

# Analisis Perbandingan Sistem Struktur Gedung Baja Konvensional dan Sistem Struktur Diagrid dengan Konfigurasi Batang Diagonal yang Berbeda

Bima Candra Nugroho <sup>[1]\*</sup>, Relly Andayani <sup>[1]</sup>

<sup>[1]\*</sup> Program Studi Teknik Sipil, Universitas Gunadarma, Jakarta, 10430, Indonesia

Email: [bimanugroho278@gmail.com](mailto:bimanugroho278@gmail.com)\*, [rellyand@gunadarma.ac.id](mailto:rellyand@gunadarma.ac.id)

\*) Correspondent Author

Received: 03 March 2023; Revised: 17 August 2023; Accepted: 21 August 2023

How to cited this article:

Nugroho, Bima C., Andayani, Relly, (2024). Analisis Perbandingan Sistem Struktur Gedung Baja Konvensional dan Sistem Struktur Diagrid dengan Konfigurasi Batang Diagonal yang Berbeda. Jurnal Teknik Sipil, 20(1), 94-110. <https://doi.org/10.28932/jts.v20i1.6303>

## ABSTRAK

Diagrid merupakan struktur grid pada eksterior bangunan yang berbentuk diagonal. Merupakan pendekatan inovatif dan mudah beradaptasi penggunaannya untuk gedung tinggi. Diagrid terbentuk dari rangka diagonal yang saling berhubungan dari material baja, beton atau kayu. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui performa struktur gedung diagrid dan bagaimana konfigurasi batang diagonal yang optimal. Terdapat 6 tipe gedung yang ditinjau, terdiri dari 1 tipe gedung konvensional dan 5 tipe gedung diagrid yaitu diagrid tipe 2L20M dengan kemiringan batang diagonal 33,94°, diagrid tipe 4L10M dengan kemiringan batang diagonal 53,39°, diagrid tipe 8L5M dengan kemiringan batang diagonal 69,62°, diagrid tipe 10L4M dengan kemiringan batang diagonal 73,45° dan diagrid tipe 20L2M dengan kemiringan batang diagonal 81,55°. Analisis dilakukan menggunakan program ETABS dan mengikuti peraturan SNI yang berlaku di Indonesia. Performa yang dibandingkan meliputi dimensi penampang, total berat struktur dan *base shear*, kinerja batas layan dan *time-period*. Hasil analisis menunjukkan bahwa gedung diagrid memiliki performa struktur lebih baik. Dari 5 tipe gedung diagrid yang ditinjau, performa paling optimal adalah tipe 10L4M dengan panjang batang diagonal 36,51 meter yang memanjang hingga 10 lantai dengan ketinggian module 35 meter dan sudut 73,45°. Tipe diagrid dengan performa terbaik kedua adalah 8L5M, terbaik ketiga adalah tipe 4L10M, di urutan ke empat tipe 20L2M. Gedung diagrid dengan performa paling rendah adalah tipe 2L20M yang memiliki performa tidak lebih baik dibandingkan gedung konvensional.

**Kata kunci:** *Bangunan Tinggi, Performa Struktur, Sistem Struktur, Struktur Diagrid.*

**ABSTRACT.** *Comparative Analysis of Conventional Steel Building Structural Systems and Diagrid Structural Systems with Different Diagonal Member Configurations. Diagrid is known as a grid structure where the exterior structure of the building is diagonal, this is one of the most innovative and adaptable approaches and also evolved into its use for high-rise buildings. Diagrid is formed from diagonally shaped frames that are interconnected by materials which can be steel, concrete or wood. The purpose of this study is to determine the performance of the diagrid building structure and how the optimal diagonal member configuration for the diagrid building is. There are 6 types of buildings to be reviewed, consisting of 1 conventional building type and 5 diagrid building types, namely diagrid type 2L20M with diagonal members slope of 33,94°, diagrid type 4L10M with a diagonal angel of 53,39°, diagrid type 8L5M with a diagonal angel of 69,62°, type 10L4M diagrid with a diagonal angle of 73,45° and 20L2M type diagrid with a diagonal angle of 81,55°. The buildings will be analyzed using the ETABS program and following the SNI regulations in Indonesia. The performance result to be compared include cross-sectional dimensions, total structure weight and base shear, service limit performance and time period. The result analysis show that the diagrid building has better structural performance. The diagrid model with the most optimal performance is the 10L4M type with a diagonal member length of 36,51 meters that extends up to 10 floors with a module height of 35 meters and an angle of 73,45°. Diagrid model with the second-best performance is type 8L5M,*

then in third place is type 4L10M and in fourth place is type 20L2M. The diagrid building with the lowest performance is the 2L20M type which has no better performance than conventional buildings.

**Keywords:** High Rise Buildings, Structural Performance, Structural Systems, Diagrid Structures,

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Diagrid dikenal sebagai struktur grid dengan bagian eksterior bangunan berbentuk diagonal. Menjadi salah satu pendekatan inovatif, mudah beradaptasi dan juga berevolusi ke penggunaannya untuk gedung tinggi (Saputra, 2019). Sistem struktur diagrid memiliki kemampuan menahan beban melalui pola segitiga sehingga dengan pola tersebut dapat meningkatkan kekakuan struktur. Batang-batang diagonal tersusun dalam satu bidang dan menjadi pembeda dengan sistem struktur lainnya, misal: sistem rangka portal. Dalam sistem struktur diagrid keberadaan kolom vertikal dapat digantikan dengan batang-batang diagonal. Biasanya kolom digunakan untuk menyediakan kapasitas penahan beban vertikal dan diagonal atau bracing digunakan untuk memberikan stabilitas dan ketahanan terhadap beban lateral seperti beban angin dan gempa. Sistem struktur diagrid mampu menahan beban lateral dan beban gravitasi yang sama baiknya. Beban lateral yang diterima oleh struktur diagrid, diteruskan oleh batang-batang diagonal menjadi gaya aksial pada batang (Boake, 2014). Beberapa contoh gedung populer yang menggunakan sistem struktur diagrid adalah gedung *Swiss Re* di London, gedung *Hearst Tower* di New York, gedung *Mode Gakuen Spiral Tower* di Seoul dan gedung *BOW Project* di Calgary.

Penelitian mengenai analisis sistem struktur diagrid sudah pernah dilakukan dan dapat disimpulkan bahwa sudut batang diagonal berpengaruh terhadap performa gedung dengan menggunakan persamaan untuk perencanaan desain penampang batang diagonal (Moon, 2016).

