



Potensi Energi Angin pada Sisi Siku Atap Gedung Tinggi

Wind Energy Potential at The Angle Side of High Building Roof

Wildane Aryabathi*, Erwin Erwin dan Slamet Wiyono

Laboratorium Rekayasa Energi Baru Terbarukan, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten, Indonesia

Informasi artikel

Diterima:
27/06/2021
Direvisi:
30/06/2021
Disetujui:
02/07/2021

Abstract

Wind is moving air caused by the earth's rotation and also because of the difference in air pressure around it. The wind flows that occur include laminar flow and turbulent flow. Judging from the effect of spreading its direction, the wind that passes through a building, its flow will split into horizontal and vertical axes and pass along the geometry and structure of the building. This happens because the wind speed increases due to the increased wind pressure along the side of the building. Departing from this hypothesis, this research was conducted to compare the velocity potential on the angle side of the building roof with the speed at the top of the building (Rooftop) as a starting point for the development of new renewable energy engineering, especially wind energy. This experiment was conducted at the Dean Building of the Faculty of Engineering, Sultan Ageng Tirtayasa University, Cilegon, Banten. After conducting experiments with reference to the International Electrotechnical Commission (IEC) 61400-12-1 standard, this research found that on the angle side of the building the average and maximum velocity are higher than those on the roof of the building, also the wind energy potential is higher, amounting to $\geq 20.94\%$. In terms of Daily Wind Energy Potential, the elbow side of the building is proven to be more efficient with an increase in efficiency of 42.2%.

Keywords: wind, velocity, flow, side of building, efficiency.

Abstrak

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Aliran angin yang terjadi diantaranya adalah aliran laminar dan aliran turbulen. Ditinjau dari efek penyebaran arahnya, angin yang melintas pada sebuah bangunan alirannya akan terpecah menjadi sumbu horizontal dan vertikal, melintas sepanjang sisi geometri dan struktur bangunan tersebut. Hal ini terjadi dikarenakan kecepatan angin bertambah tinggi diakibatkan karena tekanan anginnya meningkat sepanjang melintas pada sisi gedung. Berangkat dari hipotesis tersebut penelitian ini dilakukan guna membandingkan potensi kecepatan angin pada sisi siku atap gedung dengan kecepatan pada atas gedung (*rooftop*) sebagai pijakan awal pengembangan rekayasa energi baru terbarukan khususnya pada energi angin. Eksperimen ini dilakukan di Gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten. Setelah dilakukan eksperimen dengan mengacu pada standar *International Electrotechnical Commission (IEC) 61400-12-1*, pada penelitian ini didapat bahwa pada sisi siku atap gedung kecepatan angin rata-rata dan maksimumnya lebih tinggi dibanding pada atap gedung, juga pada Potensi Energi Anginnya lebih tinggi sebesar $\geq 20.94\%$. Dalam hal Potensi Energi Angin Harian, pada sisi siku gedung terbukti lebih efisien dengan kenaikan efisiensi sebesar 42.2%.

Kata Kunci: angin, kecepatan angin, aliran, sisi gedung, efisiensi.

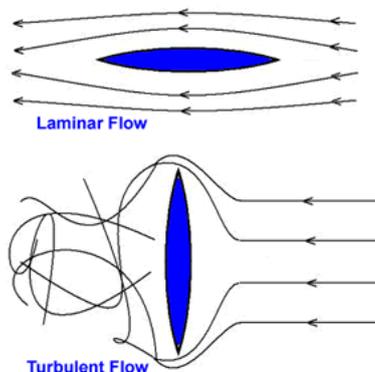
*Penulis Korespondensi. Tel: -; Handphone: +62 896 744 230 96
email : wildanebrilliant9@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Angin adalah aliran udara dalam jumlah yang besar diakibatkan rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke tempat bertekanan udara rendah (Pernando, dkk., 2017). Faktor terjadinya angin adalah tekanan angin, kecepatan angin dan waktu terjadinya pergerakan angin (Pernando, dkk., 2017).

Adapun karakteristik dari angin, yaitu angin yang sering berubah-ubah, sering terjadinya turbulensi, kecepatan bertambah terhadap ketinggian (energi sebanding dengan pangkat tiga kelipatan), Potensi aktual ditentukan oleh distribusi kecepatan angin (topografi) lokasi. Sedangkan kecepatan angin di daerah Cilegon, yaitu: 2 m/s - 8 m/s (Sutanto, 2019).

