



INTERNSHIP – CS22-4703

LAPORAN KERJA PRAKTEK
PT. DINAMIKA TEKNIK PERSADA
*(Studi Kasus : Seismic Resistance Design for
Steel Structure)*

MUHAMMAD RAZIN ISLAM

NRP. 03111940000119

VINA NADYA DWIASMARANI

NRP. 03111940000155

Dosen Pembimbing :

Dr. Asdam Tambusay, S.T, M.T.

Pembimbing Lapangan :

Wira Herucakra, S.T, M.T

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2023

**LEMBAR PENGESAHAN
LAPORAN KERJA PRAKTEK
PT. DINAMIKA TEKNIK PERSADA**

(Studi Kasus : *Seismic Resistance Design for Steel Structure*)

MUHAMMAD RAZIN ISLAM

NRP. 03111940000119

VINA NADYA DWIASMARANI

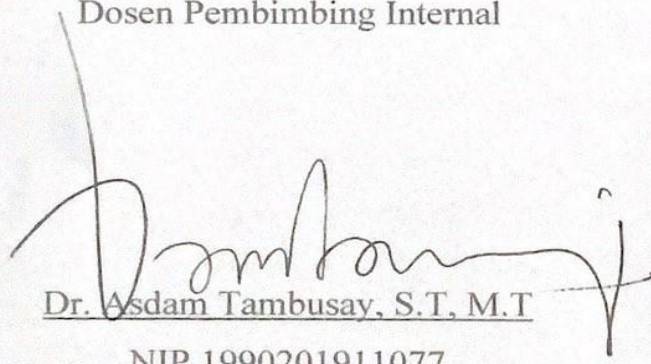
NRP. 03111940000155

Surabaya, Januari 2023

Menyetujui,

Dosen Pembimbing Internal

Dosen Pembimbing Lapangan



Dr. Asdam Tambusay, S.T, M.T

NIP 1990201911077



Wira Herucaraka
Senior Engineer

Mengetahui

Sekretaris Departemen I

Bidang Akademik dan Kemahasiswaan

Departemen Teknik Sipil FTSPK ITS



Zaini Hanata, ST, MT PhD

NIP. 19800430 200501 1 002

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmatNya, Penyusun dapat menyelesaikan laporan kerja praktik di PT. Dinamika Teknik Persada. Kerja praktik adalah salah satu mata kuliah yang wajib ditempuh oleh seluruh mahasiswa Departemen S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Kerja praktik yang kami lakukan berlangsung selama dua bulan di PT. Dinamika Teknik Persada yang dimulai pada tanggal 4 Juli 2022 hingga 26 Agustus 2022. Pelajaran berharga yang didapat selama kerja praktik tidak terlepas dari bantuan serta bimbingan pihak-pihak yang terlibat. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Asdam Tambusay, S.T, M.T. selaku dosen pembimbing internal yang telah membimbing kami dalam penyusunan laporan ini,
2. Bapak Wira Herucakra, selaku mentor yang telah membimbing kami selama kerja praktik di lapangan
3. Bapak Wahyu dan Mas Sholeh, selaku teman diskusi kantor dalam penyelesaian topic tiap minggu nya.
4. Teman-teman Departemen Teknik Sipil ITS angkatan 2019 yang telah mendukung kami dalam penulisan laporan ini.

Dalam penulisan laporan ini, Penyusun menyadari bahwa masih banyak kekurangan. Kritik dan saran yang bersifat membangun sangat kami harapkan demi kebaikan laporan ini. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, tim penyusun, dan semua pihak yang terkait dalam aktivitas kerja praktik.

Surabaya, Januari 2023

Tim Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Perusahaan.....	1
1.2 Maksud dan Tujuan.....	2
1.3 Manfaat.....	3
1.4 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Kerja Praktik	4
BAB II STUDI KASUS.....	5
2.1 TOPIC 1 : Nature of Earthquake	5
2.1.1 Pengertian Gempa Bumi	5
2.1.2 Penyebab Gempa Bumi.....	6
2.1.3 Tipe Patahan	7
2.1.4 Mekanisme Seismik oleh Teori <i>Elastic Rebound</i>	10
2.1.5 Tipe dan Karakteristik Gelombang Seismik.....	11
2.1.6 Kuantifikasi Gempa Bumi	15
2.2 TOPIC 2 : <i>Seismic Design Provision</i>	17
2.2.1 Klasifikasi Situs	18
2.2.2 Pemilihan Kategori Resiko.....	18
2.2.3 Menentukan Faktor Keutamaan Gempa	19
2.2.4 Penentuan Parameter Gerakan Tanah	20
2.2.5 Menentukan Kategori Desain Seismik	21
2.2.6 Sistem Pemikul Gaya Seismik.....	22
2.2.7 Menentukan Metode Analisis.....	25
2.2.8 Analisis Gaya Lateral Seismik	25
2.3 TOPIC 3 : <i>Steel Design Provision</i>	28
2.3.1 Desain Komponen Struktur Untuk Tarik	28
2.3.2 Desain Komponen Struktur Untuk Tekan	32
2.3.3 Desain Komponen Struktur Untuk Lentur.....	35

2.4	<i>TOPIC 4 : Perhitungan Manual Study Case</i>	38
2.4.1	Soal <i>Study Case</i>	39
2.4.2	Pembahasan <i>Study Case</i>	40
2.4.3	Perbandingan Hasil <i>Study Case</i>	54
2.5	<i>TOPIC 5 : Perhitungan Study Case dengan Software dan Analisis P-Delta</i>	54
2.5.1	Penyelesaian <i>Study Case</i> dengan SAP2000.....	55
2.5.2	Analisis P-Delta.....	71
2.6	<i>TOPIC 6 : Lateral Load Resistance for Hi Rise Building</i>	72
2.6.1	Beban Lateral pada Bangunan	72
2.6.2	Tipe dari Ketahanan Beban Lateral untuk Gedung Bertingkat Tinggi.....	74
2.6.3	Jurnal tentang Bangunan Tingkat Tinggi Dengan Desain Detail	78
2.7	<i>TOPIC 7 : Introduction to Offshore</i>	83
2.7.1	Offshore Technology History	83
2.7.2	Offshore Construction Phase	85
2.7.3	<i>Loading and Analysis</i>	88
2.7.4	<i>Offshore Steel Design</i>	89
BAB III HAL YANG MENARIK DAN PENYELESAIANNYA.....		92
3.1	<i>Software</i> SAP2000.....	92
3.2	Penyebaran COVID-19.....	92
BAB IV LAMPIRAN		93
BAB V PENUTUP		94
5.1	Kesimpulan.....	94
5.2	Saran	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Layanan PT. Dinamika Teknik Persada.....	1
Gambar 1. 2 Struktur Organisasi PT. Dinamika Teknik Persada	2
Gambar 2. 2 Normal Fault	8
Gambar 2. 3 Reverse Fault.....	9
Gambar 2. 4 <i>Strike - slip Fault</i>	9
Gambar 2. 5 Oblique Fault.....	10
Gambar 2. 6 Model Teori Elastic Rebound dari Gempa Bumi	11
Gambar 2. 7 Tipe Gelombang	11
Gambar 2. 8 Ilustrasi pergerakan Primary Wave.....	12
Gambar 2. 9 Ilustrasi pergerakan Secondary Wave	13
Gambar 2. 10 Ilustrasi pergerakan Love Wave.....	14
Gambar 2. 11 Ilustrasi pergerakan Rayleigh Wave.....	14
Gambar 2. 12 Persamaan SD_1 dan SDs	21
Gambar 2. 13 Persamaan S_{MS} dan S_{M1}	21
Gambar 2. 14 Persamaan Gaya Geser Seismik (V)	26
Gambar 2. 15 Persamaan Koefisien Respon Seismik.....	27
Gambar 2. 16 Persamaan Gaya Seismik Lateral dan Distribusi Vertikal.....	28
Gambar 2. 17 Persamaan Kekuatan Tarik	29
Gambar 2. 18 Persamaan Kontrol Leleh.....	29
Gambar 2. 19 Persamaan GA dan GB	34
Gambar 2. 20 batas Tekuk Lentur.....	35
Gambar 2. 21 Diagram Tegangan Lentur.....	36
Gambar 2. 22 Ilustrasi <i>Study Case</i>	39
Gambar 2. 23 Klasifikasi Situs <i>Study Case</i>	40
Gambar 2. 24 Pemilihan Kategori Risiko <i>Study Case</i>	41
Gambar 2. 25 Faktor Keutamaan Gempa <i>Study Case</i>	41
Gambar 2. 26 Peta MCE_R Vina	42
Gambar 2. 27 Kategori Desain Seismik Vina.....	46
Gambar 2. 28 Kategori Desain Seismik Razin	46
Gambar 2. 29 Input Data Pemodelan 2D melalui SAP2000.....	55
Gambar 2. 30 Pemodelan 2D melalui SAP2000.....	56
Gambar 2. 31 Data Material Beton	56
Gambar 2. 32 Data Material Baja Vina	57
Gambar 2. 33 Data Material Baja Razin.....	57
Gambar 2. 34 Data untuk <i>Side Column</i> (50 x 70 cm)	58
Gambar 2. 35 Data untuk <i>Mid Column</i> (60 x 80 cm)	58
Gambar 2. 36 <i>Mass Source Data</i>	59
Gambar 2. 37 <i>Respon Spectrum ASCE 7-16 Function Definition – Vina</i>	60
Gambar 2. 38 <i>Respon Spectrum ASCE 7-16 Function Definition - Razin</i>	61
Gambar 2. 39 <i>Define Load Patterns</i>	61
Gambar 2. 40 <i>ASCE 7 – 16 Load Pattern</i>	62
Gambar 2. 41 <i>Dead Load Cases</i>	63
Gambar 2. 42 <i>Modal Load Cases - Vina</i>	63

Gambar 2. 43	<i>Modal Load Cases - Razin</i>	64
Gambar 2. 44	<i>Gempa Sx Load Cases</i>	64
Gambar 2. 45	<i>Dx Load Cases - Vina</i>	65
Gambar 2. 46	<i>Dx Load Cases – Razin</i>	66
Gambar 2. 47	<i>Running Analysis SAP2000 - Vina</i>	66
Gambar 2. 48	<i>Running Analysis SAP2000 - Razin</i>	67
Gambar 2. 49	<i>Ilustrasi Beban Angin</i>	72
Gambar 2. 50	<i>Zona Beban Gempa</i>	73
Gambar 2. 51	<i>Tekanan Hidrostatik Dinding</i>	73
Gambar 2. 52	<i>Earth Loads</i>	74
Gambar 2. 53	<i>Types of Lateral-Resisting System in Building</i>	75
Gambar 2. 54	<i>Shear Walls</i>	76
Gambar 2. 55	<i>Braced Frames</i>	77
Gambar 2. 56	<i>Eccentric Braced Frames</i>	77
Gambar 2. 57	<i>4 Sistem Penahan Beban Lateral</i>	80
Gambar 2. 58	<i>Perbandingan Hasil 4 Model untuk Beban Gempa dan Beban Angin</i>	81
Gambar 2. 59	<i>Hasil Displacement</i>	82
Gambar 2. 60	<i>Offshore Tower History</i>	83
Gambar 2.61	<i>Deep Water Development</i>	84
Gambar 2. 62	<i>Fixed and Floating Platform</i>	84
Gambar 2. 63	<i>Fabrication Phase</i>	85
Gambar 2. 64	<i>Load Out Phase</i>	85
Gambar 2. 65	<i>Sea Fastening and Transport to Site Phase</i>	86
Gambar 2. 66	<i>Installation Phase A</i>	86
Gambar 2. 67	<i>Installation Phase B</i>	87
Gambar 2. 68	<i>Installation Phase C</i>	87
Gambar 2. 69	<i>Testing Phase</i>	88
Gambar 2. 70	<i>Loading and Analysis</i>	89
Gambar 2. 71	<i>Steel Design - Deck Structure</i>	89
Gambar 2. 72	<i>Steel Design - Deck Leg</i>	90
Gambar 2. 73	<i>Jacket Structure</i>	90
Gambar 2. 74	<i>Steel Design - Pile Design</i>	91
Gambar 4. 1	<i>Dokumentasi Presentasi Topik 1</i>	93
Gambar 4. 2	<i>Dokumentasi Presentasi Topik 2</i>	93

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel pengukuran Skala Mercalli 1931	16
Tabel 2. 2 Klasifikasi Sinitus	17
Tabel 2. 3 Tabel Pemilihan Kategori Risiko	18
Tabel 2. 4 Faktor Keutamaan Gempa	20
Tabel 2. 5 Koefisien Situs Fa	20
Tabel 2. 6 Koefisien Situs Fv.....	21
Tabel 2. 7 Kategori Desain Seismik Periode Pendek.....	22
Tabel 2. 8 Kategori Desain Seismik Periode 1 Detik	22
Tabel 2. 9 Sistem Gaya Pemikul Seismik.....	23
Tabel 2. 10 Prosedur Metode Analisis	25
Tabel 2. 11 Nilai Parameter periode pendekatan Ct dan x.....	26
Tabel 2. 12 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung.....	26
Tabel 2. 13 Koefisien Reduksi, U.....	31
Tabel 2. 14 Faktor Panjang Efektif	33
Tabel 2. 15 Batasan Lendutan untuk Struktur dengan Bean Tidak Berfaktor	38
Tabel 2. 16 Soal <i>Study Case</i>	39
Tabel 2. 17 Fa Vina	43
Tabel 2. 18 Fv Vina.....	44
Tabel 2. 19 Fa Razin	44
Tabel 2. 20 Fv Razin	45
Tabel 2. 21 Sistem Pemikul Gaya Seismik <i>Study Case</i>	47
Tabel 2. 22 Prosedur Metode Analisis <i>Study Case</i>	48
Tabel 2. 23 Parameter Periode Pendekatan Ct dan x <i>Study Case</i>	48
Tabel 2. 24 Batas Atas Periode Vina	49
Tabel 2. 25 Batas Atas Periode Razin.....	49
Tabel 2. 26 Pembebanan <i>Study Case</i>	52
Tabel 2. 27 Rekapitulasi Distribusi Vertikal Gaya Seismik Vina	53
Tabel 2. 28 Rekapitulasi Distribusi Vertikal Gaya Seismik Razin	54
Tabel 2. 29 Tabel Rekapitulasi <i>Structure Output</i> Vina	68
Tabel 2. 30 Tabel Rekapitulasi <i>Structure Output</i> Razin.....	69
Tabel 2. 31 Tabel Rekapitulasi <i>Modal Participating Mass Ratios</i> Vina.....	70
Tabel 2. 32 Tabel Rekapitulasi <i>Modal Participating Mass Ratios</i> Razin	70

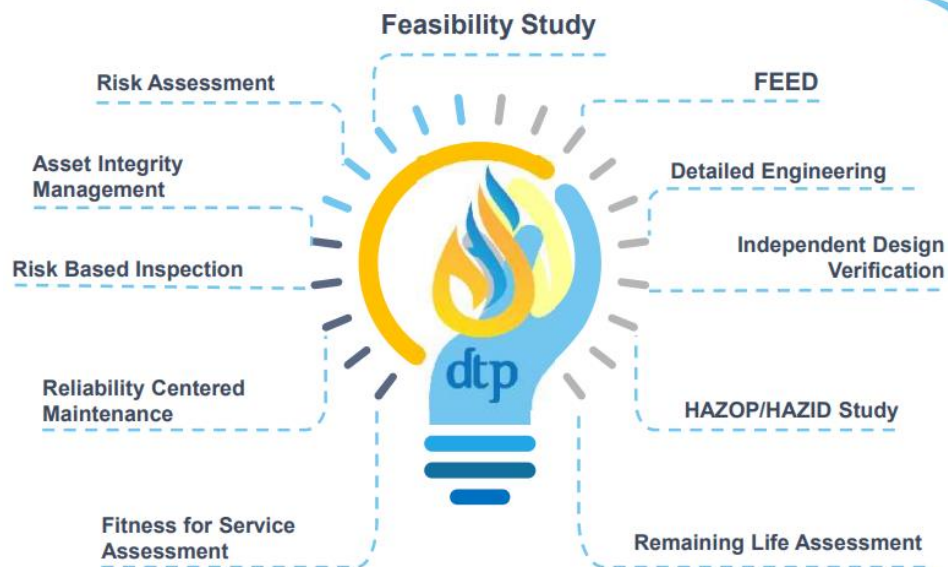
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Perusahaan

PT. Dinamika Teknik Persada adalah *engineering consultant* yang berfokus untuk memenuhi kebutuhan enjiner dan layanan teknikal khususnya untuk industri *oil and gas*. Perusahaan ini berlokasi di Ruko Golden Boulevard Blok K No. 1-2, BSD City, Serpong Tangerang, Indonesia. Visi perusahaan yakni menjadi konsultan Teknik yang diakui dalam *Design – Safety – Integrity – Reliability* untuk industri *oil and gas* di Indonesia. Misi perusahaan yakni menyediakan solusi yang inovatif dan hemat biaya serta membantu klien untuk mendesain fasilitas yang memiliki kinerja asset yang tinggi dalam *safety – integrity – reliability*.

Layanan yang diberikan oleh PT. Dinamika Teknik Persada terdapat pada gambar began di bawah ini :



Gambar 1. 1 Layanan PT. Dinamika Teknik Persada

Berikut penulis berikan untuk struktur organisasi perusahaan PT. Dinamika Teknik Persada :



Gambar 1. 2 Struktur Organisasi PT. Dinamika Teknik Persada

1.2 Maksud dan Tujuan

Pelaksanaan kegiatan kerja praktik harus sesuai dengan ketentuan dari departemen / jurusan mengenai syarat kerja praktik. Persyaratan kegiatan Kerja Praktik yang dilaksanakan adalah proyek konstruksi yang apabila hotel atau apartemen memiliki perencanaan lebih dari 4 lantai dengan *progress* proyek kurang dari 80% atau ditempatkan di kantor pada perusahaan konstruksi, *supplier*, dll. Kegiatan ini dilaksanakan selama 2 bulan dimana setiap minggu selama 26 – 40 jam. Pada Kerja Praktik ini, kami berada dibawah bimbingan perusahaan PT. Dinamika Teknik Persada sebagai perusahaan *Engineering Consultant*. Kantor ini berlokasi di Ruko Golden Boulevard, BSD City, Tangerang Selatan. Kegiatan ini dimulai dari tanggal 4 Juli 2022 – 26 Agustus 2022.

Maksud dan tujuan dari pelaksanaan kerja praktik pada kantor PT. Dinamika Teknik Persada adalah untuk memenuhi SKS yang harus ditempuh

sebagai persyaratan akademis. Tujuan Kerja Praktik secara umum adalah untuk memahami aplikasi dari teori-teori dasar yang dipelajari di perkuliahan pada dunia industri selagi mencoba mengaplikasikan teori-teori tersebut pada kondisi nyata. Secara rinci, materi yang dapat menjadi bagian dari pembahasan pada laporan ini adalah sebagai berikut:

1. *Topic 1 : Nature of Eartquake*
2. *Topic 2 : Seismic Provision*
3. *Topic 3 : Steel Design Provision*
4. *Topic 4 : Static Equivalent Seismic Analysis and Steel Design (Hand Calculation)*
5. *Topic 5 : Static Equivalent Seismic Analysis and Steel Design and P-Delta Analysis (software)*
6. *Topic 6 : Lateral Load Resistance for Hi Rise Building*
7. *Topic 7 : Introduction to Offshore*

1.3 Manfaat

Manfaat dari pelaksanaan kerja praktik di kantor PT. Dinamika Teknik Persada adalah sebagai berikut

- Mendapatkan pengalaman dan pembelajaran dalam pengoperasian software ketekniksipilan khususnya software untuk perhitungan struktur.
- Memperoleh pengalaman kerja yang dapat dijadikan bekal untuk menghadapi dunia kerja atau pascakampus.
- Hasil analisis perhitungan dan penggunaan software selama Kerja Praktik dapat menjadi bahan masukan untuk perusahaan dalam pengaplikasian software yang kami gunakan.

1.4 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Kerja Praktik

Waktu : 4 Juli 2022 – 26 Agustus 2022
Lokasi : PT. Dinamika Teknik Persada, Ruko Golden Boulevard,
BSD City, Tangerang Selatan.
Divisi : *Structure Engineering Department*
Jadwal : Senin - Jumat (08.00 – 17.00 WIB)
Pembimbing : Wira Herucakra

BAB II

STUDI KASUS

Pelaksanaan kerja praktik dilakukan untuk mengkaji teori dan materi yang diberikan sebagai penugasan dan akan mempresentasikan hasil pelaksanaan kerja praktik sesuai dengan penugasan tiap minggunya.

Selama kegiatan kerja praktik yang di laksanakan dari tanggal 4 Juli – 26 Agustus 2022, penyusun menerima penugasan dalam bentuk kajian teori dan materi topik yang diberikan sebagai penugasan dan mempresentasikan hasil pelaksanaan kajian tersebut sesuai dengan topik penugasan tiap minggunya . Topik penugasan yang penyusun kerjakan selama kerja praktik berlangsung adalah sebagai berikut :

2.1 TOPIC 1 : Nature of Earthquake

Pada topik 1 mengenai “*Nature of Earthquake*” adalah kajian awal yang penulis lakukan untuk medalami hal terkait gempa bumi. Topik ini diberikan guna memahami pemahaman lebih dalam mengenai gempa bumi yang merupakan salah satu hal krusial dalam perencanaan kekuatan konstruksi khususnya bangunan / gedung bertingkat tinggi. Dalam topik ini akan menyajikan mengenai sejarah dan penyebab gempa bumi, tipe – tipe patahan, mekanisme sesimik berdasarkan teori *elastic rebound*, tipe dan karakteristik gelomba, serta kuantifikasi gempa bumi.

2.1.1 Pengertian Gempa Bumi

Menurut Noor (2005), gempa bumi adalah getaran bumi yang terjadi sebagai akibat dari terlepasnya energy yang terkumpul secara tiba-tiba dalam batuan yang mengalami deformasi.

Pentingnya desain ketahanan struktur menurut G. R. Reddy, dkk dalam *Textbook of Seismic Design : Structure, piping system, and components* (2019) yakni dapat mengurangi kerusakan struktur atau bangunan tersebut atas kejadian gempa bumi. Sebuah contoh kasus gempa di Bhuj, Gujarat, India pada tahun 2001 menyebabkan

kerusakan besar pada industri petrokimia atau pupuk yang menangkibatkan ketumpahan atau kebocoran gas beracun dalam jangkauan yang luas sehingga mempengaruhi bagi lingkungan dan masyarakat sekitar. Hal tersebut menunjukkan pentingnya desain ketahanan struktur guna mengurangi kerusakan akibat gempa bumi.

