

**ANALISIS DAN DESAIN ELEMEN STRUKTUR BETON BERTULANG
PADA GEDUNG YANG MEMILIKI KOLOM MIRING DENGAN SISTEM
RANGKA PEMIKUL MOMEN BIASA (SRPMB)**

(Skripsi)

Oleh

ANGELINA DHINI ULI ARTHA SIMATUPANG



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

ABSTRAK

ANALISIS DAN DESAIN ELEMEN STRUKTUR BETON BERTULANG PADA GEDUNG YANG MEMILIKI KOLOM MIRING DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN BIASA (SRPMB)

Oleh

ANGELINA DHINI ULI ARTHA SIMATUPANG

Maraknya pembangunan gedung bertingkat tinggi dengan desain yang unik di Indonesia dewasa ini tidak dapat dipungkiri lagi. Gedung-gedung bertingkat tinggi tersebut harus memiliki ketahanan terhadap gempa bumi dikarenakan Indonesia sendiri merupakan negara yang memiliki resiko terjadinya bencana gempa bumi. Sehingga, hal ini mengharuskan seorang perencana struktur gedung bertingkat untuk mampu mendesain struktur gedung bertingkat dengan berbagai kondisi dan bentuk/desain.

Dari permasalahan tersebut, maka pada tugas akhir ini dilakukan analisis dan desain gedung dengan bentuk konstruksi yang tidak lumrah yaitu dengan memiringkan seluruh kolom utama pada gedung dengan sudut kemiringan 80°. Kemudian, sebagai pembanding dibuat juga sebuah desain gedung yang memiliki kolom utama tegak. Desain gedung ini terletak di Kalimantan Selatan yang merupakan salah satu daerah di Indonesia yang memiliki resiko terjadinya gempa bumi.

Desain gedung dengan kolom miring maupun tegak pada tugas akhir ini menggunakan material beton bertulang dengan sistem struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB). Sistem ini ditentukan dari letak wilayah desain gedung berdasarkan Peta Gempa Indonesia 2012.

Hasil analisis dan desain menggunakan *software Structural Analysis Program* adalah gedung yang menggunakan kolom miring memiliki nilai gaya dalam yang lebih besar dibandingkan dengan gedung yang menggunakan kolom tegak, sehingga membutuhkan tulangan 70,89% lebih banyak dibandingkan dengan gedung yang menggunakan kolom tegak.

Kata Kunci : gempa bumi, kolom miring, desain gedung, beton bertulang, kolom tegak

ABSTRACT

ANALYSIS AND DESIGN REINFORCED CONCRETE STRUCTURE OF BUILDING WITH INCLINED COLUMN WITH ORDINARY MOMENT RESISTING FRAME (OMRF)

By

ANGELINA DHINI ULI ARTHA SIMATUPANG

The increasing development of high-rise building construction with unique design in Indonesia today can not be denied. The high-rise buildings must have earthquake resistance because of Indonesia is a country that has the risk of an earthquake. This requires a multi-storey structure designer to be able to design a multi-storey building structure with various conditions and configurations. Based on that problems, a building will be designed with unusual shape by inclining the entire main structural column with a slope angle is 80° . And as a comparison, another building will be designed which uses vertical column. The building plan will be located in Banjarmasin, South Kalimantan, Indonesia.

The building plans with inclined and vertical column use reinforced concrete material with Ordinary Moment Resisting Frame (OMRF) as a structural strength system. This system is determined by the location of the building based on Indonesian Earthquake Map 2012.

The result of the analysis and design is the building with inclined column has greater internal force compared to a building with vertical column and requires a reinforcement of 70.89% more than the building with vertical column.

Keywords : earthquake, inclined column, building, concrete reinforcement, vertical column

**ANALISIS DAN DESAIN ELEMEN STRUKTUR BETON BERTULANG
PADA GEDUNG YANG MEMILIKI KOLOM MIRING DENGAN SISTEM
RANGKA PEMIKUL MOMEN BIASA (SRPMB)**

Oleh

Angelina Dhini Uli Artha Simatupang

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

Judul Skripsi

**: ANALISIS DAN DESAIN ELEMEN
STRUKTUR BETON BERTULANG
PADA GEDUNG YANG MEMILIKI
KOLOM MIRING DENGAN SISTEM
RANGKA PEMIKUL MOMEN BIASA
(SRPMB)**

Nama Mahasiswa

: Angelina Dhini Uli Artha Simatupang

Nomor Pokok Mahasiswa : 1315011010

Jurusan

: Teknik Sipil

Fakultas

: Teknik

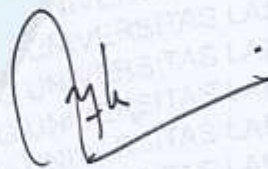


1. Komisi Pembimbing



Bayzoni, S.T., M.T.

NIP 19730514 200003 1 001



Ir. Andi Kusnadi, M.T., M.M.

NIP 19680509 199402 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil



Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D.

NIP 19700915 199503 1 006

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji


Ketua : **Bayzoni, S.T., M.T.**




Sekretaris : **Ir. Andi Kusnadi, M.T., M.M.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Masdar Helmi, S.T., DEA., Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Teknik


Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D.
NIP.19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **27 Mei 2019**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul "*Analisis dan Desain Elemen Struktur Beton Bertulang pada Gedung yang Memiliki Kolom Miring dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)*" adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Atas pernyataan ini, apabila di kemudian hari ditemukan adanya ketidakbenaran, maka saya bersedia menanggungakibat dan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 20 Juni 2019



Angelina Dhini Uli Artha Simatupang

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Bandung, Jawa Barat pada tanggal 23 April 1996, sebagai anak kedua dari lima bersaudara dari pasangan Bapak Lodewijk P. Simatupang dan Ibu Maria Siti Ariyanti.

Penulis memulai jenjang pendidikan dari Taman Kanak-Kanak (TK) dan diselesaikan pada tahun 2001 di TK Insani Bandung, pada tahun 2007 menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SD Cisaranteun Kidul Bandung, kemudian pada tahun 2010 menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Slamet Riyadi Bandung, dan pada tahun 2013 menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Santa Maria 2 Bandung.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2013 melalui Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Penulis turut aktif dalam organisasi kemahasiswaan yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) Universitas Lampung pada tahun 2015/2016 dalam Departemen Penelitian dan Pengembangan (Litbang). Pada tahun 2016 penulis melakukan Kerja Praktik (KP) pada Proyek Pembangunan Apartemen Pondok Indah Residences Jakarta Selatan selama 3 bulan. Penulis juga telah mengikuti kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari pada periode Januari - Februari 2017 di Desa Bumi Nabung Utara, Kecamatan Bumi Nabung, Kabupaten Lampung Tengah.

Motto

“Sebab TUHAN, Dia sendiri akan berjalan di depanmu, Dia sendiri akan menyertai engkau, Dia tidak akan membiarkan engkau dan tidak akan meninggalkan engkau; janganlah takut dan janganlah patah hati.”

(Ulangan 31: 8)

“ALONE, BY HERSELF SHE BUILT THE KINGDOM THAT SHE WANTED.”

(r.h. Sin)

“Brave soldier, never fear. Even though your death is near.”

(The Steadfast Tin Soldier)

“Kegagalan sesungguhnya adalah ketika kamu berhenti berusaha.”

“Ada harga pas untuk setiap totalitas.”

Persembahan

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Ku persembahkan skripsi ini untuk:

Nenekku, Kedua orangtuaku, dan Kakak serta Adikku yang selalu member dukungan moril maupun materi serta senantiasa mendoakanku untuk meraih kesuksesan. Semoga keluarga kita selalu dalam lindungan Tuhan Yang Maha Esa.

Saudara-saudaraku dan Keluarga Besarku yang selalu mendoakan dan memberikan semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.

Semua Guru-guru dan Dosen-dosen yang telah mengajarkan banyak hal. Terimakasih untuk ilmu, pengetahuan dan pelajaran hidup yang sudah diberikan.

Sahabat-Sahabatku, Rekan Seperjuanganku serta Teman-teman Teknik Sipil angkatan 2013 yang selalu menemani dalam suka maupun duka serta selalu memberikan dukungan agar skripsi ini berjalan dengan baik.

Untuk almamater tercinta Universitas Lampung.

SANWACANA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas Berkat dan Rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sesuai dengan yang diharapkan.

Skripsi yang penulis buat berjudul “*Analisis dan Desain Elemen Struktur Beton Bertulang pada Gedung yang Memiliki Kolom Miring dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)*” dan merupakan salah satu syarat bagi penulis untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Suharno, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
2. Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
3. Bayzoni, S.T., M.T. selaku Pembimbing Utama atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, ide-ide dan saran serta kritik juga ilmu yang berguna dalam proses penyelesaian skripsi ini;
4. Ir. Andi Kusnadi, M.M., M.T. selaku Pembimbing Kedua atas kesediaan memberikan bimbingan, motivasi, saran dan kritik juga ilmu yang berguna dalam proses penyelesaian skripsi ini;

5. Masdar Helmi, S.T., DEA, Ph.D, selaku Penguji Utama yang telah memberikan kritik dan saran juga ilmu yang berguna dalam penyempurnaan skripsi;
6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
7. Ompungku terkasih, Ompung Paulina Simanjuntak yang selalu mendukung, membantu, mendoakan, dan memotivasi dalam menjalani dan menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
8. Orangtuaku terkasih, Bapak Lodewijk P. Simatupang, S.H. dan Ibu Maria Siti Ariyanti yang sangat sabar dalam doanya dan pengertian dalam memberikan dukungan, nasehat dan motivasi dalam menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
9. Para inangboru beserta amangboru dan seluruh anggota keluarga besar yang telah memberikan dukungan, nasehat dan motivasi dalam menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
10. Teman seperjuangan tim skripsi Angela Chikita M. dan Devi Ramona S., yang telah berbagi cerita suka dan duka selama menjalani penelitian bersama;
11. Grup *Good People* Theresia Monica Naibaho, Angela Chikita Marcus, Tipo Putra Situmeang, Devi Ramona Sagala, Oldebes Temy Giantara, Andre Jonathan Siagian, dan Parsaulian Siburian yang telah berbagi cerita suka dan duka selama menjalani kehidupan perkuliahan;

12. Tim Kerja Praktik (KP) Devi Ramona S., Tipo Putra S., dan Stephanus M. Turnip yang telah berbagi cerita suka dan duka selama menjalani kerja praktik;
13. Teman Kuliah Kerja Nyata (KKN) Luky Kurniawati, Faila Suffah, dan Pinky Dwi Septiana yang telah berbagi cerita suka dan duka selama menjalani KKN;
14. Saudara-saudara Teknik Sipil Universitas Lampung angkatan 2013 yang berjuang bersama serta berbagi kenangan, pengalaman dan membuat kesan yang tak terlupakan, terimakasih atas kebersamaan kalian;
15. Teman-teman di akhir perkuliahan Fransiska Pratiwi Siburian, Eky Ambarwati, Margaretha Dewi, Jennifer Mentari Togatorop, Debby Indah Permatasari, dan Popiyana Siburian.
16. Semua pihak yang telah membantu tanpa pamrih yang tidak dapat disebutkan secara keseluruhan satu per satu, semoga kita semua berhasil menggapai impian.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi penulis berharap semoga skripsi yang telah dibuat ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 20 Juni 2019

Penulis,

Angelina Dhini Uli Artha Simatupang

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Masalah	3
E. Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Studi Terdahulu.....	6
B. Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen.....	10
C. Desain Gedung Bertingkat Beton Bertulang dengan SRPMB Berdasarkan SNI 2847:2013	12
D. Desain Struktur Gedung Beton Bertulang	13
E. Desain Beton Bertulang Terhadap Gaya Geser	23
F. Desain Beton Bertulang Terhadap Momen Torsi	26
G. Gempa Bumi	27
H. Pembebanan Struktur	34
I. Periode Fundamental/Getar Alami Struktur	41
J. Simpangan Antarlantai.....	42
III. METODOLOGI PENELITIAN	
A. Metode Penelitian	44
B. Lokasi Desain Gedung	44
C. Data Analisis dan Desain Gedung	44
D. Prosedur Penelitian	47
E. Kerangka Analisis.....	49