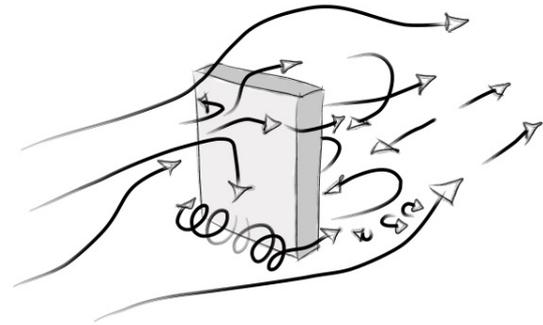
Efek aliran yang dihasilkan dari pergerakan angin (fluida) adalah aliran Laminar dan Turbulen (Cheng, dkk., 2021). Aliran laminar dan turbulen ini dibedakan berdasarkan pada karakteristik internal aliran (Azad, dkk., 2014). Umumnya klasifikasi ini bergantung pada gangguan-gangguan yang dapat dialami oleh suatu aliran yang mempengaruhi gerak dari partikel-partikel fluida tersebut (Haase, dkk, 2014; Haase dan Löfström, 2015). Perbedaan yang mendasar dapat dilihat pada gambar 1 antara aliran laminar dan turbulen adalah bahwa gerak olakan / acak pada aliran turbulen jauh lebih efektif dalam pengangkutan massa serta momentum fluidanya daripada gerak molekulernya (Faruk dan Kamiran, 2012; Sukkiramathi dan Sessaiah, 2020).



Gambar 1. Bentuk aliran yang terjadi pada suatu hambatan

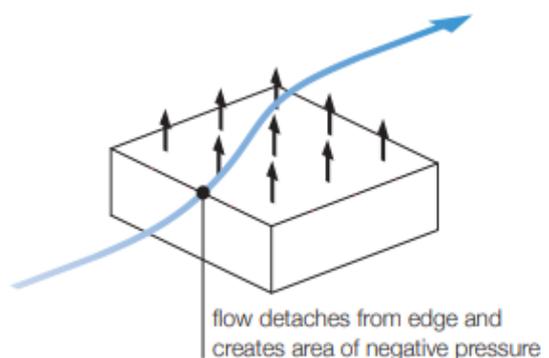
Menurut Stephanie Fleming (Fleming, 2015) pada saat angin berhembus pada sisi bangunan, angin akan meningkat lebih besar

kecepatannya pada periode yang singkat, karena disebabkan oleh tekanan angin yang tidak stabil, yang merupakan hasil dari turbulensi angin atau pemisahan aliran angin dari permukaan bangunan di tepi arah angin bangunan tersebut (lihat gambar 2).



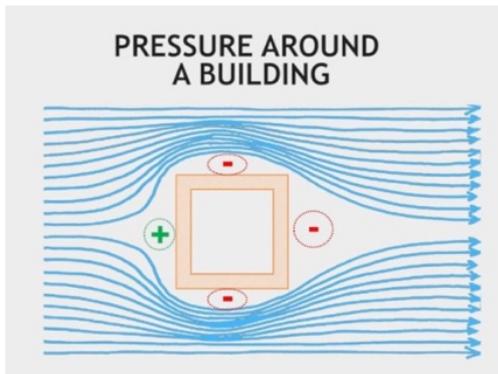
Gambar 2. Arah aliran angin melintas di sekitar gedung

Semakin terbuka sebuah bangunan terhadap angin yang datang, semakin besar tekanan yang angin berikan pada bangunan, menyebabkan kecepatan anginnya bertambah. Umumnya, fitur (geometri) permukaan di sekitar bangunan melindunginya dari angin dan mengurangi beban angin yang bekerja di atasnya (*rooftop*) seperti ditunjukkan pada gambar 3 (Sari dan Kusumaningrum, 2014; Bošnjaković, 2013; Satwika, 2019). Namun fitur di sekitarnya terkadang bisa mempercepat aliran angin di sekitar sisi gedung, menyebabkan gedung respon terhadap angin menjadi lebih besar seperti pada gambar 4 (Stephanie, 2015; Bangalee, dkk., 2014; Guenoukpati, dkk., 2020; Bobrova, 2015).



Gambar 3. Aliran angin yang melintas pada Atas (*rooftop*) gedung

Gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (FT. Untirta) terletak di kota Cilegon, Provinsi Banten, dengan koordinat *latitude* yaitu - 5.996810 dan koordinat *longitude* yaitu 106.031020.



Gambar 4. Tekanan angin yang melintas di sekitar gedung

Bangunan ini dipilih sebagai media eksperimen pengambilan data potensi energi angin pada sisi siku gedung (lihat gambar 5).



