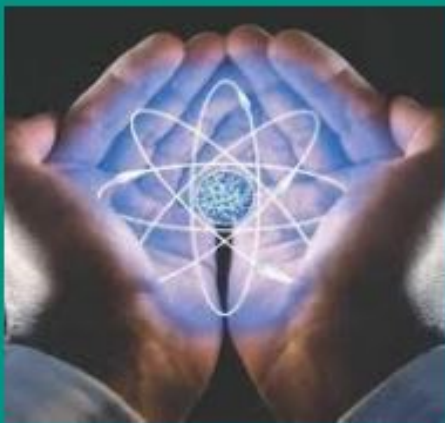


Table Of Content

Journal Cover	2
Author[s] Statement	3
Editorial Team	4
Article information	5
Check this article update (crossmark)	5
Check this article impact	5
Cite this article	5
Title page	6
Article Title	6
Author information	6
Abstract	6
Article content	8

Academia Open



By Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licences/by/4.0/legalcode>

EDITORIAL TEAM

Editor in Chief

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Managing Editor

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

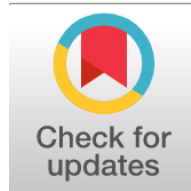
Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

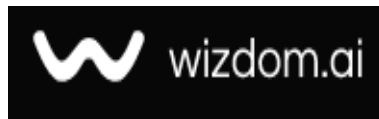
How to submit to this journal ([link](#))

Article information

Check this article update (crossmark)



Check this article impact ^(*)



Save this article to Mendeley



^(*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

Comparative Analysis of Wind Load Standards on Space Truss Structures

Analisis Perbandingan Standar Beban Angin pada Struktur Rangka Ruang

Mahesha Gani Tarigan, maheshagani@students.usu.ac.id, (1)

Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Indonesia

Johannes Tarigan, johannes.tarigan@usu.ac.id, (0)

Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Indonesia

Nursyamsi Nursyamsi, nursyamsi@usu.ac.id, (0)

Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Indonesia

⁽¹⁾ Corresponding author

Abstract

General Background: Structural design requires precise determination of loading, with wind load being a critical component that influences the safety and behavior of buildings. **Specific Background:** In Indonesia, wind load regulations have evolved significantly—from PPIUG 1983 to SNI 1727:2013 and the latest SNI 1727:2020—reflecting changes in building practices and meteorological understanding. **Knowledge Gap:** However, the comparative impact of these evolving standards on spatial truss structures remains insufficiently explored. **Aims:** This study investigates how the three standards affect wind load distribution and structural response in space trusses using ETABS software. **Results:** Findings reveal substantial differences, with SNI 1727:2020 producing the highest mid-span wind pressure (0.886 kN/m²), exceeding that of SNI 1727:2013 (0.546 kN/m²), due to the introduction of the elevation coefficient (K_e) and revisions in building categorization. **Novelty:** This research uniquely highlights how regulatory evolution introduces quantifiable changes in displacement, axial force behavior, and total structural weight. **Implications:** The study informs engineers and designers of the critical implications of standard selection, promoting better-informed structural safety and optimization decisions in modern Indonesian construction.

Highlights:

- Highlights regulatory evolution from PPIUG 1983 to SNI 1727:2020.
- Shows impact of new wind pressure coefficient (K_e) on design results.
- Compares structural responses under different wind load standards.

Keywords: Wind Load, Space Truss, Structural Analysis, Indonesian Standards, ETABS

Academia Open

Vol 10 No 2 (2025): December (in progress)

DOI: 10.21070/acopen.10.2025.11432 . Article type: (Engineering)

Published date: 2025-07-24 00:00:00

Pendahuluan

Perencanaan struktur bangunan di Indonesia, salah satu aspek terpenting yang harus diperhatikan adalah pembebanan. Pembebanan berfungsi sebagai dasar dalam menentukan gaya-gaya yang bekerja pada elemen struktur [1]. Salah satu perubahan utama terdapat pada rumusan tekanan kecepatan angin. Pada SNI 1727:2013, tekanan kecepatan angin dihitung dengan rumus $q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d V^2$ sedangkan pada SNI 1727:2020, rumus tersebut mengalami penyesuaian dengan penambahan koefisien K_e menjadi $q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d K_e V^2$ [2]. Selain itu, terdapat perubahan signifikan dalam kategori bangunan dan sistem penahan beban angin utama (SPBAU). Pada SNI 1727:2013, kategori bangunan hanya dibagi menjadi tiga jenis bangunan gedung terbuka, bangunan gedung tertutup sebagian dan bangunan gedung tertutup. Sementara itu SNI, SNI 1727:2020 mengadopsi empat kategori, yaitu bangunan tertutup, bangunan tertutup sebagian, bangunan terbuka sebagian dan bangunan terbuka.

Menggunakan SNI 1727:2020 sebagai analisis beban angin dengan mengambil koefisien untuk menghitung kecepatan angin maka diperoleh dinding angin datang = 0,843 kN/m², dinding angin pergi = 0,011 kN/m², dinding samping = -0,453 kN/m², atap angin datang = 0,512 kN/m², atap angin pergi = -0,360 kN/m². Dengan menggunakan SNI 1727:2013 mendapat faktor arah angin $K_d = 0,85$, faktor topografi $K_{zt} = 1,0$, dinding angin datang = 0,8, dinding angin pergi = -0,5, dinding tepi = -0,7 [3]. *Space truss* adalah struktur rangka tiga dimensi yang umumnya digunakan pada atap bentang lebar, jembatan, menara, dan bangunan industri [4]. Kelebihan *space truss* adalah kekuatan tinggi dengan bobot yang relatif ringan serta efisiensi dalam penggunaan material [5]. Namun, karena bentuknya yang terbuka dan luas permukaannya yang signifikan, *space truss* sangat dipengaruhi oleh beban angin [2]. Beban angin merupakan salah satu beban dinamis yang harus diperhitungkan secara cermat dalam perancangan struktur, terutama pada *space truss* yang memiliki stabilitas kritis terhadap gaya lateral dan *uplift* (gaya angkat) [2]. Kesalahan dalam memperhitungkan beban angin dapat menyebabkan kegagalan struktural seperti deformasi berlebihan, getaran, hingga keruntuhan.

Mempertimbangkan pentingnya keamanan dan efisiensi material, perencanaan beban angin pada *space truss* menjadi aspek krusial dalam desain struktur modern [6]. Hal ini mendorong kebutuhan penelitian dan pengembangan metode analisis yang lebih akurat dan praktis untuk diaplikasikan oleh para insinyur sipil dan perancang struktur [7].

Metode

Penelitian difokuskan pada beban angin dengan mengacu kepada tiga code yang berlaku di Indonesia yaitu PPIUG 1983, SNI 1727:2013 dan SNI 1727:2020. Dengan menghitung setiap code – code yang telah di jelaskan lalu di ambil optimasi design yang paling efisien dari hasil analisa penelitian [8].

1. Beban Angin dan Bahayanya

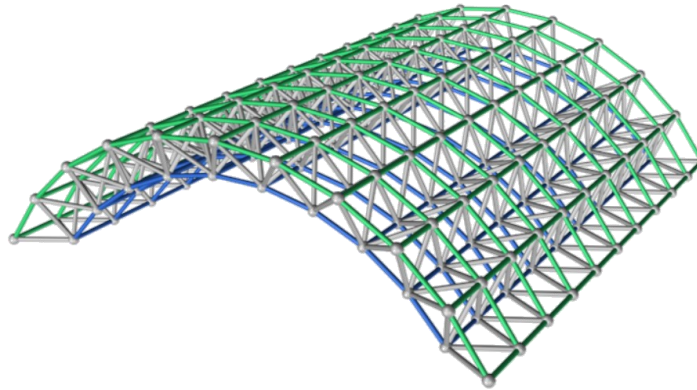
Beban angin adalah gaya atau tekanan yang dihasilkan oleh pergerakan udara yang mengenai suatu struktur atau permukaan. Dalam teknik sipil dan arsitektur, beban angin merupakan salah satu faktor utama yang harus diperhitungkan dalam desain bangunan, jembatan, dan berbagai infrastruktur lainnya untuk memastikan keamanan dan stabilitasnya [9]. Beban angin dapat bersifat statis maupun dinamis. Beban statis terjadi ketika tekanan angin yang mengenai struktur bersifat konstan atau perlahan berubah, sementara beban dinamis terjadi saat angin berubah-ubah secara cepat, seperti dalam kasus badai atau tornado. Dan juga bahaya nya beban angin sangat perlu untuk di antisipasi, dalam bukunya *John D. Holmes, Wind Loading of Structures* menjelaskan bahwa beban angin yang ekstrem, seperti yang terjadi pada badai atau tornado, dapat menyebabkan runtuhnya bangunan tinggi akibat tekanan lateral yang melebihi kapasitas struktur dan kegagalan komponen struktural seperti atap dan dinding akibat tekanan angin dan efek hisap [10] [11].

2. Space Truss Double Layer

Perhitungan pada *space truss double layer* biasanya dilakukan dengan mengikuti prinsip-prinsip dasar analisis truss yang berlaku untuk truss tiga dimensi, dengan penambahan lapisan kedua dan batang penghubung, adapun tahap – demi tahap nya adalah sebagai berikut : [12]

- Analisis Beban yang Bekerja
- Pembagian Beban pada Nodus
- Metode Analisis Gaya
- Pengecekan Kekuatan Batang

Desain yang efisien dan penggunaan material yang relatif lebih sedikit, space truss double layer memberikan solusi yang optimal dalam konstruksi modern. Analisis gaya yang tepat sangat penting untuk memastikan bahwa truss dapat menahan beban dengan aman dan memenuhi standar keselamatan [13].



