

Analisis Windrose untuk Prediksi Arah & Jangkauan Pencemaran Udara

I Gede Putu Eka Suryana*¹

¹Program Studi Teknik Informatika STMIK STIKOM Indonesia, Bali

e-mail: gdekasuryana@gmail.com

Abstrak

Aktivitas manusia yang semakin kompleks sehingga dapat menyebabkan adanya pencemaran baik itu pada air, tanah maupun udara. Pencemaran yang terjadi di udara mendapatkan perhatian yang lebih dalam kasus ini. Suatu polutan yang diemisikan oleh sumbernya akan mengalami proses transportasi dan transformasi di atmosfer. Faktor meteorologi seperti suhu udara, kelembaban, arah dan kecepatan angin, stabilitas atmosfer, dan curah hujan memberi andil dalam proses transportasi tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauhmana jangkauan dari polutan yang diakibatkan oleh asap suatu pabrik dan juga memprediksi arah dari polutan tersebut. Metode yang digunakan untuk menganalisis data hasil pengukuran adalah metode mawar angin atau Windrose. Windrose adalah sebuah metode penggambaran informasi mengenai kecepatan dan arah angin pada suatu lokasi tertentu. Mawar angin digambarkan dalam format melingkar dengan skema frekuensi angin yang berhembus dari arah tertentu sebagai representasi data meteorologi terutama dalam kajian pencemaran udara, karena dapat dilihat arah persebaran polutan terjauh dan jangkauan maksimum dari polutan tersebut. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan dari pagi dan siang hari baik dari kondisi meteorologis baik dari suhu udara, kecepatan angin, kelembaban maupun arah angin dominan sehingga mempengaruhi kemampuan mengangkat partikal. Daerah yang aman dari pencemaran adalah utara, tenggara, barat daya, barat dapat direkomendasikan sebagai lokasi permukiman.

Kata kunci— Windrose, Polutan, Faktor meteorologis

Abstract

Human activities are increasingly complex so that it can cause pollution in both water, soil and air. Pollution that occurs in the air gets more attention in this case. A pollutant emitted by the source will undergo a process of transportation and transformation in the atmosphere. Meteorological factors such as air temperature, humidity, wind direction and speed, atmospheric stability, and rainfall contribute to the transportation process. The purpose of this research is to determine the extent of the range of pollutants caused by the smoke of a factory and also to predict the direction of these pollutants. The method used to analyze the measurement data is the wind rose method or Windrose. Windrose is a method of describing information about the speed and direction of the wind at a certain location. Wind roses are depicted in a circular format with a schematic of the frequency of the wind blowing from a certain direction as a representation of meteorological data, especially in the study of air pollution, because it can be seen the direction of the furthest distribution of pollutants and the maximum range of these pollutants. The results showed the difference between morning and afternoon, both from meteorological conditions in terms of air temperature, wind speed, humidity and dominant wind direction so that it affected the ability to lift particles. Areas that

are safe from pollution are north, southeast, southwest, west can be recommended as residential locations.

Keywords— *Windrose, Pollutants, Meteorological Factors*

1. PENDAHULUAN

Pencemaran udara di perkotaan merupakan permasalahan yang sangat penting dan memerlukan perhatian khusus dari pemerintah. Jumlah kendaraan meningkat 6 juta unit setiap tahunnya. Menurut WHO menyatakan bahwa pencemaran udara merupakan risiko gangguan kesehatan terbesar di dunia. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No.41 Tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara ditetapkan kadar dari pencemaran udara. Baku mutu udara nasional karbon monoksida (CO) adalah $15.000 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, sulfur dioksida (SO₂) adalah $632 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, dan nitrogen dioksida (NO₂) adalah $316 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Pencemaran udara dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah faktor iklim [1], [2]. Kondisi ini suhu udara yang tinggi akan menyebabkan bahan pencemar dalam udara berbentuk partikel menjadi kering dan ringan sehingga bertahan lebih lama di udara. Sumber pencemaran udara disebabkan oleh bertambahnya aktifitas manusia yang menghasilkan polutan.

Lingkungan diartikan sebagai satuan sistem yang meliputi Abiotic, Biotic dan Cultural. Faktor abiotic diantaranya sinar matahari, tanah, air, udara [3]. Faktor ini merupakan komponen dasar dari kegiatan dalam kehidupan sehingga dapat berlangsung. Aktivitas manusia yang semakin kompleks sehingga dapat menyebabkan adanya pencemaran baik itu pada air, tanah maupun udara. Pencemaran yang terjadi di udara mendapatkan perhatian yang lebih dalam kasus ini. Faktor meteorologis memberikan peranan yang sangat penting dalam menentukan kualitas udara di suatu daerah. Atmosfer merupakan salah satu medium penerima yang dinamis yang menunjukkan kemampuan penyebaran (dispersi), pengenceran (dilusi), difusi (antar molekul gas dan atau partikel/aerosol), transformasi fisika-kimia dalam proses dan mekanisme kinetik atmosferik. Kemampuan atmosfer ditentukan oleh kecepatan arah angin, kelembaban, temperatur, tekanan, aspek permukaan [4].

