

Analisis potensi angin dan penggunaan turbin angin pada bangunan tinggi yang terletak di sisi barat Kota Makassar (Studi kasus: Delft Apartemen)

Andi Resky Rawal¹, Baharuddin Hamzah², Rosady Mulyadi^{2*}

¹Program Studi Magister Arsitektur,
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Jl. Poros Malino KM. 6, Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia. 92171

²Department Arsitektur
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Jl. Poros Malino KM. 6, Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia. 92171

*E-mail: rosady@unhas.ac.id

Abstrak: Kelangkaan energi saat ini menjadi masalah bersama dan menjadi latar belakang perkembangan pada bidang ilmu pengetahuan, sains, industri dan bisnis di hampir semua negara saat ini. Energi angin merupakan salah satu sumber daya alam yang dapat diperoleh secara cuma-cuma dan jumlahnya tak terbatas. Bahkan Indonesia sebagai negara kepulauan, mempunyai sekitar 17.500 pulau dengan panjang garis pantai lebih dari 81.290 kilometer yang mana cukup potensial untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin. Dalam hal ini Integrasi teknologi turbin angin pada bangunan tinggi pada dasarnya cukup menjanjikan walaupun kondisi Angin di Indonesia sendiri tergolong fluktuatif, relatif tinggi tapi tidak merata. Penelitian dilakukan pada bulan Agustus-September 2022 di Gedung Delft Apartemen yang memiliki ketinggian 70 meter berdiri tepat di tepi laut sebelah barat Kota Makassar, dengan metode penelitian kuantitatif deskriptif yaitu menginterpretasikan data hasil pengukuran lapangan dan simulasi dengan komputer. Dari hasil penelitian diketahui orientasi arah angin didominasi dari arah barat sekitar 44%, dari arah barat daya 30%, barat laut 13 % dan selatan 6%, utara dan timur masing-masing 3% serta tenggara 1%. Kecepatan angin rata-rata tertinggi 4,8 m/s dan terendah 3,04 m/s serta kecepatan maksimum 9,7 m/s. Intensitas kecepatan angin rata-rata tertinggi terjadi saat orientasi angin dari arah barat daya, yaitu 4,9 atau 5 m/s. Sekitar 65% kecepatan angin di atas 3 m/s dimana menjadi batas minimum operasional rata-rata sebuah turbin angin. Tekanan angin yang diatur secara merata sebesar 4 m/s dapat meningkat sampai 9,7 m/s di sisi kiri, kanan dan atas saat mengenai model 3D gedung Delft Apartemen pada simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Adapun analisis pada software *RETScreen*, turbin angin model Enercon (Enercon-33-50m) dianggap sesuai karena potensi energi *output* maksimal hingga 2.164 MWh pada kecepatan angin maksimum 15 m/s dan energi *output* minimal 104 MWh pada kecepatan angin minimum 3 m/s dengan diameter bilah turbin 33 meter.

Kata Kunci: apartemen; arsitektur berkelanjutan; energi angin; potensi energi; turbin angin

Abstract: Energy scarcity is currently a common problem and background for developments in the fields of science, industry and business in almost all countries today. Wind energy is one of the natural resources that can be obtained free of charge and unlimited in quantity. Even, Indonesia as an archipelagic country has around 17,500 islands with a coastline of more than 81,290 kilometers which are quite potential for Wind Power Plants. In this case the integration of wind turbine technology in high-rise buildings is basically quite promising even though the wind conditions in Indonesia itself are classified as fluctuating, relatively high but not evenly distributed. The research was conducted in August-September 2022 in the Delft Apartment building which has a height of 70 meters standing right on the waterfront on the west side of Makassar City, using a descriptive quantitative research method, namely interpreting data from field measurements and computer simulations. From the research results it is known that the orientation of the wind direction is dominated from the west about 44%, from the southwest 30%, northwest 13% and south 6%, north and east respectively 3% and southeast 1%. The highest average wind speed is 4.8 m/s and the lowest is 3.04 m/s and the maximum speed is 9.7 m/s. The highest average wind speed intensity occurs when the wind orientation is from the southwest, which is 4.9 or 5 m/s. About 65% of wind speeds are