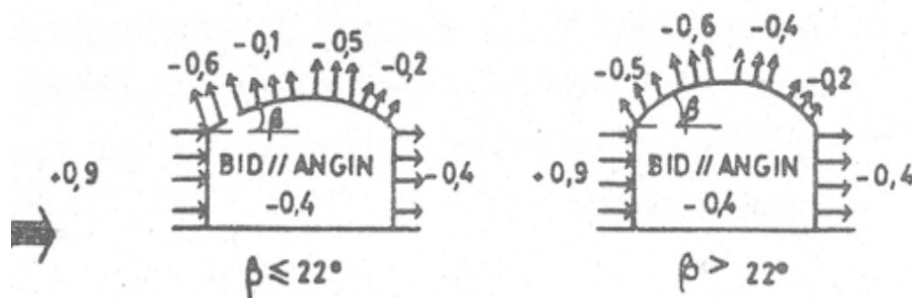
Gambar 1. Space Truss

3. Beban Angin PPIUG 1983

Beban angin berdasarkan PBG 1983. Tekanan tiup diambil minimum 25 kg/m² pada daerah tertentu, sedangkan di tepi pantai tekanan tiup diambil sebesar 40 kg/m². Sedangkan tekanan tiup dirumuskan sebagai berikut[14]

$$P = -\frac{v^2}{16} \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad (1)$$

Sedangkan untuk atap, maka perhitungan beban angin diambil dari koefisien dibawah ini, maka beban angin adalah $P \times -0,5$, $P \times -0,6$, $P \times -0,4$ dan $P \times -0,2$ sejauh seperempat busur pertama, seperempat busur kedua (untuk bidang lengkung di pihak angin) dan (untuk bidang lengkung di belakang angin) [15]



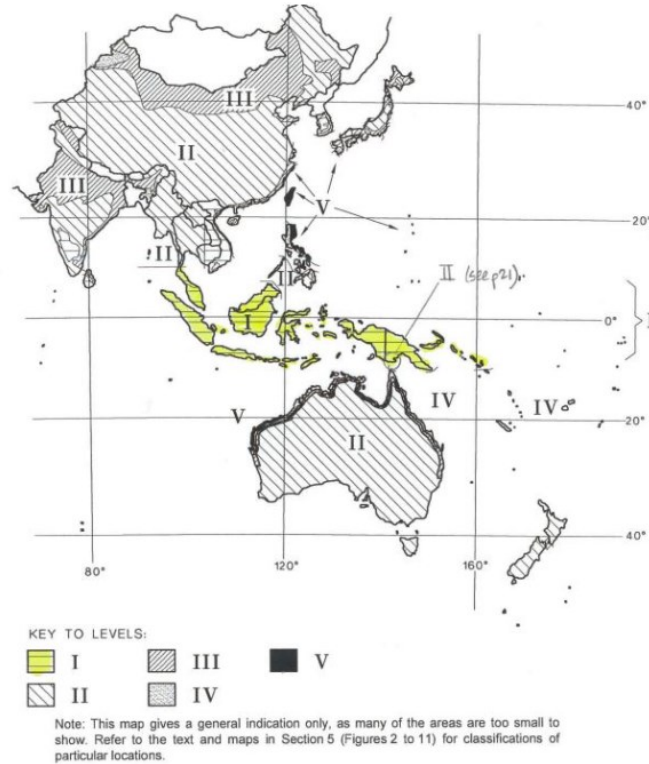
Gambar 2. Koefesien beban angin PBG 1983

4. Beban SNI 1727:2013

Pada SNI 1727:2013 tekanan tiup (tekanan velositas) dengan rumus : [16]

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d V^2 \quad (2)$$

Menghitung faktor topografi mengacu pada pengaruh bentuk dan kontur permukaan bumi terhadap kecepatan dan arah angin yang mengenai suatu bangunan atau struktur. Topografi yang tidak rata, seperti bukit, lereng, tebing, atau lembah, dapat mempercepat atau memperlambat aliran angin, sehingga memengaruhi besarnya beban angin pada struktur [17].



Gambar 3. Daerah angin MAP pada daerah (HB 212 – 2002) level angin

Risk Category	Periode Ulang (Tahun)	Wind Speed (m/detik)
I	300	38,3
II	700	40,9
III	1700	43,4
IV	1700	43,4

Tabel 1. Kecepatan angin untuk beberapa kategori risiko

5. Beban SNI 1727:2020

Pada SNI 1727:2020 tekanan tiup (tekanan velositas) dengan rumus : [18]

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d K_e V^2 \quad (3)$$

Pada SNI 1727:2020 faktor K_d , K_z , K_{zt} dan V sama dengan SNI 1727:2013. Sedangkan K_e (faktor elevasi permukaan tanah) menjadi faktor penentuan tekanan angin.

Elevasi tanah di atas permukaan laut (<i>Sea Level</i>)		Faktor elevasi permukaan tanah K_e
F_t	m	
< 0	< 0	Lihat catatan 2
0	0	1
1	305	0.96
2	610	0.93
3	914	0.9
4	1219	0.86
5	1524	0.83
6	1829	0.8
> 6	> 1829	Lihat catatan 2

Tabel 2. Faktor elevasi permukaan tanah

Hasil dan Pembahasan

A. Menghitung Beban PPIUG 1983

Peraturan PPIUG 1983 ada beban tiup angin minimum 25 Kg/m² lalu tekanan tiup minimum 40 Kg/m² (di laut dan tepi laut sampai 5 km dari pantai), dan juga PPIUG bisa di ambil sebesar [19]

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{V^2}{16} P \\
 &= \frac{V^2}{16} \\
 &= \frac{38,3}{16} \\
 &= 91,681 \text{ Kg/m}^2 \\
 &= 0,917 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Koefisien -0,5, maka beban angin sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P &= C \times P \\
 &= -0,5 \times 0,917 \\
 &= -0,459 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Koefisien -0,6, maka beban angin sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P &= C \times P \\
 &= -0,6 \times 0,917 \\
 &= -0,55 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Koefisien -0,4, maka beban angin sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P &= C \times P \\
 &= -0,4 \times 0,917 \\
 &= -0,367 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Koefisien -0,2, maka beban angin sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P &= C \times P \\ &= -0,2 \times 0,917 \\ &= -0,183 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

B. Menghitung Beban SNI 1727:2013

Beban yang di perhitungkan dengan menggunakan SNI 1727:2013 ini adalah perkembangan dari peraturan – peraturan yang sebelum nya, yaitu PPIUG 1983, oleh karena itu dalam menganalisa pembebanan ini dengan detail dan perlu di perhitungkan hal – hal beban yang ada tercantum pada SNI 1727:2013 yang akan di distribusikan pada *space truss* [20].

$$\begin{aligned} \text{Atap di seperempat sisi angin datang} &= qhGCp - qh(GCpi) \\ &= (1,069 \cdot 0,532 \cdot 0,015) - (1,056 \cdot 0) \\ &= 0,009 \text{ kN/m}^2 < 0,38 \text{ kN/m}^2 \dots \text{Not Oke} \\ \text{Atap di pusat setengah} &= qhGCp - qh(GCpi) \\ &= (1,069 \cdot 0,532 \cdot -0,960) - (1,056 \cdot 0) \\ &= -0,546 \text{ kN/m}^2 > 0,38 \text{ kN/m}^2 \dots \text{Oke} \\ \text{Atap di seperempat sisi angin pergi} &= qhGCp - qh(GCpi) \\ &= (1,069 \cdot 0,532 \cdot -0,5) - (1,056 \cdot 0) \\ &= -0,284 \text{ kN/m}^2 < \text{Not Oke} \end{aligned}$$

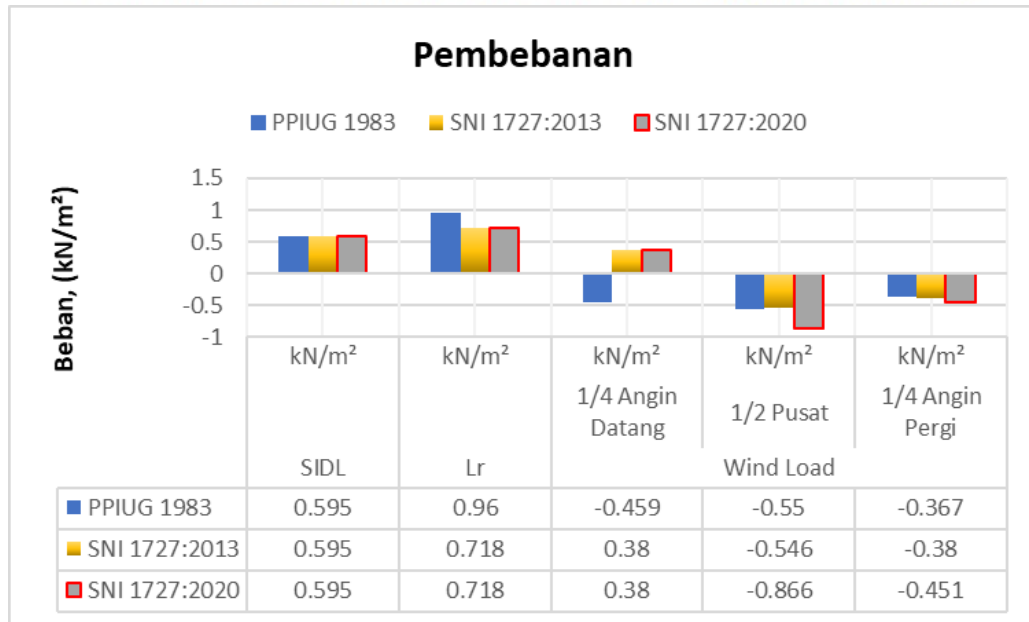
C. Menghitung Beban SNI 1727:2020

SNI 1727:2020 adalah perkembangan dari SNI 1727:2013 yang di teliti oleh para ahli, sehingga setial code – code nya ada beberapa yang berbeda, dalam tesis ini berfokus pada beban angin nya (*wind load*). [21]

