

Penerapan *Automatic Weather Station* Dalam Pemetaan Kecepatan Angin dan Arah Angin Sebagai Dasar Perancangan Turbin Angin

Akhmad Nurdin^{1*}, Muhammad Munadi², Rustam Sidiq³

^{1,2}Program Studi Teknologi Pengecoran Logam Politeknik Manufaktur Ceper

³Program Studi Manajemen Industri Politeknik Manufaktur Ceper

^{1,2,3}Batur, Tegalrejo, Kec. Ceper, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah 57465

E-mail: akhmadnurdin.89@gmail.com¹, dmasmuen_adie@yahoo.com², rustampolmanceper@gmail.com³

Abstrak

Info Naskah:

Naskah masuk: 20 September 2021

Direvisi: 27 Desember 2021

Diterima: 6 Januari 2022

Saat ini teknologi *Small Wind Turbine* (SWT) yang semakin berkembang pada wilayah penduduk dan perkotaan. Penerapan SWT secara langsung dapat diintegrasikan pada bangunan disebut *Building Integrated Wind Turbine* dan wilayah industri merupakan salah satu wilayah yang berpotensi untuk dikembangkan konsep SWT sebagai *Building Integrated Wind Turbine*. Sebelum merancang dan membuat turbin angin untuk *Building Integrated Wind Turbine* diperlukan data tentang kepadatan dan arah angin. Wilayah yang belum diketahui sifat anginnya diperlukan studi tentang karakteristik angin secara *real time* dan *real condition* dalam periode waktu tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk membuat awalan pemetaan kecepatan angin dan arah angin secara *real time* di wilayah industri pengecoran logam Kecamatan Ceper Kab Klaten. Metode yang digunakan penelitian ini meliputi pengambilan data dilakukan secara *realtime* dan *real condition* menggunakan instrumen *Automatic Weather Station* yang dilakukan tanggal 6 Agustus sampai 6 September 2021. Data yang diperoleh berupa data acak dan diolah menggunakan statistik *weibull distribution* dengan bantuan perangkat lunak *Microsoft Excle*. Hasil penelitian ini menunjukkan kecepatan rata-rata 2,038 m/s dalam kondisi stabil dan hembusan angin yang cukup dengan nilai *density power* 6,994 Watt/m². Arah angin cenderung mengarah selatan-timur setelah hembusan angin terhambat profil bangunan.

Abstract

Keywords:

wind turbine;
small wind turbine;
automatic weather station;
weibull;
density power.

The use of Small Wind Turbine (SWT) technology is currently being developed in residential and urban areas. The application of SWT can be directly integrated into a building called the Building Integrated Wind Turbine and the industrial area is one area that has the potential to develop the SWT concept as a Building Integrated Wind Turbine. Before designing and manufacturing a wind turbine for a Building Integrated Wind Turbine, data on wind density and direction is required. In areas where wind speed and direction have not been recorded, it is necessary to study wind velocity and direction data in real-time and in real conditions for a certain period. This study aims to map wind density and wind direction with real-time properties in the foundry industry area, Ceper District, Klaten Regency, so the potential value and value of wind density energy can be known. This research method includes data retrieval carried out in real time and in real conditions using the Automatic Weather Station instrument which was carried out from August 6 to September 6, 2021. The data obtained were random data and processed using weibull distribution statistics with Microsoft Excel software. The results of this study indicate an average wind speed of 2,038 m/s in stable conditions and sufficient wind gusts with a power density value of 6,994 Watt/m². The wind direction tends to be south-east after the wind gusts are hampered by the building profil.

*Penulis korespondensi:

Akhmad Nurdin

E-mail: nurdin@polmanceper.ac.id

1. Pendahuluan

Konsumsi energi bersumber dari fosil di Indonesia menunjukkan peningkatan setiap tahunnya seiring bertambahnya komponen pengguna energi [1][2]. Gaya hidup masyarakat Indonesia yang belum mendukung upaya penghematan energi secara langsung akan memicu ketergantungan energi, terutama energi fosil. Dalam jangka panjang peningkatan pertumbuhan konsumsi energi nasional semakin naik, namun tidak diimbangi dengan pertumbuhan pasokan energi, sehingga hal memicu krisis energi [3]. Selain itu, peningkatan konsumsi energi fosil akan memicu efek gas rumah kaca (*green house effect*), sehingga akan meningkatkan suhu rata-rata di berbagai belahan bumi atau disebut pemanasan global (*global warming*) [4]. Dalam waktu tahun 1980an sampai tahun 2016, hampir 90% kebutuhan energi nasional dipasok 3 sumber energi utama dari fosil yang meliputi batubara, minyak, dan gas alam, sedangkan pemanfaatan sumber energi terbarukan belum ada pertumbuhan signifikan [3]. Upaya meminimalisir polusi udara, efek gas rumah kaca sampai pemanasan global yang menyebabkan kerusakan lingkungan, pasokan bauran energi yang bersifat terbarukan harus mampu mengimbangi pasokan energi yang bersumber dari fosil [5].