IV. PEMBAHASAN

A. Sistem Struktur Gedung	51
B. Pembebanan Struktur	53
C. <i>Preliminary Design</i>	60
D. Permodelan Struktur Gedung	66
E. Hasil Permodelan Struktur Menggunakan <i>Software Structural Analysis Program</i>	77
F. Desain Penulangan Elemen Struktur	85
G. Perhitungan Jumlah Kebutuhan Tulangan	124
H. Perbandingan Gedung Model 1 dengan 2	127

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	134
B. Saran	135

DAFTAR PUSTAKA	136
-----------------------------	------------

LAMPIRAN**LAMPIRAN A (Tabel Data)****LAMPIRAN B (Lembar Asistensi dan Surat-surat)**

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Persyaratan desain struktur beton bertulang yang memikul beban gempa.....	11
2. Tebal minimum balok non-prategang atau pelat satu-arah.....	15
3. Tebal minimum pelat dua arah tanpa balok interior	23
4. Klasifikasi situs/jenis tanah.....	30
5. Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa.....	31
6. Faktor keutamaan gempa	32
7. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek.....	33
8. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik	33
9. Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung.....	35
10. Beban hidup pada lantai gedung	36
11. Koefisien situs F_a	38
12. Koefisien situs F_v	39
13. Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x	42
14. Koefisien batas atas perioda fundamental.....	42
15. Simpangan antarlantai ijin/syarat (δ_a)	43
16. Faktor R , C_d , dan ρ untuk sistem penahan gaya gempa.....	43
17. Beban dinding pada balok.....	55
18. Nilai percepatan respon spektrum desain (S_a)	58
19. Total beban mati pada kolom lantai 1 s/d atap.....	65
20. Total beban hidup pada kolom lantai 1s/d atap.....	65

21. <i>Modal Participating Mass Ratio</i> gedung Model 1	78
22. <i>Modal Participating Mass Ratio</i> gedung Model 2	78
23. Nilai T gedung model 1 hasil analisis <i>Structural Analysis Program</i>	79
24. Nilai T gedung model 2 hasil analisis <i>Structural Analysis Program</i>	80
25. Nilai perpindahan pusat massa lantai gedung Model 1 dan 2.....	80
26. Simpangan antarlantai pada gedung Model 1	81
27. Simpangan antarlantai pada gedung Model 2	81
28. Nilai momen pada balok BI1 (lantai 1).....	90
29. Nilai momen dan gaya tekan aksial yang terjadi pada kolom K1	
Lantai 1	98
30. Nilai P dan M ketika $c > c_b$	102
31. Nilai P dan M ketika keadaan $c = c_b$	103
32. Nilai P dan M ketika $c < c_b$	103
33. Data Diagram Interaksi untuk kolom K1	105
34. Nilai P dan M 8D16 ketika $c > c_b$	108
35. Nilai P dan M 8D16 ketika $c = c_b$	109
36. Nilai P dan M 8D16 ketika $c < c_b$	110
37. Momen torsi dan gaya geser pada balok BI5	114
38. Luas tulangan lentur dan tekan pada balok BI5	120
39. Desain tulangan lentur terpasang pada balok BI1	124
40. Tulangan sengkang terpasang pada balok BI1 gedung 1	125
41. Kebutuhan tulangan sengkang balok BI1 gedung Model 1	126
42. Persentase selisih nilai gaya dalam pada gedung Model 2	129
43. Perbandingan kebutuhan tulangan gedung Model 1 dan 2	133
44. Rekapitulasi dimensi awal balok induk dan anak	137
45. Rekapitulasi dimensi awal tebal pelat lantai 1 s/d atap.....	137
46. Nilai momen terbesar pada balok gedung Model 1	138
47. Nilai momen terbesar pada balok gedung Model 2	140
48. Nilai momen terbesar pada kolom gedung Model 1	143
49. Nilai momen terbesar pada kolom gedung Model 2	144
50. Nilai gaya lintang terbesar pada balok gedung Model 1.....	146
51. Nilai gaya lintang terbesar pada balok gedung Model 2.....	148

52. Nilai gaya lintang terbesar pada kolom gedung Model 1 dan 2.....	152
53. Momen torsi terbesar pada balok gedung Model 1	154
54. Momen torsi terbesar pada balok gedung Model 2.....	157
55. Momen torsi terbesar pada kolom gedung Model 1 dan 2.....	161
56. Gaya aksial terbesar pada kolom gedung Model 1 dan 2	163
57. Kebutuhan tulangan pokok dan susut suhu pelat lantai gedung	165
58. Tulangan lentur balok induk terpasang (tarik dan tekan) pada gedung Model 1 dan 2	166
59. Tulangan lentur balok anak yang terpasang (tarik dan tekan) pada gedung Model 1 dan 2.....	168
60. Tulangan lentur yang terpasang pada kolom gedung model 1 dan 2.....	170
61. Tulangan sengkang untuk gaya geser dan momen torsi yang terpasang pada balok induk gedung Model 1 dan 2.....	172
62. Tulangan torsi longitudinal balok induk yang terpasang pada gedung Model 1 dan 2	174
63. Kebutuhan tulangan sengkang balok anak pada gedung Model 1 dan 2.....	177
64. Tulangan geser (sengkang) yang terpasang pada struktur kolom gedung Model 1 dan 2.....	178

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Gedung Menara Palma	2
2. Permodelan 4 varian struktur gedung oleh Afret Nobel (2012)	7
3. Permodelan gedung dengan Budiyo (2012)	8
4. Permodelan gedung oleh Meida I. (2013)	9
5. Permodelan gedung oleh Kenny A.H. (2014)	10
6. Penampang balok T dan balok L	15
7. Contoh diagram interaksi kolom	19
8. Diagram interaksi kuat rencana kolom tanpa satuan	20
9. Peta percepatan batuan dasar periode pendek 0,2 detik (S_s) 2% dalam 50 tahun (<i>Sumber: SNI 1726:2012</i>)	33
10. Peta percepatan batuan dasar periode 1 (S_1) 2% dalam 50 tahun (<i>Sumber: SNI 1726:2012</i>)	34
11. Kurva Spektrum Respons Desain	40
12. Denah lantai 1 s/d lantai 5	45
13. Tampak potongan A-A	46
14. Tampak potongan B-B	46
15. Model 3D desain gedung menggunakan <i>SAP</i>	46
16. Diagram alir penelitian	49
17. Nilai S_{DS} dan S_{D1} pada Kota Banjarmasin dengan jenis tanah Lunak	52
18. Faktor pengali pada <i>Load Pattern software SAP</i>	53
19. Kurva respon spektrum desain kota Banjarmasin kelas situs SE	58
20. Denah struktur balok induk dan balok anak	60
21. Balok induk B11	60

22.	Balok anak BA2.....	61
23.	Denah struktur pelat.....	62
24.	Pelat tipe A	62
25.	Pelat tipe H	63
26.	Denah struktur kolom	64
27.	Area pembebanan pada kolom K6.....	65
28.	<i>Define Materials</i>	67
29.	<i>Material Property Data</i> beton bertulang $f'c = 35\text{MPa}$	67
30.	<i>Material Property Data</i> beton bertulang $f'c = 25\text{MPa}$	68
31.	<i>Material Property Data</i> tulangan baja.....	68
32.	<i>Rectangular Section</i> kolom 400/400	69
33.	<i>Rectangular Section</i> balok induk 300/400.....	69
34.	<i>Rectangular Section</i> balok anak 250/350	69
35.	<i>Area Sections</i>	70
36.	<i>Shell Section Data</i>	70
37.	<i>Assign/Define Constraints</i>	70
38.	<i>Define Load Patterns</i>	71
39.	Permodelan gedung Model 1 (kolom vertikal/tegak)	71
40.	Permodelan beban mati pada balok	72
41.	Permodelan <i>Response Spectrum Structural Analysis Program</i>	73
42.	<i>Load Case Data – Response Spectrum</i>	74
43.	<i>Define Mass Source</i>	74
44.	<i>Define Load Cases</i>	75
45.	<i>Load Cases Data – Modal</i>	75
46.	<i>Load Combination Data</i> (1,4DL+1,4SIDL).....	76
47.	<i>Set Load Cases to Run</i>	76
48.	Momen lentur yang terjadi pada gedung Model 1 (Comb. 4)	82
49.	Momen lentur yang terjadi pada gedung Model 2 (Comb. 4)	82
50.	Gaya lintang yang terjadi pada gedung Model 1 (Comb. 4).....	83
51.	Gaya lintang yang terjadi pada gedung Model 2 (Comb. 4).....	83
52.	Momen torsi yang terjadi pada gedung Model 1 (Comb. 4).....	84
53.	Momen torsi yang terjadi pada gedung Model 2 (Comb. 4).....	84

54.	Gaya aksial yang terjadi pada gedung Model 1 (Comb. 4)	85
55.	Gaya aksial yang terjadi pada gedung Model 2 (Comb. 4)	85
56.	Denah struktur pelat lantai gedung Model 1.....	86
57.	Momen pendekatan pelat 1 arah	87
58.	Denah letak struktur balok BI1	91
59.	Denah struktur kolom gedung Model 1 dan 2	97
60.	Nomogram faktor panjang efektif untuk portal bergoyang	100
61.	Diagram Interaksi Kolom P-M kolom K1	106
62.	Penulangan kolom K1.....	107
63.	Diagram tegangan-regangan ketika nilai $c > c_b$	108
64.	Diagram tegangan-regangan ketika nilai $c = c_b$	109
65.	Diagram tegangan-regangan ketika $c < c_b$	110
66.	Diagram kontrol kekuatan tulangan kolom K1	112
67.	Tulangan terpasang pada balok BI5 tumpuan kiri	114
68.	Panjang balok BI5.....	114
69.	Nilai gaya geser balok BI5 pada jarak 0m dan 3m.....	114
70.	Desain tulangan sengkang pada balok BI5.....	119
71.	Desain tulangan torsi memanjang pada Balok BI5.....	120
72.	Pembagian area tulangan	125
73.	Diagram momen lentur balok BI1 gedung Model 1 lantai 1	130
74.	Diagram momen lentur balok BI1 gedung Model 2 lantai 1	130
75.	Gaya geser yang terjadi pada balok BI1 gedung Model 1	131
76.	Gaya geser yang terjadi pada balok BI1 gedung Model 2.....	131
77.	Momen torsi yang terjadi pada balok BI1 gedung Model 1	132
78.	Momen torsi yang terjadi pada balok BI1 gedung Model 2	132
79.	Gaya aksial yang terjadi pada kolom K2 gedung Model 1.....	132
80.	Gaya aksial yang terjadi pada kolom K2 gedung Model 2.....	133

BAB I PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Maraknya pembangunan gedung tinggi bertingkat di Indonesia dewasa ini tidak dapat dipungkiri lagi. Dalam perkembangannya, gedung-gedung bertingkat tersebut memiliki bentuk dan konstruksi struktur yang bervariasi melihat dari kemajuan teknologi, nilai ekonomi, kondisi lahan, perkembangan desain arsitektural, dan keinginan konsumen. Variasi desain bentuk dan konstruksi dari struktur gedung lebih cenderung dipengaruhi oleh keinginan konsumen yang menginginkan gedung tersebut memiliki nilai estetika dalam hal arsitektural. Dalam memenuhi tuntutan estetika secara arsitektural dari konsumen tersebut, tak jarang arsitek membuat desain arsitektural atau bentuk gedung yang unik. Sebagai contoh gedung Menara Palma yang berlokasi di Jakarta Selatan yang memiliki dua sisi miring yang membentuk menyerupai huruf "A". (Lihat Gambar 1)

Hal ini mengharuskan seorang perencana struktur gedung bertingkat mampu untuk mendesain struktur gedung bertingkat tersebut dengan berbagai kondisi dan bentuk. Sehingga penulis mencoba membuat sebuah analisis struktur gedung bertingkat dengan desain arsitektural yang tidak lazim yaitu desain gedung yang menggunakan kolom miring pada seluruh struktur kolom

utamanya dengan lokasi rencana berada wilayah kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan. Analisis dan desain mengenai kolom miring ini sudah pernah dilakukan oleh beberapa penulis sebagai tugas akhir perkuliahan Strata-1 dengan variasi sudut kemiringan kolom terhadap tanah dasar sebesar 45° , 81° , 86° , dan 85° . Pada skripsi ini penulis mencoba mendesain dengan sudut kemiringan 80° pada seluruh kolom utama desain gedung.