Pada penelitian ini 5 gedung diagrid dengan konfigurasi batang diagonal yang berbeda dari sudut dan panjang bentangnya akan dibandingkan performanya untuk mengetahui konfigurasi yang paling optimal. Gedung dengan sistem struktur diagrid juga akan dibandingkan dengan gedung sistem konvensional untuk mengetahui apakah gedung dengan sistem struktur diagrid memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan gedung konvensional.

### 1.2 Historical Review

Studi perbandingan struktur diagrid dengan sudut  $50,2^\circ$ ,  $67,4^\circ$ ,  $74,5^\circ$  dan  $82,1^\circ$ , berdasarkan hasil analisis menggunakan ETABS dalam hal *top storey displacement*, *storey drift*, *time period*, sudut diagrid dan konsumsi baja dan beton yang digunakan disimpulkan bahwa sudut optimal untuk struktur diagrid berkisar antara  $65^\circ$  hingga  $75^\circ$  (Panchal, 2014). Struktur diagrid untuk bangunan bertingkat tinggi memiliki stabilitas yang lebih baik dibandingkan struktur konvensional. Konfigurasi sudut diagrid antara  $65^\circ$  hingga  $72^\circ$  terbukti optimal untuk gedung dengan ketinggian 120 m hingga 240 m dan juga terbukti lebih

ekonomis dalam hal konsumsi baja karena susunan diagrid memberikan struktur tanpa kolom eksterior (Vhanmane, 2020).

Struktur diagrid memiliki *time-period* lebih kecil dibandingkan struktur konvensional. Hal ini membuktikan bahwa struktur diagrid memiliki kekakuan yang lebih tinggi dari struktur konvensional. Pada penelitian lainnya, analisis komparatif struktur gedung 24 lantai dengan denah 36m x 36m struktur diagrid dan konvensional rangka baja yang dianalisis dengan menggunakan ETABS. Dari penelitian menunjukkan bahwa gaya geser dasar struktur gedung diagrid cenderung lebih tinggi dibandingkan sistem struktur konvensional akibat beban gempa. Selain itu, disimpulkan bahwa hasil penelitian *time-period* untuk struktur diagrid adalah 2,74 detik sedangkan untuk struktur konvensional adalah 6,96 detik (Varsani, 2015). *Time-period* struktur diagrid yang lebih rendah jika dibandingkan dengan struktur konvensional membuktikan struktur diagrid memiliki *time-period* yang lebih baik dibandingkan sistem struktur konvensional (Manthan, 2016).

Ditinjau dari *top storey displacement*, struktur diagrid memiliki *top storey displacement* lebih kecil dibandingkan dengan sistem konvensional (Navasare, 2022). *Top storey displacement* maksimum untuk struktur konvensional adalah 172,7 mm sedangkan untuk struktur diagrid hanya 31,6 mm (Varsani, 2015). Pada penelitian yang lain, gedung 60 lantai dengan denah tipikal 24,00 m x 24,00 m dengan sistem struktur konvensional dan sistem struktur diagrid dianalisis dan memberikan hasil perbandingan defleksi untuk kedua sistem yang juga diamati untuk setiap tingkat. Pada sistem struktur konvensional, lendutan maksimum adalah 84,90 mm sedangkan pada sistem diagrid hanya 75,00 mm (Deshpande, 2015).

### 1.3 Sistem Struktur Diagrid

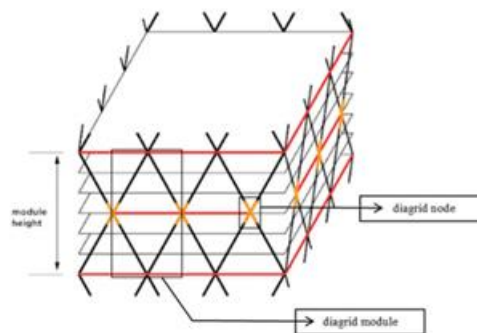
Diagrid merupakan akronim dari kata diagonal dan grid yang merujuk pada suatu sistem struktur yang umumnya dari baja untuk menciptakan struktur segitiga dengan batang pendukung diagonal (Boake, 2014). Sistem struktur diagrid merupakan salah satu sistem struktur *bracing* dengan bentuk kolom diagonal. Pada dasarnya struktur diagrid menggunakan prinsip rangka batang dengan membentuk sudut akibat posisi diagonalnya. Sudut-sudut tersebut terlihat segitiga sehingga bentuk tersebut dapat dimanfaatkan untuk menahan beban lateral maupun beban gravitasi (Wirawan, 2020).

Perbedaan antara struktur eksterior *braced frame* konvensional dengan struktur diagrid saat ini adalah pada struktur diagrid, hampir semua kolom vertikal konvensional dihapuskan. Hal ini dimungkinkan karena batang diagonal 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 menopang *lateral shear* lewat aksi aksial pada batang diagonalnya, sedangkan *tube structure conventional* menahan *shear* lewat *bending* pada kolom vertikalnya. Pada struktur diagrid sebagian besar beban lateral ditahan oleh batang diagonal pada *exterior diagrid frame* dan beban gravitasi ditahan oleh *interior frame* dari bangunan. Elemen horisontal

yang tersambung pada *triangulated element* (elemen segitiga) ditambahkan untuk mengatasi *buckling* akibat menyangga beban yang berbeda. Pelat lantai yang tersambung dengan batang diagonal mentransfer beban gravitasi ke bantang diagonal yang mengalir lewat sistem diagrid menuju pondasi.

#### 1.4 Modul

Modul mengacu pada jumlah lantai konfigurasi *diamond-shaped* (bentuk berlian) dari ujung lantai ke ujung lantai seperti pada Gambar 1, dimana 1 modul diagrid terdiri dari 6 lantai. Pemilihan modul diagrid akan berpengaruh langsung secara visual pada struktur, ukuran jendela, penempatan serta jumlah sumber data yang digunakan pada proyek yang bersangkutan.