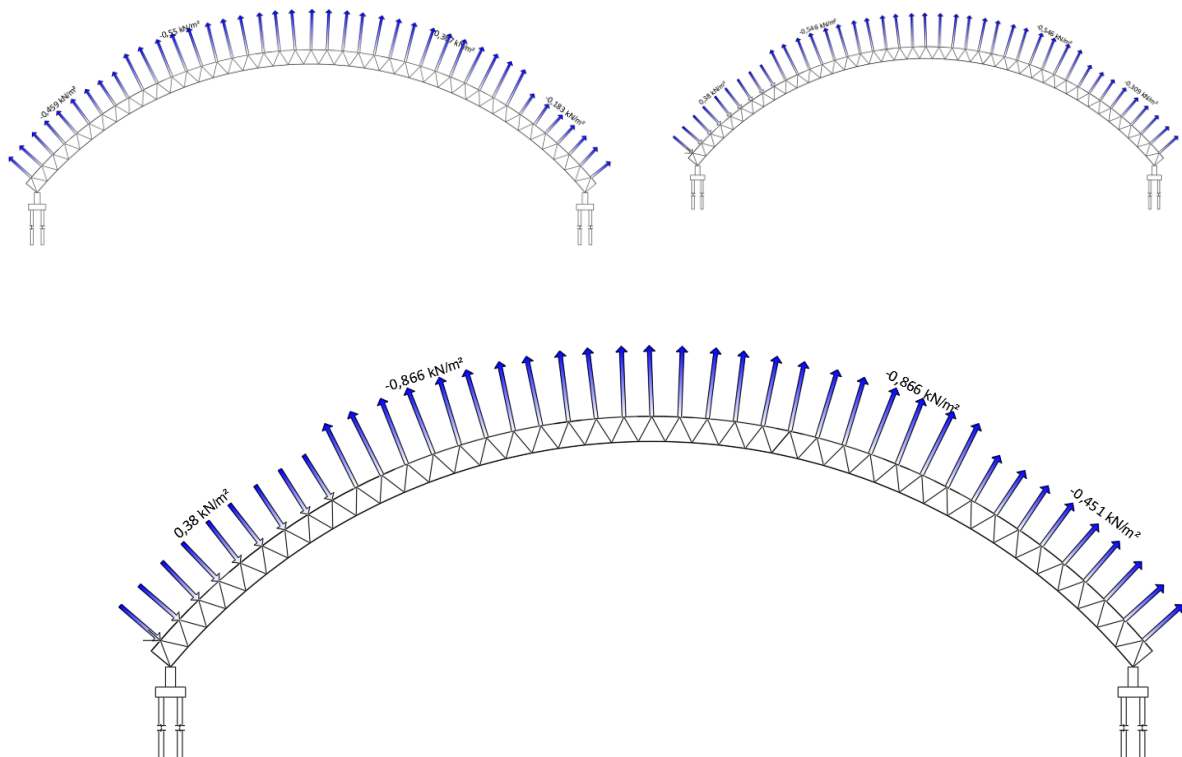
$$\begin{aligned} \text{Beban angin desain minimum atap (pmin)} &= 0,38 \text{ kN/m}^2 \\ &= 0,38 \cdot hr \cdot 6 \\ &= 0,38 \cdot 5 \cdot 6 \\ &= 11,4 \text{ kN} \\ \text{Atap di seperempat sisi angin datang} &= qhGCp - qh(GCpi) \\ &= (1,061 \cdot 0,85 \cdot 0,015) - (1,049 \cdot 0) \\ &= 0,014 \text{ kN/m}^2 < 0,38 \text{ kN/m}^2 \dots \text{Not Oke} \\ \text{Atap di pusat setengah} &= qhGCp - qh(GCpi) \\ &= (1,061 \cdot 0,85 \cdot -0,96) - (1,049 \cdot 0) \\ &= -0,866 \text{ kN/m}^2 > 0,38 \text{ kN/m}^2 \dots \text{Oke} \\ \text{Atap di seperempat sisi angin pergi} &= qhGCp - qh(GCpi) \\ &= (1,061 \cdot 0,85 \cdot -0,5) - (1,049 \cdot 0) \\ &= -0,451 \text{ kN/m}^2 > 0,38 \text{ kN/m}^2 \dots \text{Oke} \end{aligned}$$

Code	SIDL	Lr	Wind Load		
			1/4 Angin Datang	1/2 Pusat	1/4 Angin Pergi
	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
PPIUG 1983	0.595	0.96	0.459	0.55	0.367
SNI 1727:2013	0.595	0.718	0.38	0.546	0.38
SNI 1727:2020	0.595	0.718	0.38	0.866	0.451

Tabel 3. Pembebanan PPIUG 1983, SNI 1727:2013 Dan SNI 1727:2020



Gambar 4. Grafik Pembebanan



Gambar 5. Ilustrasi pembebanan PPIUG 1983, SNI 1727:2013 dan SNI1727:2020

D. Perhitungan Displacement

Displacement perlu di perhitungkan, oleh karena itu ada syara yang harus di penuhi, dimana displacemen horizontal x dan y sedangkan untuk deformasi di akibatkan oleh ada nya gaya vertikal yaitu beban mati, beban mati tambahan dan beban hidup. [22]

$$\Delta x_{story\ 2} = \frac{(\delta_{atas} - \delta_{bawah}) \times C_d}{I_e} \leq \Delta_a$$

$$= \frac{(18.311 - 13.369) \times 3}{1} \leq \Delta_a$$

$$= 14,826 \text{ mm} \leq \Delta_a$$

$$\Delta_a = 0,02h_x$$

$$= 0,02 \cdot 931,38$$

$$= 18,628 \text{ mm}$$

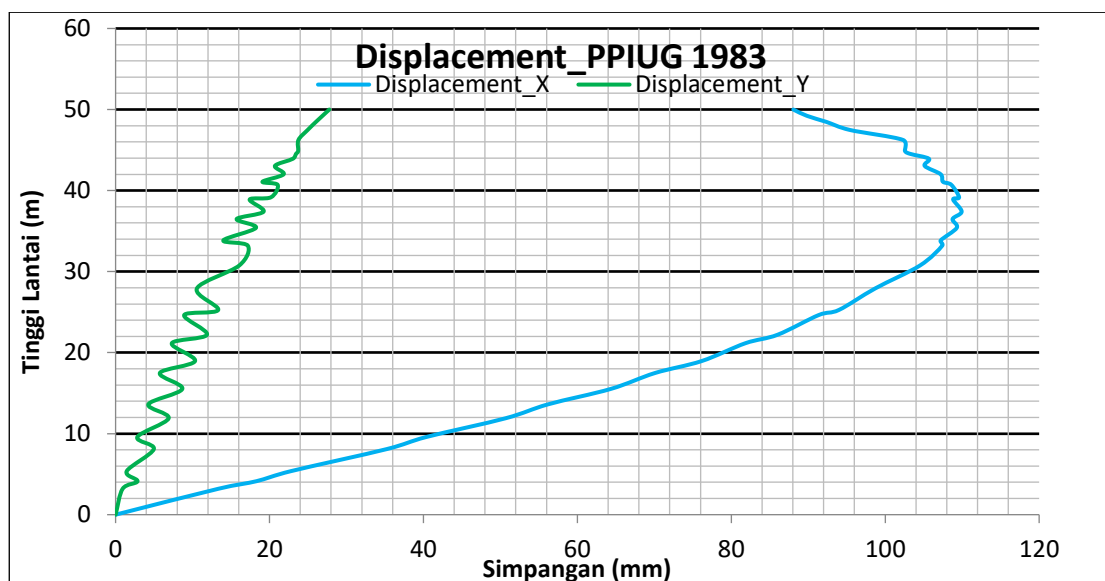
Syarat :

$$\Delta x_{story 2} \leq \Delta_a$$

14,826 mm < 18,628 mm ...Oke

Lantai	Elevasi (m)	δ_{sx} (mm)	δ_{sy} (mm)	Lantai	Elevasi (m)	δ_{sx} (mm)	δ_{sy} (mm)
Story35	50	88.056	27.773	Story17	33.1919	107.401	17.184
Story34	49.221	89.825	26.883	Story16	30.7603	104.532	16.079
Story33	48.474	92.342	26.039	Story15	27.9123	98.682	10.565
Story32	47.481	95.394	24.963	Story14	25.2644	93.984	13.33
Story31	46.243	102.312	23.761	Story13	24.6335	91.352	8.914
Story30	44.88	102.569	23.724	Story12	22.2107	86.033	11.876
Story29	44.52	103.268	23.443	Story11	21.154	81.825	7.306
Story28	43.922	105.68	23.034	Story10	18.9608	76.163	10.327
Story27	43.043	105.128	20.704	Story9	17.4803	70.086	5.754
Story26	42.012	107.202	21.84	Story8	15.521	64.358	8.671
Story25	41.088	107.495	19.085	Story7	13.6195	56.206	4.262
Story24	40.705	108.593	21.06	Story6	11.8979	50.679	6.894
Story23	39.167	109.599	20.188	Story5	9.579	40.348	2.826
Story22	38.899	108.824	17.421	Story4	8.0985	35.261	4.97
Story21	37.399	109.932	19.235	Story3	5.3667	22.761	1.448
Story20	36.483	108.756	15.725	Story2	4.13	18.311	2.85
Story19	35.406	109.297	18.241	Story1	3.1986	13.369	0.924
Story18	33.843	107.207	13.993	Base	0	0	0

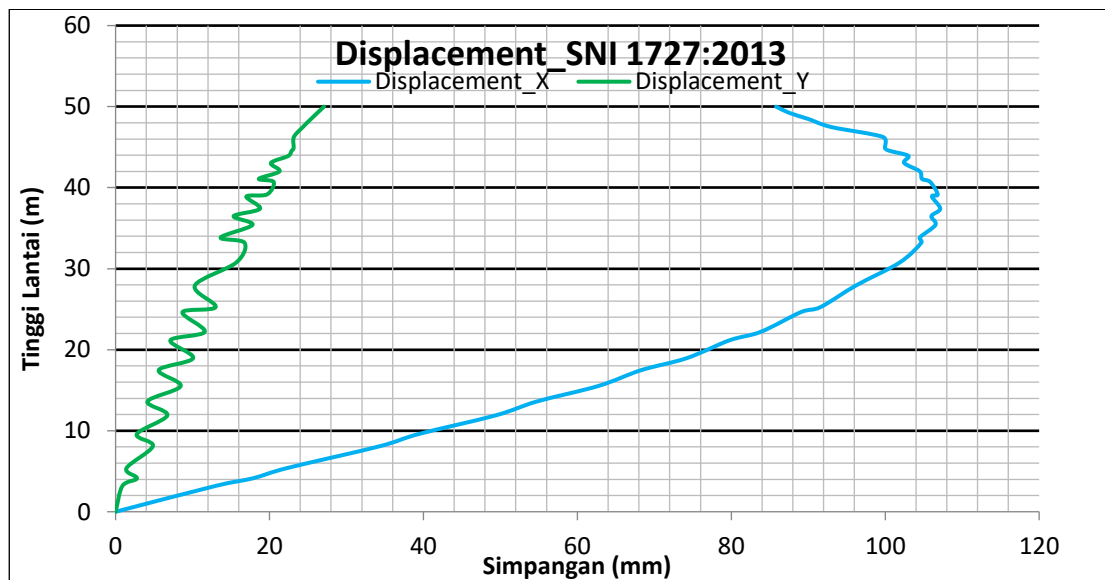
Tabel 4. Displacement Horizontal PPIUG 1983