2.1.2 Penyebab Gempa Bumi

Menurut Farzad Naeim (2001), penyebab terjadinya gempa bumi yakni akibat gerakan tektonik, ledakan, runtunan, dilatasi batuan kerak bumi, gempa vulkanik serta gempa yang diinduksi reservoir.

a. Tectonic Earthquakes

Gempa tektonik adalah gempa bumi yang disebabkan oleh dislokasi atau perpindahan pergeseran lapisan bumi yang tiba-tiba terjadi dalam struktur bumi sebagai akibat adanya tarikan atau tekanan. Peristiwa gempa tektonik pertama kali terjadi di Dashte – e- Bayaz pada 31 Agustus 1968 di Timur Laut Iran.

b. Explosions

Guncangan tanah dapat dihasilkan oleh peledakan bahan kimia atau nuklir di bawah tanah perangkat. Ketika perangkat nuklir diledakkan di lubang bor di bawah tanah, nuklir yang sangat besar energi dilepaskan. Nuklir bawah tanah ledakan yang terjadi selama beberapa dekade terakhir di sejumlah situs pengujian di seluruh dunia memiliki menghasilkan gempa bumi buatan yang substansial (besarnya hingga 6,0 magnitudo).

c. Collapse Earthquakes

Gempa runtunan adalah gempa bumi yang disebabkan oleh tanah longsor, runtuhnya atap gua atau terowongan di bawah tanah. Intensitas dari gempa akibat runtunan sangat kecil sehingga gempa ini tidak akan terasa pada jarak yang jauh. Gempa runtunan dengan intensitas yang cukup besar terjadi

pada 25 April 1974 sepanjang sungai Mantaro di Peru yang menghasilkan 4.5 magnitudo.

d. *Dilatancy in the Crustal Rocks*

Ini menyatakan bahwa sebagai batuan kerak menjadi tegang, retak terjadi secara lokal dan volume batuan meningkat atau melebar. Retak dapat terjadi terlalu cepat untuk air tanah mengalir ke dalam volume melebar untuk mengisi ruang sehingga retakan menjadi berisi uap. Konsekuensinya penurunan tekanan pori menyebabkan pengurangan terutama dalam kecepatan gelombang P.

e. *Volcanic Earthquakes*

Gempa vulkanik adalah gempa bumi yang disebabkan oleh dislokasi atau perpindahan pergeseran lapisan bumi yang tiba-tiba terjadi dalam struktur bumi sebagai akibat adanya tarikan atau tekanan.

f. *Large Reservoir-Induced Earthquake*

Gempa bumi mungkin terjadi dipicu oleh pengendapan air permukaan. Pada 1870-an terjadi penolakan proposal untuk penyimpanan air di laut Salton California dengan alasan Tindakan tersebut mungkin dapat menyebabkan gempa bumi. Contoh peristiwa gempa akibat ini yakni terjadi di Koyna, India, dimana gempa bumi dengan besar 6.5 Magnitudo yang berpusat di dekat bendungan dengan tinggi 103 meter dan mengakibatkan terjadinya kerusakan yang besar dan signifikan. Peristiwa gempa ini terjadi pada bendungan yang biasanya tingginya lebih dari 100 meter. Namun sebuah *poll* di tahun 1976 menunjukkan bahwa hanya 4% dari bendungan besar mengakibatkan gempa yang besarnya lebih besar dari 3.0 Magnitudo dalam jarak 16 kilometer dari bendungan.

2.1.3 Tipe Patahan

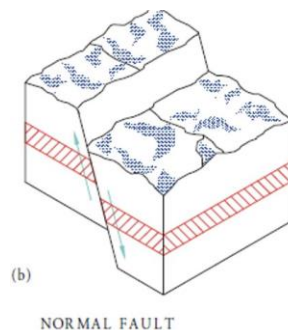
Menurut G. R. Reddy, dkk dalam buku *Textbook of Seismic Design (2019)*, Patahan atau *fault* adalah satu tipe batuan mendesak batuan lainnya sehingga terlihat seperti potongan. Patahan – patahan tersebut dapat menunjukkan bahwa pada suatu

waktu di masa lalu terjadi pergerakan di sepanjang patahan tersebut. Menurut Farzad Naeim (2001), pergerakan patahan tersebut diantaranya bergerak secara perlahan sehingga tidak terjadi atau tidak menyebabkan guncangan tanah atau secara tiba – tiba yang dapat disebut gempa.

Ada beberapa notasi yang menggambarkan untuk geometri patahan. Menurut G. R. Reddy, dkk dalam buku *Textbook of Seismic Design (2019)*, Notasi standar geologi yang menggambarkan geometri patahan adalah *strike and dip*. *Strike* adalah setiap garis horizontal yang ditarik pada permukaan miring. *Dip* menunjukkan kemiringan permukaan geologi yang relative terhadap horizontal. Beberapa tipe patahan diantaranya, *normal fault*, *reverse fault*, *strike – strip fault*, dan *oblique fault*. Berikut penjelasan mengenai tipe – tipe patahan tersebut :

a. *Normal Fault*

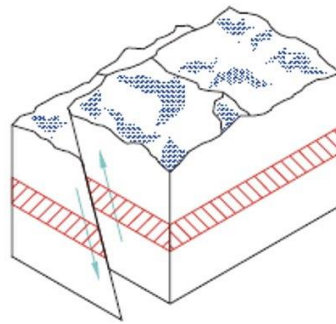
Patahan normal adalah ketika batuan di atas permukaan patahan berinklinasi dan bergerak relative masuk ke bawah (ke dalam kerak bumi bagian dalam)



Gambar 2. 1 Normal Fault

b. *Reverse Fault*

Reverse fault terjadi ketika kerak di atas permukaan patahan, miring bergerak ke atas relative terhadap blok di bawah patahan



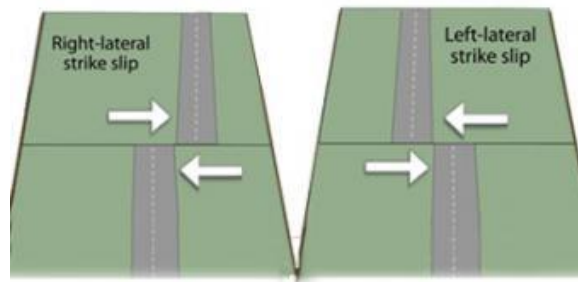
(c) REVERSE FAULT

Gambar 2. 2 Reverse Fault

c. *Strike – Strip Fault*

Strike – strip fault yakni perpindahan batuan secara lateral, sejajar dengan *strike*. Gerak dari kiri ke kanan disebut *strike – slip* kanan lateral, begitupun dengan gerak dari kanan ke kiri disebut *strike – slip* kiri lateral.

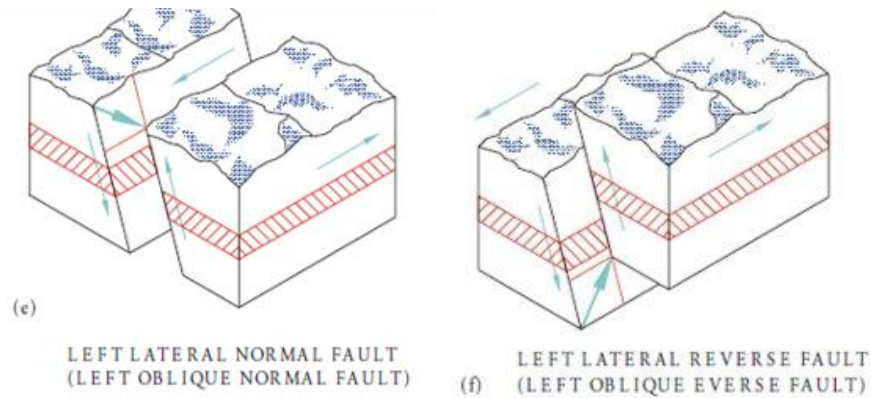
Strike-slip faults: Left lateral & Right lateral



Gambar 2. 3 *Strike - slip Fault*

d. *Oblique Fault*

Oblique fault merupakan kejadian yang merupakan gabungan dari *dip-slip fault* dan *strike – slip fault*. Pergerakan batuan terjadi secara naik atau turun dan juga mengalami pergerakan secara horizontal ke kanan atau ke kiri sehingga pergerakan yang timbul terjadi secara vertikal dan horizontal.



Gambar 2. 4 Oblique Fault

2.1.4 Mekanisme Seismik oleh Teori *Elastic Rebound*

Menurut Farzad Naeim (2001), Seorang ahli seismologist di Amerika, Harry Fielding Reid mengajukan teori rebound elastis untuk mekanisme sumber yang akan menghasilkan gelombang seismik. Teori ini mengandaikan bahwa kerak bumi di banyak tempat perlahan-lahan tergeser oleh kekuatan yang mendasarinya. Perpindahan diferensial terjadi sampai melebihi regangan elastis yang ditanggung oleh batu. Pecahan (patahan) kemudian terjadi, dan batuan yang mengalami regangan memantul di sepanjang patahan dibawah tegangan elastik sampai regangan sebagian atau seluruhnya berkurang.

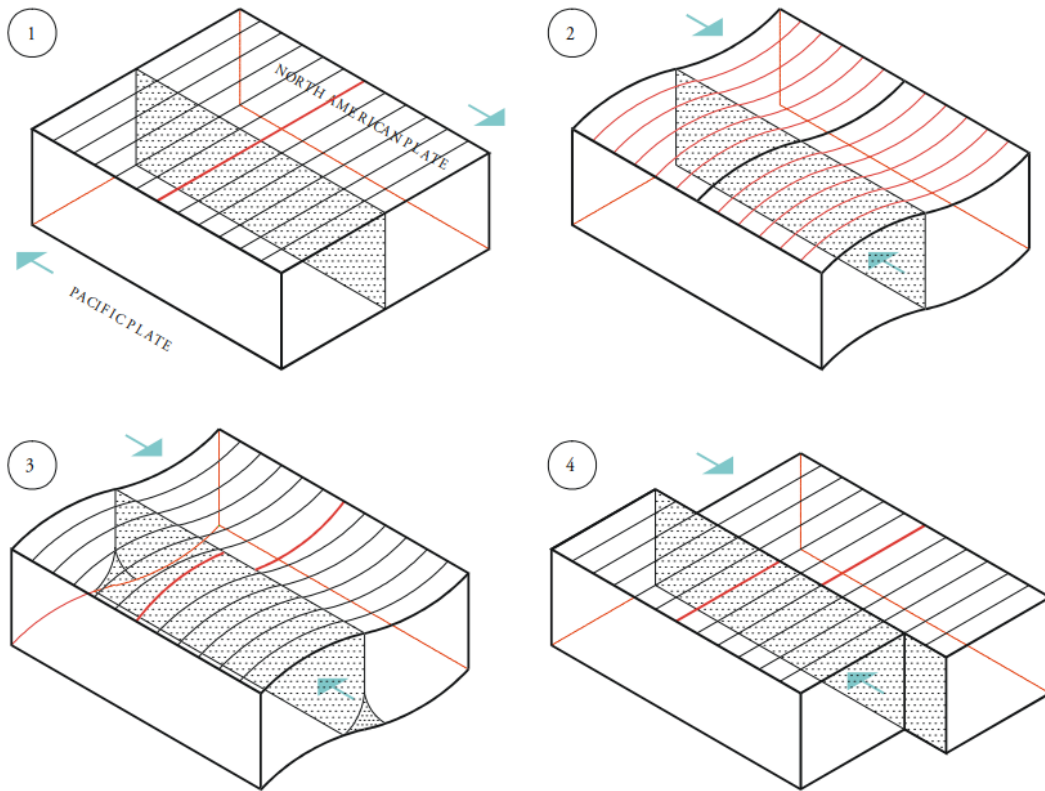


Figure 1-27. Elastic rebound model of earthquakes

Gambar 2. 5 Model Teori Elastic Rebound dari Gempa Bumi

2.1.5 Tipe dan Karakteristik Gelombang Seismik

Menurut Farzad Naeim (2001), terdapat 3 tipe gelombang seismik dasar yakni *P-Wave (Primary Wave)*, *S – Wave (Secondary Wave)*, dan *Surface Wave*. Dari ketiga gelombang seismic yang telah disebutkan, hanya dua gelombang yang menyebar dalam batuan padat.

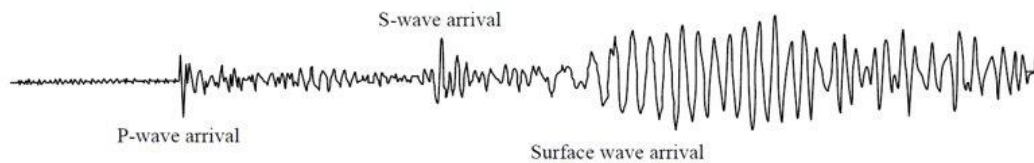


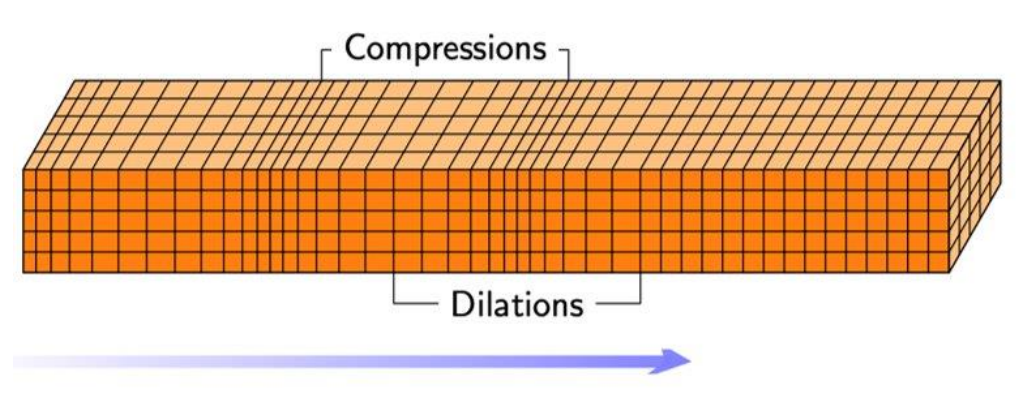
Fig. 1.18 A typical anatomy of an accelerometer reading (Stein and Wysession)

Gambar 2. 6 Tipe Gelombang

Berikut penjelasan singkat mengenai tipe dan karakteristik ketiga gelombang tersebut :

a. *Primary Wave (P – Wave)*

Primary Wave adalah gelombang yang kecepatannya paling cepat dibanding gelombang yang lain. Gerakan dari *P – Wave* adalah sama seperti gelombang suara sehingga Gerakan penyebran gelombang ini terjadi secara bergantian untuk mendorong (kompres) dan menarik (melebarkan). Gelombang P ini seperti gelombang suara yang mampu melakukan pergerakan melalui kedua batuan padat seperti pegunungan granit dan bahan cair seperti magma vulkanik atau air lautan. Berikut adalah ilustrasi dari pergerakan dari gelombang P. Dalam kasus gempa, gelombang P dirasakan terlebih dahulu dan efeknya mirip dengan bom sonic / *sonic boom* yang contohnya menabrak dan menggetarkan jendela.

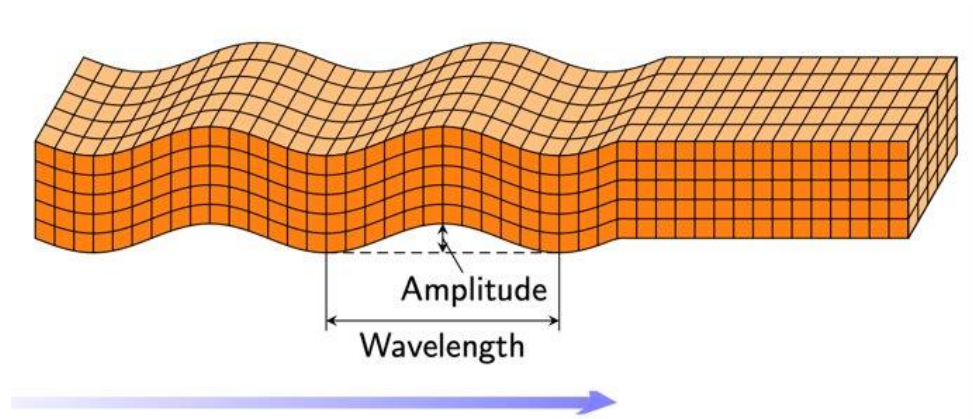


Gambar 2. 7 Ilustrasi pergerakan Primary Wave

b. *Secondary Wave (S – Wave)*

Secondary Wave adalah gelombang yang memotong batuan sesuai dengan sudutnya pada arah rambatannya. Pada permukaan tanah, gelombang ini menghasilkan pergerakan ke arah vertikal dan Horizontal. *S – Wave* tidak dapat merambat pada cairan bagian bumi seperti lautan dan amplitude gelombang S berkurang secara signifikan dalam cairan tanah (amplitude tereduksi oleh *liquefied soil*). Dalam kasus gempa bumi, gelombang S tiba setelah gelombang P datang dan secara signifikan menggerakkan komponen dari sisi ke sisi sehingga

guncangan tanah bersifat vertikal dan horizontal. Gelombang S adalah gelombang yang paling efektif dan berperan penting dalam merusak struktur bangunan.



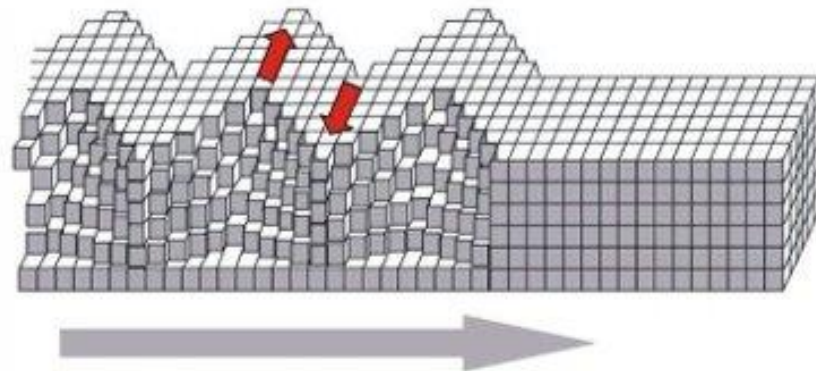
Gambar 2. 8 Ilustrasi pergerakan Secondary Wave

c. *Surface Wave*

Surface Wave atau gelombang permukaan adalah gelombang yang terjadi karena permukaan gerakannya terbatas pada dekat permukaan tanah seperti gelombang yang bergerak seperti kesesuaian riak air yang bergerak melintasi sebuah danau. Pada kasus gempa bumi, gelombang permukaan dapat terjadi menjadi dua jenis yakni *Love Wave* dan *Rayleigh Wave*.

Love Wave atau gelombang cinta adalah gelombang yang menggerakkan pada dasarnya sama dengan gelombang S. Gelombang ini menggerakkan permukaan tanah dari sisi ke sisi lain dalam arah horizontal serta tidak ada perpindahan dari arah vertikal. Gelombang ini bergerak berlawanan dengan arah gelombangnya.

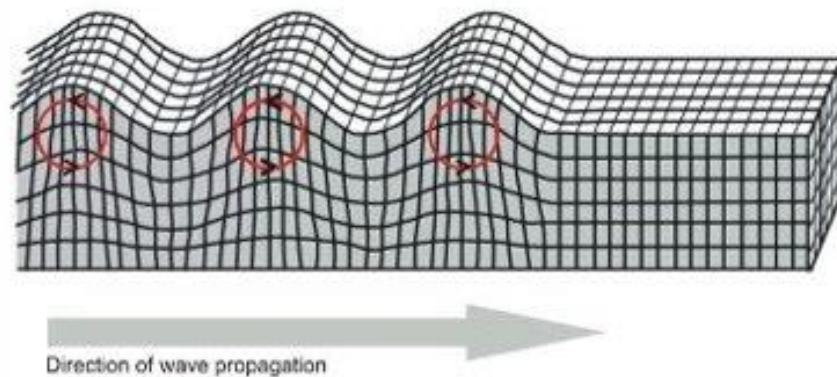
Love wave



Gambar 2. 9 Ilustrasi pergerakan Love Wave

Rayleigh Wave adalah gelombang seperti gulungan ombak laut, bongkahan batu karang yang terganggu akibat gerak gelombang tersebut. Gerak gelombang ini terjadi secara vertikal dan horizontal dimana dalam bidang vertikal menuju kearah gelombang itu pergi. Gelombang *Rayleigh* umumnya bergerak lebih lambat dibanding gelombang cinta. Saat kasus gempa, gelombang memancar keluar dari sumber gempa ke batuan kerak bumi sehingga berbagai jenis gelombang terpisah satu sama lain dalam suatu prediksi pola.

Rayleigh wave



Gambar 2. 10 Ilustrasi pergerakan Rayleigh Wave

2.1.6 Kuantifikasi Gempa Bumi

Menurut Hendra Kurniawan dalam jurnal “Kuantifikasi dan Pengukuran dalam Penelitian Antropologi, Kuantifikasi (*quantification*) merupakan prosedur yang secara sederhana digunakan dalam sebuah penelitian, dengan tujuan untuk mempertegas berbagai macam data tertentu, atau menguatkan interpretasi-interpretasi melalui sampel data yang berupa angka-angka. Kuantifikasi gempa terdiri atas 3 penghitungan yakni skala Mercali, skala Magnitudo, dan skala Richter (Farzad Naeim, 2001).

a. Skala Mercali

Pengukuran tertua yang digunakan dalam mengukur kekuatan dari peristiwa gempa bumi yakni intensitas gempa. Intensitas adalah suatu ukuran dari kerusakan yang terjadi akibat gempa bumi melalui kerusakan permukaan tanah, reaksi manusia terhadap getaran sehingga penilaian dari pengukuran intensitas ini diukur berdasarkan pengamatan yang sebenarnya terjadi akibat efek di zona gempa tersebut. Sebuah versi dalam pengukuran skala ini yakni salah satunya adalah *Modified Mercalli Intensity (MMI) Scale* tahun 1931.

