



Kajian Awal : Prediksi Kabut Berdasarkan Data Observasi di Wilayah Bandara Zainuddin Abdul Madjid

Preliminary Study : Fog Prediction Based on Observational Data in the Zainuddin Abdul Madjid Airport Area

Anggi Dewita^{1*}, Solih Alfandy²

¹BMKG, Stasiun Meteorologi Zainuddin Abdul Madjid, Jl. Mandalika – Penujak, Kecamatan Praya, Kabupaten Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat, 83511

²Stasiun Pemantau Atmosfer Global Lore Lindu Bariri, Jl. Sapta Marga No. 1, Kecamatan Palu Selatan, Kota Palu, 94231

*Email: adewita38@gmail.com

Naskah Masuk: 14 November 2024 | Naskah Diterima: 10 Desember 2024 | Naskah Terbit: 31 Desember 2024

Abstrak. Penurunan jarak pandang akibat partikel basah (halimun dan kabut) merupakan fenomena yang dapat terjadi di wilayah bandara Zainuddin Abdul Madjid (ZAM). Peristiwa ini cukup sulit untuk diprediksikan oleh model NWP karena proses metafisik yang terjadi dalam pembentukannya sangat kompleks. Kajian ini bertujuan untuk menentukan *threshold* parameter yang dapat digunakan sebagai panduan prakirawan untuk memprediksi terjadinya kabut. Data yang digunakan merupakan data pada bulan Januari 2024 dengan parameter yang dinilai adalah parameter yang terdapat pada METAR, AWOS, dan Fklm71 yakni kecepatan angin, suhu, titik embun, perawanan dan suhu maksimum. Nilai *threshold* dari masing – masing parameter akan dicari dan dilakukan pengujian dengan menggunakan metode verifikasi dikotonomi untuk mendapatkan nilai akurasi. Berdasarkan hasil analisis, kabut di bulan Januari 2024 terbentuk menjelang pagi hari jika ada kejadian presipitasi di siang hari, rata – rata kecepatan angin pada malam hari yakni < 1 knot, perbedaan suhu maksimum dengan suhu udara setelah matahari terbenam yaitu > 4.5 °C, dan *dew point depression* pada pukul 17.00 UTC berada di bawah 1°C. Pada bulan Januari 2024 telah dilakukan verifikasi dikotonomi dengan hasil yang didapatkan akurasi sebesar 87%. Prakiraan dengan metode ini tidak 100% akurat.

Kata Kunci: Prediksi, Halimun, Kabut, Data Observasi

Abstract. The reduction in visibility due to wet particles (fog and mist) is a phenomenon that can occur at Zainuddin Abdul Madjid Airport (ZAM). This event is quite difficult to predict using NWP models because the physical processes involved in its formation are very complex. This study aims to determine the threshold parameters that can be used as a forecasting guide to predict the occurrence of fog. The data used is from January 2024, with parameters assessed from METAR, AWOS, and Fklm71, including wind speed, temperature, dew point, cloud cover, and maximum temperature. The threshold values for each parameter will be determined and tested using a dichotomous verification method to obtain the accuracy value. Based on the analysis, fog in January 2024 formed early in the morning if there was precipitation during the afternoon, with the average wind speed at night being < 1 knot, the temperature difference between maximum temperature and air temperature after sunset being $> 4.5^{\circ}\text{C}$, and the dew point depression at 17:00 UTC being below 1°C . In January 2024, a dichotomous verification was carried out, and the result showed an accuracy of 87%. Forecasting using this method is not 100% accurate.

Keywords: Prediction, Mist, Fog, Observation Data

Pendahuluan

Fenomena penurunan jarak pandang akibat partikel basah yang dalam ilmu meteorologi dikenal sebagai halimun (*mist*) dan kabut (*fog*) sering terjadi di wilayah Bandara Zainuddin Abdul Madjid (ZAM), terutama menjelang pagi hari. Mengutip dari *World Meteorological Organization* ^[1] kabut dan halimun didefinisikan sebagai kekaburan di lapisan permukaan yang diakibatkan oleh suspensi tetesan air. Hal yang membedakan antara kabut dan halimun adalah pada kabut jarak pandang mendatar hanya kurang dari 1 km, sementara pada halimun jarak pandang mendatar bisa lebih dari 1 km, namun tidak lebih dari 5 km. Hal ini disebabkan oleh densitas suspensi halimun lebih rendah dibandingkan kabut. Dengan tujuan praktis, dalam studi ini penulisan istilah kabut akan digunakan untuk merujuk baik halimun maupun kabut.