Gambar 6. Grafik displacement horizontal PPIUG 1983

Lantai	Elevasi (m)	δ_{sx} (mm)	δ_{sy} (mm)	Lantai	Elevasi (m)	δ_{sx} (mm)	δ_{sy} (mm)
Story35	50	85.823	27.083	Story17	33.1919	104.681	16.761
Story34	49.221	87.548	26.215	Story16	30.7603	101.885	15.683
Story33	48.474	90.001	25.392	Story15	27.9123	96.182	10.301
Story32	47.481	92.976	24.344	Story14	25.2644	91.604	13.002
Story31	46.243	99.719	23.168	Story13	24.6335	89.037	8.69
Story30	44.88	99.97	23.133	Story12	22.2107	83.854	11.585
Story29	44.52	100.651	22.859	Story11	21.154	79.751	7.122
Story28	43.922	103.002	22.46	Story10	18.9608	74.233	10.073
Story27	43.043	102.464	20.191	Story9	17.4803	68.309	5.609
Story26	42.012	104.486	21.297	Story8	15.521	62.728	8.458
Story25	41.088	104.772	18.612	Story7	13.6195	54.781	4.154
Story24	40.705	105.843	20.538	Story6	11.8979	49.395	6.724
Story23	39.167	106.824	19.688	Story5	9.579	39.324	2.753
Story22	38.899	106.068	16.988	Story4	8.0985	34.367	4.847
Story21	37.399	107.148	18.759	Story3	5.3667	22.184	1.41
Story20	36.483	106.001	15.334	Story2	4.13	17.846	2.779
Story19	35.406	106.529	17.792	Story1	3.1986	13.03	0.897
Story18	33.843	104.491	13.645	Base	0	0	0

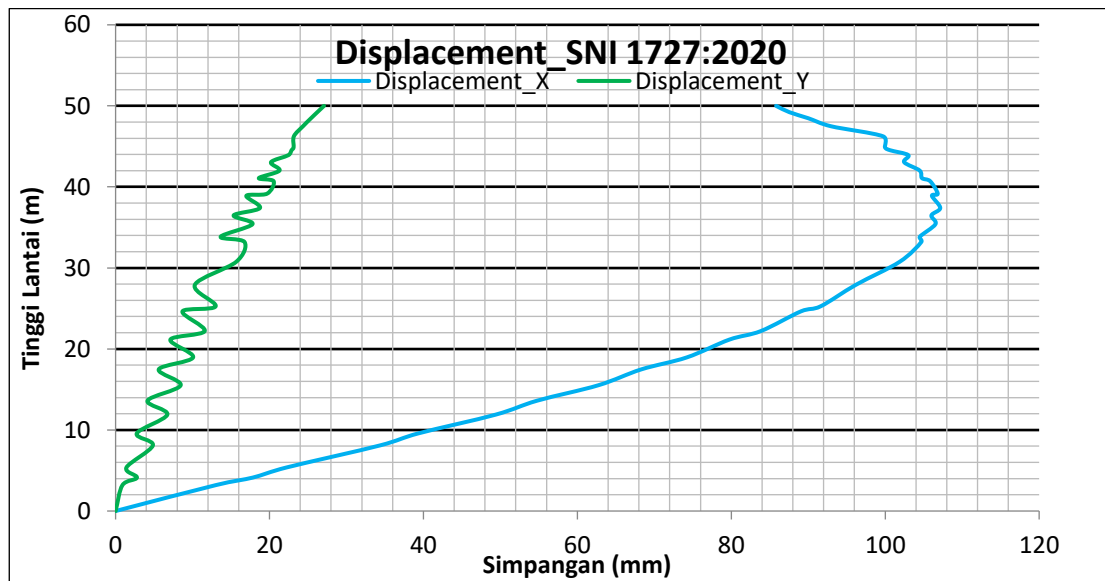
Tabel 5. Displacement Horizontal SNI 1727:2013



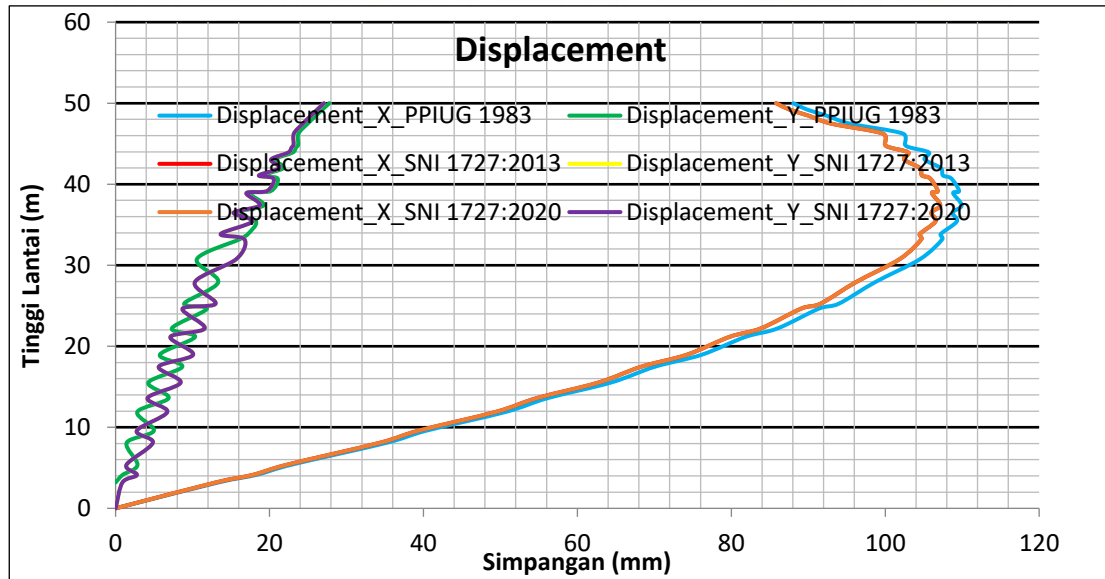
Gambar 7. Grafik displacement horizontal SNI 1727:2013

Lantai	Elevasi (m)	δ_{sx} (mm)	δ_{sy} (mm)	Lantai	Elevasi (m)	δ_{sx} (mm)	δ_{sy} (mm)
Story35	50	85.823	27.083	Story17	33.1919	104.681	16.761
Story34	49.221	87.548	26.215	Story16	30.7603	101.885	15.683
Story33	48.474	90.001	25.392	Story15	27.9123	96.182	10.301
Story32	47.481	92.976	24.344	Story14	25.2644	91.604	13.002
Story31	46.243	99.719	23.168	Story13	24.6335	89.037	8.69
Story30	44.88	99.97	23.133	Story12	22.2107	83.854	11.585
Story29	44.52	100.651	22.859	Story11	21.154	79.751	7.122
Story28	43.922	103.002	22.46	Story10	18.9608	74.233	10.073
Story27	43.043	102.464	20.191	Story9	17.4803	68.309	5.609
Story26	42.012	104.486	21.297	Story8	15.521	62.728	8.458
Story25	41.088	104.772	18.612	Story7	13.6195	54.781	4.154
Story24	40.705	105.843	20.538	Story6	11.8979	49.395	6.724
Story23	39.167	106.824	19.688	Story5	9.579	39.324	2.753
Story22	38.899	106.068	16.988	Story4	8.0985	34.367	4.847
Story21	37.399	107.148	18.759	Story3	5.3667	22.184	1.41
Story20	36.483	106.001	15.334	Story2	4.13	17.846	2.779
Story19	35.406	106.529	17.792	Story1	3.1986	13.03	0.897
Story18	33.843	104.491	13.645	Base	0	0	0

Tabel 6. Displacement Horizontal SNI 1727:2020



Gambar 8. Grafik displacement horizontal SNI 1727:2020



Gambar 9. Grafik *displacement horizontal* PPIUG 1983, SNI 1727:2013 dan SNI 1727:2020

E. Deformasi Vertikal

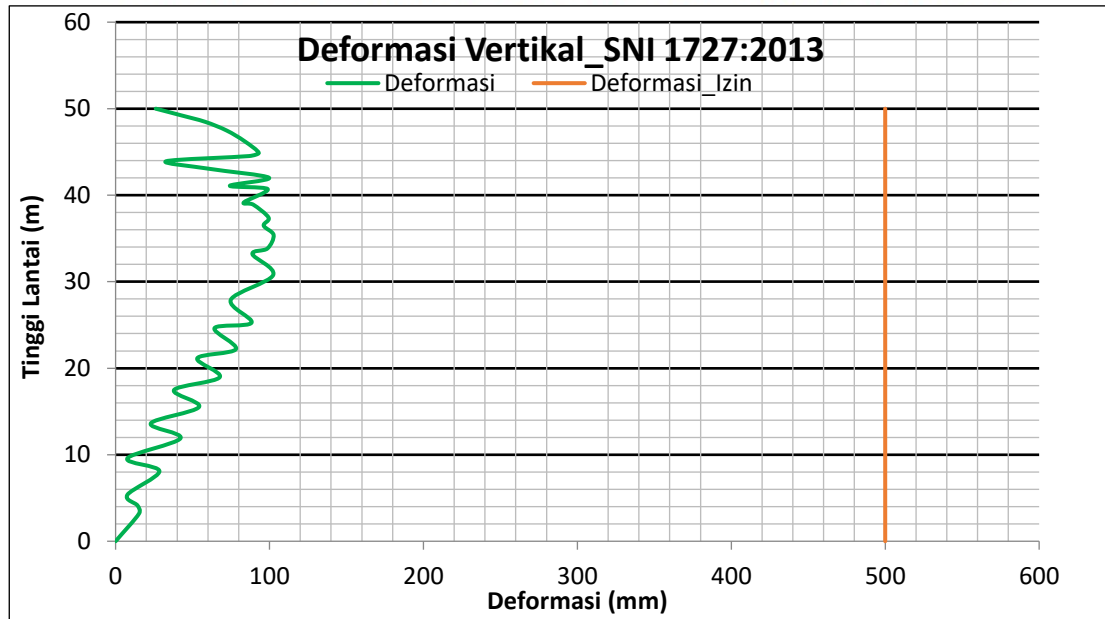
Dengan melakukan analisa maka diperlukan untuk pengecekan terhadap vertikal dan harus memenuhi syarat yang telah di tentukan $L/240$ [23]

$$\begin{aligned} \text{Syarat izin} &= \frac{L}{240} \\ &= \frac{120000}{240} \\ &= 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Oleh karena itu maka di bentuk dalam tabel untuk mempermudah perhitungan, maka seperti pada tabel 7.