above 3 m/s which is the minimum operational limit for an average wind turbine. Wind pressure that is evenly regulated at 4 m/s can increase to 9.7 m/s on left, right and top side when it hits the 3D model of the Delft Apartment Building in the CFD (*Computational Fluid Dynamics*) simulation. Meanwhile for the analysis on the *RETScreen* software, the Enercon model wind turbine (Enercon-33-50m) is considered suitable because the maximum output energy potential is up to 2,164 MWh at a maximum wind speed of 15 m/s and a minimum output energy of 104 MWh at a minimum wind speed of 3 m/s with a blade diameter turbine 33 meters.

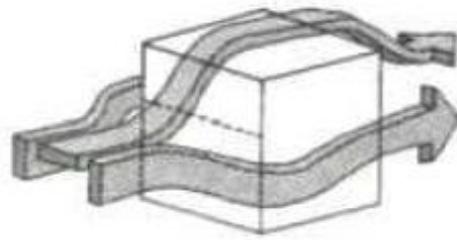
Keywords: apartment; energy potential; sustainable architecture; wind energy; wind turbine

PENDAHULUAN

Energi merupakan sesuatu yang bersifat abstrak yang sukar dibuktikan tetapi dapat dirasakan adanya. Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja (*energy is the capability for doing work*). Sedangkan energi alam adalah sesuatu yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan dan kebutuhan hidup manusia agar hidup lebih sejahtera, energi alam bisa terdapat dimana saja seperti di dalam tanah, air, permukaan tanah, udara dan lain sebagainya (Pudjanarsa & Nursuhud, 2013). Berdasarkan sumbernya energi dapat dibedakan menjadi energi yang berasal dari bumi (*terrestrial*) dan yang berasal dari luar bumi (*extraterrestrial*). Sumber energi juga dapat diklasifikasikan berdasarkan sifatnya. Sumber energi dari bumi dikategorikan menjadi jenis *renewable* (terbarukan) dan *non-renewable* (tak terbarukan). Dan sebagai salah satu energi terbarukan, yaitu energi angin yang merupakan sumber energi penting sejak lama di beberapa negara (Syahrul, 2008).

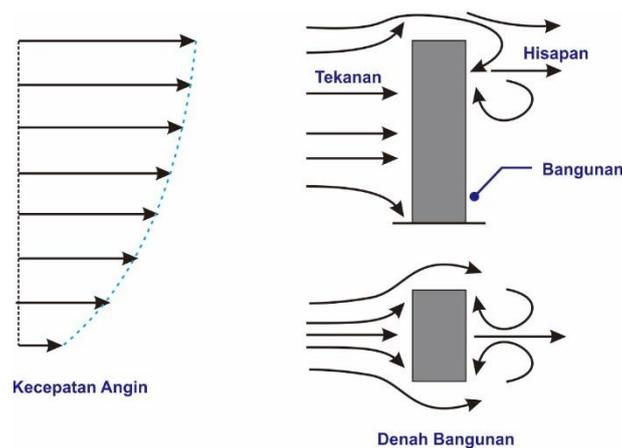
Angin adalah aliran udara dalam jumlah yang besar diakibatkan rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke tempat bertekanan udara rendah. Faktor terjadinya angin adalah tekanan angin, kecepatan angin dan waktu terjadinya pergerakan angin (Pernando & Rizki, 2017). Dipaparkan lebih lanjut oleh Sutanto dalam (Aryabathi et al. (2021), 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. Pada umumnya, kecepatan angin terus meningkat seiring dengan pertambahan ketinggiannya, hal ini merupakan faktor dari kekasaran permukaan daratan, yang awalnya diperlambat dari tanah hingga makin cepat sesuai pertambahan ketinggian. Semakin banyak halangan pada keadaan sekeliling (pohon, gedung, rumah, dan sebagainya), ketinggian yang diperlukan angin untuk mencapai kecepatan maksimum (V_{max}) juga semakin besar.