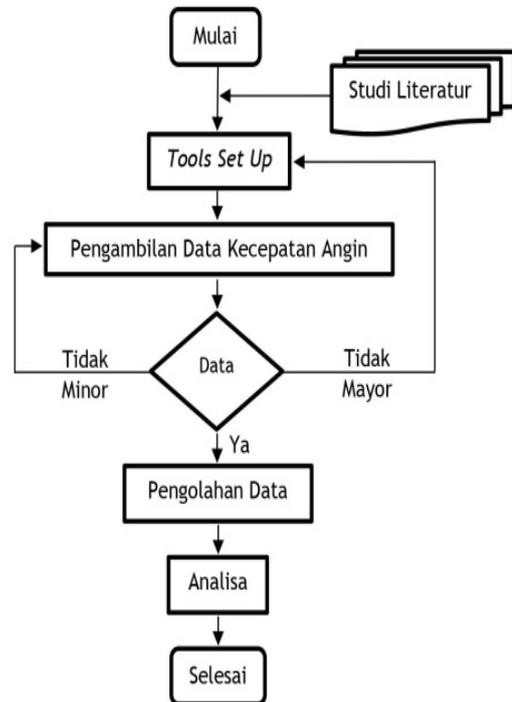
Gambar 5. Gedung dekanat FT. Untirta sebagai gedung eksperimen

Dengan meninjau belum adanya penelitian terhadap angka penambahan percepatan kecepatan angin, potensi dan efisiensi energi angin pada sisi gedung, penelitian ini dilakukan untuk membuktikannya, sebagai *novelty* (unsur kebaruan) dari penelitian Stephanie Fleming (Fleming, 2015). Dengan membandingkan potensi energi angin yang didapat pada sisi siku atap gedung terhadap potensi angin pada atas gedung (*rooftop*). Eksperimen ini dilakukan sebagai eksperimen awal pengembangan dan penelitian Rekayasa Energi Baru Terbarukan, khususnya pada potensi energi angin pada sisi gedung.

2. METODOLOGI

Adapun tahapan penelitian ini tergambar dalam diagram alir metode penelitian potensi energi angin pada sisi siku gedung seperti pada gambar 6, berikut adalah tahapannya:

- 1) *Tools Set Up* (Anemometer Cup, Arduino Mega, Software PLX-DAQ, Sensor Proximity)
- 2) Pengambilan Data Kecepatan Angin
- 3) Pengolahan Data
- 4) Analisa



Gambar 6. Metode penelitian potensi energi angin pada sisi siku gedung

Pengambilan data potensi energi angin pada sisi siku gedung Dekanat FT. Untirta dilakukan pada tanggal 18 September 2020 pada variasi jarak 15 cm dari sisi terluar gedung, 21 September 2020 untuk jarak 30 cm, serta pada 23 September 2020 untuk jarak 45 cm (lihat gambar 7). Eksperimen ini dimulai sejak pukul 06:30 WIB s/d 17:30 WIB. Juga pada tanggal yang sama, yakni 18 September 2020 dilakukan pengambilan data energi angin di atas gedung, data ini akan digunakan sebagai pembanding potensi energi angin pada sisi siku atap gedung dengan atas (*rooftop*) gedung.

Dengan menggunakan *Software* Arduino dan Program *PLX-DAQ* dan mengacu pada standar *International Electrotechnical Commission (IEC) 61400-12-1* pada *Wind Energy Generation System*, eksperimen ini dilakukan secara *Real Time* selama 8 (delapan) jam pada setiap variasi jaraknya dari sisi terluar gedung. Data yang didapatkan dari sensor merupakan data RPM anemometer tiap 10 detik (lihat gambar 8).



Gambar 7. Set up experiment pengambilan data kecepatan angin pada sisi siku gedung



Gambar 8. Anemometer cup sebagai tools pengambilan data kecepatan angin

Untuk mendapatkan nilai kecepatan angin digunakan persamaan sebagai berikut:
 $Velocity (v) = 0.2514 + (0.0228 \times n)$ (1)

Dimana:

- v = Kecepatan Angin (m/s)
- n = Kecepatan putaran (rpm)

Sedangkan untuk mendapat nilai energi angin digunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_w = \frac{\rho A v^3}{2} \quad (2)$$

Dimana:

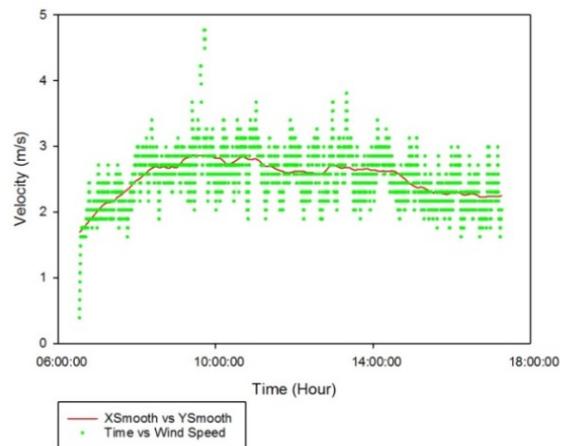
- P_w = Energi Angin (watt)
- ρ = Massa Jenis Udara (kg/m^3)
- A = Luas Sapuan Anemometer (m^2)
- v = Kecepatan Angin (m/s)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kecepatan Angin pada Sisi Siku Gedung