Lantai	Elevasi (m)	Deformasi $\Delta_{izin} = L/240$ (mm)	Deformasi Terjadi (Actual)	$\Delta_{izin} > \Delta_{actual}$	Lantai	Elevasi (m)	Deformasi $\Delta_{izin} = L/240$ (mm)	Deformasi Terjadi (Actual)	$\Delta_{izin} > \Delta_{actual}$
Story35	50	500	26.092	Oke	Story17	33.1919	500	88.892	Oke
Story34	49.2209	500	42.816	Oke	Story16	30.7603	500	102.36	Oke
Story33	48.4743	500	58.289	Oke	Story15	27.9123	500	74.866	Oke
Story32	47.4811	500	72.073	Oke	Story14	25.2644	500	88.344	Oke
Story31	46.2433	500	83.779	Oke	Story13	24.6335	500	64.286	Oke
Story30	44.8801	500	93.063	Oke	Story12	22.2107	500	78.181	Oke
Story29	44.5204	500	86.592	Oke	Story11	21.154	500	53.092	Oke
Story28	43.9217	500	32.84	Oke	Story10	18.9608	500	67.663	Oke
Story27	43.0434	500	61.092	Oke	Story9	17.4803	500	37.977	Oke
Story26	42.0123	500	99.719	Oke	Story8	15.521	500	54.221	Oke
Story25	41.0875	500	74.199	Oke	Story7	13.6195	500	22.875	Oke
Story24	40.7052	500	98.841	Oke	Story6	11.8979	500	42.151	Oke
Story23	39.1665	500	83.33	Oke	Story5	9.579	500	7.63	Oke
Story22	38.8992	500	89.509	Oke	Story4	8.0985	500	28.477	Oke
Story21	37.399	500	99.42	Oke	Story3	5.3667	500	7.692	Oke
Story20	36.4826	500	96.231	Oke	Story2	4.13	500	14.245	Oke
Story19	35.4062	500	102.665	Oke	Story1	3.1986	500	15.242	Oke
Story18	33.8425	500	98.679	Oke	Base	0	500	0	Oke

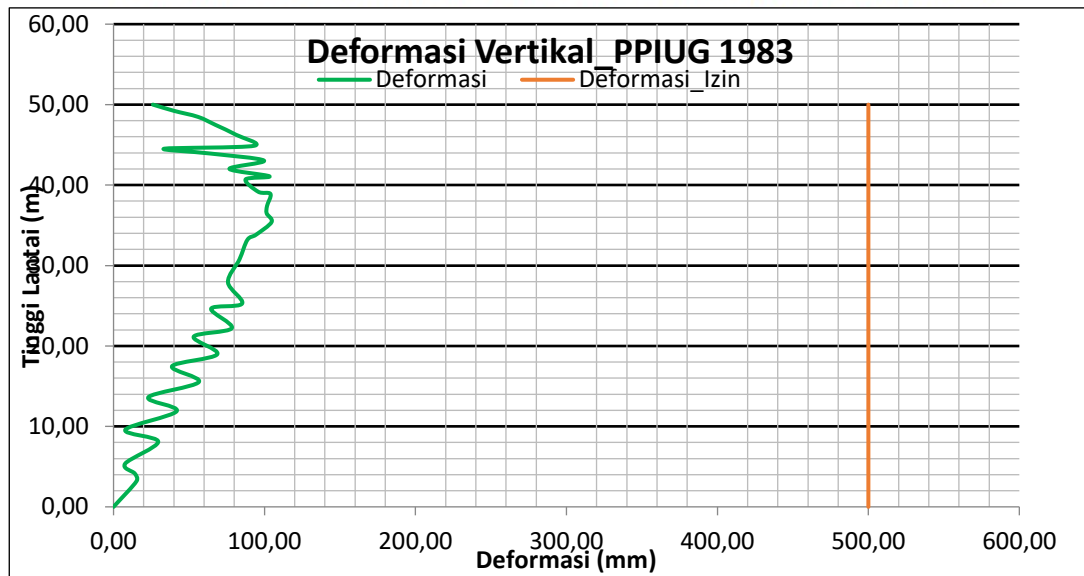
Tabel 6. Deformasi PPIUG 1983



Gambar 10. Grafik deformasi PPIUG 1983

Lantai	Elevasi (m)	Deformasi $\Delta_{izin} = L/240$ (mm)	Deformasi Terjadi (Δ_{actual})	$\Delta_{izin} > \Delta_{actual}$	Lantai	Elevasi (m)	Deformasi $\Delta_{izin} = L/240$ (mm)	Deformasi Terjadi (Δ_{actual})	$\Delta_{izin} > \Delta_{actual}$
Story35	50.00	500.00	26.09	Oke	Story17	33.19	500.00	88.68	Oke
Story34	49.22	500.00	40.11	Oke	Story16	30.76	500.00	83.42	Oke
Story33	48.47	500.00	55.98	Oke	Story15	27.91	500.00	75.80	Oke
Story32	47.48	500.00	67.47	Oke	Story14	25.26	500.00	85.16	Oke
Story31	46.24	500.00	81.24	Oke	Story13	24.63	500.00	64.66	Oke
Story30	44.88	500.00	93.06	Oke	Story12	22.21	500.00	78.33	Oke
Story29	44.52	500.00	33.67	Oke	Story11	21.15	500.00	53.09	Oke
Story28	43.92	500.00	63.99	Oke	Story10	18.96	500.00	68.69	Oke
Story27	43.04	500.00	99.65	Oke	Story9	17.48	500.00	38.75	Oke
Story26	42.01	500.00	76.76	Oke	Story8	15.52	500.00	56.53	Oke
Story25	41.09	500.00	103.30	Oke	Story7	13.62	500.00	23.03	Oke
Story24	40.71	500.00	87.48	Oke	Story6	11.90	500.00	41.86	Oke
Story23	39.17	500.00	95.87	Oke	Story5	9.58	500.00	7.80	Oke
Story22	38.90	500.00	103.93	Oke	Story4	8.10	500.00	29.60	Oke
Story21	37.40	500.00	101.67	Oke	Story3	5.37	500.00	7.68	Oke
Story20	36.48	500.00	101.45	Oke	Story2	4.13	500.00	14.13	Oke
Story19	35.41	500.00	104.69	Oke	Story1	3.20	500.00	15.24	Oke
Story18	33.84	500.00	94.51	Oke	Base	0.00	500.00	0.00	Oke

