

OPTIMAL WIND TURBINE PLACEMENT FOR PUSAT PEMBELAJARAN ARNTZ-GEISE 2 UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN, BANDUNG TO PRODUCE CLEAN ENERGY YEAR-ROUND.

¹Samuel Gideon, Ir. ²Mimie Purnama, M.T.

¹ Student in the Undergraduate's (S-1) Study Program in Architecture at Parahyangan Catholic University

² Senior lecturer in the Undergraduate's (S-1) Study Program in Architecture at Parahyangan Catholic University

Abstract-In today's climate condition, green building technology is no longer a luxury but a necessity. Wind is one of the natural resources that we can harvest using wind turbines to generate clean energy. Unfortunately, winds that blow in cities on tropical countries tend to have less speed than ones that blow in other climates and areas. Fortunately, wind speed can be manipulated through building orientation and forms to produce high speed winds that can be used by wind turbines to generate clean energy. There are many wind phenomena that occur due to building orientation and form, some of these phenomena are: Wind Tunnel Effect, Cumulative Effect, and winds on the peaks of buildings. Other than that, buildings that have sharp edges tend to produce higher wind speeds than those that have curved edges. Pusat Pembelajaran Arntz-Geise 2 (PPAG 2) UNPAR, Bandung is a building that can produce these 4 phenomena in order to generate high speed winds through its form and orientation. This evaluative research will analyze PPAG 2's form against winds that it will experience and evaluate where in the building are optimal spots to install wind turbines. The wind data that will be used is a daily data throughout 2021. Those data will then be used as a base for wind simulations using the Computational Fluid Dynamics (CFD) Software. The results from the simulation will be analyzed to determine the optimal placements of wind turbines in order for PPAG 2 to generate clean energy year-round.

The result of this research says that all outer edges of PPAG 2 is suitable for wind turbine placements, along with the top of both towers and the bridge connecting the northern and southern tower.

Keywords: Wind Turbine, PPAG 2, placement, year-round, clean energy

1

Corresponding Author: 6111801215@student.unpar.ac.id

2

PENEMPATAN TURBIN ANGIN OPTIMAL UNTUK GEDUNG PUSAT PEMBELAJARAN ARNTZ-GEISE 2 UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN, BANDUNG UNTUK MENGHASILKAN ENERGI BERSIH SEPANJANG TAHUN

³Samuel Gideon, Ir. ⁴Mimie Purnama, M.T.

¹Mahasiswa S1 Program Studi Arsitektur Universitas Katolik Parahyangan

²Dosen Pembimbing S1 Program Studi Arsitektur Universitas Katolik Parahyangan

Abstrak- Dalam kondisi iklim dunia sekarang, bangunan yang hemat energi bukan lagi sebuah kemewahan tetapi sebuah kebutuhan. Angin adalah salah satu sumber daya alam yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi bersih; akan tetapi pada negara tropis, angin yang bertiup di perkotaan mempunyai kecepatan yang sangat kecil dibanding angin di iklim dan kawasan lain. Untungnya, angin dapat dimanipulasi oleh bentuk bangunan untuk menghasilkan kecepatan yang tinggi agar dapat digunakan untuk menghasilkan energi bersih melalui turbin angin. Banyak fenomena angin yang dapat dihasilkan berdasarkan orientasi dan bentuk bangunan, beberapa dari fenomena itu adalah *Wind Tunnel Effect*, *Cumulative Effect*, dan Angin Puncak Bangunan. Selain itu, bentuk bangunan yang bersudut akan menghasilkan kecepatan angin yang tinggi. Gedung Pusat Pembelajaran Arntz-Geise 2 (PPAG 2) UNPAR, Bandung mempunyai orientasi dan bentuk yang dapat menghasilkan fenomena-fenomena tersebut untuk menghasilkan angin yang kencang.

Penelitian ini yang bersifat evaluatif akan menganalisa bentuk bangunan PPAG 2 terhadap angin yang akan dialaminya menilai penempatan turbin angin yang optimal pada gedung PPAG 2. Data angin yang akan digunakan adalah data angin sepanjang tahun 2021. Data tersebut lalu akan digunakan untuk mensimulasikan angin terhadap bangunan PPAG melalui *software* Computational Fluid Dynamics (CFD). Hasil dari simulasi akan dianalisa untuk menentukan titik letak turbin angin yang optimal agar bangunan dapat menghasilkan energi bersih sepanjang tahun.

Hasil dari penelitian ini mengatakan bahwa titik letak turbin angin yang optimal adalah pada semua sudut luar bangunan, area jembatan penyebrangan gedung selatan dan utara, dan pada puncak atap gedung utara dan selatan.

Kata-kata kunci: Turbin angin, PPAG 2, titik letak, Sepanjang tahun, Energi bersih

1. PENDAHULUAN

Dalam kondisi iklim dunia sekarang, teknologi green building bukan lagi sebuah kemewahan bangunan tetapi aspek yang harus diterapkan. Karena menurut Lawrence Berkley National Laboratory bangunan menggunakan 39% dari total energi yang digunakan dunia. Teknologi hijau sudah ditemukan untuk membantu memenuhi kebutuhan energi bangunan dengan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbarui. Turbin angin dan panel surya digunakan untuk menghasilkan energi sedangkan sistem *smart building* yang menggunakan *artificial intelligence* digunakan untuk mengurangi penggunaan energi bangunan. Kemajuan teknologi hijau ini semakin canggih, seperti panel surya yang transparan agar tidak lagi menghalangi view bangunan dan turbin angin yang menggunakan *vertical axis* agar tidak lagi memerlukan tower yang tinggi untuk menopang mesin turbin angin tersebut dan dapat memanfaatkan angin dari segala arah tanpa harus ada pengendalian oleh controller. Tetapi ada kelemahan dari kedua teknologi tersebut: Solar panel tidak bisa menghasilkan energi pada malam hari dan penghasilan energi tergantung dengan cuaca; sedangkan angin di area urban seringkali terhalang oleh bangunan sehingga kecepatan angin tidak cukup untuk menghasilkan energi.

