

Perbandingan Stabilitas Atmosfer di Permukaan Manifestasi Panas Bumi dengan Tanpa Manifestasi Panas Bumi menggunakan Bilangan Richardson

Andreas Panjaitan^{1)*}, Rolles N. Palilingan²⁾, Cyrke Adfie Netty Bujung³⁾, Sixtus Iwan Umboh⁴⁾

^{1,2,3,4}Program Studi Fisika, Universitas Negeri Manado, Kabupaten Minahasa, 95618, Indonesia

*E-mail: panjaitanandreas50@gmail.com

Diterima 2 April 2024; Disetujui 29 April 2024

ABSTRAK

Stabilitas atmosfer dapat mempengaruhi keadaan cuaca disuatu daerah. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan stabilitas atmosfer yang dilakukan di danau linow yang memiliki dua permukaan yaitu permukaan manifestasi panas bumi dan permukaan tanpa manifestasi panas bumi. Dalam menentukan stabilitas atmosfer, peneliti menggunakan metode bilangan Richardson. Untuk menentukan stabilitas atmosfer yang menggunakan bilangan Richardson dibutuhkan data kecepatan angin dan temperatur di setiap ketinggian. Ketinggian yang diukur yaitu 2 meter dan 4 meter dari permukaan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa di permukaan manifestasi panas bumi memiliki stabilitas atmosfer yang tidak stabil dengan bilangan Richardson -1,4729 sampai -0,1420, sedangkan di permukaan tanpa manifestasi panas bumi memiliki 3 keadaan stabilitas atmosfer yaitu: stabil, netral, dan tidak stabil, dengan bilangan Richardson -1,1316 sampai 0,9808. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa keadaan atmosfer di permukaan manifestasi panas bumi lebih tidak stabil, dibandingkan permukaan tanpa manifestasi panas bumi.

Kata kunci : Stabilitas Atmosfer, Bilangan Richardson, Manifestasi Panas Bumi.

ABSTRACT

The stability of the atmosphere can affect the weather conditions in an area. This study aims to compare atmospheric stability carried out in Lake Linow which has two surfaces, namely the surface of geothermal manifestation and the surface without geothermal manifestation. In determining the stability of the atmosphere, researchers use the Richardson number method. To determine atmospheric stability using the Richardson number, data on wind speed and temperature at each altitude are needed. The measured height is 2 meters and 4 meters from the surface. The results of this study show that on the surface geothermal manifestations have unstable atmospheric stability with Richardson numbers -1.4729 to -0.1420, while on the surface without geothermal manifestations have 3 states of atmospheric stability, namely: stable, neutral, and unstable, with Richardson numbers -1.1316 to 0.9808. Therefore, it can be concluded that the state of the atmosphere on the surface of geothermal manifestations is more unstable, compared to surfaces without geothermal manifestations.

Keywords : atmospheric stability; Richardson number; geothermal manifestation

1. PENDAHULUAN

Atmosfer bumi merupakan suatu kumpulan gas heterogen yang menyelimuti bumi mulai dari permukaan bumi sampai luar angkasa. Laju perubahan suhu dengan ketinggian memungkinkan untuk membedakan ketebalan berbagai lapisan yang membentuk atmosfer bumi. Troposfer adalah lapisan paling bawah dan lapisan yang paling dekat dengan permukaan bumi (Nugraha et al. 2017).

Pada lapisan atmosfer terdapat daerah manifestasi panas bumi yang dapat mempengaruhi suhu lingkungannya. Area dengan manifestasi panas bumi merupakan indikasi adanya sumber daya panas bumi. Manifestasi ini dapat terjadi akibat perambatan

di bawah permukaan atau dari rekahan yang memungkinkan cairan panas bumi naik ke permukaan (Saptadji N.M. 2001).

Dalam daerah panas bumi terdapat beberapa manifestasi, contohnya kolam air panas. Fenomena kolam air panas muncul dari pergerakan air panas bawah tanah yang naik ke permukaan melalui celah. Perpindahan panas dari permukaan air ke atmosfer menyebabkan penguapan di atas permukaan air. Suhu permukaan kolam, kecepatan angin, dan luasnya area kolam mempengaruhi seberapa banyak panas permukaan yang hilang ke atmosfer (Sudaryo Broto, 2011).

Biasanya temperatur di daerah manifestasi panas bumi lebih tinggi dari daerah lainnya

dikarenakan adanya perpindahan panas yang mempengaruhi suhu di tempat tersebut. Atmosfer yang tidak stabil dapat menimbulkan cuaca buruk atau terjadinya hujan disuatu daerah tersebut, sebaliknya dengan cuaca cerah tanpa awan merupakan atmosfer yang stabil (Winarno, Harianto, and Santoso (2019).

