

SKRIPSI

**PENGARUH BENTUK KOMPOSISI BALOK LANTAI PADA
BANGUNAN DENGAN STRUKTUR DIAGRID TERHADAP
KETAHANAN BANGUNAN DALAM MENYALURKAN
BEBAN LATERAL (*DISPLACEMENT*)**

Disusun dan diajukan oleh:

**AHMAD ROSYIDIN ALIMSYAH
D051191014**



**DEPARTEMEN ARSITEKTUR
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

“Pengaruh Bentuk Susunan Modul Balok Pada Bangunan dengan Struktur Diagrid Terhadap Ketahanan Bangunan Dalam Menyalurkan Beban Lateral”

Disusun dan diajukan oleh

Ahmad Rosyidin Alimsyah
D051191014

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 02 September 2024

UNIVERSITAS HASANUDDIN
Menyetujui

Pembimbing I



Dr. Ir. Hartawan, MT.
NIP. 19641231 199103 1 034

Pembimbing II



Dr. Ir. Imriyanti, ST.,MT
NIP. 19730208 200604 2 001

Mengetahui



Dr. Ir. H. Edward Syarif, ST.,MT.
NIP. 19690612 199802 1 001



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : AHMAD ROSYIDIN ALIMSYAH

NIM : D051191014

Program Studi : Arsitektur

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{ PENGARUH BENTUK SUSUNAN KOMPOSISI BALOK
LANTAI PADA BANGUNAN DENGAN STRUKTUR DIAGRID
TERHADAP KETAHANAN BANGUNAN DALAM
MENYALURKAN BEBAN LATERAL }

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 9 Oktober 2024

Yang Menyatakan,



AHMAD ROSYIDIN ALIMSYAH



KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayah yang senantiasa diberikan kepada kita semua. Shalawat dan salam tak lupa kita kirimkan kepada kepada Rasulullah SAW yang membawa kita menuju alam yang terang benderang. Sebuah kebahagiaan dan kebanggaan tersendiri bagi penulis karena dapat menyelesaikan penulisan skripsi sebagai persyaratan untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar sarjana (S1) pada jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Penyelesaian skripsi ini pun bukan tanpa hambatan, tetapi karena bantuan dari berbagai pihak sehingga penulis dapat menyelesaikannya.

Dengan segala keterbatasan penulis, maka terselesaikanlah skripsi dengan judul “PENGARUH BENTUK SUSUNAN KOMPOSISI BALOK LANTAI PADA BANGUNAN DENGAN STRUKTUR DIAGRID TERHADAP KETAHANAN BANGUNAN DALAM MENYALURKAN BEBAN LATERAL”. Dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada pihak yang telah membantu dan mendukung saya dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini. Oleh karenanya, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya, Bapak Alimuddin, ST., MT. dan Ibu Sitti Naisyah, ST. yang telah memberikan dukungan dan bantuan baik secara moral maupun secara material serta doa yang henti-hentinya kepada penulis.
2. Bapak Ar. Dr. Ir. Hartawan, MT. selaku dosen pembimbing I dan Ibu Dr. Ir. Imriyanti, ST., MT. selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, arahan serta saran selama proses penulisan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Eng. Ir. Nasruddin, ST., MT. dan ibu Pratiwi Mushar, T., MT. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan an arahan dalam penyelesaian skripsi ini.



4. Seluruh Dosen dan pegawai Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu proses penyelesaian skripsi ini.
5. Anggota Lab. Struktur Konstruksi dan Bahan Bangunan yang berjuang Bersama-sama selama berada di Lab. untuk menyelesaikan proses penulisan skripsi
6. angkatan DIMENSI 2019 yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama kuliah.
7. Teman-teman Haitsam yang memberi semangat dan memberi motivasi pada penulis untuk menyelesaikan penulisan skripsi ini serta pihak-pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dan terdapat kekurangan. Oleh karenanya, penulis memohon maaf serta mengharapmkan kritik dan saran yang membangun agar penulis dapat menjadi lebih baik lagi di masa yang akan datang.

Gowa, 9 Oktober 2024

Penulis



ABSTRAK

AHMAD ROSYIDIN ALIMSYAH. *Pengaruh Bentuk Susunan Komposisi Balok Lantai Pada Bangunan Dengan Struktur Diagrid Terhadap Ketahanan Bangunan Dalam Menyalurkan Beban Lateral* (dibimbing oleh Dr. Ir. Hartawan, MT. dan Dr. Imriyanti, ST., MT.)

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh orientasi Komposisi Balok Lantai pada bangunan dengan struktur diagrid terhadap ketahanan bangunan dalam menerima beban lateral. Struktur diagrid merupakan salah satu inovasi dalam teknik sipil yang menawarkan efisiensi tinggi dalam mendistribusikan beban lateral, namun orientasi Komposisi Balok Lantai dalam struktur ini memainkan peran penting dalam performa keseluruhan bangunan. Penelitian dilakukan dengan menggunakan empat model bangunan yang berbeda (Model A, B, C, dan D), masing-masing memiliki orientasi Komposisi Balok Lantai yang berbeda. Analisis dilakukan menggunakan software ETABS Student Version 2022, di mana setiap model diuji dengan berbagai kombinasi beban lateral. Pengukuran displacement dilakukan untuk menentukan seberapa besar perpindahan yang terjadi pada setiap model ketika menerima beban.

Hasil analisis menunjukkan bahwa Model C memiliki nilai rata-rata displacement terkecil yaitu 24,216 mm, dibandingkan dengan Model A (24,798 mm), Model B (24,916 mm), dan Model D (24,312 mm). Model C menunjukkan pengurangan displacement sebesar 2,35% dibandingkan dengan Model A, 2,81% dibandingkan dengan Model B, dan 0,40% dibandingkan dengan Model D. Selisih nilai displacement antara Model C dan model lainnya menunjukkan bahwa orientasi Komposisi Balok Lantai pada Model C lebih optimal dalam menahan beban lateral. Dengan demikian, orientasi Komposisi Balok Lantai yang diterapkan pada Model C dapat dianggap sebagai konfigurasi yang lebih efektif untuk meningkatkan ketahanan struktur bangunan terhadap beban lateral, terutama dalam struktur diagrid. Penelitian ini memberikan wawasan penting bagi perancangan struktur bangunan di masa depan, khususnya dalam konteks mitigasi risiko terhadap beban lateral.

KATA KUNCI : Diagrid, Nilai Displacement, Bangunan Gedung, Time Linear Historic, Komposisi Balok Lantai, ETABS



ABSTRACT

AHMAD ROSYIDIN ALIMSYAH. *"Identification of the Influence of Beam Module Orientation on Buildings with Diagrid Structures on the Building's Resistance to Lateral Loads* (supervised by Dr. Ir. Hartawan, MT. dan Dr. Imriyanti, ST., MT.)

This study aims to identify the influence of beam module orientation on buildings with diagrid structures on their resistance to lateral loads. The diagrid structure is an innovation in civil engineering that offers high efficiency in distributing lateral loads. However, the orientation of the beam modules within this structure plays a crucial role in the overall performance of the building. The research was conducted using four different building models (Model A, B, C, and D), each with a different beam module orientation. Analysis was performed using ETABS Student Version 2022 software, where each model was tested under various combinations of lateral loads. Displacement measurements were taken to determine the extent of movement that occurred in each model when subjected to the load.

The analysis results showed that Model C had the smallest average displacement value of 24.216 mm, compared to Model A (24.798 mm), Model B (24.916 mm), and Model D (24.312 mm). Model C exhibited a displacement reduction of 2.35% compared to Model A, 2.81% compared to Model B, and 0.40% compared to Model D. The difference in displacement values between Model C and the other models indicates that the beam module orientation in Model C is more optimal in resisting lateral loads. Thus, the beam module orientation applied in Model C can be considered a more effective configuration for enhancing the structural resistance of buildings against lateral loads, especially in diagrid structures. This study provides valuable insights for future building structure design, particularly in the context of mitigating risks against lateral loads.

KATA KUNCI : Diagrid, Nilai Displacement, Bangunan Gedung, Time Linear Historic, Komposisi Balok Lantai, ETABS



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
1.6 Keaslian Penelitian	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
2.1 Pengertian Bangunan	6
2.1.1 Sistem Struktur Bangunan.....	6
2.1.2 Balok	6
2.2 Pengertian Struktur Diagrid	7
2.3 Modul Pada Struktur Diagrid.....	9
2.3.1 Modul Kecil	9
2.3.2 Modul Menengah	10
2.3.3 Modul Besar	11
2.3.4 Modul <i>Irregular</i> (Tidak beraturan)	12
2.2.2 Node atau Sambungan Pada Struktur Diagrid	13
2.3 Geometri Bangunan Dengan Struktur Diagrid.....	14
2.3.1 Stiffness Based Approach	16
2.3.2 Bebanan Struktur	17
2.3.3 Beban Mati	17
2.3.4 Beban Hidup	18



2.5.3 Beban Hujan.....	19
2.5.4 Beban Angin	20
2.5.5 Beban Gempa	27
2.6 Analisis Dinamik Gempa	31
2.6.1 Analisis Ragam Spektrum Respon (Respon Spectrum Modal Analysis).....	31
2.6.2 Analisis Ragam Riwayat Waktu (Time History Modal Analysis).....	33
2.7 Simpangan Antar Lantai	33
2.8 Defleksi	34
2.9 Displacement	36
2.10 Etabs V20.....	36
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN.....	38
3.1 Jenis dan Metode Penelitian	38
3.2 Instrumen Penelitian.....	38
3.3 Variabel Penelitian	39
3.3.1 Variabel Bebas	39
3.3.2 Variabel Tetap.....	41
3.3.3 Variabel Kontrol.....	42
3.4 Objek Penelitian	42
3.5 Metode Pengujian Penelitian.....	43
3.6 Tahapan Analisis Struktur	58
3.7 Penerapan Prinsip Struktur pada Proses Simulasi	60
3.8 Alur Penelitian	61
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	62
4.1 Hasil Pengujian Penelitian Dasar	62
4.2 Pengujian Penggunaan Node pada Sambungan Diagrid	63
4.3 Hasil Pengujian Bangunan Inti.....	63
4.4 Kesimpulan	156
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	162
5.1 Kesimpulan	162
5.2 Saran.....	162
↳ PUSTAKA	164