Untungnya, kecepatan angin dapat dimanipulasi melalui bentuk, orientasi, bukaan, dan ketinggian bangunan. Selain itu, angin tetap bertiup pada malam hari sehingga energi yang dihasilkan pada malam hari dapat disimpan untuk penggunaan hari esok. Sifat angin yang mempunyai kecepatan tinggi di elevasi tinggi membuat bangunan-bangunan highrise, bangunan yang membutuhkan energi besar, mempunyai potensi untuk menghasilkan energi melalui angin tersebut. Gedung Pusat Pembelajaran Arnt-Geise 2 (PPAG 2) UNPAR Bandung mempunyai beberapa elemen yang dapat memanipulasi kecepatan angin dari orientasi massa yang dapat menimbulkan *wind tunnel effect* sampai bentuk bangunan dan façade yang dapat menghasilkan *cumulative effect*. Maka dari itu, penelitian ini akan menganalisa bentuk bangunan PPAG 2 terhadap angin yang ada untuk mencari tahu apakah bentuk bangunan PPAG 2 dapat menghasilkan angin yang cukup kencang agar dapat digunakan turbin angin untuk menghasilkan energi bersih atau tidak. Setelah itu, penelitian juga akan mencari peletakan wind turbine yang optimal.

2. KAJIAN TEORI ANGIN TERHADAP BANGUNAN

2.1 Angin

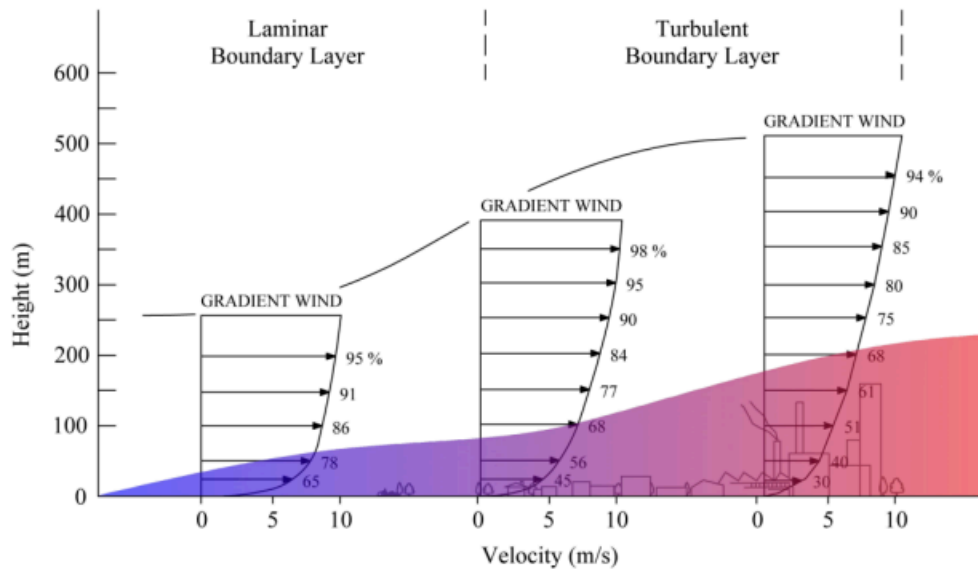
Angin adalah fenomena dimana udara bergerak yang disebabkan oleh perbedaan tekanan. Tekanan yang dimaksud adalah tekanan atmosphere, bukan tekanan udara. Udara berada di daerah dengan tekanan tinggi akan mengalir kepada daerah yang mempunyai tekanan yang rendah. Perbedaan tekanan ini dikarenakan oleh perbedaan suhu yang disebabkan oleh pergerakan matahari, menghasilkan pergerakan udara yang konstan

2.1.1 Angin Urban

Angin urban adalah angin yang berada di perkotaan. Angin urban tetap mengikuti prinsip pergerakan angin yang dihasilkan oleh perbedaan tekanan

atmosphere. Daerah kota menghasilkan panas yang lebih dibanding wilayah sekitarnya, udara panas yang dihasilkan dari kendaraan dan bangunan sekitar akan naik dan udara dingin dari wilayah suburban akan meniup menuju kota untuk menggantikan udara panas yang telah naik.

Karena kota mempunyai banyak halangan, kecepatan angin dibawah skyline kota cenderung rendah. Tetapi angin yang berada di atas skyline kota dan tidak terpengaruhi oleh halangan seperti bangunan mempertahankan kecepatannya. Angin ini disebut angin Urban Boundary Line (UBL).



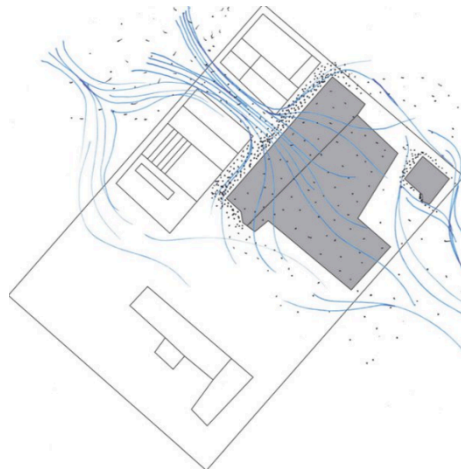
Gambar 1: Urban Boundary Line (UBL). Sumber: Abdollah Baghaei Daemei (11)

2.2 Efek Angin Terhadap Bangunan

2.2.1 Wind Tunnel Effect

Perbedaan tekanan udara tidak hanya dapat disebabkan oleh suhu udara tetapi dapat dihasilkan juga oleh efek Wind Tunnel. Fenomena Wind Tunnel Effect terjadi saat angin mengalir melalui suatu daerah yang sempit. Daerah yang sempit ini menjadi daerah dengan tekanan yang rendah karena angin terperangkap di sebuah area yang kecil; sedangkan daerah sekitarnya menjadi area dengan tekanan tinggi. Maka dari itu, laju angin akan dipercepat saat melalui “Tunnel” ini.