Bukan hanya mempengaruhi cuaca, stabilitas atmosfer juga dapat mempengaruhi *transfer* bahang pada suatu tempat.. Atmosfer yang tidak stabil memiliki *transfer* bahang yang lebih besar dibanding atmosfer yang stabil (Fitri Suciatiningsih 2013). Salah satu metode yang menentukan stabilitas atmosfer adalah Bilangan Richardson (Sosaidi, Akbar, and Setyoko, 2019).

Penting untuk dilakukannya penelitian terkait stabilitas atmosfer dan melakukan perbandingan di daerah manifestasi panas bumi dan tanpa manifestasi panas bumi, dikarenakan banyak daerah di Indonesia seperti di danau linow Lahendong Sulawesi utara yang memiliki manifestasi panas bumi. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka peneliti mengambil judul : “Perbandingan Stabilitas Atmosfer Di permukaan Manifestasi Panas Bumi Dengan Tanpa Manifestasi Panas Bumi Menggunakan Bilangan Richardson”.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai bilangan Richardson dan keadaan stabilitas atmosfer di permukaan manifestasi dan tidak manifestasi. Manfaatnya adalah sebagai referensi dalam perbandingan stabilitas atmosfer pada manifestasi panas bumi dan sebagai wadah wawasan penelitian dalam bidang Fisika Lingkungan di danau Linow.

2. KAJIAN LITERATUR

Atmosfer Bumi

Atmosfer juga berfungsi sebagai pelindung kulit bumi dari sinar-sinar kosmik, sinar ultraviolet dan lainnya yang berasal dari luar angkasa. Sinar-sinar sangat berbahaya untuk kehidupan makhluk hidup yang bersifat merusak dan mematikan.

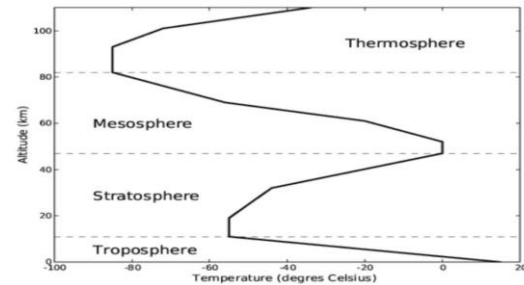
Atmosfer bumi disusun dari lapisan-lapisan gas-gas dengan urutan paling besar yaitu, Nitrogen (N_2), Oksigen (O_2), dan sejumlah gas-gas uap air (H_2O), dan Karbondioksida (CO_2). (Suryanto, W., & Luthfian, A. (2019). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Gas Permanen			Gas Variabel			
Gas	Simbol	%Volume (Udara Kering)	Gas dan Partikel	Simbol	%volume	Part-per million (ppm)
Nitrogen	N ₂	78,08	Uap Air	H ₂ O	0-4	
Oksigen	O ₂	20,95	Karbon dioksida	CO ₂	0,037	368
Argon	Ar	0,93	Metana	CH ₄	0,00017	1,7
Neon	Ne	0,0018	Nitrogen Oksida	N ₂ O	0,00003	0,3
Helium	He	0,0005	Ozon	O ₃	0,000004	0,04
Hidrogen	H ₂	0,00006	Partikel (debu, jelaga, dll)		0,000001	0,01-0,15
Xenon	Xe	0,000009	CFC		0,00000002	0,0002

Gambar 1. Komponen atmosfer bumi (Suryanto, W., &Luthfian, A. (2019).

Komponen gas-gas yang di atmosfer akan dapat berubah, baik dalam kurun waktu yang singkat ataupun dalam kurun waktu yang lambat. Komponen ini dapat juga berubah karena peristiwa alam maupun aktivitas manusia. Misalnya peristiwa alam yaitu erupsi gunung berapi yang dimana atmosfer mendapatkan penambahan partikel-partikel dari dalam bumi yang diakibatkan terjadinya erupsi gunung api tersebut.

Tekanan udara pada atmosfer akan berkurang secara bertahap seiring bertambahnya ketinggian, suhu pada atmosfer juga tidak sama setiap lapisannya. Dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Temperatur setiap lapisan atmosfer. (Suryanto, W., &Luthfian, A. (2019).