Pada lingkungan perkotaan di Indonesia, terdapat bangunan-bangunan bertingkat seperti kantor, hotel dan apartemen. Bangunan bertingkat adalah bangunan yang mempunyai lebih dari satu lantai secara vertikal. Hal ini ikut memengaruhi aliran udara atau angin yang bersirkulasi di sekitar gedung terutama di daerah dengan kecepatan angin yang tinggi, seperti di bukit atau di tepi laut. Menurut Boutet dalam Amri & Syukur (2017), terdapat 3 hal yang memengaruhi pola aliran udara dan kecepatan angin pada skala lingkungan, yakni bentuk lahan, vegetasi, dan bangunan. Struktur bangunan membelokkan, menghalangi, dan mengarahkan aliran udara di sekitarnya, serta mengurangi maupun menambah kecepatan aliran udaranya. Saat aliran udara menuju permukaan bangunan, sepertiga aliran udara naik ke atas bangunan sementara dua per tiga aliran udara membelok ke sisi bangunan (Gambar 1).



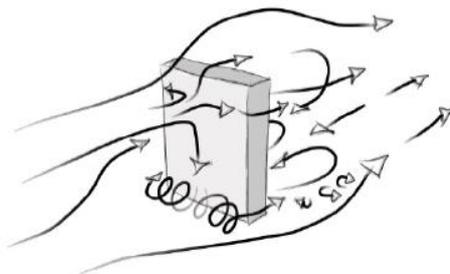
Gambar 1. Prinsip aliran udara pada bangunan

Pembelokan aliran udara dan pengurangan kecepatan angin menciptakan perbedaan tekanan; tekanan positif tercipta sewaktu udara mengumpul di sisi bangunan yang menghadap arah datangnya angin dan tekanan negatif tercipta sewaktu aliran udara membentuk pola baru pada sisi yang membelakangi arah datangnya angin. Besarnya beban angin yang bekerja pada struktur bangunan tergantung dari kecepatan angin, rapat massa udara, letak geografis, bentuk dan ketinggian bangunan, serta kekakuan struktur. Bangunan yang berada pada lintasan angin, akan menyebabkan angin berbelok atau dapat berhenti. Sebagai akibatnya, energi kinetik dari angin akan berubah menjadi energi potensial, yang berupa tekanan atau hisapan pada bangunan.



Gambar 2. Pengaruh aliran angin pada bangunan gedung

Menurut Fleming dalam Aryabathi et al. (2021), 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.



Gambar 3. Arah aliran angin melintas di sekitar gedung

Berbicara tentang potensi angin pada bangunan tinggi, seketika kita teringat pada sebuah teknologi konversi angin yakni turbin angin. Turbin angin menurut Arsad et al. (2009) merupakan alat yang mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik. Reksoatmodjo (2004) mengemukakan bahwa turbin angin juga dikenal dengan sebutan kincir angin yang merupakan sarana pengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik untuk memutar generator listrik. Saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (PLTD, PLTU, dan lain-lain), namun turbin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak dapat diperbaharui (batubara, minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik (Daryanto, 2007). Turbin yang dapat menghasilkan energi dari angin secara umum dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama yaitu turbin angin sumbu horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbine*) dan turbin angin sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*) (Decoste, 2005). Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui potensi angin dan penggunaan turbin angin pada bangunan tinggi yang terletak di sisi barat Kota Makassar, tepatnya di Delft Apartemen. Hasil yang diperoleh dapat menjadi gambaran terkait potensi angin di sisi barat Kota Makassar untuk dikembangkan sebagai sumber energi terbarukan.

METODE PENELITIAN

Pendekatan penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif karena menggunakan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut, serta penampilan dari hasilnya (Arikunto, 2005). Penelitian kuantitatif dapat diartikan sebagai suatu proses menemukan pengetahuan yang menggunakan data berupa angka sebagai alat menganalisis keterangan mengenai apa yang ingin diketahui (Kasirom, 2010). Berdasarkan sifat permasalahannya, penelitian ini menggunakan tipe kuantitatif deskriptif. Metode penelitian deskriptif kuantitatif adalah suatu metode yang bertujuan untuk membuat gambar atau deskriptif tentang suatu keadaan secara objektif yang menggunakan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut serta penampilan dan hasilnya (Arikunto, 2013). Penelitian kuantitatif deskriptif digunakan untuk menggambarkan, menjelaskan, atau meringkaskan berbagai kondisi, situasi, fenomena, atau berbagai variabel penelitian menurut kejadian sebagaimana adanya yang dapat dipotret, diwawancara, diobservasi, serta yang dapat diungkapkan melalui bahan-bahan dokumenter (Bungin, 2005). Hasil penelitian dipaparkan dalam bentuk data statistik (kumpulan data, bilangan maupun non bilangan yang disusun dalam table dan atau diagram yang melukiskan suatu persoalan).