a) Kecepatan Angin pada jarak 15 cm

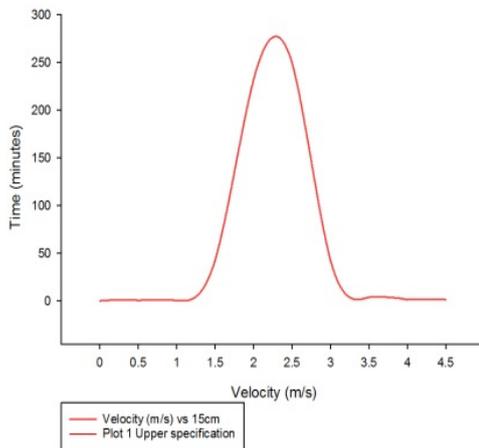
Berdasarkan gambar 8, dapat dilihat bahwa pada awal pengambilan data dilakukan yaitu pada jam 06:30 WIB, kecepatan angin dimulai dari 0.382 m/s dengan eskalasi kenaikannya perlahan dan berada di titik puncak pada pukul 09:53 WIB dengan kecepatan tertinggi yaitu 4.768 m/s. Frekuensi kecepatan angin cenderung konstan pada rentang 2.5 m/s. Terjadi penurunan frekuensi sejak jam 14:00 WIB, selesai pada jam 17:32 WIB (lihat tabel 1).



Gambar 8. Hasil rekaman data kecepatan angin jarak 15 cm pada sisi siku gedung

Tabel 1. Frekuensi kecepatan angin pada sisi siku gedung pada jarak 15 cm

Velocity (m/s)	Time (minutes)
0	0.16
0.5	0.67
1	0.83
1.5	43
2	232.16
2.5	250.16
3	42.83
3.5	4.16
4	1.5
4.5	1.5

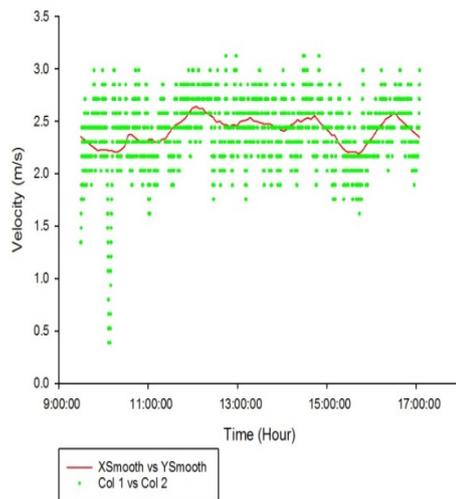


Gambar 9. Grafik Weibul rekaman data kecepatan angin jarak 15 cm pada sisi siku gedung

Gambar 9, menampilkan grafik Weibul rekaman data kecepatan angin jarak 15 cm pada sisi siku gedung.

b) Kecepatan Angin pada Jarak 30 cm

Dapat dilihat pada Gambar 10 bahwa kecepatan angin tertinggi didapati pada pukul 12:48 WIB dengan kecepatan 3.1242 m/s dan kecepatan angin terendahnya yaitu 0.382 m/s pada pukul 10:08 WIB (data lihat tabel 2). Pada gambar 10, rata-rata kecepatan anginnya yaitu 2.410 m/s.

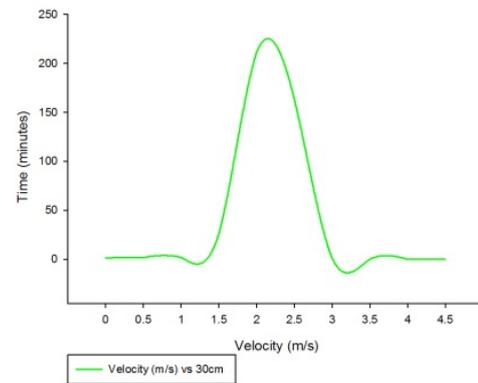


Gambar 10. Hasil rekaman data kecepatan angin jarak 30 cm pada sisi siku gedung

Gambar 11, menampilkan grafik Weibull rekaman data kecepatan angin jarak 30 cm pada sisi siku gedung.