Tabel 2. 1 Tabel pengukuran Skala Mercalli 1931

Table 1-2. Modified Mercalli Intensity Scale (MMI) of 1931

I.	Not felt except by a very few under especially favorable circumstances.
II.	Felt only by a few persons at rest, especially on upper floors of buildings. Delicately suspended objects may swing.
III.	Felt quite noticeably indoors, especially on upper floors or buildings, but many people do not recognize it as an earthquake. Standing motor cars may rock slightly. Vibration like passing of truck. Duration estimated.
IV.	During the day felt indoors by many, outdoors by few. At night some awakened. Dishes, windows, doors disturbed; walls make cracking sound. Sensation like heavy truck striking building. Standing motor cars rocked noticeably.
V.	Felt by nearly everyone, many awakened. Some dishes, windows, etc., broken; a few instances of cracked plaster; unstable objects overturned. Disturbances of trees, poles, and other tall objects sometimes noticed. Pendulum clocks may stop.
VI.	Felt by all, many frightened and run outdoors. Some heavy furniture moved; a few instances of fallen plaster or damaged chimneys. Damage slight.
VII.	Everybody runs outdoors. Damage negligible in buildings of good design and construction; slight to moderate in well-built ordinary structures; considerable in poorly built or badly designed structures; some chimneys broken. Noticed by persons driving motor cars.
VIII.	Damage slight in specially designed structures; considerable in ordinary substantial buildings, with partial collapse; great in poorly built structures. Panel walls thrown out of frame structures. Fall of chimneys, factory stacks, columns, monuments, walls. Heavy furniture overturned. Sand and mud ejected in small amounts. Changes in well water. Persons driving motor cars disturbed.
IX.	Damage considerable in specially designed structures; well designed frame structures thrown out of plumb; great in substantial buildings, with partial collapse. Buildings shifted off foundations. Ground cracked conspicuously. Underground pipes broken.
X.	Some well-built wooden structures destroyed; most masonry and frame structures destroyed with foundations; ground badly cracked. Rails bent. Landslides considerable from river banks and steep slopes. Shifted sand and mud. Water splashed (slopped) over banks.
XI.	Few, if any, (masonry) structures remain standing. Bridges destroyed. Broad fissures in ground. Underground pipelines completely out of service. Earth slumps and land slips in soft ground. Rail bent greatly.
XII.	Damage total. Practically all works of construction are damaged greatly or destroyed. Waves seen on ground surface. Lines of sight and level are distorted. Objects are thrown into the air.

b. Skala Richter

Skala Richter ditemukan oleh Charles F. Richter, seorang seismolog di Institut Teknologi California pada tahun 1935. Skala ini pertama kali digunakan saat terjadinya gempa di California Selatan, Amerika Serikat. Dari rekaman seismograf dengan jarak 100 km dari pusat gempa. Skala ini digunakan hanya untuk peristiwa gempa kecil atau gempa lokal sehingga untuk saat ini penggunaan pengukuran melalui skala richter ini sudah jarang ditemui karena skala ini sudah dianggap tak akurat untuk menentukan kekuatan gempa yang luas. Dalam pengukuran skala richter, kekuatan gempa diukur menggunakan amplitudo. Amplitudo dalam pengukuran ini tidak menggambarkan enegeri lengkap yang

terjadi dari gempa karena pengukuran hanya berlaku melalui rentang jarak dan frekuensi tertentu.

c. Skala Magnitudo

Skala Magnitudo merupakan skala paling akurat dalam pengukuran besarnya gempa. Magnitudo adalah ukuran besarnya kekuatan gempa yang didapat pada amplitudo terbesar pada seismograf. Besarnya energi sesimik yang dipancarkan sumber gempa melalui pengukuran seismograf. Sejak 2008, di Indonesia sudah beralih ke Skala Magnitudo yang semula menggunakan Skala Richter.

2.2 TOPIC 2 : Seismic Design Provision

Ketentuan seismik berdasarkan dari peraturan SNI 1726-2019 atau ASCE 7-16. Pada SNI 1726-2019 dijelaskan tentang tahapan analisis beban seismik. Analisis beban seismik terdiri dari 8 tahap yang akan dijelaskan dibawah ini.

Tabel 2. 2 Klasifikasi Situs

Tabel 5 – Klasifikasi situs

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (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 nirair $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs 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 $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

2.2.1 Klasifikasi Situs

Penetapan klasifikasi situs berdasar pengujian tanah di lapangan dan di laboratorium oleh yang berwenang/ahli geoteknik . Diklasifikasikan berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Berikut tabel klasifikasi situs dari SNI 1726-2019

2.2.2 Pemilihan Kategori Resiko

Pemilihan kategori resiko yang berdasarkan SNI 1726-2019 tabel 3 menentukan pengaruh gempa rencana dalam perancangan. Gempa rencana sebagai gempa dengan kemungkinan terlampauinya besaran umur strukut bangunan 50 tahun sebesar 2%. Pade tabel tersebut juga terdapat 4 kategori resiko yang akan ditampilkan dibawah ini.

Tabel 2. 3 Tabel Pemilihan Kategori Risiko

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none">- Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan- Fasilitas sementara- Gudang penyimpanan- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <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 nongedung 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 nongedung, 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 nongedung 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 di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
--	-----

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - 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, tsunami, 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 <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

2.2.3 Menentukan Faktor Keutamaan Gempa

Pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa I_e . Berikut tabel factor keutamaan gempa yang berdasarkan dari SNI 1726-2019.

Tabel 2. 4 Faktor Keutamaan Gempa

Tabel 4 – Faktor keutamaan gempa

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

2.2.4 Penentuan Parameter Gerakan Tanah

Penentuan parameter Gerakan tanah dapat melalui *website* <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>. Tetapi pada web tersebut khusus untuk perhitungan pada bangunan saja. Nanti akan didapat koefisien S_s dan S_1 . S_s adalah parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek dan S_1 untuk periode 1 detik.

Setelah mendapatkan koefisien S_s dan S_1 , didapatkan koefisien F_a dan F_v yang didapat dari tabel 6 dan 7 pada SNI 1726-2019. Berikut tabel untuk Koefisien F_a dan F_v .

Tabel 2. 5 Koefisien Situs F_a

Tabel 6 – Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Tabel 2. 6 Koefisien Situs Fv

Tabel 7 – Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE _R) terpetakan pada periode 1 detik, S _i					
	S _i ≤ 0,1	S _i = 0,2	S _i = 0,3	S _i = 0,4	S _i = 0,5	S _i ≥ 0,6
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ⁽²⁾					

Setelah didapat koefisien S_s, S₁, F_a, dan F_v, dicari percepatan spectral desain untuk periode pendek (S_{ds}) dan pada periode 1 detik (S_{d1}) yang didapat melalui perumusan berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (9)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (10)$$

Gambar 2. 11 Persamaan S_{D1} dan S_{DS}

Dimana :

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (7)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (8)$$

Gambar 2. 12 Persamaan S_{MS} dan S_{M1}

2.2.5 Menentukan Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismic terdapat pada pasal 6.5 SNI 1726-2019 tabel 8 dan tabel 9. Untuk kategori desain seismic E (>= 0,75, kategori risiko I,II, dan III). Untuk kategori desain seismic F (>=0,75, kategori risiko IV). Berikut tabel kategori desain seismic:

Tabel 2. 7 Kategori Desain Seismik Periode Pendek

Tabel 8 – Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	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

Tabel 2. 8 Kategori Desain Seismik Periode 1 Detik

Tabel 9 – Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	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

2.2.6 Sistem Pemikul Gaya Seismik

Pada sistem pemikul gaya seismik didapat koefisien modifikasi respons, R , faktor kuat lebih sistem, Ω_0 , dan faktor pembesaran simpangan lateral, C_d , yang dapat dilihat pada tabel 12 SNI 1726-2019. Penggunaan sistem pemikul gaya seismik yang tidak termasuk pada Tabel 12 dapat diizinkan setelah disetujui oleh pihak berwenang dan kajian independen atas kriteria desain, hasil analisis dan data tes. Berikut tabel sistem pemikul gaya seismik:

Tabel 2. 9 Sistem Gaya Pemikul Seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_s^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_s (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
A. Sistem dinding penumpu								
1. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	5	2½	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
3. Dinding geser beton polos didetail ^g	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa ^g	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menengah ^g	4	2½	4	TB	TB	12 ⁱ	12 ⁱ	12 ⁱ
6. Dinding geser pracetak biasa ^g	3	2½	3	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2½	3½	TB	TB	48	48	30
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	2½	2¼	TB	TB	TI	TI	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	1½	TB	48	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
11. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
13. Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2½	2	TB	10	TI	TI	TI
14. Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
15. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
16. Dinding rangka ringan (baja canal dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2½	2	TB	TB	10	TI	TI
18. Sistem dinding rangka ringan (baja canal dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3½	TB	TB	20	20	20
B. Sistem rangka bangunan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3¼	2	3¼	TB	TB	10 ⁱ	10 ⁱ	TI ⁱ
4. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
5. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
6. Dinding geser beton polos detail ^g	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser beton polos biasa ^g	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Dinding geser pracetak menengah ^g	5	2½	4½	TB	TB	12 ⁱ	12 ⁱ	12 ⁱ
9. Dinding geser pracetak biasa ^g	4	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
11. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4½	TB	TB	48	48	30
12. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI
13. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6½	2½	5½	TB	TB	48	48	30
14. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
15. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
16. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	2½	4	TB	TB	48	48	30
17. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
18. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	2	TB	48	TI	TI	TI

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_b^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, H_s (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2%	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1%	2%	1%	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1%	2%	1%	TB	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2%	4%	TB	TB	22	22	22
23. Dinding rangka ringan (baja canal dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2%	4%	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2%	2%	2%	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2%	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5%	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4%	3	4	TB	TB	10 ^g	TI ^g	TI ^g
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3%	3	3	TB	TB	TI ^g	TI ^g	TI ^g
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^h	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5%	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁱ	3%	3 ^g	3%	10	10	10	10	10
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2%	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2%	5%	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus ^h	7	2%	5%	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	6	2%	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2%	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2%	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2%	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2%	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2%	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5%	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3%	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2%	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2%	6%	TB	TB	TB	TB	TB
E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus ^g	6	2%	5	TB	TB	10	TI	TI
2. Dinding geser beton bertulang khusus ^h	6%	2%	5	TB	TB	48	30	30
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2%	TB	48	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3%	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5%	2%	4%	TB	TB	48	30	TI
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3%	2%	3	TB	TB	TI	TI	TI
7. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	5%	2%	4%	TB	TB	TI	TI	TI
9. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2%	6	TB	TB	TB	TB	TB
F. Sistem interaktif dinding geser-rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa^g								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus ^g	6	2%	5	TB	TB	10	TI	TI
2. Dinding geser beton bertulang khusus ^h	6%	2%	5	TB	TB	48	30	30
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2%	TB	48	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3%	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5%	2%	4%	TB	TB	48	30	TI
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3%	2%	3	TB	TB	TI	TI	TI
7. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	5%	2%	4%	TB	TB	TI	TI	TI
G. Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk :								
1. Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2%	1%	2%	10	10	10	10	10
2. Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	1%	1%	1%	10	10	TI ^g	TI ^g	TI ^g
3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^h	2%	1%	2%	10	10	10	10	10
4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1%	1%	1%	10	10	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1%	1	10	TI	TI	TI	TI
6. Rangka kayu	1%	1%	1%	10	10	10	TI	TI
H. Sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB

2.2.7 Menentukan Metode Analisis

Penentuan metode analisis didapat pada pasal 7.7 tabel 16 pada SNI 1726-2019.

Berikut tabel penentuan metode analisis:

Tabel 2. 10 Prosedur Metode Analisis

Tabel 16 – Prosedur analisis yang diizinkan

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen Pasal 7.8	Analisis spektrum respons ragam Pasal 7.9	Prosedur respons riwayat waktu seismik Pasal 11
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

CATATAN I: Diizinkan, TI: Tidak Diizinkan

2.2.8 Analisis Gaya Lateral Seismik

Pertama dicari periode fundamental pendekatan T_a yang didapat pada pasal 7.8.2.1. Perumusan untuk periode fundamental pendekatan T_a berikut:

$$T_a = C_t h_n^x$$

Dimana h_n adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 18. Berikut tabel untuk nilai parameter periode pendekatan C_t dan x :

Tabel 2. 11 Nilai Parameter periode pendekatan C_t dan x

Tabel 18 – Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

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

Lalu dicari periode fundamental struktur, T . Periode fundamental struktur tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u). Berikut perumusan untuk periode fundamental struktur dan koefisien C_u .

$$T = C_u \cdot T_a$$

Tabel 2. 12 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Tabel 17 – Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_s
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Lalu mencari gaya geser dasar seismik, V , dalam arah yang ditetapkan dengan persamaan berikut:

$$V = C_s W \tag{30}$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan 7.8.1.1

W = berat seismik efektif menurut 7.7.2

Gambar 2. 13 Persamaan Gaya Geser Seismik (V)

Untuk mencari koefisien respons seismic, C_s , harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek seperti ditentukan dalam 6.3 atau 6.9

R = koefisien modifikasi respons dalam Tabel 12

I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 4.1.2.

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan Persamaan (31) tidak perlu melebihi berikut ini:

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (32)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (33)$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (34)$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_I sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5 S_I}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (35)$$

Keterangan:

di mana I_e dan R sebagaimana didefinisikan dalam 7.8.1.1, dan

S_{D1} = parameter percepatan respons spektral desain pada periode sebesar 1,0 detik, seperti yang ditentukan dalam 6.10.4

T = periode fundamental struktur (detik) yang ditentukan 7.8.2

S_I = parameter percepatan respons spektral maksimum yang dipetakan yang ditentukan sesuai 6.10.4

Gambar 2. 14 Persamaan Koefisien Respon Seismik

Terakhir, didapat gaya seismik lateral, F_x . Dari perhitungan ini pada akhirnya didapatkan rekapitulasi distribusi vertical gaya seismik tiap lantai. Berikut untuk perumusannya:

$$F_x = C_{vx}V \quad (40)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (41)$$

Keterangan:

- C_{vx} = faktor distribusi vertikal
- V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)
- w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x
- h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)
- k = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut:
 - untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$
 - untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$
 - untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

Gambar 2. 15 Persamaan Gaya Seismik Lateral dan Distribusi Vertikal

2.3 TOPIC 3 : Steel Design Provision

Ketentuan baja berdasarkan dari peraturan SNI 1729-2020 atau AISC 360-16. Pada SNI 1729-2020 dijelaskan tentang tahapan analisis beban seismik. Analisis beban seismik terdiri dari 3 tahap yang akan dijelaskan dibawah ini.

2.3.1 Desain Komponen Struktur Untuk Tarik

Untuk desain batang tarik, terdapat 5 ketentuan yang perlu dipenuhi. 5 ketentuan tersebut terdiri dari, batasan kelangsingan, kekuatan tarik, luas netto, koefisien , dan luas netto efektif.

Untuk Batasan kelangsingan harus memenuhi perumusan berikut:

$$: \frac{L}{r} \leq 300$$

L = panjang batang

r = jari-jari kelembaban

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Untuk kekuatan Tarik perlu untuk memenuhi persamaan berikut:

(a) Untuk leleh tarik pada penampang bruto:

$$P_n = F_y A_g \quad (D2-1)$$

$$\phi_t = 0,90 \quad (\text{DFBT}) \quad \Omega_t = 1,67 \quad (\text{DKI})$$

(b) Untuk keruntuhan tarik pada penampang neto:

$$P_n = F_u A_e \quad (D2-1)$$

$$\phi_t = 0,75 \quad (\text{DFBT}) \quad \Omega_t = 2,00 \quad (\text{DKI})$$

dengan

$$A_e = \text{luas neto efektif, in.}^2 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$A_g = \text{luas bruto dari komponen struktur, in.}^2 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$F_y = \text{tegangan leleh minimum terspesifikasi, ksi (MPa)}$$

$$F_u = \text{kekuatan tarik minimum terspesifikasi, ksi (MPa)}$$

Gambar 2. 16 Persamaan Kekuatan Tarik

Untuk Batasan kekuatan Tarik, terdiri dari kontrol leleh dan kontrol patah yang didapat dari persamaan berikut:

$$\text{Kontrol Leleh : } Pu \leq \phi fyAg \quad \phi = 0,90 \text{ (DFBK)}$$

(pada tengah batang)

$$\text{Kontrol Patah : } Pu \leq \phi fuAe \quad \phi = 0,75 \text{ (DFBK)}$$

Gambar 2. 17 Persamaan Kontrol Leleh

Untuk luas bruto, A_g , komponen struktur adalah luas penampang melintang total. Sedangkan untuk luas netto, A_n , komponen struktur adalah jumlah hasil ketebalan dan lebar netto setiap elemen yang dihitung sebagai berikut:

Dalam penghitungan luas netto untuk Tarik dan geser, lebar lubang baut harus diambil sebesar 1/16 in lebih besar dari dimensi nominal lubang. Dan shear lag atau disebut luas netto efektif terjadi bila komponen batang tarik hanya disambung sebagian saja.

Salah satu mengatasi shear lag adalah dengan memperpanjang sambungan, Luas netto efektif yang dinyatakan sebagai berikut :

$$A_e = A_n U$$

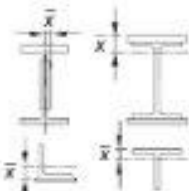
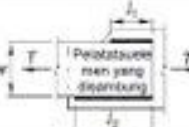



Dengan: A_e = Luas efektif penampang

A_n = Luas Netto penampang

U = koefisien reduksi

Untuk koefisien reduksi, U , didapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. 13 Koefisien Reduksi, U

Kasus	Deskripsi Elemen	Faktor Lag geser, U	Contoh	
1	Semua komponen struktur tank dengan beban tarik disalurkan secara langsung ke setiap dan elemen profil melintang melalui pengencang atau las (kecuali seperti dalam Kasus 4, 5 dan 6)	$U = 1,0$	-	
2	Semua komponen struktur tank, kecuali PSR, dengan beban tarik disalurkan ke beberapa tetapi tidak semua elemen profil melintang melalui pengencang atau las longitudinal dalam kombinasi dengan las transversal. Secara alternatif, kasus 7 dapat digunakan untuk profil W, M, S dan HP. (Untuk baja siku, Kasus 8 digunakan untuk dipergunakan)	$U = 1 - \frac{x}{l}$		
3	Semua komponen struktur tank dengan beban tarik hanya disalurkan melalui las transversal ke beberapa tetapi tidak semua elemen profil melintang	$U = 1,0$ dan $A_w =$ luas elemen yang disambung langsung	-	
4 ^a	Pelat, siku, kanal dengan pengelasan pada heels, T dan profil I yang elemen-elemennya disambung, dengan beban tarik disalurkan hanya melalui las longitudinal. Lihat Kasus 2 untuk definisi dari \bar{x} .	$U = \frac{3l^2}{3l^2 + w^2} \left(1 - \frac{x}{l}\right)$		
5	PSR Bundar dengan sebuah pelat buhul konsentris tunggal melalui slot pada PSR	$l \geq 1,3D, U = 1,0$ $D < 1,3D, U = 1 - \frac{x}{l}$ $\bar{x} = \frac{D}{2}$		
6	PSR Persegi panjang	dengan sebuah pelat buhul konsentris tunggal	$l \geq H, U = 1 - \frac{x}{l}$ $\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B+H)}$	
		dengan dua sisi pelat buhul	$l \geq H, U = 1 - \frac{x}{l}$ $\bar{x} = \frac{B^2}{4(B+H)}$	
7	Profil W, M, S atau HP atau T yang dipotong dan profil-profil ini (Jika U dihitung dalam Kasus 2, nilai yang lebih besar digunakan untuk dipergunakan).	dengan sayap disambungkan dengan tiga atau lebih pengencang per baris dalam arah pembebanan	$b_s \geq \frac{2}{3}d, U = 0,90$ $b_s < \frac{2}{3}d, U = 0,85$	-
		dengan badan disambungkan dengan empat atau lebih pengencang per baris dalam arah pembebanan	$U = 0,70$	-

Kasus	Deskripsi Elemen	Faktor Lag geser, U	Contoh	
8	Siku tunggal dan ganda (Jika U dihitung dalam Kasus 2, nilai yang lebih besar digunakan untuk dipergunakan)	dengan empat atau lebih pengencang per baris dalam arah pembebanan	$U = 0,80$	-
		Dengan tiga pengencang per baris dalam arah pembebanan (Dengan lebih sedikit dari tiga pengencang per baris dalam arah pembebanan, gunakan Kasus 2)	$U = 0,60$	-

B = lebar keseluruhan komponen struktur PSR persegi panjang, dukur 90° terhadap bidang sambungan, in. (mm); D = diameter luar PSR bundar, in. (mm); H = tinggi keseluruhan komponen struktur PSR persegi panjang, dukur pada bidang sambungan, in. (mm); d = tinggi profil, in. (mm); untuk T, d = tinggi penampang sebelum dipotong menjadi T, in. (mm); l = panjang sambungan, in. (mm); w = lebar pelat, in. (mm); \bar{x} = eksentrisitas sambungan, in. (mm)

[a] $l = \frac{l_1 + l_2}{2}$ dengan l_1 and l_2 tidak lebih kecil dari 4 kali ukuran las.

2.3.2 Desain Komponen Struktur Untuk Tekan

Untuk desain batang tekan, terdapat 3 ketentuan yang perlu dipenuhi. 3 ketentuan tersebut terdiri dari, angka kelangsingan dan panjang efektif, faktor panjang efektif, dan tekuk lentur pada komponen struktur tanpa elemen langsing. Berikut untuk penjelasan lebih lanjut.

Untuk angka kelangsingan dan panjang efektif, didapat dari perumusan berikut:

$$\frac{L_c}{r} \leq 200$$

dengan

K = faktor panjang efektif

$L_c = KL$ = panjang efektif komponen struktur, in. (mm)

L = panjang tak terbreis lateral pada komponen struktur tersebut, in. (mm)

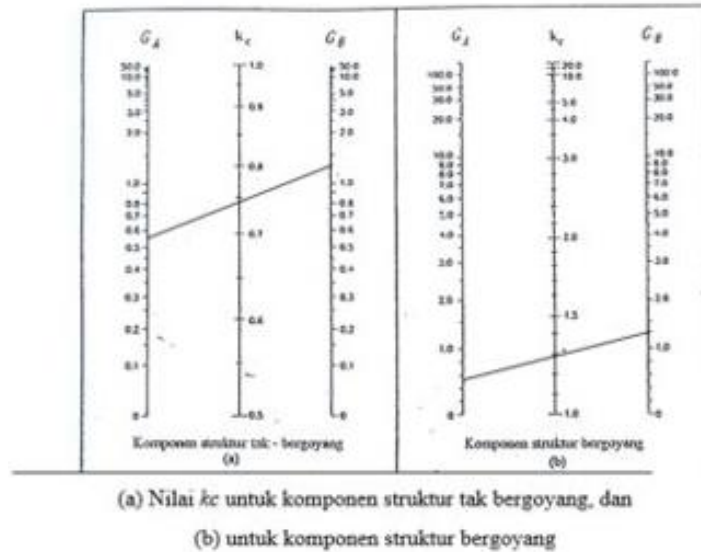
r = radius girasi, in. (mm)

Lalu untuk factor Panjang efektif (k) lainnya tergantung pada tahanan rotasi dan tahanan translasi ujung-ujung batang tekan. Nilai faktor panjang tekuk untuk tahanan ujung-ujung batang “ideal”. Berikut adalah tabel penentuan untuk faktor Panjang efektif:

Tabel 2. 14 Faktor Panjang Efektif

TABLE C-A-7.1 Approximate Values of Effective Length Factor, K						
Buckled shape of column is shown by dashed line.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Theoretical K value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.1	2.0
End condition code						

Untuk batang tekan yang merupakan bagian dari suatu rangka yang bersambungan kaku (portal) nilai factor tekuknya ditentukan dengan nomogram. GA dan GB adalah perbandingan antara kekakuan kolom terhadap kekakuan penahan ujung-ujungnya (kekakuan baloknya) . Berikut untuk tabelnya:



GA dan GB adalah perbandingan antara kekakuan kolom terhadap kekakuan penahan ujung-ujungnya (kekakuan baloknya). Untuk mencari GA dan Gb memakai perumusan berikut:

$$G = \frac{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_c}{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_b}$$

I_c – momen inersia kolom
 L_c – panjang kolom
 I_b – momen inersia balok
 L_b – panjang balok

Gambar 2. 18 Persamaan GA dan GB

Kekuatan tekan nominal, P_n , harus ditentukan berdasarkan keadaan batas berupa tekuk lentur.

$$P_n = F_{cr} A_g$$

Tegangan kritis, F_{cr} , ditentukan sebagai berikut:

$$(a) \text{ Bila } \frac{L_c}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \left(\text{atau } \frac{F_y}{F_e} \leq 2,25 \right)$$

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e} \right) F_y \quad (E3-2)$$

$$(b) \text{ Bila } \frac{L_c}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \left(\text{atau } \frac{F_y}{F_e} > 2,25 \right)$$

$$F_{cr} = 0,877 F_e \quad (E3-3)$$

dengan

A_g = luas penampang melintang bruto komponen struktur, in.² (mm²)

E = modulus elastisitas baja = 29.000 ksi (200.000 MPa)

F_e = tegangan tekuk elastis yang ditentukan sesuai dengan Persamaan E3-4, seperti ditetapkan dalam Lampiran 7, Pasal 7.2.3 (b), atau melalui suatu analisis tekuk elastis, sebagaimana berlaku, ksi (MPa)

$$= \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{r} \right)^2} \quad (E3-4)$$

F_y = tegangan leleh minimum terspesifikasi untuk tipe baja yang digunakan, ksi (MPa)

r = radius girasi, in. (mm)

Gambar 2. 19 batas Tekuk Lentur

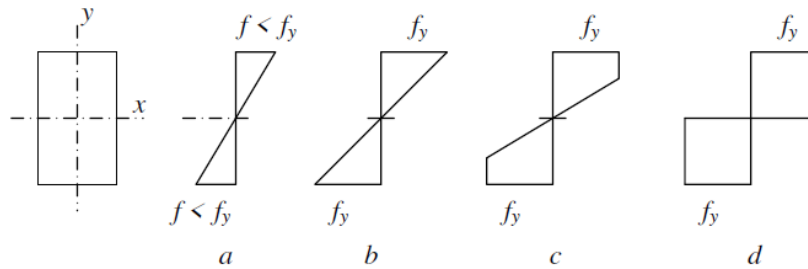
2.3.3 Desain Komponen Struktur Untuk Lentur

Contoh komponen struktur lentur adalah balok . Balok yakni bagian dari struktur yang menerima beban tegak lurus sumbu memanjang pada batang . Untuk metode DFBK (Desain Faktor Beban dan Ketahanan) atau LRFD (Load And Resistance Factor Design) dipakai :

$$\Phi_b = 0,9$$

2.3.3.1 Diagram Tegangan Lentur

Kalau balok dibebani dengan beban lentur, akan terjadi momen lentur yang akan menimbulkan tegangan lentur pada penampang profil. Kalau beban ditambahkan terus, maka tegangan yang terjadi akan berubah seperti yang digambarkan dibawah ini.