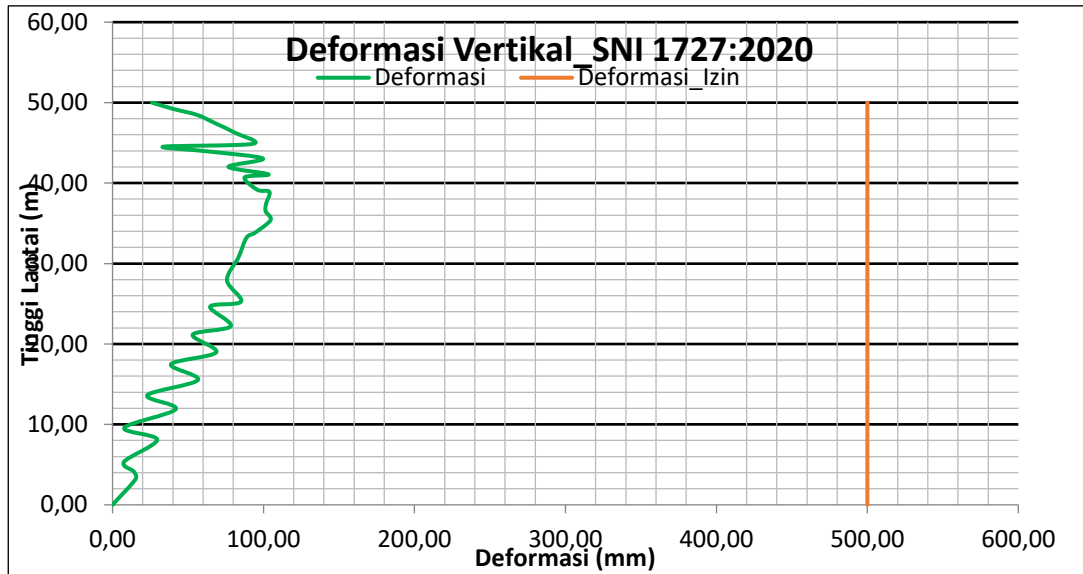
Tabel 7. Deformasi SNI 1727:2013



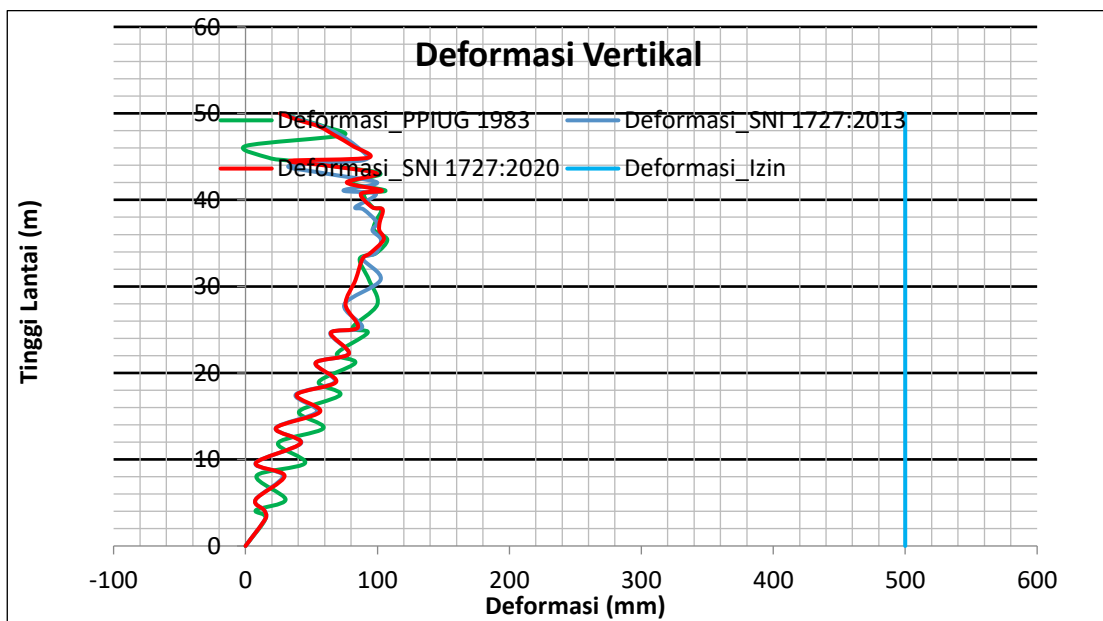
Gambar 11. Grafik deformasi SNI 1727:2013

Lantai	Elevasi (m)	Deformasi $\Delta_{izin} = L/240$ (mm)	Deformasi Terjadi (Aactual)	$\Delta_{izin} > \Delta_{actual}$	Lantai	Elevasi (m)	Deformasi $\Delta_{izin} = L/240$ (mm)	Deformasi Terjadi (Aactual)	$\Delta_{izin} > \Delta_{actual}$
Story35	50.00	500.00	26.09	Oke	Story17	33.19	500.00	88.68	Oke
Story34	49.22	500.00	40.11	Oke	Story16	30.76	500.00	83.42	Oke
Story33	48.47	500.00	55.98	Oke	Story15	27.91	500.00	75.80	Oke
Story32	47.48	500.00	67.47	Oke	Story14	25.26	500.00	85.16	Oke
Story31	46.24	500.00	81.24	Oke	Story13	24.63	500.00	64.66	Oke
Story30	44.88	500.00	93.06	Oke	Story12	22.21	500.00	78.33	Oke
Story29	44.52	500.00	33.67	Oke	Story11	21.15	500.00	53.09	Oke
Story28	43.92	500.00	63.99	Oke	Story10	18.96	500.00	68.69	Oke
Story27	43.04	500.00	99.65	Oke	Story9	17.48	500.00	38.75	Oke
Story26	42.01	500.00	76.76	Oke	Story8	15.52	500.00	56.53	Oke
Story25	41.09	500.00	103.30	Oke	Story7	13.62	500.00	23.03	Oke
Story24	40.71	500.00	87.48	Oke	Story6	11.90	500.00	41.86	Oke
Story23	39.17	500.00	95.87	Oke	Story5	9.58	500.00	7.80	Oke
Story22	38.90	500.00	103.93	Oke	Story4	8.10	500.00	29.60	Oke
Story21	37.40	500.00	101.67	Oke	Story3	5.37	500.00	7.68	Oke
Story20	36.48	500.00	101.45	Oke	Story2	4.13	500.00	14.13	Oke
Story19	35.41	500.00	104.69	Oke	Story1	3.20	500.00	15.24	Oke
Story18	33.84	500.00	94.51	Oke	Base	0.00	500.00	0.00	Oke

Tabel 8. Deformasi SNI 1727:2020



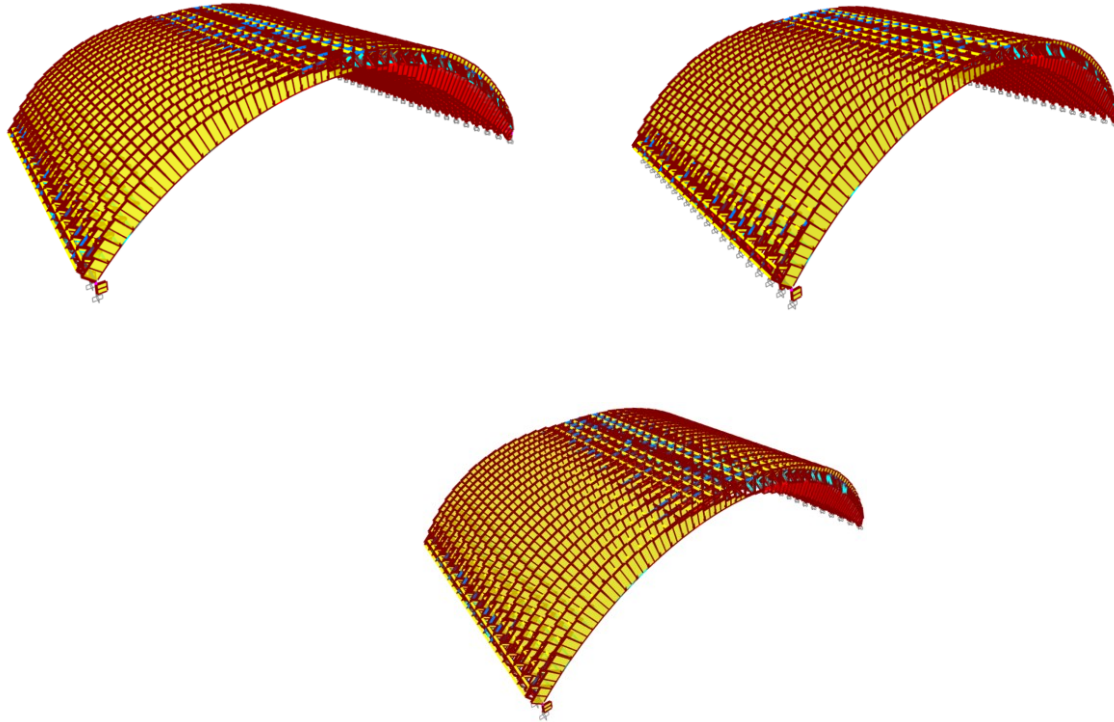
Gambar 12. Grafik deformasi SNI 1727:2020



Gambar 13. Grafik deformasi PPIUG 1983, SNI 1727:2013 dan SNI 1727:2020

F. Menghitung Gaya – gaya Batang

Menghitung gaya batang, adapun gaya batang yang akan di peroleh menggunakan bantuan program ETABS, dan gaya – gaya batang akan di bentuk dalam bentuk tabel baik dari setiap code – code yang di gunakan [24].



Gambar 14. Gaya batang wind load PPIUG 1983, SNI 1727:2013 dan SNI 1727:2020

Dimensi Profil	Type Element	Gaya Batang					
		PPIUG 1983		SNI 1727:2013		SNI 1727:2020	
		Tekan kN	Tarik kN	Tekan kN	Tarik kN	Tekan kN	Tarik kN
D139.8 Diagonal	51 & 8760	-90.474	130.9749	-77.3187	112.468	-77.3187	112.468
D139.8 Horizontal Atas	574 & 592	-22.3924	106.2275	-19.0658	91.4593	-19.0658	91.4593
D139.8 Atas	1483 & 1490	-533.9427	342.9636	-451.52	104.51	-	300.6371
						459.3761	
D165.2 Horizontal Bawah	8493 & 843	19.671	104.2537	-525.124	215.1	-451.53	190.53
D165.2 Bawah Tengah	3E2_12 & 10276	-421.2388	426.2775	-506.521	333.521	-341.521	250.657
D190.7 Tepi Bawah	9002 & 9336	-	1139.8042	-	895.531	-	453.675
		2324.9945		1952.251		1341.611	

Tabel 9. Gaya – gaya batang

F. Menghitung Reaksi Base Plate

Reaksi base plate sangat perlu di perhitungkan untuk mendesign kekuatan pada tumpuan atau perletakan, dapat di lihat seperti tabel 10.