**Gambar 1.** Ilustrasi Modul dan *Node* Diagrid (Boake, 2014)

Pengelompokan menurut Terry Meyer Boake (2014) berdasarkan ketinggian lantai modul:

- a. Modul kecil: dua sampai empat lantai  
Modul dengan kisaran dua hingga empat lantai seringkali diaplikasikan pada gedung dengan ketinggian rendah atau gedung yang memiliki geometri yang tidak biasa.
- b. Modul menengah: enam sampai delapan lantai  
Modul yang cocok diaplikasikan pada gedung yang lebih besar dengan geometri lebih seragam. Panjang batang diagrid berjarak dari tiga hingga empat lantai sehingga transportasi dan pemasangan bukan masalah besar.
- c. Modul besar: 10 lantai keatas  
Hanya digunakan pada gedung yang sangat tinggi, disebabkan sambungan *nodes* tidak boleh terlalu besar. Panjang batang diagonal membutuhkan pertimbangan khusus terkait masalah transportasi.
- d. *Module Irregular*  
Gedung dengan bentuk yang sangat tidak biasa akan menggunakan *module irregular* yang sekilas memiliki penampilan kacau balau. Besar modul tipe ini harus di desain dengan sangat hati-hati untuk mendapatkan bentuk struktur yang diinginkan serta membutuhkan pendekatan yang berbeda karena bentuknya yang unik.

### 1.5 Nodes

Struktur diagrid dibangun dengan menghubungkan batang diagrid pada serangkaian *nodes* yang letaknya telah ditentukan sebelumnya. *Node* adalah titik persilangan dari batang diagonal. 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 batang diagrid dapat disambung sekaligus seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** *Prefabricated Nodes* pada *Swiss Re Tower* (Boake, 2014)

*Nodes* merupakan elemen penting yang harus didesain dengan sangat hati-hati karena kegagalan pada *nodes* akan berakibat pada kegagalan struktur. Sambungan *nodes* memiliki tingkat tegangan tinggi yang dihasilkan dari beban lateral dan beban gravitasi. Secara umum fungsi *nodes* adalah untuk memberikan jalur beban lewat batang atau untuk menerima beban dari keempat arah batang diagonal dan batang horisontal di kedua sisi. Hal ini menyebabkan sambungan pada struktur diagrid antara batang diagonal dan batang horisontal sulit untuk dibuat di pabrik sehingga biaya untuk sambungan *node* lebih mahal dibandingkan sambungan struktur konvensional. Mahalnya sambungan *nodes* membuat sebagian besar pengeluaran struktur diagrid terletak pada fabrikasi *nodes* dan elemen diagonal.

### 1.6 Desain Seismik Gedung Diagrid

Kontribusi penting mengenai desain seismik gedung diagrid diberikan oleh William Baker (2010) yang mengembangkan koefisien modifikasi respon untuk gedung diagrid. Hal ini disebabkan peraturan yang ada belum mengakomodasi sistem struktur diagrid, sehingga analisis yang dilakukan membutuhkan pertimbangan perencana (*engineering judgement*). Dari kondisi ini jelas bahwa dibutuhkan parameter desain seismik yang dikembangkan khusus untuk sistem struktur diagrid sehingga analisis seismik diagrid dapat dilakukan dengan lebih akurat.

Terdapat 3 parameter kunci yang mempengaruhi analisis desain seismik struktur secara signifikan yakni  $R$ ,  $C_d$ , (koefisien amplifikasi defleksi) dan  $\Omega$  (faktor kuat lebih sistem). Nilai  $R$  mewakili desain sistem struktur untuk menahan beban lateral, nilai ini berkisar antara 1,5 hingga 9. Nilai  $R$  yang rendah mewakili struktur yang getas (*brittle*) dan kaku (*stiff*) sedangkan nilai  $R$  yang tinggi mewakili struktur yang duktail atau menyerap energi lewat fleksibilitas gedung. Nilai  $R$  yang rendah menghasilkan beban lateral yang besar karena struktur yang getas menghasilkan penyerapan energi yang kecil sehingga struktur harus menahan gaya yang datang secara langsung. Nilai  $R$  yang tinggi menghasilkan beban lateral yang kecil karena sistem lebih efisien dalam menyerap energi dan menyebarkan beban dalam kondisi ekstrim. Faktor kuat lebih sistem ( $\Omega$ ) merupakan indikator kekuatan yang tersisa dalam struktur setelah terjadi leleh, mencerminkan kekakuan dan kemampuan struktur untuk menyebarkan beban kembali.

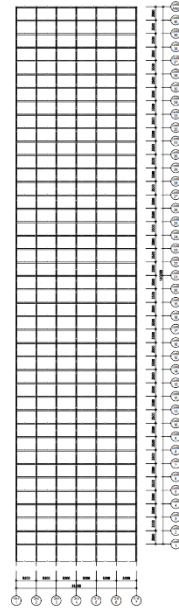
William Baker (2010) dalam tulisan yang berjudul *Proposed Methodology to Determine Seismic Performance Factors for Steel Diagrid Framing System*, untuk mendapatkan nilai  $R$  dilakukan *iterative process* dari berbagai struktur diagrid berjumlah 300 model dengan variasi properti geometri dan konfigurasi struktur seperti variasi aspek rasio gedung ( $H/B$ ), kemiringan batang diagonal, kapasitas dan kebutuhan penyerapan energi, perilaku gabungan antara aksial dan lentur komponen setelah terjadinya tekuk, dan sistem redundansi. Dengan prosedur evaluasi performa berdasarkan metode ATC 63 dan FEMA 450, didapat nilai  $R$  adalah 3,64. Nilai ini sedikit lebih tinggi dari nilai sistem penahan gata seismik untuk baja yang tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever sesuai SNI 1726-2019 Tabel 9 yakni nilai  $R = 3$ . Ini menunjukkan bahwa diagrid memiliki struktur yang getas namun memiliki kemampuan untuk menyebarkan beban kembali ketika terjadi gempa. Faktor kuat lebih sistem ( $\Omega$ ) untuk struktur diagrid diusulkan sebesar 1,5. Koefisien amplifikasi defleksi ( $C_d$ ) menurut FEMA p695 pasal 7.7 secara umum untuk sebagian besar system,  $C_d$  sama besar dengan nilai  $R$ , sehingga diambil nilai  $C_d$  adalah 3,64. Dapat disimpulkan bahwa struktur diagrid memiliki reduksi yang lebih besar terhadap beban gempa dibandingkan dengan struktur umum yang tidak didesain atau didetail terhadap beban gempa.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Obyek Analisis Penelitian

Pemodelan dan analisis struktur dilakukan menggunakan program ETABS untuk struktur gedung konvensional dan struktur gedung diagrid. Struktur gedung konvensional pada Gambar 3, didesain menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK), gedung difungsikan sebagai perkantoran, berbentuk persegi dengan dimensi 31,2 m x 31,2 m, bentang balok 5,2 m, tebal pelat lantai 0,12 m.