Gambar 2. 20 Diagram Tegangan Lentur

- (a).Tegangan max yang terjadi masih lebih kecil tegangan leleh bahan ($F_{max} < F_y$)
- (b).Tegangan max yang terjadi = tegangan leleh ($F_{max} = F_y$) ==> Batas Elastis.
- (c).Tegangan leleh tidak hanya terjadi dititik ekstrem.
- (d).Seluruh penampang telah terjadi tegangan leleh ==> Batas Plastis.

Pada batas elastis (kondisi b.), momen yang terjadi disebut momen leleh (M_y), sedangkan pada batas plastis (kondisi d.) momen yang terjadi disebut momen plastis (M_p). Berikut adalah perumusan untuk momen leleh, momen putus.

$$M_y = F_y \cdot S_x$$

dengan

S_x = Elastis Modulus

$$M_p = f_y \cdot Z_x$$

dengan

Z_x = Plastis Modulus

Faktor bentuk dari suatu penampang adalah perbandingan antara momen plastis (M_p) yang dapat dicapai dibandingkan dengan momen leleh nya. Berikut untuk perumusan faktor bentuk penampang:

$$\delta = \frac{M_p}{M_y} = \frac{F_y Z_x}{F_y S_x}$$

$$\delta = \frac{Z_x}{S_x}$$

Lalu balok dibedakan menjadi 3 katagori menurut jarak lateral bracingnya (penahan lateral) :

1. Dikekang terhadap tekuk lateral menerus $LB = 0$ dan jarak penahan lateral dekat/kecil $L_b < LP$ (zone I ~ plastic buckling $M_n = M_p$).
2. Jarak penahan lateral menengah $L_p < L_b < L_r$ (zone II ~ inelastic buckling $MR < M_n < M_p$).
3. Jarak penahan lateral besar $L_b > L_r$ (zone III ~ elastic buckling $M_n < MR$)

Untuk struktur lentur juga mengakibatkan defleksi pada struktur balok . Lendutan besar mengakibatkan rusaknya alat yg didukung oleh balok tersebut. Penampilan / estetika struktur menjadi berkurang dengan adanya lendutan terlalu besar . Lendutan juga menimbulkan rasa tidak aman bagi pemakai jasa bangunan . Terkadang beberapa balok yang memikul beban sama, diperlukan lendutan yang sama . Penentuan besar lendutan max disyaratkan pada SNI 03-1729-2002. Balok di atas dua perletakan sederhana :

$$Y_{\max} = \frac{5 \times L^4}{384 EI} \quad \rightarrow \text{untuk beban terbagi rata } q \text{ penuh pada balok}$$

diatas dua tumpuan sederhana.

$$Y_{\max} = \frac{PL^3}{48 EI} \quad \rightarrow \text{untuk beban terpusat } P \text{ ditengah bentang.}$$

Balok di atas beberapa tumpuan/ statis tak tentu :

$$Y_{\max} = \frac{5L^2}{48EI} [M_s - 0,1(M_a + M_b)] \quad M_a, M_b - \text{momen tumpuan}$$

M_s - momen ditengah lapangan

Lalu ada tabel batasan lendutan untuk struktur beban tidak berfaktor yaitu:

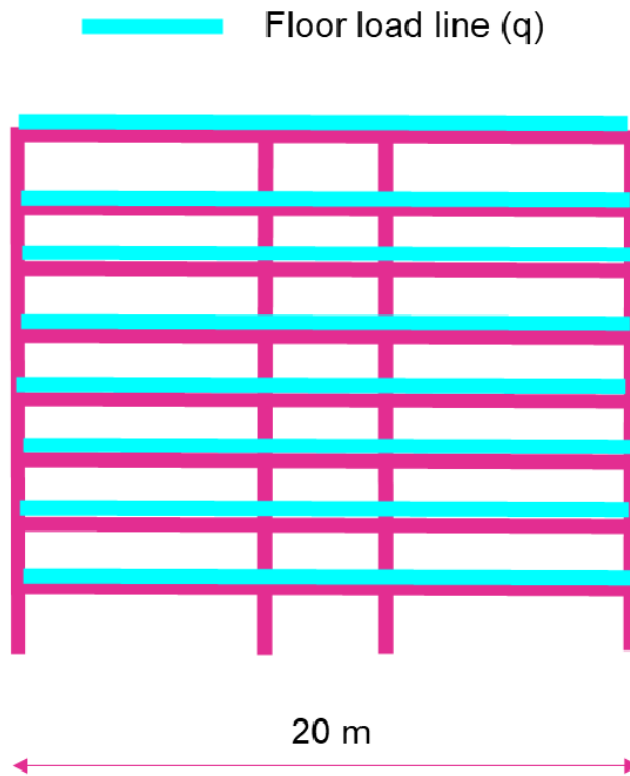
Tabel 2. 15 Batasan Lendutan untuk Struktur dengan Bean Tidak Berfaktor

Komponen struktur dengan beban tidak terfaktor	Beban tetap	Beban sementara
Balok pemikul dinding atau finishing yang getas	$L/360$	-
Balok biasa	$L/240$	-
Kolom dengan analisis orde pertama saja	$h/500$	$h/200$
Kolom dengan analisis orde kedua	$h/300$	$h/200$

2.4 TOPIC 4 : Perhitungan Manual Study Case

Pada topik 4, penulis melakukan perhitungan terhadap *study case* yang diberikan. Topik ini guna mendalami pemahaman lebih dalam serta mengaplikasikan teori yang telah dikaji sebelumnya dalam perhitungan *study case* secara manual.

2.4.1 Soal Study Case



Gambar 2. 21 Ilustrasi *Study Case*

Tabel 2. 16 Soal *Study Case*

F'c	25	Mpa
Story Height	4	m
Total story	8	lantai
Total height	32	m
Width of building	20	m
Live Load (LL)	2.8	t/m
	2800	kg/m
	b	h
Side Column	50 cm	70 cm
Mid Column	60 cm	80 cm

Asumsi :

- Kolom dan balok tidak bermassa
- Balok tidak memiliki kontribusi terhadap kekakuan structural
- Parameter seismik berdasarkan koordinat rumah Anda untuk Situs Kelas A (Razin) dan E (Vina)

Hitung beban seismik ekuivalen statis dan bandingkan hasil untuk kelas situs A dan kelas situs E, serta lakukan desain baja untuk menemukan profil sayap lebar yang tepat untuk komponen balok.

2.4.2 Pembahasan Study Case

1. Pembahasan *Study Case* Vina dan Razin
 - a. Klasifikasi Situs Desain Seismik

Tabel 5 – Klasifikasi situs

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_{u_i} (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (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 $\bar{s}_{u_i} < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs 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 $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_{u_i} < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

Gambar 2. 22 Klasifikasi Situs *Study Case*

- b. Pemilihan Kategori Risiko

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <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

Gambar 2. 23 Pemilihan Kategori Risiko *Study Case*

c. Faktor Keutamaan Gempa

Tabel 4 – Faktor keutamaan gempa

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

Gambar 2. 24 Faktor Keutamaan Gempa *Study Case*

d. Penentuan Parameter Gerakan Tanah (Peta Gempa atau Website)

Dalam penentuan parameter gempa dapat memakai data respons spektra yang bisa didapatkan melalui *website* ciptakarya (<http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>). Penggunaan data pada *website* tersebut khusus untuk perhitungan pada bangunan saja.

- Peta Gempa Vina

Peta MCE_R untuk mendapatkan nilai S_s dan S_1



Gambar 2. 25 Peta MCE_R Vlna

Berdasarkan koordinat rumah yakni (-6.2780068,106.9355311) , didapatkan rentang nilai S_s 0,7 – 0,8 g = 0,78 g



Berdasarkan koordinat rumah yakni (-6.2780068,106.9355311) , didapatkan rentang nilai S_1 0,3 – 0,4 g = 0,36 g

- Penentuan S_1 dan S_s Rizin

Berdasarkan koordinat rumah yakni (-7.2945438,112.810594), didapatkan nilai S_1 dan S_s seperti pada gambar x , yakni $S_1 = 0,277$ g dan $S_s = 0,627$

Parameter	Value	Unit
PGA MCEr	0.3000	(g) bedrock
SS MCEr	0.6270	(g) bedrock
S1 MCEr	0.2770	(g) bedrock
TL	20	Detik

e. Koefisien Situs F_a dan F_v

Dalam mendapatkan koefisien situs F_a dan F_v bisa melalui tabel 6 dan tabel 7 yang tersedia pada SNI 1726:2019. Untuk penyesuaian nilai yang lebih detail dapat dilakukan interpolasi sesuai data yang telah didapatkan sebelumnya.

- F_a dan F_v Vina

Untuk kelas situs tanah yakni kelas situs SE. Sebelumnya didapatkan nilai $S_s = 0,78$ g , maka dapat dilakukan interpolasi sehingga mendapatkan nilai melalui interpolasi tersebut sebesar $F_a = 1,276$

Tabel 2. 17 F_a Vina

Tabel 6 – Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,25$	$S_1 = 0,5$	$S_1 = 0,75$	$S_1 = 1,0$	$S_1 = 1,25$	$S_1 \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

Untuk kelas situs tanah yakni kelas situs SE. Sebelumnya didapatkan nilai $S_1 = 0,34$ g, maka dapat dilakukan interpolasi sehingga mendapatkan nilai melalui interpolasi tersebut sebesar $F_v = 2,32$

Tabel 2. 18 F_v Vina

Tabel 7 – Koefisien situs, F_s

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_T					
	$S_T \leq 0,1$	$S_T = 0,2$	$S_T = 0,3$	$S_T = 0,4$	$S_T = 0,5$	$S_T \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

- F_a dan F_v Razin

Untuk kelas situs tanah yakni kelas situs SA. Sebelumnya didapatkan nilai $S_s = 0,627$ g, maka melalui tabel didapatkan nilai $F_a = 0,8$

Tabel 2. 19 F_a Razin

Tabel 6 – Koefisien situs, F_s

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Untuk kelas situs tanah yakni kelas situs SA. Sebelumnya didapatkan nilai $S_1 = 0,277$ g, maka melalui tabel didapatkan nilai $F_v = 0,8$

Tabel 2. 20 Fv Razin

Tabel 7 – Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_T					
	$S_T \leq 0,1$	$S_T = 0,2$	$S_T = 0,3$	$S_T = 0,4$	$S_T = 0,5$	$S_T \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

f. Percepatan Spektra dengan Peta Gempa

Parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek (SDs) dan periode 1 detik (SD₁) dapat menggunakan rumus yakni :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (9)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (10)$$

- Perhitungan SDs dan SD₁ Vina

$$SDs = \frac{2}{3} \cdot 1,276 \cdot 0,78 = 0,663$$

$$SD1 = \frac{2}{3} \cdot 2,32 \cdot 0,36 = 0,556$$

(Nilai SDS dan SD₁ sudah mendekati nilai yang ada pada *website*)

- Perhitungan SDs dan SD₁ Razin

$$SDs = \frac{2}{3} \cdot 0,8 \cdot 0,627 = 0,334$$

$$SD1 = \frac{2}{3} \cdot 0,8 \cdot 0,277 = 0,147$$

(Nilai SDS dan SD₁ sudah mendekati nilai yang ada pada *website*)

g. Penentuan Kategori Desain Seismik

- Kategori desain seismik Vina

Tabel 8 – Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	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

Tabel 9 – Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	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

Gambar 2. 26 Kategori Desain Seismik Vina

Berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1} yang didapatkan, maka kategori desain yang sesuai yakni kategori desain seismik D

- Kategori desain seismik Razin

Tabel 8 – Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	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

Tabel 9 – Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	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

Gambar 2. 27 Kategori Desain Seismik Razin

Berdasarkan nilai SDs dan SD₁ yang didapatkan, maka kategori desain yang sesuai yakni kategori desain seismik C

h. Sistem Pemikul Gaya Seismik

Brdasarkan soal *study case* yang diberikan maka sistem pemikul gaya seismik yang dipakai yakni susai dengan tabel berikut

Tabel 2. 21 Sistem Pemikul Gaya Seismik *Study Case*

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_b^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_s (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	T1	T1	T1	T1
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	T1	T1	T1	T1
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¼	TB	T1	T1	T1	T1
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
23. Dinding rangka ringan (baja canal dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	T1
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^g	T1 ^h	T1 ^h
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	T1 ⁱ	T1 ⁱ	T1 ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	T1	T1	T1
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	T1	T1	T1	T1
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	T1	T1	T1
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	T1	T1
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	T1	T1	T1	T1
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁿ	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10

Didapatkan Koefisien modifikasi respons = 8 , Faktor kekuatan lebih sistem = 3, dan Faktor pembesaran defleksi = 5 ½ .

i. Penentuan Metode Analisis

Sesuai dengan pasal 7.7 SNI 1726:2019 dalam hal ini yakni

Tabel 2. 22 Prosedur Metode Analisis *Study Case*

Tabel 16 – Prosedur analisis yang diizinkan

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen Pasal 7.8	Analisis spektrum respons ragam Pasal 7.9	Prosedur respons riwayat waktu seismik Pasal 11
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

CATATAN I: Diizinkan, TI: Tidak Diizinkan

j. Periode Fundamental Pendekatan T_a

Perhitungan nilai T_a dapat menggunakan rumus

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

Dimana parameter periode pendekatan C_t dan x didapatkan melalui tabel 18 SNI 1726:2019

Tabel 2. 23 Parameter Periode Pendekatan C_t dan x *Study Case*

Tabel 18 – Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

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

$$T_a = 0,0724 \cdot 32^{0,8}$$

$$T_a = 1,1584$$

k. Batas Atas Periode T

Perhitungan nilai Ta dapat menggunakan rumus

$$T = C_u \cdot T_a$$

- Perhitungan T Vina

Nilai $SD_1 = 0,556$, maka didapatkan nilai C_u melalui tabel berikut yakni

$$C_u = 1,4$$

Tabel 2. 24 Batas Atas Periode Vina

Tabel 17 – Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	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

$$T = 1,4 \cdot 1,158 = 1,62 \text{ detik}$$

- Perhitungan T Razin

Nilai $SD_1 = 0,556$, maka didapatkan nilai C_u melalui tabel berikut yakni $C_u = 1,6$

Tabel 2. 25 Batas Atas Periode Razin

Tabel 17 – Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	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

$$T = 1,6 \cdot 1,158 = 1,85 \text{ detik}$$

1. Koefisien Respon Seismik

Menentukan koefisien respon seismik (C_s) dapat menggunakan rumus yakni

Koefisien respons seismik, C_s , harus ditentukan sesuai dengan Persamaan (31).

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (31)$$

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan Persamaan (31) tidak perlu melebihi berikut ini:
Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (32)$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (34)$$

- Perhitungan C_s Vina

$$S_{DS} = 0,663$$

$$S_{D1} = 0,556$$

$$T = 1,62 \text{ detik}$$

$$R = 8$$

$$I_e = 1$$

$$C_s = \frac{0,663}{8/1} = 0,08294, \text{ **TIDAK BOLEH LEBIH DARI**}$$

$$C_s = \frac{0,556}{1,63 \cdot 8/1} = 0,04292, \text{ **MENENTUKAN**}$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 \cdot 0,663 \cdot 1 \geq 0,01,$$

$$C_s = 0,0291 \geq 0,01$$

Maka, C_s Pakai = 0,04292

- Perhitungan Cs Rizin

$$SDs = 0,334$$

$$SD_1 = 0,147$$

$$T = 1,85 \text{ detik}$$

$$R = 8$$

$$I_e = 1$$

$$C_s = \frac{0,334}{8/1} = 0,0418, \text{ **TIDAK BOLEH LEBIH DARI**}$$

$$C_s = \frac{0,147}{1,85 \cdot 8/1} = 0,01594, \text{ **(MENENTUKAN)**}$$

Cs harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 \cdot 0,334 \cdot 1 \geq 0,01,$$

$$C_s = 0,0147 \geq 0,01$$

Maka, Cs Pakai = 0,01594

- m. Pembebanan Gempa

$$\text{Beban Lantai} = 2,8 \text{ t/m}$$

$$= 2800 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban Total} = 2800 \cdot 20 = 56000 \text{ kg} = 560 \text{ kN}$$

Tabel 2. 26 Pembebanan *Study Case*

Level	Beban Mati (D) (kN)	Beban Hidup (L)	D+(0,25)L (Kn)
Lantai 8	560	0	560
Lantai 7	560	0	560
Lantai 6	560	0	560
Lantai 5	560	0	560
Lantai 4	560	0	560
Lantai 3	560	0	560
Lantai 2	560	0	560
Lantai 1	560	0	560
Berat Seismik Efektif Total			4480 kN

n. Gaya Geser Seismik

Gaya geser dasar seismik (V) ditentukan melalui persamaan berikut

$$V = C_s W \quad (30)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan 7.8.1.1

W = berat seismik efektif menurut 7.7.2

- Perhitungan geser seismik Vina

$$V = 0,04292 \cdot 4480 = 192,265 \text{ kN}$$

- Perhitungan geser seismik Razin

$$V = 0,01594 \cdot 4480 = 71,418 \text{ kN}$$

o. Distribusi Vertikal Gaya Seismik

Tahap ini digunakan untuk melihat distribusi untuk pembebanan gempa pada tiap lantai, digunakan persamaan yang berada pada pasal 7.8.3 SNI 1726:2019 yakni

Gaya seismik lateral, F_x , (kN) di sebarang tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$F_x = C_{vx}V \quad (40)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (41)$$

Keterangan:

- C_{vx} = faktor distribusi vertikal
- V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)
- w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x
- h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)
- k = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut:
 - untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$
 - untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$
 - untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

- Distribusi Pembebanan Vina

Nilai k didapatkan melalui interpolasi sehingga didapatkan nilai $K = 1,56$

Tabel 2. 27 Rekapitulasi Distribusi Vertikal Gaya Seismik Vina

Level	W_x (kN)	H_x	H_x^k	$W_x \cdot H_x^k$	C_{vx}	F_x (kN)
Lantai 1	560	4	6,24352	3496,3712	0,03	5,341
Lantai 2	560	8	12,48704	6992,7424	0,06	10,681
Lantai 3	560	12	18,73056	10489,1136	0,08	16,022
Lantai 4	560	16	24,97408	13985,4848	0,11	21,363
Lantai 5	560	20	31,2176	17481,856	0,14	26,703
Lantai 6	560	24	37,46112	20978,2272	0,17	32,044
Lantai 7	560	28	43,70464	24474,5984	0,19	37,385
Lantai 8	560	32	49,94816	27970,9696	0,22	42,726
TOTAL				125869,3632		192,265

- Distribusi Pembebanan Razin

Nilai k didapatkan melalui interpolasi sehingga didapatkan nilai $K = 1,329$

Tabel 2. 28 Rekapitulasi Distribusi Vertikal Gaya Seismik Razin

Level	W_x (kN)	Hx	Hx^k	$Wx \cdot Hx^k$	Cv_x	F_x (kN)
Lantai 8	560	32	100.15	56083.28	0.25	18.099
Lantai 7	560	28	83.86	46962.42	0.21	15.156
Lantai 6	560	24	68.32	38261.75	0.17	12.348
Lantai 5	560	20	53.62	30027.36	0.14	9.690
Lantai 4	560	16	39.86	22320.52	0.10	7.203
Lantai 3	560	12	27.19	15227.75	0.07	4.914
Lantai 2	560	8	15.86	8883.32	0.04	2.867
Lantai 1	560	4	6.31	3535.46	0.02	1.141
TOTAL				221301.853		71.418

2.4.3 Perbandingan Hasil *Study Case*

Berdasarkan hasil rekapitulasi yang didapatkan maka gaya gempa total yang diterima struktur dengan program bantu SAP2000 sebesar 78,89 kN. Jika dibandingkan gaya gempa dengan perhitungan manual yang diterima yakni 65,91 kN. Maka, perbandingan perbedaan gaya gempa yang diterima antara perhitungan manual dengan menggunakan program bantu SAP2000 yakni kurang lebih sebesar 1,19 %.

2.5 TOPIC 5 : Perhitungan *Study Case* dengan Software dan Analisis P-Delta

Pada topik 5 dilakukan perhitungan pada soal *study case* menggunakan program bantu *software*. *Software* yang kami gunakan pada *study case* ini yakni menggunakan program bantu SAP2000 dan analisis P-Delta.

2.5.1 Penyelesaian *Study Case* dengan SAP2000

Berikut tahap penyelesaian *study case* dengan program bantu SAP2000 :

a. *Grid Data* SAP2000 (2D)

Data disesuaikan dengan *study case* yang diberikan, untuk pemodelan diminta melalui pemodelan 2D sehingga berikut contoh pemodelan yang dibuat melalui program bantu SAP2000 serta memasukan data untuk pemodelan seperti di bawah ini :

System Name: GLOBAL

Grid Lines: Quick Start...