Code	FX kN	FY kN	FZ kN	MX kN-m	MY kN-m	MZ kN-m
PPIUG 1983	-532.813	-0.0088	2194.906	0.0814	-2131.13	0.0027
SNI 1727:2013	-242.486	16.1686	1372.932	-2.4705	-988.135	194.4045
SNI 1727:2020	-242.486	14.9982	1179.47	-2.4705	-988.135	156.9256

Tabel 10. Reaksi pada base plate

G. Menghitung Batang Tekan Dan Tarik

Batang tekan merupakan batang yang memendek setelah ada nya gaya axial tekan yang di akibatkan oleh ada nya gaya luar yang bekerja, oleh karena itu perlu di perhitungkan bail itu kelangsingan dan juga tegangan kritis nya. [25]

Code	Type Profil	Axial Nominal	Kontrol	Stress Ratio	Kontrol
		ϕP_n (kN)	$\phi P_n > P_u$	L_{rfd}	< 1
PPIUG 1983	D139.8 Diagonal	146.78	Aman	0.616	Aman
	D139.8 Horizontal Atas	154.69	Aman	0.145	Aman
	D139.8 Atas	171.79	Aman	3.108	Aman
	D165.2 Horizontal Bawah	317.64	Aman	0.062	Aman
	D165.2 Bawah Tengah	381.56	Aman	1.104	Aman
SNI 1727:2013	D190.7 Tepi Bawah	690.11	Aman	3.369	Aman
	D139.8 Diagonal	146.78	Aman	0.616	Aman
	D139.8 Horizontal Atas	154.69	Aman	0.145	Aman
	D139.8 Atas	171.79	Aman	3.108	Aman
	D165.2 Horizontal Bawah	317.64	Aman	0.062	Aman
SNI 1727:2020	D165.2 Bawah Tengah	381.56	Aman	1.104	Aman
	D190.7 Tepi Bawah	690.11	Aman	3.369	Aman
	D139.8 Diagonal	146.78	Aman	0.616	Aman
	D139.8 Horizontal Atas	154.69	Aman	0.145	Aman
	D139.8 Atas	171.79	Aman	3.108	Aman
	D165.2 Horizontal Bawah	317.64	Aman	0.062	Aman
	D165.2 Bawah Tengah	381.56	Aman	1.104	Aman
	D190.7 Tepi Bawah	690.11	Aman	3.369	Aman

Tabel 10. Perhitungan Batang Tekan Dengan Load And Resistance Factor Design

Code	Type Profil	Diameter Dalam (Do) mm	Diameter Luar (Di) mm	Tebal (t) mm	Luas (Ag) mm ²	Luas Netto (An) mm ²	Modulus Elastisitas (Es) Mpa	Leleh baja (fy) Mpa	Tarik Baja (fu) Mpa	Kuat Leleh Akibat Tarik (ϕP_n) kN	Keruntuhan Tarik (ϕP_n) kN	Syarat Kuat Leleh ($\phi P_n > P_u$) kN	Syarat Kuat Tarik ($\phi P_n > P_u$) kN
PPIUG 1983	D139.8 Diagonal	139.8	131.8	4	1706.5	1706.5	200000	240	370	307.2	473.6	Aman	Aman
	D139.8 Horizontal Atas	139.8	132.6	3.6	1540.4	1540.4	200000	240	370	277.3	427.5	Aman	Aman
	D139.8 Atas	139.8	132.6	3.6	1540.4	1540.4	200000	240	370	277.3	427.5	Aman	Aman
	D165.2 Horizontal Bawah	165.2	156.2	4.5	2271.8	2271.8	200000	240	370	408.9	630.4	Aman	Aman
	D165.2 Bawah Tengah	165.2	156.2	4.5	2271.8	2271.8	200000	240	370	408.9	630.4	Aman	Aman
SNI 1727:2013	D190.7 Tepi Bawah	190.7	180.1	5.3	3087.0	3087.0	200000	240	370	555.7	856.6	Aman	Aman
	D139.8 Diagonal	139.8	131.8	4	1706.5	1706.5	200000	240	370	307.2	473.6	Aman	Aman
	D139.8 Horizontal Atas	139.8	132.6	3.6	1540.4	1540.4	200000	240	370	277.3	427.5	Aman	Aman
	D139.8 Atas	139.8	132.6	3.6	1540.4	1540.4	200000	240	370	277.3	427.5	Aman	Aman
	D165.2 Horizontal Bawah	165.2	156.2	4.5	2271.8	2271.8	200000	240	370	408.9	630.4	Aman	Aman
SNI 1727:2020	D165.2 Bawah Tengah	165.2	156.2	4.5	2271.8	2271.8	200000	240	370	408.9	630.4	Aman	Aman
	D190.7 Tepi Bawah	190.7	180.1	5.3	3087.0	3087.0	200000	240	370	555.7	856.6	Aman	Aman
	D139.8 Diagonal	139.8	131.8	4	1706.5	1706.5	200000	240	370	307.2	473.6	Aman	Aman
	D139.8 Horizontal Atas	139.8	132.6	3.6	1540.4	1540.4	200000	240	370	277.3	427.5	Aman	Aman
	D139.8 Atas	139.8	132.6	3.6	1540.4	1540.4	200000	240	370	277.3	427.5	Aman	Aman
	D165.2 Horizontal Bawah	165.2	156.2	4.5	2271.8	2271.8	200000	240	370	408.9	630.4	Aman	Aman
	D165.2 Bawah Tengah	165.2	156.2	4.5	2271.8	2271.8	200000	240	370	408.9	630.4	Aman	Aman
	D190.7 Tepi Bawah	190.7	180.1	5.3	3087.0	3087.0	200000	240	370	555.7	856.6	Aman	Aman

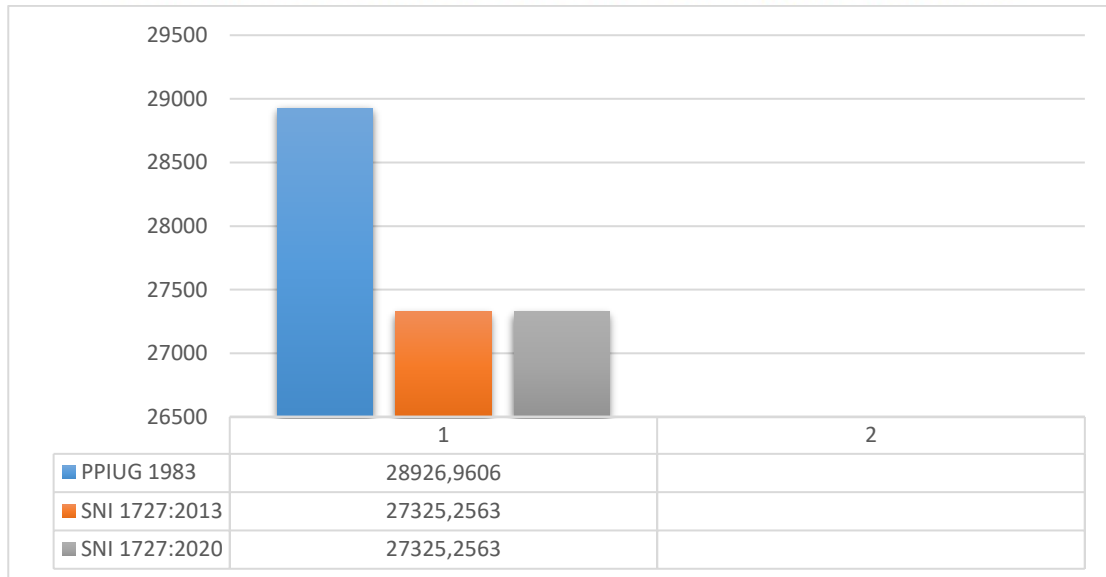
Tabel 11. Perhitungan Batang Tarik Dengan Load And Resistance Factor Design

H. Perbandingan Berat Struktur

Untuk perbandingan tonase berat di tuangkan dalam bentuk tabel, sebagai berikut :

Tinggi m	PPIUG 1983			SNI 1727:2013			SNI 1727:2020		
	Story	UX kg	UY kg	Story	UX kg	UY kg	Story	UX kg	UY kg
49.9688	Story35	213983.1	213983.1	Story35	200637.7	200637.7	Story35	200637.7	200637.7
49.2209	Story34	171248.6	171248.6	Story34	160568.4	160568.4	Story34	160568.4	160568.4
48.4743	Story33	128410.6	128410.6	Story33	120402.1	120402.1	Story33	120402.1	120402.1
47.4811	Story32	128410.6	128410.6	Story32	120402.1	120402.1	Story32	120402.1	120402.1
46.2433	Story31	129097.3	129097.3	Story31	121088.7	121088.7	Story31	121088.7	121088.7
44.8801	Story30	109350.4	109350.4	Story30	103948.1	103948.1	Story30	103948.1	103948.1
44.5204	Story29	57400.15	57400.15	Story29	54793.89	54793.89	Story29	54793.89	54793.89
43.9217	Story28	16351.82	16351.82	Story28	16351.82	16351.82	Story28	16351.82	16351.82
43.0434	Story27	143280.1	143280.1	Story27	135271.6	135271.6	Story27	135271.6	135271.6
42.0123	Story26	15610.66	15610.66	Story26	15610.66	15610.66	Story26	15610.66	15610.66
41.0875	Story25	128410.6	128410.6	Story25	120402.1	120402.1	Story25	120402.1	120402.1
40.7052	Story24	15610.66	15610.66	Story24	15610.66	15610.66	Story24	15610.66	15610.66
39.1665	Story23	15610.66	15610.66	Story23	15610.66	15610.66	Story23	15610.66	15610.66
38.8992	Story22	128410.6	128410.6	Story22	120402.1	120402.1	Story22	120402.1	120402.1
37.399	Story21	15610.66	15610.66	Story21	15610.66	15610.66	Story21	15610.66	15610.66
36.4826	Story20	128410.6	128410.6	Story20	120402.1	120402.1	Story20	120402.1	120402.1
35.4062	Story19	15610.66	15610.66	Story19	15610.66	15610.66	Story19	15610.66	15610.66
33.8425	Story18	128410.6	128410.6	Story18	120402.1	120402.1	Story18	120402.1	120402.1
33.1919	Story17	28168.87	28168.87	Story17	27432.44	27432.44	Story17	27432.44	27432.44
30.7603	Story16	134937.8	134937.8	Story16	127665.7	127665.7	Story16	127665.7	127665.7
27.9123	Story15	144297.2	144297.2	Story15	136288.7	136288.7	Story15	136288.7	136288.7
25.2644	Story14	17110.94	17110.94	Story14	17110.94	17110.94	Story14	17110.94	17110.94
24.6335	Story13	128410.6	128410.6	Story13	120402.1	120402.1	Story13	120402.1	120402.1
22.2107	Story12	17110.94	17110.94	Story12	17110.94	17110.94	Story12	17110.94	17110.94
21.154	Story11	128322.3	128322.3	Story11	120313.7	120313.7	Story11	120313.7	120313.7
18.9608	Story10	17066.78	17066.78	Story10	17066.78	17066.78	Story10	17066.78	17066.78
17.4803	Story9	128410.6	128410.6	Story9	120402.1	120402.1	Story9	120402.1	120402.1
15.521	Story8	17066.78	17066.78	Story8	17066.78	17066.78	Story8	17066.78	17066.78
13.6195	Story7	128410.6	128410.6	Story7	120402.1	120402.1	Story7	120402.1	120402.1
11.8979	Story6	17110.94	17110.94	Story6	17110.94	17110.94	Story6	17110.94	17110.94
9.579	Story5	128410.6	128410.6	Story5	120402.1	120402.1	Story5	120402.1	120402.1
8.0985	Story4	17110.94	17110.94	Story4	17110.94	17110.94	Story4	17110.94	17110.94
5.3667	Story3	98778.74	98778.74	Story3	92772.23	92772.23	Story3	92772.23	92772.23
4.13	Story2	17110.94	17110.94	Story2	17110.94	17110.94	Story2	17110.94	17110.94
0	Story1	35632.81	35632.81	Story1	33630.56	33630.56	Story1	33630.56	33630.56
Total		28926.9606				27325.2563		27325.2563	

Tabel 12. Tonase massa struktur



Gambar 15. Tonase berat struktur

Dari hasil yang telah di tuangkan dengan melakukan analisa, maka dapat disimpulkan bahwa SNI 1727:2020 adalah yang paling optimum dimana di perngaruh oleh koefisien – koefisien yang telah di perbaharui.