Tabel 2. Frekuensi kecepatan angin pada sisi siku gedung pada jarak 30 cm

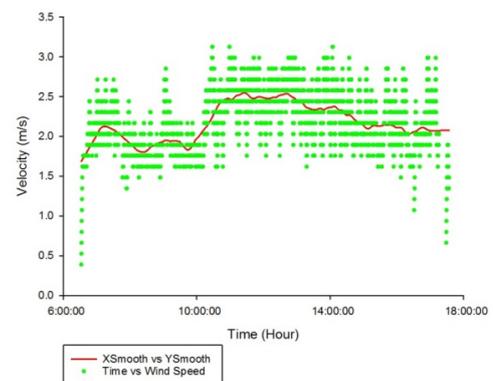
Velocity (m/s)	Time (Minutes)
0	1.16
0.5	1.67
1	1.83
1.5	26.16
2	211.33
2.5	163.50
3	1.50
3.5	0
4	0
4.5	0



Gambar 11. Grafik Weibul rekaman data kecepatan angin jarak 30 cm pada sisi siku gedung

c) Kecepatan Angin pada Jarak 45 cm

Dapat dilihat pada Gambar 12 bahwa kecepatan angin tertinggi didapati pada pukul 14:10 WIB dengan kecepatan 3.1242 m/s dan kecepatan angin terendahnya yaitu 0.382 m/s pada pukul 06:34 WIB (data detail lihat tabel 3).

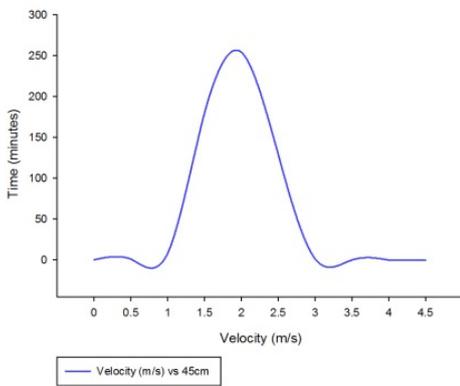


Gambar 12. Hasil rekaman data kecepatan angin jarak 45 cm pada sisi siku gedung

Tabel 3. Frekuensi kecepatan angin sisi gedung pada jarak 45 cm

Velocity (m/s)	Time (minutes)
0	0.167
0.5	1.16
1	8.16
1.5	180.33
2	254.33
2.5	129.83
3	1.50
3.5	0
4	0

Pada grafik gambar 12, frekuensi kecepatan angin cenderung konstan pada rentang kecepatan 1.8 m/s s/d 2.2 m/s. Gambar 13, grafik Weibul rekaman data kecepatan angin pada jarak 45 cm pada sisi siku gedung.



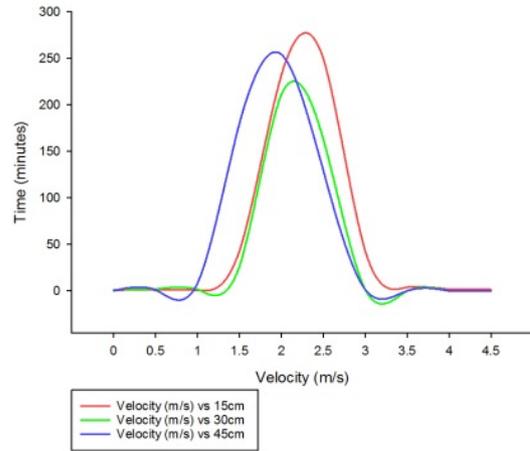
Gambar 13. Grafik Weibul rekaman data kecepatan angin pada jarak 45 cm pada sisi siku gedung

Karakteristik Kecepatan Angin pada Sisi Siku Gedung berdasarkan Variasi Jarak

Berdasarkan gambar 14 dapat dilihat, setelah dianalisa, dengan melihat aspek dari kecepatan rata-rata angin, kecepatan maksimum dan frekuensi kecepataannya dapat disimpulkan bahwa angin dengan jarak terdekat, yaitu: jarak 15 cm (grafik berwarna merah) dari sisi terluar gedung memiliki karakteristik paling baik (detail data dapat dilihat pada tabel 4), diikuti oleh karakteristik angin pada jarak 30 cm (warna hijau), lalu yang terakhir adalah 45 cm (warna biru).

Tabel 4. Karakter kecepatan angin

	Jarak 15 cm	Jarak 30 cm	Jarak 45 cm
Rata-rata	2.524 m/s	2.412 m/s	2.179 m/s
Min	0.3882 m/s	0.3882 m/s	0.3882 m/s
Maks	4.768 m/s	3.1242 m/s	3.1242 m/s



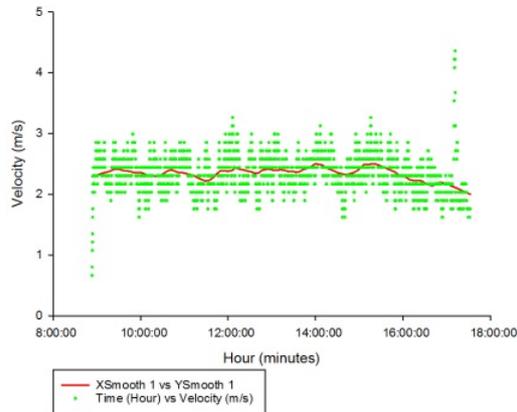
Gambar 14. Grafik Weibull kecepatan angin pada sisi siku setiap variasi jaraknya