Penelitian ini dilakukan di The Delft Apartemen, terletak di sisi barat Kota Makassar sekitar Pantai Losari, tepatnya di kawasan Center Point Indonesia (CPI). Bangunan berorientasi timur-barat dan menghadap langsung ke arah laut (Selat Makassar) sehingga mendapat terpaan angin laut secara langsung. Bentuk desain The Delft Apartemen juga sangat mendukung proses penelitian dan tujuan yang ingin dicapai, bangunannya yang mencapai 24 lantai (*top floor*) dengan ketinggian sampai dengan 70 meter memungkinkan pengukuran kecepatan angin dilakukan secara maksimal. The Delft Apartemen masih dalam proses pembangunan dimana struktur bangunan sudah sekitar 90 % yang proses konstruksinya dikerjakan oleh PT. Nusa Konstruksi Enjiniring. Hal ini memberikan kemudahan dalam proses pengambilan data dikarenakan setiap area gedung dapat diakses, berbeda halnya apabila gedung apartemen sudah difungsikan.



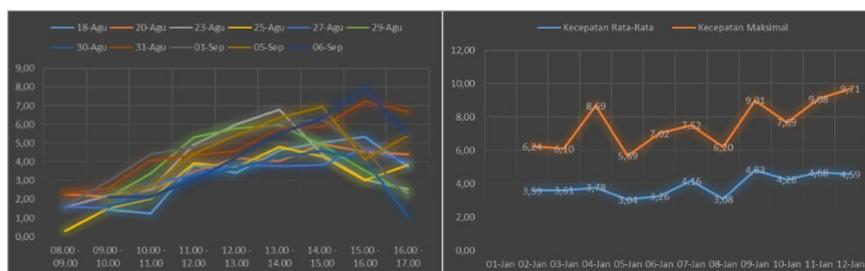
Gambar 4. Lokasi penelitian

Pengumpulan data adalah prosedur yang sistematis dan standar untuk memperoleh data yang diperlukan (Nazir, 2014). Teknik pengumpulan data pada penelitian ini adalah menggunakan data kuantitatif. Menurut Widiyanto (2012), data kuantitatif adalah data berupa angka dalam arti yang sebenarnya. Data kuantitatif dibedakan menjadi 2 yaitu: data interval dan data rasio. Pada Penelitian ini menggunakan data rasio, yaitu data dengan tingkatan pengukuran paling tinggi di antara jenis data lainnya. Pengumpulan data dilakukan secara langsung di lapangan dengan mengukur kecepatan angin dengan interval detik. Tahapan penelitian ada tiga yaitu antara lain: observasi, pengukuran, dan simulasi komputer. Data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan analisis statistik deskriptif. Analisis statistik deskriptif adalah analisis statistik yang digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum atau generalisasi (Sugiono, 2014).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kecepatan angin

Pengukuran kecepatan angin berlangsung selama 15 hari dari tanggal 16 Agustus 2022 sampai dengan 12 September 2022 memperlihatkan dominan arah angin datang dari arah barat sekitar 44%, diikuti dari arah barat daya 30%, barat laut 13 % dan selatan 6%, utara-timur masing-masing 3% serta dari tenggara 1%. Kondisi cuaca selama pengukuran cukup cerah, hanya beberapa waktu saja sempat turun hujan, itupun dengan waktu yang tidak lama. Perubahan kondisi cuaca sangat memengaruhi kecepatan angin maupun orientasi arah datangnya angin.