Terletak pada iklim tropis, Indonesia memiliki potensi energi terbarukan sebagai pembangkit listrik mencapai 442 Giga Watt. Saat ini Pemerintah Indonesia melalui Kementerian ESDM menargetkan penggunaan energi terbarukan dalam bauran energi nasional mencapai 25% pada tahun 2025 dan 31% tahun 2050. Salah satu sumber energi terbarukan yang tersedia sepanjang tahun di Indonesia adalah energi angin [2][6]. Sebelum tahun 1970an energi angin dimanfaatkan sebagai alat mekanik untuk membantu pekerjaan manusia, seperti sebagai penggerak mula alat pengolahan pertanian yang telah dilakukan ribuan tahun sebelumnya. Selanjutnya tahun 1970an sampai saat ini, pemanfaatan energi angin telah bergeser sebagai pembangkit listrik [7]. Pemanfaatan energi angin secara global biasanya dibangun dalam skala besar yang terpisah dari pemukiman masyarakat atau disebut *wind farm*. Terdapat beberapa kelemahan dalam menerapkan *wind farm* yaitu dibutuhkan jaringan distribusi yang panjang untuk menjangkau masyarakat. Dalam skala yang lebih kecil jaringan distribusi listrik dapat disederhanakan dengan menerapkan teknologi turbin angin skala kecil atau *Small Wind Turbine (SWT)*, dengan menerapkan SWT diharapkan mampu mensuplai kebutuhan energi rumah tangga, energi lampu jalanan, sampai suplai energi listrik untuk kendaraan listrik [8]. Pada wilayah penduduk sampai wilayah perkotaan, teknologi *SWT* dapat diintegrasikan pada bangunan, atau disebut *Building Integrated Wind Turbine* [9].

Wilayah penduduk dengan bangunannya secara langsung mempengaruhi dan mengubah profil *boundary layer* atau lapisan batas aliran angin menjadi turbulen yang disebabkan adanya hambatan dari bangunan atau kontur tanah yang tidak rata, hal ini ditunjukkan pada Gambar 1 [8]. Profil aliran angin setelah berinteraksi dengan bangunan menyebabkan arah angin selalu berubah-ubah

dengan cepat, sehingga kecepatan angin rata-rata cenderung rendah [10], profil aliran ini ditunjukkan Gambar 2.

Salah satu bentuk *green building* harus memenuhi kriteria konservasi energi [11], sehingga penerapan turbin angin yang diintegrasikan dengan bangunan merupakan salah satu bentuk kriteria konservasi energi [12]. Saat ini penerapan *SWT* secara global masih terbatas, hal ini disebabkan pada daerah perkotaan maupun daerah penduduk memiliki kecepatan angin yang rendah dengan tingkat turbulensi yang tinggi [13]. Penelitian tentang perancangan turbin angin dengan sumbu vertikal untuk wilayah dengan kecepatan rendah telah banyak dikembangkan [14], sehingga kajian penerapan *SWT* pada daerah perkotaan maupun penduduk semakin terbuka.

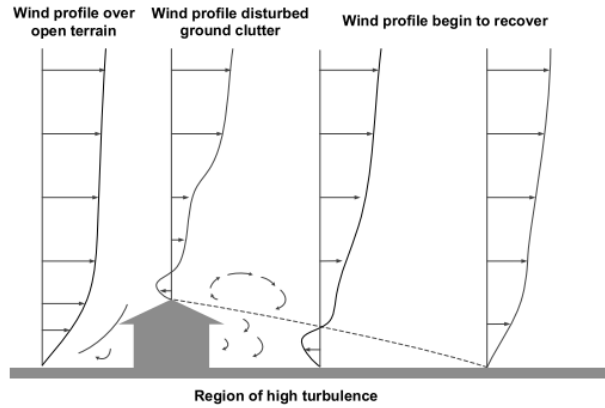
Sebelum merancang dan membuat turbin angin diperlukan data tentang kecepatan dan arah angin pada suatu wilayah, sehingga didapat rancangan turbin angin yang sesuai. Penelitian tentang pemetaan angin sebagai kelayakan untuk membangun turbin angin saat ini dilakukan dengan beberapa metode, yaitu pencitraan satelit untuk analisa yang mencakup wilayah kepulauan [15], menggunakan data kecepatan angin dari BMKG terdekat untuk mewakili wilayah terdekat [16][17][18]. Untuk wilayah yang lebih spesifik sifat anginnya [8] seperti pada daerah kota atau daerah penduduk diperlukan studi tentang data kecepatan dan arah angin. Studi yang menganalisa kecepatan angin pada suatu atap gedung tinggi pada referensi [9] dilakukan koreksi dan penyesuaian data BMKG terdekat berdasarkan tingkat ketinggian dari permukaan air laut. Namun pada daerah yang lebih rendah, karakteristik kecepatan angin berdasarkan kekasaran permukaan akan mempengaruhi sifat lapisan batasnya [9] misalnya pada wilayah kawasan pabrik yang tidak dapat menggunakan metode seperti yang dilakukan pada referensi [9], sehingga dibutuhkan data secara *real time* dan *real condition* dalam periode waktu tertentu menggunakan serangkaian *instrument* pemantau cuaca mandiri atau disebut *Automatic Weather Station (AWS)* [19] yang saat ini telah dijual secara bebas diberbagai *marketplace* seperti yang ditunjukkan Gambar 3. *AWS* didefinisikan sebagai stasiun meteorologi digunakan sebagai pengamatan, selanjutnya mengirimkan data secara otomatis dari pemancar. Data pengukuran dari *AWS* dapat diproses pada unit pusat data akuisisi, selanjutnya data yang dikumpulkan secara otomatis diteruskan ke pusat pengolahan data untuk dipergunakan sesuai kebutuhan pengukuran terhadap kondisi cuaca [20].

Kecamatan Ceper salah satu daerah di wilayah Klaten dengan geografis dikelilingi oleh industri pengecoran logam [21] dan sebagian persawahan produktif. Bangunan industri pada dasarnya lebih tinggi dibandingkan bangunan penduduk disekitarnya sehingga pada bagian atapnya tidak terpengaruh oleh aliran angin turbulen yang disebabkan bangunan-bangunan sekitarnya [23], sehingga hal ini berpotensi menerapkan konsep *building integrated wind turbine* pada bagian atap atau *roof top*.