Sehingga dapat disimpulkan bahwa, angin yang melintas sepanjang sisi gedung memiliki kecepatan lebih tinggi, maka dapat dipastikan Daya Angin (*Wind Power*) angin pada jarak terdekat dengan sisi gedung juga semakin tinggi. Maka, semakin jauh angin tersebut dari sisi siku gedung maka kecepataannya akan menurun seiring penambahan jaraknya semakin jauh. Hal ini terbukti benar sesuai referensi yang menjadi acuan penelitian ini seperti yang sudah dijelaskan pada pendahuluan, dengan *novelty* yang dibuktikan melalui angka berupa kecepatan angin.

Kecepatan Angin pada Atas (rooftop) Gedung

Dapat dilihat pada gambar 15, bahwa kecepatan angin pada atas gedung memiliki kecepatan rata-rata yaitu sebesar 2.18 m/s, dengan kecepatan maksimumnya yaitu sebesar 4.35 m/s terjadi pada pukul 14:49 WIB. Hal ini dapat diamati bahwa rata rata kecepatan angin pada atas gedung menjadi

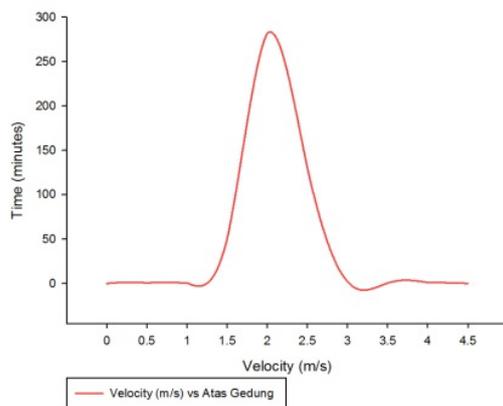
kecil, karena angin yang melintas pada atap gedung cenderung melengkung menjauhi *rooftop* gedung, sehingga kecepatannya menjadi berkurang (detail data dapat dilihat pada tabel 4).



Gambar 15. Hasil rekaman data kecepatan angin pada atas gedung

Tabel 4. Data kecepatan angin yang didapat pada atas gedung

Velocity (m/s)	Time (minutes)
0	0
0.5	0.33
1	0.5
1.5	50.33
2	281.66
2.5	130.16
3	2.33
3.5	0.33
4	1
4.5	0

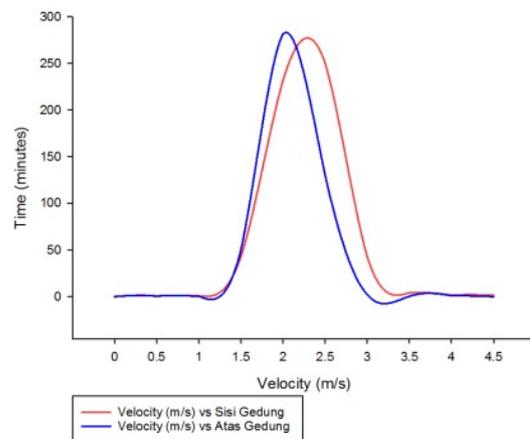


Gambar 16. Grafik Weibul rekaman data kecepatan angin pada atas gedung

Gambar 16, menampilkan grafik Weibul rekaman data kecepatan angin pada atas gedung.

Perbandingan Potensi Energi Angin

Meninjau dari perbandingan kecepatan angin antara di sisi siku dan atas gedung (gambar 17), dapat di lihat bahwa kecepatan angin pada sisi siku gedung (grafik merah) dengan jarak 15 cm memiliki potensi yang lebih baik daripada kecepatan angin di atas gedung (grafik biru). Dengan melihat variabel frekuensi yang didapat, kecepatan angin rata-rata pada sisi siku gedung yaitu bernilai 2.524 m/s dan memiliki durasi yang lebih lama, juga kecepatan tertinggi mencapai 4.76 m/s, lebih tinggi dibanding kecepatan maksimum pada atas gedung yang hanya mampu mencapai 4.35 m/s, dengan kecepatan rata-rata yaitu 2.334 m/s dan durasi yang lebih singkat.