Simpulan

Beberapa code yang telah digunakan untuk analisa dalam mencapai optimasi yang terbaik dan mencapai pada kekuatan yang di inginkan sehingga dalam fungsi bangunan terjaga aman, beberapa poin sebagai berikut: Beban angin di perhitungkan dengan menggunakan beberapa code yang berlaku di Indonesia dan yang di gunakan oleh perencana – perencana struktur diperoleh beban angin berdasarkan PPIUG 1983 (1/4 angin datang = 0,459 kN/m², 1/2 pusat = 0,55 kN/m² dan 1/2 angin pergi = 0,367 kN/m²), SNI 1727:2013 (1/4 angin datang = 0,38 kN/m², 1/2 pusat = 0,546 kN/m² dan 1/2 angin pergi = 0,38 kN/m²) dan SNI 1727:2020 (1/4 angin datang = 0,38 kN/m², 1/2 pusat = 0,866 kN/m² dan 1/2 angin pergi = 0,451 kN/m²). Dari hasil *displacement* diperoleh hasil pada setiap code, adapun hasil pada code PPIUG 1983 ($\Delta_x = 40,107$ mm dan $\Delta_y = 16,542$ mm), SNI 1727:2013 ($\Delta_x = 38,124$ mm dan $\Delta_y = 16,146$ mm) dan untuk SNI 1727:2020 ($\Delta_x = 39,09$ mm dan $\Delta_y = 16,146$ mm). Dari hasil analisa yang dilakukan berdasarkan code – code yang ada maka didapat hasil dari gaya – gaya batang setelah dilakukan analisis struktur Batang tekan pada PPIUG 1983 (2324,995 kN), SNI 1727:2013 (1952,251 kN) dan SNI 1727:2020 (1341,611 kN). Batang tarik pada PPIUG 1983 (1139,8042 kN), SNI 1727:2013 (895,531 kN) dan SNI 1727:2020 (453,675 kN). Dari hasil analisa yang telah dilakukan, maka di peroleh reaksi pada base plate berdasarkan code – code yang ada dan hasil nya pada code PPIUG 1983 (2194,906 kN), SNI 1727:2013 (1372,932 kN) dan SNI 1727:2020 (1179,47 kN). Desing batang tekan dan batang tarik yang telah dilakukan dapat dilihat sebagai berikut: Batang tekan design berdasarkan code PPIUG 1983 (146,78 kN > 90,474 kN), SNI 1727:2013 (146,78 kN > 77,319 kN) dan SNI 1727:2020 (146,78 kN > 77,319 kN). Batang tarik design berdasarkan PPIUG (473,557 kN > 130,975 kN), SNI 1727:2013 (473,557 kN > 112,468 kN) dan SNI 1727:2020 (473,557 kN > 112,468 kN). Untuk tonase berat diperoleh hasil berdasarkan PPIUG 1983 (28926,961 kN), SNI 1727:2013 (27325,256 kN) dan SNI 1727:2020 (27325,256 kN). Maka dari hasil perhitungan yang telah di peroleh dari semua code – code yang ada, di dapat yang paling besar berada pada PPIUG sedangkan yang paling optimum berasa pada SNI 1727:2020, dimana efek di pengaruhi beberapa koefisien yang telah di kembangkan kembali oleh para peneliti – peneliti Indonesia. Untuk reaksi pada base plate juga di dapat hasil nya dari ketiga code yang telah di lakukan analisis nya terdapat yang terbesar pada code PPIUG 1983 dan yang terkecil pada SNI 1727:2013 dan SNI 1727:2020, ada beberapa hal yang mempengaruhi yaitu seperti pada kofisien kecepatan angin (V) dan juga koesfien gus faktor (G). Manfaat yang diperoleh dari hasil riset perbandingan beban angin antara tiga code yang dilakukan, dimana SNI 1727:2013 dan SNI 1727:2020 lebih efisien dari PPIUG 1983. Oleh karena itu tepat digunakan SNI 1727:2013 atau SNI 1727:2020 untuk melakukan design, khusus nya pada atap cukup efisien dalam melakukan perencanaan struktur.

Ucapan Terima Kasih

Saya panjatkan puji struktur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa yang telah memberikan kekuatan kepada saya untuk dapat menyelesaikan penelitian yang saya lewati, dan juga saya berterima kasih kepada orangtua, keluarga dan juga teman – teman yang telah mendukung saya, dan juga saya tidak lupa untuk berterima kasih kepada dosen pembimbing yang telah membimbing dengan penuh kesabaran dan juga ilmu yang telah di bagi kan.

References

- [1] American Institute of Steel Construction, TIA Standard: Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas, 1996.
- [2] American Society of Civil Engineers (ASCE), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE Standard 7-98, Reston, VA: ASCE, 1998.
- [3] American Society of Civil Engineers (ASCE), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE 7-10, Reston, VA: ASCE, 2010.
- [4] Applied Technology Council (ATC), ATC-40: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Vol. 1, Redwood City, CA: ATC, 1996.
- [5] American Society of Civil Engineers (ASCE), ASCE 7: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, Washington, DC: ASCE, 2002.
- [6] B. S. Taranath, Wind and Earthquake Resistant Buildings: Structural Analysis and Design, New York, NY: CRC Press, 2005.
- [7] Badan Standardisasi Nasional, SNI 1727:2020 – Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, Jakarta: BSN, 2020.
- [8] H. H. Bednar, Pressure Vessel Design Handbook, 2nd ed., Malabar, FL: Krieger Publishing Company, 1986.
- [9] B. Bienkiewicz, Y. Tamura, H. J. Hann, H. Ueda, and K. Hibi, “Proper Orthogonal Decomposition and Reconstruction of Multichannel Roof Pressure,” Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol. 57, no. 2–3, pp. 237–247, 1995.
- [10] Computers and Structures, Inc. (CSI), CSI Analysis Reference Manual for SAP2000, ETABS, SAFE and CSI Bridge, Berkeley, CA: CSI, 2017.
- [11] Departemen Pekerjaan Umum, Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Bangunan Gedung (PPIUG 1983), Bandung: DPU, 1983.
- [12] S. M. C. Diniz, F. Sadek, and E. Simiu, “Wind Speed Estimation Uncertainties: Effects of Climatological and Micrometeorological Parameters,” in Proc. 4th Computational Stochastic Mechanics Conf., G. Deodatis and P. Spanos, Eds., Rotterdam, The Netherlands: Millpress Science Publishers, 2003, pp. 169–178.
- [13] E. L. Wilson and M. R. Button, “Three Dimensional Dynamic Analysis for Multi-Component Earthquake Spectra,” Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol. 10, pp. 813–822, 1982.
- [14] E. L. Wilson, M. W. Yuan, and J. M. Dickens, “Dynamic Analysis by Direct Superposition of Ritz Vectors,” Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol. 10, pp. 813–823, 1982.
- [15] M. K. Effendi and T. Subagio, “Pengaruh Beban Angin Terhadap Struktur Roof Top Tower Telepon Seluler,” Jurnal Teknik Sipil, vol. 3, no. 1, pp. 23–30, 2006.
- [16] Federal Emergency Management Agency (FEMA), FEMA 356: Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Washington, DC: FEMA, 2000.
- [17] G. S. Ramaswamy, G. R. Surech, and others, Analysis, Design and Construction of Steel Space Frame, London: Thomas Telford, 2002.
- [18] L. Griffis, V. Patel, S. Muthukumar, and S. Baldava, “A Framework for Performance-Based Wind Engineering,” in Advances in Hurricane Engineering, 2012, pp. 670–681.
- [19] H. Siddesha, “Wind Analysis of Microwave Antenna Towers,” International Journal of Applied Engineering Research, vol. 1, no. 3, pp. 574–584, 2010.

- [20] Z. S. Hardiman, "The Application of Value Management in Construction Industry – A Case Study on the Cost Effectiveness of Portal Frame Structures in Factory Projects," in Proc. EACEF - The 1st International Conference of European Asian Civil Engineering Forum, Tangerang: Universitas Pelita Harapan, 2007, pp. E1–E8.
- [21] J. Holmes and R. Weller, Design Wind Speeds for the Asia–Pacific Region, HB 212-2002, Standards Australia, 2016.
- [22] International Code Council (ICC), International Building Code, Illinois: ICC, 2012.
- [23] J. Rajasekharan and S. Vijaya, "Analysis of Telecommunication Tower Subjected to Seismic and Wind Loading," International Journal of Advancement in Engineering Technology, Management and Applied Science, vol. 1, no. 2, pp. 68–79, 2014.
- [24] A. F. Kadhum, "Nonlinear Finite Element Analysis of Space Truss," Anbar Journal for Engineering Sciences, vol. 3, no. 1, pp. 1–9, 2010.
- [25] M. K. Effendi and T. Subagio, "Pengaruh Beban Angin Terhadap Struktur Roof Top Tower Telepon Seluler," Jurnal Teknik Sipil, vol. 3, no. 2, pp. 69–76, 2006.