Optimal Wind Turbine Placement For Pusat Pembelajaran Arntz-Geise 2 Universitas Katolik Parahyangan Bandung To Generate Clean Energy Year-Round

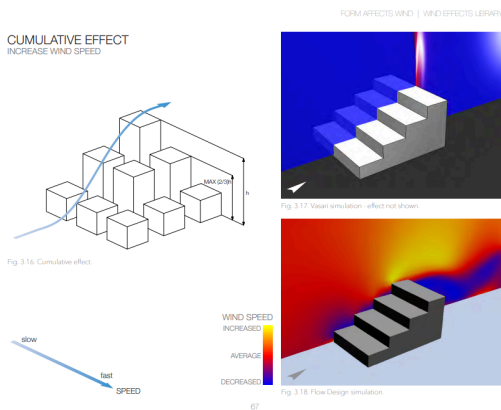


Gambar 2: Wind Tunnel Effect. Sumber: Sasank Kormala, *Quora.com*

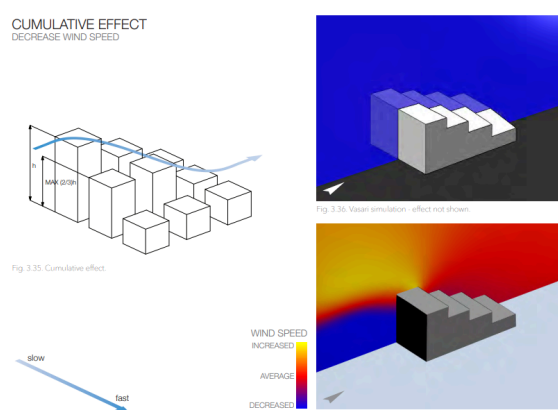
Dalam konteks Arsitektur, Fenomena Wind Tunnel Effect ini sering terjadi ketika angin menabrak sebuah bangunan dan berganti arah menuju daerah sempit tersebut – seringkali daerah sempit ini terjadi karena jarak antar bangunan yang padat

2.2.2 Cumulative Effect

Menurut hasil simulasi Stephanie Flemmings, Cumulative Effect adalah fenomena angin yang dapat mempercepat atau memperlambat kecepatan angin. Fenomena ini terjadi saat angin bertiup menuju orientasi bangunan yang berundak-undak. Kecepatan meningkat Ketika angin bertiup kepada arah orientasi yang berundak (pendek ke tinggi) tetapi diperlambat jika angin bertiup kepada arah yang berlawanan (tinggi ke pendek).



Gambar 3: Cumulative Effect (Fleming 91)

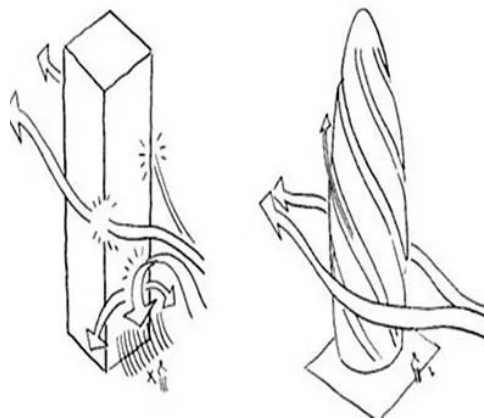


Gambar 4: Cumulative Effect, (Fleming 97)

2.3 Bentuk Bangunan

Bangunan yang mempunyai bentuk tajam dan lancip akan menghasilkan kecepatan angin yang lebih kencang dibanding bangunan yang mempunyai permukaan

yang lengkung. Bentuk persegi yang kaku akan menimbulkan pergantian arah angin yang mendadak sedangkan bentuk yang halus atau bundar dapat mengarahkan angin ke sisi lain bangunan. Tetapi untuk bentuk dengan sudut tajam, percepatan angin hanya terjadi pada titik sudut tersebut dan angin bertiup jauh dari titik tajam tersebut, sedangkan bentuk yang lengkung walau percepatan angin kurang dibandingkan dengan sudut tajam, kecepatan tetap konsisten pada selubung bangunan



Gambar 5: Bentuk Bangunan Terhadap Angin. Sumber: *brandondonelly.com*

3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah Evaluatif. Penelitian ini akan mensimulasikan Gedung PPAG 2 dengan software simulasi angin CFD untuk mempelajari efek bentuk bangunan terhadap angin. Penelitian ini bersifat evaluative dengan mempertimbangkan dan mengkritik bentuk bangunan apakah cocok dan dapat dimanfaatkan oleh turbin angin untuk menghasilkan energi bersih

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1 Tempat Penelitian

Penelitian akan dilakukan pada bangunan Pusat Pembelajaran Arntz-Geise 2 (PPAG 2) UNPAR yang berada di Ciumbuleuit, Bandung.

3.2.2 Waktu Penelitian

Penelitian akan dilakukan sepanjang semester ganjil 2022/2023 yaitu dari Oktober 2022 sampai dengan Januari 2023.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Untuk pengumpulan data teori, data angin, akan dilakukan studi literatur dari penelitian atau makalah yang telah dibuat sebelumnya dan website. (Jurnal, BMKG,

earth.nullschool.net, dll). Untuk simulasi angin dan efek angin terhadap bangunan akan dilakukan melalui *software* CFD.

Untuk data bangunan akan dilakukan survey objek bangunan PPAG 2 dan juga mencari data atau gambar kerja bangunan untuk membuat model 3d yang akan digunakan untuk simulasi.

3.4 Tahap Analisa Data

Analisa data untuk menjawab pertanyaan penelitian akan dilakukan sebagai berikut:

1. Mengambil data kecepatan angin melalui earth.nullschool.net
2. Mencari teori dan penelitian tentang efek bentuk bangunan terhadap angin melalui scholar.google.com
3. Mencari data dan menganalisa PPAG 2
4. Simulasi model menggunakan CFD

3.5 Tahap Penarikan Kesimpulan

Dari hasil simulasi bentuk bangunan PPAG2, kesimpulan dapat membantu menjawab pertanyaan penelitian.

4. ANALISIS

4.1 Analisa Hasil Simulasi:

Berdasarkan simulasi melalui aplikasi CFD, semua fenomena angin yang telah dibahas pada objek studi Bahrain World Trade Center, Pearl River Tower, Strata SE1, dan Hess Tower ada pada bangunan PPAG 2 ini.

Cumulative Effect:

Fenomena *Cumulative Effect* yang mempercepat kecepatan angin terjadi saat angin menabrak bagian gedung dengan ketinggian yang berundak. Dalam kasus gedung PPAG 2 ini, fenomena ini terjadi pada bulan Januari – April, November, dan Desember.