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. IBM Building Pittsburgh.....	7
Gambar 2. Penerapan Struktur Diagrid pada 30 St. Mary Axe di London	8
Gambar 3. Penerapan modul kecil struktur diagrid pada Capital Gate, Abu Dhabi	10
Gambar 4. Aldar Headquarter dengan ukuran modul 8 lantai	10
Gambar 5. Leadenhall Building, London.....	11
Gambar 6. Hearst Tower	11
Gambar 7. CCTV Building yang menerapkan modul irregular.....	12
Gambar 8. Node atau sambungan pada struktur diagrid.....	13
Gambar 9. Ilustrasi paramter geometri module diagrid oleh Giovanni Maria Montouri (Montouri, 2013).....	15
Gambar 10. Modul diagrid yang terdiri dari 6 lantai (Moon, 2007)	16
Gambar 11. conth	18
Gambar 12 Atap Bebas Berpuncak (pitched).....	26
Gambar 13 Spektrum Respon Desain	32
Gambar 14 Penentuan Simpangan Antar Lantai	34
Gambar 15 Defleksi	35
Gambar 16. Modul Struktur Diagrid pada bangunan uji	42
Gambar 17. Modul Grid bangunan	43
Gambar 18. Kurva Spektrum Gempa Makassar (sumber: rsa.ciptakarya.pu, 2022)	59
Gambar 19. Model Penelitian pada aplikasi ETABS.....	60
Gambar 20 Grafik Nilai Displacement Penelitian Dasar	63
Gambar 21 Grafik Perbandingan Nilai Displacement (mm) Pada pengaplikasian Beban Mati (Dead Load) terhadap model penelitian	66
Gambar 22 Grafik Perbandingan Nilai Displacement (mm) Pada pengaplikasian Beban Hidup (Live Load) terhadap model penelitian.....	69
Gambar 23 Grafik Perbandingan Nilai Displacement (mm) Pada pengaplikasian Beban Angin arah X (WX) terhadap model penelitian.....	73
Gambar 24 Grafik Perbandingan Nilai Displacement (mm) Pada pengaplikasian Beban Angin arah Y (WY) terhadap model penelitian.....	74
Gambar 25 Grafik Perbandingan Nilai Displacement (mm) Pada pengaplikasian Fungsi gempa Fukushima arah X (FKX) terhadap model penelitian.	79
Gambar 26 Grafik Perbandingan Nilai Displacement (mm) Pada pengaplikasian Fungsi gempa Fukushima arah Y (FKY) terhadap model penelitian.	80
Gambar 27 Grafik Perbandingan Nilai Displacement (mm) Pada pengaplikasian Gempa Tohoku arah X (THX) terhadap model penelitian.....	83
Gambar 28 Grafik Perbandingan Nilai Displacement (mm) Pada pengaplikasian Gempa Tohoku arah Y (THY) terhadap model penelitian.....	86



Gambar 29 Grafik Perbandingan Nilai Displacement (mm) Pada pengaplikasian Fungsi gempa Nigata arah X (NIX) terhadap model penelitian.	89
Gambar 30 Grafik Perbandingan Nilai Displacement (mm) Pada pengaplikasian Fungsi gempa Nigata arah Y (NIY) terhadap model penelitian.	92
Gambar 31 Grafik Perbandingan Nilai Displacement (mm) Pada pengaplikasian Fungsi Kombinasi 1 (1,4 Dead) terhadap model penelitian.....	95
Gambar 32 Grafik Perbandingan Nilai Displacement (mm) Pada pengaplikasian Fungsi Kombinasi 2 (1,2 Dead + 1,6 Live) terhadap model penelitian.	98
Gambar 33 Grafik Perbandingan Nilai Displacement (mm) Pada pengaplikasian Fungsi Kombinasi 3A (1,2 Dead + 1 Live) terhadap model penelitian.	101
Gambar 34 Grafik Perbandingan Nilai Displacement (mm) Pada pengaplikasian Fungsi Kombinasi 3BX (1,2 Dead + 0,5 WX) terhadap model penelitian.	104
Gambar 35 Grafik Perbandingan Nilai Displacement (mm) Pada pengaplikasian Fungsi Kombinasi 3BY (1,2 Dead + 0,5 WY) terhadap model penelitian.	107
Gambar 36 Grafik Perbandingan Nilai Displacement (mm) Pada pengaplikasian Fungsi Kombinasi 4X (1,2 Dead + 1 Live + 1 WX) terhadap model penelitian.	110
Gambar 37 Grafik Perbandingan Nilai Displacement (mm) Pada pengaplikasian Fungsi Kombinasi 4X (1,2 Dead + 1 Live + 1 WY) terhadap model penelitian.	113
Gambar 38 Grafik Perbandingan Nilai Displacement (mm) Pada pengaplikasian Fungsi Kombinasi 4X (1,2 Dead + 1 Live + 1 WX) terhadap model penelitian.	116
Gambar 39 Grafik Perbandingan Nilai Displacement (mm) Pada pengaplikasian Fungsi Kombinasi 4X (1,2 Dead + 1 Live + 1 WX) terhadap model penelitian.	119
Gambar 40 Grafik Perbandingan Nilai Displacement (mm) Pada pengaplikasian Fungsi Kombinasi 4X (1,2 Dead + 1 Live + 1 WX) terhadap model penelitian.	122
Gambar 41 Grafik perbandingan nilai <i>displacement</i> (mm) pada pengaplikasian Fungsi Kombinasi 5 FKY (1,2 Dead + 1 Live + 0,3 FukuX+ 1 FukuY) terhadap model penelitian.	125
Gambar 42 Grafik perbandingan nilai <i>displacement</i> (mm) pada pengaplikasian Fungsi Kombinasi Kombinasi 5 NIX (1,2 Dead + 1 Live + 1 NigiX + 0,3 NigiY) terhadap model penelitian.	128
Gambar 43 Grafik perbandingan nilai <i>displacement</i> (mm) pada pengaplikasian Fungsi Kombinasi Kombinasi 5 NIY (1,2 Dead + 1 Live + 1 NigiX + 0,3 NigiY) terhadap model penelitian.	131
Gambar 44 Grafik perbandingan nilai <i>displacement</i> (mm) pada pengaplikasian Fungsi Kombinasi Kombinasi 6x (0,9 Dead + 1 WX) terhadap model penelitian.	134
Gambar 45 Grafik perbandingan nilai <i>displacement</i> (mm) pada pengaplikasian Fungsi Kombinasi Kombinasi 6y (0,9 Dead + 1 WY) terhadap model penelitian.	137
Gambar 46 Grafik perbandingan nilai <i>displacement</i> (mm) pada pengaplikasian ombinasi 7 THX (0,9 Dead + 1 Live + 1 TohoX + 0,3 TohoY) terhadap nelitian.	140



Gambar 47 Grafik perbandingan nilai <i>displacement</i> (mm) pada pengaplikasian Fungsi Kombinasi 7 THY (0,9 Dead + 1 Live + 0,3 TohoX + 1 TohoY) terhadap model penelitian.	143
Gambar 48 Grafik perbandingan nilai <i>displacement</i> (mm) pada pengaplikasian Fungsi Kombinasi 7 FKX (0,9 Dead + 1 Live + 1 FukuX + 0,3 FukuY) terhadap model penelitian.	146
Gambar 49 Grafik perbandingan nilai <i>displacement</i> (mm) pada pengaplikasian Fungsi Kombinasi 7 FKY (0,9 Dead + 1 Live + 0,3 FukuX + 1 FukuY) terhadap model penelitian.	149
Gambar 50 Grafik perbandingan nilai <i>displacement</i> (mm) pada pengaplikasian Fungsi Kombinasi 7 NIX (0,9 Dead + 1 Live + 1 NigiX + 0,3 NigiY) terhadap model penelitian.	152
Gambar 51 Grafik perbandingan nilai <i>displacement</i> (mm) pada pengaplikasian Fungsi Kombinasi 7 NIY (0,9 Dead + 1 Live + 0,3 NigiX + 1 NigiY) terhadap model penelitian.	155



DAFTAR TABEL

Table 1. Tabel 1 Keaslian Penelitian.....	4
Table 2 Beban hidup minimum SNI 1727:2013	18
Table 3 Kategori Risiko Bangunan	20
Table 4 Faktor Arah Angin (K_d)	22
Table 5 Kategori Eksposur.....	22
Table 6 Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi}).....	23
Table 7 Koefisien Eksposur Tekanan Velositas (K_z dan K_h).....	24
Table 8 Koefisien Tekanan Dinding (C_p).....	25
Table 9 Koefisien Tekanan Neto (C_{NW} dan C_{NL}) Atap Bebas Berpuncak (pitched)	26
Table 10 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung.....	27
Table 11 Faktor Keutamaan Gempa	30
Table 12 Klasifikasi Situs	30
Table 13. Orientasi Komposisi Balok Lantai sebagai variabel bebas dalam penelitian.....	39
Table 14. Properties Material Baja dan Beton	44
Table 15. Mutu Material Bangunan Uji	44
Table 16. Tabel Faktor Reduksi Inersia	45
Table 17. Perhitungan Nilai K_z pada tiap ketinggian lantai	47
Table 18. Perhitungan nilai Q_h pada tiap lantai bangunan uji.....	50
Table 19. Perhitungan Beban Angin pada tiap lantai bangunan uji.....	52
Table 20. Kombinasi Pembebanan.....	58
Table 21. Analisis Ground Motion Kota Makassar (Analisis 2023).....	59
Table 22. Data Ground Motion Gempa yang akan dianalisis	59
Table 23. Nilai Displacement (mm) Beban Mati	64
Table 24 Nilai Displacement (mm) Beban Hidup	67
Table 25 Nilai Displacement (mm) WX	70
Nilai Displacement (mm) WY	71
Nilai Displacement (mm) FK-X	75
Nilai Displacement (mm) FK-Y	76



Table 29 Nilai Displacement (mm) TH-X	81
Table 30 Nilai Displacement (mm) TH-Y	84
Table 31 Nilai Displacement (mm) NI-X	87
Table 32 Nilai Displacement (mm) NI-Y	90
Table 33 Nilai Displacement (mm) Komb 1	93
Table 34 Nilai Displacement (mm) Komb 2.....	96
Table 35 Nilai Displacement (mm) Komb 3A.....	99
Table 36 Nilai Displacement (mm) Komb 3Bx	102
Table 37 Nilai Displacement (mm) Komb 3By	105
Table 38 Nilai Displacement (mm) Komb 4x.....	108
Table 39 Nilai Displacement (mm) Komb 4y.....	111
Table 40 Nilai Displacement (mm) Komb 5 TH-X	114
Table 41 Nilai Displacement (mm) Komb 5 TH-Y	117
Table 42 Nilai Displacement (mm) Komb 5 FK-X	120
Table 43 Nilai Displacement (mm) FK-Y	123
Table 44 Nilai Displacement (mm) Komb 5 NI-X	126
Table 45 Nilai Displacement (mm) Komb 5 NI-Y	129
Table 46 Nilai Displacement (mm) Komb 6x.....	132
Table 47 Nilai Displacement (mm) Komb 6y.....	135
Table 48 Nilai Displacement (mm) Komb 7 TH-X	138
Table 49 Nilai Displacement (mm) Komb 7 TH-Y	141
Table 50 Nilai Displacement (mm) Komb 7 FK-X	144
Table 51 Nilai Displacement (mm) Komb 7 FK-Y	147
Table 52 Nilai Displacement (mm) Komb NI-X	150
Table 53 Nilai Displacement (mm) Komb 7.....	153