Lapisan Troposfer

Lapisan troposfer merupakan lapisan yang terdekat dengan kehidupan makhluk hidup. Pada lapisan ini, troposfer sering terjadi penurunan suhu sebesar $6,5^{\circ}C$ setiap kenaikan 1 km. Di lapisan ini juga mengalami kenaikan suhu seiring naiknya ketinggian (Suryanto, W., &Luthfian, A. (2019).

Daerah Manifestasi Panas Bumi

Daerah manifestasi panas bumi merupakan indikasi dari sumber daya panas bumi. Manifestasi panas bumi dapat terjadi melalui perambatan dari bawah permukaan atau dari rekahan yang memungkinkan cairan panas

bumi (air panas atau uap) mengalir ke permukaan.

Dalam daerah panas bumi terdapat beberapa manifestasi, contohnya kolam air panas. Penyebab terjadinya kolam air panas ialah karena adanya aliran air panas dari bawah permukaan melalui rekahan-rekahan sehingga mengakibatkan air panas muncul ke atas permukaan. Penguapan pun terjadi di atas permukaan air, penyebabnya yakni karena adanya perpindahan panas dari permukaan air ke atmosfer. Perpindahan panas dari permukaan air ke atmosfer sebanding dengan temperatur permukaan, kecepatan angin, dan luas area kolamnya. (saptaji N.M. 2001). Contoh manifestasi panas bumi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kolam air panas di lapangan orakei korako, new zealand.(saptaji N.M. 2001)

Stabilitas Atmosfer

Stabilitas atmosfer berkaitan dengan mempengaruhi cuaca dan transfer panas. Atmosfer stabil memiliki parcel udara yang kembali ke posisi semula setelah gangguan dan memiliki daya apung negatif. Atmosfer tidak stabil terjadi ketika udara terangkat dan terus naik, dengan parcel udara yang memiliki daya apung positif. Atmosfer netral terjadi ketika udara yang naik memiliki tingkat selang waktu lebih besar dari lingkungan, dengan suhu dan tekanan parcel udara yang sama dengan lingkungan. Ada tiga jenis stabilitas atmosfer yaitu stabil, tidak stabil, dan netral. (Almethen, Osama M., and Zayed S. Aldaithan. (2017)

Angin

Udara yang bergerak secara horizontal dari area bertekanan tinggi ke area bertekanan

rendah disebut angin. Variasi atau perbedaan tekanan udara disebabkan oleh pemanasan permukaan bumi. Pemanasan permukaan bumi memiliki efek tambahan yang menyebabkan pemuaian massa udara dan kerapatan udara menurun, yang menurunkan tekanan udara. Angin memiliki 3 komponen, yaitu kekuatan, kecepatan angin, dan arah angin yang dipengaruhi oleh perbedaan suhu dan kekasaran permukaan. Kecepatan angin yang lebih besar dipengaruhi oleh variasi tekanan udara dalam area tertentu. Serupa dengan kekasaran permukaan, angin mengalami lebih banyak hambatan pada permukaan yang lebih kasar, yang menyebabkan turbulensi yang menyebabkan angin berubah arah dan kecepatannya menurun (Fitri Suciatiningsih. 2013).

Bilangan Richardson

Bilangan Richardson adalah salah satu metode yang digunakan dalam menghitung stabilitas atmosfer. Untuk mencari Bilangan Richardson menggunakan perubahan suhu dan kecepatan angin pada ketinggian dalam perhitungannya. Perhitungan ini juga memiliki keterbatasan diantaranya jika ada kesamaan dalam koefisien yang digunakan dalam perhitungan. (Sosaide et al. (2019).

Penelitian Terkait

Sosiadi et al. (2019) melakukan penelitian tentang stabilitas mikro dan proses konvektivitas dalam atmosfer di Stasiun Klimatologi Bogor. Metode penelitian yang digunakan adalah metode bilangan Richardson. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi stabilitas udara adalah 20 kali netral, 8 kali tidak stabil, dan 2 kali stabil. Selama 30 kali pengamatan, terjadi hujan sebanyak 9 kali dengan variasi konveksi bebas, konveksi paksa, dan netral. Pada tanggal 3 April 2019, terjadi hujan dengan intensitas lebat. Penelitian oleh Komarudin et al. (2022) menemukan karakteristik fisik lingkungan pada perkebunan kelapa sawit, termasuk nilai radiasi global, suhu udara, dan kecepatan angin maksimum. Lingkungan perkebunan kelapa sawit muda memiliki fluks panas yang lebih tinggi daripada perkebunan kelapa sawit dewasa, sehingga mengalami kecepatan angin dan kelembaban relatif yang lebih tinggi pada siang hari.