Pengurangan jarak pandang yang signifikan dapat memberikan dampak negatif terhadap aktifitas manusia, terutama di bidang transportasi yang dapat mengakibatkan munculnya biaya tidak terduga dan berkurangnya indeks keselamatan. Karenanya, kemampuan untuk memprediksi kabut secara akurat dapat memberikan keuntungan luar biasa bagi operator transportasi dalam perencanaan operasional.

Dalam artikelnya, Lakra dan Avishek ^[2] menyimpulkan bahwa kabut terbentuk ketika (A) suhu udara turun hingga titik embun, yang menyebabkan terbentuknya kabut radiasi, adveksi, dan kabut lereng, serta (B) ketika lebih banyak uap air ditambahkan ke udara, yang menyebabkan terbentuknya kabut frontal dan kabut uap. Tahapan dalam siklus hidup kabut dimulai dengan (a) tahap awal ketika udara mencapai kondisi jenuh, suhu sangat rendah, dan terbentuk lapisan inversi yang kuat, diikuti oleh (b) pembentukan kabut ketika angin tenang, terjadi penurunan suhu yang lebih lanjut, dan aktivasi partikel aerosol yang cukup untuk mendukung pembentukan kabut (c) terus tumbuh dan meluas di mana tingkat kejenuhan dipertahankan, baik dengan pendinginan berkelanjutan atau dengan penambahan lebih banyak uap air yang membutuhkan sedikit pencampuran, dan diakhiri dengan (d) fase disipasi.

Beberapa artikel menyatakan bahwa kabut memerlukan kondisi atmosfer spesifik agar terbentuk dan bertahan. Salah satunya adalah kondisi tanah dan tanaman yang relatif lembab. Hal ini dikarenakan tanah dan tanaman masih melepaskan uap air ke udara, dan ketika malam hari saat suhu udara turun dengan cepat, uap air itu berubah lagi menjadi titik air yang melayang dipermukaan sebagai kabut ^[3].

Kabut juga memerlukan bantuan pencampuran udara oleh angin ; tanpa angin, embun terbentuk alih – alih kabut. Angin ringan menjaga lapisan udara di permukaan tetap jenuh, sementara angin kencang mencampur udara permukaan dengan udara di lapisan atas yang lebih kering, sehingga mengurangi kelembapan dan mencegah terbentuknya kabut. Kecepatan angin yang berkisar antara 1 hingga 3 m/s (sekitar 0.5 – 1.5 knots) dapat mendukung pertumbuhan kabut ^[4]. Kondisi lain yang mendukung terjadinya kabut adalah jika langit malam cerah tanpa awan. Dalam kondisi seperti ini, pendinginan permukaan bumi terjadi dengan cepat melalui pelepasan radiasi. Saat suhu permukaan turun, udara di dekat tanah dapat mencapai titik jenuhnya dan membentuk kondensasi dan menghasilkan kabut radiasi ^[5,6].

Selain itu, suhu maksimum turut menentukan pembentukan kabut dengan cara memengaruhi pendinginan malam hari, kejenuhan udara, dan pembentukan lapisan inversi. Semakin tinggi suhu maksimum, semakin besar kemungkinan suhu turun mendekati titik embun di malam hari, menciptakan kondisi ideal untuk kabut ^[6]. Beda derajat celcius antara suhu udara dengan titik embun (*dew point depression*) juga penting dalam pembentukan kabut. Selisih *dew point depression* yang kecil (misal kurang dari 2 °C) menunjukkan udara yang lembab, semakin mendekati suhu titik embun, maka semakin besar kemungkinan udara akan jenuh, dan kondensasi dapat terjadi yang kemudian dapat berpotensi



membentuk kabut atau awan ^[2,7]. Pemahaman kita tentang aspek fisika dari kabut masih belum lengkap karena skala waktu dan ruang yang terlibat dalam berbagai proses yang mempengaruhi pembentukan, perkembangan, dan hilangnya kabut. Kabut merupakan hasil dari proses mikrofisik yang mengatur pembentukan, pertumbuhan dan musnahnya partikel basah. Pembentukan kabut juga membutuhkan kondisi struktur lapisan batas atmosfer yang mendukung, di mana golongan udara bertanggung jawab untuk pergerakan vertikal dari panas, momentum dan kelembapan ^[8,9]. Parde dkk ^[10] dalam artikelnya menyatakan bahwa Model *Numerical Weather Prediction* (NWP) mengalami kesulitan dalam memprediksi lokasi dan waktu kejadian kabut dengan akurat dikarenakan ketidakpastian yang terjadi berdasarkan prakiraan model individu.