Gambar 5. Grafik kecepatan angin rata-rata dan maksimum

Kecepatan angin rata-rata selama pengukuran rata-rata di atas 3 m/s dengan tertinggi 4,8 m/s dan terendah 3,04 m/s serta kecepatan maksimum selalu di atas 5,5 m/s dengan yang tertinggi 9,7 m/s dan terendah 5,6 m/s (Gambar 5). Data memperlihatkan

perubahan angin terjadi setiap jamnya mulai dari pukul 08.00-17.00 dengan nilai tertinggi terjadi pada pukul 13.00-15.00. Pola grafik tersebut konsisten selama pengukuran yang dilakukan pada lantai 23 gedung. Grafik pada Gambar 5 juga memperlihatkan perbandingan data angin rata-rata dan maksimum selama pengukuran, beberapa kali kecepatan angin maksimum di atas 9 m/s. Rata-rata kecepatan angin jika diklasifikasikan berdasarkan kekuatannya dapat dilihat pada Tabel 1.

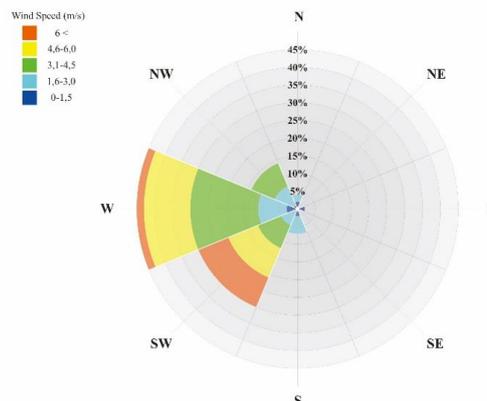
Tabel 1. Klasifikasi intensitas kecepatan angin selama pengukuran pada lantai 23 gedung

No	Kecepatan Angin (m/s)	Durasi (jam)	Persentase (%)
1	0 - 1,5 m/s	9	9%
2	1,6 - 3,0 m/s	25	25%
3	3,1 - 4,5 m/s	32	32%
4	4,6 - 6,0 m/s	23	23%
5	> 6,0 m/s	10	10%

Kecepatan angin antara 3,1 sampai 4,5 m/s paling dominan yakni sampai 32%, kemudian antara 1,6 sampai 3,0 m/s sebanyak 25%, 4,6 sampai 6,0 m/s 23%, di atas 6,0 m/s 10% dan di bawah 1,5 m/s sebesar 9%. Dengan demikian, sekitar 65% kecepatan angin berada di atas 3 m/s dimana batas minimum operasional turbin angin. Terlepas dari pada itu semua, arah orientasi mata angin menjadi faktor yang cukup dominan memengaruhi kecepatan angin. Data terkait hubungan antara orientasi mata angin dengan kecepatan angin ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Intensitas kecepatan angin rata-rata berdasarkan orientasinya

Arah Mata Angin	Kecepatan Angin				
	Intensitas (Jam)		Akumulasi (m/s)		Rata-Rata
N : Utara	4	4%	4,20	1%	1,05
NE : Timur Laut	0	0%	0,00	0%	0,00
E : Timur	2	2%	1,80	0%	0,90
SE : Tenggara	0	0%	0,00	0%	0,00
S : Selatan	7	7%	11,33	3%	1,62
SW : Barat Daya	25	25%	124,71	34%	4,99
W : Barat	47	47%	183,21	50%	3,90
NW : Barat Laut	14	14%	38,25	11%	2,73