X Grid Data

Grid ID	Spacing (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color
A	7.5	Primary	Yes	End	
B	5	Primary	Yes	End	
C	7.5	Primary	Yes	End	
D	0	Primary	Yes	End	

Y Grid Data

Grid ID	Spacing (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color
1	0	Primary	Yes	Start	

Z Grid Data

Grid ID	Spacing (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc
4	4	Primary	Yes	End
5	4	Primary	Yes	End
6	4	Primary	Yes	End
7	4	Primary	Yes	End
8	4	Primary	Yes	End
9	0	Primary	Yes	End

Display Grids as: Ordinates Spacing

Hide All Grid Lines:
Glue to Grid Lines:

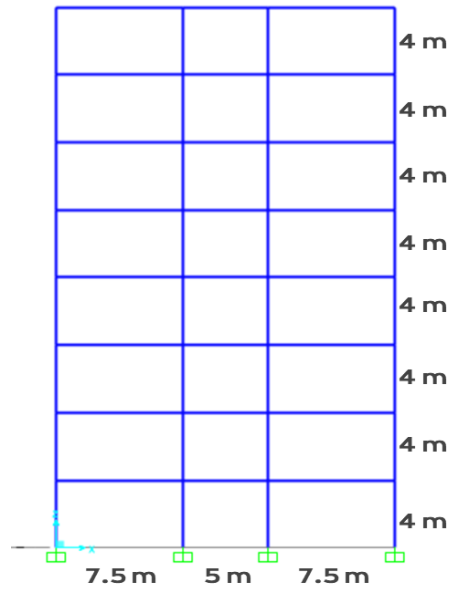
Bubble Size: 1.25

Reset to Default Color

Reorder Ordinates

OK Cancel

Gambar 2. 28 Input Data Pemodelan 2D melalui SAP2000



Gambar 2. 29 Pemodelan 2D melalui SAP2000

b. Define Materials

1. Spesifikasi Material Beton

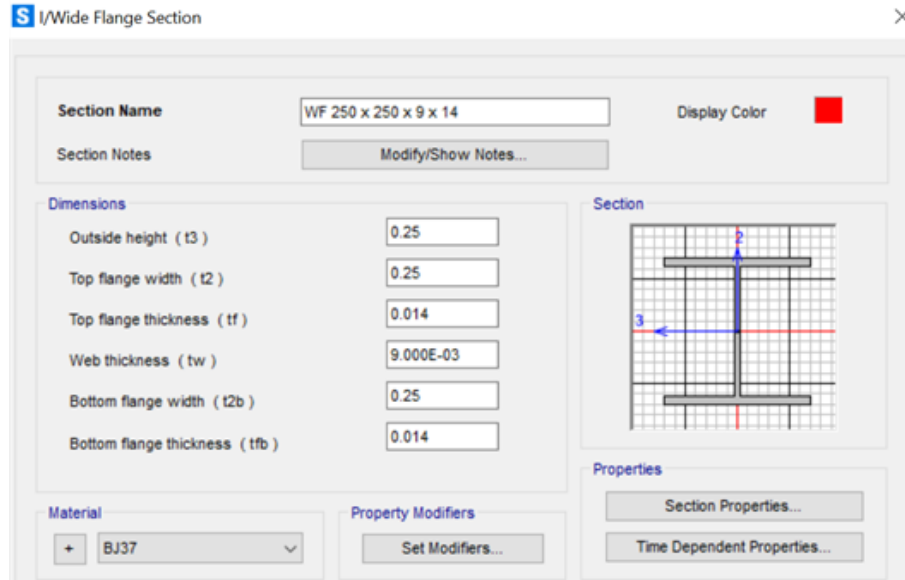
Input spesifikasi material untuk beton sesuai dengan gambar di bawah:

Gambar 2. 30 Data Material Beton

2. Spesifikasi Material Baja

- Spesifikasi Material Baja Vina

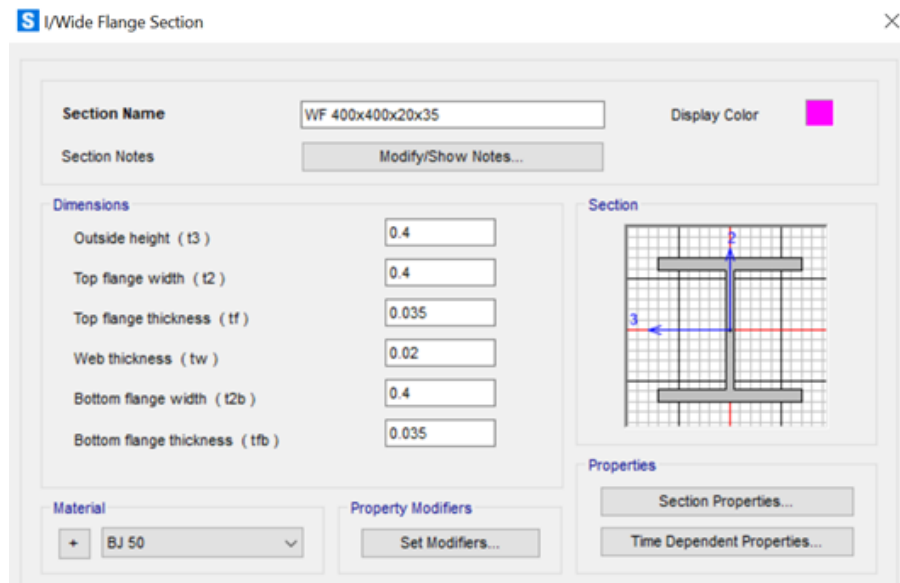
BJ 37 dan WF 250 x 250 x 9 x 14 mm



Gambar 2. 31 Data Material Baja Vina

- Spesifikasi Material Baja Razin

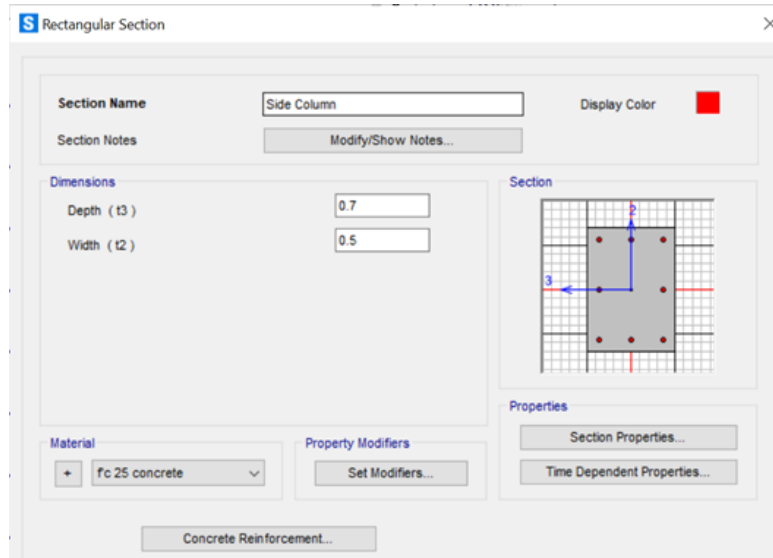
BJ 50 dan WF 400 x 400 x 20 x 35 mm



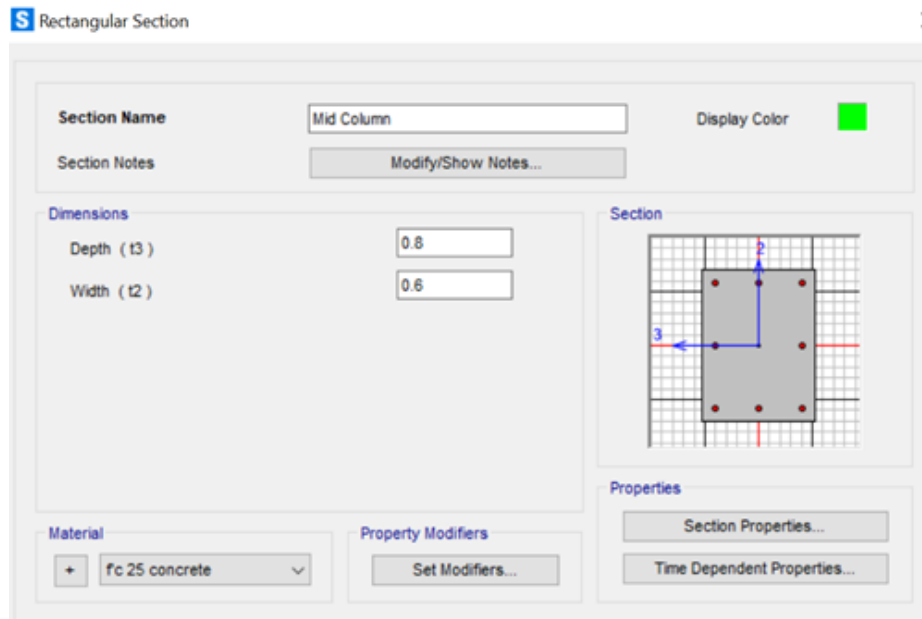
Gambar 2. 32 Data Material Baja Razin

c. *Define Section Properties*

Input spesifikasi kolom yang telah diberikan pada soal, terdapat 2 spesifikasi kolom yakni untuk kolom pinggir (*side column* 50 x 70 cm) dan kolom tengah (*mid column* 60 x 80 cm)



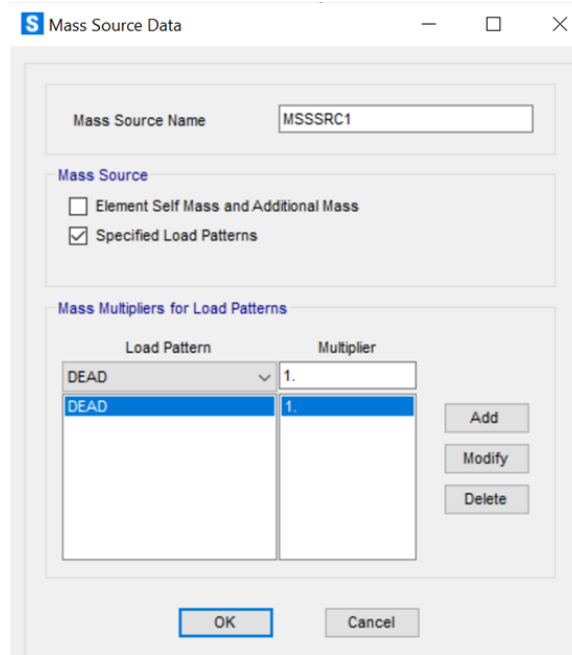
Gambar 2. 33 Data untuk *Side Column* (50 x 70 cm)



Gambar 2. 34 Data untuk *Mid Column* (60 x 80 cm)

d. Define Mass Source

Dalam mendefinisikan mass source memakai *specified load pattern* dengan *load pattern dead* dan *multiplier 1*. Sesuai dengan tampilan gambar di bawah ini :



Gambar 2. 35 *Mass Source Data*

e. Define Functions

Dalam mendefinisikan fungsi untuk memasukkan data pada gempa dinamik dengan respon spektrum sesuai dengan data yang dimiliki :

- Respon Spectrum Function Definition Vina

Name : SITE E Jakarta

Function Type : ASCE 7-16

$$S_s = 0.78 \qquad F_a = 1.3$$

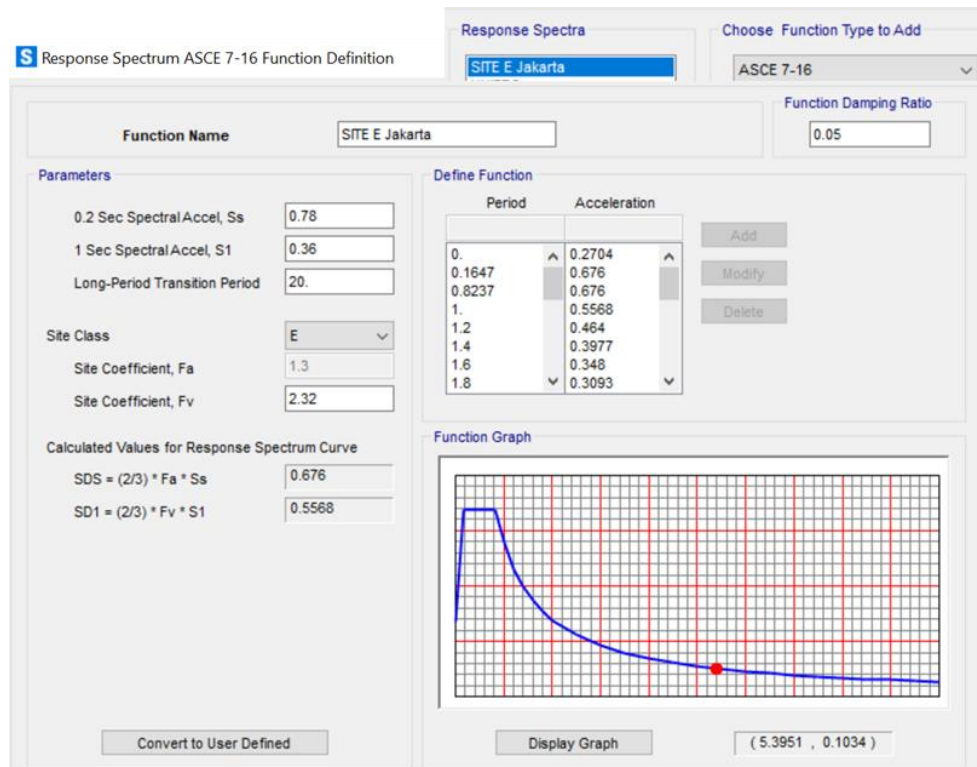
$$S_1 = 0.36 \qquad F_v = 2.32$$

Site Class : E

Values for Response Spectrum

$$S_{ds} = 0.676$$

$$S_{d1} = 0.556$$



Gambar 2. 36 Respon Spectrum ASCE 7-16 Function Definition – Vina

- Respon Spectrum Function Definition Vina

Name : RS Site A SBY

Function Type : ASCE 7-16

$S_s = 0.627$ $F_a = 0.8$

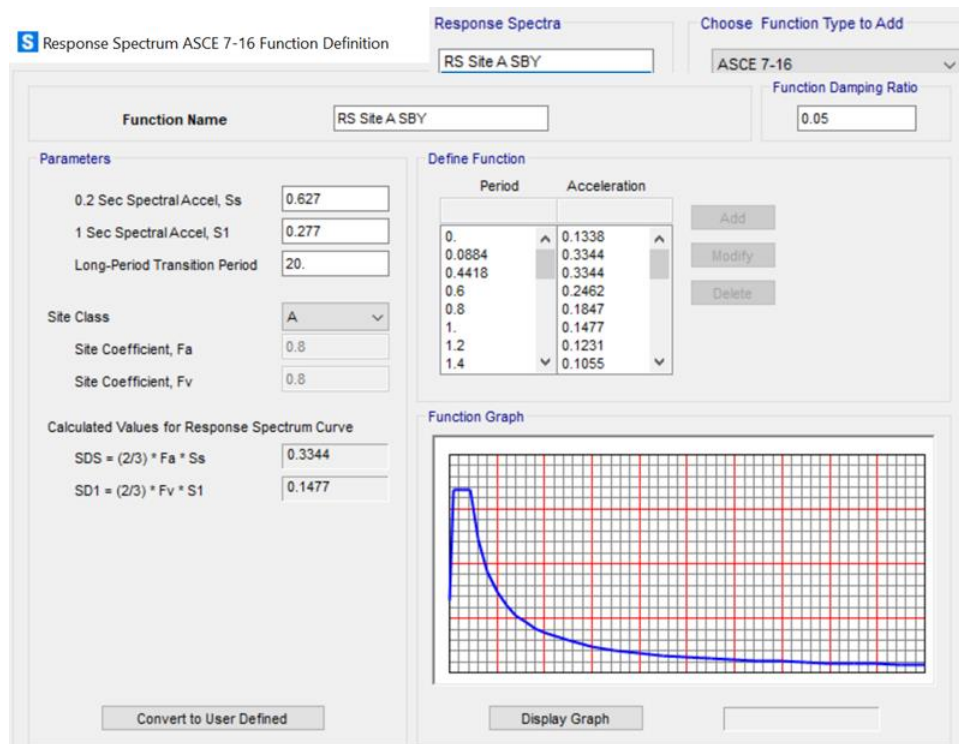
$S_1 = 0.277$ $F_v = 0.8$

Site Class : A

Values for Response Spectrum

$S_{ds} = 0.334$

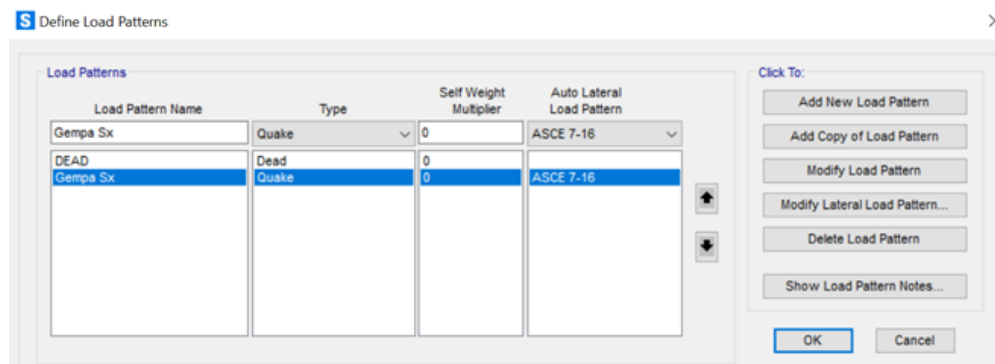
$S_{d1} = 0.147$



Gambar 2. 37 *Respon Spectrum ASCE 7-16 Function Definition - Razin*

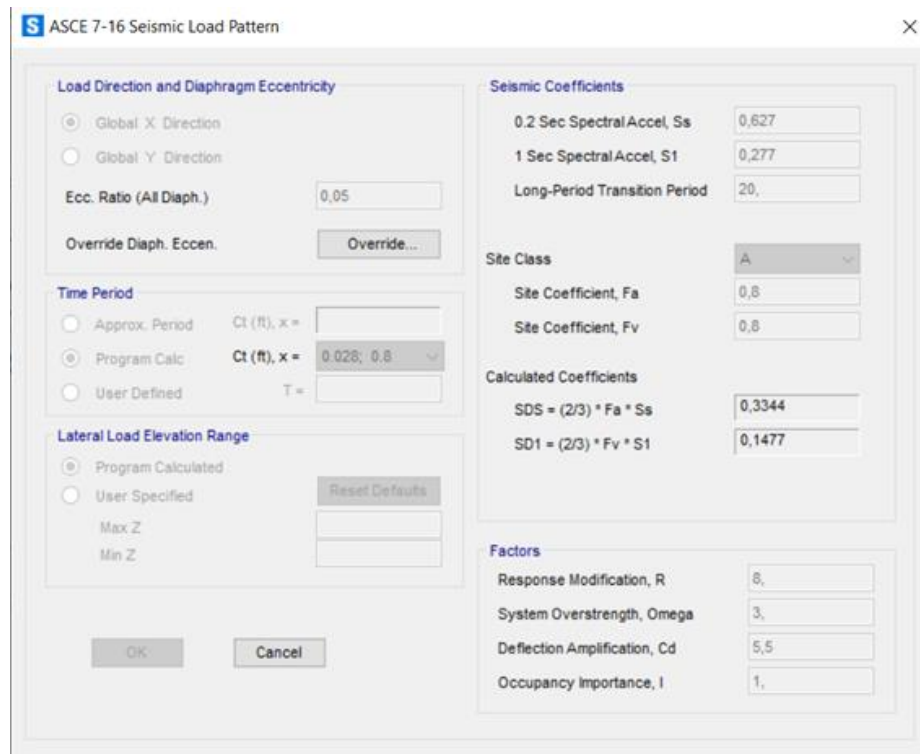
f. Define Load Patternss

Dalam mendefinisikan *load patterns* dengan *input* beban mati (*Dead Load*) dan beban Gempa statik arah x atau Gempa Sx



Gambar 2. 38 *Define Load Patterns*

Dalam *input load pattern* ada sedikit modifikasi untuk seismiknya dan memasukan sesuai data perhitungan sebelumnya menjadi sebagai berikut :



Gambar 2. 39 ASCE 7 – 16 Load Pattern

g. Define Load Cases

Dalam mendefinisikan *load cases* dalam hal ini terdapat 4 *load cases* yang penulis *input* yakni *dead*, *modal*, gempa *Sx*, dan *Dx*. Berikut detail *load cases* yang penulis *input* pada tiap kasus :