Keterbatasan prediksi kabut menggunakan model NWP tersebut juga berdampak pada performa kinerja dari prakirawan cuaca di Stasiun Meteorologi Zainuddin Abdul Madjid (Stamet ZAM). Sebagai contoh, pada bulan Januari 2024 METAR di wilayah Bandara ZAM mencatat halimun terjadi sebanyak 9 hari dan fenomena kabut tercatat sebanyak 2 hari. Namun sandi BR (kode untuk fenomena halimun) maupun FG (kode untuk fenomena kabut) ^[11] tidak terdapat dalam prakiraan cuaca untuk suatu *aerodrome* (TAFOR) selama periode Januari 2024. Berdasarkan hasil identifikasi dari masalah yang terjadi, maka akan dilakukan kajian untuk menentukan parameter cuaca seperti apa yang dapat digunakan untuk dijadikan panduan dalam membuat prakiraan kabut. Untuk menghasilkan kajian yang fokus dan jelas, serta dengan segala keterbatasan data yang tersedia, sehingga kajian ini dibatasi dengan hanya menggunakan data observasi dari Stasiun Meteorologi Zainuddin Abdul Madjid (Stamet ZAM) selama periode Januari 2024.

Metode Penelitian

Data yang digunakan dalam kajian ini adalah data METAR dan data *Automatic Weather Observing System* (AWOS) periode waktu 30 menit dari Stasiun Meteorologi Zainuddin Abdul Madjid (Stamet ZAM) selama periode Januari 2024. Berdasarkan data METAR, kabut di wilayah Bandara ZAM akan terbentuk pada pagi hari menjelang matahari terbit, yaitu sekitar 21.00 – 23.00 UTC (05.00 – 07.00 WITA). Sementara informasi prakiraan cuaca bandara paling mutakhir sebelum kejadian akan dibuat pada pukul 17.00 UTC (01.00 WITA). Oleh karena itu, untuk keperluan prediksi, data yang digunakan sebagai bahan analisis adalah data yang paling dekat dengan jam sebelum dikeluarkannya prakiraan, yakni jam 12.00 UTC – 17.00 UTC (20.00 – 01.00 WITA) dengan asumsi bahwa penurunan suhu dan kecepatan angin setelah matahari terbenam memiliki peran penting dalam pembentukan kabut ^[5,6]. Selain itu, untuk verifikasi cuaca akan digunakan data cuaca dan *visibility* (jarak pandang) pada jam 21.00 – 23.00 UTC (05.00 – 07.00 WITA).

Tabel 1. Data yang digunakan

No	METAR	AWOS	FKLIM71
1	Visibility	Arah kecepatan angin	
2	Cuaca	Suhu udara	Suhu maksimum
3	Perawanan	Titik embun	

Kajian dilakukan dengan pendekatan *Object – Oriented Metrics Threshold* dan verifikasi *forecast* dikotonomi untuk mengevaluasi kesesuaian atau kehadiran kriteria tertentu dalam suatu objek ataupun fenomena. Langkah – langkah yang dilakukan meliputi:

1. Memasukkan data ke dalam bentuk tabular.
2. Menetapkan *threshold* tiap parameter dan evaluasi untuk mengetahui kondisi parameter pada hari berkabut.
3. melakukan verifikasi *forecast* dikotonomi terhadap data bulan Januari 2024 untuk menguji *threshold* yang telah ditetapkan.



Metode *Object – Oriented Metrics Threshold* umumnya digunakan dalam rekayasa perangkat lunak untuk mengukur kompleksitas dari kelas – kelas objek. Dalam teori kognitif, ada efek ambang batas (*threshold*) untuk banyak pengukuran berorientasi objek. Di mana kelas – kelas berorientasi objek mudah dipahami selama kompleksitasnya berada di bawah ambang batas tertentu ^[12]. Dalam menentukan *threshold* parameter meteorologi, kita dapat menarik paralel dalam hal kompleksitas dan kemungkinan terjadinya efek atau perubahan yang signifikan ketika mencapai atau melewati batas tertentu. *Threshold* ini akan ditentukan dengan pendekatan probabilitas sederhana Dimana,

$$(\%) \text{ Probabilitas: } \frac{\text{Jumlah hari kabut}}{\text{Jumlah hari dengan kriteria yang ditentukan}} \times 100 \quad (1)$$

Verifikasi dikotomi hanya membagi data menjadi dua kategori, yaitu terjadi kabut atau tidak terjadi kabut. *Threshold* fenomena kabut secara kuantitatif yang digunakan dalam kajian ini adalah ketika jarak pandang ≤ 5000 meter ^[1]. Terdapat empat kombinasi *forecast* (ya atau tidak) dan observasi (ya atau tidak), yang disebut distribusi bersama seperti terlihat di Tabel 2.