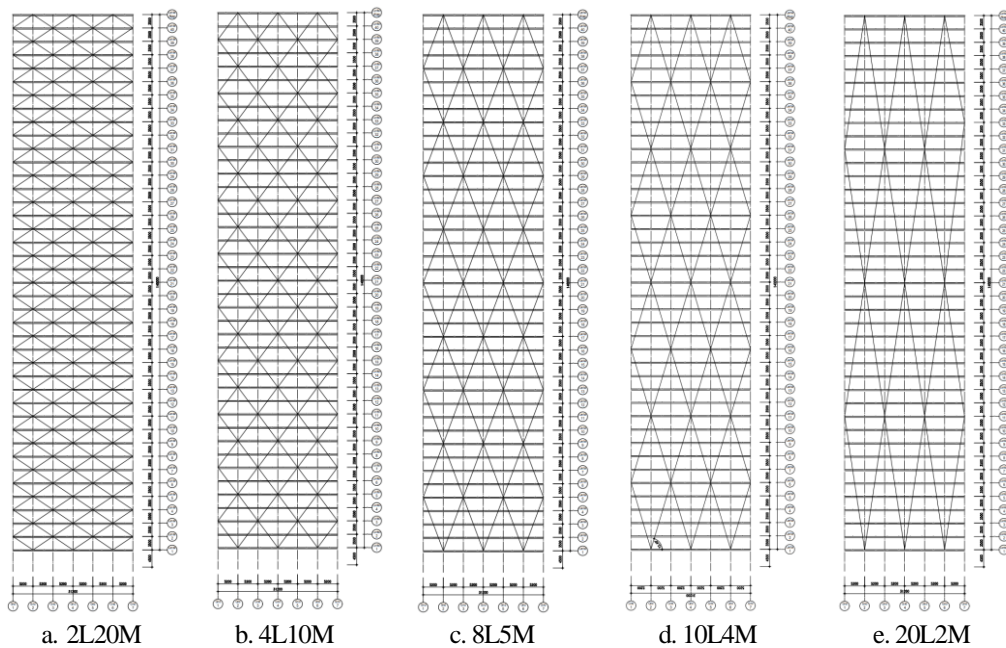




Gambar 3. Portal Gedung Konvensional

Struktur gedung diagrid dengan 5 tipe menurut kemiringan batang diagonalnya pada Gambar 4:

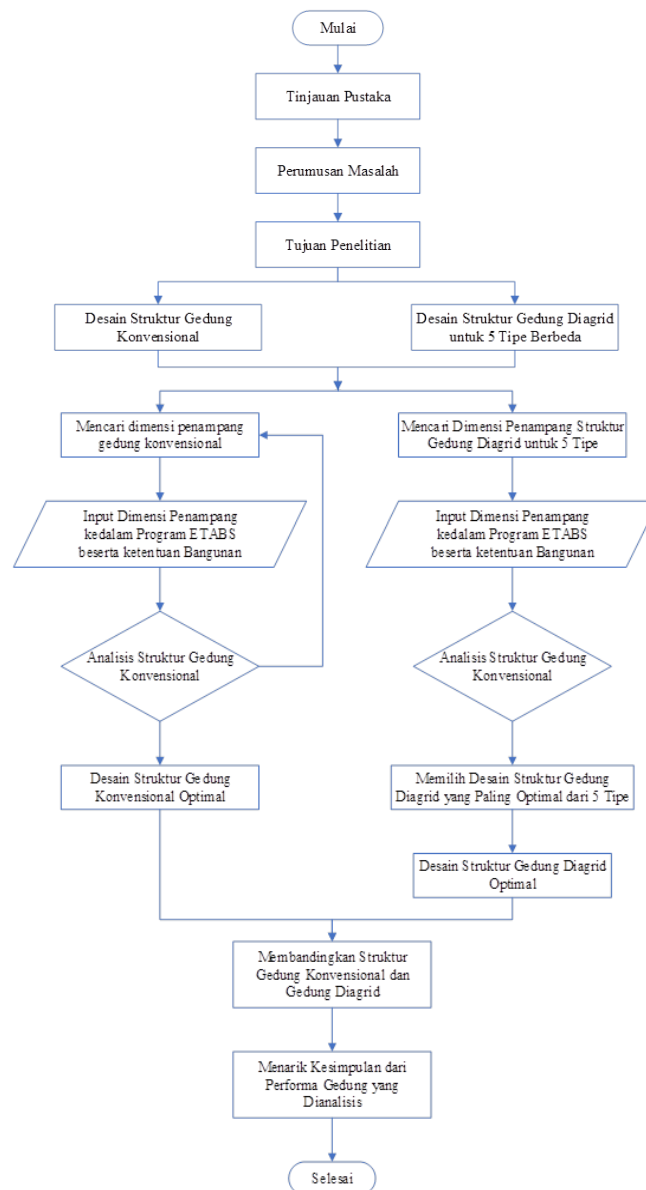
- a. diagrid tipe 2L20M: kemiringan batang diagonal  $33,94^\circ$ , 2 lantai/modul sehingga terdapat 20 modul;
- b. diagrid tipe 4L10M: kemiringan batang diagonal  $53,39^\circ$ , 4 lantai/modul sehingga terdapat 10 modul;
- c. diagrid tipe 8L5M : kemiringan batang diagonal  $69,62^\circ$ , 8 lantai/modul sehingga terdapat 5 modul;
- d. diagrid tipe 10L4M: kemiringan batang diagonal  $73,45^\circ$ , 10 lantai/modul sehingga terdapat 4 modul;
- e. diagrid tipe 20L2M: kemiringan batang diagonal  $81,55^\circ$ , 20 lantai/modul sehingga terdapat 2 modul.



Gambar 4. Tipe Portal Gedung Diagrid Obyek Penelitian

## 2.2 Rancangan Penelitian

Penelitian dilakukan menurut prosedur dan metoda analisis menurut diagram alir Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

## 2.3 Stiffness Based Approach

*Stiffness based approach* atau pendekatan berdasarkan kekakuan merupakan persamaan yang diusulkan oleh Kyoung-Sun Moon (2009) untuk mendapatkan dimensi penampang batang diagonal. Prosedur persamaan dimulai dengan menentukan total kontribusi perpindahan struktur akibat deformasi lentur dan geser. Peruntukan ini didasarkan pada penilaian atribut *intrinsic* 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 mengubah nilai deformasi yang dibutuhkan menjadi area penampang untuk batang diagrid.