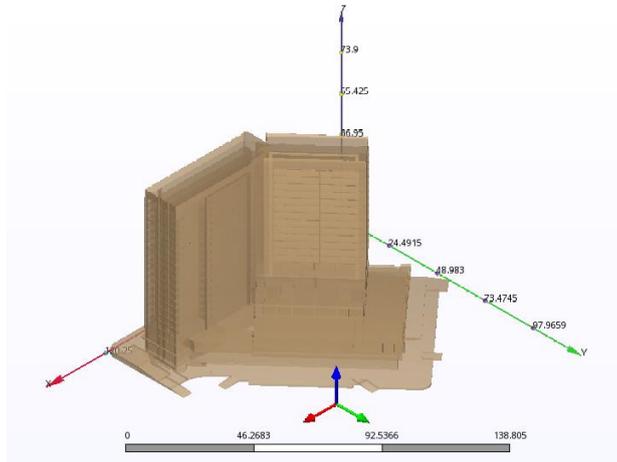


Gambar 6. Windrose selama pengukuran Agustus-September 2022

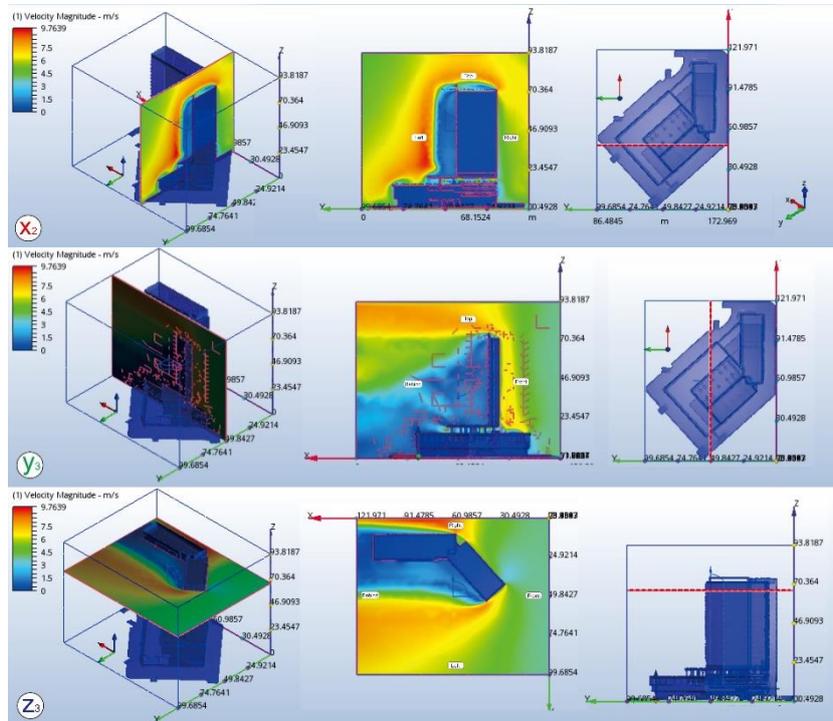
Orientasi arah mata angin yang berubah-ubah menyebabkan kecepatan angin yang berbeda pula, dengan membuat tabulasi dan mengakumulasi kecepatan angin berdasarkan orientasi dan intensitasnya sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 6.

Walaupun orientasi dominan arah angin datang dari barat, namun kecepatan angin yang tinggi terjadi ketika orientasi arah mata angin datang dari sisi barat daya. Rata-rata kecepatan angin yang berhembus dari arah barat adalah 3,9 m/s dengan intensitas durasi selama 47 jam. Sementara rata-rata kecepatan angin yang berhembus dari arah barat daya adalah 4,9 atau 5 m/s dengan intensitas durasinya selama 25 jam lalu berurut dari arah barat laut 2,7 m/s selama 14 jam, arah selatan 1,6 m/s selama 7 jam, arah utara 1 m/s selama 4 jam dan arah timur 0,9 m/s selama 2 jam. Adapun arah timur laut dan tenggara tidak terdeteksi selama pengukuran.

2. Simulasi CFD



Gambar 7. Gambar proyeksi 3D Model Delft Apartemen pada Autodesk CFD



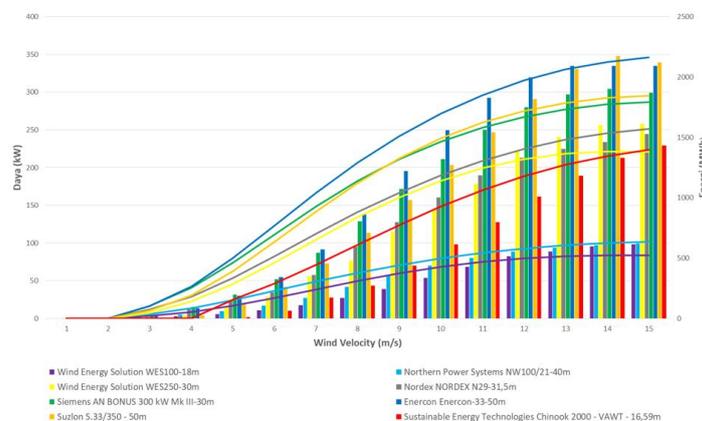
Gambar 8. Pola angin pada potongan x, y, & z hasil simulasi CFD