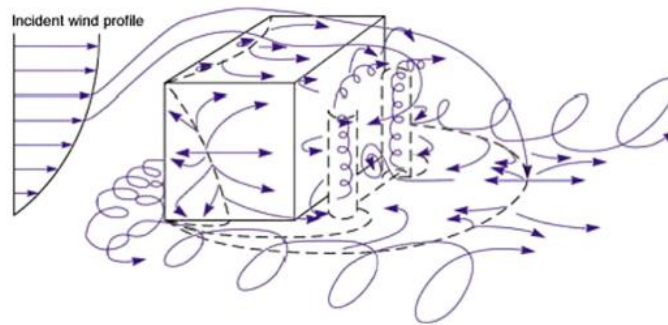
Penelitian ini bertujuan untuk membuat awalan pemetaan kecepatan angin dan arah angin dengan sifat *real time* dan *real condition* di wilayah Kecamatan Ceper

Kabupaten Klaten yang merupakan wilayah industri pengecoran logam, sehingga dapat diketahui nilai potensi dan nilai energi angin ditinjau dari *wind power density* (Watt/m^2). Secara langsung hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan awal pemetaan kecepatan dan arah angin untuk menerapkan konsep *building integrated*

wind turbine pada wilayah Industri. Selain itu penelitian ini merupakan bentuk dukungan menerapkan bangunan yang berkonsep *green building* dalam upaya mengurangi konsumsi energi yang bersumber dari fosil, sehingga mampu meminimalisir kerusakan lingkungan.



Gambar 1. Profil Lapisan Batas Aliran Angin Wilayah Penduduk [8]



Gambar 2. Profil Aliran Angin Pada Bangunan [21]



Gambar 3. Unit *Automatic Weather Station* [22]

2. Metode

Penelitian ini dilakukan di Gedung utama Politeknik Manufaktur Ceper seperti pada Gambar 4 yang memiliki ketinggian bangunan yang sama dengan industri di sekitarnya.—Instrumen yang digunakan pada penelitian ini menggunakan unit *Automatic Weather Station* seperti yang ditunjukkan

Gambar 3, produksi dari *Tiankan Electronic Technology* [22], Tiongkok dengan spesifikasi alat yang ditunjukkan Tabel 1. Pengambilan data kecepatan angin dan arah angin dilakukan di gedung utama Politeknik Manufaktur Ceper (Gambar 4) Kab Klaten yang merepresentasikan bangunan pabrik dengan profil atap segitiga (*pitched roff*) dan lebih tinggi

dibandingkan bangunan rumah penduduk di kawasan industri. Tata letak unit *Automatic Weather Station* di atap diletakkan pada posisi *center* seperti yang ditunjukkan Gambar 5. Dari beberapa parameter *data logger* yang diperoleh secara *realtime*, parameter yang digunakan dalam penelitian ini kecepatan angin dan arah angin.

Pengambilan data secara *realtime* dilakukan selama 31 hari dari tanggal 6 Agustus 2021 sampai 6 September 2021 yang berdasarkan prakiraan Badan Metrologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) merupakan periode puncak musim kemarau tahun 2021 [24] dengan *interval* waktu penyimpanan data setiap 5 menit. Hasil pengukuran dari *AWS* menunjukkan data *realtime* kecepatan angin dan arah angin secara acak dalam periode tertentu, sehingga untuk merepresentasi data tersebut diperlukan analisa metode statistik *probability weibull ditribusion* dengan hasil akhir didapat data *wind power density* (Watt/m^2) [7]. *Probability weibull ditribusion* terdiri dari dua parameter utama, yaitu nilai k (faktor bentuk distribusi) dan nilai c (faktor skala distribusi), untuk mencari parameter *Weibull* k dan c dapat dihitung dengan metode grafik dengan mengubah fungsi kumulatif frekuensi menjadi bentuk linier mengadopsi skala logaritma yang ditunjukkan persamaan (1).

$$1 - F(V) = e^{-(V/c)^k} \quad (1)$$

$F(V) = \text{Cummulative Frequency}$

dengan :

$$\ln\{-\ln[1-F(V)]\} = k \ln(V) - k \ln c \quad (2)$$

Ploting pada Persamaan (2) merupakan hubungan $\ln(V)$ sepanjang sumbu X dengan $\ln\{-\ln[1-F(V)]\}$ sepanjang sumbu Y yang membentuk garis lurus. Selain itu dari Persamaan (2), nilai k merupakan kemiringan garis lurus, sedangkan $-k \ln c$ mewakili

batasan. Dari persamaan tersebut didapat persamaan regresi melalui spreadsheet atau perangkat lunak sejenisnya dapat diketahui nilai *Weibull* k dan c . Selanjutnya metode statistik *weibull distribution* merupakan metode untuk menganalisa kecepatan angin yang bersifat acak menggunakan dua fungsi, yaitu fungsi kepadatan probabilitas (*probability density*) dan fungsi distribusi kumulatif. Fungsi kepadatan probabilitas ($f(V)$) menunjukkan pengelompokan waktu terhadap kecepatan angin tertentu yang ditunjukkan persamaan (3)

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} \quad (3)$$

$k = \text{Weibull shape factor}$

$c = \text{Scale factor}$

Sedangkan fungsi distribusi kumulatif digunakan untuk merepresentasikan probabilitas kecepatan angin yang sama atau lebih rendah dari V , sehingga distribusi kumulatif (*cumulative distribution*) atau $F(V)$ adalah integral dari fungsi kepadatan probabilitas, seperti pada persamaan (4).

$$F(V) = \int_0^V f(V) dV = 1 - e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} \quad (4)$$