Gaya geser (V) dan momen lentur (M) pada Persamaan 1 dan Persamaan 2 dinyatakan sebagai ukuran rotasi dan perpindahan relatif untuk module besar:

$$V = K(T) \Delta_{\mu} \tag{1}$$

$$M = K(B) \Delta_{\beta} \tag{2}$$

Ukuran gerak berhubungan dengan geser transversal dan deformasi lentur dihitung dengan Persamaan 3 dan Persamaan 4:

$$\Delta_{\mu} = \gamma.h \tag{3}$$

$$\Delta_{\beta} = x.h \tag{4}$$

Dengan h adalah tinggi modul dan x adalah *curvature*, didapat Persamaan 5 dan Persamaan 6 untuk mengukur kekakuan modul:

$$K_T = 2N_w \left( \frac{A_{d.w} E}{L_d} \cos^2 \theta \right) \tag{5}$$

$$K_B = N_f \left( \frac{B^2 A_{d.f} E}{2.L_d} \sin^2 \theta \right) \tag{6}$$

Dengan  $N_w$  adalah jumlah diagonal yang memanjang dalam satu *web plane* dalam 1 modul, dan  $N_f$  serupa dengan  $N_w$  namun dalam *flange plane*.

Deformasi lentur ( $\gamma^*$ ) dan geser transversal ( $\chi^*$ ) yang diinginkan serta kekakuan yang dibutuhkan ditentukan menggunakan Persamaan 7 dan Persamaan 8.

$$K^*_T = \frac{V_m}{\gamma^* h} \tag{7}$$

$$K^*_B = \frac{M_m}{x^* h} \tag{8}$$

Dengan menggantikan istilah kekakuan, didapat nilai area penampang untuk batang diagonal pada *web plane* dan *flange plane* modul struktur diagrid seperti Persamaan 9 dan Persamaan 10.

$$A_{d.w} = \frac{V L_d}{2 N_w E_d h \gamma \cos^2 \theta} \tag{9}$$

$$A_{d.f} = \frac{2 M L_d}{(N_f + 2) B^2 E_d h x \sin^2 \theta} \tag{10}$$

Perkiraan kontribusi diagonal pada masing-masing *web planes* terhadap kekakuan lentur pada Persamaan 10 dibuat dengan menambahkan 1 diagonal tambahan pada masing-masing *flange plane*, menghasilkan  $(N_f + 2)$ .

Karena batang diagonal diasumsikan diam pada suatu bidang maka harus dilakukan perhitungan beban pada masing-masing arah demi mendapatkan nilai area yang terbesar untuk digunakan.

### 3. HASIL DAN DISKUSI

Hasil mencakup analisis dinamis respon spektrum dan analisis kapasitas komponen struktur seperti balok dan kolom. Penelitian tidak membahas *nodes* atau sambungan struktur diagrid.

Performa struktur yang akan dibandingkan pada gedung konvensional dan gedung diagrid meliputi: dimensi penampang, total berat struktur dan *base shear*, kinerja batas layan (*top storey displacement*) dan *time-period*.

#### 3.1 Dimensi Penampang Gedung Konvensional

Setelah dilakukan *iterative process* didapat dimensi penampang yang memenuhi syarat desain dan dianggap paling optimal, seperti terdapat pada Tabel 1. Tahapan *iterative process* dilakukan dengan menggunakan dimensi penampang tertentu kemudian diinput kedalam program ETABS dan diperiksa performa strukturnya secara global (menyeluruh). Jika tidak memenuhi syarat maka digunakan dimensi penampang lain dan proses diulang dari awal, hingga didapat dimensi penampang yang memenuhi syarat. Gedung konvensional berbentuk persegi simetris, elemen struktur menggunakan penampang WF dengan dimensi balok yang sama pada arah X dan arah Y.

Tabel 1. Dimensi Penampang Gedung Konvensional

Lantai	Profil Rencana Kolom				Profil Rencana Balok			
	H	B	$t_w$	$t_f$	H	B	$t_w$	$t_f$
	(mm)							
33 – 41	900	350	16	32				
23 – 32	1100	450	16	38	700	350	16	38
1 – 22	1200	450	16	38				

#### 3.2 Dimensi Penampang Gedung Diagrid

Dimensi batang diagonal diagrid sebagian besar menggunakan baja *custom made* karena dimensi tidak tersedia di pasaran. Persamaan untuk mengetahui dimensi batang diagonal menggunakan penelitian yang dipublikasikan melalui tulisan dengan judul '*Diagrid Structural System for Tall Building: Characteristic and Methodology for Preliminary Design*' (Kyoung-Sun Moon, 2005) yang merupakan persamaan yang pertama kali diusulkan dengan tujuan mengurangi *iterative process* dan kriteria untuk menentukan rasio optimal dari komponen kekakuan geser dan lentur. Setelah nilai target perpindahan di puncak bangunan ditentukan, dihitung persamaan desain untuk mendapatkan luasan batang diagonal pada *web planes* dan *flange planes*.

Hasil analisis memberikan dimensi penampang untuk ke 5 tipe struktur diagrid seperti terdapat pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 6.

**Tabel 2.** Dimensi Penampang Gedung Diagrid Tipe 2L20M

Modul	Lantai	H	B	t <sub>w</sub>	t <sub>r</sub>	Luas	Luas
		(mm)				(mm <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
20	39 – 40	150	150	5.5	7.5	2992,5	0,0030
19	37 – 38	200	200	7	11	5646,0	0,0056
18	35 – 36	250	250	7.5	12	7695,0	0,0077
17	33 – 34	250	250	14	22	12520,0	0,0125
16	31 – 32	300	300	14	22	16784,0	0,0168
15	29 – 30	300	300	17	29	21514,0	0,0215
14	27 – 28	400	400	15	26	26020,0	0,0260
13	25 – 26	400	400	16	31	30208,0	0,0302
12	23 – 24	400	400	16.5	35.5	33828,5	0,0338
11	21 – 22	400	400	20	38	36880,0	0,0369
10	19 – 20	450	450	23	37	41948,0	0,0419
9	17 – 18	450	450	23	37	41948,0	0,0419
8	15 – 16	450	450	25	38.5	43975,0	0,0440
7	13 – 14	450	450	25	38.5	43975,0	0,0440
6	11 – 12	450	450	25	40	45250,0	0,0452
5	9 – 10	450	450	25	40	45250,0	0,0452
4	7 – 8	450	450	25	40	45250,0	0,0452
3	5 – 6	450	450	25.5	40	45435,0	0,0454
2	3 – 4	450	450	25.5	40	45435,0	0,0454
1	1 – 2	450	450	25.5	40	45435,0	0,0454
<b>Total Luas Penampang</b>						<b>637989,0</b>	<b>0,6</b>