Dikarenakan gedung direncanakan dibangun di wilayah Indonesia, maka gedung tersebut harus memiliki ketahanan terhadap bencana gempa bumi. Hal ini didasari dari letak Indonesia yang berada di antara tiga lempeng bumi yang masih aktif, yaitu Lempeng Samudra Pasifik, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Eurasia yang sangat mempengaruhi aktifitas tanah dan batuan di bawah bangunan yang akan dibangun. Pada skripsi ini, penulis merencanakan sistem ketahanan gedung terhadap beban gempa menggunakan sistem struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) yang biasa digunakan untuk gedung wilayah resiko gempa rendah.



Gambar 1. Gedung Menara Palma

(Sumber: <http://old.ipapa.co.id/id/building/detail/menara-palma-12>. Diakses 15 September 2017)

B. RUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah yang didapat dari latar belakang yang sudah dijabarkan sebelumnya yaitu bagaimana perilaku elemen struktur beton bertulang pada gedung bertingkat yang memiliki kolom miring dengan sistem penahan beban gempa berupa Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB).

C. TUJUAN PENELITIAN

Adapun beberapa tujuan dari penyusunan skripsi ini, yaitu:

1. Menganalisis perilaku gaya dalam pada elemen struktur gedung yang memiliki kolom miring beton bertulang yang diberi beban gempa wilayah kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan menggunakan *software Structural Program*.
2. Mendesain elemen struktur balok, pelat lantai, dan kolom pada gedung yang memiliki kolom miring dengan menggunakan syarat-syarat/aturan dari sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB).
3. Membandingkan jumlah kebutuhan tulangan yang dibutuhkan antara desain gedung yang menggunakan kolom miring dengan gedung yang menggunakan kolom tidak miring/tegak.

D. BATASAN MASALAH

Batasan-batasan masalah pada penulisan skripsi ini yaitu:

1. Derajat kemiringan yang digunakan pada desain gedung sebesar 80° (10° terhadap sumbu tegak).

2. Bangunan desain gedung berada di kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan, Indonesia.
3. Material struktur pada gedung yang digunakan adalah material beton bertulang.
4. Jumlah lantai pada bangunan yang ditinjau yaitu 5 lantai.
5. Struktur bangunan yang ditinjau adalah struktur atas pada gedung berupa kolom, balok, dan pelat lantai.
6. Analisis gaya gempa yang digunakan berupa analisis respons spektrum menggunakan standar desain dari SNI 1726:2012.
7. Analisis dan desain struktur gedung bertingkat dengan material beton bertulang mengikuti syarat-syarat/aturan dari SNI 2847:2013.
8. Pembebanan pada struktur gedung mengikuti aturan/syarat dari SNI 1727:2013.
9. Analisis gaya dalam dan analisis beban gempa pada gedung menggunakan *software Structural Analysis Program*.
10. Desain penulangan dan perhitungan jumlah kebutuhan tulangan yang dibutuhkan oleh gedung dihitung manual dibantu dengan menggunakan program *Microsoft Excel* dengan data berasal dari hasil analisis SAP2000 versi 14.

E. MANFAAT PENELITIAN

Adapun beberapa manfaat dari penyusunan skripsi ini, yaitu:

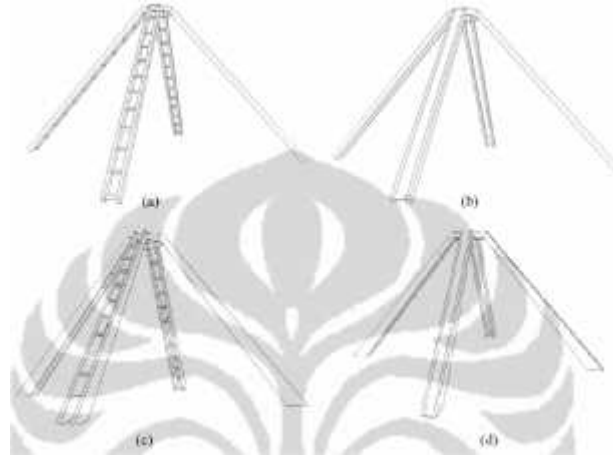
1. Dapat diketahuinya bagaimana perilaku struktur gedung yang menggunakan/memiliki kolom miring sehingga dapat didesain sebaik-baiknya demi keamanan dan kenyamanan penggunaannya.
2. Menjadi referensi dalam mendesain struktur pada gedung bertingkat beton bertulang yang tahan gempa dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) berdasarkan SNI 2847:2013.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. STUDI TERDAHULU

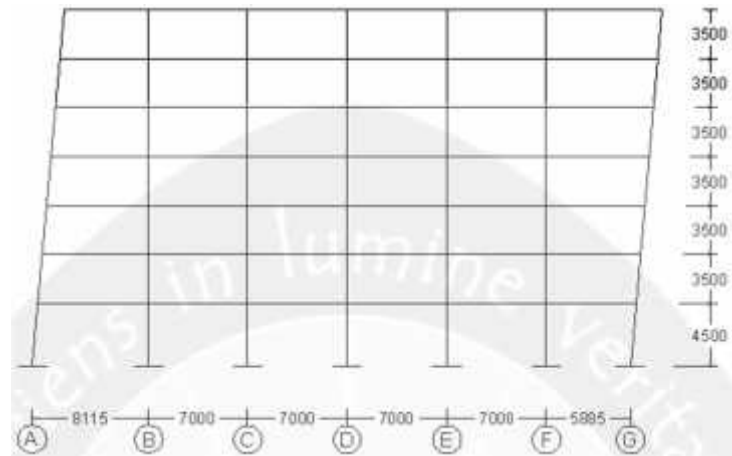
Telah dilakukan analisis dan desain mengenai gedung yang menggunakan kolom miring dengan bentuk dan sudut kemiringan yang beragam diantaranya yang dilakukan oleh Afret Nobel (2012), Budioyono (2012), Meida Iswardhany (2013), dan Kenny Alvian Hartono (2014). Analisis dan desain gedung yang telah dilakukan oleh Afret Nobel (2012) berjudul “*Studi Perilaku Struktur Gedung Dengan Kolom Miring Beton Bertulang Bentang Panjang Terhadap Beban Gempa Studi Kasus Gedung Auditorium Universitas Negeri “X”*” yang bertujuan untuk mengetahui perilaku struktur gedung tersebut apabila diberi beban gempa. Afret Nobel (2012) membuat 4 model gedung berbentuk piramida dengan sudut kemiringan kolom sebesar 45° dengan variabel yang dikenakan yaitu variasi pada bagian penghubung kolom gedung (lihat Gambar 2). 4 model gedung tersebut didesain dan dianalisis menggunakan program SAP VII.0.0 dengan jumlah lantai sebanyak 2 lantai dan berlokasi di wilayah gempa 5 (resiko gempa tinggi). Hasil dari analisis dan desain yang dilakukan oleh Afret Nobel (2012) berupa perbandingan nilai volume beton, berat tulangan, dan *displacement* pada puncak bangunan.



Gambar 2. Permodelan 4 varian struktur gedung oleh Afret Nobel (2012)
(Sumber: Skripsi Afret Nobel (2012) hal.36)

Budiyono (2012) membuat analisis dan desain gedung dengan bentuk yang hampir sama dengan yang pernah didesain oleh Afret Nobel (2012) (lihat Gambar 3) dengan judul “*Optimalisasi Kolom Miring pada Gedung Berbentuk Piramida Terbalik di Wilayah Gempa 1 dan 3*”. Analisis dan desain ini bertujuan untuk menganalisis gedung dengan bentuk piramida terbalik terpancung dan mengkaji ukuran kolom optimum untuk masing-masing tingkat dan mengkaji ketahanan struktur yang dimiliki gedung. Budiyono (2012) membuat 2 model gedung berbentuk piramida terbalik berlantai 5 (lihat Gambar. 3) dengan sudut kemiringan pada pada kolom ujung dan tepinya sebesar 81° (9° terhadap sudut vertikal) dan kolom pada area tengah tidak miring/tegak. Variasi yang digunakan untuk analisis pada skripsi yang dikerjakan oleh Budiyono (2012) ini berupa pilihan wilayah gempa yang dipakai yaitu wilayah gempa 1 dan 3. Dua model gedung yang didesain Budiyono (2012) dianalisis dan didesain menggunakan program ETABS. Hasil yang didapat dari analisis dan desain yang telah dilakukan Budiyono (2012) adalah ukuran tebal desain pelat, dimensi balok optimum,

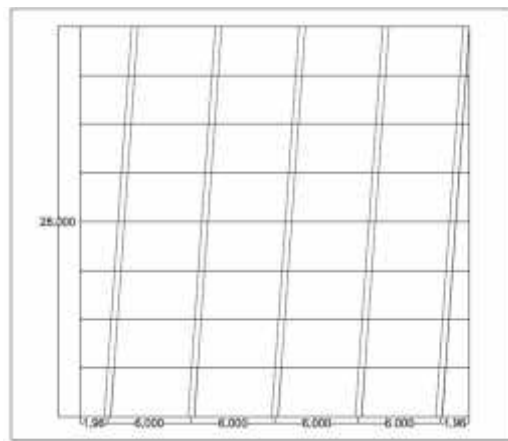
yang memiliki kolom miring memiliki nilai momen yang lebih besar dibandingkan dengan gedung dengan kolom tegak yang mengakibatkan perbesaran dimensi pada gedung yang memiliki kolom miring, kinerja struktur pada gedung berada diantara *Life Safety* (LS) dan *Collapse Prevention* (CP), dan penulangan elemen struktur gedung.



Gambar 4. Permodelan gedung oleh Meida I. (2013)
(Sumber: Skripsi Meida I. (2013) hal. 5)

Kenny Alvian Hartono (2014) juga membuat analisis dan desain gedung dengan tujuan yang sama dengan Afret Nobel (2012) dan Meida Iswardhany (2013) dengan judul “*Analisis dan Desain Bangunan Beton Bertulang 8 Tingkat dengan Kolom Miring*”. Kenny Alvian Hartono (2014) membuat 2 model gedung dengan variasi sudut kemiringan pada struktur kolom gedung yaitu Model 1 memiliki kemiringan sebesar 86° (4° terhadap sumbu vertikal) dan Model 2 sebesar 0° dari sumbu tegak. Kedua model gedung tersebut didesain dan dianalisis menggunakan program *ETABS* dengan sistem struktur SRPMK sebagai acuan desain. Model gedung yang didesain oleh Kenny Alvian Hartono (2014) ini memiliki spesifikasi jumlah lantai sebanyak 8 lantai, berlokasi di kota Bandung, dan rangka portal yang saling menyilang

untuk portal yang sama sisi (lihat Gambar 5). Hasil yang didapat dari analisis dan desain yang telah dilakukan Kenny Alvian Hartono (2014) adalah perilaku struktur yang terjadi pada gedung dengan kolom miring lebih baik dibandingkan dengan kolom tegak melihat dari rotasi yang terjadi pada kedua bangunan, pengaruh *P-delta effect* pada gedung dengan kolom miring lebih besar dibandingkan dengan kolom tegak, pembentukan sendi plastis pertama muncul pada balok (syarat SRPMK), dan *Performance Level* pada gedung dengan kolom miring adalah *life safety*.



Gambar 5. Permodelan gedung oleh Kenny A. H. (2014)
(Sumber: Skripsi Kenny A. H. (2014) hal. 3)

B. SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) adalah struktur rangka ruang yang memikul beban gravitasi dan lateral dimana beban lateral (beban gempa) dipikul melalui mekanisme lentur pada setiap elemen struktur tersebut yang membuat struktur ini memiliki ketentuan-ketentuan dalam *detailing*. Sistem Rangka Pemikul Momen ini dalam SNI 2847:2013 Pasal 21.1.1.2 dibagi

menjadi 3 jenis berdasarkan Kategori Desain Seismik (KDS) yang dimiliki struktur tersebut yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB),
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Pembagian kategori tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Persyaratan desain struktur beton bertulang yang memikul beban Gempa

Komponen yang menahan pengaruh gempa, kecuali jika sebaliknya diberitahu	Kategori Desain Seismik			
	A (Tidak ada)	B (21.1.1.4)	C (21.1.1.5)	D,E,F (21.1.1.6)
Persyaratan analisis dan desain	Tidak ada	21.1.2	21.1.2	21.1.2, 21.1.3
Material		Tidak ada	Tidak ada	21.1.4-21.1.7
Komponen struktur rangka		21.2	21.3	21.5, 21.6, 21.7, 21.8
Dinding struktur dan balok kopel		Tidak ada	Tidak ada	21.9
Dinding struktur pracetak		Tidak ada	21.4	21.4, 21.10
Diafragma struktur dan rangka batang (<i>trusses</i>)		Tidak ada	Tidak ada	21.11
Fondasi		Tidak ada	Tidak ada	21.12
Komponen struktur rangka tidak diproporsikan untuk menahan gaya yang ditimbulkan oleh pergerakan gempa		Tidak ada	Tidak ada	21.13
Angkur		Tidak ada	21.1.8	21.1.8
*Sebagai tambahan pada persyaratan Pasal 1 sampai 19, kecuali seperti dimodifikasi oleh Pasal 21. Sub Pasal 22.10 juga berlaku dalam KDS D, E, dan F. *Seperti diizinkan oleh tata cara bangunan umum yang diadopsi secara legal dimana Standar ini merupakan bagiannya.				

