

PERBANDINGAN DEFLEKSI DAN BERAT MENARA PLTB DENGAN MENGGUNAKAN MODEL RANGKA DAN MONOPOLE

Sugeng Riyanto¹⁾, Bobby Asukmajaya R.²⁾, Suhariyanto³⁾, Achendri M. Kurniawan⁴

1,2,3,4 Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang

Koresponden*, Email: sugeng.riyanto@polinema.ac.id

ABSTRAK

Pemenuhan kebutuhan energi listrik merupakan aspek fundamental pada era saat ini, mengingat hampir seluruh aktivitas manusia sangat bergantung pada ketersediaan energi listrik. Meskipun Indonesia telah mencapai tingkat penyediaan listrik yang baik di wilayah yang mudah dijangkau, pada wilayah kepulauan terpencil penyediaan listrik masih menjadi permasalahan, terutama karena ketergantungan pada bahan bakar minyak yang kurang efisien secara ekonomi. Oleh karena itu, diperlukan solusi penyediaan energi listrik yang lebih ekonomis, salah satunya melalui penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). PLTB memiliki keunggulan berupa kebutuhan investasi awal yang relatif rendah serta ramah lingkungan dengan emisi karbon mendekati nol. Dalam konteks ini, peran menara (tower) sebagai struktur penyangga turbin angin untuk menangkap energi angin di wilayah terpencil menjadi sangat penting. Pembangunan tower di daerah tersebut menghadapi tantangan utama berupa keterbatasan transportasi peralatan dan material ke lokasi, sehingga material yang dapat diangkut umumnya terbatas baik dari segi ukuran maupun berat. Oleh karena itu, tower direncanakan dalam bentuk rangka (lattice/truss) dan monopole. Perbandingan efisiensi kedua model, khususnya dari aspek berat struktur, diperlukan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan pemilihan tipe tower. Penelitian ini membandingkan penggunaan model tower rangka (lattice) dan monopole pada PLTB dengan mengevaluasi respons lendutan (defleksi) akibat beban turbin serta beban lateral akibat angin. Hasil analisis menunjukkan bahwa model lattice memiliki defleksi lateral yang lebih kecil, yaitu sebesar 0,021 m, sedangkan model monopole menunjukkan defleksi lateral terbesar sebesar 0,213 m. Nilai batas maksimum defleksi lateral yang diizinkan berdasarkan ketentuan peraturan adalah sebesar 1% dari tinggi tower (24 m), yaitu 0,24 m. Hasil ini menunjukkan bahwa model lattice memiliki kinerja yang lebih baik dalam mengendalikan defleksi lateral dengan tingkat optimalitas rasio penampang yang setara. Dengan demikian, model lattice lebih sesuai diterapkan pada wilayah dengan kondisi angin yang tidak stabil atau memiliki variasi dan fluktuasi kecepatan angin yang tinggi.

Kata kunci: PLTB, Tower, Monopole, Lattice

ABSTRACT

Meeting electricity needs is a very basic aspect in the current era, where almost all human activities are highly dependent on electrical resources. Even though Indonesia has achieved a good level of electricity supply in areas that are easily accessible, in isolated island areas, electricity supply is still a problem due to the use of fuel oil which is less economically efficient. Therefore, a solution is needed to ensure economical electricity supply, PLTB has the advantage of being low capital and environmentally friendly with net zero emissions. In this context, the importance of towers as turbine supports to capture wind in isolated areas cannot be ignored. Tower construction in this region faces challenges in terms of transporting equipment and materials to the location, where the materials that can be transported are generally limited and small. Therefore, the tower is planned in the form of a truss and monopole, a comparison of efficient models in terms of weight will provide insight into the decision to select the type of profile. This research will compare the use of frame and monopole tower models in their use in PLTB. The results obtained are that the Lattice Model has a smaller lateral deflection, namely 0.021 m, while the Monopole Model has the largest lateral deflection, namely 0.213 m, with the maximum deflection limit set by regulations being 1% of the tower height (24 meters), namely 0.24 m. This shows that the lateral deflection with the Lattice model has a much smaller value, with the parameter being the cross-sectional design ratio which is equally optimal. So the lattice model is suitable for use in areas where the wind is unstable / has varying and high wind speed gaps.

