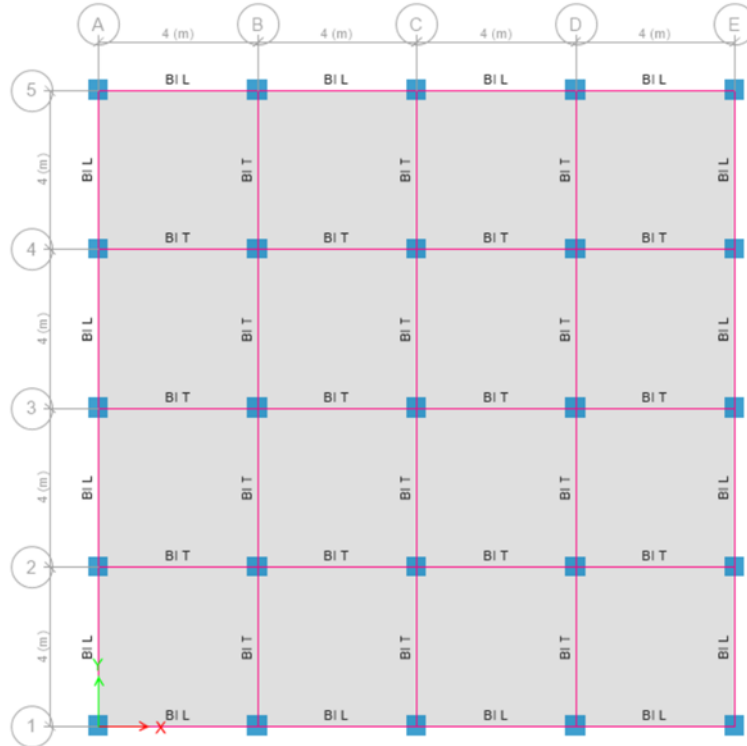
Gambar 1. 2 Model 2 dengan Balok Transfer di Lantai 3 (Potongan 2-2)



Gambar 1. 3 Model 3 dengan Balok Transfer di Lantai 4 (Potongan 2-2)



Gambar 1.4 Denah Balok Transfer



Gambar 1.5 Denah Lantai Tipikal

1.5 Metode Penelitian

Dalam penulisan skripsi ini digunakan metode penelitian sebagai berikut:

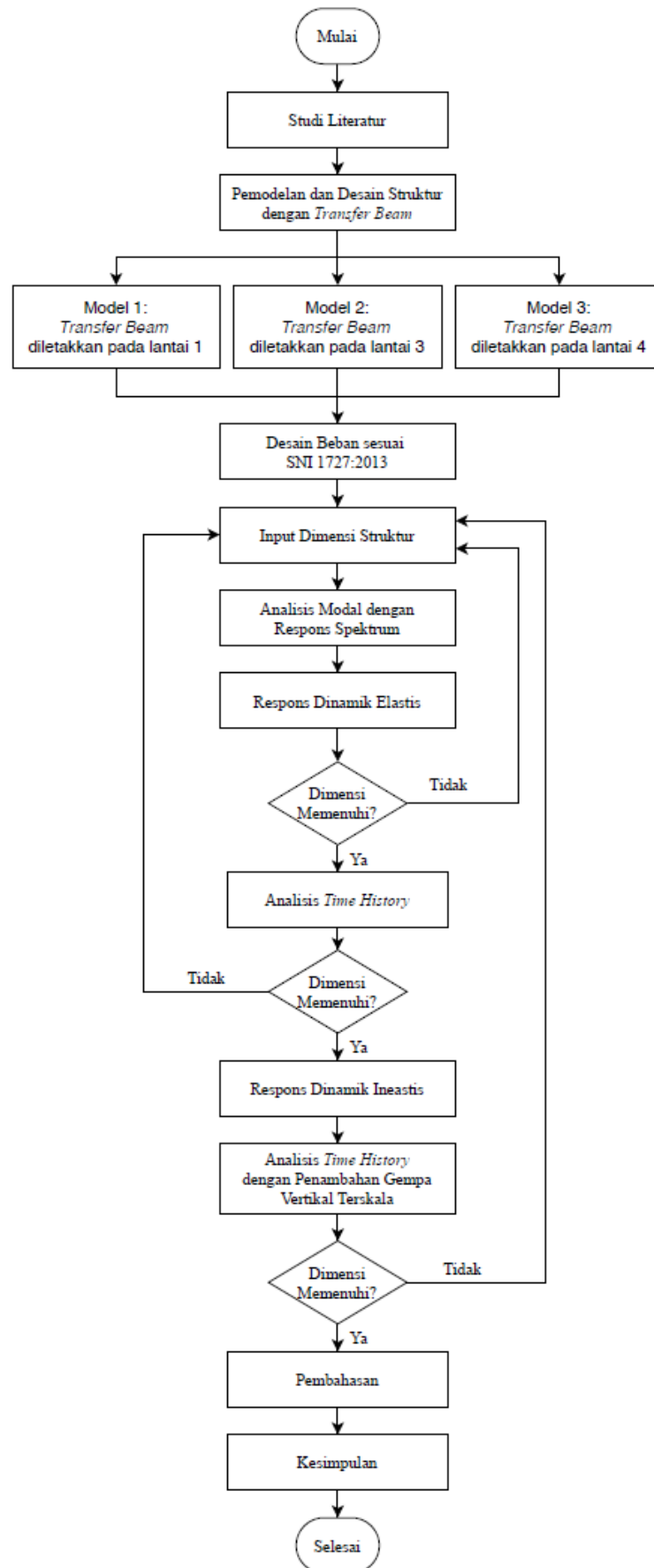
1. Studi Literatur

Bahan literatur yang digunakan berasal dari buku, skripsi, *paper*, jurnal, peraturan-peraturan yang berhubungan dengan struktur beton dan desain bangunan tahan gempa.

2. Studi Analisis

Studi analisis dilakukan dengan bantuan program ETABS 2016, yaitu dengan mensimulasikan gedung yang mengalami percepatan tanah dasar akibat gempa.





1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab 1 Memuat latar belakang masalah, inti permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 STUDI PUSTAKA

Bab 2 Berisi tentang teori dasar dan peraturan yang digunakan dalam penelitian.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab 3 Berisi tentang perencanaan dan pemodelan struktur rangka beton dengan bantuan program ETABS 2016.

BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Bab 4 Hasil dan pembahasan mengenai kinerja dan respons dinamik dan gaya dalam elemen pada struktur rangka beton bertulang dengan balok transfer menggunakan bantuan program ETABS 2016.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab 5 Memuat kesimpulan dari hasil pembahasan yang telah dilakukan serta saran yang dapat digunakan untuk menunjang penelitian selanjutnya.