(Sumber: SNI 2847:2013 hal. 177)

Disimpulkan dari Tabel 1 diatas bahwa SRPMB digunakan pada struktur kategori KDS B dengan tingkat kegempaan rendah, SRPMM digunakan pada struktur kategori KDS C dengan tingkat kegempaan menengah, dan SRPMK digunakan pada struktur kategori KDS D, E, F dengan resiko gempa tinggi.

C. DESAIN GEDUNG BERTINGKAT BETON BERTULANG DENGAN SRPMB BERDASARKAN SNI 2847:2013

Aturan/syarat desain dalam SNI 2847:2013 yang digunakan untuk mendesain gedung beton bertulang dengan sistem struktur SRPMB adalah Pasal 21. Pasal 21 SNI 2847:2013 ini mensyaratkan beberapa ketentuan dalam mendesain sebuah gedung bertingkat beton bertulang dengan sistem struktur gedung SRPMB sebagai berikut:

1. Pasal 21.2.2 mensyaratkan bahwa elemen struktur balok harus memiliki paling sedikit dua batang tulangan longitudinal yang menerus sepanjang muka atas dan bawah. Tulangan longitudinal ini harus disalurkan pada muka tumpuan.
2. Pasal 21.2.3 mensyaratkan bahwa elemen struktur kolom yang mempunyai tinggi bersih kurang dari atau sama dengan lima kali dimensi c_l harus didesain untuk geser sesuai dengan Pasal 21.3.3.2 SNI 2847:2013, yaitu V_n kolom yang menahan pengaruh gempa (E), tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari:
 - a. Geser yang terkait dengan pengembangan kekuatan momen nominal kolom pada setiap ujung terkekang dari panjang yang tak tertumpu akibat lentur kurvatur balik. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi.
 - b. Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan E , dengan E ditingkatkan oleh ϕ .

D. DESAIN STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG

Struktur beton bertulang lebih sering digunakan dibandingkan dengan jenis struktur lainnya. Hal ini dikarenakan material beton bertulang memiliki kuat tekan yang tinggi dengan umur layan yang panjang dan biaya perawatan yang rendah. Untuk beberapa tipe struktur, material beton bertulang merupakan pilihan yang paling ekonomis. Pemasangan struktur beton bertulang ini dibagi menjadi 2 yaitu *precast* atau dicor ditempat. Apabila pemasangan struktur gedung yang digunakan adalah metode pengecoran, maka struktur gedung beton bertulang tersebut bersifat monolit. Dengan sifat monolit ini gedung beton bertulang tersebut menjadi sebuah struktur yang kaku yang dapat berguna dalam menahan beban gempa. Struktur gedung terdiri atas 2 bagian yaitu struktur atas (*upperstructure*) dan struktur bawah (*substructure*). Pada skripsi ini bagian struktur yang akan dianalisis dan didesain yaitu bagian struktur atas yang terdiri dari balok, kolom, dan pelat lantai. Desain yang dilakukan berupa penentuan besar dimensi struktur kemudian dilanjutkan dengan penulangan lentur dan sengkang.

1. Balok

Balok beton bertulang merupakan salah satu dari komponen struktur yang berfungsi menyalurkan beban-beban dari pelat ke kolom yang pada akhirnya oleh kolom disalurkan ke pondasi. Pada umumnya balok beton bertulang dicor secara monolit dengan pelat dan secara struktural ditulangi tunggal atau ganda. Akibat dicor secara monolit dengan pelat, maka balok memiliki penampang persegi, T, dan L. Desain dimensi awal

dan penulangan lentur pada komponen struktur balok adalah sebagai berikut:

a. Dimensi awal balok

Desain dimensi awal b_w dan h pada struktur balok pertama-tama penampang balok diasumsikan sebagai balok persegi. Untuk nilai h_{min} balok dapat ditentukan menggunakan rumus pendekatan pada Tabel 2 (Tabel 9.5.(a) SNI 2847:2013) tanpa memperhitungkan nilai lendutan. Sedangkan nilai b_w balok diambil $2/3$ dari nilai h_{min} atau $h_{rencana}$. Kemudian apabila nilai dimensi balok yang diasumsikan sebagai balok persegi sudah didapatkan, maka balok lainnya yang merupakan balok T dan L dapat ditentukan lebar *flens*/sayap-nya. Penentuan lebar sayap efektif (b_e) pada balok T dan L ditentukan berdasarkan Pasal 8.12 SNI2847:2013 yang dijabarkan sebagai berikut:

1) Untuk penampang balok L nilai b_e harus kurang dari:

$$b_e \leq b_w + (l_n/2) \quad (\text{Pers. 2.1})$$

$$b_e \leq b_w + 6h_f \quad (\text{Pers 2.2})$$

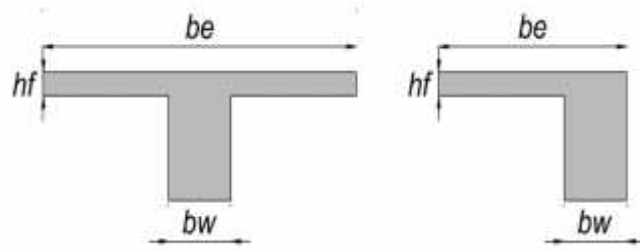
$$b_e \leq b_w + l/12 \quad (\text{Pers. 2.3})$$

2) Untuk penampang balok T nilai b_e harus kurang dari:

$$b_e \leq b_w + 2(l_n/2) \quad (\text{Pers. 2.4})$$

$$b_e \leq b_w + 2(8h_f) \quad (\text{Pers. 2.5})$$

$$b_e \leq b_w + l/4 \quad (\text{Pers. 2.6})$$



Gambar 6. Penampang balok T dan balok L

dimana:

l_n = jarak bersih antara dua badan balok yang berdekatan

l = panjang bentang balok

Tabel 2. Tebal minimum balok non-prategang atau pelat satu-arah

Komponen Struktur	Tebal minimum, h			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu-arah	1/20	1/24	1/28	1/10
Balok atau pelat rusuk satu-arah	1/16	1/18,5	1/21	1/8

CATATAN:
 (a) Panjang bentang dalam mm.
 (b) Untuk f_y selain 420MPa, nilainya harus dikali dengan $(0,4+f_y/700)$

(Sumber : SNI 2847:2013 hal. 70)

b. Penulangan Lentur Balok

Desain tulangan lentur balok harus ditentukan terlebih dahulu apakah balok tersebut termasuk dalam balok penampang T/L atau penampang persegi. Hal ini dapat ditentukan dengan cara menghitung nilai a apakah lebih besar atau kecil dari tebal pelat (h_f). Apabila $a > h_f$ maka termasuk dalam jenis penampang balok T/L dan sebaliknya. Untuk mendesain penulangan balok digunakan persamaan-persamaan rumus berikut ini:

$$M_n = M_u / \phi \quad (\text{Pers. 2.7})$$

$$M_n = \phi A_s f_y (d - a/2) \quad (\text{Pers. 2.8})$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \quad (\text{Pers. 2.9})$$

$$= \frac{0,85 \cdot f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 \cdot f_c}} \right) \quad (\text{Pers. 2.10})$$

$$\min = \frac{1,4}{f_y} \quad (\text{Pers. 2.11})$$

$$b = 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (\text{Pers. 2.12})$$

$$A_{smin} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w \cdot d \quad (\text{Pers. 2.13})$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (\text{Pers. 2.14})$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} \quad (\text{Pers. 2.15})$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} \quad (\text{Pers. 2.16})$$

$$t = \left(\frac{d-c}{c} \right) \times 0,003 \quad (\text{Pers. 2.17})$$

$$s_{min} = \frac{bw - 2 \cdot \text{decking} - 2 \cdot \text{tul.sengakang} - n \cdot \text{tul.utama}}{n-1} \geq 25\text{mm} \quad (\text{Pers. 2.18})$$

Keterangan:

M_n = kuat momen desain penampang (MPa)

= faktor reduksi kekuatan (berdasarkan SNI2847:2013 Pasal

9.3.2 nilai untuk penampang terkendali tarik = 0,9;

penampang terkendali tekan = 0,65; geser dan puntir = 0,75)

M_u = momen terfaktor penampang (MPa)

= rasio luas tulangan terhadap luas penampang

β_1 = faktor yang menghubungkan tinggi blok tegangan tekan

persegi ekuivalen dengan tinggi sumbu netral (berdasarkan

Pasal 10.2.7.3 SNI 2847:2013 nilai $\beta_1 = 0,85$ untuk besar f'_c

berada diantara 17MPa sampai dengan 28MPa, untuk nilai

$f'_c > 28 \text{MPa}$ maka harus dibagi dengan 0,05 setiap pertambahan kelipatan 7MPa dan nilai ρ_1 tidak boleh diambil kurang dari 0,65)

A_s = luas tulangan longitudinal komponen nonprategang (mm^2)

a = tinggi blok tegangan persegi ekuivalen (mm)

c = jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral (mm)

d = jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan (mm)

ϵ_t = regangan tulangan

s = spasi antar tulangan (mm)

2. Kolom

Kolom merupakan bagian dari elemen atau komponen struktur suatu bangunan gedung yang berfungsi sebagai penyalur beban yang berasal dari beban diatas pelat, berat sendiri pelat, dan balok yang kemudian disalurkan ke pondasi. Desain dimensi awal dan penulangan struktur adalah sebagai berikut:

a. Dimensi awal kolom

Desain dimensi dilakukan dengan metode pembebanan dimana kolom mendapat beban aksial terfaktor dari lantai dan komponen struktur lainnya yang memiliki bentang terdekat pada kolom (*tributary area*). Dari beban aksial terfaktor tersebut dengan menggunakan Persamaan 2.19 maka akan didapatkan nilai dimensi awal kolom.

$$P_n = 0,80 [0,85f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (\text{Pers. 2.19})$$

dimana nilai A_{st} kolom tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih dari $0,08A_g$. (SNI 2847:2013 Pasal 10.9.1)

Keterangan:

= 0,65 untuk sengkang persegi dan 0,75 untuk sengkang spiral

A_g = luas total penampang kolom (mm^2)

A_{st} = luas total tulangan memanjang (mm^2)

b. Penulangan Kolom

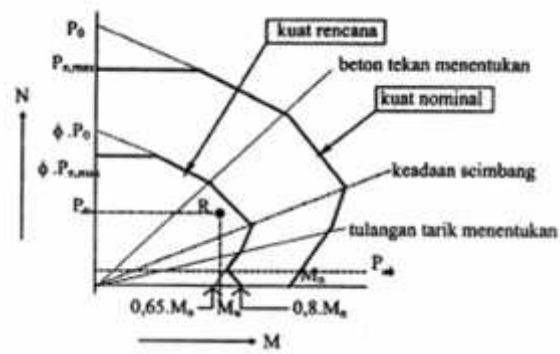
Desain penulangan kolom harus ditentukan terlebih dahulu apakah kolom tersebut termasuk dalam jenis kolom pendek atau panjang. Suatu kolom dinyatakan sebagai kolom pendek apabila memenuhi persyaratan Pasal 10.10.1 SNI2847:2013 (untuk elemen struktur yang tidak dibresing terhadap goyangan menyamping yaitu:

$$k.l_u/r \leq 22 \quad (\text{Pers. 2.20})$$

Kemudian, untuk perencanaan penulangan memanjang/longitudinal pada kolom, menurut Ali Asroni (2010) dapat digunakan beberapa cara, yaitu:

- 1) perencanaan dengan menggunakan diagram,
- 2) perencanaan dengan membuat diagram interaksi, dan
- 3) perencanaan dengan cara analisis.