**Tabel 3.** Dimensi Penampang Gedung Diagrid 4L10M

Modul	Lantai	H	B	t <sub>w</sub>	t <sub>r</sub>	Luas	Luas
		(mm)				(mm <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
10	37 – 40	400	400	14.5	26	25846,0	0,0258
9	33 – 36	500	500	22.5	39.5	48972,5	0,0490
8	29 – 32	600	600	25	44	65600,0	0,0656
7	25 – 28	650	650	26.5	47	75834,0	0,0758
6	21 – 24	650	650	29.5	51	82466,0	0,0825
5	17 – 20	650	650	31.5	53	86036,0	0,0860
4	13 – 16	650	650	32.5	54	87815,0	0,0878
3	9 – 12	650	650	33.5	54.5	88973,5	0,0890
2	5 – 8	650	650	33.5	54.5	88973,5	0,0890
1	1 – 4	650	650	33.5	54.5	88973,5	0,0890
<b>Total Luas Penampang</b>						<b>739490,0</b>	<b>0,7</b>

**Tabel 4.** Dimensi Penampang Gedung Diagrid 8L5M

Modul	Lantai	H	B	t <sub>w</sub>	t <sub>r</sub>	Luas	Luas
		(mm)				(mm <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
5	33 – 40	500	500	22.5	39.5	48972,5	0,0490
4	25 – 32	500	500	22.5	39.5	48972,5	0,0490
3	17 – 24	650	650	33.5	54.5	88973,5	0,0890

**Tabel 4.** Dimensi Penampang Gedung Diagrid 8L5M (Lanjutan)

Modul	Lantai	H	B	$t_w$	$t_r$	Luas	Luas
		(mm)				(mm <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
2	9 – 16	750	750	34.5	56.5	106726,5	0,1067
1	1 – 8	750	750	34.5	56.5	106726,5	0,1067
<b>Total Luas Penampang</b>						<b>400371,5</b>	<b>0,4</b>

**Tabel 5.** Dimensi Penampang Gedung Diagrid 10L4M

Modul	Lantai	H	B	$t_w$	$t_r$	Luas	Luas
		(mm)				(mm <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
4	31 – 40	550	550	24	50	65800	0,066
3	21 – 30	650	650	33.5	54.5	88973,5	0,089
2	11 – 20	700	700	28	54	92176	0,092
1	1 – 10	850	850	36	68	141304	0,141
<b>Total Luas Penampang</b>						<b>388253,5</b>	<b>0,388</b>

**Tabel 6.** Dimensi Penampang Gedung Diagrid 20L2M

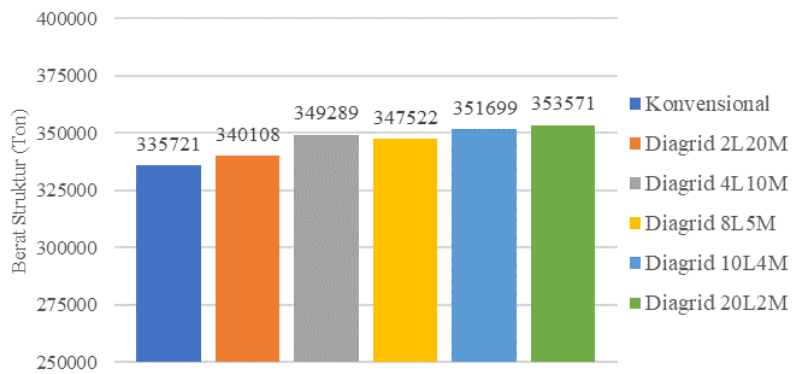
Modul	Lantai	H	B	$t_w$	$t_r$	Luas	Luas
		(mm)				(mm <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
2	21 – 40	700	700	28	54	92176	0,092
1	1 – 20	800	800	32	62	120832	0,121
<b>Total Luas Penampang</b>						<b>213008</b>	<b>0,213</b>

### 3.3 Total Berat Struktur dan *Base Shear*

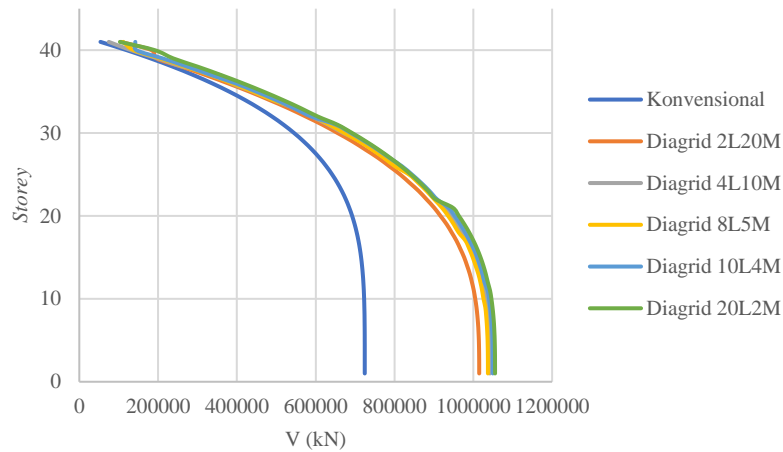
Gambar 6 memberikan gambaran perbandingan berat struktur konvensional dan 5 tipe struktur diagrid. Semua tipe struktur gedung diagrid memiliki berat total yang lebih besar namun perbedaan berat total ini tidak terlalu signifikan yaitu tidak lebih dari 6% jika dibandingkan dengan berat total struktur gedung konvensional.

Untuk struktur gedung konvensional, gaya geser dasar dihitung mengikuti ketentuan SNI 1726-2019 sementara untuk struktur gedung diagrid dihitung menggunakan ketentuan yang sama namun menggunakan nilai koefisien kegempaan pendekatan yang diusulkan oleh Baker. Perbandingan gaya geser dasar arah - X dan arah - Y terdapat pada Gambar 7 dan Gambar 8.