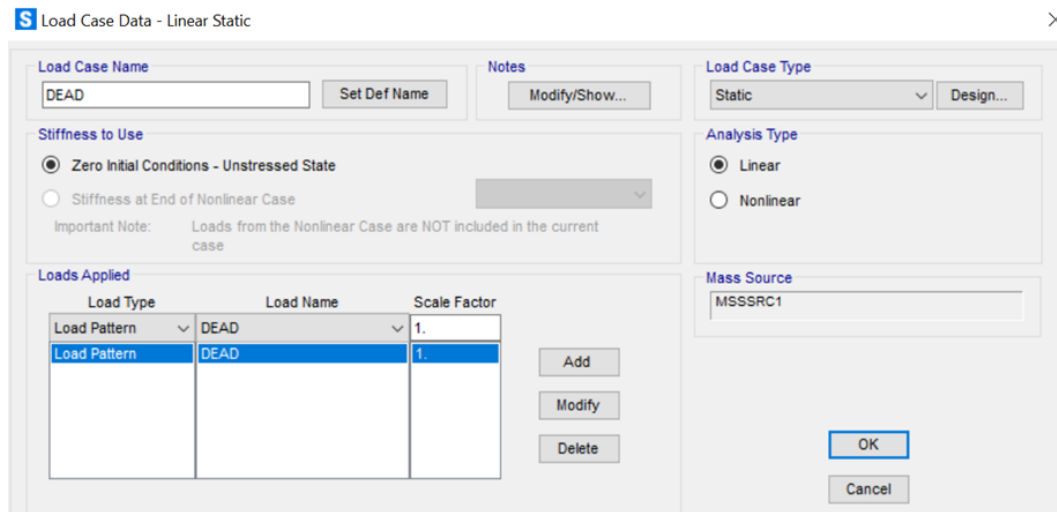
1. Dead

Scale Factor : 1

Load Case Type : Static

Analysis Type : Linear

Mass Source : MSSSRC1

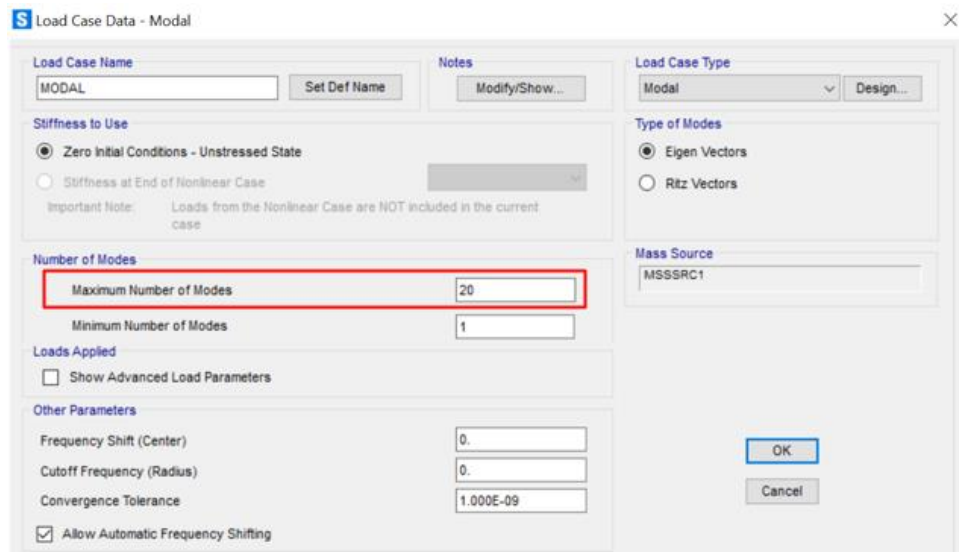


Gambar 2. 40 *Dead Load Cases*

2. Modal

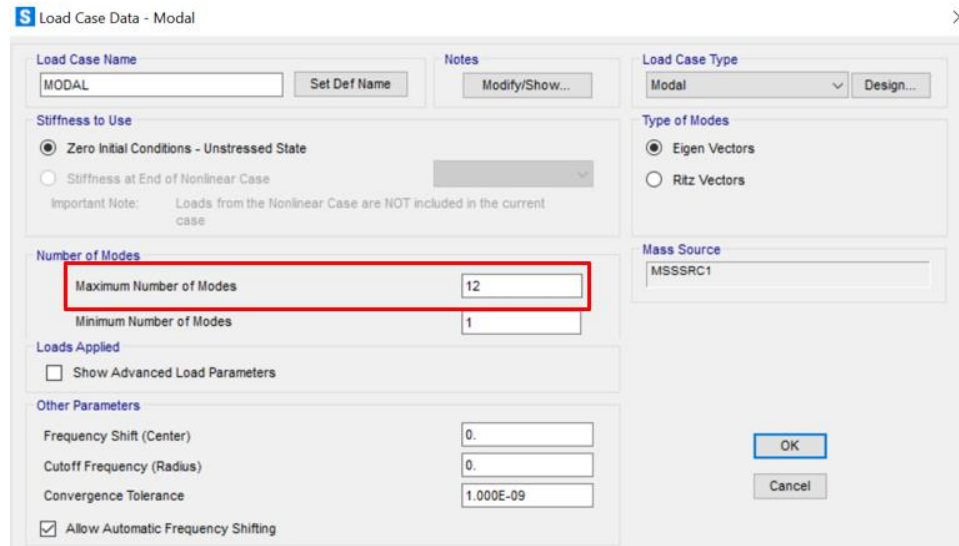
Load Case Type : Modal

- *Max Number of Modes* Vina = 20 (Karena hanya 12 belum sampai 0,9 atau 90%)



Gambar 2. 41 *Modal Load Cases - Vina*

- Max Number of Modes Rizin = 12



Gambar 2. 42 Modal Load Cases - Rizin

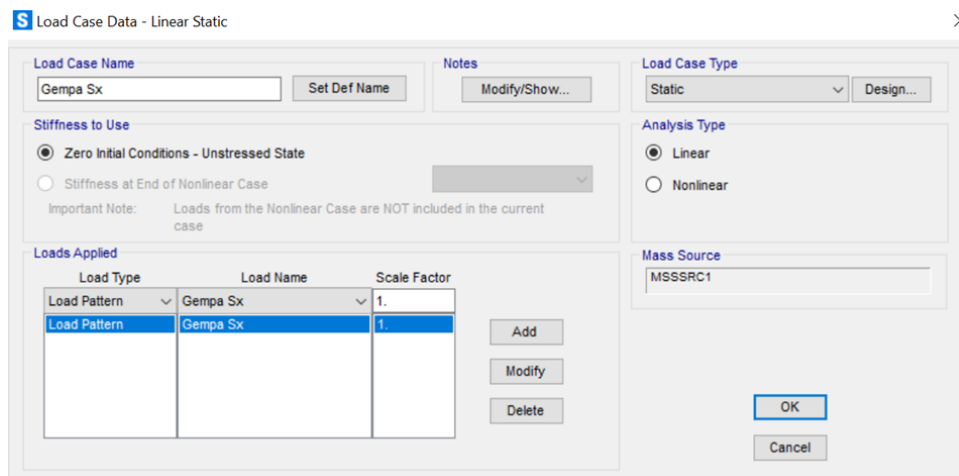
3. Gempa Sx

Scale Factor : 1

Load Case Type : Static

Analysis Type : Linear

Mass Source : MSSSRC1



Gambar 2. 43 Gempa Sx Load Cases

4. Dx

Menentukan faktor pengali untuk *load cases* Dx sesuai data gempa masing – masing yakni sebagai berikut :

- Dx Vina

Modal Combination : CQC

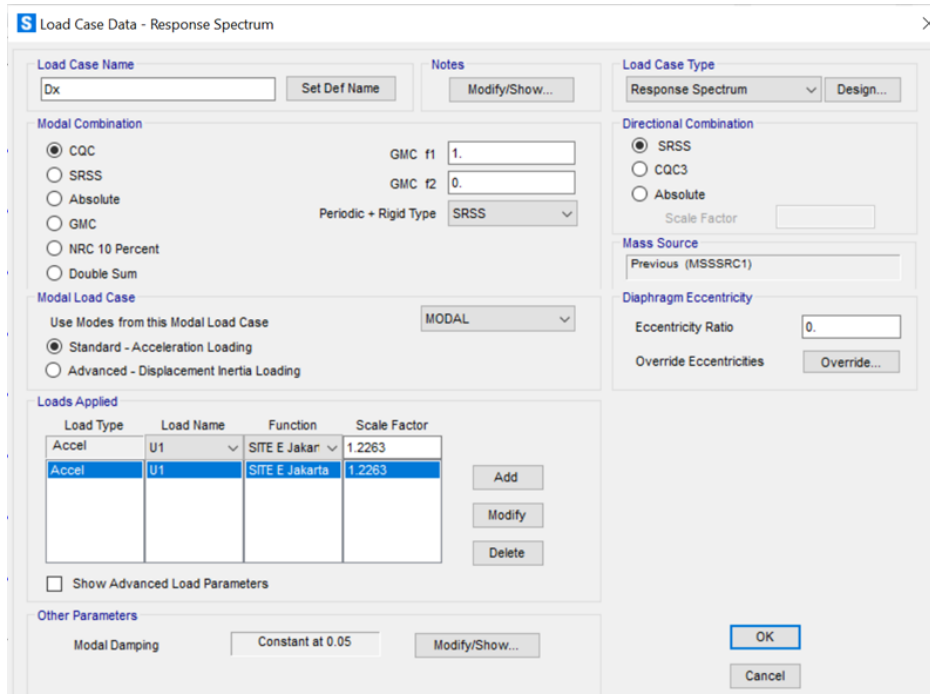
Modal Load Case : Standard

Scale Factor : $(9,81 * 1/8) : 1.2263$

Funciton : Site E Jakarta

Load Case Type : Response Spectrum

Mass Source : MSSSRC1



Gambar 2. 44 Dx Load Cases - Vina

- Dx Razin

Modal Combination : CQC

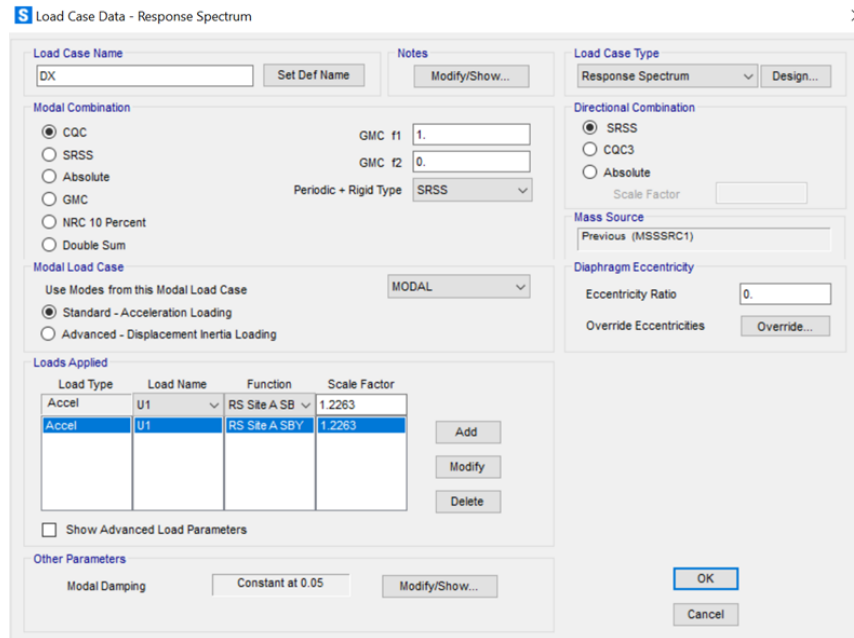
Modal Load Case : Standard

Scale Factor : $(9,81 * 1/8) : 1.2263$

Funciton : RS Site A SBY

Load Case Type : Response Spectrum

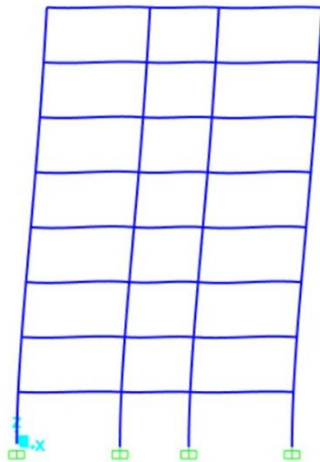
Mass Source : MSSSRC1



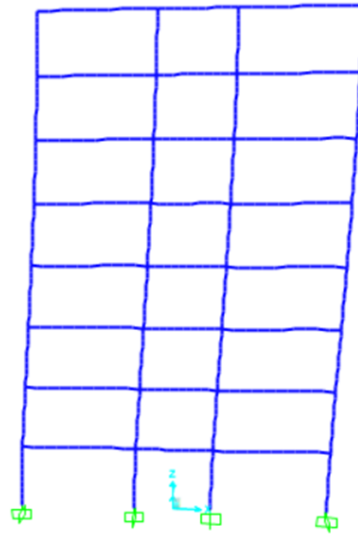
Gambar 2. 45 Dx Load Cases – Razin

h. Run Analysis

Melakukan analisis hasil setelah *input* data dan spesifikasi yang diminta sehingga mendapatkan hasil *running* sebagai berikut :



Gambar 2. 46 Running Analysis SAP2000 - Vina



Gambar 2. 47 Running Analysis SAP2000 - Razin

i. Structure Output

Setelah melakukan perhitungan dengan program bantu SAP2000, maka didapatkan hasil berupa total beban gempa yang diterima oleh struktur 2D. Berikut rekapitulasi hasil perhitungan yang didapatkan dengan program bantu SAP2000 :

1) Output Base Reaction

- Rekapitulasi *Base Reaction* Vina

Tabel 2. 29 Tabel Rekapitulasi *Structure Output* Vina

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	StepNum	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Text	Unitless	KN	KN
DEAD	LinStatic			-4.46E-15	0
MODAL	LinModal	Mode	1	-1.602E-09	-1.148
MODAL	LinModal	Mode	2	3.895E-10	-5.241E-10
MODAL	LinModal	Mode	3	13.444	-5.143E-09
MODAL	LinModal	Mode	4	2.062E-08	0.042
MODAL	LinModal	Mode	5	9.001E-07	-24.995
MODAL	LinModal	Mode	6	3.381E-07	-2.468E-07
MODAL	LinModal	Mode	7	-1.072E-07	4.37
MODAL	LinModal	Mode	8	-0.0000112	0.000007815
MODAL	LinModal	Mode	9	78.252	-0.000001209
MODAL	LinModal	Mode	10	0.000003376	-0.0000109
MODAL	LinModal	Mode	11	0.00006522	96.308
MODAL	LinModal	Mode	12	-0.000002877	-0.000003903
MODAL	LinModal	Mode	13	-0.000008103	-67.799
MODAL	LinModal	Mode	14	0.00003289	-0.000005655
MODAL	LinModal	Mode	15	-264.576	0.00001082
MODAL	LinModal	Mode	16	-0.0001233	-206.08
MODAL	LinModal	Mode	17	-0.000006273	0.00003445
MODAL	LinModal	Mode	18	-0.0002202	249.255
MODAL	LinModal	Mode	19	0.0001483	-0.00002613
MODAL	LinModal	Mode	20	-649.837	0.000414
Gempa Sx	LinStatic			-188.458	0
Dx	LinRespSpec	Max		113.804	0.00000739

Berdasarkan hasil rekapitulasi yang didapatkan maka gaya gempa total yang diterima struktur dengan program bantu SAP2000 sebesar 188.45 kN. Jika dibandingkan gaya gempa dengan perhitungan manual yang diterima yakni 192.26 kN. Maka, perbandingan perbedaan gaya gempa yang diterima antara perhitungan manual dengan menggunakan program bantu SAP2000 yakni kurang lebih sebesar 0,98%.

- Rekapitulasi *Base Reaction* Razin

Tabel 2. 30 Tabel Rekapitulasi *Structure Output* Razin

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	StepNum	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Text	Unitless	KN	KN
DEAD	LinStatic			2.007E-14	0
MODAL	LinModal	Mode	1	2.898E-09	-1.148
MODAL	LinModal	Mode	2	-1.454E-09	-5.345E-09
MODAL	LinModal	Mode	3	9.618E-07	25.241
MODAL	LinModal	Mode	4	-69.944	-0.000005164
MODAL	LinModal	Mode	5	0.000003203	-0.819
MODAL	LinModal	Mode	6	-0.00002148	-0.00003539
MODAL	LinModal	Mode	7	0.000004116	1.219
MODAL	LinModal	Mode	8	-0.00003599	115.601
MODAL	LinModal	Mode	9	0.00002455	0.00002198
MODAL	LinModal	Mode	10	0.0001035	22.229
MODAL	LinModal	Mode	11	-254.683	-0.0001229
MODAL	LinModal	Mode	12	-0.00001332	-0.000003298
Gempa Sx	LinStatic			-78.894	0
DX	LinRespSpec	Max		66.264	0.00001042

Berdasarkan hasil rekapitulasi yang didapatkan maka gaya gempa total yang diterima struktur dengan program bantu SAP2000 sebesar 78,89 kN. Jika dibandingkan gaya gempa dengan perhitungan manual yang diterima yakni 65,91 kN. Maka, perbandingan perbedaan gaya gempa yang diterima antara perhitungan manual dengan menggunakan program bantu SAP2000 yakni kurang lebih sebesar 1,19 %.

2) *Output Modal Participating Mass Ratios*

- Rekapitulasi Periode Fundamental Vina

Berikut tabel rekapitulasi untuk *Modal Participating Mass Ratios* Vina

Tabel 2. 31 Tabel Rekapitulasi *Modal Participating Mass Ratios* Vina

TABLE: Modal Participating Mass Ratios			
OutputCase	StepType	StepNum	Period
Text	Text	Unitless	Sec
MODAL	Mode	1	7.633653
MODAL	Mode	2	3.162251
MODAL	Mode	3	2.298114
MODAL	Mode	4	1.876041
MODAL	Mode	5	1.214021
MODAL	Mode	6	1.058482
MODAL	Mode	7	0.893
MODAL	Mode	8	0.842158
MODAL	Mode	9	0.620582
MODAL	Mode	10	0.601377
MODAL	Mode	11	0.440316
MODAL	Mode	12	0.437265
MODAL	Mode	13	0.403641
MODAL	Mode	14	0.355139
MODAL	Mode	15	0.274937
MODAL	Mode	16	0.228394
MODAL	Mode	17	0.228339
MODAL	Mode	18	0.211068
MODAL	Mode	19	0.202587
MODAL	Mode	20	0.150923

- Rekapitulasi Periode Fundamental Razin

Berikut tabel rekapitulasi untuk *Modal Participating Mass Ratios* Razin

Tabel 2. 32 Tabel Rekapitulasi *Modal Participating Mass Ratios* Razin

TABLE: Modal Participating Mass Ratios			
OutputCase	StepType	StepNum	Period
Text	Text	Unitless	Sec
MODAL	Mode	1	7.632418
MODAL	Mode	2	2.803487
MODAL	Mode	3	1.210618
MODAL	Mode	4	1.028353
MODAL	Mode	5	0.888662
MODAL	Mode	6	0.854981
MODAL	Mode	7	0.558605
MODAL	Mode	8	0.431838
MODAL	Mode	9	0.397599
MODAL	Mode	10	0.332634
MODAL	Mode	11	0.324031
MODAL	Mode	12	0.305809

2.5.2 Analisis P-Delta

2.5.2.1 Definisi P-Delta

Efek P- Delta yakni beban tambahan gravitasi (P) yang berpengaruh terhadap Simpangan lateral (perpindahan horizontal (Δ) akibat beban gempa.

Efek P- Delta berasal dari 2 sumber, yaitu perpindahan global pada batang kolom oleh beban lateral (P-Large Delta , P- Δ) dan deformasi lokal yang terjadi dalam batang kolom itu sendiri (P-Small Delta , P- δ). Dalam perhitungan terdapat 2 cara untuk mengikutkan pengaruh P-Delta yakni :

1. Membuat beban statik *non-linear* untuk tiap kombinasi beban
2. Membuat kasus beban P-Delta untuk beban gravitasi yang diantisipasi dan gunakan kekakuan yang dimodifikasi dari kasus ini untuk analisis lainnya.

2.5.2.2 Pengaruh P-Delta

Efek P-Delta ada statik dan dinamik. Berikut penjelasan mengenai efek P-Delta statik dan dinamik :

- Efek P-Delta Statik

Berdasarkan FEMA 356 C3.2.5 P-Delta Effect Statik terjadi akibat beban gravitasi yang bekerja melalui konfigurasi perubahan deformasi dari sebuah bangunan dan menghasilkan peningkatan pada lateral displacement. Pada SNI 1726-2019 pasal 7.8.7 pengaruh dari P-Delta tidak diperlukan untuk dilakukan perhitungan jika koefisien stabilitas (ϕ) kurang dari atau sama dengan 0,10.[3]

- Efek P-Delta Dinamik

Perhitungan P-Delta Effect dilakukan untuk mempertimbangkan penambahan simpangan. Sejauh mana P-Delta Effect dinamik meningkatkan displacement sesuai dengan parameter berikut ini :

- 1) Perbandingan α dari kekakuan negatif pasca kelelahan dengan kekakuan efektif elastik.
- 2) Periode dasar dari sebuah bangunan.
- 3) Strength ratio (R)

- 4) Deformasi beban histeresis untuk tiap lantai.
- 5) Karakteristik frekuensi dari pergerakan tanah.
- 6) Durasi dari kekuatan pergerakan tanah

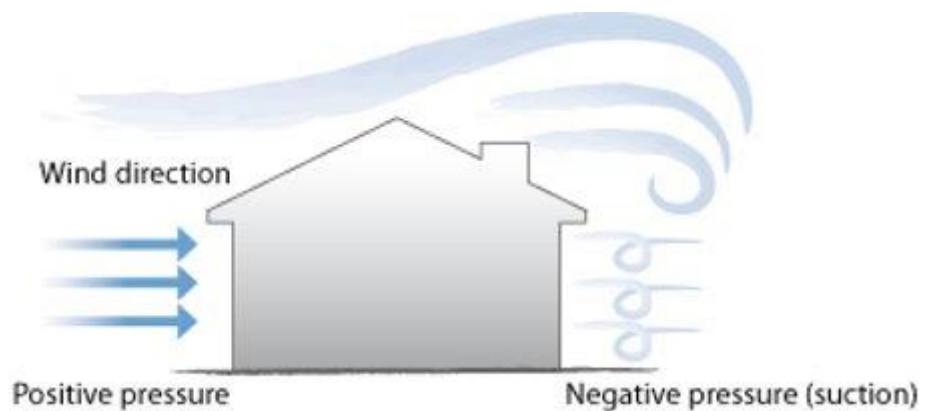
2.6 TOPIC 6 : Lateral Load Resistance for Hi Rise Building

Pada topik ini membahas tentang dulu tentang beban lateral untuk bangunan. Lalu membahas tipe dari ketahanan beban lateral untuk gedung bertingkat tinggi. Berikut untuk pembahasan lebih lanjutnya.

2.6.1 Beban Lateral pada Bangunan

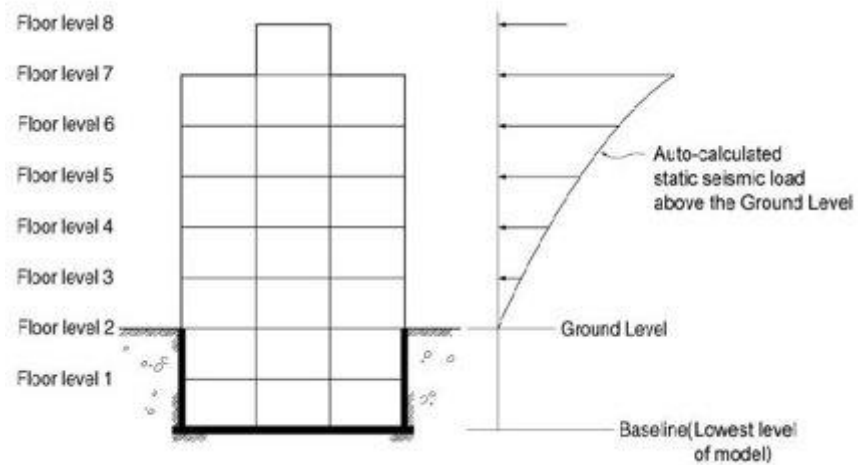
Beban Lateral adalah beban hidup yang diterapkan sejajar dengan tanah, mereka adalah gaya horizontal yang bekerja pada struktur. Tipe-tipe dari beban lateral terdapat 5 tipe, yang terdiri dari beban angin, beban gempa, air, beban tekanan tanah, dan beban nosional. Berikut untuk penjelasan lebih lanjutnya.

Beban angin adalah salah satu beban lateral yang dihitung dalam struktur. Beban angin menjadi penting dengan ketinggian bangunan yang semakin meningkat.



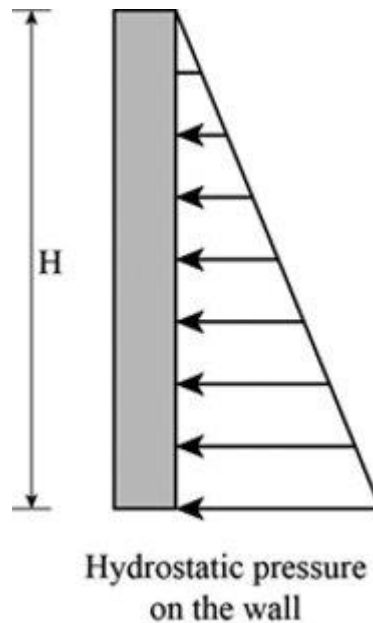
Gambar 2. 48 Ilustrasi Beban Angin

Beban gempa dihitung dalam perencanaan struktur sebuah bangunan. Besarnya beban tersebut sesuai dengan zona seismic / lokasi rencana bangunan yang akan dibangun.