Keywords: PLTB, Tower, Monopole, Lattice

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan fundamental dalam rangka melaksanakan aktivitas keseharian, tenaga listrik dibutuhkan oleh manusia untuk memenuhi beberapa kebutuhan yaitu pada kantor, sarana Pendidikan, sarana rumah sakit, sarana transportasi, komunikasi dan berbagai kebutuhan penting lainnya. Listrik di Negara Indonesia sudah tercukupi dengan baik di daerah kota – kota besar, namun didaerah isolasi yang belum terdapat sarana transportasi yang memadai masih dalam kategori yang sedikit [1]. Pada tahun 2022 melalui forum G20 Presiden Indonesia mendukung dan merencanakan konsep Net Zero ditahun 2060, Indonesia diharapkan menggunakan energi terbarukan sehingga mengurangi banyak akan emisi karbon dalam proses produksi tenaga listrik. Konsep Net Zero adalah menghasilkan energi yang ramah lingkungan dengan zero emission [2]. Salah satu metode dalam menghasilkan listrik dengan konsep Net Zero Emission adalah dengan menggunakan Tenaga Listrik Tenaga Bayu (PLTB), dengan menggunakan angin tentunya emisi yang dihasilkan adalah 0.

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu merupakan salah satu sumber dalam penghasil energi listrik di Indonesia. Hal ini dikarenakan Indonesia memiliki bentangan wilayah alam yang luas berupa bibir pantai, laut maupun pegunungan dimana pada daerah tersebut potensi angin cukup baik. PLTB menurut Departemen ESDM RI cukup menarik untuk dikembangkan karena memiliki potensi hingga 9,2 GW namun hanya sekitar 0,5 GW saja yang sampai saat ini sudah dikembangkan. Prospek ini perlu dikembangkan untuk memberikan kesempatan pada daerah – daerah yang terisolasi terutama pada daerah yang transportasi menuju kewilayahnya sulit namun memiliki potensi angin yang baik pada daerahnya untuk diberikan listrik dengan menggunakan PLTB [3].

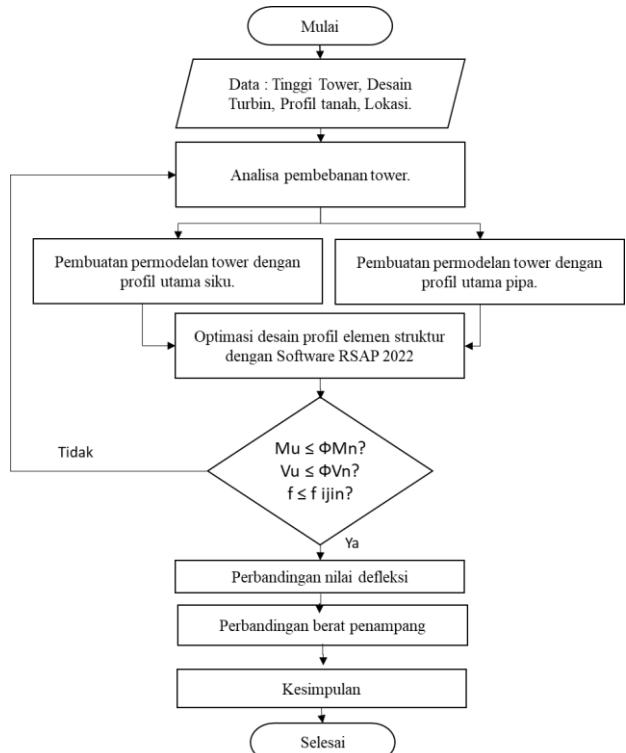
Komponen yang perlu disiapkan dalam pembangunan PLTB untuk digunakan pada daerah yang sulit dijangkau, adalah berupa alat dan bahan yang mudah diangkut dalam skala kecil / potongan – potongan kecil, sehingga mudah dibawa dengan menggunakan alat transportasi yang terbatas. Salah satu yang perlu disiapkan adalah tower, umumnya elemen struktur yang digunakan berupa material baja profil, bisa dalam bentuk rangka maupun pole. Banyak sekali penelitian terkait optimalisasi desain tower, mulai dari bentuk tower, model tower, material yang digunakan. Hal ini tentunya untuk meningkatkan kualitas, nilai ekonomis, dan yang sangat penting adalah dapat dibangun pada daerah yang dituju [4]–[8].

Pada penelitian ini berusaha untuk membandingkan antara tower PLTB model rangka dan monopole, kedua

bentuk ini merupakan yang paling banyak digunakan sebagai bangunan tower. Perbandingan kedua model ini berdasarkan tingkat keekonomisan dan tingkat keefektifan defleksi.