Tabel 2. Skema Kontingensi

		Observed		
Forecast		Yes	No	Total
	Yes	Hits	False alarms	Forecast yes
	No	Misses	Correct negatives	Forecast no
Total		Observed yes	Observed no	total

Hit : kejadian yang diprediksi akan terjadi, dan memang terjadi.

Miss : kejadian yang diprediksi tidak akan terjadi, tetapi terjadi.

False alarm : kejadian yang diprediksi akan terjadi, tetapi tidak terjadi.

Correct negative : kejadian yang diprediksi tidak akan terjadi, dan memang tidak terjadi.

Kajian ini akan menguji akurasi dari *threshold* yang telah ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut,

$$\text{Accuracy: } \frac{\text{Hits} + \text{Correct negatives}}{\text{Total}} \quad (2)$$

Nilai akurasi dalam verifikasi dikotomi adalah ukuran yang menunjukkan seberapa sering prediksi atau perkiraan sesuai dengan hasil sebenarnya dalam suatu dataset yang memiliki dua kemungkinan hasil (dikotomi) ^[13]

Hasil dan Pembahasan

Analisis Parameter Data Hasil Observasi

Data disajikan dalam bentuk Tabel (3a – 3d) untuk mempermudah visualisasi data. Data dipilih berdasarkan kriteria yang telah ditentukan pada metode penelitian.

Tabel 3a. Data METAR, AWOS, dan Suhu Maksimum Bulan Januari 2024

Tgl	Cuaca Pada Siang Hari	Pukul 12.00 UTC – 17.00 UTC			$\Delta T_{\max} - T_{10.30}$	Cuaca Dini Hari	Jarak Pandang
		Angin (knots)		Awan			(meter)
		Range	Rerata		(°C)		
1	cerah	0 – 1.3	0.55	SCT	4.8	BR	3000
2	hujan ringan	0 – 1.1	0.56	BKN	5.1	BR	5000
3	hujan ringan	0 – 2.1	0.45	BKN	6	BR	3000
4	hujan ringan	0.8 – 4.4	2.08	BKN	4.1	cerah	7000
5	cerah	0 – 1.0	0.33	BKN	6	BR	3000
6	hujan ringan	0 – 1.2	0.59	SCT	3.9	cerah	7000



7	hujan ringan	0 – 1.1	0.55	FEW	7	BR	2000
8	hujan ringan	0 – 1.7	0.87	BKN	7.1	BR	4000
9	hujan ringan	0 – 1.7	0.88	BKN	6.9	BR	3000
10	TS	0.7 – 2.5	1.51	SCT	3.5	cerah	7000
11	cerah	1.3 – 2.4	1.94	FEW	3	cerah	7000
12	cerah	0.8 – 2.5	1.61	SCT	4.5	cerah	7000
13	cerah	1.5 – 2.3	1.97	FEW	3.9	cerah	6000
14	cerah	0.6 – 2.4	1.28	FEW	3.8	cerah	7000
15	hujan ringan	0.9 – 2.6	1.48	FEW	3.6	cerah	7000
16	hujan ringan	0.7 – 1.6	1.22	SCT	3.7	BR	4000
17	hujan ringan	0.5 – 3.2	1.34	SCT	7.9	HZ	4000
18	hujan ringan	0.7 – 1.5	1.13	SCT	5.9	cerah	7000
19	hujan ringan	1.8 – 2.7	2.25	SCT	2.5	cerah	7000
20	hujan ringan	2.1 – 4.1	3.15	SCT	2.4	cerah	7000
21	cerah	1.5 – 4.3	3.08	SCT	3	cerah	6000
22	cerah	1.9 – 3.2	2.47	FEW	4.3	cerah	7000
23	cerah	2.2 – 3.8	3.03	FEW	2.5	cerah	7000
24	hujan ringan	1.2 – 3.5	2.03	SCT	5.2	HZ	5000
25	cerah	0 – 2.0	1.09	SCT	3.7	HZ	5000
26	hujan ringan	0 – 5	1.59	SCT	4.2	cerah	7000
27	hujan ringan	0 – 3.8	1.28	BKN	3.6	cerah	7000
28	hujan ringan	0 – 1.4	0.78	BKN	5.6	BR	4000
29	hujan ringan	0 – 1.5	0.86	SCT	3.1	FG	500
30	hujan ringan	0 – 1.3	0.20	SCT	7.5	FG	500
31	cerah	0 – 1.4	0.91	SCT	4.4	cerah	6000