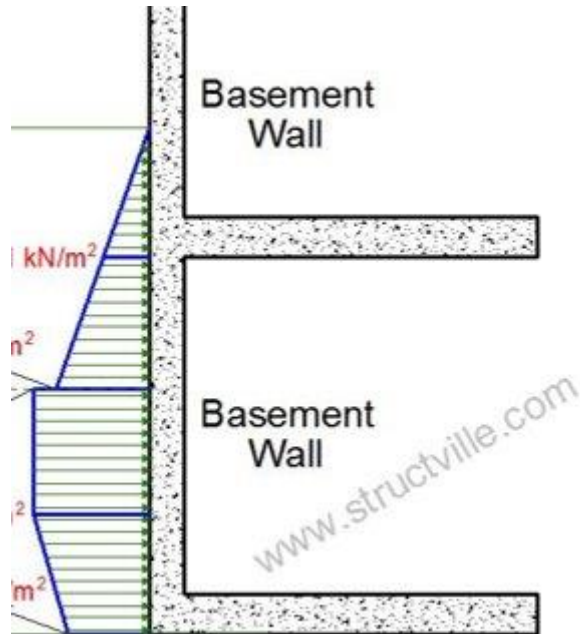
Gambar 2. 49 Zona Beban Gempa

Dalam perencanaan tangki air, bendungan, atau struktur penahan cairan lainnya digunakan metode yang sama dalam menerapkan tekanan air.



Gambar 2. 50 Tekanan Hidrostatik Dinding

Earth Loads atau beban tekanan tanah dapat diterapkan pada struktur di bawah tanah seperti dinding basement, dinding penahan tanah, dan sebagainya.



Gambar 2. 51 *Earth Loads*

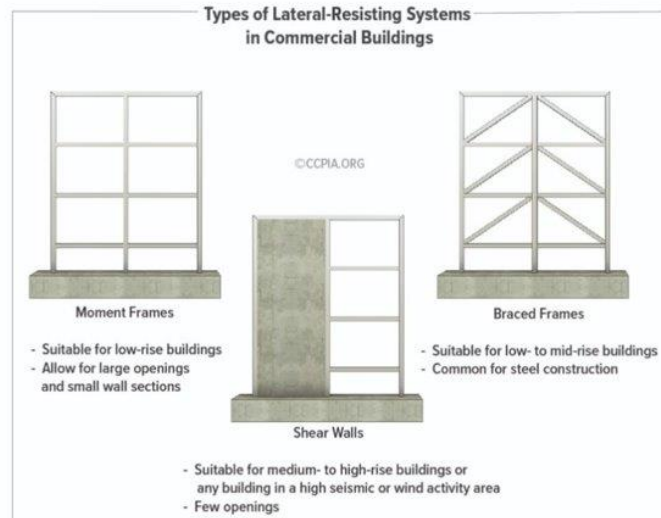
Beban nosional adalah beban minimum yang diterapkan pada struktur (mencakup cacat konstruksi, distribusi momen, dan lain-lain). Sebagian besar dalam perhitungan sering kali lupa mempertimbangkan beban nosional sebagai beban lateral sata merancang.

2.6.2 Tipe dari Ketahanan Beban Lateral untuk Gedung Bertingkat Tinggi

Setiap struktur harus dirancang dan dibangun untuk menahan beban lateral dan beban horizontal. Struktur dikuatkan terhadap gaya lateral dan horizontal dalam beberapa cara.

Metode yang sering dipakai untuk penahan beban lateral pada bangunan komersil yakni braced frames, shear walls, dan moment frames. Tipe tersebut

adalah elemen yang mentransfer beban lateral (angin, gempa,dll) dan membantu menjaga struktur agar tidak runtuh.



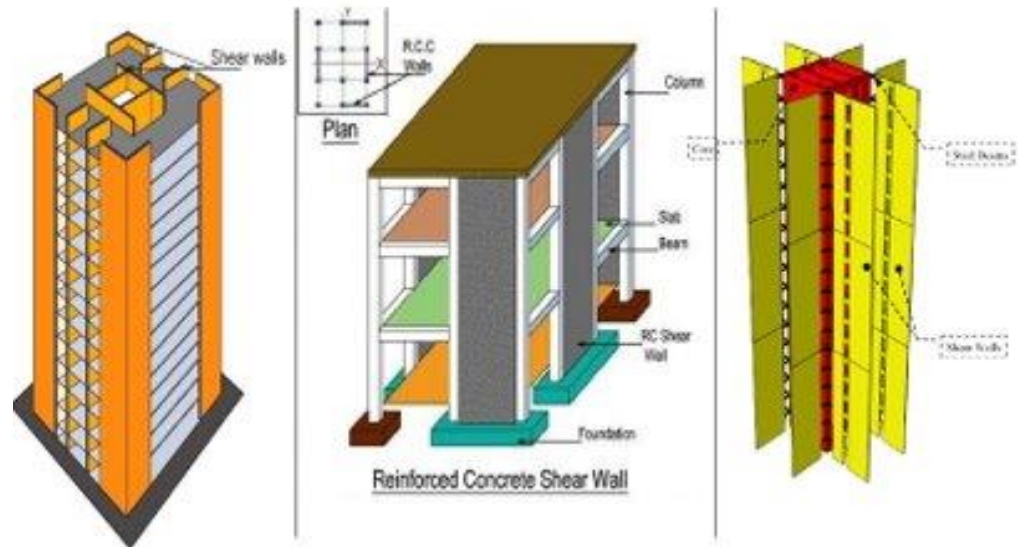
Gambar 2. 52 *Types of Lateral-Resisting System in Building*

Tipe dari ketahanan beban lateral untuk gedung bertingkat tinggi terdapat 12 tipe. Yang terdiri dari, *braced frame*, *rigid frame*, *sheer wall*, *infilled frame*, *coupled wall*, *wall-frame*, *framed tube*, *trussed tube*, *hull core*, *bunled tube*, *core and outrigger*, dan *hybrid*. Pada laporan ini, hanya dibahas *shear wall* dan *braced frames*.

\ *Shear wall* adalah dinding slab beton bertulang atau pelat baja yang dipasang vertikal pada posisi gedung tertentu untuk meningkatkan kinerja struktural pada bangunan tinggi. Karakteristik perancangan dinding geser yang efektif harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

1. Bersifat kaku dan kuat
2. Pembangunan dinding geser sebaiknya menerus ke atas (tidak berseling)
3. Balok keliling dan balok pondasi sebaiknya diperkuat sehingga mampu mendukung kekuatan dinding geser

4. Jika perencanaan dinding geser atas dan bawah tidak menerus (berseling), maka beban atau gaya horizontal yang ditahan oleh dinding harus disalurkan melalui lantai.



Gambar 2. 53 *Shear Walls*

Braced Frames (Rangka bresing) juga disebut rangka geser. Fungsi utamanya adalah untuk menahan beban lateral melalui kekakuan aksial anggota. Dalam Concentric braced frame (rangka bresing konsentris (CVF)), membentuk jaringan elemen struktur untuk menahan geser horizontal dalam tekan atau tarik aksial, berdasarkan arah kemiringan .

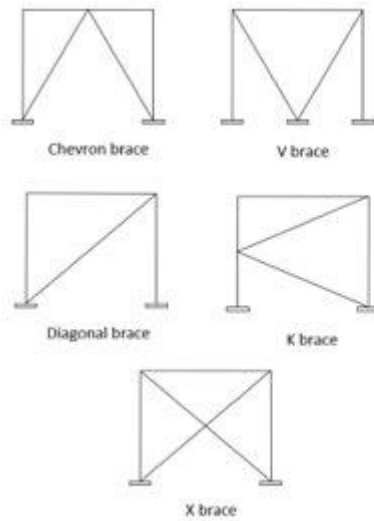


Figure 2. Types of concentric braces. (Sketch by K. Al-Kodmany; adapted from [10]).

Gambar 2. 54 Braced Frames

Eccentric Braced Frame (EBF) menghubungkan bresing dengan gelagar lantai dengan penekanan lebih besar pada penanganan yang pertama untuk menghindari tekuk. Juga, EBF menghubungkan bresing dengan gelagar lantai untuk memperkuat rangka dengan lentur dan geser.

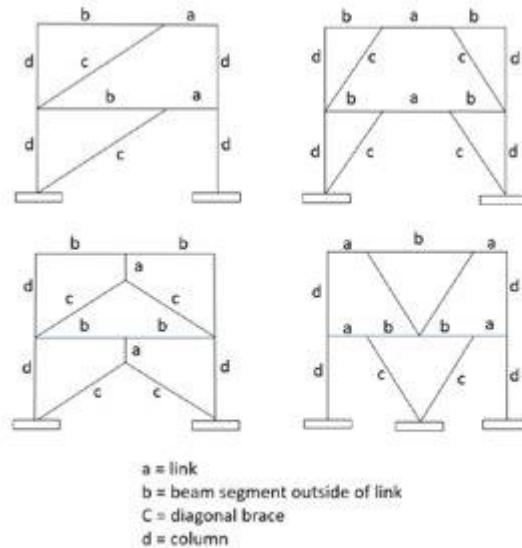


Figure 3. Types of Eccentrically Braced Frame. (Sketch by K. Al-Kodmany; adapted from [11]).

Gambar 2. 55 Eccentric Braced Frames

2.6.3 Jurnal tentang Bangunan Tingkat Tinggi Dengan Desain Detail

Jurnal atau artikel penelitian yang diambil berjudul *Lateral Load*

Resisting Systems in High-Rise Reinforced Concrete Buildings oleh Dia Eddin Nassani and Kamiran Ali . Dalam research ini, mencoba untuk membandingkan dan menjelaskan terhadap 4 type of lateral load resisting system yakni :

- 1) Momen Resisting Frames
- 2) Shear Wall System
- 3) Dual System
- 4) Framed Tubes

Berikut untuk detail deskripsi strukturnya:

Concrete Structure 28 lantai

- 1) Luas total 625m^2 (25 m x 25 m)
- 2) Consist five bays in both directions
- 3) Ketinggian lantai : lantai 1 dengan 4.4 m dan lantai 2 ke atas 3.4 m
- 4) Modulus elastisitas beton, $E = 26000$ MPa
- 5) $F'c = 30$ MPa
- 6) Poisson's Ratio = 0,2
- 7) Rangka penahan momen (B : 0.65 m x 0.75 m, C : 0.65 m x 0.65 m)
- 8) Sistem dinding geser (B : 0.65 m x 0.75 m, C : 0.65 m x 0.65 m, Tebal dinding 0.4 m)
- 9) Dual System (Sistem Ganda) (B : 0.4 m x 0.5 m, C : 0.4 m x 0.4 m, Tebal dinding geser 0.4 m)
- 10) Frame Tubes (B1 : 0.4 m x 0.5 m, B2 : 0.4 m x 1.2 m, C1 : 0.4 m x 0.4 m, C2 : 0.4 m x 1.2 m, Tebal dinding geser 0.4 m)

Berikut untuk denah lantai untuk 4 jenis sistem penahan beban lateral:

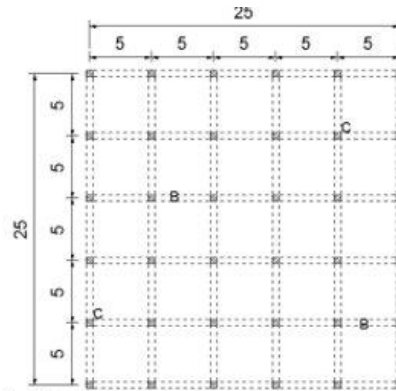


Figure 1. Typical floor plan of moment-resisting frame system (units in meter).

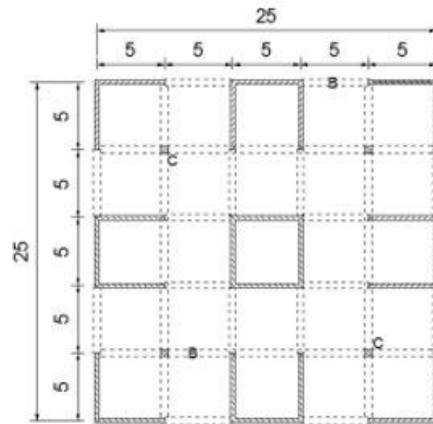
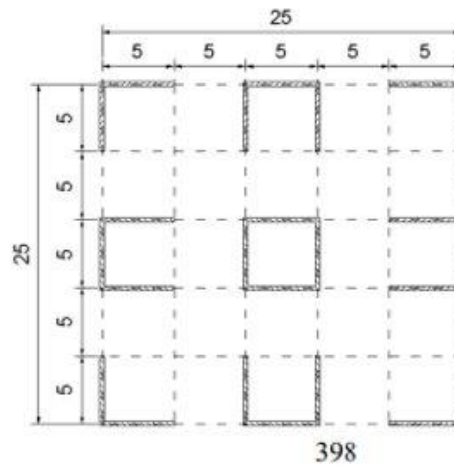


Figure 3. Typical floor plan of dual system (units in meter).

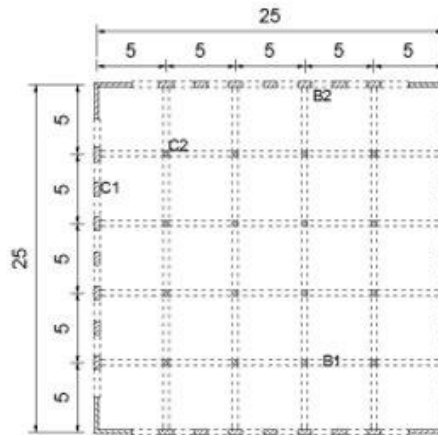


Figure 4. Typical floor plan of frame tube system (units in meter).

Gambar 2. 56 4 Sistem Penahan Beban Lateral

Metode analisis yang dipakai sebagai berikut:

- 1) Menggunakan pedome FEMA 356, bangunan harus memiliki kapasitas memadai untuk menahan perpindahan atap atau disebut target displacement.
- 2) Menggunakan Analisis Statik Ekuivalen dilakukan dengan bantuan program ETABS.

Untuk koefisien beban gempa dan faktor lainnya dibuat sama. Seperti Keempat model dianalisis dalam situasi, sifat baik material maupun factor-faktornya, beban lateral (gempa dan angin) yang sama. Zona yang sama (seismic, kecepatan angin, jenis eksposur,dan lain-lain). Berikut untuk faktor-faktornya:

- Time period = 0.028, 0.8
- Ecc. Ratio = 0.5
- Response modification, R;
- For moment resisting system = 3
- For shear wall system = 4.5
- For dual system = 6
- For frame tube system = 6
- Occupancy importance, I =1
- $S_s = 2.29$

- $S1 = 0.869$
 - Long- period transition period = 8
 - Site class = B
 - $SDs = 1.5267$
 - $SD1 = 0.5793$
-
- Wind speed (mph) = 110
 - Exposure type = C
 - Importance factor = 1
 - Topographical Factor, $Kzt = 1$
 - Gust Factor = 0.85
 - Directionally Factor, $Kd = 0.85$
 - Windward Coeff. = 0.8
 - Leeward Coeff. = 0.5
 - Exposure height from base to story 28

Berikut perbandingan hasil 4 model untuk beban gempa dan beban angin

Table 3. Comparison between four systems of Q_x in X direction

Story number	Point	Moment Resisting	Shear Wall	Shear Frame	Tube System
Story 28	1	840.2	509.7	262.4	109.2
Story 27	1	821.8	488.4	252.8	106.2
Story 26	1	801.4	466.9	242.9	103
Story 25	1	779	445.3	232.9	99.8
Story 24	1	754.7	423.4	222.7	96.3
Story 23	1	728.7	401.3	212.3	92.7
Story 22	1	701.1	379	201.6	88.9
Story 21	1	672.1	356.6	190.8	85
Story 20	1	641.9	333.9	179.7	80.8
Story 19	1	610.6	311.2	168.5	76.6
Story 18	1	578.4	288.5	157.1	72.2
Story 17	1	545.4	265.9	145.6	67.8
Story 16	1	511.9	243.3	134.1	63.2
Story 15	1	477.8	221	122.5	58.5
Story 14	1	443.5	199	111	53.9
Story 13	1	409	177.5	99.6	49.2
Story 12	1	374.5	156.5	88.4	44.4
Story 11	1	340.1	136.2	77.4	39.7
Story 10	1	306.1	116.7	66.8	35.1
Story 9	1	272.4	98.1	56.6	30.5
Story 8	1	239.3	80.7	46.9	26
Story 7	1	206.9	64.5	37.7	21.7
Story 6	1	175.2	49.6	29.3	17.5
Story 5	1	144.5	36.4	21.7	13.5
Story 4	1	114.9	24.9	15	9.9
Story 3	1	86.5	15.3	9.3	6.6
Story 2	1	59.3	7.9	4.9	3.7
Story 1	1	33.2	2.7	1.7	1.5

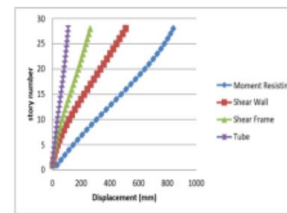


Figure 13. Comparison between four systems of Q_x in X direction

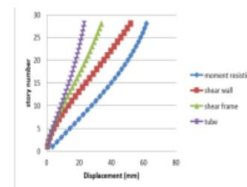


Figure 14. Comparison between four systems of W_x in X

Gambar 2. 57 Perbandingan Hasil 4 Model untuk Beban Gempa dan Beban Angin

Berikut untuk perbandingan hasil *displacement*:

Table 4 comparison between four systems of W_x in X direction

Story number	Moment Resisting	Shear Wall	Shear Frame	Tube System
Story 28	61.6	51.8	33.7	23.1
Story 27	60.5	49.8	32.6	22.3
Story 26	59.4	47.8	31.5	22
Story 25	58.1	45.8	30.4	21.4
Story 24	56.7	43.7	29.2	20.7
Story 23	55.2	41.7	28	20.1
Story 22	53.6	39.6	26.8	19.4
Story 21	51.9	37.4	25.5	18.7
Story 20	50.2	35.3	24.2	17.9
Story 19	48.3	33.1	22.9	17.1
Story 18	46.3	30.9	21.5	16.3
Story 17	44.3	28.7	20.1	15.5
Story 16	42.1	26.4	18.7	14.6
Story 15	39.9	24.2	17.2	13.6
Story 14	37.6	22	15.8	12.7
Story 13	35.2	19.8	14.3	11.7
Story 12	32.8	17.6	12.8	10.7
Story 11	30.3	15.4	11.3	9.7
Story 10	27.7	13.4	9.9	8.7
Story 9	25.1	11.3	8.5	7.7
Story 8	22.5	9.4	7.1	6.6
Story 7	19.8	7.6	5.8	5.6
Story 6	17.1	5.9	4.5	4.6
Story 5	14.4	4.4	3.4	3.6
Story 4	11.7	3	2.4	2.7
Story 3	9	1.9	1.5	1.8
Story 2	6.3	1	0.8	1.1
Story 1	3.6	0.4	0.3	0.4

Gambar 2. 58 Hasil *Displacement*

Hasil yang didapat dari perbandingan hasil diatas adalah:

- 1) Perpindahan kedua beban (Q_x dan W_x) berkurang dari MRF ke Shear Wall System dan yang terkecil pada Tube System.
- 2) MRF adalah tidak mungkin untuk bangunan ini (28 lantai) karena nilai yang didapat sangat tinggi dan melebihi batas dalam kode (UBC 97)
- 3) Shear Wall System dan Dual System menunjukkan bahwa mereka sangat cocok untuk ketinggian ini dan tidak melebihi batas dalam kode (UBC 97)

Kesimpulan yang didapat adalah:

- 1) Beban akibat gempa pada struktur lebih besar dari beban pengaruh angin pada bangunan
- 2) Pada tipe 2 (Shear Wall), tingkat simpangan maksimum akibat gempa arah x untuk 2 lantai teratas sangat critical. Solusi terbaik adalah membuat bracing hanya untuk dua lantai yang lemah tersebut.

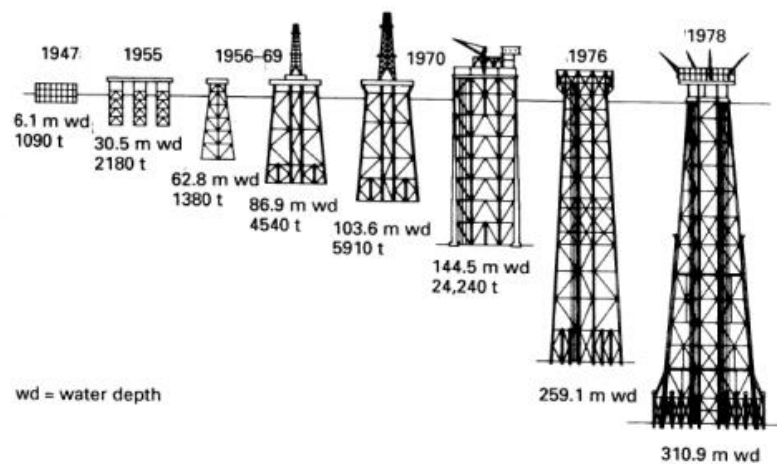
Hasil Displacement pada tipe 4 (Tube System) sangat kecil dibanding yang lain karena pada tipe ini ada kolom kaku dengan kedalaman balok pada eksterior bangunan sebagai rigid members and connection yang memberikan high stiffness (kekakuan) melawan beban lateral. Namun sangat mahal dan direkomendasikan untuk bangun lebih dari 60 lantai.

2.7 TOPIC 7 : Introduction to Offshore

Pada topik ini membahas mengenai pengenalan tentang teknik lepas pantai atau *offshore engineering* yang merupakan bidang spesialisasi perusahaan PT. Dinamika Teknik Persada

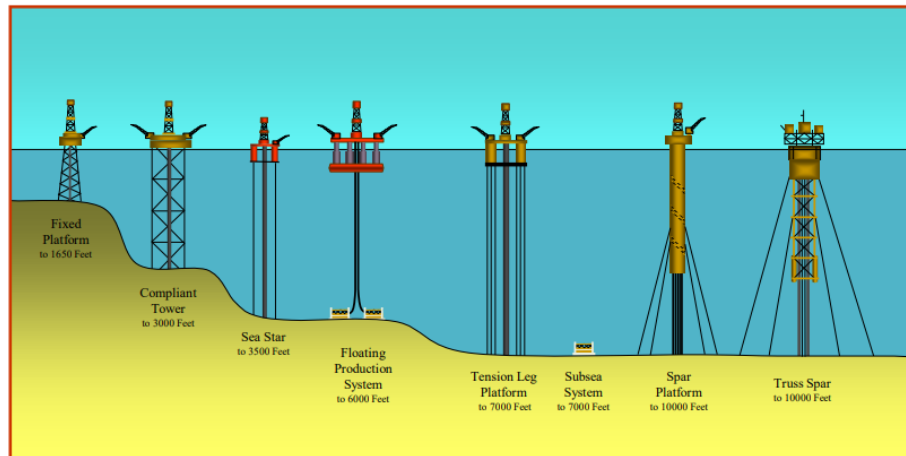
2.7.1 Offshore Technology History

Teknologi lepas pantai sudah semakin berkembang hingga saat ini. Pada tahun 1947, struktur *jacket* pada *offshore* dimulai dengan kedalaman 6.1 m di bawah permukaan laut. Pada 1978, ketinggian struktur *jacket* pada *offshore* sudah semakin dalam yakni dengan kedalaman 310.9 m di bawah permukaan laut.