2. METODE

Berikut adalah bagan alir penelitian perbandingan model tower PLTB Lattice dan Monopole :



Gambar 1 . Flowchart Penelitian

Tahap Pelaksanaan Penelitian

Tahap Pelaksanaan

Berikut ini adalah tahapan pelaksanaan penelitian Tower PLTB :

1. Pengumpulan data rencana tinggi tower, desain turbin, beban turbin dan data profil tanah di Desa Palang Tuban.
2. Perhitungan pembebangan pada turbin dan pada tower.
3. Permodelan tower dengan model rangka dan tower model monopole
4. Analisa dari segi desain, dan metode pelaksanaan.
5. Optimasi dan efisiensi desain dengan menggunakan software RSAP 2022
6. Pengecekan kapasitas penampang yang telah melebihi beban berfaktor.
7. Pengecekan nilai defleksi penampang
8. Perbandingan berat antara model rangka dan model monopole.
9. Pemberian Kesimpulan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Pembebaan Tower

Berikut ini adalah hasil rangkuman Analisa pembebaan tower :

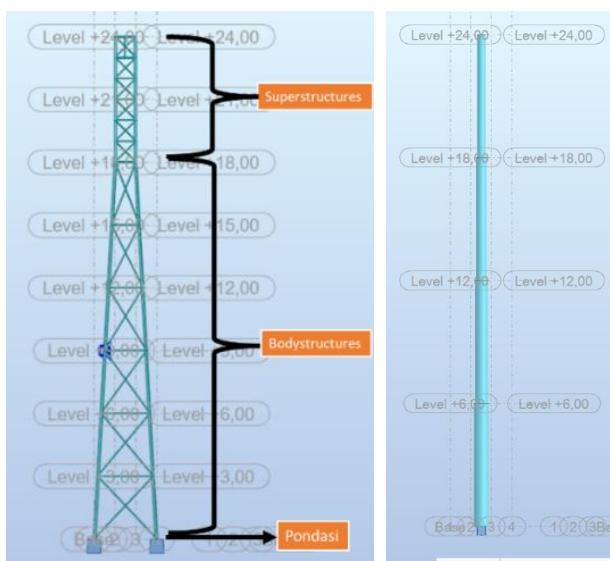
Tabel 1. Rangkuman Analisa Pembebaan

Hasil Analisa Pembebaan			
DL 1	=	Otomatis pada RSAP	
DL 2	=	1000 Kg	Turbin
LL	=	200 Kg	Pekerja
WL-A	=	15 kN	Arah X-
WL-H	=	25 kN	Arah Y-
Ex	=	Beban Gempa arah X	
Ey	=	Beban Gempa arah Y	
Kombinasi Pembebaan			
1. 1,4 DL			
2. 1,2 DL + 1LL + 1 WL-A			
3. 1,2 DL + 1LL + 1 WL-H			
4. 1,2 DL+ 1,2LL + 1,2 WL-A + 0,3 Ex + 1 Ey			
5. 1,2 DL+ 1,2LL + 1,2 WL-H + 0,3 Ex + 1 Ey			
6. 1,2 DL+ 1,2LL + 1,2 WL-A + 0,3 Ey + 1 Ex			
7. 1,2 DL+ 1,2LL + 1,2 WL-H + 0,3 Ey + 1 Ex			

3.2 Permodelan Geometri Struktur Tower

Sesuai dengan kebutuhan dalam mencapai angin rata – rata sebesar 10 m/s pada daerah tuban, maka ketinggian tower adalah 24 meter, dan panjang sudi sebesar 6 meter dengan total diameter rotor ketika berputar adalah 12 meter, sehingga direncanakan geometri tower sebagai berikut :

Tinggi Tower (H)	= 24 m
Tinggi Kolom Pedestal (h1)	= 1 m
Panjang Sudu (h _r)	= 5,5 m
Tinggi Super Structure (h ₂)	= 6 m
Tinggi Body Tower (H ₁ - h ₂)	= 24 - 6 = 18 m.
Elevasi Turbin (H+h1)	= 25 m



Gambar 2. Geometri Tower Model Lattice dan Monopole

Data tambahan geometri tower tipe Lattice

Lebar kaki tower	= 3 meter
Lebar superstruktur	= 1 meter

3.3 Optimalisasi Desain Profil dengan Software RSAP 2024

Setelah melaksanakan permodelan sesuai dengan geometri yang direncanakan dan juga input data pembebaan pada software RSAP langkah selanjutnya adalah melakukan optimalisasi desain profil dengan software RSAP 2024, hal ini dilakukan karena terdapat fitur dalam aplikasi tersebut untuk memudahkan menentukan profil yang layak dan sesuai dengan kontrol kapasitas penampang, berikut adalah rangkuman hasil optimalisasi desain :