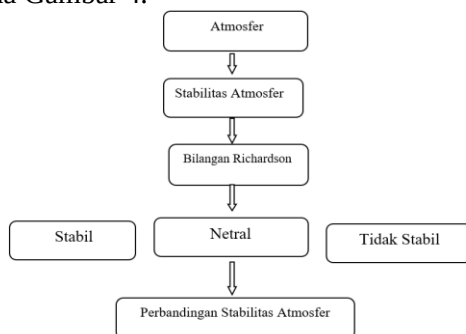
Penelitian oleh Nugraha et al. (2017) menunjukkan bahwa stabilitas atmosfer di

daerah Padang cenderung rendah hingga sedang selama periode 2012-2016, dengan nilai *Convective Available Potential Energy* (CAPE) yang lebih tinggi pada sore hari. Hubungan antara curah hujan dan *Convective Available Potential Energy* (CAPE) di Padang adalah negatif, karena curah hujan yang rendah dikombinasikan dengan nilai CAPE yang tinggi. Stabilitas atmosfer yang baik tidak selalu menghasilkan hujan intensitas tinggi di Padang.

Penelitian oleh WD, Qothrunada, dan Mondong (2021) menemukan bahwa proses konveksi dapat dijelaskan oleh iklim mikro. Mereka menggunakan data iklim mikro (suhu dan kecepatan angin) yang diamati pada pukul 7.00, 13.00, dan 18.00 WITA dengan alat iklim mikro otomatis pada ketinggian 2, 4, dan 7 meter. Data diperoleh dari stasiun klimatologi Konawe Selatan untuk bulan Maret 2021. Penulis menemukan bahwa atmosfer pada pagi hari cenderung netral, siang hari lebih stabil, dan sore hari stabil. Konveksi bebas terjadi saat wilayah masih dalam musim hujan dan angin monsun mendominasi, sementara konveksi paksa terjadi ketika ada hujan topografi di dekat perbukitan dan pegunungan Boro boro.

Kerangka Pemikiran

Dasar pemikiran dari penelitian ini adalah stabilitas atmosfer. Dalam stabilitas atmosfer sangat menentukan keadaan pada permukaan bumi, dan keadaan cuaca di wilayah tersebut. Untuk mengetahui stabilitas atmosfer digunakan bilangan Richardson, dan untuk menentukan stabilitas ditentukan dari suhu dan kecepatan angin. Dapat dilihat lebih jelasnya pada Gambar 4.



Gambar 4. Kerangka pemikiran

3. METODE PENELITIAN

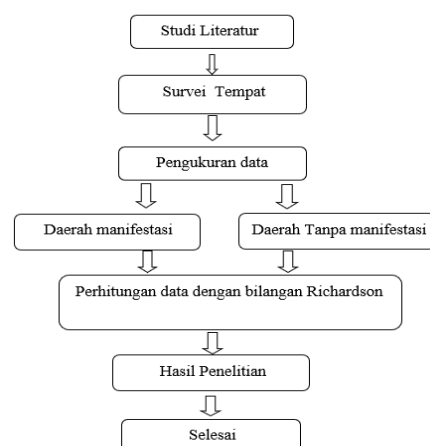
Lokasi penelitian untuk mengambil data meliputi dua daerah yaitu daerah manifestasi dan tanpa manifestasi panas bumi. Daerah yang diambil oleh peneliti adalah di danau Linow

Lahendong, Kec. Tomohon selatan, Kota Tomohon, Sulawesi utara. Dapat dilihat dari Gambar 5.



Gambar 5. Peta lokasi

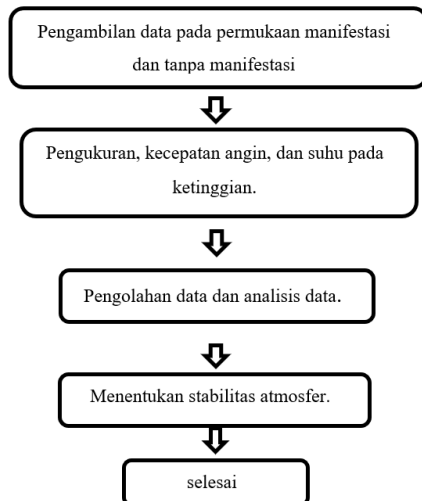
Dalam penelitian ini, beberapa alat dan bahan digunakan, yaitu alat tulis, anemometer, termometer, telepon genggam, laptop, software Ms. Excel, dan meteran. Alat tulis digunakan untuk mencatat data yang diukur. Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Termometer digunakan untuk mengukur suhu udara. Telepon genggam digunakan untuk dokumentasi pengambilan data. Laptop digunakan untuk mengolah data yang sudah didapat. Software Ms. Excel digunakan untuk membuat diagram dari data. Meteran digunakan untuk mengukur ketinggian. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang menggunakan data dari pengukuran lapangan. Data akan dianalisis menggunakan metode bilangan Richardson. Variabel penelitian adalah stabilitas atmosfer dengan parameter bilangan Richardson, kecepatan angin, dan suhu. Data dikumpulkan dengan mengukur kecepatan angin dan suhu di permukaan manifestasi panas bumi dan tanpa manifestasi panas bumi setiap 30 menit. Pengukuran dilakukan pada pagi, siang, dan sore hari dengan ketinggian 2 meter dan 4 meter. Alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir penelitian