Sehingga nilai *wind power density*, berdasarkan metode *weibull distribution* adalah

$$P_w = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (5)$$

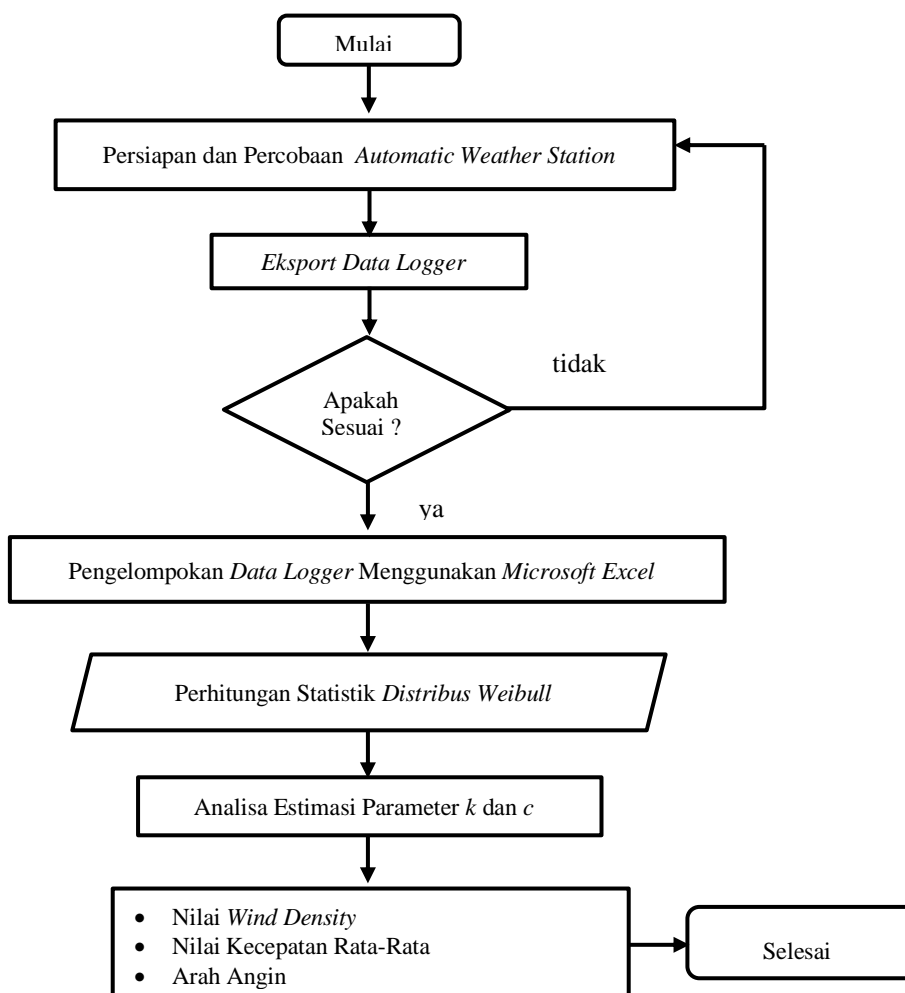
Analisa acak *data logger* kecepatan dan arah angin penelitian ini diproses menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel* dalam bentuk distribusi yang ditampilkan tabel dan *wind rose* yang arah angin maupaun kecepatan angin dalam beberapa kontur warna yang mewakili presentase kecepatan angin [7]. Skema kerja penelitian ini ditunjukkan dalam diagram alir yang ditunjukkan Gambar 5.



Gambar 4. Pemasangan Unit *Automatic Weather Station*

Tabel 1. Spesifikasi Unit *Automatic Weather Station* [22]

Parameter	Unit Indoor/ Receiver	Unit Outdoor/ Transmitter
Temperature range	0°C~50°C(32°F~122°F);	-40°C~60°C(-104°F~140°F)
Temperature accuracy	±1°C	±1°C
Temperature resolution	0,1°C	0,1°C
Humidity range	20%~99%	20%~99%
Humidity accuracy	±5%	±5%
Humidity resolution	1%	1%
	(condition: temp 25°C, humidity 50%)	
Pressure range	920~1080hPa	
Pressure accuracy	±5hPa	
Pressure resolution	0,1 hPa	
Update data	Transmission 48s	48s
Alarm	2 minutes	
Power	3*1,5V AA battery	2*1,5V AA battery
Battery life	about 12 months	about 24 months
Low battery check	power-on check; 00:00 check everyday	power-on check; 00:00 check every day
Work temperature	0°C to 50°C	-40°C~60°C(-104°F~140°F)
Wind speed range		0~50m/s
Wind speed resolution		0,1 m/s
Rain range		0~9999mm
Rain resolution		0,1mm(rainfall<1000 mm) 1 mm(rainfall>1000 mm)



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Data *realtime* selama 31 hari dengan *interval* setiap data 5 menit dari unit *Automatic Weather Station* didapat 10.510 buah *data logger* kecepatan angin dengan arah angin yang terbagi dalam 17 kategori kecepatan angin mulai dari 0,0 m/s sampai 7,0 m/s, *data logger* ini ditunjukkan Tabel 2. Berdasarkan *data logger* 6 Agustus 2021 sampai 6 September 2021 atau periode prakiraan puncak musim kemarau 2021, kecepatan angin terbaca di sekitar lokasi penelitian didominasi kecepatan 0,8 m/s sampai 3,1 m/s dengan arah angin terbaca didominasi arah barat dan selatan.