Berdasarkan hasil simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dengan *autodesk CFD* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8, kecepatan angin sebelum mengenai objek

(Delft Apartemen) adalah 4 m/s (skala gradasi warna). Namun pada saat angin mengenai objek (bangunan gedung), pola atau alur gerakan angin terbelah ke sisi samping kiri (*left*), sisi samping kanan (*right*), dan sisi atap (*top*) objek. Diagram (gradasi warna) memperlihatkan terjadi peningkatan kecepatan angin yang signifikan pada 3 sisi gedung. Kecepatan angin yang diatur secara merata sebesar 4 m/s dapat meningkat sampai 9,7 m/s pada beberapa area tertentu saat mengenai objek. Peningkatan kecepatan angin pada 3 sisi (*left*, *right*, *top*) objek cukup merata, namun sisi gedung yang mendapatkan kecepatan angin paling tinggi adalah sisi samping kanan objek (sisi sebelah utara) atau sisi kiri arah datang angin karena terpengaruh sisi *top* dari podium bangunan. Terkait dengan penggunaan turbin angin, sisi paling potensial adalah sisi *top floor*, dengan asumsi turbin angin berdiameter paling maksimal adalah 30 m.

3. Simulasi energi turbin angin

Berdasarkan data turbin angin pada software *RETScreen*, terdapat 8 jenis/ model turbin angin yang cukup sesuai untuk diterapkan pada gedung Delft Apartemen. Jika mengacu pada energi *output* yang paling tinggi sesuai grafik Gambar 9, Enercon (Enercon-33-50m) adalah yang terbaik dengan energi *output* maksimal sampai dengan 2.164 MWh pada kecepatan angin maksimum 15 m/s dan energi *output* minimal 104 MWh pada kecepatan angin minimum 3 m/s yang memiliki lebar diameter turbin angin 33 meter. Adapun Model Turbin angin jenis *Sustainable Energy Technologies* (Chinook 2000 - VAWT - 16,59m) memiliki keunggulan pada lebar diameter turbinnya yang hanya 16,59 meter. Bahkan turbin angin jenis ini mampu menghasilkan daya *output* maksimal sebesar 1.398 MWh pada kecepatan angin maksimum 15 m/s, hanya saja daya *output* minimal 157 MWh dapat diperoleh pada kecepatan angin minimum pada 5 m/s, kurang efisien terhadap kecepatan angin dengan rata-rata 3-4 m/s. Hal inilah yang menjadi kekurangan dari jenis turbin angin sumbu vertikal (VAWT). Pertimbangan terhadap lebar diameter turbin angin yang dapat digunakan juga sangatlah penting, karena hal tersebut berpengaruh pada area sapuan turbin angin dan jumlah turbin angin yang dapat terpasang namun tidak saling mengganggu antara satu dan yang lainnya. Semakin minim lebar diameter turbin angin yang digunakan maka potensi jumlah yang terpasang pun lebih besar, namun pada dasarnya semakin besar diameter atau area sapuan sebuah turbin angin, daya *output* yang dihasilkan pun juga lebih besar.