Teknik Analisis Data

Dalam teknik pengolahan data dan analisis data yang pertama dilakukan adalah pengukuran data di dua titik yang berbeda, yaitu di permukaan manifestasi panas bumi dan tanpa manifestasi panas bumi sebagai perbandingan stabilitasnya. Data yang diukur peneliti yaitu, data kecepatan angin, dan suhu pada ketinggian. Setelah itu peneliti akan mengolah data menggunakan *Software Ms. Excel*. Dapat dilihat alurnya pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik alur pengolahan data

Pada analisis data peneliti ini menggunakan metode bilangan Richardson menurut T.R.Oke (1988), dan juga klasifikasi bilangan richardson menurut Mauritsen and Svensson (2007), klasifikasi stabilitas atmosfer dapat dilihat pada tabel 1 Untuk metode bilangan Richardson dapat dilihat di bawah ini.

$$Ri = \frac{g}{T} \frac{(\frac{\Delta T}{\Delta z})}{(\frac{\Delta U}{\Delta z})^2} \quad (3.1)$$

Keterangan :

Ri : Bilangan Richardson

g : kecepatan gravitasi (m/s^2)

T : Temperatur pada ketinggian (K)

$\bar{T}$: Temperatur rata-rata pada ketinggian Z1 dan Z2 (K)

U : Kecepatan angin (m/s)

Z : Tinggi Pengukuran (m)

Tabel 1. Klasifikasi Stabilitas Atmosfer

Kriteria	Klasifikasi Atmosfer
$0 \leq Ri < 0.01$	Netral
$0.01 < Ri < 1$	Stabil
$Ri > 1$	Sangat stabil
$Ri < 0$	Tidak Stabil

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

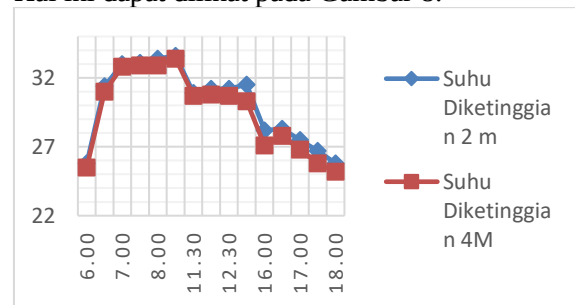
Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data primer yang diukur langsung di lokasi penelitian. Dalam penelitian tersebut terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hasil penelitian yaitu cuaca mendung pada siang hari hingga sore hari pada periode pengukuran, yang mempengaruhi suhu di lokasi penelitian. Data yang diambil hanya waktu perwakilan di pagi hari yaitu jam 6.00-8.00 pagi, di siang hari jam 11.00-13.00 siang, dan sore hari jam 16.00-18.00 sore, data yang diukur setiap 30 menit. Tempat penelitian di permukaan tanpa manifestasi panas bumi lebih tinggi dibandingkan di permukaan manifestasi panas bumi

Suhu Udara

Suhu terendah yang terjadi di permukaan manifestasi panas bumi pada ketinggian 2 meter adalah $25,8^{\circ}\text{C}$ pada pukul 18.00 WITA, sedangkan suhu tertinggi yang terjadi pada pukul 11.00 WITA adalah $33,6^{\circ}\text{C}$. Demikian pula pada ketinggian 4 meter, suhu terendah yang terjadi pada pukul 18.00 WITA adalah $23,8^{\circ}\text{C}$, dan suhu tertinggi yang terjadi pada pukul 11.00 WITA adalah $31,9^{\circ}\text{C}$.