Berdasarkan *data logger realtime* yang ditunjukkan Tabel 2, kecepatan angin yang direpresentasikan dalam penelitian ini mulai dari 0,4 m/s sampai 7,0 m/s sehingga yang digunakan menjadi 9850 data, seperti yang ditunjukkan Tabel 3. Sebelum menghitung nilai *density power* wilayah penelitian, mencari dahulu nilai *k* (faktor bentuk distribusi) dan nilai *c* (faktor skala distribusi) untuk *weibull distribution* menggunakan metode grafik sesuai dengan Persamaan (1) dan Persamaan (2). Dalam menghitung Persamaan (1) dan Persamaan (2) menggunakan bantuan perangkat lunak *Microsoft Excle* dengan hasil *output yang* ditunjukkan Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3 nilai parameter *k* dan *c* untuk *weibull distribution* dihitung dengan metode grafik dengan mengubah fungsi kumulatif frekuensi menjadi grafik regresi linier dengan mengadopsi

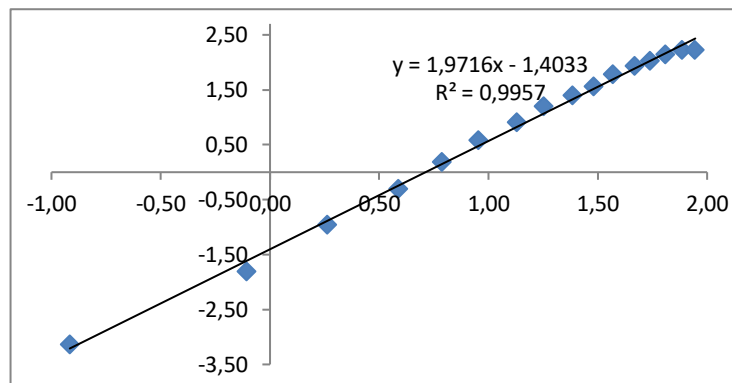
skala logaritma, nilai perhitungan dari “Ln (Vi)” sebagai fungsi x dan “Ln{-Ln(1-F(V))}” sebagai fungsi y direpresentasikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan Gambar 6 dengan persamaan garis linier $y = 1,9716 x + 1,4033$, sehingga nilai parameter *k* dan *c* berdasarkan formula pada referensi [7] yaitu $k=1,9716$ dan $c=2,038$. Tabel 4 menunjukkan *output* hasil perhitungan fungsi kepadatan probabilitas (*probability density*) berdasarkan persamaan (3) dan fungsi distribusi frekuensi kumulatif (*cumulative frequency distribution*) berdasarkan persamaan (4), hal ini direpresentasikan grafik pada Gambar 7a dan Gambar 7b. Gambar 7a menunjukkan berdasarkan statistik metode *weibull*, kecepatan angin yang paling sering terjadi selama periode penelitian 0,9 m/s dengan nilai *probability density* 0,1831. Nilai *k* menunjukkan kestabilan variabilitas dan level hembusan [17], penelitian ini nilai $k=1,9716$ dan dalam klasifikasi angin dengan variabilitas yang stabil dan hebusan angin yang cukup ($k=1,51 - 1,999$). Nilai parameter *c* menunjukkan nilai kecepatan rata-rata yang berdasarkan *weibull distribution* [26], sehingga pada penelitian ini kecepatan rata-rata 2,038 m/s. Sedangkan berdasarkan persamaan (5) nilai *density power* dengan nilai densitas udara 1,24 kg/m³ [27] 6,994 Watt/m², hal ini menunjukkan setiap m² pada wilayah penelitian memiliki potensi energi angin 6,994 Watt.

Tabel 2. Data Real Time Pemetaan Kecepatan Angin Dan Arah Angin

Kecepatan Angin (m/s)	Arah Angin								Total Data
	Utara	Timur Laut	Timur	Tenggara	Selatan	Barat Daya	Barat	Barat Laut	
0.0	70	31	102	129	134	103	68	23	660
0.4	52	21	39	25	122	55	76	30	420
0.9	75	43	90	92	266	153	254	95	1068
1.3	106	54	94	139	408	302	410	142	1655
1.8	79	41	99	135	434	460	565	176	1989
2.2	79	40	85	130	337	460	566	77	1774
2.6	40	21	33	71	248	373	453	57	1296
3.1	36	21	22	62	162	205	274	34	816
3.5	16	13	19	39	99	129	147	9	471
4.0	5	3	11	18	45	40	55	8	185
4.4	1	1	9	9	14	34	23	2	93
4.8	1		5	7	10	21	13		57
5.3		1		1	3	3	8		16
5.7				1	1	2	1		5
6.1	1			1	1				3
6.6							1		1
7.0						1			1
Total Data	561	290	608	859	2284	2341	2914	653	10510

Tabel 3. Perhitungan Metode Grafik

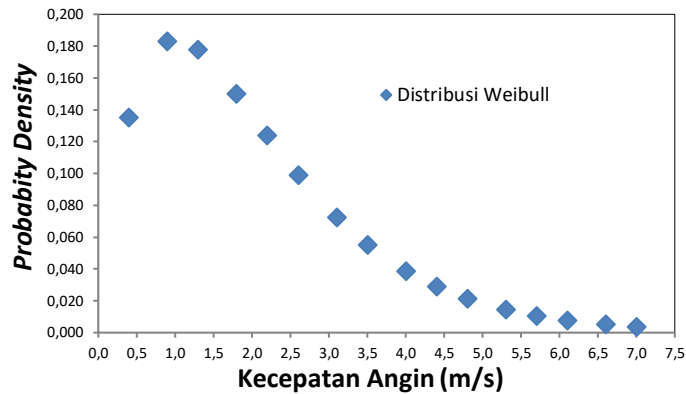
No	Kec Angin (Vi)	Jumlah Data (fi)	Presentase (%)	Frekuensi	Kumulatif Frekuensi (F(V))	Ln (Vi)	Ln{-Ln(1-F(V))}
1	0,40	420	4,2640	0,0426	0,043	-0,9163	-3,1333
2	0,90	1068	10,8426	0,1084	0,151	-0,1054	-1,8093
3	1,30	1655	16,8020	0,1680	0,319	0,2624	-0,9563
4	1,80	1989	20,1929	0,2019	0,521	0,5878	-0,3064
5	2,20	1774	18,0102	0,1801	0,701	0,7885	0,1887
6	2,60	1296	13,1574	0,1316	0,833	0,9555	0,5810
7	3,10	816	8,2843	0,0828	0,916	1,1314	0,9048
8	3,50	471	4,7817	0,0478	0,963	1,2528	1,1958
9	4,00	185	1,8782	0,0188	0,982	1,3863	1,3925
10	4,40	93	0,9442	0,0094	0,992	1,4816	1,5637
11	4,80	57	0,5787	0,0058	0,997	1,5686	1,7812
12	5,30	16	0,1624	0,0016	0,999	1,6677	1,9305
13	5,70	5	0,0508	0,0005	0,999	1,7405	2,0263
14	6,10	3	0,0305	0,0003	1,000	1,8083	2,1403
15	6,60	1	0,0102	0,0001	1,000	1,8871	2,2187
16	7,00	1	0,0102	0,0001	1,000	1,9459	2,2187