1. Profil Optimal untuk seluruh Elemen Rangka Tower tipe Lattice

Berikut adalah hasil optimalisasi penampang, dengan beban kombinasi yang menghasilkan gaya dalam terbesar adalah kombinasi beban 6 dengan pengecekan rasio kapasitas penampang kurang dari 1 dan batas defleksi 1% dari tinggi tower yaitu 0,24 m.

Robot Structural Analysis Professional 2024						
Author		File PENELITIAN SIKU TOWER.rtd				
Address		Project: PENELITIAN SIKU TOWER				
Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
2	LE	SS400	78.67	154.59	0.36	4 KOMBINASI 6
6	[20x100x10]	SS400	78.67	154.59	0.40	4 KOMBINASI 6
7	[20x100x10]	SS400	78.67	154.59	0.44	4 KOMBINASI 6
8	[20x100x10]	SS400	78.67	154.59	0.46	4 KOMBINASI 6
9	[20x100x10]	SS400	78.67	154.59	0.46	4 KOMBINASI 6
10	[20x100x10]	SS400	78.67	154.59	0.54	4 KOMBINASI 6
11	[20x100x10]	SS400	78.67	154.58	0.27	4 KOMBINASI 6
12	[20x100x10]	SS400	78.67	154.58	0.26	4 KOMBINASI 6
13	[20x100x10]	SS400	78.67	154.58	0.26	4 KOMBINASI 6
14	[20x100x10]	SS400	78.67	154.58	0.26	4 KOMBINASI 6
15	[20x100x10]	SS400	78.67	154.58	0.23	4 KOMBINASI 6
16	[20x100x10]	SS400	78.67	154.58	0.26	4 KOMBINASI 6
17	[20x100x10]	SS400	78.67	154.58	0.05	4 KOMBINASI 6
18	[20x100x10]	SS400	78.67	154.58	0.05	4 KOMBINASI 6
19	[20x100x10]	SS400	78.67	154.58	0.08	4 KOMBINASI 6
20	[20x100x10]	SS400	78.67	154.58	0.09	4 KOMBINASI 6
21	[20x100x10]	SS400	78.67	154.58	0.11	4 KOMBINASI 6
22	[20x100x10]	SS400	78.67	154.58	0.11	4 KOMBINASI 6
23	[20x100x10]	SS400	78.67	154.58	0.19	4 KOMBINASI 6
24	[20x100x10]	SS400	78.67	154.58	0.20	4 KOMBINASI 6
25	[20x100x10]	SS400	78.67	154.58	0.21	4 KOMBINASI 6
26	[20x100x10]	SS400	78.67	154.58	0.21	4 KOMBINASI 6
27	[20x100x10]	SS400	78.67	154.58	0.19	4 KOMBINASI 6
28	[20x100x10]	SS400	78.67	154.58	0.19	4 KOMBINASI 6
47	[20x100x10]	SS400	26.14	51.37	0.32	4 KOMBINASI 6
102	[20x100x10]	SS400	26.14	51.37	0.30	4 KOMBINASI 6
103	[20x100x10]	SS400	26.14	51.37	0.25	4 KOMBINASI 6
104	[20x100x10]	SS400	26.14	51.37	0.34	4 KOMBINASI 6
106	[20x100x10]	SS400	26.14	51.37	0.09	4 KOMBINASI 6
107	[20x100x10]	SS400	26.14	51.37	0.18	4 KOMBINASI 6
108	[20x100x10]	SS400	26.14	51.37	0.18	4 KOMBINASI 6
109	[20x100x10]	SS400	26.14	51.37	0.24	4 KOMBINASI 6
110	[20x100x10]	SS400	26.14	51.37	0.22	4 KOMBINASI 6
111	[20x100x10]	SS400	26.14	51.37	0.09	4 KOMBINASI 6
112	[20x100x10]	SS400	26.14	51.37	0.08	4 KOMBINASI 6
113	[20x100x10]	SS400	26.14	51.37	0.16	4 KOMBINASI 6
114	[20x100x10]	SS400	26.14	51.37	0.16	4 KOMBINASI 6