Suatu polutan yang diemisikan oleh sumbernya akan mengalami proses transportasi dan transformasi di atmosfer. Faktor meteorologi seperti suhu udara, kelembaban, arah dan kecepatan angin, stabilitas atmosfer, dan curah hujan memberi andil dalam proses transportasi tersebut [5], [6].

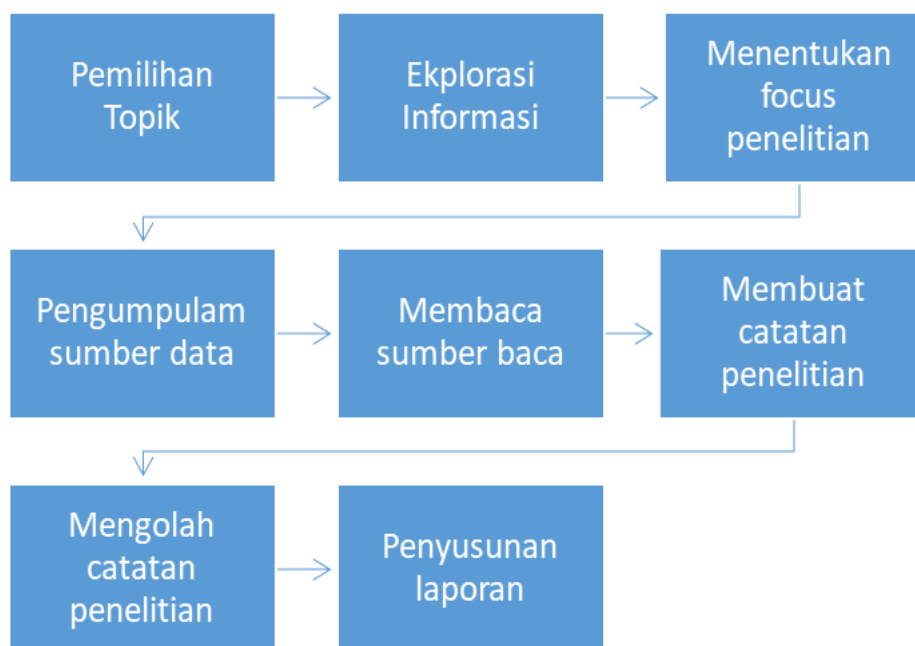
Waktu merupakan faktor yang mempengaruhi perubahan dari faktor meteorologis dalam skala waktu pagi, siang dan malam diasumsikan berbeda kondisi meteorologisnya yang dalam kaitannya dalam pencemaran udara sebagai medium/ perantara dari bahan pencemar [4], [7], [8]. Kondisi atmosfer yang dinamis ini dilihat kontribusinya dalam mempengaruhi variasi kadar pencemaran khususnya debu di udara terutama dalam udara ambien. Kemungkinan untuk membaca situasi pengaruh dari bahan pencemar merupakan suatu harapan dari masyarakat sehingga dapat dipilih lokasi yang memungkinkan untuk memperoleh udara yang tak tercemar sehingga menunjang kesehatannya. Memperoleh hal tersebut dilakukan dengan jalan menganalisis sejauh mana faktor-faktor meteorologis dapat memengaruhi terhadap pencemaran udara ambien. Dengan memanfaatkan model dapat menghemat tenaga dan biaya yang harus dikeluarkan dibandingkan dengan pengukuran aktual. Akan tetapi akurasi pola penyebaran menggunakan model sangat tergantung dari analisis data meteorology.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Metode Dokumentasi

Mengkaji atau melakukan interpretasi bahan tertulis berdasarkan konteksnya. Bahan tersebut bisa berupa catatan yang terpublikasikan, buku teks, artikel, dan sejenisnya.