Pada permukaan manifestasi panas bumi, diketahui bahwa suhu pada ketinggian 2 m lebih tinggi dibandingkan pada ketinggian 4 m. Karena pada permukaan manifestasi panas bumi terjadi perpindahan panas dari manifestasi panas bumi ke atmosfer (saptaji N.M. 2001).

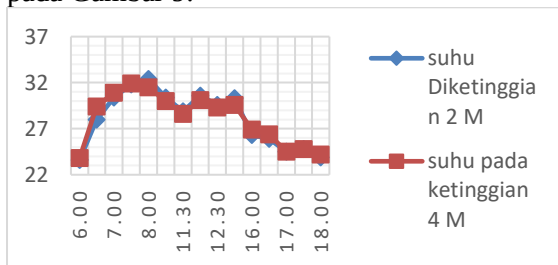
Dengan demikian, ketinggian di dekat permukaan manifestasi panas bumi memiliki suhu lebih tinggi dibandingkan ketinggian yang jauh dari permukaan manifestasi panas bumi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik suhu pada manifestasi panas bumi.

Sedangkan suhu dipermukaan tanpa manifestasi panas bumi pada ketinggian 2 meter, suhu minimum terjadi pada pukul 6.00 WITA dengan nilai $23,6^{\circ}\text{C}$, dan maksimum

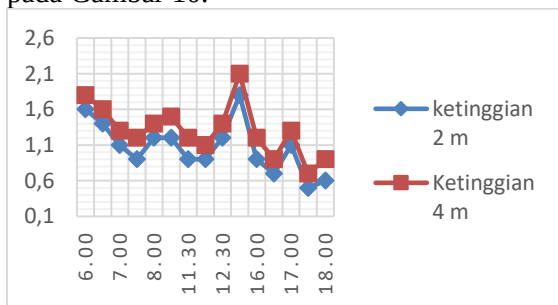
terjadi pada pukul 8.00 WITA dengan nilai 32,4 °C. Demikian pula pada ketinggian 4 meter, suhu minimum terjadi pada pukul 6.00 WITA dengan nilai 23,8 °C, dan maksimum terjadi pada pukul 7.30 WITA dengan nilai 31,9 °C. Suhu di permukaan tanpa manifestasi panas bumi pada setiap ketinggian mengalami perubahan suhu. Di lapisan troposfer, dari permukaan hingga ketinggian 1 km, suhu di lapisan ini meningkat seiringnya ketinggian (Suryanto, W., & Luthfian, A. (2019). Namun dengan adanya turbulensi, perbedaan ketinggian seringkali sangat kecil dan tidak dapat dideteksi oleh sensor dalam pengukuran sesaat, terutama pada kondisi atmosfer netral. (Fitri Suciatiningsih 2013). Oleh karena itu, ada saat suhu lebih tinggi pada ketinggian 2 m dibandingkan ketinggian 4 m, terkadang suhu lebih tinggi pada ketinggian 4 m dibandingkan 2 m, dan ada saat suhu di kedua ketinggian memiliki nilai yang sama. Hal ini dilihat dapat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik suhu pada daerah tanpa manifestasi panas bumi

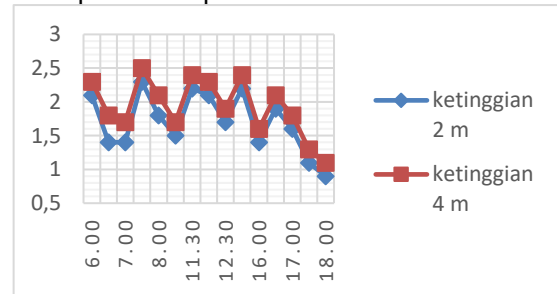
Kecepatan Angin

Pada pukul 17:30 WITA, kecepatan angin di permukaan manifestasi panas bumi adalah 0,5 m/s pada ketinggian 2 meter, dan pada pukul 13:00 WITA, kecepatan angin mencapai maksimum 1,8 m/s. Demikian pula, pada ketinggian 4 meter, kecepatan angin di titik terendah adalah 0,7 m/s pada pukul 17.30 WITA, dan maksimumnya mencapai 2,1 m/s pada pukul 13.00 WITA. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Profil kecepatan angin pada daerah manifestasi panas bumi

Kecepatan angin minimum di permukaan tanpa manifestasi panas bumi pada ketinggian 2 meter terjadi pada pukul 18.00 WITA sebesar 0,9 m/s, sedangkan maksimum terjadi pada pukul 7.30 WITA dengan nilai 2,3 m/s, dan kecepatan angin minimum di ketinggian 4 m terjadi pada pukul 18.00 dengan nilai 1,1 m/s, serta kecepatan angin maksimum terjadi pada pukul 7.30 WITA dengan nilai 2,5 m/s. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Profil kecepatan angin pada daerah tanpa manifestasi panas bumi