Gambar 17. Grafik Weibul perbandingan kecepatan angin pada sisi siku dengan atas gedung

Dengan menggunakan *Anemometer Cup* yang diketahui luas penampang rotornya sebesar 0.0413 m² dan Massa Jenis udara (ρ_{udara}) sebesar 1.2 kg/m³. Dengan menggunakan persamaan 2, maka didapat nilai sebagai berikut:

- Kecepatan angin rata-rata sisi Gedung 2.524 m/s:

$$P = \frac{(1.2)(0.0314)(2.524)^3}{2} = 0.302 \text{ Watt}$$

- Kecepatan angin maksimum sisi gedung 4.768 m/s:

$$P = \frac{(1.2)(0.0314)(4.768)^3}{2} = 2.042 \text{ Watt}$$

- Kecepatan angin rata-rata atas gedung 2.334 m/s:

$$P = \frac{(1.2)(0.0314)(2.334)^3}{2} = 0.239 \text{ Watt}$$

- Kecepatan angin maksimum atas gedung 4.355 m/s:

$$P = \frac{(1.2)(0.0314)(4.355)^3}{2} = 1.556 \text{ Watt}$$

Sehingga, efisiensi kenaikan energi angin maksimum dan rata-rata angin di sisi siku atap dengan atas gedung adalah:

- Kenaikan efisiensi energi angin rata-rata Sisi gedung dengan atas gedung:

$$\Delta\eta P_{maks} = \frac{0.302 \text{ w} - 0.239 \text{ w}}{0.32 \text{ w}} \times 100\% = 20.94 \%$$

- Kenaikan efisiensi energi angin maksimum Sisi gedung dengan atas gedung:

$$\Delta\eta P_{maks} = \frac{2.042 \text{ w} - 1.556 \text{ w}}{2.042 \text{ w}} \times 100\% = 23.80 \%$$

Tabel 5. Perbandingan potensi energi angin sisi siku dengan atas gedung

	Sisi Gedung	Atas Gedung
v_{maks}	4.768 m/s	4.355 m/s
$v_{rata-rata}$	2.524 m/s	2.334 m/s
P_{maks}	2.042 Watt	1.556 Watt
$P_{rata-rata}$	0,302 Watt	0,239 Watt
$\Delta\eta P_{maks}$	Sisi Siku Gedung $\geq 23.80\%$	
$\Delta\eta P_{rata-rata}$	Sisi Siku Gedung $\geq 20.94\%$	

Tabel 5 menampilkan nilai perbandingan potensi energi angin sisi siku dengan atas gedung dari perhitungan yang dilakukan.

Perbandingan Potensi Energi Angin Harian Sisi Siku Gedung dengan Atap Gedung

Dengan menggunakan standar *International Electrotechnical Commission (IEC) 61400-12-1*, Energi angin pada sisi

gedung yang didapatkan pada tabel 1 bahwa kecepatan angin dengan durasi terbanyak yaitu sebesar 2.5 m/s selama 250.16 menit (4.16 jam), sehingga dengan menggunakan persamaan 2 didapatkan nilai sebesar:

$$P_w = \frac{\rho A v^3}{2} \times t$$

$$P_w \text{ Sisi} = \frac{(1.2)(0.0314)(2.5)^3(4.16)}{2} = 1.2246 \text{ Wh}$$

Energi Angin pada Atap Gedung didapatkan pada tabel 4 bahwa kecepatan angin dengan durasi terbanyak yaitu sebesar 2 m/s selama 281.66 menit (4.69 jam), sehingga jika menggunakan persamaan 2 didapatkan nilai sebesar:

$$P_w \text{ Atas} = \frac{(1.2)(0.0314)(2)^3(4.69)}{2} = 0.7068 \text{ Wh}$$

Sehingga kenaikan efisiensi energi angin hariannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Kenaikan Efisiensi} = \frac{1.2246 \text{ Wh} - 0.7068 \text{ Wh}}{1.2246 \text{ Wh}} \times 100\% = 42.2 \%$$

Tabel 6. Perbandingan potensi energi angin harian pada sisi siku dengan atas gedung

	Sisi Gedung	Atas Gedung
v	2.5 m/s	2 m/s
t	4.16 Jam	4.69 jam
P_{harian}	1.2246 wh	0.7068 wh
$\Delta\eta P_{\text{harian}}$	Sisi Gedung $\geq 42.2\%$	

Tabel 6 menampilkan nilai perbandingan potensi energi angin harian sisi siku gedung dengan atap gedung dari perhitungan yang dilakukan.

4. SIMPULAN

Berdasarkan eksperimen dan analisa hasil perhitungan yang sudah telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin pada jarak 15 cm dari sisi terluar gedung memiliki karakteristik angin yang paling baik dibandingkan pada karakteristik angin jarak 30 cm dan 45 cm, dengan nilai rata-rata kecepatan anginnya yaitu 2.524 m/s dan kecepatan maksimumnya juga tertinggi yaitu 4.768 m/s.