Gambar 3. Hasil Rasio Penampang Optimalisasi Profil Tower Tipe Lattice (RSAP)

2. Profil Optimal untuk seluruh Elemen Tower dengan Pipa Monopole

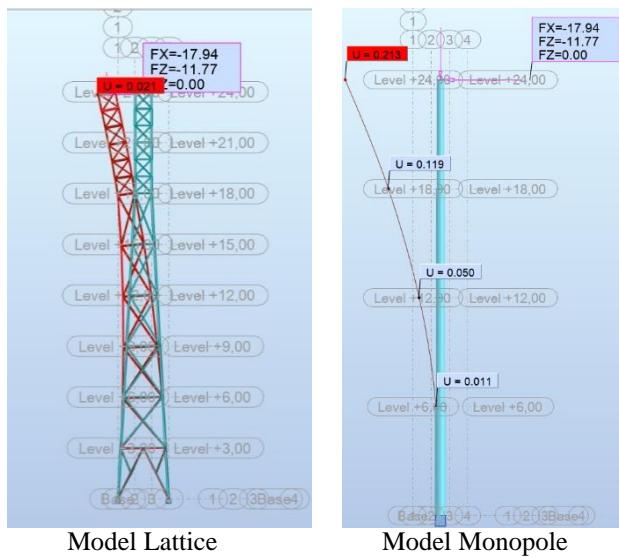
Berikut adalah hasil optimalisasi penampang, dengan beban kombinasi yang menghasilkan gaya dalam terbesar adalah kombinasi beban 6 dengan pengecekan rasio kapasitas penampang kurang dari 1 dan batas defleksi 1% dari tinggi tower yaitu 0,24 m.

Robot Structural Analysis Professional 2024		File: monopole2.rtd	
Member	Section	Material	Lay Laz Ratio Case
1	PIP609.6x14	SS400	28.51 28.51 0.52 4 KOMBINASI 6
2	PIP 500x14	SS540	34.90 34.90 0.17 4 KOMBINASI 6
3	PIP 500x14	SS400	34.90 34.90 0.51 4 KOMBINASI 6
4	PIP 406.4x12.7	SS400	43.06 43.06 0.50 4 KOMBINASI 6

Gambar 4. Hasil Optimalisasi Elemen Struktur Pipa Monopole

3.5 Defleksi Lateral pada Tower PLTB

Defleksi lateral dianalisa dengan menggunakan software RSAP 2024, nilai yang diberikan pada gambar dibawah adalah nilai defleksi terbesar :



Gambar 5. Nilai defleksi lateral pada tower.

Hasilnya didapatkan jika Model Lattice memiliki defleksi lateral lebih kecil yaitu 0,021 m, sementara Model Monopole memiliki defleksi lateral terbesar yaitu 0,213 m dengan batas maksimal defleksi yang ditetapkan oleh peraturan adalah 1% dari tinggi tower (24 meter) yaitu sebesar 0,24 m. Hal ini menunjukkan jika defleksi lateral dengan model Lattice memiliki nilai yang jauh lebih kecil, dengan parameter adalah rasio desain penampang yang sama – sama optimal. Sehingga model lattice cocok untuk digunakan pada daerah yang anginnya tidak stabil / memiliki gap kecepatan angin yang berubah – rubah dan tinggi.

3.6 Berat Tower PLTB

Setelah didapatkan nilai profil optimal dan defleksi lateral selanjutnya akan dibandingkan berat sendiri antara tower model Lattice dan model Monopole. Perhitungan berat tower dilakukan dengan bantuan software RSAP 2024. Berikut adalah hasil analisa tower PLTB model Lattice dan Monopole :

Tabel 1. Berat penampang model Lattice.

No	Section	Weight (kG)
1	LE 80x80x6	41,63
2	LE 100x100x10	1433,69
3	LE 65x65x6	1827,6
Total		3302,93

1	LE 80x80x6	41,63
2	LE 100x100x10	1433,69
3	LE 65x65x6	1827,6
Total		3302,93

Sesuai dari hasil perhitungan volume pekerjaan, didapatkan berat total penampang model Lattice, tanpa sambungan adalah sebesar 3302,93 kg.

Tabel 2. Berat penampang model Monopole.

No	Section	Weight (kG)
1	PIP 500x14	2014,46
2	PIP 406.4x12.7	740,11
3	PIP609.6x14	1234,31
Total		3988,88

Sesuai dari hasil perhitungan volume pekerjaan, didapatkan berat total penampang model Monopole, tanpa sambungan adalah sebesar 3988,88 kg.