2. 2 Metode Literatur



Gambar 1 Bagan alir metodologi penelitian

Prosedur yang dilaksanakan

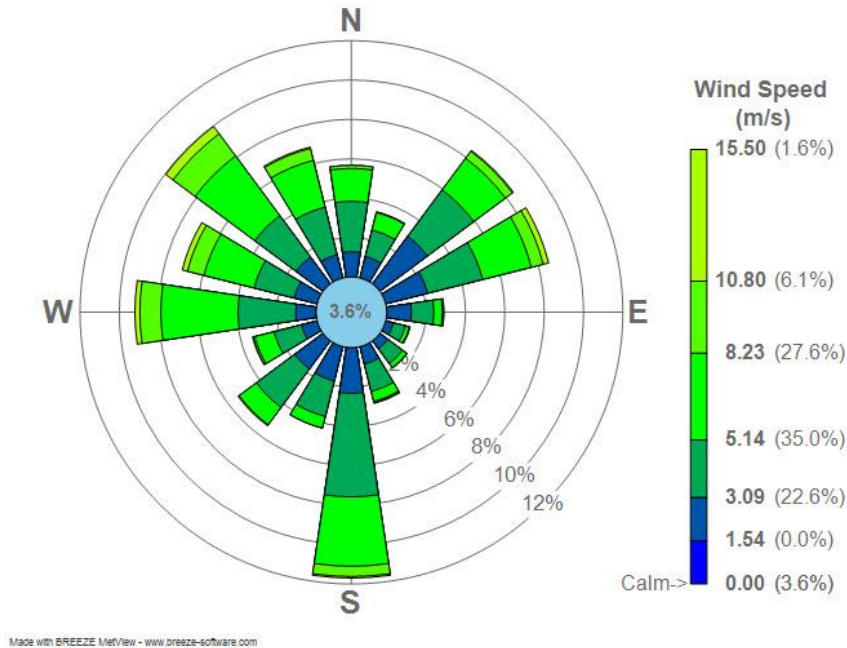
1. Pemilihan Topik, pemilihan topik dalam penelitian ini, diawali dengan adanya informasi dalam suatu artikel terkait factor-faktor meteorologis yang mempengaruhi arah dan jangkauan dari polutan
2. Ekplorasi Informasi, berdasarkan artikel yang diperoleh kemudian dilakukan eksplorasi lebih lanjut melalui jurnal-jurnal terkait dengan penggunaan metode windrose untuk memprediksi arah dan jangkauan suatu polutan yang dipegaruhi oleh factor-faktor meteorologis
3. Menentukan focus penelitian, penelitian yang dilaksanakan berfokus pada analisis windrose untuk memprediksi arah dan jangkauan suatu polutan sehingga membantu dalam menentukan suatu perencanaan seperti permukiman dan lain-lain
4. Pengumpulam sumber data, data yang dikumpulkan untuk mendukung penelitian yang dilaksanakan adalah sebagian dari bahan bacaan serta catatan pada saat kuliah juga sebagian dari artikel serta jurnal terkait analisis windrose untuk memprediksi arah dan jangkauan suatu polutan
5. Membaca sumber baca, bahan bacaan tersebut kemudian dibaca serta dikelompokkan untuk bahan analisis
6. Membuat catatan penelitian, bagian penting dalam mendukung analisis dicatat, dikumpulkan secara teratur
7. Mengolah catatan penelitian, mengorganisasikan catatan yang terpisah untuk menjadi satu kesatuan analisis
8. Penyusunan laporan, bagian terakhir adalah menyusun laporan untuk selanjutnya dilakukan publikasi.

2.3 Metode Analisis Data Menggunakan Metode Windrose

Kegiatan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pengumpulan data berupa data arah dan kecepatan angin dan factor-faktor meteorologis lainnya yang kemudian dianalisis dengan menggunakan metode windrose atau mawar angin untuk mengetahui arah pencemaran yang ditimbulkan oleh asap suatu pabrik.

Mawar angin atau cakra angin (rose) adalah sebuah metode penggambaran informasi mengenai kecepatan dan arah angin pada suatu lokasi tertentu [9]. Mawar angin digambarkan dalam format melingkar dengan skema frekuensi angin yang berhembus dari arah tertentu. Panjang setiap mahkota menunjukkan tingkat frekuensi berhembusnya angin dari arah tersebut, bernilai nol di pusat mawar dan terus meningkat hingga tepi mawar.

Windrose adalah suatu diagram yang berisi tentang informasi arah dan kecepatan angin . Windrose dapat digunakan untuk menganalisis data angin untuk keperluan meteorologi dari suatu set data angin. Windrose merupakan diagram yang sangat penting dalam representasi data meteorologi terutama dalam kajian pencemaran udara, karena dengan windrose dapat dilihat arah persebaran polutan terjauh dan juga jangkauan maksimum dari polutan tersebut [10].



Gambar 2 Contoh metode windrose

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Variasi Kadar Debu di Udara pada Kondisi Waktu dan Meteorologis

Analisis mengenai variasi kadar debu di udara pada berbagai kondisi waktu dan meteorologis.