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

R	= beban air hujan pada atap (kN/m^2)
ds	= kedalaman air pada atap (mm)
dh	= tambahan kedalaman air pada atap (mm)
q _h	= tekanan velositas (N/m^2)
K _d	= faktor pengarah angin
K _z	= koefisien eksposur tekanan velositas
K _{zt}	= faktor topografi
V	= kecepatan angin dasar (m/s)
p	= tekanan angin (N/m^2)
GC _p	= koefisien tekanan eksternal
GC _{pi}	= koefisien tekanan internal
ρ	= Massa Jenis
E	= Modulus Elastisitas
U	= <i>Rasio Poisson</i>
A	= Koefisien Permukaan Termal
G	= Modulus Geser
P _{desak}	= beban angin pada dinding yang sejajar arah angin (N/m^2)
P _{hisap}	= beban angin pada dinding yang tegak lurus terhadap arah angin, dinding samping, dan atap (N/m^2)
q _h	= tekanan velositas (N/m^2)
G _w	= faktor efek tiupan angin
C _{pf}	= koefisien tekanan eksternal
SNI	= Standar Nasional Indonesia
Mpa	= Megapascal, yang merupakan satuan pengukuran kekuatan tekan beton.
ETABS	= <i>Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems</i>
	= Batuan Keras
	= Batuan



SC	= Tanah Keras, sangat padat dan batuan lunak
SD	= Tanah Sedang
SE	= Tanah Lempung Halus
I_e	= Faktor Keutamaan Gempa
m/s	= Satuan kecepatan angin dalam meter/detik
W_x	= Beban angin arah X
W_y	= Beban angin arah Y
BIM	= <i>Building Information Modeling</i>



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Material Properties Beton K300.....	167
Lampiran 2 Material Properties Baja SS40.....	168
Lampiran 3 <i>Frame Section Properties</i> Balok 30x60.....	169
Lampiran 4 <i>Frame Section Properties</i> Balok 30x105	170
Lampiran 5 <i>Frame Section Properties</i> Baja IWF 800	171
Lampiran 6 <i>Slab Properties</i> Plat Lantai.....	172
Lampiran 7 Input Respon Spektrum Kota UjungPandang	173
Lampiran 8 <i>Time Historic Function</i> gempa Fukushima arah X dan Y	174
Lampiran 9 <i>Time Historic Function</i> gempa Niigata arah X dan Y	175
Lampiran 10 <i>Time Historic Function</i> gempa Tohoku arah X dan Y	176



BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi terutama pada sektor konstruksi bangunan dekade ini mengalami peningkatan yang signifikan. Seiring dengan perkembangan zaman, metode-metode membangun semakin termodernisasi. Diantara perkembangan tersebut, salah satu dampak nyata dalam bidang konstruksi adalah penggunaan struktur diagrid pada suatu bangunan berlantai banyak.

Salah satu penerapan dari inovasi teknologi pada bidang konstruksi adalah bagaimana struktur suatu bangunan dapat menerima dan menyalurkan beban secara efektif. Beban yang bekerja pada suatu bangunan dapat berasal dari struktur bangunan tersebut dan beban yang berasal dari luar struktur bangunan. Salah satu jenis beban yang berasal dari luar bangunan adalah beban lateral, beban ini merupakan beban yang memiliki arah horizontal. Besarnya beban lateral yang harus didukung oleh pondasi bergantung pada rangka bangunan yang mengirimkan gaya lateral tersebut ke kolom bagian bawah. Salah satu struktur rangka bangunan yang menyalurkan beban tersebut adalah sistem struktur diagrid.

Struktur diagrid sendiri berasal dari kata diagonal dan grid, dimana pada struktur ini, kolom-kolom konvensional pada bangunan digantikan dengan penggunaan grid kolom secara diagonal membentuk modul belah ketupat yang dihubungkan menggunakan node atau joint. Material yang umumnya digunakan pada sistem struktur diagrid adalah baja, beton, maupun kayu, namun umumnya, pada proses konstruksi bangunan bertingkat tinggi menggunakan material baja, material baja lebih sering dipilih dalam struktur diagrid bangunan tinggi dikarenakan baja menawarkan kecepatan dalam konstruksi, berat yang lebih ringan, lebih mudah dibangun, memiliki sambungan yang sederhana, dan cocok dengan sustainability concept atau gedung dengan konsep berkelanjutan (Prawira, Pradana Angga. 2019)

Penggunaan sistem struktur diagrid pada bangunan tinggi merupakan salah satu dari jenis teknologi membangun yang belakangan ini kembali banyak digunakan, salah satu alasan dari penggunaan sistem struktur diagrid dibandingkan dengan sistem struktur konvensional adalah memberikan kebebasan dengan



mengeliminasi penggunaan kolom pada sisi dalam ruang bangunan, sehingga dari segi desain arsitektural, pemanfaatan ruang dapat menjadi lebih maksimal.

Terdapat beberapa bangunan yang menggunakan sistem struktur diagrid, namun inovasi dan penelitian dalam penggunaan sistem struktur ini di Indonesia masih kurang jika dibandingkan dengan sistem struktur konvensional lainnya, maka pada penelitian ini akan mencoba melakukan identifikasi pengaruh antara ukuran modul pada sistem struktur diagrid terhadap ketahanan dari suatu bangunan tinggi dalam menerima dan menyalurkan beban lateral.

Pentingnya memahami faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan bangunan, terutama terkait dengan orientasi Komposisi Balok Lantai pada struktur diagrid, menjadi motivasi utama penelitian ini. Orientasi Komposisi Balok Lantai pada struktur diagrid memiliki potensi memengaruhi respons struktural bangunan terhadap beban lateral. Oleh karena itu, identifikasi pengaruh orientasi Komposisi Balok Lantai pada bangunan dengan struktur diagrid terhadap ketahanan bangunan perlu dilakukan untuk memahami dampaknya secara lebih mendalam.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang didefinisikan pada penelitian ini adalah :

1. Apakah orientasi Komposisi Balok Lantai yang berbeda pada bangunan yang menggunakan struktur diagrid memiliki pengaruh terhadap ketahanan bangunan dalam menerima beban lateral?
2. Orientasi Komposisi Balok Lantai manakah yang memiliki kemampuan paling optimal dalam menyalurkan beban lateral pada bangunan dengan struktur diagrid?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi pengaruh orientasi Komposisi Balok Lantai pada bangunan dengan struktur diagrid terhadap ketahanan bangunan dalam menerima beban lateral.



2. Mengidentifikasi orientasi Komposisi Balok Lantai yang optimal dalam menyalurkan beban lateral pada bangunan dengan sistem struktur diagrid.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah :

1. Bangunan yang ditinjau pada penelitian ini adalah gedung dengan fungsi Perkantoran.
2. Pada penelitian ini akan di bahas identifikasi dari pengaruh orientasi Komposisi Balok Lantai pada system struktur diagrid terhadap ketahanan bangunan menerima beban lateral.
3. Parameter yang dijadikan sebagai perbandingan antara balok adalah dimensi dari balok dengan tetap mempertahankan total volume dari balok pada setiap variasi orientasi yang ditentukan.
4. Ketahanan Bangunan
5. Lokasi bangunan diasumsikan berada di Kota Makassar dengan standar beban angin dan gempa sesuai dengan kondisi di Kota Makassar.
6. Peraturan beton yang digunakan adalah Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002
7. Peraturan mengenai desain pada elemen Gedung baja mengacu pada SNI 1729-1015 Spesifikasi untuk bangunan baja structural.
8. Peraturan pembebanan yang digunakan adalah Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung SKBI-1.3.53.1987 UDC: 624.042
9. Peraturan gempa yang digunakan adalah Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung SNI-03-1726-2002
10. Perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisis adalah ETABS.
11. Analisis yang dilakukan adalah analisis dinamis *Time Linear History*.

1.5 Sistematika Penulisan

Secara garis besar, proses penulisan proposal penelitian ini terdiri dari 3 (Tiga)

BAB, yaitu:

BAB I Pendahuluan

Pada bab ini berisi tentang Latar Belakang Penelitian, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Ruang Lingkup Penelitian, dan Sistematika Penulisan

II Tinjauan Pustaka



Pada bab ini berisi studi literatur berupa hasil-hasil penelitian terkait yang didapatkan sesuai dengan tema penelitian, landasan teori yang relevan dengan penelitian, baik teori-teori yang bersifat umum maupun khusus.

BAB III Metodologi Penelitian

Pada bab ini berisi metode-metode yang akan dilaksanakan pada saat melakukan penelitian.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini berisi hasil dari penelitian, baik penelitian inti maupun penelitian dasar

BAB V Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini ditarik Kesimpulan dan memberikan saran untuk penelitian-penelitian selanjutnya

1.6 Keaslian Penelitian

Table 1. Tabel 1 Keaslian Penelitian

Judul (Penulis)	Tahun	Identifikasi	Keaslian
Analisis Sistem Struktur Diagrid Dengan Stiffness Based Method dan Perbandingannya Dengan Sistem Struktur Konvensional (Pradana Angga Prawira)	2019	Menganalisis performa Gedung yang menggunakan system struktur diagrid dengan persamaan yang diusulkan oleh K.S. Moon dibandingkan dengan Gedung <i>moment-frame</i> Konvensional	Peneliti menggunakan 3 jenis modul diagonal member dan membandingkan terhadap bangunan <i>moment-frame</i> konvensional
Perbandingan Kinerja Struktur Rangka Bresing Terhadap Variasi Modul Struktur Menggunakan Konfigurasi Tipe-X	2022	Mengetahui Kinerja Bracing Tipe X pada Bangunan Perkantoran 16 Lantai	Peneliti menggunakan 3 Variasi Bracing X pada bangunan perkantoran 16 Lantai
and Construction Steel Diagrid (K. Moon)	2009	Mengetahui perbandingan konfigurasi tinggi modul	Peneliti membandingkan efektivitas struktur



		diagrid yang ideal pada bangunan 60 dan 80 lantai	diagrid pada bangunan 60 dan 80 lantai
Comoarative Study of Diagrid Structure with Conventional Frame Structures (Manhan I. Shah)	2016	Membandingkan Ekeftivitas struktur diagrid dalam menyalurkan beban lateral terhadap <i>Conventional Frame Building</i>	Membandingkan Struktur diagrid dengan struktur konvensional
<i>Analisis sistem Struktur Diagrid Dengan Stiffness Based Method dan Perbandingannya dengan sistem struktur Konvensional (Nishith B. Panchal)</i>	2014	Mengidentifikasi sudut ideal tinggi modul struktur diagrid, berdasarkan ketinggian lantai tiap modul	Bangunan yang digunakan memiliki tinggi 24 lantai, 36 lantai, 48 lantai dan 60 lantai dengan tinggi modul



BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Bangunan

2.1.1 Sistem Struktur Bangunan

Sistem Struktur pada bangunan tinggi dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan letak komponen penahan beban lateral, yakni sistem struktur eksterior dan sistem struktur interior. Klasifikasi ini diusulkan oleh Moon pada tahun 2007 yang mana mencakup sebagian besar sistem struktur bangunan tinggi yang dibangun saat ini. Suatu sistem dikatakan sebagai interior apabila sebagian besar sistem penahan beban lateralnya terletak pada bagian dalam bangunan seperti *rigid frames*, *braced hinged frames*, dan *shearwall*. Sedangkan sistem struktur eksterior penahan beban lateralnya terletak dibagian luar atau keliling dari bangunan. Yang termasuk sistem struktur eksterior antara lain adalah *tube system*, *space truss*, *super-frames*, *exoskeleton*, dan *diagrid*

2.1.2 Balok

Balok merupakan bagian dari sebuah struktur bangunan yang berfungsi sebagai pemikul beban secara transversal, sebuah balok memiliki kondisi ideal untuk dianalisa apabila telah di dapatkan diagram gaya geser dan diagram momen. Balok merupakan elemen struktur yang mengalami beban lateral, gaya-gaya atau momen bekerja dalam arah tegak lurus sumbu batang. Jika semua beban bekerja di bidang yang sama, dan jika semua defleksi terjadi di bidang tersebut, maka bidang tersebut disebut bidang lentur. Balok merupakan bagian struktur yang digunakan sebagai dudukan lantai dan pengikat kolom lantai atas. Fungsinya adalah sebagai rangka penguat horizontal bangunan akan beban-beban. Apabila suatu gelagar balok bentangan sederhana menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok tersebut. Regangan-regangan balok tersebut mengakibatkan timbulnya tegangan yang harus di tahan oleh balok, tegangan tekan di sebelah atas dan tegangan tarik dibagian bawah. Agar stabilitas terjamin, batang balok sebagai bagian dari system yang menahan lentur dit untuk menaha tegangan tekan dan tarik tersebut. (Dipohusodo, 1996).



2.2 Pengertian Struktur Diagrid



Gambar 1. IBM Building Pittsburgh

Sistem struktur diagrid berasal dari kata ‘diagonal’ dan ‘grid’ yang mengacu pada sistem struktur yang mendapatkan kekuatan struktural dari proses *triangulasi* atau pembentukan/pembagian bentuk menjadi segitiga. Sistem struktur diagrid seringkali menggunakan bentuk *planar*, *diamond*, atau *multiple curvature*. Sistem struktur diagrid menawarkan keuntungan fungsional dan ekonomis seperti misalnya peningkatan stabilitas yang disebabkan oleh triangulation, pengurangan material struktur sehingga dianggap ramah lingkungan, pengurangan berat superstructure yang mana mengurangi beban pada pondasi, serta mampu menyediakan dukungan struktural untuk struktur dengan bentuk yang tidak biasa. Diagrid sendiri bukanlah sistem struktur yang baru, struktur diagrid paling awal adalah IBM Building yang ditunjukkan tinggi 13 lantai, gedung ini berlokasi di Pittsburgh dan dibangun pada tahun 1960, gedung ini tidak mendapat perhatian dari engineer dan arsitek pada masa itu.

Struktur diagrid tidak banyak terlihat hingga pada awal tahun 1980-an dimana sistem struktur diagrid diusulkan oleh Sir Norman Foster untuk kompetisi Humana Headquarters, walaupun yang menjadi pemenang adalah bangunan bersejarah bergaya postmodern yang didesain oleh Michael Grave. Pelaksanaan yang tidak

arena sambungan diagrid membutuhkan keakuratan tinggi, kendala serta biaya yang sangat mahal pada masa itu menyebabkan perkembangan struktur diagrid terhenti. Hanya dalam satu dekade terakhir ini teknologi



yang semakin maju memperkenankan diagrid untuk digunakan sebagai sistem struktur bangunan tinggi. Contohnya adalah 30 St. Mary Axe di London yang dikenal juga dengan Swiss Re Building dan Hearst Headquarters di New York, Keduanya didesain oleh Sir Norman Foster, lalu Guangzhou Twin Towers di Guangzhou oleh Wilson Eyre. Bangunan ultra tinggi lainnya didesain oleh Skidmore, Owings dan Merrill yaitu Lotte Super Tower di Korea yang menggunakan diagrid multi planar façade.



Gambar 2. Penerapan Struktur Diagrid pada 30 St. Mary Axe di London

Diagrid memiliki penampilan yang unik dan mudah dikenali. Konfigurasi dan efisiensi dari sistem diagrid dapat mengurangi jumlah elemen struktur yang dibutuhkan pada façade (muka bangunan), yang mana penghalang pandangan keluar bangunan juga ikut berkurang. Efisiensi struktur dari sistem struktur diagrid juga membantu mengurangi kolom interior dan kolom di bagian tepi, sehingga menawarkan fleksibilitas yang signifikan dalam perencanaan floor plan. Sistem perimeter diagrid mampu menghemat kira-kira 20 persen berat baja struktural yang digunakan tergantung dengan konfigurasi diagonal member apabila dibandingkan dengan struktur momen frame konvensional. Perbedaan antara struktur eksterior



ame konvensional dengan struktur diagrid saat ini adalah pada struktur hampir semua kolom vertikal konvensional dihapuskan. Hal ini mungkin karena diagonal member pada struktur diagrid dapat menopang

beban gravitasi dan beban lateral lewat triangulated configuration sedangkan diagonal pada struktur braced frame konvensional hanya menopang beban lateral. Dibandingkan dengan tubular structures conventional tanpa diagonal, struktur diagrid lebih efektif meminimalisir shear deformation karena struktur diagrid menopang lateral shear lewat aksi aksial pada diagonal membernya, sedangkan tube structure konvensional menahan shear lewat bending pada kolom vertikalnya. Pada struktur diagrid sebagian besar beban lateral ditahan oleh diagonal member pada exterior diagrid frame dan beban gravitasi ditahan oleh interior frame dari bangunan. Elemen horizontal yang tersambung pada triangulated element (elemen segitiga) ditambahkan untuk mengatasi buckling akibat menyangga beban yang berbeda. Pelat lantai yang tersambung dengan diagonal member mentransfer beban gravitasi vertikal ke diagonal member yang mengalir lewat sistem diagrid menuju pondasi. Sistem struktur lain yang lazim digunakan pada bangunan tinggi lainnya adalah outrigger structures yang menggunakan reinforced concrete cores atau steel braced cores. Apabila didesain dengan baik outrigger structure efektif dalam mengurangi momen dan drift bangunan dibawah outrigger. Namun sistem ini tidak memberikan shear rigidity, dimana struktur diagrid memberikan bending dan shear rigidity. Dengan demikian bangunan tinggi yang menggunakan outrigger system membutuhkan cores yang akan memberikan shear rigidity yang signifikan. Struktur diagrid tidak membutuhkan high shear rigidity cores karena shear telah ditopang oleh diagrid yang berada di perimeter (batas luar/ keliling) bangunan.

2.3 Modul Pada Struktur Diagrid

2.3.1 Modul Kecil

Modul dengan ukuran dua sampai empat lantai Modul berukuran kecil berkisar antara dua hingga empat lantai seringkali diaplikasikan pada gedung dengan ketinggian rendah atau gedung yang memiliki geometri yang tidak biasa, contoh gedung yang menggunakan modul kecil adalah Capital Gate di Abu Dhabi yang menggunakan diamond shaped modul dengan ketinggian dua lantai, salah satu dengan modul terkecil saat ini dan gedung diagrid yang terletak di Manukau of Technology dimana gedung tersebut menggunakan diamond shaped dengan ketinggian 5 lantai.





Gambar 3. Penerapan modul kecil struktur diagrid pada Capital Gate, Abu Dhabi

2.3.2 Modul Menengah



Gambar 4. Aldar Headquarter dengan ukuran modul 8 lantai

Modul menengah adalah modul dengan ukuran 6 – 8 lantai, modul menengah yang diaplikasikan pada gedung yang lebih besar namun memiliki geometri yang beragam. Karena panjang dari diagrid member berjarak tiga hingga empat maka transportasi dan pemasangan biasanya bukan merupakan hal besar.



Beberapa contoh gedung yang menggunakan modul menengah adalah Aldar Headquarters dan Hearst Magazine Tower

2.3.3 Modul Besar

Modul Besar dengan 10 lantai keatas Modul dengan ketinggian 10 lantai atau lebih hanya digunakan pada gedung yang sangat tinggi, hal ini disebabkan sambungan nodes dengan balok tidak boleh terlalu besar. Panjang keseluruhan dari diagonal member membutuhkan kerjasama spesial berkaitan dengan masalah transportasinya. Contoh dari gedung dengan modul besar adalah Leadenhall Building yang didesain oleh Roger Stirk Harbour + Partners dengan bentuk seperti cheesegrater atau “parutan keju” Gedung ini menggunakan modul dengan ketinggian 14 lantai.