Untuk bulan Januari dan Februari, *Cumulative Effect* terjadi saat angin menabrak podium bangunan lalu gedung selatan.

Pada bulan Maret, *Cumulative Effect* terjadi saat angin menabrak podium bangunan lalu gedung utara.

Pada bulan April, *Cumulative Effect* terjadi saat angin menabrak gedung selatan lalu gedung utara dan juga saat angin menabrak jembatan dan gedung utara.

Selanjutnya, untuk *Cumulative* yang mengurangi kecepatan angin terjadi pada bulan Mei dan September.

Pada bulan Mei dan September, *Cumulative Effect* terjadi saat angin menabrak bangunan utara dan kecepatan angin di antara 2 menara berkurang

Wind Tunnel Effect:

Pada Gedung PPAG 2, wind tunnel effect seringkali terjadi pada lantai 3 dan jembatan penyebrangan. Fenomena ini terjadi sepanjang tahun. Angin yang mengalir diantara 2 gedung mempunyai kecepatan yang tinggi dan kecepatan tersebut dipercepat

pada area jembatan: bagian atas dan bagian bawahnya. Kecepatan pada bagian atas jembatan cenderung lebih cepat karena fenomena angin puncak bangunan.

Sayangnya, khusus untuk bulan November, *Wind Tunnel Effect* hanya terjadi pada area terbuka gedung utara di lantai 3 dan kecepatan angin pada area itu tidak secepat angin di bulan lainnya.

3. Angin Puncak Bangunan:

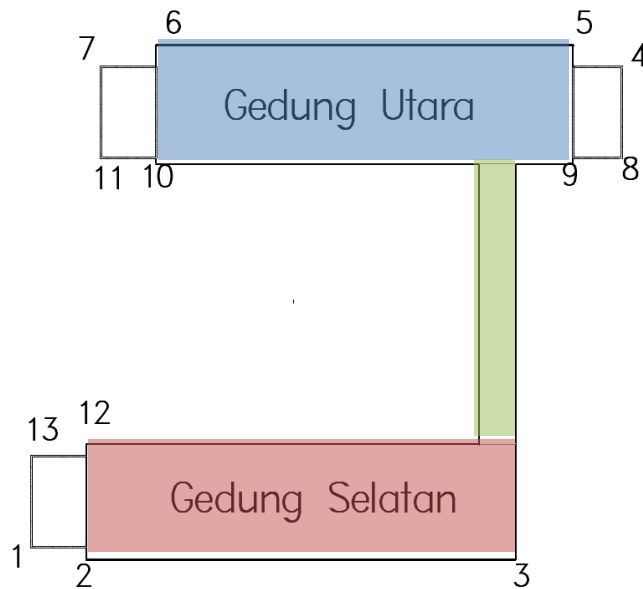
Fenomena angin puncak bangunan terjadi sepanjang tahun. Fenomena ini terjadi pada puncak podium bangunan (lantai 3), jembatan penyebrangan, puncak atap gedung selatan (lantai 10), dan puncak atap gedung utara. Kecepatan terendah terjadi pada podium bangunan dan kecepatan tercepat terjadi pada area jembatan dan puncak gedung selatan, tergantung bulanya.

Hal yang menarik dari hasil simulasi ini, kecepatan pada puncak gedung selatan lebih cepat dibanding pada puncak gedung utara walaupun menurut teori, bangunan yang lebih tinggi akan menghasilkan angin yang lebih kencang.

4. Bentuk Bangunan:

Bentuk bangunan mempengaruhi bagaimana angin akan mengalir saat menabrak bangunan. Dalam kasus PPAG 2 ini karena bentuk bangunan yang cenderung bersudut dan lancip, angin akan dipercepat pada sisi yang lancip dibanding dengan bentuk yang lengkung.

Fenomena ini terjadi sepanjang tahun tetapi sisi yang terkena angin tergantung kepada bulan nya. Berdasarkan hasil data simulasi, sudut bangunan yang mengalami angin kencang terbanyak, 9 bulan dari 12, adalah sudut #9.



Gambar 6: Penamaan Sudut bangunan

Tabel Efektifitas Perletakan Turbin.

Mengalami Angin $\geq 1.2\text{m/s}$ dan Diatas														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Jembatan

Optimal Wind Turbine Placement For Pusat Pembelajaran Arntz-Geise 2 Universitas Katolik Parahyangan Bandung To Generate Clean Energy Year-Round

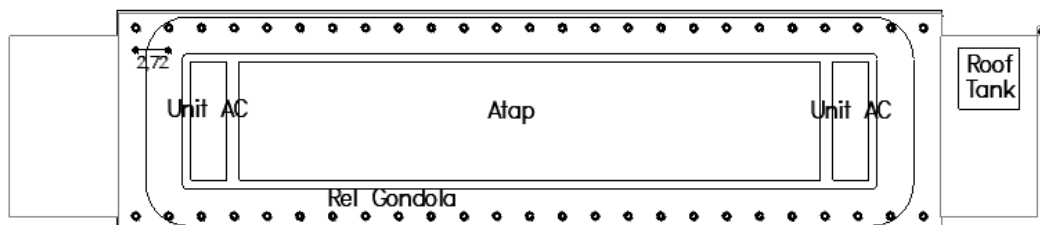
Januari	■			■	■	■	■			■	■	■	■	
Februari	■			■	■	■	■			■	■	■	■	
Maret			■				■						■	
April	■	■		■										■
Mei			■					■						■
Juni			■	■										■
Juli			■	■										■
Agustus		■	■	■	■	■								■
September			■	■	■	■	■	■	■					■
Oktober			■			■		■						■
November	■		■	■				■			■			
Desember			■				■						■	■
Total	4	2	9	8	4	5	5	4	1	2	3	2	4	11
Efektifitas	33%	16%	75%	66%	33%	42%	42%	33%	10%	17%	25%	17%	33%	91%

Walau sudut bawah kanan mengalami angin kencang terbanyak, sudut lainya tetap dapat digunakan untuk penempatan turbin angin, terutama sudut luar: Sudut 1-7