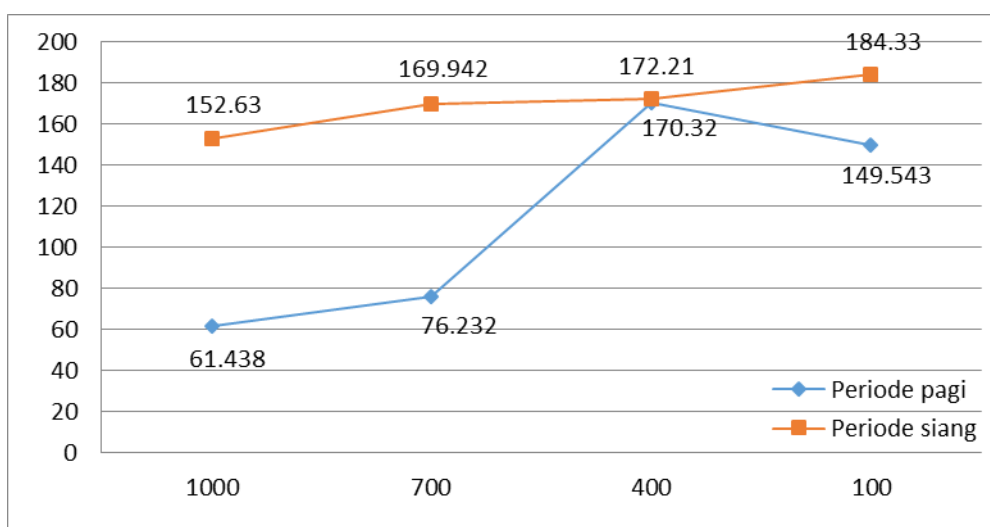
Berdasarkan grafik pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa terjadi variasi kadar debu di udara ambien pada di pagi hari lebih rendah daripada siang hari. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kondisi waktu, perbedaan suhu dan kelembaban udara serta kecepatan dan arah angin. Pengukuran kadar debu dilakukan pada empat titik, yaitu pada jarak 1000 meter, 700 meter, 400 meter, dan 100 meter dari pabrik. Pengukuran dilakukan sebanyak dua periode (pagi dan siang) dengan rentang waktu 9 jam.

Hasil pengukuran kadar debu di udara ambien di daerah sekitar pabrik pada periode pagi mencapai 61,438 µg/m³ pada jarak 1000 meter, meningkat pada kadar 76,232 µg/m³ pada jarak 700 meter, semakin mendekati pabrik pada jarak 400 meter meningkat lagi dengan kadar 170,320 µg/m³, dan pada jarak 100 meter dari pabrik menurun pada kadar debu 149,543 µg/m³.

Tabel 1 Hasil pengukuran awal

Parameter	Periode Pagi	Periode Siang
-----------	--------------	---------------

	6.00	7.00	8.00	9.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Lokasi (m)	1000	700	400	100	1000	700	400	100
Kadar Debu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	61,438	76,232	170,32	149,543	152,63	169,942	172,21	184,33
Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	25,5	26,3	28	30	29,1	29	28,5	28,9
Kelembaban (%)	95	95	92	90	70	70	71	71
Kec.Angin (m/det)	0,6	0,6	0,1	1,1	1	1,1	1	1,1
Arah angin	S	S	TL	BL	T	T	TL	TL



Gambar 3 Kadar debu pada tiap lokasi pengamatan

Sedangkan hasil pengukuran pada periode siang, kadar debu meningkat sampai 152,630 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada jarak 1000 meter, pada jarak 700 meter meningkat lagi dengan kadar debu 169,942 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dan meningkat lagi pada kadar debu 172,210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada jarak 400 meter serta 184,330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada jarak 100 meter.

Dari hasil pengukuran ini diperoleh gambaran bahwa semakin jauh jarak dari pabrik, maka semakin rendah kadar debu yang diperoleh. Hal tersebut dapat dijelaskan dengan penjelasan faktor-faktor meteorologis yang mempengaruhi variasi kadar debu sebagai berikut.

Kecepatan angin dapat menentukan lama waktu perjalanan partikel ke reseptor dan juga laju dispersi bahan polutan atau bahan pencemar. Semakin tinggi kecepatan angin atau semakin kencang angin tersebut, maka semakin jauh dampak polutan debu yang bisa dijangkau. Berdasarkan hasil pengukuran pun dapat dilihat bahwa angin dominan bertiup ke arah timur laut sehingga debu lebih banyak terdistribusi ke wilayah timur laut pabrik.