Gambar 9. Grafik perbandingan daya dan energi *output* 8 model turbin angin

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa orientasi arah angin didominasi dari arah barat yaitu sekitar 44% dengan kecepatan angin rata-rata pada lantai 23 (tinggi 66 m) tertinggi 4,8 m/s dan terendah 3,04 m/s serta kecepatan maksimum di atas 5,5 m/s dengan kecepatan tertinggi yaitu 9,7 m/s, dan sekitar 65% kecepatan angin di atas 3 m/s yang merupakan batas minimum operasional rata-rata sebuah turbin angin. Intensitas kecepatan angin rata-rata tertinggi terjadi saat orientasi angin dari arah barat daya, yaitu 4,9 atau 5 m/s. Hasil simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dengan tekanan kecepatan angin (*Velocity Magnitude*) pada model 3D gedung Delft Apartemen, terbentuk sebuah pola atau alur gerakan angin terbelah ke sisi samping kiri, sisi samping kanan, dan sisi atap gedung. Kecepatan angin yang diatur secara merata sebesar 4 m/s dapat meningkat sampai 9,7 m/s pada beberapa area tertentu saat mengenai objek. Sisi gedung yang mendapatkan kecepatan angin paling maksimal adalah sisi samping kanan gedung (sisi sebelah utara) atau sisi kiri arah datang angin. Terkait dengan penggunaan turbin angin, sisi paling potensial adalah sisi *top floor*, dengan asumsi turbin angin berdiameter paling maksimal adalah 30 m. Berdasarkan data turbin angin pada *software* RETScreen, turbin angin model Enercon (Enercon-33-50m) adalah yang terbaik dengan energi *output* maksimal sampai dengan 2.164 MWh dengan kecepatan angin maksimum 15 m/s dan energi *output* minimal 104 MWh dengan kecepatan angin minimum 3 m/s yang memiliki lebar diameter turbin angin 33 meter. Sedangkan model turbin angin jenis *Sustainable Energy Technologies* (Chinook 2000-VAWT-16,59m) memiliki keunggulan pada lebar diameter turbinnya yang hanya 16,59 meter tapi mampu menghasilkan daya *output* maksimal sebesar 1.398 MWh pada kecepatan angin maksimum 15 m/s, namun energi *output* minimal 157 MWh dapat diperoleh pada kecepatan angin minimum di 5 m/s, kurang efisien terhadap kecepatan angin dengan rata-rata 3-4 m/s.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, S. B., & Syukur, L. O. A. (2017). Analisis aliran angin pada atap miring melalui uji simulasi *flow design*. *Langkau Betang: Jurnal Arsitektur*, 4(2), 136-143. <http://dx.doi.org/10.26418/langkau.v4i2.23252>.
- Arikunto, S. (2005). *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Penelitian*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Arikunto, S. (2013). *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Arsad, A. M., & Hartono, F. (2009) Pembuatan kode desain dan analisis turbin angin sumbu vertikal darrieus tipe-h. *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 7(2): 93-100.
- Aryabathi, W., Erwin, E., & Wiyono, S. (2021). Potensi energi angin pada sisi siku atap gedung tinggi. *Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, 3(2), 205-214.
- Bungin, B. (2005). *Metodologi Penelitian Kuantitatif: Komunikasi, Ekonomi, dan Kebijakan Publik Serta Ilmu-Ilmu Sosial Lainnya*. Jakarta: Kencana.
- Daryanto, Y. (2007). *Kajian Potensi Angin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Yogyakarta: Balai PPTAGG-UPT-LAGG.
- De Coste, J. (2005). *Vertical Axis Wind Turbine*. Canada: Departement of Mechanical Engineering Dalhousie University.
- Kasirom, M. (2010). *Metodologi Penelitian Kuantitatif-Kualitatif*. Malang: UIN Maliki Press.
- Nazir M. (2014). *Metode Penelitian*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Pernando, Y., & Rizki, S. D. (2017). Penerapan *forward chaining* dalam menentukan arah angin untuk nelayan turun ke laut. *Teknologi*, 7(2).
- Pudjanarsa, A., & Nursuhud, D. (2013). *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta: Andi.
- Sugiono, P. D. (2014). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Syahrul. (2008). Prospek pemanfaatan energi angin sebagai energi alternatif di daerah pedesaan. *Media Elektrik*, 3(2): 140-144.
- Tedjo Narsoyo Reksoatmodjo. (2004). Vertical-Axis Differential Drag Windmill. *Jurnal Teknik Mesin*.
- Widiyanto, Joko (2012). *SPSS For Windows*. Surakarta : Badan Penerbit-FKIP Universitas

Muhammadiyah Surakarta

Yustica, A. 2010. "Efektifitas Metode Runge Kutta Order Lima Untuk Menyelesaikan Model Penyebaran Virus Avian Influenza (Flu Burung)." Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: FKIP Universitas Jember