Pada skripsi ini, perencanaan penulangan longitudinal kolom menggunakan metode perencanaan dengan membuat diagram interaksi. Dalam metode ini, beban yang bekerja pada kolom berupa kombinasi antara beban aksial dan momen lentur.



Gambar 7. Contoh Diagram Interaksi Kolom
(Sumber: Buku ajar Ali Asroni (2010) hal.19)

Langkah-langkah yang dilakukan dalam mendesain penulangan longitudinal kolom dengan metode diagram interaksi adalah sebagai berikut:

- 1) Menghitung nilai P_n dan M_n berdasarkan 5 kondisi beban, yaitu:
 - Beban sentris
 - Beton tekan menentukan
 - Keadaan seimbang
 - Tulangan tarik menentukan
 - Beban $P = 0$
- 2) Menghitung nilai Q menggunakan Persamaan 2.21 dan nilai R menggunakan Persamaan 2.22 untuk setiap hasil hitungan P_n dan M_n (dengan 5 kondisi beban pada poin 1 diatas), kemudian diplotkan ke dalam bentuk diagram untuk $\gamma_1 = 1\%$.

$$Q = \frac{\phi P_n}{f_c \cdot b \cdot h} \quad (\text{Pers. 2.21})$$

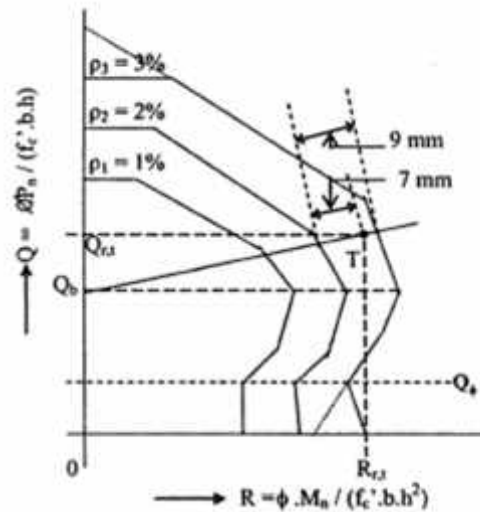
$$R = \frac{\phi M_n}{f_c \cdot b \cdot h^2} \quad (\text{Pers. 2.22})$$

Keterangan:

Q = sumbu vertikal pada diagram interaksi kolom tanpa satuan

R = sumbu horisontal pada diagram interaksi kolom tanpa satuan

- 3) Mengulang proses hitungan pada poin 1) dan 2) untuk rasio tulangan $\rho_2 = 2\%$ dan $\rho_3 = 3\%$ sehingga diperoleh diagram interaksi kolom kuat rencana tanpa satuan seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram Interaksi Kuantitas Rencana Kolom Tanpa Satuan
(Sumber: Buku ajar Ali Asroni (2010) hal.47)

- 4) Dengan nilai beban aksial yang terjadi pada kolom, P_u dihitung nilai Q_r menggunakan Persamaan 2.23 dan diplotkan ke diagram Gambar 8, kemudian dibuat garis horisontal melalui nilai Q_r tersebut

$$Q_r = \frac{\phi P_u}{f'_c \cdot b \cdot h} \quad (\text{Pers. 2.23})$$

- 5) Dengan momen lentur yang terjadi pada kolom, M_u dihitung nilai R_r dengan menggunakan Persamaan 2.24 dan diplotkan ke diagram Gambar 8, kemudian dibuat garis vertikal melalui nilai R_r tersebut, sehingga memotong garis horisontal dari Q_r pada titik T (misalnya titik T berada diantara kurva ρ_2 dan ρ_3).

$$R_r = \frac{\phi M_u}{f'_c \cdot b \cdot h^2} \quad (\text{Pers. 2.24})$$

- 6) Jika titik T di bawah Q_b , dibuat garis horisontal melalui titik T. Namun jika titik T diatas Q_b , dibuat garis melalui titik T menuju ke titik Q_b . Pada Gambar 8 ini dimisalkan titik T diatas Q_b , sehingga dibuat garis dari titik T menuju ke Q_b .
- 7) Dengan penggaris, diukur jarak antara kurva ρ_2 dan titik T (misalnya 7mm), serta jarak antara kurva ρ_2 dan kurva ρ_3 (misalnya 9mm).
- 8) Jadi diperoleh $\rho_t = \rho_2 + (7/9)\% = 2\% + 0,78\% = 2,78\%$.
- 9) Dihitung luas tulangan total yang diperlukan (A_{st}) dengan rumus dari Persamaan 2.14.
- 10) Proses selanjutnya dihitung jumlah tulangan kolom (n) dengan rumus:

$$n = A_{st} / (1/4 \cdot \pi \cdot D^2) \quad (\text{Pers. 2.25})$$
 (dengan n dibulatkan ke atas dan genap)

3. Pelat

Pelat beton bertulang merupakan sebuah struktur yang dibuat untuk keperluan seperti lantai bangunan, atap dan sebagainya dengan bidang permukaan yang arahnya horisontal. Pada struktur pelat ini beban bekerja secara tegak lurus dan disalurkan pada dinding, balok, kolom, atau tanah karena letaknya yang dapat ditumpu oleh dinding, balok, kolom, atau dapat juga terletak langsung di atas tanah (*slab on ground*). Ketebalan bidang (h) untuk pelat beton bertulang ini sendiri relatif sangat kecil bila dibandingkan dengan bentang panjang/lebarnya. Pelat beton bertulang dibagi menjadi 2 kategori berdasarkan perbandingan panjang

antara bentang panjang (l_x) terhadap bentang pendek (l_y). Apabila nilai perbandingan bentang panjang terhadap bentang pendek adalah lebih atau sama dengan dua maka pelat tersebut dikategorikan sebagai pelat satu arah dan apabila kurang dianggap sebagai pelat dua arah.

a. Pelat 1 arah

Desain tebal pelat (h) satu arah digunakan acuan desain SNI 2847:2013 Pasal 9.5.2.1 yaitu tebal minimum (h_{min}) pelat satu arah tanpa menghitung terjadinya lendutan ditentukan yang dapat dilihat pada Tabel 2 (lihat hal. 15). Setelah diketahui tebal minimum pelat yang digunakan, maka dapat dihitung total beban yang bekerja pada pelat (q_u). Nilai ini kemudian digunakan untuk mencari nilai momen dan geser pada pelat dengan dikalikan nilai koefisien yang ada dalam Pasal 8.3.3 SNI 2847:2013 (nilai momen pendekatan). Dalam mendesain penulangan lentur pada pelat satu arah dapat digunakan rumus yang sama dengan perhitungan penulangan lentur balok tunggal pada balok persegi.

b. Pelat 2 arah

Desain ketebalan minimum (h_{min}) pelat 2 arah digunakan acuan/syarat desain Pasal 9.5.3 SNI 2847:2013 sebagai berikut:

$$1) \text{ Untuk } 0,2 < f_m < 2,0 \text{ maka, } h_{min} = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta(\alpha f_m - 0,2)} \quad (\text{Pers. 2.26})$$

namun tidak boleh kurang dari 125 mm.

$$2) \text{ Untuk } f_m > 2,0 \text{ maka, } h_{min} = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \quad (\text{Pers.2.27})$$

namun tidak boleh kurang dari 90 mm.

- 3) Untuk $f_m < 2,0$ maka nilai h = ketebalan minimum pelat tanpa balok (lihat Tabel 3).

Tabel 3. Tebal minimum pelat dua arah tanpa balok interior

Tegangan leleh, f_y MPa ^a	Tanpa penebalan ^b			Dengan penebalan ^b		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ^c		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ^c	
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	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$

Untuk konstruksi dua arah, l_n adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.

a. Untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.

b. Panel drop didefinisikan dalam 13.2.5.

c. Pelat dengan balok diantara kolom kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

(Sumber : SNI 2847:2013 hal.72)

Jarak tulangan susut suhu yang dibutuhkan untuk stuktur pelat yang telah didesain, dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (per 1000mm lebar pelat):

$$s = (1000 \times A_b) / A_s \quad (\text{Pers. 2.28})$$

dimana :

s = jarak antar tulangan susut suhu

A_b = luas tulangan susut suhu yang digunakan

E. DESAIN BETON BERTULANG TERHADAP GAYA GESER

Suatu sistem rangka struktur yang dibangun monolit sangat rentan terjadi kegagalan geser, sehingga dalam merencanakan suatu konstruksi beton bertulang perhitungan penulangan terhadap gaya geser sangat dianjurkan. Nilai kekuatan geser desain yang sudah dikalikan dengan faktor reduksi harus

lebih besar dari nilai gaya geser ultimit yang didapat dari pembebanan pada struktur tersebut.

$$V_n \geq V_u \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 11.1.1)} \quad \text{(Pers. 2.29)}$$

dimana nilai V_n diperoleh dari,

$$V_n = V_c + V_s \quad \text{(Pers. 2.30)}$$

Keterangan:

V_c = kekuatan geser yang dihasilkan oleh beton

V_s = kekuatan geser yang dihasilkan oleh tulangan geser

Apabila nilai gaya geser ultimit (V_u) lebih besar dari kekuatan geser yang dimiliki beton (V_c) dikalikan dengan faktor reduksi () maka diperlukan tulangan geser (SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.1)

$$V_u > V_c \quad \text{(Pers. 2.31)}$$

dengan nilai V_c :

1. Apabila komponen struktur hanya dikenai gaya geser dan lentur saja:

$$V_c = 0,17 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d \quad \text{(Pers. 2.32)}$$

2. Apabila komponen struktur dikenai juga beban aksial:

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g} \right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d \quad \text{(Pers.2.33)}$$

dimana, nilai N_u/A_g dinyatakan dalam satuan MPa dan nilai $\lambda = 1,0$ untuk beton normal. Apabila elemen struktur gedung mengalami beban tarik aksial yang cukup besar, maka besar nilai V_c harus sama dengan nol.

Desain penulangan geser berdasarkan SNI 2847:2013 memiliki beberapa hal yang harus diperhatikan sebagai berikut:

1. Menentukan kekuatan geser yang dihasilkan oleh tulangan geser (V_s) menggunakan rumus:

$$V_s = (A_v \cdot f_{yt} \cdot d) / s \quad (\text{Pers. 2.34})$$

dan nilai diatas V_s tidak boleh melebihi dari nilai $0,66 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$ dimana

A_v = luas tulangan geser yang berada di area spasi tulangan (s)

2. Menentukan jarak/spasi maksimum tulangan geser (s) menggunakan rumus:

- a. Apabila nilai $V_s < 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$ maka spasi tulangan geser yang digunakan adalah:

- 1) $s = (A_v \cdot f_{yt} \cdot d) / V_s$ (Pers. 2.35)

- 2) $s = d/2$ (Pers. 2.36)

- 3) $s \leq 600\text{mm}$ (Pers. 2.37)

- b. Apabila nilai $V_s > 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$ maka spasi tulangan geser yang digunakan adalah:

- 1) $s = (A_v \cdot f_{yt} \cdot d) / V_s$ (Pers. 2.38)

- 2) $s = d/4$ (Pers. 2.39)

- 3) $s \leq 300\text{mm}$ (Pers. 2.40)

3. Menentukan luas tulangan geser minimum (A_{vmin}) jika nilai V_u lebih besar daripada $\frac{1}{2} \cdot V_c$ menggunakan rumus (SNI 2847:2013 Pasal 11.4.6.1):

$$A_{vmin} = 0,062 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot (b_w \cdot s / f_{yt}) \quad (\text{Pers. 2.41})$$

dan tidak boleh kurang dari $(0,35 \cdot b_w \cdot s) / f_{yt}$.