Pada pagi hari, kadar debu di daerah yang berjarak 1000 meter dari pabrik rata-rata lebih rendah dari daerah yang lebih dekat jaraknya dari pabrik tersebut. Hal ini dipengaruhi oleh waktu pengukuran/ pengambilan data yang dilakukan pada jam 06.00 pagi, dimana pada saat itu suhu udara masih rendah yaitu 25,5 OC dengan kondisi angin relatif tenang, yaitu kecepatan 0,6 m/det ke selatan. Perbedaan suhu di udara ambien akan menimbulkan perbedaan tekanan udara dan perbedaan tekanan udara akan mempengaruhi arah dan kecepatan angin di suatu wilayah. Hal ini terjadi karena pada prinsipnya angin bertiup dari wilayah yang bertekanan tinggi ke wilayah yang bertekanan rendah. Semakin rendah suhu ambien suatu wilayah, maka semakin tinggi tekanan udaranya. Suhu yang rendah menyebabkan tekanan udara tinggi, kekuatan angin yang bertiup ke lokasi ini pun berkurang sehingga partikel debu yang terbawa sedikit.

Di daerah yang berjarak 700 meter dari pabrik memiliki kadar debu sedikit lebih tinggi dari jarak sebelumnya. Hal ini kemungkinan terjadi karena jarak yang lebih dekat dan waktu pengukuran yang berbeda sehingga menyebabkan perbedaan suhu. Perubahan suhu sepanjang hari dapat diketahui dengan melihat catatan suhu pada termograf dan termometer. Sudut datang sinar matahari, semakin tegak arah sinar matahari (siang hari) akan semakin panas. Tempat yang mendapat penyinaran matahari yang datangnya miring (pagi dan sore hari) lebih luas daripada yang tegak (siang hari). Suhu tertinggi terjadi pada pukul 1 atau 2 siang, sedangkan suhu terendah biasa terjadi pukul 4 atau 5 pagi. Pengukuran di lokasi ini dilakukan pada pukul 7. Kadar debu mencapai $76,232 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan suhu udara $26,3 \text{ OC}$. Angin bertiup ke arah yang sama namun kecepatannya sedikit lebih lambat dari lokasi I, yaitu $0,5 \text{ m/det}$. Lambatnya pergerakan angin serta meningkatnya suhu udara di lokasi ini menyebabkan distribusi partikel melambat.

Pada jarak 400 meter, kadar debu semakin tinggi, tertinggi diantara tiga lokasi pengukuran lainnya. Pengukuran dilakukan pada pukul 8. Tingginya kadar debu di lokasi ini dipengaruhi oleh kecepatan angin yang sangat rendah, yaitu $0,1 \text{ m/det}$ sehingga partikel tidak dapat terbawa jauh dari lokasi. Penyebab lain kemungkinan karena pada saat itu pabrik mulai beroperasi.

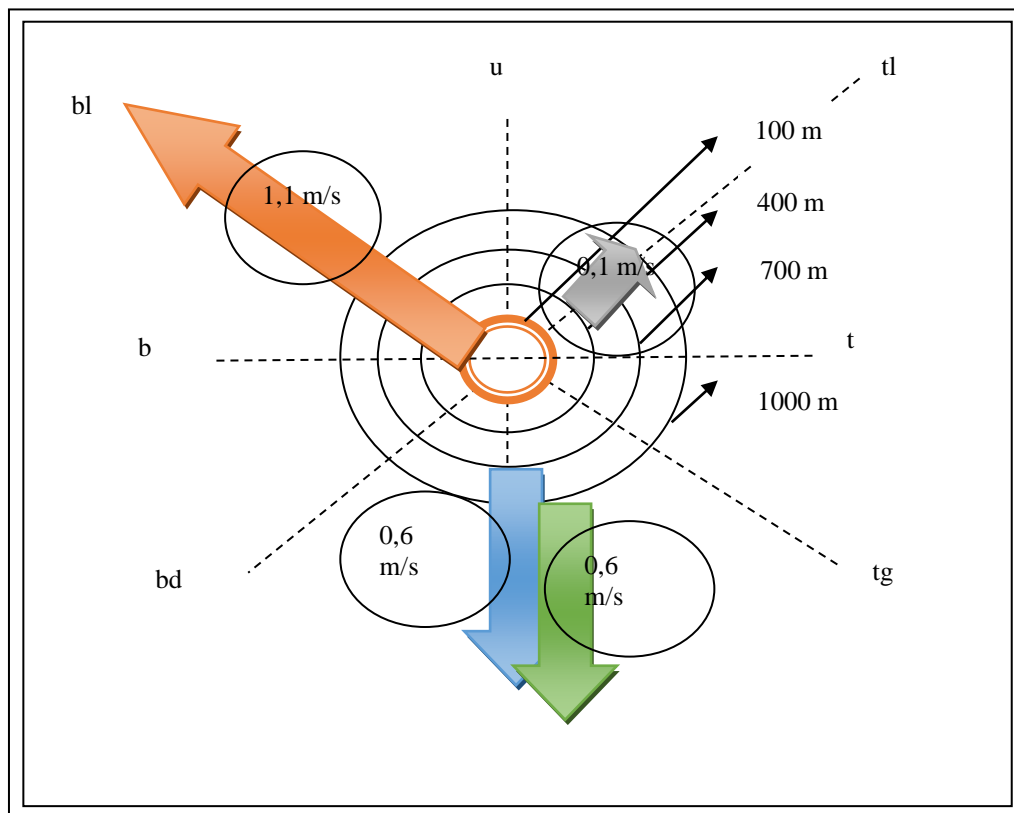
Kadar debu pada jarak 100 meter dari pabrik berkisar $149,543 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pada lokasi ini proses deposit kering lebih tinggi karena jaraknya dekat dari pabrik. Kadar debu di lokasi ini lebih rendah dari lokasi III. Hal ini dipengaruhi oleh kecepatan angin yang tinggi sehingga partikel-partikel debu di udara cepat terdistribusi ke wilayah lain (daerah yang jauh).