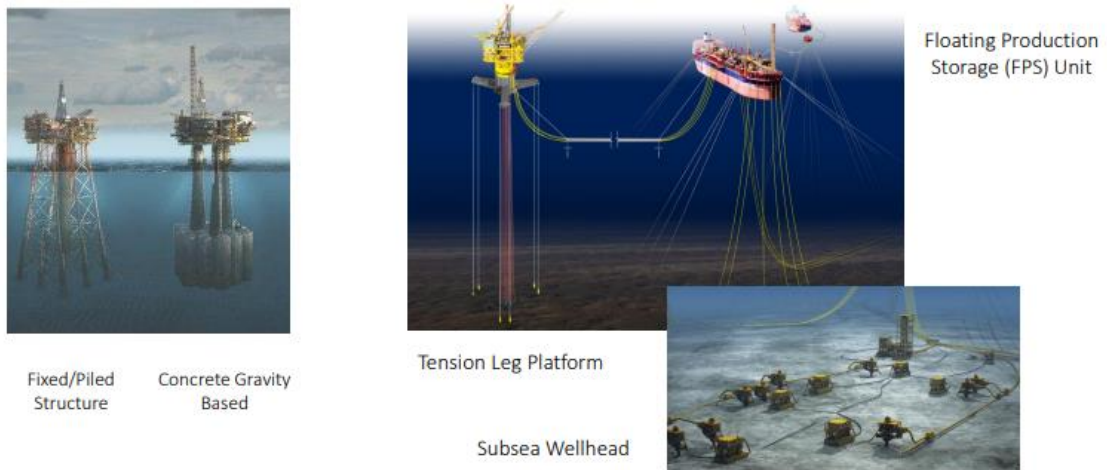
Gambar 2. 59 *Offshore Tower History*

Selain semakin berkembangnya kedalaman struktur yang mampu dibuat, ada beberapa tipe platform bagi struktur bawah laut. Beberapa jenis platform yakni *fixed platform*, *compliant tower*, *sea star*, *floating production*, *tension leg platform*, *subsea system*, *spar platform*, dan *truss spar*.



Gambar 2.60 *Deep Water Development*

Perletakan struktur lepas pantai terbagi menjadi 2 yakni *fixed structure* dan *floating structure*.



Gambar 2. 61 *Fixed and Floating Platform*

2.7.2 Offshore Construction Phase

Dalam pemasangan konstruksi struktur lepas pantai, terdapat beberapa fase dimana untuk struktur lepas pantai biasanya struktur dibuat melalui beberapa potongan-potongan yang difabrikasi pada tempat fabrikasinya yang selanjutnya dapat dipasang pada lepas pantai. Pertimbangan yang dipertimbangkan dalam desain struktur lepas pantai yakni bagaimana membangun, mendistribusi serta memasang struktur tersebut. Berikut adalah tahapan untuk fase konstruksi pada struktur lepas pantai :

- a. *Pre-conceptual design*
- b. *Conceptual design*
- c. *Detailed design*
- d. *Fabrication*
- e. *Load out*
- f. *Sea-fastening*
- g. *Installation and hook up*
- h. *Testing*

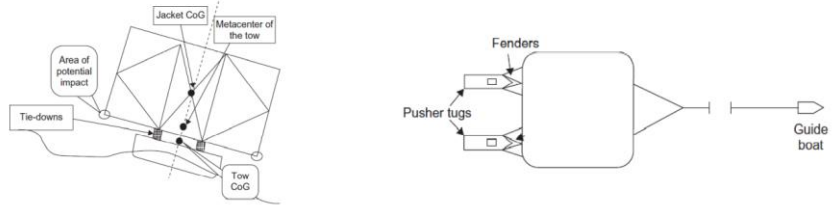


Gambar 2. 62 *Fabrication Phase*



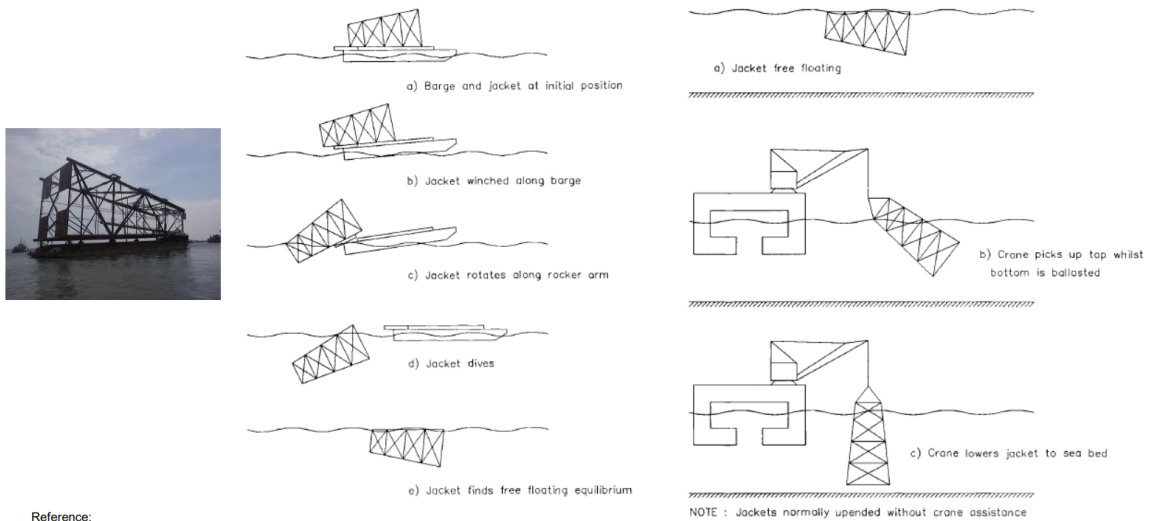
Gambar 2. 63 *Load Out Phase*

Sea fastening and Transport to Site



Gambar 2. 64 *Sea Fastening and Transport to Site Phase*

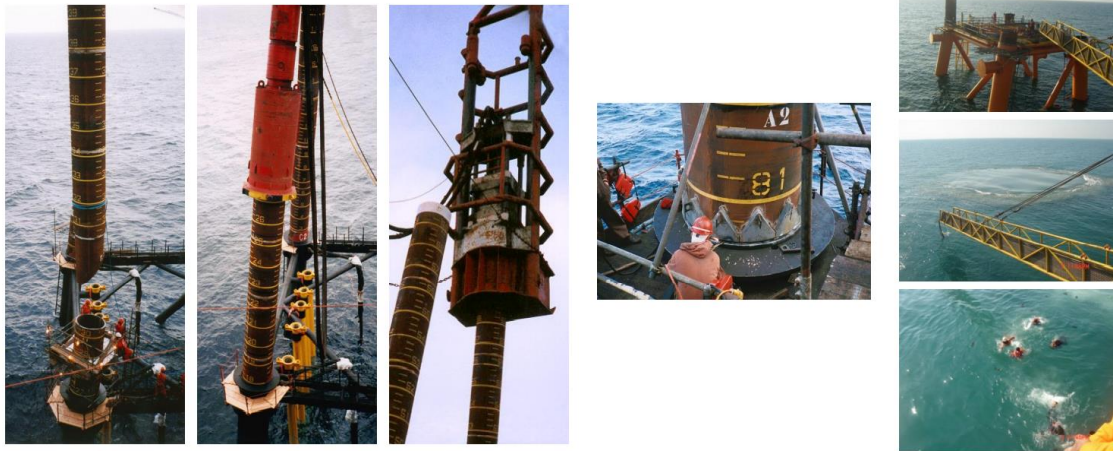
Installation



Reference:
N.D.P. Barltrop, Dynamic of Marine Structure

Gambar 2. 65 *Installation Phase A*

Installation

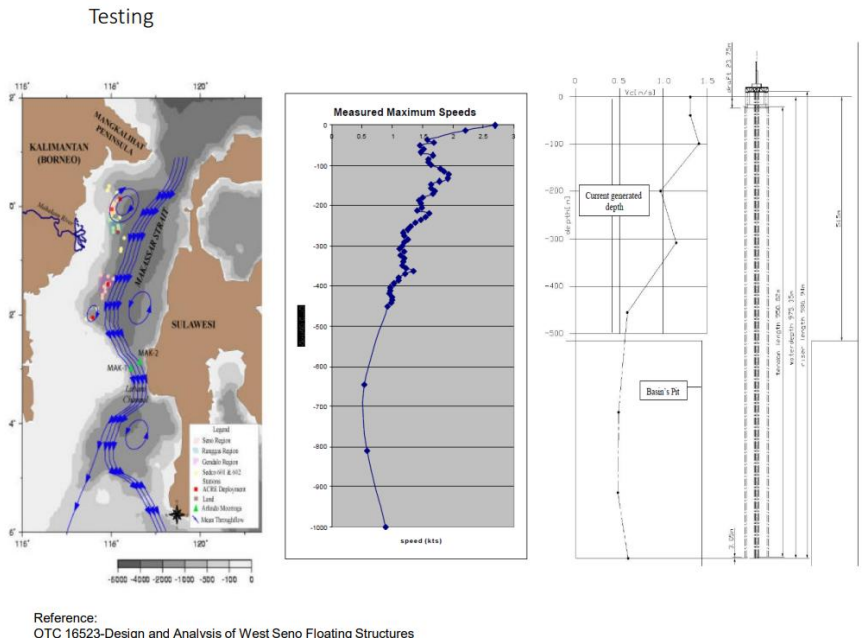


Gambar 2. 66 *Installation Phase B*

Installation



Gambar 2. 67 *Installation Phase C*

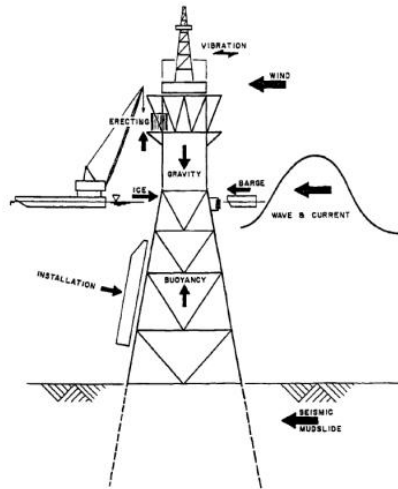


Gambar 2. 68 Testing Phase

2.7.3 Loading and Analysis

Analisis beban yang diperhitungkan dalam struktur lepas pantai berbeda dengan analisis beban pada struktur di darat. Berikut beban dan analisis yang terdapat pada struktur lepas pantai :

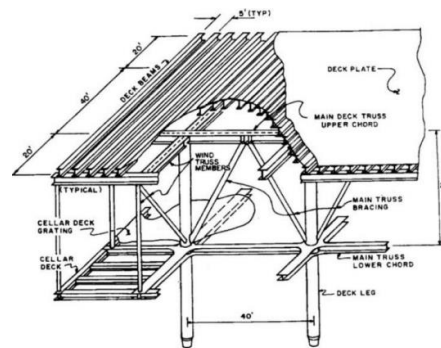
- a. *Static In-place Analysis*
- b. *Seismic Analysis*
- c. *Fatigue Analysis*
- d. *Load Out Analysis*
- e. *Transportation Analysis*
- f. *Installation/Stability Analysis*
- g. *Pile Driven Analysis*
- h. *Push Over Analysis*



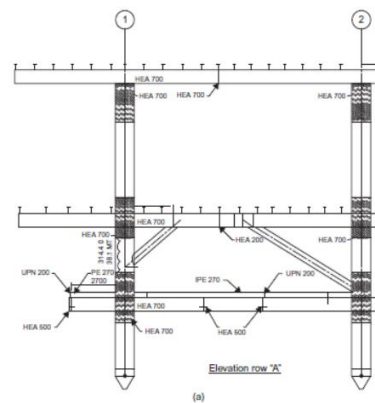
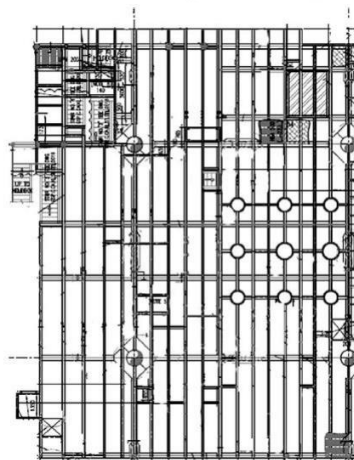
Gambar 2. 69 Loading and Analysis

2.7.4 Offshore Steel Design

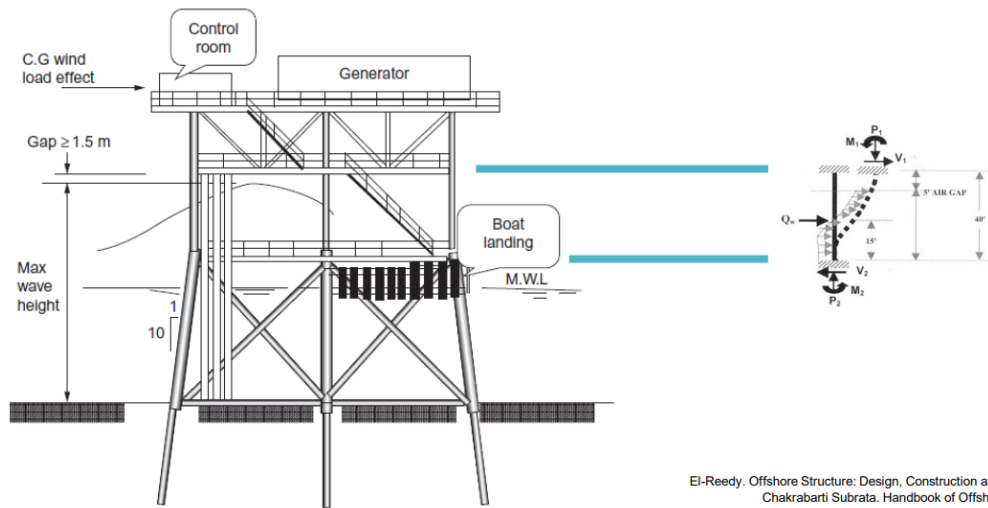
Berikut adalah beberapa contoh desain pada struktur lepas pantai seperti *deck, jacket, tubular joint, pile design*.



- Deck beam
 - Main beam / girder
 - Secondary beam
- Deck Truss
- Deck Leg
- Plate

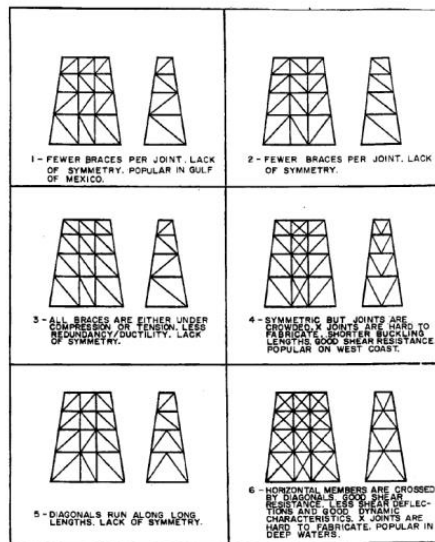


Gambar 2. 70 Steel Design - Desk Structure

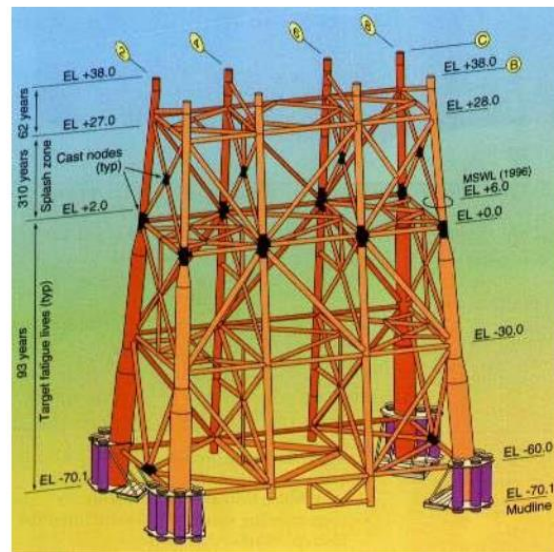


Reference:
 El-Reedy. Offshore Structure: Design, Construction and Maintenance
 Chakrabarti Subrata. Handbook of Offshore Engineering

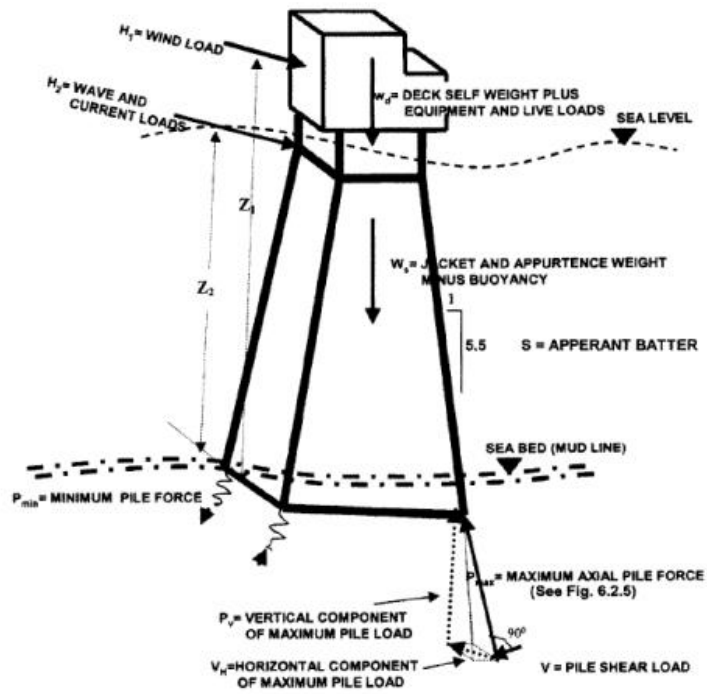
Gambar 2. 71 Steel Design - Deck Leg



Reference:
 API RP 2A WSD. Planning, Design, Const. of Fixed Offshore platform



Gambar 2. 72 Jacket Structure



Gambar 2. 73 Steel Design - Pile Design

BAB III

HAL YANG MENARIK DAN PENYELESAIANNYA

Dalam pelaksanaan kerja praktik ada beberapa kendala yang kami hadapi yakni hasil analisis perhitungan program bantu yang error, kurang lengkapnya fitur yang dimiliki program bantu yang dipakai, penyebaran COVID-19 di kantor.

3.1 Software SAP2000

Kendala yang dialami dalam hal ini didapatkan pada saat proses perhitungan menggunakan *software* SAP2000 dimana dalam perhitungan beban gempa Vina menghasilkan hasil perhitungan manual yang lebih besar dibanding perhitungan *software* sedangkan dalam perhitungan beban gempa Rizin menghasilkan hasil perhitungan *software* yang lebih besar daripada perhitungan manual.

Kendala selanjutnya mengenai *software* yakni dalam melakukan contoh perhitungan untuk analisis push-over, saat melakukan *run analysis* program memberikan informasi error dalam analisisnya. Masalah tersebut terjadi kemungkinan karena program yang kami install tidak memiliki lisensi resmi sehingga dapat mempengaruhi hasil perhitungan dan lainnya.

Maka dari itu, solusi yang memungkinkan untuk masalah tersebut yakni memiliki lisensi resmi *software* agar hasil lebih akurat dan dapat dipakai perhitungannya untuk masalah yang terjadi secara nyata.

3.2 Penyebaran COVID-19

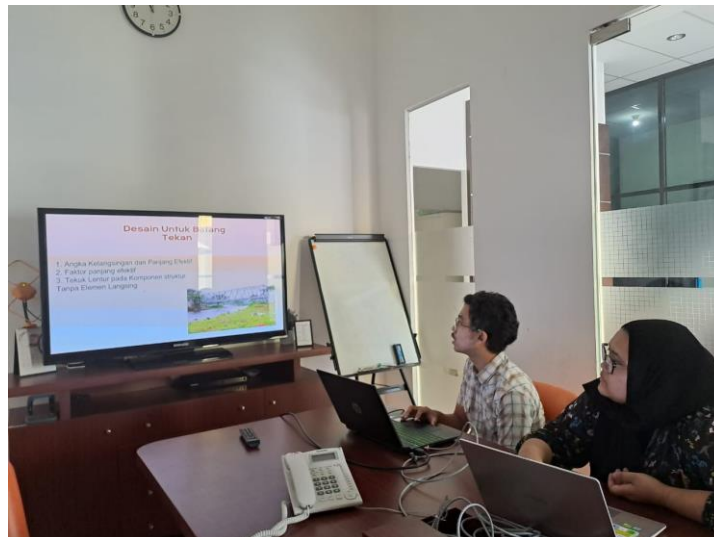
Kendala yang dialami selanjutnya dalam pelaksanaan kerja praktik yakni pada minggu ke-4 kerja praktik dilaksanakan kantor mengalami *lockdown* karena penyebaran covid-19 yang terjadi sehingga pelaksanaan kerja praktik sempat tidak mengalami tatap muka. Solusi dari permasalahan tersebut yakni dari pihak perusahaan mengadakan *lockdown* sementara dan melakukan steril lokasi. Untuk menghindari penyebaran kembali, maka kantor menggunakan sistem ganjil-genap untuk tatap muka di kantor sehingga dalam proses tatap muka tidak terlalu banyak pegawai yang berada di kantor serta menerapkan protokol Kesehatan yang lebih ketat.

BAB IV LAMPIRAN

Berikut lampiran dokumentasi mengenai *logbook* kerja praktik dan dokumentasi saat presentasi topik dalam *weekly meeting*.



Gambar 4. 1 Dokumentasi Presentasi Topik 1



Gambar 4. 2 Dokumentasi Presentasi Topik 2

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Perencanaan ketahanan seismik untuk struktur baja dibutuhkan 2 ketentuan. 2 ketentuan yaitu ketentuan seismik yang berdasarkan SNI 1726-2019 atau ASCE 7-16 dan ketentuan baja yang berdasarkan SNI 1729-2020 atau AISC 360-16. Untuk bangunan tingkat tinggi, ada beberapa tipe Sistem Ketahanan Beban Lateral untuk Gedung Bertingkat Tinggi.

5.2 Saran

Dalam perhitungan struktur lebih baik memiliki lisensi *software* yang digunakan agar dapat mendapatkan hasil perhitungan yang lebih akurat sehingga dapat dipercaya ketahanannya melalui perhitungan tersebut.