F. DESAIN BETON BERTULANG TERHADAP MOMEN TORSI

Desain penulangan torsi baik tulangan longitudinal maupun transversal digunakan acuan/syarat desain berdasarkan pasal-pasal yang ada dalam SNI 2847:2013 sebagai berikut:

1. Pasal 11.5.1 yaitu momen torsi dapat diabaikan apabila nilai momen torsi terfaktor akibat pembebanan, T_u kurang dari:

$$.0,083 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (\text{Pers. 2.42})$$

Keterangan:

P_{cp} = keliling luar penampang beton (mm)

A_{cp} = luas penampang beton (mm²)

2. Pasal 11.5.3.1 dalam mengecek kekuatan dimensi penampang untuk penampang solid harus menggunakan rumus:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left(\frac{P_h T_u}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'_c} \right) \quad (\text{Pers. 2.43})$$

3. Pasal 11.5.3.6 untuk mendapatkan nilai T_n harus menggunakan rumus:

$$T_n = \frac{2 A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta \quad (\text{Pers. 2.44})$$

dimana nilai T_n harus lebih besar dari atau sama dengan T_u dan nilai A_o boleh diambil $0,85 A_{oh}$

4. Pasal 11.5.5.3 luas minimum tulangan longitudinal untuk menahan torsi, A_{lmin} ditentukan dengan rumus:

$$A_{lmin} = \frac{0,42 \sqrt{f'_c} A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s} \right) \cdot P_h \cdot \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \quad (\text{Pers. 2.45})$$

dimana $\frac{A_t}{s}$ tidak boleh bernilai kurang dari $0,175 b_w / f_{yt}$.

5. Pasal 11.5.3.7 untuk mendapatkan luas tulangan longitudinal untuk menahan torsi, A_l menggunakan rumus:

$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot P_h \cdot \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cdot \cot^2 \Theta \quad (\text{Pers. 2.46})$$

6. Pasal 11.5.5.2 untuk mendapatkan luas tulangan transversal untuk menahan torsi, dihitung menggunakan rumus:

$$(A_v + 2A_t) = 0,062 \cdot \sqrt{f_c} \cdot \frac{s \cdot b_w}{f_{yt}} \quad (\text{Pers. 2.47})$$

tetapi tidak boleh kurang dari $\frac{0,35 \cdot s \cdot b_w}{f_{yt}}$

7. Pasal 11.5.6.1 mensyaratkan besar spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi $P_h/8$ atau 300mm.
8. Pasal 11.5.6.2 mensyaratkan diameter tulangan torsi longitudinal paling sedikit 0,042 kali dari spasi sengkang (tulangan transversal) dan tidak kurang dari 10mm.

G. GEMPA BUMI

1. Definisi Gempa Bumi

Gempa bumi didefinisikan sebagai getaran yang bersifat alamiah, yang terjadi pada lokasi tertentu, dan sifatnya tidak berkelanjutan. Gempa bumi biasa disebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi) secara tiba-tiba (*sudden slip*). Pergeseran secara tiba-tiba terjadi karena adanya sumber gaya (*force*) sebagai penyebabnya, baik bersumber dari alam maupun dari bantuan manusia (*artificial earthquakes*). Selain disebabkan oleh *sudden slip*, getaran pada bumi juga bisa disebabkan oleh gejala lain yang sifatnya lebih halus atau berupa getaran kecil-kecil yang

sulit dirasakan manusia. Contoh getaran kecil adalah getaran yang disebabkan oleh lalu lintas, mobil, kereta api, tiupan angin pada pohon dan lain-lain. Getaran seperti ini dikelompokkan sebagai mikroseismisitas (getaran sangat kecil). (Suharjanto, 2013)

2. Gempa Bumi di Indonesia

Gempa bumi di Indonesia apabila menilik dari letak Indonesia ini sendiri yang dikelilingi oleh tiga lempeng raksasa yaitu Lempeng Samudra Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan lempeng Samudra Pasifik maka resiko gempa bumi yang terjadi adalah tinggi. Akibat dari gempa bumi yang terjadi dapat berupa korban jiwa, kerugian materiil, kerusakan infrastruktur juga lingkungan hidup (seperti pohon tumbang). Sehingga, dalam perencanaan struktur bangunan gedung di Indonesia harus direncanakan untuk mampu menahan beban yang ditimbulkan oleh terjadinya gempa bumi agar tidak terjadi kerugian-kerugian yang sudah disebutkan sebelumnya. Perhitungan dan dasar desain mengenai gempa di Indonesia diatur dalam suatu standar nasional yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI) yang bertujuan agar karakteristik bangunan yang dibangun sesuai dengan kondisi lingkungan yang ada di Indonesia. SNI 1726:2012 tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung merupakan pembaharuan terkini menggantikan peraturan SNI sebelumnya yaitu SNI 1726:2002 tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung.

3. Zonasi Gempa di Indonesia

Peta wilayah gempa yang digunakan pada skripsi ini yaitu Peta Gempa Indonesia 2010 yang merupakan hasil revisi dari peta gempa sebelumnya (Tahun 2002). Pada peta gempa ini, wilayah gempa Indonesia tidak lagi terbagi menjadi 6 wilayah gempa melainkan tiap wilayah di Indonesia dipetakan masing-masing berdasarkan tingkat resiko gempanya. Peta gempa 2010 menggunakan gempa rencana dengan periode ulang 2500 tahun (probabilitas kejadian 2% dalam kurun waktu 50 tahun).

Dalam skripsi ini, analisis Respons Spektrum dihitung dengan menggunakan data dari Peta Gempa Indonesia 2010 dengan percepatan batuan dasar periode pendek 0,2 detik (S_s) dan percepatan batuan dasar untuk periode 1 detik (S_1) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (redaman 5%). Peta untuk S_s dan S_1 ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10. (hal. 33 dan 34)

4. Klasifikasi Situs di Indonesia

Perumusan kriteria analisis gempa yang akan dikenakan pada suatu bangunan di atas permukaan suatu jenis lapisan tanah (situs), maka lapisan tanah tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Klasifikasi jenis tanah ini terbagi menjadi SA , SB , SC , SD , SE , dan SF berdasarkan sifat-sifat lapisan tanah itu sendiri (SNI 1726:2012 Pasal 6.1.2 atau lihat Tabel 4). Data untuk sifat-sifat lapisan tanah tersebut ditentukan dari lapisan tanah 30 meter paling atas. Bila sifat-sifat tanah tidak teridentifikasi secara jelas sehingga tidak bisa ditentukan kelas situs-nya, maka kelas situs SE dapat digunakan kecuali jika pemerintah/dinas yang

berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs *SF*.

Tabel 4. Klasifikasi situs/jenis tanah

Kelas situs	v_S rata-rata (m/detik)	$N_{rata-rata}$ atau N_{ch} <i>rata-rata</i>	S_u rata-rata (kPa)
<i>SA</i> (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
<i>SB</i> (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
<i>SC</i> (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥100
<i>SD</i> (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
<i>SE</i> (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $S_u \text{ rata-rata} < 25 \text{ kPa}$		
<i>SF</i> (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3\text{m}$) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5\text{m}$ dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35\text{m}$ dengan $S_u \text{ rata-rata} < 50 \text{ kPa}$		
Catatan : N/A = tidak dapat dipakai			

(Sumber: SNI 1726:2012 Pasal 5.3)

5. Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko bangunan gedung ditentukan berdasarkan jenis pemanfaatan gedung tersebut seperti pada Tabel 5 (SNI 1726:2012 Pasal 4.1.2). Setelah didapat jenis Kategori Risiko gempa yang dimiliki gedung, dapat ditentukan nilai faktor keutamaan gempa, I_e yang dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 5. Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaat	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan berbahaya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan 	IV

(Lanjutan Tabel 5)

Jenis pemanfaat	Kategori risiko
Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk kedalam kategori risiko IV.	IV

(Sumber: SNI 1726:2012 Pasal 4.1.2)

Tabel 6. Faktor keutamaan gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: SNI 1726:2012 Pasal 4.1.2)

6. Kategori Desain Seismik (KDS)

Desain sebuah struktur harus ditetapkan terlebih dahulu memiliki suatu Kategori Desain Seismik (KDS) (SNI 1726:2012 Pasal 6.5). Struktur dengan kategori resiko gempa I, II, atau III dengan nilai S_I lebih besar atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur dengan kategori resiko IV yang memiliki nilai S_I lebih besar atau sama dengan 0,75 ditetapkan sebagai kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya kategori desain seismik-nya ditetapkan berdasarkan kategori resiko gempa, S_{DI} , dan S_{DS} -nya begitu pula dengan

struktur yang memiliki nilai S_I lebih kecil dari 0,75 yang mengacu pada Tabel 6 dan 7 SNI 1726:2012. (Lihat Tabel 7 dan 8)

Tabel 7. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

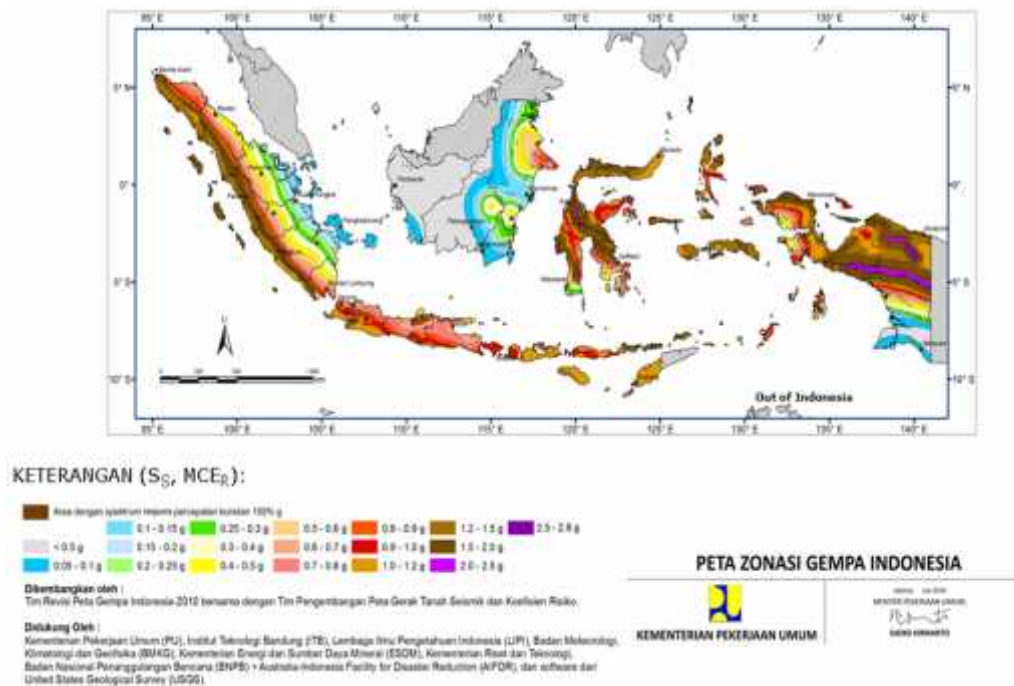
Nilai S_{DS}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2012 Pasal 6.5)

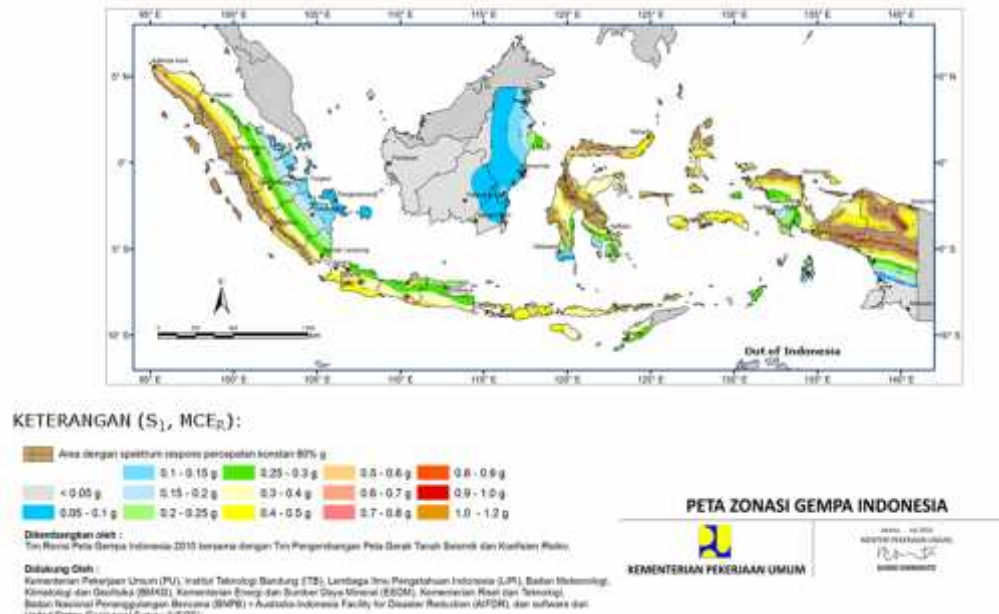
Tabel 8. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2012 Pasal 6.5)



Gambar 9. Peta percepatan batuan dasar periode pendek 0,2 detik (S_G) 2% dalam 50 tahun (Sumber: SNI 1726:2012)



Gambar 10. Peta percepatan batuan dasar periode 1 detik (S_1) 2% dalam 50 tahun
(Sumber: SNI 1726:2012)

H. PEMBEBANAN STRUKTUR

Beban pada gedung beton bertulang berdasarkan SNI 1727:2013 dapat didefinisikan sebagai gaya atau aksi lainnya yang diperoleh dari berat seluruh bahan bangunan itu sendiri, penghuni, barang-barang yang ada di dalam bangunan gedung tersebut yang bersifat permanen atau bergerak, dan efek lingkungan (seperti: angin, hujan, gempa). Dari beban-beban ini dapat didesain kekuatan yang dimiliki gedung dan kebutuhan-kebutuhan desain seperti jumlah kebutuhan tulangan. Dalam skripsi ini terdapat 3 jenis beban yang digunakan yaitu beban mati, beban hidup, dan beban gempa yang akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati merupakan beban pada struktur yang besarnya pasti (berat semua komponen gedung/bangunan itu sendiri) dan bersifat

tetap/permanen selama masa layan struktur tersebut. Beban-beban yang termasuk kedalam beban mati berdasarkan SNI 2847:2013 yaitu seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran.