Pengukuran kedua dilakukan sekitar 9 jam berikutnya, yaitu pada siang hari. pada periode ini terjadi peningkatan kadar debu yang signifikan dari pengukuran pertama. Pada jarak 1000 meter dari pabrik, kadar debu mencapai $152,630 \mu\text{g}/\text{m}^3$, meningkat menjadi $169,942 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada jarak 700 meter, meningkat lagi menjadi $172,210 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada jarak 400 meter, dan meningkat lagi sampai $184,330 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada jarak 100 meter. Dari hasil pengukuran kedua ini dapat dipaparkan bahwa peningkatan kadar debu dipengaruhi oleh kondisi suhu udara dan angin pada saat itu.

Pada pengukuran periode kedua ini, dapat dilihat bahwa semakin mendekati pabrik kadar debu semakin tinggi. Di siang hari suhu udara meningkat, namun di sore hari suhu udara akan menurun. Pencemaran debu paling berat terjadi pada jarak 100 meter karena merupakan daerah terdekat dari pabrik. Suhu udara menurun akan menyebabkan kelembaban udara meningkat sehingga partikel debu terikat sehingga partikel debu semakin berat. Meningkatnya berat partikel maka dapat mengurangi kecepatan pergerakannya. Sehingga partikel dengan jumlah $184,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ditemukan pada jarak pengamatan terdekat dengan pabrik. Arah angin yang dominan adalah antara timur dan timur laut. Berdasarkan data tersebut menunjukkan bahwa wilayah yang dipengaruhi oleh pencemaran pada wilayah timur dan timur laut.


3.2 Perbedaan Kondisi Pagi Hari dan Siang Hari


Berdasarkan gambar dibawah ini terlihat perbedaan dari pagi dan siang hari baik dari kondisi meteorologis baik dari suhu udara, kecepatan angin, kelembaban maupun arah angin dominan sehingga mempengaruhi kemampuan mengangkat partikel. Kemampuan mengangkat serta memindahkan partikel ini mempengaruhi variasi debu di di udara ambien. Pada siang hari cenderung lebih banyak terjadi pencemaran daripada pagi hari karena dengan peningkatan suhu mengakibatkan kelembaban menurun sehingga kondisi partikel debu menjadi ringan. Kondisi ini mudah untuk dipengaruhi oleh faktor angin sehingga sebarannya bervariasi sesuai dengan arah, tenaga pengangkatan dan jika energi telah habis maka diendapkan pada tempat tersebut.