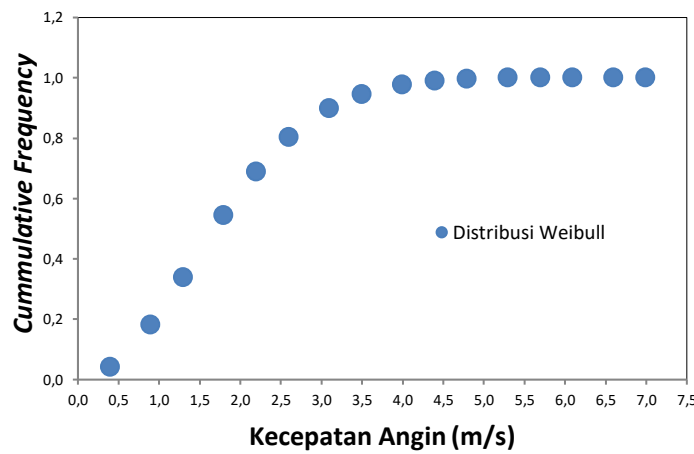
Gambar 6. Grafik Estimasi Nilai Parameter k dan c

Tabel 4. Output Weibull Distribution

Kec Angin (m/s)	Weibull Dist		Kec Angin (m/s)	Weibull Dist	
	Probability Density	Cummulative Distribution		Probability Density	Cummulative Distribution
0,40	0,1351	0,0396	4,00	0,0389	0,9772
0,90	0,1831	0,1810	4,40	0,0289	0,9896
1,30	0,1777	0,3379	4,80	0,0214	0,9956
1,80	0,1503	0,5430	5,30	0,0145	0,9986
2,20	0,1240	0,6875	5,70	0,0106	0,9995
2,60	0,0991	0,8015	6,10	0,0077	0,9998
3,10	0,0725	0,8985	6,60	0,0051	1,0000
3,50	0,0554	0,9453	7,00	0,0037	1,0000



(a)



(b)

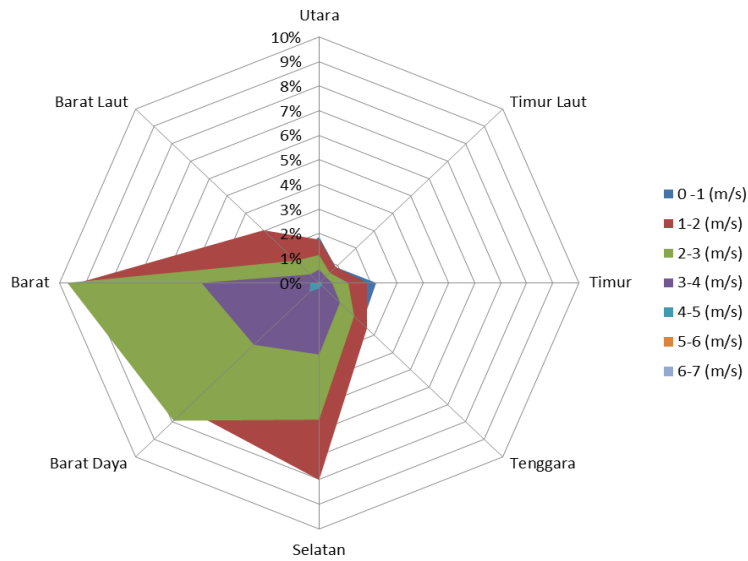
Gambar 7. (a) Grafik Weibull Distribution; (b) Grafik Cumulative Frequency Weibull Distribution

Dalam menganalisa kecepatan angin *real time* dengan arahnya seperti pada Tabel 2 ditampilkan dalam klasifikasi kecepatan angin, dalam penelitian ini kecepatan angin diklasifikasikan dalam tujuh kelas, selanjutnya ditunjukkan pada Tabel 6. Untuk lebih mudah memahami dan membaca arah angin berdasarkan klasifikasi kecepatan angin, data pada Tabel 6 ditampilkan dalam bentuk diagram *wind rose* seperti yang ditunjukkan Gambar 8, berdasarkan diagram tersebut, arah angin dalam periode penelitian didominasi arah barat dan barat daya pada kecepatan angin 2-3 m/s. Penelitian ini dilakukan