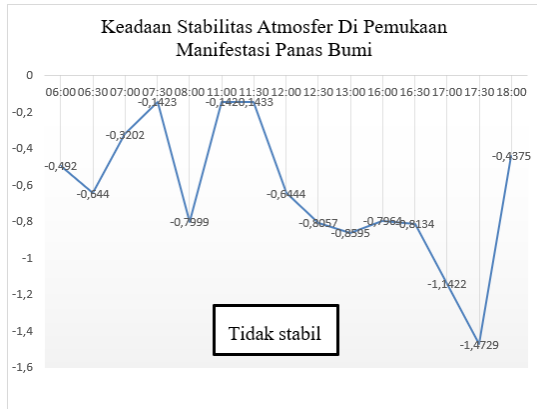
Pada permukaan manifestasi panas bumi dan permukaan tanpa manifestasi panas bumi, kecepatan angin pada ketinggian 4 m lebih tinggi dibandingkan pada ketinggian 2 m, karena semakin tinggi tempat atau ketinggian, semakin meningkat pula kecepatan angin. Pada ketinggian yang paling dekat dengan permukaan pergerakan udara akan terhambat karena adanya gaya gesek yang menyebabkan kecepatan angin berkurang. Semakin jauh dari permukaan maka gaya gesekan semakin rendah sehingga kecepatan angin di lapisan atas lebih tinggi dibanding di lapisan bawah. (Komarudin et al. 2022).

Permukaan manifestasi panas bumi memiliki permukaan yang lebih kasar dibandingkan dengan permukaan tanpa manifestasi panas bumi, yang mengakibatkan kecepatan angin di permukaan manifestasi panas bumi lebih rendah daripada permukaan tanpa manifestasi panas bumi. Permukaan yang lebih kasar memiliki gaya gesek yang lebih besar. Gaya gesek ini memperlambat gerakan udara, yaitu dalam hal angin. (Fitri Suciatiningsih. 2013).

Stabilitas Atmosfer

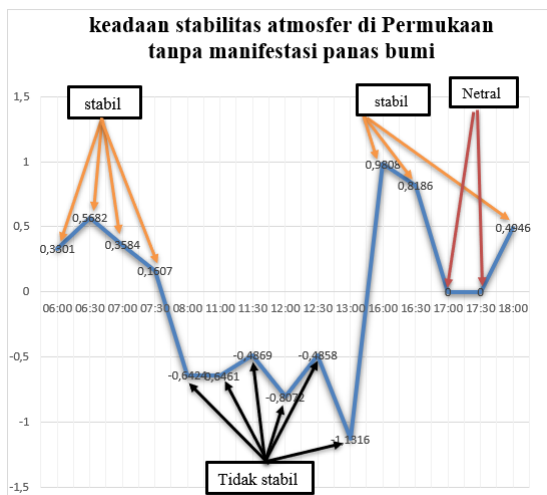
Pada permukaan manifestasi panas bumi, nilai bilangan Richardson terendah sebesar -1,4729 pada pukul 17.30 WITA dan nilai tertinggi sebesar -0,1420 pada pukul 7.30 WITA. Keadaan stabilitas atmosfer pada permukaan manifestasi panas bumi hanya

memiliki keadaan yang tidak stabil dari pagi sampai dengan sore. Hal ini disebabkan karena $Ri < 0$ (bilangan Richardson tidak menyentuh angka positif). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Profil bilangan richardson dan keadaan stabilitas atmosfer

Sedangkan permukaan tanpa manifestasi panas bumi, memiliki nilai bilangan Richardson terendah sebesar -1,1316 pada pukul 13.00 WITA dan tertinggi sebesar 0,9808 pada pukul 16.00 WITA. Keadaan stabilitas atmosfer pada permukaan tanpa manifestasi memiliki 7 keadaan stabil, 6 keadaan tidak stabil, dan 2 keadaan netral, yaitu keadaan stabil terjadi pada pukul 6.00 – 7.30 WITA, 16.00-16.30 WITA dan pukul 18.00 WITA, hal ini disebabkan karena $0,01 < Ri < 1$. Untuk keadaan tidak stabil, terjadi pada pukul 8.00 WITA dan pukul 11.00 – 13.00 WITA, disebabkan karena $Ri < 0$. Untuk keadaan netral terjadi pada pukul 17.00 -17.30 WITA, disebabkan karena $0 \leq Ri < 0,01$. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Profil bilangan richardson dan keadaan stabilitas atmosfer