Gambar 4 Kondisi pagi hari

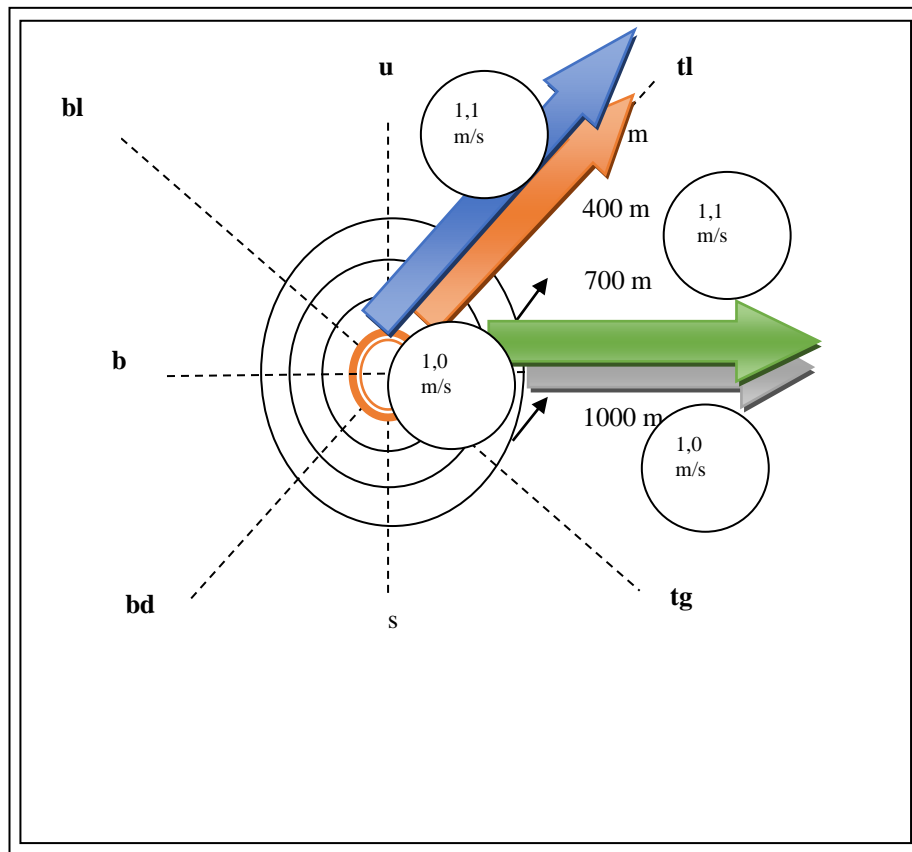
Ket :

 : 149,543 ug/m³

 : 170,32 ug/m³





 : 76,232 ug/m³

 : 61,438 ug/m³



Gambar 5 Kondisi siang hari

Ket :

-  : 172, 210 ug/m³
-  : 152,630 ug/m³
-  : 184,330 ug/m³
-  : 169,942ug/m³

3.3 Pengaruh antara Faktor Meteorologis terhadap Pola Pencemaran Udara

Pola pencemaran ditentukan oleh arah angin dan intensitasnya dipengaruhi oleh faktor meteorologis yang angin diantaranya suhu, kelembaban, kecepatan angin. Berdasarkan data maka, dapat dilihat polanya pagi dan siang hari berbeda. Pada pagi hari cenderung menyebar pada arah barat laut, timur laut dan selatan sedangkan pada siang hari cenderung menuju arah yang hampir seragam yakni pada arah timur dan timur laut. Pada masing-masing jarak pengamatan pada pagi hari kandungan debu cenderung lebih memiliki variasi yang lebih tinggi dibandingkan siang hari yang cenderung seragam namun dalam konsentrasi yang lebih tinggi.

3.4 Zonasi Aman untuk Perumahan yang Bebas dari Polusi Udara Pabrik

Daerah yang aman dari pencemaran adalah utara, tenggara, barat daya, barat dapat direkomendasikan sebagai lokasi permukiman. Permukiman merupakan tempat terselenggaranya kehidupan masyarakat dan masyarakat cenderung menginginkan sesuatu kondisi yang mampu menunjang kehidupan. Kesehatan lingkungan yang diperoleh dari kualitas udara yang baik dicirikan dengan rendahnya kandungan debu atau bahan pencemar yang rendah. Variasi bahan pencemar berdasarkan waktu, kondisi meteorologis serta jarak maka berdasarkan data, wilayah utara, tenggara, barat daya dan barat dapat diprioritaskan untuk pemilihan lokasi permukiman dengan pertimbangan musim serta iklim secara global tentunya.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran yang dianalisis dengan menggunakan metode mawar angin (wine rose), dapat dilihat perbedaan dari pagi dan siang hari baik dari kondisi meteorologis baik dari suhu udara, kecepatan angin, kelembaban maupun arah angin dominan sehingga mempengaruhi kemampuan mengangkat partikel. Kemampuan mengangkat serta memindahkan partikel ini mempengaruhi variasi debu di di udara ambien. Pada siang hari cenderung lebih banyak terjadi pencemaran daripada pagi hari karena dengan peningkatan suhu mengakibatkan kelembaban menurun sehingga kondisi partikel debu menjadi ringan. Kondisi ini mudah untuk dipengaruhi oleh faktor angin sehingga sebarannya bervariasi sesuai dengan arah, tenaga pengangkatan dan jika energi telah habis maka diendapkan pada tempat tersebut. Pada masing-masing jarak pengamatan pada pagi hari kandungan debu cenderung lebih memiliki variasi yang lebih tinggi dibandingkan siang hari yang cenderung seragam namun dalam konsentrasi yang lebih tinggi. Daerah yang aman dari pencemaran adalah utara, tenggara, barat daya, barat dapat direkomendasikan sebagai lokasi permukiman