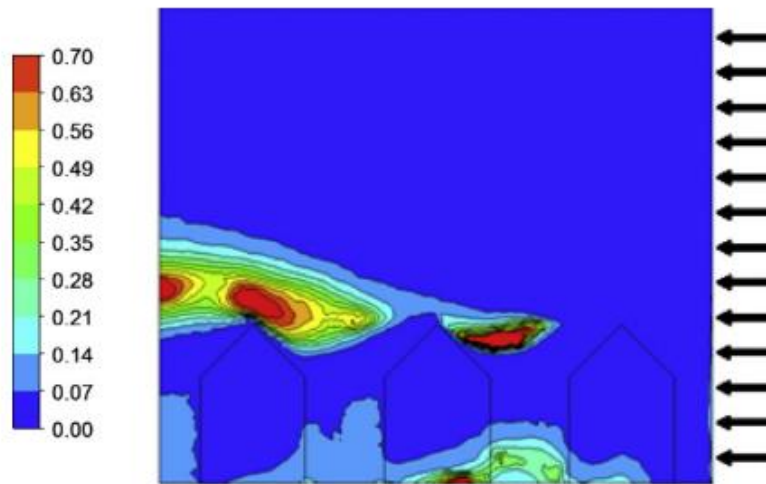
pada periode musim puncak kemarau, namun hasil arah angin yang diperoleh tidak didominasi oleh arah selatan-timur yang sesuai dengan kondisi arah angin pada musim kemarau [25]. Perbedaan arah angin yang terbaca ini disebabkan, angin yang melewati bagian *roof top* yang diilustrasi pada Gambar 10, dengan bentuk segitiga terjadi fenomena pusaran angin atau aliran turbulen yang ditunjukkan kontur warna akibat *boundary layer* berubah karena hambatan profil bangunan sehingga arah angin akan berubah [10][13],

Tabel 6. Data Real Time Arah Angin

Kec Angin	Utara	Timur Laut	Timur	Tenggara	Selatan	Barat Daya	Barat	Barat Laut	Total
0-1 (m/s)	1,87%	0,90%	2,20%	2,34%	4,97%	2,96%	3,79%	1,41%	20,44%
1-2 (m/s)	1,76%	0,90%	1,84%	2,61%	8,01%	7,25%	9,28%	3,03%	34,67%
2-3 (m/s)	1,13%	0,58%	1,12%	1,91%	5,57%	7,93%	9,70%	1,27%	29,21%
3-4 (m/s)	0,54%	0,35%	0,49%	1,13%	2,91%	3,56%	4,53%	0,49%	14,01%
4-5 (m/s)	0,02%	0,01%	0,13%	0,15%	0,23%	0,52%	0,34%	0,02%	1,43%
5-6 (m/s)	0,00%	0,01%	0,00%	0,02%	0,04%	0,05%	0,09%	0,00%	0,20%
6-7 (m/s)	0,01%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	0,05%
Total	5,34%	2,76%	5,78%	8,17%	21,73%	22,27%	27,73%	6,21%	100%



Gambar 8. Wind Rose Diagram Arah Angin Berdasarkan Kategori Kecepatan Angin



Gambar 9. Fenomena Aliran Turbulen Pada Atap Segitiga [13]

4. Kesimpulan

Penelitian tentang awalan pemetaan kecepatan angin dan arah angin pada wilayah industri sebagai telah dilakukan 6 Agustus 2021 sampai dengan 6 September 2021 dalam periode puncak musim kemarau. Data hasil pemetaan angin dan arah angin telah diperoleh setelah data *realtime* diolah menggunakan metode *weibull distribution* dengan nilai parameter $k=1,9716$ yang termasuk klasifikasi angin dengan vabiabilitas yang stabil dan hebusan angin yang cukup, dan parameter $c=2,038$ menunjukkan nilai kecepatan rata-rata, sehingga didapat kecepatan rata-rata 2,038 m/s. Berdasarkan nilai parameter k dan c , nilai *density power* di wilayah penelitian 6,994 Watt/m², yang menunjukkan pada periode waktu penelitian nilai

daya angin *available* sebesar 6,994 Watt untuk setiap luasan meter. Sedangkan arah angin yang terbaca cenderung tidak sama dengan arah angin normal pada musim kemarau, pada penelitian ini angin cenderung mengarah selatan-timur setelah hebusan angin terhambat oleh profil dari bangunan maupun atap bangunan.

Ucapan Terimakasih

Penulis sampaikan kepada Politeknik Manufaktur Ceper melalui LPPM telah memfasilitasi dan mendanani hibah penelitian tahun anggaran 2021 dan publikasi ini dengan Surat Perjanjian Nomor :148.1/PLC.04/VI/2021.