Tabel 9. Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung

Bahan Bangunan	Berat
Baja	7850 kg/m ³
Beton	2200 kg/m ³
Beton bertulang	2400 kg/m ³
Kayu (kelas I)	1000 kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembab)	1600 kg/m ³
Komponen Gedung	
Spesi dari semen per cm tebal	21 kg/m ²
Dinding pasangan bata merah:	
- satu batu	450 kg/m ²
- setengah batu	250 kg/m ²
Penutup atap genting	50 kg/m ²
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari:	
- semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11 kg/m ²
- kaca, dengan tebal 3-4 mm	10 kg/m ²
Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24 kg/m ²

(Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung, 1983)

2. Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang timbul akibat penggunaan suatu gedung selama masa layan gedung tersebut dan beban lalu lintas pada sebuah jembatan. Beban-beban yang termasuk kedalam beban hidup berdasarkan SNI 2847:2013 yaitu beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk

beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati seperti pada Tabel 10.

Tabel 10. Beban hidup pada lantai gedung

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Sistem lantai akses - Ruang kantor - Ruang komputer	50 (2,4) 100 (4,79)	2000 (8,9) 2000 (8,9)
Ruang pertemuan - Kursi tetap (terikat di lantai) - Lobi - Kursi dapat dipindahkan - Panggung pertemuan - Lantai podium	100 (4,79) 100 (4,79) 100 (4,79) 100 (4,79) 150 (7,18)	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	
Koridor - Lantai pertama - Lantai lain	100 (4,79) Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	
Ruang mesin elevator (pada daerah 2 in.x 2 in. (50 mm x 50 mm))		300 (1,33)
Gedung perkantoran: Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian		
Atap Atap datar, berbubung, dan lengkung Atap yang digunakan untuk taman atap Atap yang digunakan untuk tujuan lain Atap yang digunakan untuk hunian lainnya Awning dan kanopi Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan Rangka tumpu layar penutup	20 (0,96) 100 (4,79) Sama seperti hunian dilayani 5 (0,24) tidak boleh direduksi 5 (0,24) tidak boleh direduksi dan berdasarkan luas tributari dari atap yang ditumpu oleh rangka	200 (0,89)
Semua konstruksi lainnya Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai	20 (0,96)	2000 (8,9)
Semua komponen struktur atap utama lainnya Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		300 (1,33)

(Lanjutan Tabel 10)

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Bak-bak/ <i>scuttles</i> , rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses		200 (0,89)
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	300
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	300
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	

(Sumber : SNI 1727:2013 hal.25)

3. Beban Gempa

Beban gempa adalah beban (dalam arah horizontal) yang bekerja pada suatu struktur akibat pergerakan tanah yang disebabkan adanya gempa bumi yang mempengaruhi struktur tersebut. Terdapat beberapa metode dalam menganalisa besarnya beban gempa yang bekerja pada sebuah struktur gedung. Dalam skripsi ini metode yang digunakan adalah Respons Spektrum.

Spektrum respons adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur T , lawan respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Respon-respon maksimum dapat berupa simpangan maksimum (*Spectral Displacement, S_D*) kecepatan maksimum (*Spectral Velocity, S_V*) atau percepatan maksimum (*Spectral Acceleration, S_A*) massa struktur *single degree of freedom* (SDOF), (Widodo, 2001).

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan faktor

amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{MI}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs (lihat Tabel 4) harus ditentukan dengan perumusan berikut (SNI 1726:2012 Pasal 6.2):

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (\text{Pers. 2.48})$$

$$S_{MI} = F_v S_I \quad (\text{Pers. 2.49})$$

Keterangan:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda pendek

S_I = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda 1,0 detik

Nilai faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v) dapat dilihat pada Tabel 11 dan Tabel 12.

Tabel 11. Koefisien situs F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik (S_s)				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				
Catatan :					
a. Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier					
b. SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat SNI 1726:2012 Pasal 6.10.1					

(Sumber: SNI 1726:2012 hal. 22)

Tabel 12. Koefisien situs F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik (S_I)				
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS^b				
Catatan :					
a. Untuk nilai-nilai antara S_I dapat dilakukan interpolasi linier					
b. SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat SNI 1726:2012 Pasal 6.10.1					

(Sumber: SNI 1726:2012 hal.22)

Spektrum Respons Desain dapat dibentuk setelah menghitung nilai dari parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek S_{DS} dan pada periode 1 detik S_{DI} yang harus ditentukan melalui perumusan berikut (SNI 1726:2012 Pasal 6.3):

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (\text{Pers. 2.50})$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (\text{Pers. 2.51})$$

Bentuk dari kurva spektrum respons desain berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 6.4 harus dikembangkan dengan mengacu pada Gambar 11 serta mengikuti ketentuan-ketentuan untuk menentukan nilai periode getar dan percepatan gempa sebagai berikut:

- a. Untuk periode, T yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (\text{Pers. 2.52})$$

dimana:

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{DI}}{S_{DS}} \quad (\text{Pers. 2.53})$$

- b. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s ($T_0 \leq T \leq T_s$), spektrum respons percepatan desain, S_a sama dengan S_{DS} dimana:

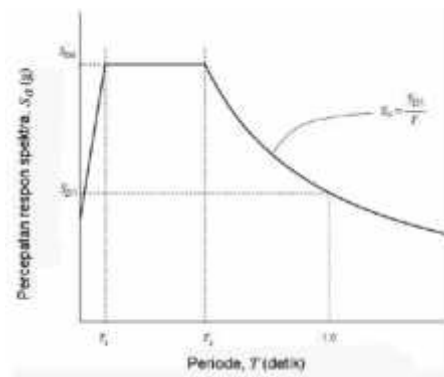
$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (\text{Pers. 2.54})$$

- c. Untuk periode yang lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (\text{Pers. 2.55})$$

Keterangan :

T = perioda getar fundamental struktur



Gambar 11. Kurva Spektrum Respons Desain
(Sumber : SNI 1726:2012 hal.23)

4. Kombinasi Pembebanan Struktur

Kombinasi pembebanan struktur berupa kombinasi dari beban-beban yang akan dikenakan pada struktur dengan faktor pengali yang ditetapkan dalam SNI 1727:2013 Pasal 2.3.2 dan merupakan kondisi paling kritis yang harus dipikul suatu elemen struktur. Kombinasi pembebanan tersebut adalah sebagai berikut:

$$U = 1,4D \quad (\text{Pers. 2.56})$$

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R) \quad (\text{Pers. 2.57})$$

$$U = 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W) \quad (\text{Pers. 2.58})$$

$$U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(L_r \text{ atau } R) \quad (\text{Pers. 2.59})$$

$$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L \quad (\text{Pers. 2.60})$$

$$U = 0,9D + 1,0W \quad (\text{Pers. 2.61})$$

$$U = 0,9D + 1,0E \quad (\text{Pers. 2.62})$$

I. PERIODE FUNDAMENTAL/GETAR ALAMI STRUKTUR

Periode getar alami atau periode fundamental struktur, T berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.2 dapat ditentukan secara langsung dengan menghitung periode bangunan dengan metode pendekatan, T_a yang kemudian diambil menjadi nilai T itu sendiri dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (\text{Pers. 2.63})$$

Keterangan:

h_n = ketinggian struktur dalam meter di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan ditentukan dalam Tabel 13.

Nilai T ini juga dapat ditentukan dengan bantuan *software Structural Analysis Program* melalui analisis respons spektrum. Apabila nilai T diambil dari hasil analisis *software Structural Analysis Program*, maka nilai T tersebut tidak boleh melebihi dari nilai hasil kali antara T_a dengan koefisien C_u (Lihat Tabel 14) dan tidak boleh kurang dari nilai T_a yang sudah dihitung sebelumnya. Untuk menentukan nilai T_a dapat digunakan alternatif lain yang diijinkan dan dinyatakan dalam detik dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat, di mana sistem penahan gaya

gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m (SNI 1726:2012 Pasal 7.8.2.1):

$$T_a = 0,1N \quad (\text{Pers. 2.64})$$

Keterangan:

N = jumlah tingkat

Tabel 13. Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

(Sumber: SNI 1726:2012 hal.56)

Tabel 14. Koefisien batas atas perioda fundamental

Parameter percepatan respons spektral pada 1 detik, S_{DI}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber: SNI 1726:2012 hal.56)

J. SIMPANGAN ANTAR LANTAI

Nilai simpangan antarlantai desain/rencana (Δ_x) berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.6 didapat dari perbedaan/selisih perpindahan pusat massa antara lantai tingkat atas terhadap lantai tingkat bawahnya (Δ_x) yang kemudian dikalikan dengan faktor amplifikasi defleksi (C_d) lalu dibagi dengan faktor keutamaan gempa (I_e) (pada Persamaan 2.65). Nilai simpangan antarlantai desain ini tidak boleh melebihi simpangan antarlantai ijin/syarat (Δ_a) yang ada pada Tabel 15 (Pasal 7.12.1 SNI 1726:2012).

$$x = (e_2 - e_1) \cdot C_d / I_e \quad (\text{Pers. 2.65})$$

Keterangan:

C_d = faktor amplifikasi/perbesaran defleksi (Lihat Tabel 16)

e_x = defleksi pusat massa lokasi yang diinginkan ditentukan dengan analisis elastis

Tabel 15. Simpangan antarlantai ijin/syarat (a)

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat	0,025 h_{sx}	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}	0,010 h_{sx}

(Sumber SNI 1726:2012 Pasal 7.12.1 hal. 66)

Keterangan:

h_{sx} = tinggi tingkat

Tabel 16. Faktor R , C_d , dan ρ untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuat-lebih sistem, ρ	Faktor pembesaran defleksi, C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)					
				Kategori desain seismik					
				B	C	D	E	F	
Sistem rangka pemikul momen									
1. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5/2	TB	TB	TB	TB	TB	
2. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4/2	TB	TB	TI	TI	TI	
3. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2/2	TB	TI	TI	TI	TI	

(Sumber SNI 1726:2012 Pasal 7.2.2 hal. 34)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. METODE PENELITIAN

Metode penelitian/studi yang digunakan dalam skripsi ini yaitu dengan membuat dua model desain gedung (kolom tegak dan kolom miring) yang kemudian didisain berdasarkan SNI 2847:2013 dan dianalisis menggunakan *software Structural Analysis Program*.

B. LOKASI DESAIN GEDUNG

Lokasi rencana pada desain bangunan gedung yang digunakan yaitu terletak di wilayah kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan, Indonesia.

C. DATA ANALISIS DAN DESAIN GEDUNG

Data pada analisis dan desain gedung bertingkat dalam skripsi ini yaitu pada struktur atas (balok, kolom, pelat). Berikut spesifikasi desain bangunan tersebut, antara lain:

1. Fungsi gedung : Gedung Perkantoran
2. Jumlah lantai : 5 lantai (termasuk atap)
3. Lokasi bangunan : Banjarmasin, Indonesia
4. Jenis tanah : Tanah Lunak (*SE*)

5. Mutu bahan

a. Beton

Jenis beton yang digunakan adalah beton normal (berat jenis = 2200 kg/m³ - 2500 kg/m³) dengan kekuatan mutu sedang.