Referensi yang menjadi acuan pada penelitian ini terbukti benar. Hal ini didasari oleh kecepatan angin tertinggi didapat pada jarak terdekat pada sisi siku gedung, semakin dekat angin yang melintas pada sisi siku gedung, semakin tinggi kecepatan anginnya, sehingga energi anginnya juga semakin besar (Fleming, 2015).

Potensi Energi Angin di sisi gedung memiliki nilai lebih baik dibandingkan pada atap gedung, hal ini terbukti pada data kenaikan efisiensi rata-rata energinya yaitu sebesar 20.94% dan nilai kenaikan efisiensi kecepatan maksimum anginnya yaitu 23.80%.

Potensi Energi Angin Harian di sisi siku gedung memiliki nilai lebih baik dibandingkan pada atas (*rooftop*) gedung, hal ini terbukti pada data kenaikan efisiensi energi angin hariannya yang mencapai 42.2%.

Setelah dilakukan perbandingan data angin antara di sisi siku dan atas gedung pada variabel kecepatan rata-rata, kecepatan maksimum, potensi energi angin, hingga potensi energi angin hariannya, penelitian ini dipandang perlu untuk dilakukan pengembangan lebih lanjut terhadap implementasi Turbin Angin pada sisi siku gedung tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Azad, A.K., Rasul, M.G., Alam, M.M., Uddin, S.A. dan Mondal, S.K., 2014. Analysis of wind energy conversion system using Weibull distribution. *Procedia Engineering*, 90, hal.725-732.
- Bangalee, M.Z.I., Miao, J.J., Lin, S.Y. dan Ferdows, M., 2014. Effects of lateral window position and wind direction on wind-driven natural cross ventilation of a building: a computational approach. *Journal of Computational Engineering*, Vol 2014, hal. 1-15.
- Bobrova, D., 2015. Building-integrated wind turbines in the aspect of architectural shaping. *Procedia Engineering*, 117, hal. 404-410.
- Bošnjaković, M., 2013. Wind power buildings integration. *Journal of Mechanics Engineering and Automation*, 3, hal. 221-226.
- Cheng, W.C., Liu, C.H., Ho, Y.K., Mo, Z., Wu, Z., Li, W., Chan, L.Y., Kwan, W.K. dan Yau, H.T., 2021. Turbulent flows over real heterogeneous urban surfaces: Wind tunnel experiments and Reynolds-averaged Navier-Stokes simulations. In *Building Simulation* (Vol. 14, No. 5, hal. 1345-1358). Tsinghua University Press.
- Faruk, U. dan Kamiran, K., 2012. Analisis Pengaruh Aliran Turbulen Terhadap Karakteristik Lapisan Batas pada Pelat Datar Panas. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 1(1), hal. A57-A60.
- Fleming, S., 2015. Buildings and Wind: A Software-Based Design Methodology, *Master's thesis*, University of Waterloo.
- Guenoukpati, A., Salami, A.A., Kodjo, M.K. dan Napo, K., 2020. Estimating Weibull Parameters for Wind Energy Applications Using Seven Numerical Methods: Case studies of Three Coastal Sites in West Africa. *International Journal of Renewable Energy Development*, 9(2), hal. 217-226.
- Haase, M. dkk., 2014. Building Integrated Vertical Wind Turbines Experiences From The Roof Of Biskop Gunnerus Gate 14 In Oslo, *SINTEF Academic Press*. ISBN: 9788253613833. Available at: www.sintefbok.no, diakses 17 Juni 2021.
- Haase, M., dan Löfström, E., 2015. Building augmented wind turbines-Bawt Integrated Solutions And Technologies Of Small Wind Turbines, *Sintef Academic Press*. ISBN: 9788253614939. Available at: www.sintefbok.no, diakses: 17 Juni 2021.
- Pernando, Yonky. dan Rizki, S., 2017. Penerapan Forward Chaining Dalam Menentukan Arah Angin Untuk Nelayan Turun Ke Laut, *Jurnal Teknologi* Vol.7 (2) hal. 51-58.
- Sari, D.P. dan Kusumaningrum, W.B., 2014. A technical review of building integrated wind turbine system and a sample simulation model in central java, Indonesia. *Energy Procedia*, 47, hal.29-36.
- Satwika, N.A., Hantoro, R., Septyaningrum, E. dan Mahmashani, A.W., 2019. Analysis of wind energy potential and wind energy development to evaluate performance of wind turbine installation in Bali, Indonesia. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 13(1), hal. 4461-4476.
- Sukkiramathi, K. dan Sesaiah, C.V., 2020. Analysis of wind power potential by the three-parameter Weibull distribution to install a wind turbine. *Energy Exploration & Exploitation*, 38(1), hal. 158-174.

Sutanto, Hendi. 2017. Uji Performa Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) Sultan Wind Turbine V.4.5. *Tugas Akhir*. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.