Gambar 6. Hearst Tower



Gambar 5. Leadenhall Building, London



2.3.4 Modul *Irregular* (Tidak beraturan)

Gedung dengan bentuk yang sangat tidak biasa akan menggunakan module irregular yang sekilas memiliki penampilan yang semrawut atau kacau balau. Besar module tipe ini harus didesain dengan sangat hati hati untuk mendapatkan bentuk struktur yang diinginkan serta membutuhkan pendekatan yang berbeda karena bentuknya yang unik dan penerapan rangka diagrid pada struktur semacam ini. Contoh gedung yang menggunakan module irregular adalah Central China Television Building atau CCTV Building. Pemilihan module menentukan berapa jumlah nodes yang digunakan pada struktur diagrid. Hal ini akan mempengaruhi biaya dalam mendesain struktur diagrid karena pada struktur diagrid sambungan node membutuhkan perlakuan khusus yang akan mempengaruhi biaya secara keseluruhan. Apabila semakin banyak node maka akan semakin tinggi biaya fabrikasi, namun apabila node yang digunakan hanya sedikit, maka diagonal member diagrid akan semakin panjang yang mana hal ini akan menyulitkan transportasi diaonal member

Module berbentuk berlian harus di-brace pada titik terlebarnya dengan menggunakan sambungan node to node untuk menyempurnakan struktur triangulasi dasar yang diperlukan. Tergantung pada geometri keseluruhan gedung,



Gambar 7. CCTV Building yang menerapkan modul irregular



horizontal bracing atau rings dapat diperlukan untuk bertindak sebagai tegangan, dimana beban gravitasi dapat menyebabkan struktur diagrid membelok keluar (deflect outward) bangunan atau tekanan pada kemiringan diagrid dapat mendorong kedalam (push inward) bangunan. Horizontal brace yang bertindak sebagai tegangan dapat memiliki dimensi yang berbeda dengan diagonal member yang menahan tekanan. Horizontal brace pada struktur diagrid biasanya dibentuk oleh balok bagian tepi lantai struktur yang akan menyambung dengan node untuk menyempurnakan bentuk segitiga.

2.2.2 Node atau Sambungan Pada Struktur Diagrid

Struktur diagrid dibangun dengan menghubungkan diagrid members dengan serangkaian nodes yang letaknya telah ditentukan sebelumnya. Node adalah titik persilangan dari diagonal member diagrid. Sebagian besar nodes untuk sistem struktur diagrid dibuat dari material pelat baja yang dilas secara khusus, material baja cocok dalam menyusun bentuk artikulasi sambungan dimana empat hingga delapan diagrid member bisa disambung sekaligus.



Gambar 8. Node atau sambungan pada struktur diagrid

Node merupakan elemen penting yang harus didesain dengan sangat hati-hati karena kegagalan pada node dapat berakibat pada kegagalan bangunan. Sambungan memiliki tingkat tegangan tinggi yang dihasilkan dari beban lateral dan beban. Secara umum fungsi node adalah untuk memberikan jalur beban lewat atau untuk menerima beban dari keempat arah diagonal member dan



horizontal beam dikedua sisi. Hal ini menyebabkan sambungan pada struktur diagrid antara diagonal member dan horizontal beam sulit untuk dibuat di pabrik sehingga biaya pada sambungan node struktur diagrid lebih mahal dibandingkan sambungan struktur konvensional. Mahalnya sambungan nodes membuat sebagian besar pengeluaran struktur diagrid terletak pada fabrikasi nodes dan element diagonal. Berbagai upaya telah dilakukan untuk menghemat biaya fabrikasi node diagrid serta mempermudah sambungan antara node dengan diagonal member, salah satunya adalah meminimalisir variasi node yang digunakan pada struktur diagrid. Secara teknis apabila mendesain struktur truss segitiga murni, bagian pusat dari node tidak perlu rigid dan dapat dibangun sebagai hinge atau pin connection. Sambungan dari struktur diagrid dapat dilas atau dibaut tergantung penampilan yang dibutuhkan dalam desain. Apabila struktur sengaja dipamerkan (exposed) maka sambungan las akan memberikan penampilan yang lebih baik namun membutuhkan pekerja yang lebih berpengalaman. Berbanding terbalik apabila struktur dibuat tersembunyi (concealed) seperti misalnya Hearst Tower dimana sambungan baut menjadi pilihan yang lebih baik selain itu sambungan baut juga menawarkan pemasangan yang lebih cepat di lokasi proyek. Nodes biasanya dibuat di pabrik untuk mengurangi kesulitan pemasangan di lokasi karena beberapa nodes memiliki berat hingga beberapa ton dan hanya bisa dipasang dengan menggunakan crane.

2.3 Geometri Bangunan Dengan Struktur Diagrid

Sifat geometris dari diagrid berhubungan sangat erat dengan penampilan gedung, mentransmisikan efek optis dan kristalinitas yang konsisten pada struktur diagrid kedalam ruang yang ditentukan sepanjang arah x dan y. Giovanni Maria Montouri mengusulkan hubungan geometris pada module diagrid sebagai berikut:

$$n_k = 2(n_w + n_f) ; h = \frac{H}{n_m} ; L_d = \frac{h}{\sin\theta} \quad (\text{II. 1})$$



$$\frac{n_{x,y} L_d \cos\theta_{x,y}}{2} ; \theta_{x,y} = \arctg \left(\frac{H n_{x,y}}{2 L_{x,y} n_m} \right) \quad (\text{II. 2})$$

an :

Bidang web = web planes, bidang yang sejajar dengan arah beban

Bidang flange = flange planes, bidang yang tegak lurus dengan arah beban

n_x = jumlah diagonal dalam 1 module pada 1 sisi permukaan X

n_y = jumlah diagonal dalam 1 module pada 1 sisi permukaan Y

n_k = jumlah diagonal dalam 1 module diagrid

n_m = jumlah module diagrid

L_x = panjang gedung pada arah X

L_y = panjang gedung pada arah Y

L_d = panjang diagonal member dari lantai teratas hingga lantai terbawah

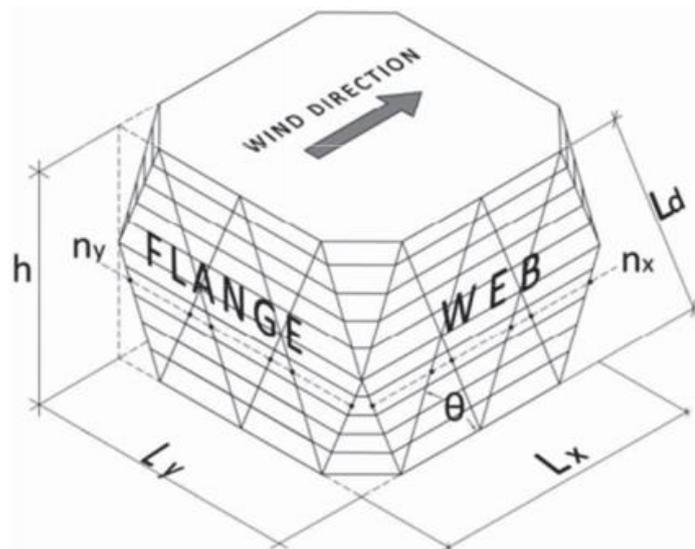
H = total tinggi bangunan

h = tinggi 1 module

θ = sudut yang terbentuk dari diagonal member dan lantai

Diagrid module bertumpuk secara vertikal di sepanjang ketinggian bangunan dengan diagonal member biasanya memanjang hingga beberapa lantai dalam setiap module yang berulang secara horizontal sepanjang batas terluar bangunan.

Parameter geometris utama dari module adalah sudut diagonal (θ), panjang diagonal member (L_d) tinggi module (h) jumlah lantai per module (n_y) jumlah module total (n_m) dan jumlah diagonal pada setiap sisi bangunan (n_{dg})



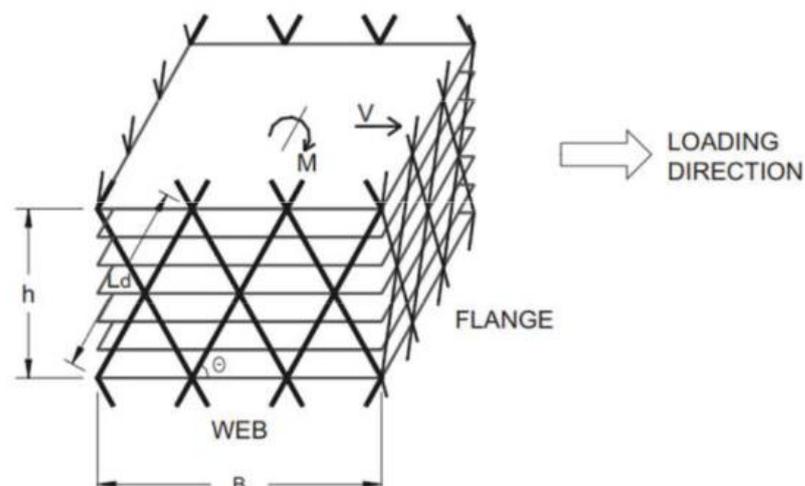
gambar 9. Ilustrasi paramter geometri module diagrid oleh Giovanni Maria Montouri (Montouri, 2013)



Pembagian lantai gedung menjadi module pada diagrid juga berguna untuk penilaian dan desain struktur. Karena module biasanya terdiri dari beberapa lantai, beban yang disalurkan dan efek beban di setiap lantai tergantung pada panjang diagonal member. Namun karena hanya ada satu jenis dimensi penampang diagonal member untuk setiap module, maka dimensi penampang diagonal member akan berbeda antar satu module dengan lainnya. Beban yang digunakan untuk perhitungan desain diagonal member adalah beban yang didapat pada bagian lantai terbawah untuk setiap module.

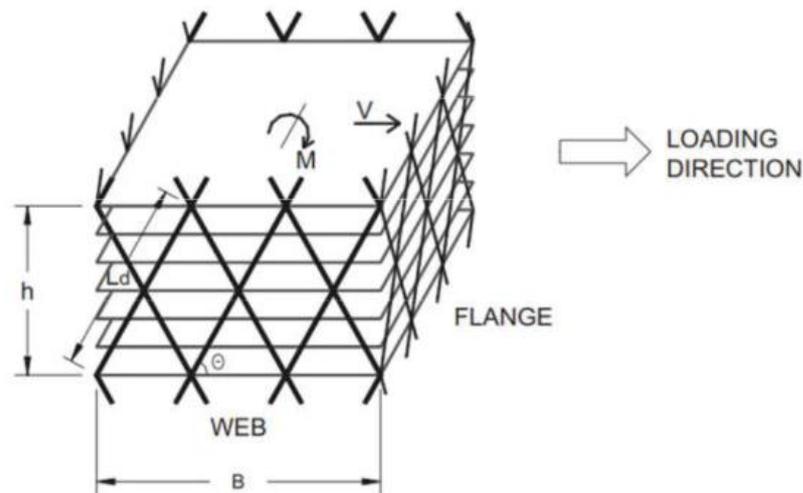
2.4 Stiffness Based Approach

Stiffness based approach atau pendekatan berdasarkan kekakuan merupakan persamaan yang diusulkan oleh Moon untuk mendapatkan dimensi penampang diagonal member. Prosedur persamaan dimulai dengan menentukan total kontribusi perpindahan pada struktur akibat deformasi lentur dan geser. Peruntukan ini didasarkan pada penilaian atribut intrinsik diagrid dan perilaku karakteristik bangunan tinggi yang berhubungan dengan rasio antara tinggi terhadap lebar gedung dan mengarah pada nilai deformasi yang dibutuhkan oleh geser dan lentur. Selanjutnya persamaan sederhana yang diusulkan oleh Moon mengubah nilai deformasi yang dibutuhkan menjadi area penampang untuk diagrid member.