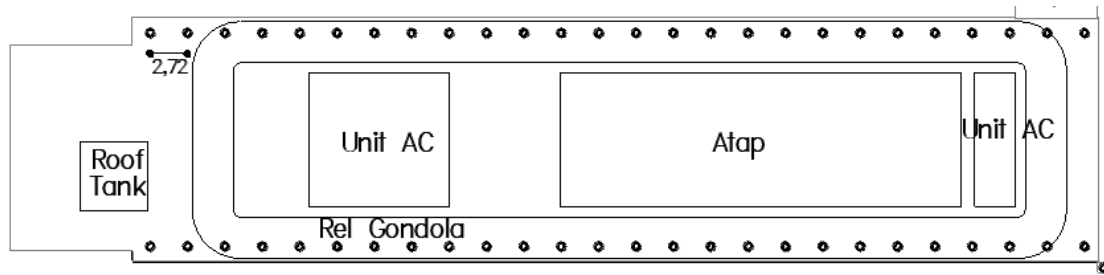
4.2 Jumlah Turbin Angin

Menurut data dari website Alpha 311 dan beberapa sumber artikel lainnya, model turbin angin Alpha 311 mempunyai diameter 68 cm dan mempunyai tinggi 2 meter. Menurut perusahaan Luvside, jarak antara turbin angin VAWT adalah 4-6x diameter baling-baling; maka dari itu, untuk analisa ini akan digunakan 4x diameter turbin angin yaitu sebesar 272cm jarak antar turbin angin.

Dengan menggunakan jarak penempatan tersebut, jumlah turbin angin yang dapat diletakan pada atap gedung utara adalah 50 buah dan pada atap gedung selatan dapat dipasang 52.

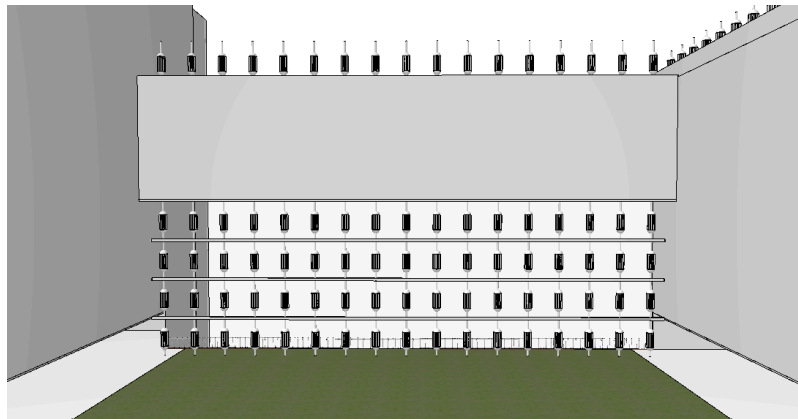


Gambar 7: Atap Gedung Utara



Gambar 8: Atap Gedung Selatan

Untuk area jembatan, 17 wind turbin dapat dipasang per lantai. Lantai efektif yang dapat digunakan pada area jembatan adalah lantai 3-6, dan lantai 10 maka $17 \times 4 = 68$ turbin angin.



Gambar 9: View Area Antara Gedung Selatan dan Utara

Terakhir adalah penempatan pada sudut bangunan. Berdasarkan data simulasi dan tabel 13, sudut 3 merupakan sudut yang terefektif. Oleh karena itu hanya sudut 3 yang akan dilengkapi dengan turbin per lantai, yaitu sejumlah 15 turbin

Total turbin yang dapat diletakan pada bangunan PPAG 2 sejumlah 185 unit.

4.3 Dampak Terhadap Aspek Arsitektural

Dampak utama yang akan terasa oleh pengguna PPAG 2 adalah keindahan bangunan dan view dari bangunan. Susunan turbin angin pada area jembatan PPAG 2 akan menghalangi view kepada arah timur bangunan. Selain itu, jika dilihat dari sisi timur luar bangunan, bagian antara gedung utara dan selatan akan dihalangi oleh turbin-turbin angin tersebut. Terakhir, pengguna lantai 3 dapat berinteraksi dengan turbin angin tersebut. Interaksi ini dapat menyebabkan kerusakan terhadap turbin angin dan juga merendahkan performa karena manusia dapat menghalangi laju angin.

Untuk aspek struktural, turbin angin tidak akan menjadi masalah karena beratnya yang sangat ringan, hanya 4 kilogram. Akan tetapi beban terhadap angin harus diperhatikan.

Untuk aspek audial juga tidak ada masalah. Menurut Alpha 311, turbin angin hanya menghasilkan suara sebesar 4 db per turbin.

4.4 Energi yang dihasilkan

Alpha 311 mengatakan bahwa kapasitas maksimal turbin angin dapat menghasilkan 6kW/h per jam dari angin dengan kecepatan 19 m/s. Alpha 311 menguji turbin angin tersebut dan hasil dari ujian tersebut mengatakan bahwa turbin dapat menghasilkan energi 2.5kW/h dari angin sebesar 5.4 m/s.

Dari 2 data tersebut, rata-rata turbin dapat menghasilkan energi sebesar 0.39 kW per 1m/s. Perhitungan sebagai berikut:

Data Kapasitas Maksimal

$$\frac{6 \text{ kW}}{19 \text{ m/s}} = 0.32 \text{ kW per m/s}$$

Data Uji

$$\frac{2.5 \text{ kW}}{5.4 \text{ m/s}} = 0.46 \text{ kW per m/s}$$

Rata-rata output turbin

$$0.46 + 0.32 = 0.78 / 2 = \underline{\mathbf{0.39}} \text{ kW per m/s}$$

Dari data tersebut dapat dihitung energi per bulan dengan cara mengkalikan jumlah turbin dengan kecepatan angin, kapasitas turbin, dan efektifitas perletakan tersebut. Lalu dijumlahkan total kapasitas turbin dan dikalikan oleh koefisien turbin angin Alpha 311.