5. SARAN

Dengan mengetahui arah dari pencemaran atau polusi udara oleh asap pabrik diharapkan akan membantu dalam merencanakan pembangunan seperti permukiman maupun fasilitas lainnya sehingga mampu meminimalisir dari terkena dampak polusi yang ditimbulkan oleh asap pabrik tersebut dan perlu mendapatkan perhatian serius dari pihak pemerintah, masyarakat, sangat diperlukan pula kerjasama dengan pihak ilmuwan/akademisi demi menghasilkan pemikiran yang rasional, logis, sistematis dalam penentuan jenis pengelolaan yang sesuai dengan berbagai kondisi tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Wisnugroho, R. Nanda, K. Ari, and W. S. Widiyanto, "Studi Alat Dan Analisa Pola Angin Hasil Pengukuran Automatic Weather Station (AWS) Thies Clima Di Wakatobi," *Semin. Nas. Pendidik. Biol. dan Saintek ke-IV*, pp. 427–435, 2019.
- [2] L. Myllyvirta, I. Suarez, E. Uusivuori, and H. Thieriot, *Pencemaran Udara Lintas Batas di provinsi Jakarta , Pencemaran Udara Lintas Batas*. 2020.
- [3] S. W. NINGSIH, A. Achyani, and H. Santoso, "FAKTOR BIOTIK DAN ABIOTIK YANG MENDUKUNG KERAGAMAN TUMBUHAN PAKU(Pteridophyta) DI KAWASAN HUTAN GISTING PERMAI KABUPATEN TANGGAMUS LAMPUNG," *BioloVA*, vol. 2, no. 1, pp. 64–71, 2021, doi: 10.24127/bioloVA.v2i1.293.

- [4] A. Amalia and F. B. Marshita, "Pengaruh Faktor Meteorologis Terhadap Perubahan Konsentrasi PM10 Periode Sebelum dan Saat PSBB di Kota Surabaya dan Sekitarnya (The Influence of Meteorological Factors on Changes in PM10 Concentrations Before and During PSBB in Surabaya City and its Surro," *Bul. GAW Bariri*, vol. 2, no. 1, pp. 24–36, 2021.
- [5] A. Pratama and A. Sofyan, "Analisis Dispersi Pencemar Udara PM10 di kota Bandung Menggunakan Wrfchem Data Asimilasi," *J. Tek. Lingkungan.*, vol. 26, no. 2, pp. 11–30, 2020.
- [6] B. Rahadi, E. Kurniati, and A. T. Imaya, "Analisis Sebaran Polutan SO₂, NO_x dan PM10 dari Sumber Bergerak pada Jalan Arteri Kota Malang," *J. Sumberd. Alam dan Lingkungan.*, vol. 6, no. 3, pp. 40–51, 2019, doi: 10.21776/ub.jsal.2019.006.03.5.
- [7] Y. Serlina, "Pengaruh Faktor Meteorologi Terhadap Konsentrasi NO₂ di Udara Ambien (Studi Kasus Bundaran Hotel Indonesia DKI Jakarta)," *J. Serambi Eng.*, vol. 5, no. 3, 2020, doi: 10.32672/jse.v5i3.2146.
- [8] D. Kartikasari, "Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Level Polusi Udara Dengan Metode Regresi Logistik Biner," *MATHunesa J. Ilm. Mat.*, vol. 8, no. 1, pp. 55–59, 2020, doi: 10.26740/mathunesa.v8n1.p55-59.
- [9] D. Tulandi, J. Tumangkeng, and F. Tumbelaka, "Analisis Data Angin Permukaan di Bandara Sam Ratulangi Manado Menggunakan Metode Wind Rose," *JSME (Jurnal Sains, Mat. dan Edukasi)*, vol. 1, pp. 11–16, 2020.
- [10] P. Hasibuan, A. Sasmita, D. Andrio, M. Program, S. Teknik, and D. T. Lingkungan, "Analisis Windrose Sebagai Input Prediksi Pencemaran Udara Menggunakan Software AERMOD," *J. Online Mhs. Bid. Tek. dan Sains*, vol. Vol 5 (201, pp. 1–4, 2018.