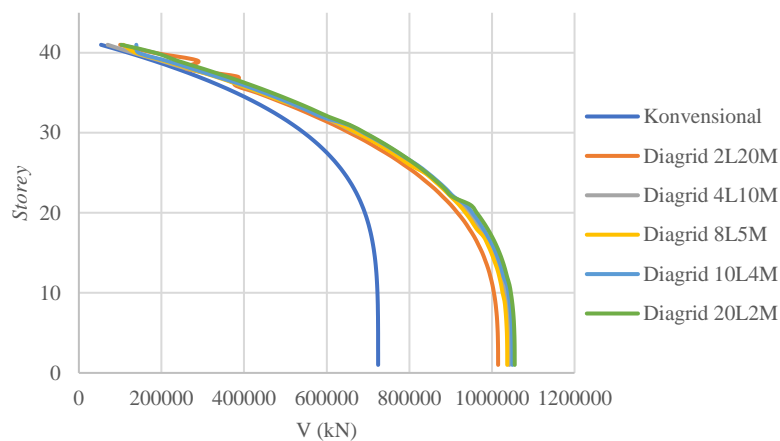
Gaya geser dasar arah - X maupun arah - Y untuk struktur konvensional nilainya lebih kecil dibandingkan dengan struktur diagrid. Hal ini disebabkan untuk struktur konvensional digunakan nilai faktor desain untuk menahan gaya lateral yang lebih besar ( $R = 8$ ) sehingga gaya gempa yang diterima struktur lebih kecil. Sedangkan struktur diagrid menggunakan  $R = 3,64$  yang membuat gaya gempa yang diterima struktur lebih besar dan dimaksudkan agar struktur berperilaku duktail dan fleksibel dalam menyerap energi akibat gaya lateral, dengan konsekwensi dibutuhkan pekerjaan detailing sambungan yang lebih rumit untuk memastikan struktur berperilaku duktail.



Gambar 6. Perbandingan Berat Total Struktur



Gambar 7. Perbandingan Base Shear (Arah - X)

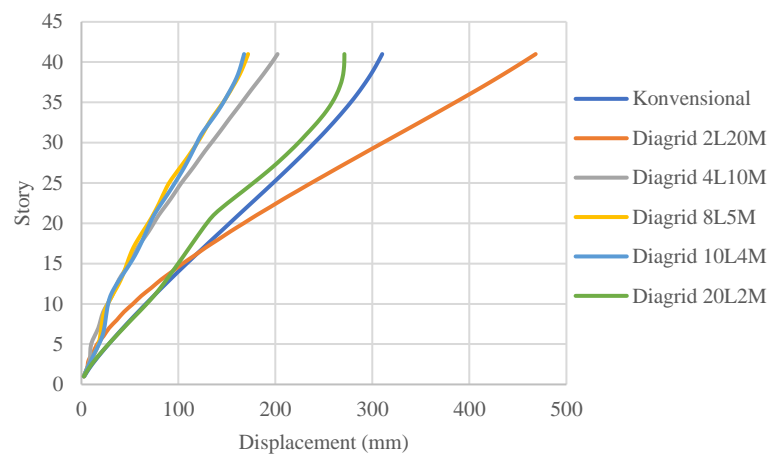


Gambar 8. Perbandingan Base Shear (Arah - Y)

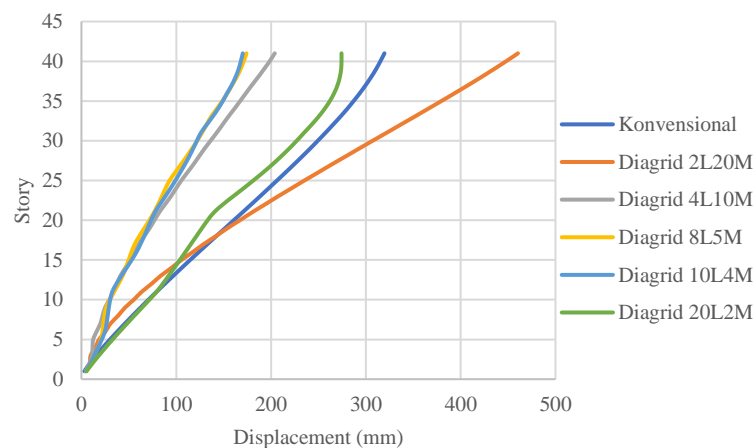
### 3.4 Perhitungan Kinerja Batas Layan

Kinerja batas layan struktur dilihat dari *top storey displacement* dan simpangan antar tingkat gedung (*interstorey drift*). Untuk mendapatkan nilai simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) terlebih dahulu mencari nilai defleksi yang didapat dari SNI 1726-2019 pasal 7.8.6. Selanjutnya dihitung simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) dan batas simpangan antar lantai tingkat ijin ( $\Delta_a$ ) dari SNI 1726-2019 pasal 7.12.

*Top storey displacement* arah – X dan arah – Y untuk struktur konvensional dan 5 tipe struktur diagrid terdapat pada Gambar 9 dan Gambar 10. Struktur diagrid tipe 10L4M memiliki perpindahan paling kecil yaitu 167,70 mm. Struktur konvensional memiliki *top storey displacement* 310,10 mm, sedangkan struktur diagrid dengan *top storey displacement* terbesar adalah tipe 2L20M yaitu 460,40 mm dan nilai ini juga lebih besar jika dibandingkan dengan struktur konvensional.