Dari pembahasan ini dapat disimpulkan bahwa permukaan manifestasi panas bumi lebih tidak stabil dibandingkan permukaan tanpa manifestasi panas bumi. sebab di permukaan manifestasi panas bumi yang memiliki keadaan atmosfer yang tidak stabil dari pagi hingga sore hari, sedangkan permukaan tanpa manifestasi panas bumi yang memiliki 3 keadaan yaitu, stabil, netral, dan, tidak stabil.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti menyimpulkan hasil penelitian sebagai berikut:

- Di permukaan manifestasi panas bumi memiliki bilangan Richardson yang terendah -1,4729 dan yang tertinggi -0,1420. Sedangkan di permukaan tanpa manifestasi panas bumi memiliki bilangan Richardson yang terendah -1,1316 dan yang tertinggi 0,9808.
- Keadaan atmosfer di permukaan manifestasi panas bumi adalah tidak stabil, sedangkan di permukaan tanpa manifestasi memiliki 3 keadaan, yaitu stabil, tidak stabil, dan netral.
- Di permukaan manifestasi panas bumi keadaan atmosfer lebih tidak stabil dibanding permukaan yang tanpa manifestasi panas bumi.

6. REFERENSI

- Almethen, Osama M., and Zayed S. Aldaithan. 2017. "The State of Atmosphere Stability and Instability Effects on Air Quality." *The International Journal of Engineering and Science* 06(04). doi: 10.9790/1813-0604017479.
- Fitri Suciatiningsih. 2013. "Skripsi Transfer Turbulen Momentum Dan Bahang (Studi Kasus : Wilayah Pertanian Situ Gede , Darmaga , Bogor)." *Departemen Geofisika Dan Meteorologi Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor*.
- Komarudin, Nurul Amri, Yuni Yolanda, Pramudya Bagas Utama, and Universitas Teknologi. 2022. "Bahang Terasa Pada Pertanaman Kelapa Sawit Teknik Lingkungan Fakultas Teknologi Lingkungan Dan Mineral , Universitas Teknologi." 23–32.
- Mauritsen, Thorsten, and Gunilla Svensson. 2007. "Observations of Stably Stratified

- Shear-Driven Atmospheric Turbulence at Low and High Richardson Numbers.” *Journal of the Atmospheric Sciences* 64(2):645–55. doi: 10.1175/JAS3856.1.
- Nugraha, Yudha, Sugeng Nugroho, Jurusan Fisika, Fmipa Universitas Negeri Padang, and BMKG Stasiun Klimatologi Padang Pariaman. 2017. “Analisis Stabilitas Atmosfer Menggunakan Convective Available Potential Energy (Cape) Terhadap Terjadinya Hujan Di Padang.” *Pillar of Physics* 10:94–101.
- saptaji N.M., 2001. 2001. “Teknik Panasbumi.” in *teknik panas bumi*. ITB.
- Sosaidi, Dedi Sucahyono, Dzikrullah Akbar, and Ari Setyoko. 2019. “Analisis Bilangan Richardson (Ri) Untuk Stabilitas Atmosfer Meteorologi Mikro Di Stalkim Bogor.” *Jurnal Saintika Unpam : Jurnal Sains Dan Matematika Unpam* 2(2):115. doi: 10.32493/jsmu.v2i2.3314.
- Sudaryo Broto, Thomas Triadi Putranto 2011. 2011. “Aplikasi Metode Geomagnet Dalam Eksplorasi Panas Bumi.” *Teknik*,32(1),78-87 1(2):12–17.
- Suryanto, Wiwit, and Alutsyah Luthfian. *Pengantar Meteorologi*. Ugm Press, 2019.
- T.R.Oke, Los, Unidad Metodología D. E. Conocimiento D. E. 1988. *T.R.Oke.Boundary Layer Climates*.
- WD, Hendri Satria, Dewi Tamara Qothrunada, and Jefri Abednego Mondong. 2021. “Analisis Bilangan Richardson (Ri) Untuk Stabilitas Atmosfer Iklim Mikro Pada Maret 2021 Di Konawe Selatan.” *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences* 2:84–89. doi: 10.30595/pspfs.v2i.171.
- Winarno, Gunardi Djoko, Sugeng P. Harianto, and Rio Santoso. 2019. *Klimatologi Pertanian*.