Perbandingan berat antara tower model Lattice dan model Monopole cukup besar, sekitar 17%, dan defleksi yang dihasilkan lebih baik dengan model Lattice yaitu sekitar 0,021 m, hampir 10 kali lipat dibandingkan dengan Model Monopole sebesar 0,213 m.

4. KESIMPULAN

Berikut adalah hasil dari penelitian perbandingan tower PLTB model lattice dan monopole :

- Optimalisasi profil penampang tower PLTB model Lattice dan Monopole pada software RSAP 2024 berdasarkan nilai kapasitas penampang optimum didapatkan jika pada tower model Lattice menggunakan profil baja siku ukuran 80x80x6, 100x100x10 dan 65x65x6. Pada hasil optimalisasi profil penampang tower PLTB model monopole dihasilkan profil pipa dengan dimensi 500x14, 406,4 x 12,7 dan 609,6x14 mm.
- Hasil defleksi yang dihasilkan pada beban kombinasi maksimal untuk tower model lattice adalah 0,021 m nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan model monopole yang didapatkan hasil defleksi maksimum sebesar 0,213 m, keduanya memiliki nilai dibawah defleksi maksimum izin sebesar 0,24 m.
- Hasil berat total penampang model lattice adalah sebesar 3302,93 kg, sementara berat tower PLTB model monopole adalah sebesar 3988,88 kg. Perbandingan berat antara tower model Lattice dan model Monopole cukup besar, sekitar 17%, dan defleksi yang dihasilkan lebih baik dengan model Lattice yaitu sekitar 0,021 m, hampir 10 kali lipat dibandingkan dengan Model Monopole sebesar 0,213 m.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. D. Harijanto, K. Kuntjoro, S. Saptarita, and S. K. [1] H. Judul *et al.*, “PADA MENARA TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL RANGKA BATANG BAJA TINGGI 30 M,” 2016.
- [2] V. R. Yandri, “Prospek Pengembangan Energi Surya Untuk Kebutuhan Listrik Di Indonesia,” *J. Ilmu Fis. / Univ. Andalas*, vol. 4, no. 1, pp. 14–19, 2012, doi: 10.25077/jif.4.1.14-19.2012.
- [3] P. Siagian and Fahreza, “Rekayasa Penanggulangan Fluktuasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Vehicle to Grid (V2G),” *Semin. Nas. Teknol. Komput. Sains*, pp. 356–361, 2020, [Online]. Available: <https://prosiding.seminar-id.com/index.php/sainteks>.
- [4] U. K. N, P. Bharath, and M. F. Iyaz, “Design and Analysis of 2-Mw Wind Turbine Tower,” *Int. J. Mech. Prod. Eng.*, no. 410, pp. 2320–2092, 2016, [Online]. Available: http://www.iraj.in/journal/journal_file/journal_pdf/2-302-147833002313-17.pdf.
- [5] A. Das, “Modelling and Analysis of Lattice Towers for Wind Turbines,” *Int. J. Sci. Res.*, vol. 4, no. 4, pp. 999–1003, 2015, [Online]. Available: <https://www.ijsr.net/archive/v4i4/SUB153189.pdf>.
- [6] B. Gencturk, A. Attar, and C. Tort, “Optimal Design of Lattice Wind Turbine Towers,” *15 Wcee*, 2012, [Online]. Available: https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_0582.pdf.
- [7] M. C. Tenorio, U. F. De Alagoas, M. A. A. Cavalcante, and U. F. De Alagoas, “Optimized Structural Design of Lattice Towers for Wind Turbines Optimized Structural Design of Lattice Towers for Wind Turbines,” no. February, 2021.
- [8] A. M. Tah, “Comparison of Various Bracing System for Self-Supporting Steel Lattice Structure Towers,” *Am. J. Civ. Eng.*, vol. 5, no. 2, p. 60, 2017, doi: 10.11648/j.ajce.20170502.11.
- [9] H. Purwanto, F. Rifalka, and K. Kunci, “DAN BIAYA PELAKSANAAN PEMBANGUNAN,” vol. 1, pp. 20–30, 2016.
- [10] BSN, “Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain,” *Badan Standarisasi Nas.* 17272020, no. 8, pp. 1–336, 2020.
- [11] S. N. I. Iec, “Turbin angin Bagian 2 : Persyaratan rancangan turbin angin skala kecil,” 2016.