Berikut tabel data tersebut (Tabel lengkap ada pada lampiran):

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni
Total Kapasitas Energi (kW)	84.1	94.6	47.3	57.8	47.3	36.8
Koefisien	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Energi per Jam (kWh)	25.2	28.4	14.2	17.3	14.2	11.0
Energi per Hari (kWh)	605.2	680.9	340.5	416.1	340.5	264.8
Energi per Bulan (kWh)	18,157.4 8	20,427.1 6	10,213.5 8	12,483.2 7	10,213.5 8	7,943.9 0

Bulan	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov	Des
Total Kapasitas Energi (kW)	47.3	52.5	68.3	47.3	52.5	47.3
Koefisien	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Energi per Jam (kWh)	14.2	15.8	20.5	14.2	15.8	14.2
Energi per Hari (kWh)	340.5	378.3	491.8	340.5	378.3	340.5

Energi per Bulan (kWh)	10,213.5 8	11,348.42	14,752.9 5	10,213.5 8	11,348.42	10,213.5 8
------------------------	---------------	-----------	---------------	---------------	-----------	---------------

Rata-rata per bulan	12,294.13 kWh
Rata-rata per tahun	147,529.56 kWh

Untuk menghitung penggunaan energi PPAG 2, akan digunakan tingkat Intensitas Konsumsi Energi (IKE) untuk kantor. Menurut laporan oleh Balai Besar Teknologi Konversi Energi (B2TKE), bangunan kantor menggunakan 180.95 kWh/m²/tahun. Gedung PPAG 2 mempunyai luas total ~39,700m². 39,700 x 180.95 = 7,183,715 kWh, maka PPAG 2 menggunakan energi sebesar 7.2 juta kWh per tahun. Lalu akan dihitung berapa persen energi yang dihasilkan oleh turbin angin dibanding dengan total pemakaian gedung. $147,529.56 / 7,183,715 = 0.02$; maka turbin angin menghasilkan sebesar 2% dari total energi yang digunakan bangunan per tahun.

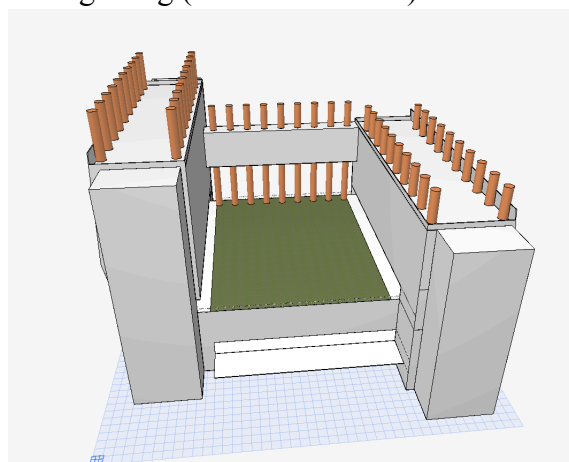
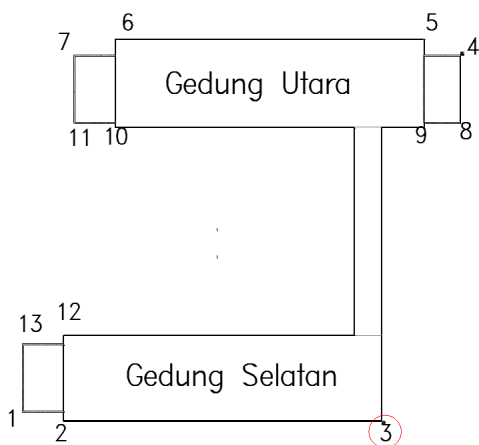
5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan Kemampuan PPAG 2 untuk Memanipulasi Angin

Berdasarkan hasil dari simulasi angin terhadap bangunan PPAG 2, PPAG 2 mempunyai bentuk dan orientasi yang baik karena dapat memanipulasi kecepatan angin. Kecepatan angin yang dialami PPAG 2 dapat meningkat sebesar 150-200% dalam titik-titik tertentu, yaitu puncak gedung utara dan selatan, area diantara gedung utara dan selatan, dan sudut-sudut bangunan; sesuai dengan teori-teori yang telah digunakan.

5.2 Kesimpulan Perletakan Turbin Angin Optimal

Berdasarkan data simulasi angin, titik pada bangunan dengan angin yang berkecepatan tinggi terjadi pada sudut bangunan, puncak bangunan, dan area jembatan. Maka dari itu, penempatan turbin angin yang optimal untuk menghasilkan energi sepanjang tahun adalah pada keempat sudut luar bangunan, area jembatan (bagian atas dan bawah jembatan), dan pada puncak kedua gedung (utara dan selatan).



Gambar 10: Penempatan Turbin pada Sudut Bangunan Bangunan dan Jembatan

Gambar 11: Penempatan Turbin pada Atap

Akan tetapi, untuk mengurangi biaya pemasangan dan pembelian unit turbin angin, khusus untuk sudut bangunan cukup menggunakan 1 sudut bangunan, sudut 3, karena berdasarkan hasil simulasi efektifitas angin pada sudut lain tidak baik (kurang dari 70%). Efektifitas sudut tersebut disebabkan oleh keseringan sudut tersebut mengalami angin kencang.

5.3 Kesimpulan Hasil Total Energi yang Dihasilkan Turbin Angin

Berdasarkan hasil simulasi, data angin, dan perhitungan penghasilan energi, dengan 185 unit turbin angin yang telah diinstal pada Gedung PPAG 2, jika setiap unit bekerja dengan optimal bangunan dapat menghasilkan energi sebesar 12,294.13 kWh per bulan dan 147,529.65 kWh per tahun. Sayangnya menurut Intesitas Konsumsi Energi (IKE) bangunan kantor, energi yang dihasilkan oleh turbin angin hanya 2% dari total penggunaan energi bangunan PPAG 2.