1) f'_c struktur kolom : 35 MPa

2) f'_c struktur balok dan pelat : 25 MPa

b. Tulangan Baja (f_y) : 400 Mpa

6. Pembebanan

a. Beban hidup

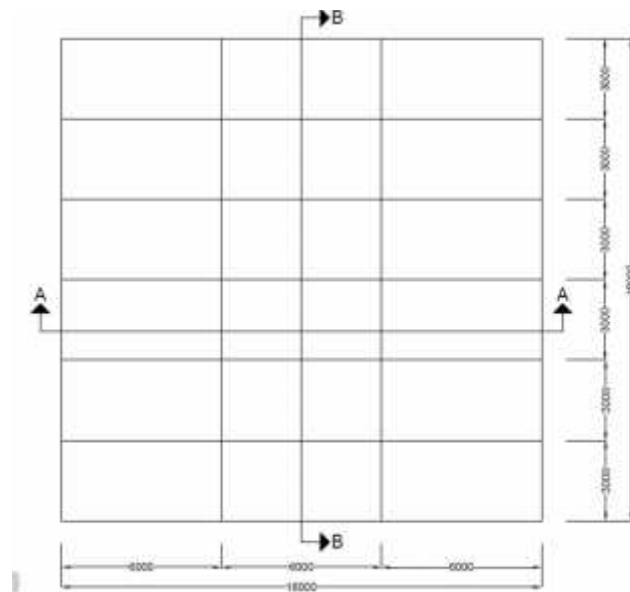
b. Beban mati:

1) Beban mati akibat berat sendiri

2) Beban mati tambahan

c. Beban gempa

Berikut ini merupakan gambar denah, potongan tampak depan dan samping, dan model struktur gedung yang ditinjau:



Gambar 12. Denah lantai 1 s/d lantai 5

D. PROSEDUR PENELITIAN

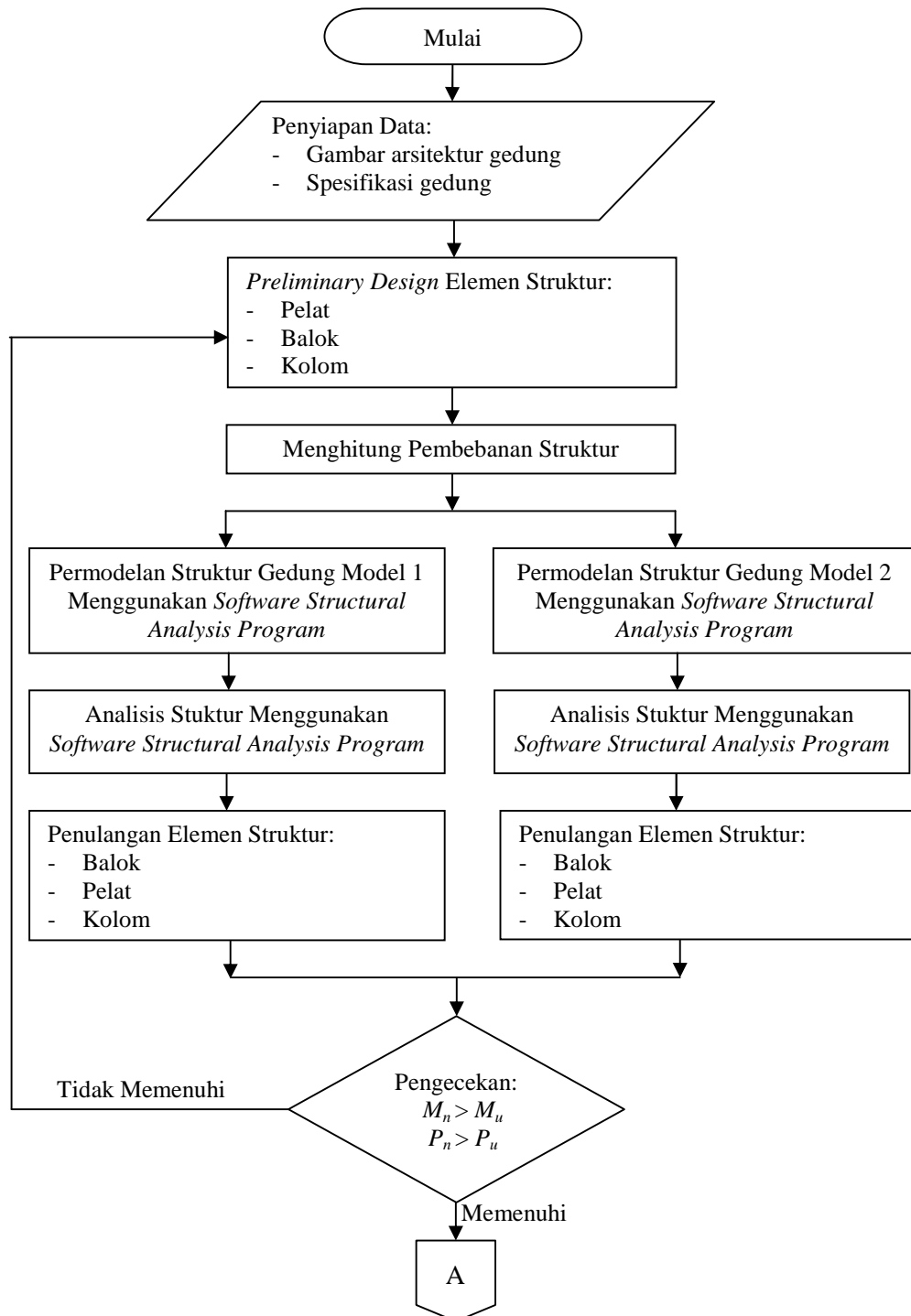
Berikut prosedur/langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan analisis dan desain struktur gedung beton bertulang bertingkat yang memiliki kolom miring dalam skripsi ini:

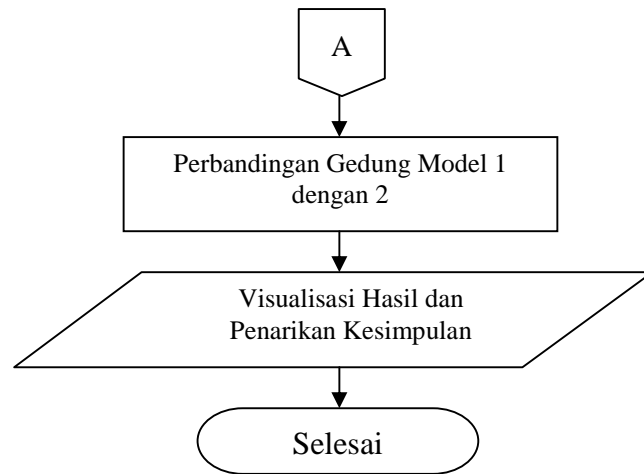
1. Mempersiapkan data analisis dan desain berupa gambar denah (struktur dan tampak) dan spesifikasi material struktur gedung.
2. Melakukan studi literatur.
3. Menentukan sistem struktur gedung yang akan digunakan untuk menahan beban/gaya gempa yang mengacu pada lokasi rencana gedung dibangun.
4. Menghitung jumlah beban yang akan dikenakan pada struktur, yaitu:
 - a. Beban mati (*Dead load*)
 - 1) Beban mati akibat berat sendiri
 - 2) Beban mati tambahan (*SIDL*)
 - b. Beban hidup (*Live load*)
 - c. Beban gempa (*Earthquake load*)
5. Membuat *preliminary design* elemen struktur pada bangunan gedung berupa penentuan besar dimensi awal balok, pelat, dan kolom berdasarkan SNI 2847:2013.
6. Membuat permodelan struktur bangunan gedung Model 1 dan 2 menggunakan *software Structural Analysis Program*.
7. Melakukan analisis struktur pada dua desain gedung tersebut menggunakan program *software Structural Analysis Program*.
8. Menghitung jumlah kebutuhan tulangan pada elemen struktur bangunan gedung mengacu pada SNI 2847:2013.

9. Melakukan perbandingan antara gedung yang menggunakan kolom miring dengan gedung yang menggunakan kolom tegak.
10. Membuat kesimpulan dan visualisasi perbandingan antara kedua gedung hasil dari analisis struktur menggunakan *software Structural Analysis Program*.

E. KERANGKA ANALISIS

Langkah-langkah dalam melakukan analisis dan desain struktur gedung beton bertulang yang memiliki kolom miring dalam skripsi ini disajikan dalam bentuk diagram alir sebagai berikut:





Gambar 16. Diagram alir penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dari perbandingan hasil analisis dan desain gedung yang memiliki kolom miring dengan gedung yang memiliki kolom tegak, diantaranya sebagai berikut:

1. Nilai gaya dalam berupa momen lentur, momen torsi, gaya geser, dan gaya aksial pada struktur kolom gedung Model 2 yang memiliki kolom miring dengan beban gempa di wilayah kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan, bernilai lebih besar dibandingkan dengan gedung Model 1 yang memiliki kolom tegak. Kemudian, untuk nilai gaya dalam struktur balok pada gedung Model 2 berupa momen lentur dan momen torsi bernilai lebih besar dibandingkan dengan gedung Model 1. Sedangkan, untuk nilai gaya dalam berupa gaya geser pada struktur balok gedung Model 2 bernilai lebih kecil dibandingkan dengan gedung Model 1.
2. Berat tulangan total yang terpasang (tulangan: lentur, geser, torsi, dan tekan) pada gedung Model 2 lebih besar dibandingkan dengan gedung Model 1 sebesar 70,89%.
3. Dengan dimensi awal balok dan kolom yang sama antara gedung Model 1 dan 2, setelah dilakukan analisis dan desain diperlukan perubahan

dimensi pada balok dan kolom tersebut. Dimana dimensi balok dan kolom pada gedung Model 2 lebih besar dibandingkan dengan gedung Model 1.

4. Nilai perpindahan pada gedung Model 1 dan 2 masih memenuhi syarat sehingga tidak diperlukan penggantian dimensi pada elemen struktur gedung akibat lendutan.
5. Dapat digunakannya aturan/syarat-syarat desain gedung dari sistem struktur SRPMB (SNI 2847:2013) pada gedung Model 2 yang memiliki bentuk tidak simetris/normal.

B. SARAN

Saran yang dapat diberikan dalam skripsi ini, yaitu:

1. Dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan variabel derajat kemiringan yang lebih ekstrim.
2. Dilakukan penelitian dengan menggunakan variabel penahan gempa lainnya selain sistem rangka pemikul momen seperti diberikannya *bracing* atau *shearwall* pada gedung.
3. Apabila nilai momen nominal terfaktor (M_n) pada balok dan gaya aksial terfaktor (P_n) pada kolom kurang dari momen dan beban aksial ultimit, dapat dilakukan pembesaran dimensi struktur, penambahan jumlah tulangan, pembesaran diameter tulangan, dan peningkatan mutu beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012)*. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2013)*. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)*. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2014. *Baja Tulangan Beton (SNI 2052:2014)*. BSN. Jakarta.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung. 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983*. Bandung.
- Budiyono. 2012. Optimalisasi kolom miring pada gedung berbentuk piramida terbalik di wilayah gempa 1 dan 3. (Skripsi). Universitas Mercubuana, Jakarta.
- Hartono, Kenny A.. 2014. Analisis dan desain bangunan beton bertulang 8 tingkat dengan kolom miring. (Skripsi). Universitas Parahyangan, Bandung.
- Nobel, Afret. 2012. Studi perilaku struktur gedung dengan kolom miring beton bertulang bentang panjang terhadap beban gempa studi kasus gedung auditorium Universitas Negeri "X". (Skripsi). Universitas Indonesia, Depok.
- I., Meida. 2013. Perencanaan gedung yang mempunyai kolom miring dengan *pushover analysis*. (Skripsi). Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.
- Suharjanto. 2013. *Rekayasa Gempa*. Penerbit Kepel Press. Yogyakarta. 1983.
- Ipapa. Menara Palma Ruang Kantor untuk Disewa. 2014. <http://old.ipapa.co.id/id/building/detail/menara-palma-12>. Diakses 15 September 2017.
- Asroni, Ali. 2010. *Kolom, Fondasi dan Balok "T" Beton Bertulang*. Graha Ilmu. Yogyakarta.