Gambar 10. Modul diagrid yang terdiri dari 6 lantai
(Moon, 2007)





2.5 Pembebanan Struktur

Beban yang diperhitungkan dan bekerja adalah beban vertikal dan beban horizontal. Dimana beban vertikal terdiri atas beban mati dan beban hidup sedangkan beban horizontal dapat berupa beban angin dan beban gempa. Namun dalam perencanaan struktur beton bertulang, beban gempa lebih dominan dibandingkan dengan beban angin sehingga pembebanan struktur untuk beban horizontal hanya beban gempa saja. Dari analisa pembebanan ini lah yang akan direncanakan untuk dapat menahan beban, sehingga konstruksi dapat digunakan dengan aman.

Beban adalah gaya luar yang bekerja pada struktur. Penentuan besarnya beban yang bekerja pada suatu struktur merupakan estimasi dan penentuan distribusi beban yang bekerja memerlukan asumsi dan pendekatan. Jika seluruh beban yang bekerja pada suatu struktur telah diestimasi, maka selanjutnya yang harus dilakukan adalah menentukan kombinasi beban yang dominan bekerja pada struktur tersebut.

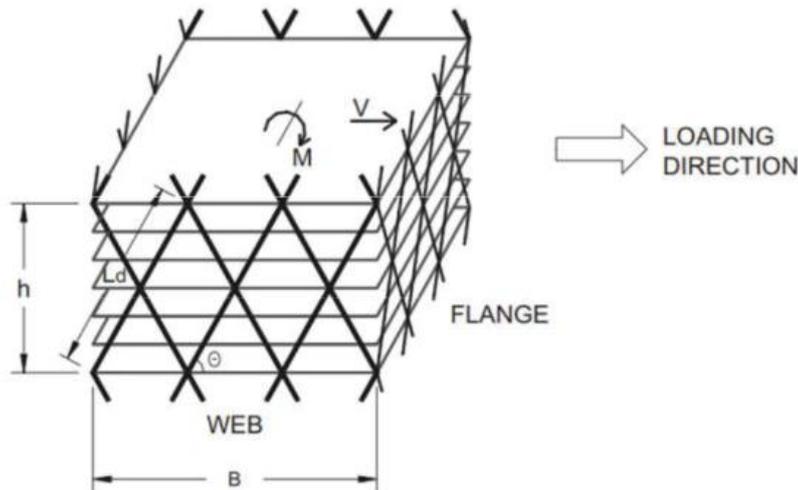
2.5.1 Beban Mati

Menurut pasal 3.1.1 SNI 1727:2013 definisi dari beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang. Konstruksi bangunan yang dimaksud adalah berat volume struktur utama termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, nishing, kledning gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lainnya serta termasuk berat keran.



2.5.2 Beban Hidup

Menurut Pasal 4.1 SNI 1727:2013 definisi dari beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung tersebut atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban



Gambar 11. conth

lingkungan, contohnya seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

Penggunaan beban hidup diatur dalam pasal 4.3.1 bahwa beban hidup yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung dan struktur lain harus merupakan beban maksimum yang dapat terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, akan tetapi nilainya tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan dalam peraturan.

Beban merata minimum seperti yang ditetapkan dalam SNI 1727:2013 dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut ini.

Table 2 Beban hidup minimum SNI 1727:2013

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
antai akses		
Ruang kantor	50 (2,4)	2000 (8,9)
Ruang komputer	100 (4,79)	2000 (8,9)



Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)	
Ruang pertemuan <ul style="list-style-type: none"> • Kursi tetap (terikat di lantai) • Lobi • Kursi dapat dipindahkan • Panggung pertemuan • Lantai podium 	100 (4,79) 100 (4,79) 100 (4,79) 100 (4,79) 150 (7,18)	
Balkon dan dek	1,5 kali beban Hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor <ul style="list-style-type: none"> • Lantai pertama • Lantai lain 	100 (4,79) sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	

Sumber : Tabel 4-1 SNI 1727 : 2013

2.5.3 Beban Hujan

Beban hujan merupakan beban struktur bangunan yang berasal dari air hujan. Beban ini bekerja pada bagian atap struktur bangunan. Berdasarkan SNI 1727:2013, setiap atap harus dirancang mampu menahan beban air hujan sesuai dengan persamaan berikut.

$$R = 0,0098 \cdot (ds + dh)$$

Keterangan:

R = beban air hujan pada atap (kN/m²)

ds = kedalaman air pada atap (mm)

dh = tambahan kedalaman air pada atap (mm)



2.5.4 Beban Angin

Beban angin merupakan beban yang bekerja pada struktur suatu bangunan akibat tekanan dari gerakan angin. Beban ini dipengaruhi oleh lokasi dan ketinggian struktur. Berdasarkan Pasal 30.4 SNI 1727:2013 untuk bangunan kategori tingkat rendah dan bangunan dengan $h \leq 18,3$ m. Adapun prosedur untuk menentukan beban angin bangunan gedung bertingkat rendah tertutup sesuai dengan Tabel 30.4- 1 SNI 1727:2013 adalah sebagai berikut.

a. Menentukan Kategori Resiko

Nilai kategori resiko suatu bangunan diperoleh berdasarkan pemanfaatan fungsi bangunan sesuai dengan Tabel

Table 3 Kategori Risiko Bangunan

Penggunaan atau Pemanfaatan Fungsi Bangunan Gedung dan Struktur	Kategori Risiko
Bangunan gedung dan struktur lain yang merupakan risiko rendah untuk kehidupan manusia dalam kejadian kegagalan	I
Semua bangunan gedung dan struktur lain kecuali mereka terdaftar dalam kategori Risiko I, III, dan IV, 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 • Bangunan industri • Fasilitas manufaktur • Pabrik 	II
Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan risiko besar bagi kehidupan manusia.	III
Bangunan gedung dan struktur lain, tidak termasuk dalam Kategori IV, dengan potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi sosial dan atau gangguan massa dari hari-ke-hari kehidupan	IV



<p>sipil pada saat terjadi kegagalan. Bangunan gedung dan struktur lain tidak termasuk dalam Risiko Kategori IV (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang manufaktur, proses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat seperti bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan peledak) yang mengandung zat beracun atau mudah meledak di mana kuantitas material melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berrwenang dan cukup untuk menimbulkan suatu ancaman kepada publik jika dirilis.</p>	
<p>Bangunan gedung dan struktur lain yang dianggap sebagai fasilitas penting. Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan bahaya besar bagi masyarakat.</p> <p>Bangunan gedung dan struktur lain (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang memproduksi, memproses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat berbahaya seperti bahan bakar, bahan kimia berbahaya, atau limbah berbahaya) yang berisi jumlah yang cukup dari zat yang sangat beracun di mana kuantitas melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup menimbulkan ancaman bagi masyarakat jika dirilis. Bangunan gedung dan struktur lain yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi dari kategori Risiko IV struktur lainnya.</p>	IV

Sumber : Tabel 4-1 SNI 1727 : 2013

b. Menentukan Kecepatan Angin Dasar (V)

Berdasarkan PPPURG 1987 Pasal 4.2, kecepatan angin dasar (V) harus diambil minimum sebesar 25 m/s

c. Menentukan Parameter Beban Angin

Parameter beban angin terdiri dari faktor-faktor sebagai berikut.

1) Faktor pengarah angin (Kd) ditentukan berdasarkan Tabel



Table 4 Faktor Arah Angin (K_d)

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin K_d^*
Bangunan Gedung	
<ul style="list-style-type: none"> • Sistem Penahan Beban Angin Utama 	0,85
<ul style="list-style-type: none"> • Komponen dan Klading Bangunan Gedung 	0,85
Atap Lengkung	0,85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama	
<ul style="list-style-type: none"> • Segi empat 	0,90
<ul style="list-style-type: none"> • Segi enam 	0,95
<ul style="list-style-type: none"> • Bundar 	0,95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0,85
Papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85
Rangka batang menara	
<ul style="list-style-type: none"> • Segi tiga, segi empat, persegi Panjang 	0,85
<ul style="list-style-type: none"> • Penampang lainnya 	0,95

Sumber: SNI 1727:2013 Tabel 26.6-1

- 2) Kategori eksposur (kekasaran permukaan) ditentukan berdasarkan Pasal 26.7 SNI 1727:2013 seperti pada Tabel

Table 5 Kategori Eksposur

Kategori Eksposur	Kriteria



B	Daerah perkotaan dan pinggiran kota, daerah berhutan, atau daerah lain dengan penghalang berjarak dekat yang banyak memiliki ukuran dari tempat tinggal keluarga-tunggal atau lebih besar.
C	Daerah perkotaan dan pinggiran kota, daerah berhutan, atau daerah lain dengan penghalang berjarak dekat yang banyak memiliki ukuran dari tempat tinggal keluarga-tunggal atau lebih besar.
D	Area datar, area tidak terhalang dan permukaan air. Kategori ini berisi lumpur halus, padang garam, dan es tak terputus.

Sumber: SNI 1727:2013 Pasal 26.7

3) Faktor topografi (K_{zt})

Faktor topografi (K_{zt}) adalah sebesar 1,0 yang ditentukan berdasarkan kondisi situs dan lokasi gedung berdasarkan Pasal 26.8.2 pada SNI 1727:2013.

4) Klasifikasi Ketertutupan

Berdasarkan Pasal 26.10 SNI 1727:2013 klasifikasi ketertutupan bangunan gedung dapat dibedakan menjadi terbuka, tertutup sebagian, dan tertutup.