Gambar 9. Perbandingan Kinerja Batas Layan (Arah - X)



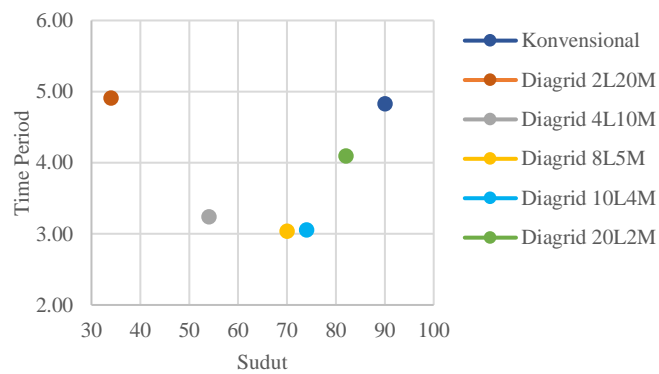
Gambar 10. Perbandingan Kinerja Batas Layan (Arah - Y)



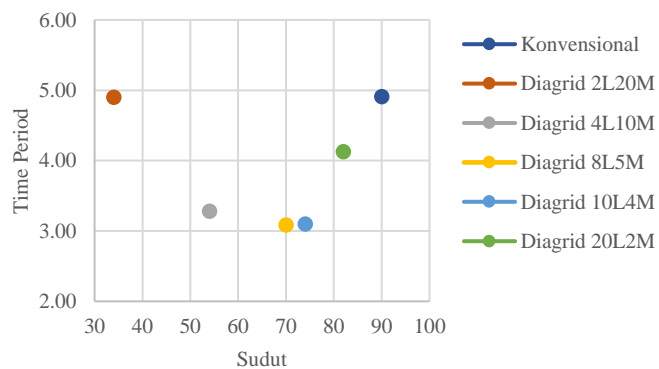
### 3.5 Time Period

*Time period* struktur merupakan waktu yang diperlukan struktur untuk melakukan satu getaran bolak balik ketika mengalami gaya luar untuk setiap *mode shapes*. *Mode shapes* (ragam getar) merupakan bentuk suatu objek pada saat frekuensi tertentu, apabila frekuensinya diubah maka objek tersebut akan berubah menjadi bentuk yang berbeda pula. *Time period* dapat memiliki nilai yang berbeda tergantung dari kekakuan struktur dan beban yang diberikan.

Pada penelitian ini *time period* struktur ditentukan menurut SNI 1726-2019 pasal 7.9.1 dimana analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah yang ditinjau. *Time period* arah – X dan arah – Y untuk struktur konvensional dan 5 tipe struktur diagrid terdapat pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 11. Perbandingan *Time Period* (Arah - X)



Gambar 12. Perbandingan *Time Period* (Arah - Y)

*Time Period* terkecil pada gedung diagrid adalah tipe 10L4M yaitu 3,053 detik, nilai ini lebih kecil jika dibandingkan dengan gedung konvensional yaitu 4,827 detik. Hal ini menunjukkan bahwa gedung diagrid memiliki kekakuan yang lebih tinggi akibat konfigurasi triangulasi pada batas terluar bangunan. Namun untuk gedung diagrid tipe 2L20M, memiliki *time period* yang lebih besar dibandingkan dengan gedung konvensional, yaitu 4,903 detik.

#### 4. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Persamaan yang diusulkan Moon untuk mendapatkan dimensi penampang batang diagonal sangat membantu proses desain dan mengurangi waktu *iterative process* yang dilakukan untuk mendapatkan dimensi penampang batang diagonal.
- b. Dari pengamatan dimensi, berat struktur dan kinerja batas layan untuk gedung konvensional dan gedung diagrid, gedung diagrid memiliki berat struktur yang lebih besar dari gedung konvensional dengan berat struktur terbesar adalah struktur diagrid tipe 20L2M. Hal ini memberikan gambaran bahwa pada gedung diagrid konfigurasi batang diagonal memegang peranan penting dalam performa serta efisiensi struktur.
- c. Berdasarkan pengamatan *top storey displacement*, gedung konvensional memiliki nilai sebesar 310,10 mm. Pada gedung diagrid 2L20M nilai *top storey displacement* lebih besar dari gedung konvensional yakni 460,40 mm. Sedangkan untuk gedung diagrid tipe lainnya memiliki nilai *top storey displacement* lebih kecil dan konfigurasi batang diagonal tipe 10L4M memberikan nilai terkecil yakni 167,70 mm.
- d. Dari pengamatan *time-period*, gedung diagrid memiliki kekakuan yang berbeda tergantung dari konfigurasi batang diagonal. Gedung diagrid dengan nilai *time-period* terbesar adalah tipe 2L20M dengan nilai 4,903 detik, nilai ini lebih besar dibandingkan gedung konvensional yakni 4,827 detik. Sedangkan gedung diagrid dengan nilai *time-period* paling kecil adalah tipe 10L4M yakni 3,053 detik.
- e. Gedung diagrid 10L4M merupakan gedung diagrid yang paling optimal, penentuan didasarkan pada performa struktur ditinjau dari *top storey displacement* dan juga *time-period*.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Baker, W., Besjak, C., Sarkisian, M., Lee, P., Doo, C. S (2010): Proposed Methodology to Determine Seismic Performance Factors for Steel Diagrid Framed System. *U.S. Japan Workshop, 13*
- Boake, T. M. (2014): The emergence of the diagrid – it’s all about the node. *International Journal of High-Rise Buildings, 5*, 293 – 304
- Manthan, I. Shah (2016): Comparative Study of Diagrid Structures with Conventional Frames Structures. *Int. Journal of Engineering Research and Applications, Volume-6, Issue-5 (Part 2)*
- Moon, K. S. (2009): Design and Construction of Steel Diagrid Structures. *NSCC*.
- Moon, K. S. (2016): Diagrid Structures for Complex Shaped Tall Buildings. *Procedia Engineering, 14*, 1343 – 1350.
- Moon, K. S., Connor, J. J., Fernandez, J. E. (2007): Diagrid Structural System for Tall Building: Characteristic and Methodology for Preliminary Design. *The Structural Design of Tall and Special Buildings, 16*, 205 – 230

- Navasare, Mayur. (2022): Comparative Study of Diagrid System with Conventional Framed Structure. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Volume-9 Issue-7
- Panchal, N., B. (2014): Optimum Angle of Diagrid Structural System. *International Journal of Engineering and Tech*
- Raghunath, D. Deshpande (2015): Analysis and Comparison of Diagrid and Conventional Structural System. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Volume-2, Issue-3
- Saputra, D. H., Naibaho, P. R. T. (2019): Efektivitas Sistem Struktur Baja Diagrid Pada Bangunan Tinggi, *J. Infrast* 5(2): 93-98
- Varsani, H. (2015): Comparative Analysis of Diagrid Structural System and Conventional Structural System for High Rise Steel Building. *International Journal of Advance Research in Engineering, Science & Technology (IJAREST)*, Volume-2 Issue-1
- Vhanmane, M. (2020): Analysis of Diagrid Structural System for High Rise Steel Buildings. *Computational Engineering and Physical Modelling*, Volume-3 Issue-3