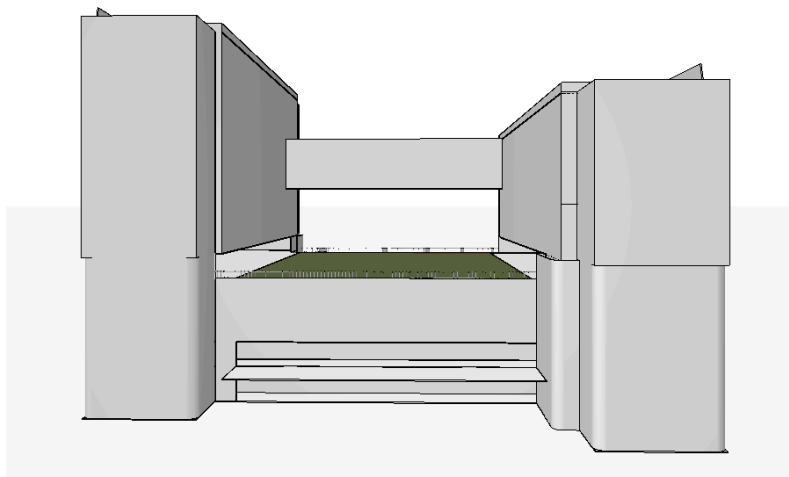
Karena bangunan tidak beroperasi 24 jam, disarankan untuk membuat ruang penampungan energi agar listrik yang dihasilkan pada jam-jam non operasional dapat disimpan untuk digunakan lagi.

5.4 Saran Bentuk Bangunan Untuk Menghasilkan Energi Melalui Angin

Terdapat 3 saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil simulasi dan teori yang telah dijabarkan untuk bentuk dan orientasi bangunan PPAG 2:

1. Menghasilkan angin menggunakan sudut tajam

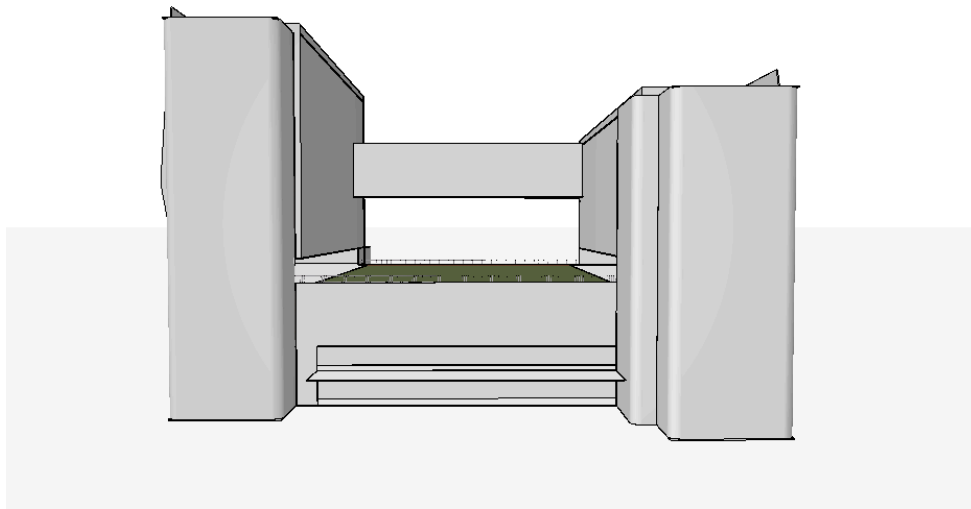
Disarankan membuat bangunan yang menggunakan sudut tajam pada area bangunan yang bebas dari aktifitas manusia untuk menghasilkan angin – turbin akan diletakan di sudut tajam tersebut. Untuk area yang terdapat aktifitas manusia tetap menggunakan sudut lengkung agar angin tidak mengganggu



Gambar 12: Hanya sudut area aktifitas lengkung.

2. Menghasilkan angin menggunakan wind tunnel

Sebaliknya, berdasarkan penelitian oleh Kang-Pyo Cho, Seung-Hwan Jeong, dan Dany Perwita Sari, perancang dapat menggunakan sudut lengkung untuk mengarahkan angin kepada satu tempat, menimbulkan efek wind tunnel, sebagai area pemanfaatan angin. Dengan keputusan ini, perancang dapat menghemat jumlah unit turbin yang digunakan, unit yang berada di sudut bangunan.

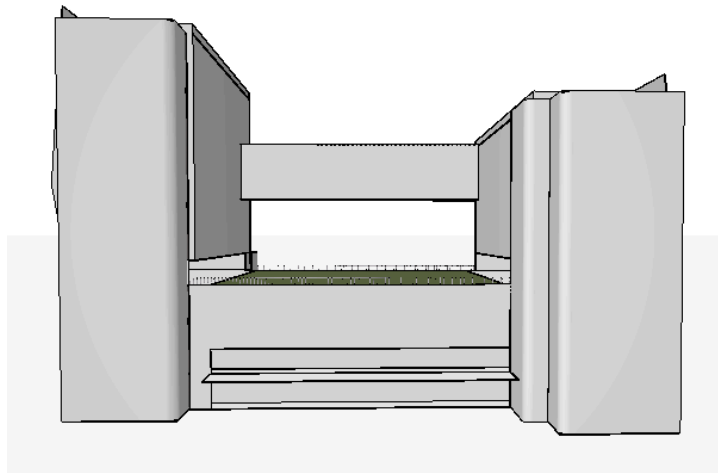


Gambar 13: Semua sudut lengkung

3. Menghasilkan angin dengan gabungan sudut tajam dan wind tunnel

Terakhir adalah gabungan dari kedua saran tersebut dimana khusus untuk sudut yang berada diantara 2 gedung (Utara dan Selatan) diberi sudut lengkung, sedangkan sudut luar bangunan diberi sudut yang tajam. Penerapan saran ini sudah mempertimbangkan kenyamanan manusia yang ada pada area wind tunnel. Mereka tidak akan mengalami angin kencang yang dihasilkan sudut tajam.

Optimal Wind Turbine Placement For Pusat Pembelajaran Arntz-Geise 2 Universitas Katolik Parahyangan Bandung To Generate Clean Energy Year-Round