5) Nilai Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi})

Nilai koefisien tekanan internal (GC_{pi}) berdasarkan ketertutupan bangunan dapat ditentukan berdasarkan pada Tabel

Table 6 Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi})

Klasifikasi Ketertutupan	(GC_{pi})
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55 - 0,55
Bangunan gedung tertutup	+ 0,18



	- 0,18
--	--------

Sumber: SNI 1727:2013 Tabel 26.11-1

d. Menentukan Koefisien Eksposur Tekanan Velositas (K_z atau K_h)

Nilai koefisien eksposur tekanan velositas (K_z atau K_h) ditentukan sesuai dengan Tabel

Table 7 Koefisien Eksposur Tekanan Velositas (K_z dan K_h)

Ketinggian diatas Level Tanah, Z (m)	Eksposur		
	B	C	D
0 - 4,6	0,70	0,85	1,03
6,1	0,70	0,90	1,08
7,6	0,70	0,94	1,12
9,1	0,70	0,98	1,16
12,2	0,76	1,04	1,22
15,2	0,81	1,09	1,27
18	0,85	1,13	1,31

Sumber: SNI 1727:2013 Tabel 30.3-1

e. Menentukan Tekanan Velositas (q_h)

Tekanan velositas (q_h) sesuai dengan Persamaan 30.3-1 pada SNI 1727:2013 ditentukan dengan persamaan berikut.

$$q_h = 0,613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2$$

Keterangan:

- q_h = tekanan velositas (N/m^2)
- K_d = faktor pengarah angin
- K_z = koefisien eksposur tekanan velositas
- K_{zt} = faktor topografi
- V = kecepatan angin dasar (m/s)



Menentukan Koefisien Tekanan Eksternal (GC_p)

Faktor efek tiupan angin (G) berdasarkan Pasal 26.9.1 SNI 1727:2013 adalah sebesar 0,85. Nilai koefisien tekanan eksternal (C_p) dapat dilihat berdasarkan Tabel

Table 8 Koefisien Tekanan Dinding (C_p)

Permukaan	L/B	C_p	Digunakan dengan
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8	q_z
Dinding di sisi angin pergi	0-1	-0,5	q_h
	2	-0,3	
	≥ 4	-0,2	
Dinding tepi	Seluruh nilai	-0,7	q_h

Sumber: SNI 1727:2013 Halaman 68

Nilai koefisien tekanan eksternal (GC_p) dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$GC_p = (G) \cdot (C_p)$$

g. Menghitung Tekanan Angin (p)

Tekanan angin (p) sesuai dengan Persamaan 30.4-1 pada SNI 1727:2013 ditentukan dengan persamaan berikut

$$p = q_h(GC_p) - (GC_{pi})$$

Keterangan:

p = tekanan angin (N/m^2)

q_h = tekanan velositas (N/m^2)

GC_p = koefisien tekanan eksternal

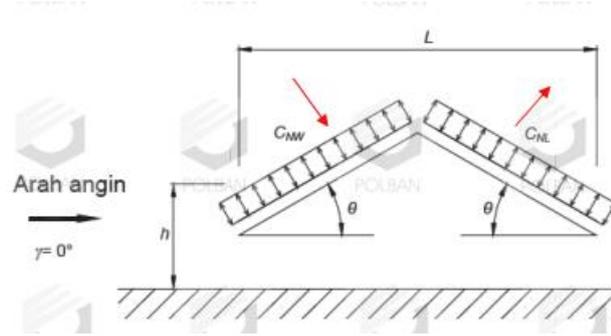
GC_{pi} = koefisien tekanan internal

h. Menentukan Distribusi Beban Angin

Tekanan angin (p) yang telah didapat dikalikan dengan koefisien tekanan neto (C_{NW} dan C_{NL}) untuk mendapatkan nilai beban angin.

Bangunan yang dianalisis, memiliki bentuk atap bebas berpuncak (*pitched*) sesuai dengan Gambar





Gambar 12 Atap Bebas Berpuncak (pitched)

Sumber: SNI 1727:2013 Gambar 27.4-5

Nilai koefisien tekanan neto (C_{NW} dan C_{NL}) untuk jenis atap tersebut dapat didapat dari Tabel

Table 9 Koefisien Tekanan Neto (C_{NW} dan C_{NL}) Atap Bebas Berpuncak (pitched)

Sudut Atap (θ)	Kasus Beban	Arah Angin, $\gamma = 0^\circ, 180^\circ$			
		Aliran Angin Tidak Terhalang		Aliran Angin Terhalang	
		C_{NW}	C_{NL}	C_{NW}	C_{NL}
7,5°	A	1,1	-0,3	-1,6	-1
	B	0,2	-1,2	-0,9	-1,7
15°	A	1,1	-0,4	-1,2	-1
	B	0,1	-1,1	-0,6	-1,6
22,5°	A	1,1	0,1	-1,2	-1,2
	B	-0,1	-0,8	-0,8	-1,7
30°	A	1,3	0,3	-0,7	-0,7
	B	-0,1	-0,9	-0,2	-1,1
37,5°	A	1,3	0,6	-0,6	-0,6
	B	-0,2	-0,6	-0,3	-0,9
45°	A	1,1	0,9	-0,5	-0,5
	B	-0,3	-0,5	-0,3	-0,7

Sumber: SNI 1727:2013 Halaman 73



2.5.5 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang diakibatkan oleh pengaruh gerakan tanah akibat gempa tersebut yang bekerja secara horizontal. Beban gempa dapat diperkirakan dari letak geografis suatu bangunan. Tata cara perencanaan ketahanan suatu struktur terhadap beban gempa ditetapkan dalam SNI 1726:2012.

Perencanaan beban gempa yang terbaru diatur dalam peraturan SNI 1726 tahun 2012. Perencanaan beban gempa harus melalui berbagai langkah yang sudah ditentukan dalam peraturan. Penjabaran langkah – langkah perencanaan beban gempa dijelaskan sebagaimana berikut ini.

a. Kategori resiko bangunan

Kategori resiko bangunan ditentukan berdasarkan fungsi suatu bangunan. Kategori resiko bangunan memilah beberapa fungsi bangunan berdasarkan kemungkinan besarnya resiko korban jiwa yang ada pada bangunan. Pengelompokan Kategori resiko bangunan berdasarkan fungsi bangunan dapat dilihat pada Tabel

Table 10 Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung

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



<ul style="list-style-type: none"> • Pasar • Gedung perkantoran • Gedung apartemen/ rumah susun • Pusat perbelanjaan/ mall • Bangunan industri 	
<p>ApartemenGedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bioskop • Gedung pertemuan • Stadion • Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat • Fasilitas penitipan anak • Penjara • Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pusat pembangkit listrik biasa • Fasilitas penanganan air • Fasilitas penanganan limbah • Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah</p>	III



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

Sumber : Tabel 1 SNI 1726 : 2012

Faktor keutamaan gempa



Faktor keutamaan gempa adalah faktor pengali yang digunakan dalam beberapa persamaan dalam perencanaan beban gempa. Faktor ini didasarkan pada kategori risiko bangunan. Faktor keutamaan gempa dapat dilihat pada Tabel

Table 11 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

Sumber : Tabel 2 SNI 1726 : 2012

c. Klasifikasi situs

Sutau situs harus dikelompokkan atau diklasifikasikan unuk perumusan kriteria desain seismic suatu Gedung atau bangunan di atas permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan paling bawah atau dasar ke permukaan tanah. Penetapan pengklasifikasian ini harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di dalam laboratorium, yang dilakukan oleh pihak yang memang ahli dari ilmu geoteknik, dengan minimal mengukur secara independent dua dari tiga parameter tanah.

Tipe kelas situs yang sesuai dengan Tabel 3 SNI 1726 : 2012 dapat dilihat pada Tabel

Table 12 Klasifikasi Situs

Kelas situs	V (m/detik)	N	S_u
SA (Batuan Keras)	>1500	N/A	N/A
SB (Batuan)	750 – 1500	N/A	N/A
SC (Tanah Keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 – 750	> 50	> 100
SD (Tanah Sedang)	175 – 350	15 – 50	50 – 100

Sumber : Tabel 3 SNI 1726 : 2012



2.6 Analisis Dinamik Gempa

Analisis dinamik gempa adalah analisis struktur dimana pembagian geser gempa di seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh gerakan dinamis tanah terhadap struktur. Analisis dinamik gempa terbagi menjadi 2 yaitu analisis ragam respon spektrum dan ragam riwayat waktu. Analisis ragam respon spektrum dimana total respon didapat melalui superposisi dan respon ruang masing-masing ragam getar. Sedangkan analisis riwayat waktu adalah analisis dinamis dimana pada model struktur diberikan suatu catatan rekaman gempa dan respon struktur dihitung langkah demi langkah pada interval tertentu.

2.6.1 Analisis Ragam Spektrum Respon (Respon Spectrum Modal Analysis)

Bila spektrum respon desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain (gambar 15) harus dikembangkan dengan mengikuti ketentuan dibawah ini:

- Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan;

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

- Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} .
- Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

Keterangan:

S_{DS} = Parameter Respons Percepatan Pada Perioda Pendek

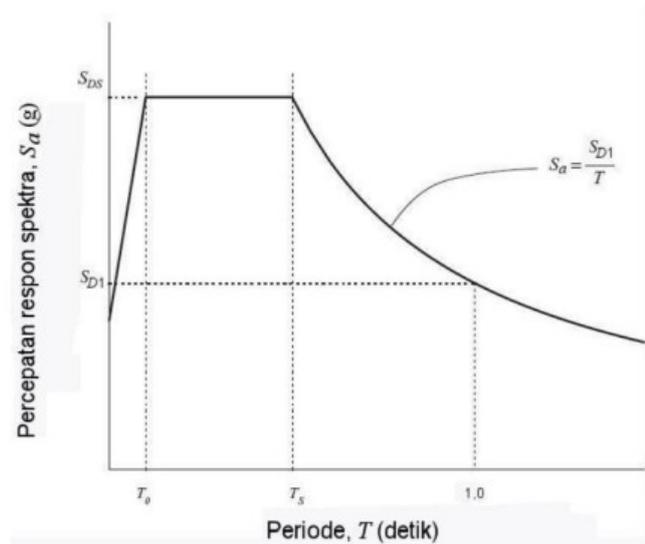
S_{D1} = Parameter Respons Percepatan Pada Perioda 1 detik

T = Periode Fundamental Struktur (s)

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$





Gambar 13 Spektrum Respon Desain

(sumber: SNI 1726:2012)

Menurut SNI-1726-2012, analisis spektrum respons harus dilakukan dengan menggunakan suatu nilai redaman ragam untuk ragam fundamental di arah yang ditinjau tidak lebih besar dari nilai yang terkecil dari redaman efektif sistem isolasi atau 30 persen redaman kritis. Nilai redaman ragam untuk ragam-ragam yang lebih tinggi harus dipilih konsisten dengan redaman yang sesuai untuk analisis spektrum respons struktur di atas sistem isolasi yang diasumsikan terjepit di dasarnya.

Analisis spektrum respons yang digunakan untuk menentukan perpindahan rencana total dan perpindahan maksimum total harus menyertakan model yang digetarkan bersamaan (simultan) oleh 100 persen gerak tanah di arah kritis dan 30 persen gerak tanah di arah tegak lurusnya, di arah horisontal. Perpindahan maksimum sistem isolasi harus dihitung sebagai penjumlahan vektor perpindahan ortogonal dari dua arah tersebut.