Daftar Pustaka

- [1] S. Syarifudin, Cahyo, A. Supriyadi, "Korelasi Propertis Biodiesel Terhadap Emisi Gas Buang dan Performa Mesin Diesel" *Jurnal Infotek mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 9–13 (2020). DOI:10.35970/infotekmesin.v11i1.91
- [2] R. A. Siti, A. F. Pratiwi, R. Saepul, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Sistem Oscillating Water Column" *Jurnal Infotekmesin*, vol. 12, no. 1, pp. 42–49 (2021). DOI: 10.35970/infotekmesin.v12i1.412.
- [3] A. D. W. I. Santoso, "Telaah Produksi Biodiesel dari Biomassa Mikroalga A Study on Biodiesel Production from Microalgae Biomass (Comparison of Energy Budget and Environmental Cost Value)." *Jurnal Teknologi Lingkungan*, vol. 17, no. 2, pp. 66–72 (2016)
- [4] S. Akhadiarto, and D. A. N. Muhamad, "Estimasi Emisi Gas Metana dari Fermentasi Enterik Ternak Ruminansia Menggunakan Metode Tier-1 di Indonesia (Estimate of Methane Emissions from Enteric Fermentation by Ruminant Animals Using Tier-1 Methods in Indonesia)" *Jurnal Teknologi Lingkungan*, vol. 18, no. 1, pp. 1–8 (2017).
- [5] T. Bantacut, and T. A. Y. Fitriani, "Keseimbangan Biomassa dan Pemanenan Energi pada Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit (Biomass Balance and Energy Harvesting in Palm Oil Mills Wastewater Treatment)". *Jurnal Teknologi Lingkungan*, vol. 20, no. 1, pp. 83–92 (2019).
- [6] E. Setiawan, "Perbandingan Penggunaan Panel Surya dan Turbin Angin dalam Implementasi Energi Baru Terbarukan (EBT) di Lingkungan Universitas Pertamina (Comparison of Solar Panel and Wind Turbine as New and Renewable)" *Jurnal Teknologi Lingkungan*, vol. 22, no. 1, pp. 29–37 (2021).
- [7] P. Jain, "Wind Energy Engineering" 1st ed. New York: Mc Graw Hill. (2011)
- [8] A. K.C. J. Whale, and T. Urmee, "Urban wind conditions and small wind turbines in the built environment: A review," *Renew. Energy*, vol. 131, pp. 268–283 (2019). DOI: 10.1016/j.renene.2018.07.050
- [9] R. Muhamad, and D. Danardono, "Statistik Analisis Potensi Kecepatan Angin Roof Top Gedung Sala View Hotel Menggunakan Metode Weibull dan Metode Rayleigh," *Mekanika*, vol. 13, no. 1, pp. 60–64 (2015).
- [10] I. Abohela, N. Hamza, and S. Dudek, "Effect of roof shape , wind direction , building height and urban configuration on the energy yield and positioning of roof mounted wind turbines," *Renew. Energy*, vol. 50, pp. 1106–1118 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.08.068>
- [11] A. Ratnaningsih, A. Hasanuddin, R. Hermansa, "Penilaian Kriteria Green Building Pada Pembangunan Gedung ISDB Project Berdasarkan Skala Indeks Menggunakan Greenship Versi 1.2 (Studi Kasus: Gedung Engineering Biotechnology Universitas Jember)". *BERKALA SAINSTEK*, VII (2): 59-66 (2019).
- [12] E. Mahmoud, and F. Abdelgawad, "Utilization of Wind Energy in Green Buildings". *Twelfth International Conference of Fluid Dynamics*, 19-20 December (2016).
- [13] L. Ledo, P. B. Kosasih, and P. Cooper, "Roof mounting site analysis for micro-wind turbines," *Renew. Energy*, vol. 36, no. 5, pp. 1379–1391 (2011). <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2010.10.030>
- [14] M. S. Hassan and M. Shaheen, "A Review On The Types Of Vertical Axis Wind Turbines And The Methods Of Their Performance Study," *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)* Vol 6. Issue 9, September (2019).
- [15] H. P. Dida, S. Suparman, and D. Widhiyanuriyawan, "Pemetaan Potensi Energi Angin di Perairan Indonesia Berdasarkan Data Satelit QuikScat dan WindSat,". *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 95–101, (2016)..
- [16] W. Widiyanto, "Analisis Probabilitas Kecepatan Angin untuk Pesisir Cilacap dengan Menerapkan Distribusi Weibull dan Rayleigh". *Dinamika Rekayasa* vol. 9, no. 1, (2013).
- [17] W. Widiyanto, "Distribusi Weibull Kecepatan Angin Wilayah Pesisir Tegal dan Cilacap", *Konferensi Nasional Teknik Sipil* 7 115- 121 (2013).
- [18] A. Wildani and S. Kurniasari, "Distribusi Weibull Kecepatan Angin Wilayah Kecamatan Pangarengan Kabupaten Sampang Madura," *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, vol. 4, no. 1, pp. 57–62, (2019). <http://dx.doi.org/10.33366/rekabuana.v4i1.1135>.
- [19] D. C S. Jacob, and S. T. A. Lekatompessy, "Rancang Bangun WAS (Weather Automatic Station) Pendeteksi Cuaca Secara Real Time dan Terintegrasi Guna Mendukung Keselamatan Pelayaran Kapal Rakyat Di Maluku " *Jurnal Teknologi*, vol. 16, no. 2, pp. 2131–2139 (2017).
- [20] W. Sucipto, "Rancang Bangun Perangkat Pemantau Cuaca Otomatis Berbasis Mikrokontroler Pada Jaringan WLAN IEEE 802.11b," *E-Journal SPEKTRUM*, vol. 4, no. 2, pp. 48–55 (2017). <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2017.v04.i02.p07>.
- [21] T. F. Ishugah, Y. Li, R. Z. Wang, and J. K. Kiplagat, "Advances in wind energy resource exploitation in urban environment: A review Advances in wind energy resource exploitation in urban environment : A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 37, no. September, pp. 613–626 (2014). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.053>
- [22] Tiankan Electronic Technology, "Professiona Wireless Weather Station with solar Power & PC Link : WS1040 User Manual." .
- [23] D. Micallef, and G. van Bussel, "A Review of Urban Wind Energy Research: Aerodynamics and Other Challenges," *Energies*, vol. 11, no. 2204, pp. 1–27 (2018). <https://doi.org/10.3390/en11092204>
- [24] Tim Badan Meterologi Klimatologi dan Geofisika "Prakiraan Musim Kemarau 2021 Di Indonesia." Jakarta: Pusat Informasi Perubahan Iklim Meterologi Klimatologi dan Geofisika (2021).
- [25] A. Fadholi, "Analisis Data Angin Permukaan Di Bandara Pangkalpinang Menggunakan Metode Windrose," *Jurnal Geografi*, vol. 10, no. 2, pp. 112–122 (2013). DOI: <https://doi.org/10.15294/jg.v10i2.8056>
- [26] J. Waewsak, C. Chancham, M. Landry, and Y. Gagnon, "An Analysis of Wind Speed Distribution at Thasala, Nakhon Si Thammarat , Thailand," *J.*

Sustain. Energy Environ., vol. 2, pp. 51–55 (2011)
[27] S. Mathew. "Wind Energy Fundamentals, Resource

Analysis and Economics", 1st ed. Kerala: Springer
(2006).