Gambar 14: Sudut luar tajam, Sudut dalam lengkung

6. DAFTAR PUSTAKA

- Alaghmandan, M., Elneimeiri, M., Krawczyk, R. J., & Buelow, P. von. (2016). Modifying Tall Building Form to Reduce Along-Wind Effect. *CTBUH Journal*, (2), 3–7. <https://doi.org/ctbuh.org/papers>
- Arch2O. (2022, April 13). *Pearl River Tower: SOM*. Arch2O.com. Retrieved October 26, 2022, from <https://www.arch2o.com/pearl-river-tower-som/>
- Architizer. (2020, December 13). *Pearl River Tower by Skidmore, Owings & Merrill (SOM)*. Architizer. Retrieved October 26, 2022, from <https://architizer.com/projects/pearl-river-tower/>
- B2TKE-BPPT. (2020). (rep.). *Benchmarking Specific Energy Consumption di Bangunan Komersil* (pp. 5–9). Tangerang Selatan, Jawa Barat: B2TKE-BPPT.
- Bahrain World Trade Center: Killa design*. Arch2O.com. (2022, October 22). Retrieved October 26, 2022, from <https://www.arch2o.com/bahrain-world-trade-center-kill-design/>
- Brookins, A. (2015, March 9). *The science of wind tunnels - where and why those harsh winds strike - WHY?*. The Science of wind tunnels - where and why those harsh winds strike. Retrieved October 26, 2022, from <https://why.org/segments/the-science-of-wind-tunnels-where-and-why-those-harsh-winds-strike/>
- Cho, K.-P., Jeong, S.-H., & Sari, D. P. (2011). Harvesting Wind Energy From Aerodynamic Design For Building Integrated Wind Turbines. *International Journal of Technology*, 3, 189–198. <https://doi.org/ISSN 2086-9614>

Optimal Wind Turbine Placement For Pusat Pembelajaran Arntz-Geise 2 Universitas Katolik Parahyangan Bandung To Generate Clean Energy Year-Round

- Daemei, A. B. (2018). Wind Tunnel Simulation on the Pedestrian Level and Investigation of Flow Characteristics Around Buildings. *Journal of Energy Management and Technology (JEMT)*, 3(1), 58–68.
- Elshaer, A., Bitsuamlak, G., & El Damatty, A. (2017). Enhancing wind performance of Tall Buildings using corner aerodynamic optimization. *Engineering Structures*, 136, 133–148. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.01.019>
- Fleming, S. (2015). *Buildings and wind: A software-based design methodology* (thesis). University of Waterloo, Ontario.
- Mohamed, A. I. M. M. (2012). *Effect of roof shape, wind direction, building height and urban configuration on the energy yield and positioning of roof mounted wind turbines* (thesis). University of Newcastle upon Tyne, Newcastle upon Tyne.
- Noor, I. F. (2018). *Perencanaan Turbin Angin Sebagai Penggerak Pompa Air Untuk Pengairan* (thesis). Universitas Muhammadiyah Malang, Malang.
- Saieh, N. (2010, July 25). *Strata SE1 / BFLS*. ArchDaily. Retrieved October 2, 2022, from <https://www.archdaily.com/70142/strata-se1-bfls>
- TWI. (2020, November 7). *What is green energy? (definition, types and examples)*. TWI. Retrieved October 26, 2022, from <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-green-energy#WhatisGreenEnergy>
- UN Climate Technology Centre & Network. (2016, November 8). *Building-integrated wind turbines*. Building-integrated wind turbines | Climate Technology Centre & Network | Tue, 11/08/2016. Retrieved October 26, 2022, from <https://www.ctc-n.org/technologies/building-integrated-wind-turbines>
- Wikiarquitectura. (2020, July 4). *Bahrain World Trade Center - Data, Photos & Plans - WikiArquitectura*. Bahrain World Trade Center. Retrieved October 26, 2022, from <https://en.wikiarquitectura.com/building/Bahrain-World-Trade-Center/>
- Wikimedia Foundation. (2022, December 10). *Hess Tower*. Wikipedia. Retrieved October 26, 2022, from https://en.wikipedia.org/wiki/Hess_Tower
- Wikimedia Foundation. (2022, November 9). *Angin*. Wikipedia. Retrieved October 26, 2022, from <https://id.wikipedia.org/wiki/Angin>
- Wikimedia Foundation. (2023, January 15). *Wind Turbine*. Wikipedia. Retrieved October 26, 2022, from https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine
- Wikimedia Foundation. (2023, January 22). *Wind speed*. Wikipedia. Retrieved October 26, 2022, from https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_speed
- YouTube. (2021). *A vertical axis wind turbine that doesn't need the prevailing wind | How do they do that*. YouTube. Retrieved October 26, 2022, from <https://www.youtube.com/watch?v=gcSnwW5v3f8>.

*Optimal Wind Turbine Placement For Pusat Pembelajaran Arntz-Geise 2 Universitas
Katolik Parahyangan Bandung To Generate Clean Energy Year-Round*

LAMPIRAN

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov	Des
Kecepatan Angin	1.6	1.8	0.9	1.1	0.9	0.7	0.9	1	1.3	0.9	1	0.9
Jumlah Turbin Atap	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102
Kapasitas per Turbin per m/s (kW)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Total Kapasitas Turbin (kW)	49.0	55.1	27.5	33.7	27.5	21.4	27.5	30.6	39.8	27.5	30.6	27.5
Efektifitas	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Hasil Akhir Kapasitas Total (kW)	48.96	55.08	27.54	33.66	27.54	21.42	27.54	30.6	39.78	27.54	30.6	27.54
Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov	Des
Kecepatan Angin	1.6	1.8	0.9	1.1	0.9	0.7	0.9	1	1.3	0.9	1	0.9
Jumlah Turbin Sisi	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Kapasitas per Turbin (kW)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Kapasitas per Turbin per m/s (kW)	7.2	8.1	4.1	5.0	4.1	3.2	4.1	4.5	5.9	4.1	4.5	4.1
Efektifitas	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%
Hasil Akhir Kapasitas Total (kW)	5.4	6.1	3.0	3.7	3.0	2.4	3.0	3.4	4.4	3.0	3.4	3.0

Optimal Wind Turbine Placement For Pusat Pembelajaran Arntz-Geise 2 Universitas Katolik Parahyangan Bandung To Generate Clean Energy Year-Round

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov	Des
Kecepatan Angin	1.6	1.8	0.9	1.1	0.9	0.7	0.9	1	1.3	0.9	1	0.9
Jumlah Turbin Jembatan	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
Kapasitas per Turbin per m/s (kW)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Total Kapasitas Turbin (kW)	32.6	36.7	18.4	22.4	18.4	14.3	18.4	20.4	26.5	18.4	20.4	18.4
Efektifitas	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%
Hasil Akhir Kapasitas Total (kW)	29.7	33.4	16.7	20.4	16.7	13.0	16.7	18.6	24.1	16.7	18.6	16.7