Gaya geser rencana di setiap tingkat tidak boleh kurang dari gaya geser tingkat yang dihitung dengan menggunakan suatu nilai V , yang sama dengan gaya geser dasar yang diperoleh dari analisis spektrum respons di arah yang ditinjau.



2.6.2 Analisis Ragam Riwayat Waktu (Time History Modal Analysis)

Menurut SNI-1726-2012, analisis riwayat waktu linier harus terdiri dari analisis model matematis linier suatu struktur untuk menentukan respons melalui metoda integrasi numerik terhadap kumpulan riwayat waktu percepatan gerak tanah yang kompatibel dengan spektrum respons desain untuk situs yang bersangkutan.

Menurut SNI-1726-2012 mengenai analisis tiga dimensi, apabila analisis tiga dimensi dilakukan maka gerak tanah harus terdiri dari sepasang komponen percepatan tanah horisontal yang sesuai, yang harus diseleksi dan diskalakan dari rekaman peristiwa gempa individual. Gerak tanah yang sesuai harus diseleksi dari peristiwa-peristiwa gempa yang memiliki magnitudo, jarak patahan, dan mekanisme sumber gempa yang konsisten dengan hal-hal yang mengontrol ketentuan gempa maksimum yang dipertimbangkan. Apabila jumlah pasangan rekaman gerak tanah yang disesuaikan tidak mencukupi maka harus digunakan pasangan gerak tanah buatan untuk menggenapi jumlah total yang dibutuhkan. Untuk setiap pasang komponen gerak tanah horisontal, suatu spektrum SRSS harus dibuat dengan mengambil nilai SRSS dari spektrum respons dengan 5 persen faktor redaman untuk komponen-komponen gerak tanah yang telah diskalakan (di mana faktor skala yang sama harus digunakan untuk setiap komponen dari suatu pasangan gerak tanah). Setiap pasang gerak-gerak tanah tersebut, harus diskalakan sedemikian rupa sehingga pada rentang periode dari $0.2T$ hingga $1.5T$, nilai rata-rata spektrum SRSS dari semua pasang komponen horisontal tidak boleh kurang dari nilai ordinat terkait pada spektrum respon yang digunakan dalam desain.

2.7 Simpangan Antar Lantai

Menurut SNI-1726 tentang penentuan simpangan antar lantai mengatakan bahwa simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diijinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dan pusat massa di tingkat atasnya.



Bagi struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horisontal, simpangan antar lantai desain, Δ , harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik di atas dan di bawah tingkat yang diperhatikan yang letaknya segaris secara vertikal, di sepanjang salah satu bagian tepi struktur. Defleksi pusat massa di tingkat (δx) (mm) harus ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

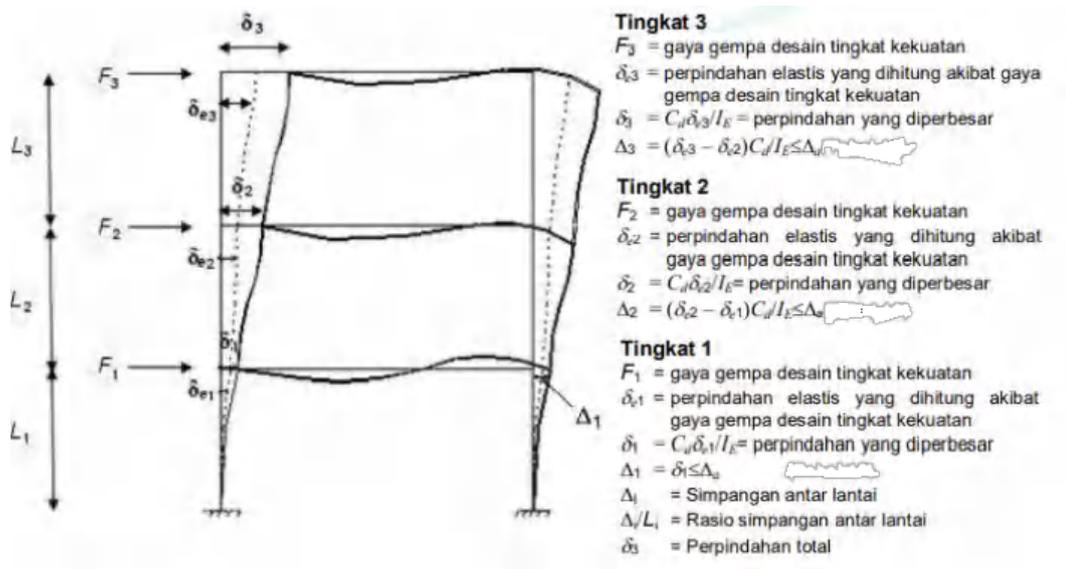
$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Keterangan:

δ_x = Defleksi Pada Lokasi Yang Disyaratkan

C_d = faktor Implifikasi Defleksi

I_e = Faktor Keutamaan Gempa



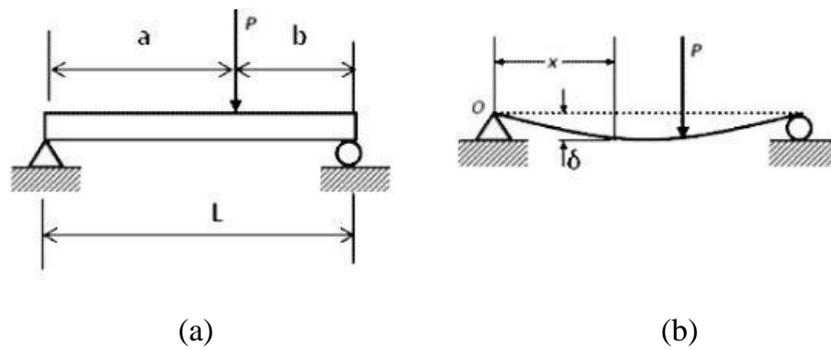
Gambar 14 Penentuan Simpangan Antar Lantai

(sumber: SNI 1727:2012)

2.8 Defleksi

Defleksi adalah perubahan bentuk pada balok atau batang yang ditinjau dari 1 dimensi akibat adanya pembebanan yang diberikan pada balok atau batang. Sumbu sebuah batangan terdeteksi dari kedudukannya mula bila benda dibawah pengaruh gaya terpakai. Dengan kata lain suatu batang akan mengalami pembebanan transversal baik itu beban terpusat maupun terbagi merata akan mengalami defleksi.





(a) (b)
Gambar 15 Defleksi
(sumber: etsworld.id, 2022)

Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Konfigurasi yang diasumsikan dengan deformasi permukaan netral dikenal sebagai kurva elastis dari balok. Gambar 17 (a) memperlihatkan balok pada posisi awal sebelum terjadi deformasi dan Gambar 17 (b) adalah balok dalam konfigurasi terdeformasi yang diasumsikan akibat aksi pembebanan.

Unsur-unsur dari mesin haruslah cukup tegar untuk mencegah ketidakbarisan dan mempertahankan ketelitian terhadap pengaruh beban dalam gedung-gedung, balok lantai tidak dapat melentur secara berlebihan untuk meniadakan pengaruh psikologis yang tidak diinginkan para penghuni dan untuk memperkecil atau mencegah dengan bahan-bahan jadi yang rapuh. Begitu pun kekuatan mengenai karakteristik deformasi dari bangunan struktur adalah paling penting untuk mempelajari getaran mesin seperti juga bangunan-bangunan stasioner dan penerbangan. dalam menjalankan fungsinya, balok meneruskan pengaruh beban gravitasi keperletakan terutama dengan mengandalkan aksi lentur, yang berkaitan dengan gaya berupa momen lentur dan geser. Kalaupun timbul aksi normal, itu terutama di timbulkan oleh beban luar yang relatif kecil, misalnya akibat gaya gesek rem kendaraan pada gelagar jembatan atau misalnya akibat perletakan yang di buat miring. Hal-hal yang mempengaruhi terjadinya defleksi yaitu:

- Kekakuan batang. Artinya semain kaku suatu batang maka lendutannya akan semakin kecil



- Besar kecilnya gaya yang diberikan. Artinya besar kecilnya gaya yang diberikan berbanding lurus dengan defleksi yang akan terjadi
- Jenis tumpuan yang diberikan. Reaksi adan arah tiap jenis tumpuan berbeda-beda dalam menanggapi beban sehingga besar defleksi tiap tumpuan berbeda-beda.
- Jenis beban yang terjadi pada batang. Beban terdistribusi merata dengan beban titik, keduanya memiliki kurva defleksi yang berbeda-beda. Pada beban terdistribusi merata slope yang terjadi pada bagian batang yang paling dekat lebih besar dari slope titik. Ini karena sepanjang batang mengalami beban sedangkan pada beban titik hanya terjadi pada beban titik tertentu saja (Binsar Hariandja 1996).

2.9 Displacement

Dalam rekayasa struktur, displacement adalah pergeseran posisi dari setiap bagian struktur saat dikenai beban. Ini adalah faktor penting dalam desain gedung tinggi dan struktur kompleks lainnya, karena secara langsung berdampak pada kenyamanan dan keselamatan penghuni."

Sumber: Taranath, Bungale S. *Tall Building Design: Steel, Concrete, and Composite Systems*. CRC Press, 2016.

2.10 Etabs V20

Program ETABS (*Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems*) adalah program yang digunakan untuk menganalisis dan mendesain struktur bangunan dengan cepat dan tepat yang dikembangkan oleh perusahaan *Computers and Structures, Incorporated* (CSI) yang berlokasi di Berkeley, California, Amerika Serikat. Diawali dengan penelitian dan pengembangan riset oleh Dr. Edward L. Wilson pada tahun 1970 di *University of California*, Berkeley Amerika Serikat, maka bentuklah sebuah perusahaan bernama CSI oleh Ashraf Habibullah pada tahun 1975.



Selain program ETABS ini, CSI juga mengembangkan beberapa program lainnya diantaranya program SAP dan program SAFE. Ketiga program ini sudah dipakai dan terbukti di lapangan untuk diaplikasikan pada konstruksi-konstruksi di lebih dari 100 negara di dunia.

Program Etabs diciptakan untuk digunakan secara spesifik untuk menganalisis struktur *high rise building* seperti bangunan perkantoran, apartemen dan lain sebagainya. Program SAP yang dibuat secara khusus untuk digunakan menganalisis struktur seperti jembatan, bendungan, dan lain sebagainya. Sedangkan program SAFE dikhususkan untuk digunakan menganalisis struktur lantai beton dan fondasi beton dengan efisiensi yang tepat dengan kekuatan maksimal.