Tabel 3b. Data *dewpoint depression* (°Celcius) dari AWOS dan kondisi cuaca yang terjadi

Kondisi Cuaca	BR	BR	BR	Cerah	BR	Cerah	BR	BR	BR	Cerah
Tgl Jam (UTC)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12.00	2.2	2.2	2	3.2	1.2	2.3	1	1.2	0.9	2.6
12.30	1.8	2.4	1.8	3	1.2	2.3	0.9	1.4	0.9	2.4
13.00	1.6	2	1.6	2.4	1.2	1.8	0.7	1	0.9	2
13.30	1.6	1.4	1.2	2.4	1.2	1.6	0.7	1	0.9	1.6
14.00	1.6	1.2	1.6	2	1.2	1.2	0.5	0.9	0.7	1.4
14.30	1.4	1.2	1.4	2.4	0.9	1	0.5	0.7	0.7	1.4
15.00	1.4	1.2	1.6	1.6	0.9	1	0.5	0.9	0.7	1.2
15.30	1.2	1.4	1.2	1.8	0.9	0.9	0.5	0.7	0.7	1.2
16.00	1.1	1.2	0.9	1.8	0.7	1	0.7	0.7	0.5	1
16.30	0.9	1	0.9	2	0.7	0.9	0.5	0.7	0.5	0.9
17.00	0.9	0.9	0.9	1.8	0.7	0.9	0.5	0.7	0.5	0.9



Tabel 3c. Data *dewpoint depression* (°Celcius) dari AWOS dan kondisi cuaca yang terjadi

Kondisi Cuaca	Cerah	Cerah	Cerah	Cerah	Cerah	BR	HZ	Cerah	Cerah	Cerah
Tgl Jam (UTC)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
12.00	3.1	3.6	3.5	3.6	4.4	4.9	2.2	1.2	2.9	5.7
12.30	3.1	2.9	3.1	3.4	4	4.6	1.6	1.2	3.1	5.7
13.00	2.3	2.5	3.3	2.9	3.2	3.8	1.6	1.2	3.1	5
13.30	2.1	2.3	2.7	2.5	3.4	4.2	1.6	1.6	2.9	4.6
14.00	2	2.1	2.3	2.4	2.7	4	1.4	2.2	2.3	4.4
14.30	1.8	2	2.3	2.4	2.5	2.5	1	2	1.8	3.7
15.00	2	2	2	2	2.5	2.9	1.2	1.4	1.4	2.9
15.30	1.8	1.8	2.1	1.8	2.5	2.7	1.2	1.2	2.1	2.5
16.00	1.6	1.8	1.6	2	2.2	2.3	1.2	1	2.1	2.1
16.30	1.6	1.4	1.4	1.8	2	2.1	1	1.6	2.1	2.1
17.00	1.6	1.6	1.6	1.4	1.8	1.8	1.4	1	2.3	1.9

Tabel 3d. Data *dewpoint depression* (°Celcius) dari AWOS dan kondisi cuaca yang terjadi

Kondisi Cuaca	Cerah	Cerah	Cerah	HZ	HZ	Cerah	Cerah	BR	FG	FG	Cerah
Tgl Jam (UTC)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
12.00	5.1	2.4	2.9	3.3	3.8	2	2.9	1.4	2.4	0.7	2.7
12.30	5.3	2	2.9	2.5	3.2	2	1.8	1	2.2	0.7	2.4
13.00	5.3	2	2.7	2.3	3	1	1.4	1	1.8	0.7	2.2
13.30	5.5	2.5	2.9	2	2.8	0.9	1.2	0.9	1.8	0.7	2.4
14.00	5.1	2.2	2.7	1.8	2.5	0.9	1.2	0.9	1.4	0.5	2.2
14.30	4.2	2	2.9	2	2.4	0.9	1.6	0.7	1.2	0.5	1.8
15.00	3.7	2.1	3.1	1.8	2.2	0.9	1.4	0.7	1	0.5	1.6
15.30	2.9	2.1	2.9	1.6	1.6	0.7	1.2	0.7	0.7	0.5	1.6
16.00	2.3	2.3	2.5	2	1.8	0.7	1.2	0.5	0.7	0.5	1.8
16.30	2.5	2.2	2.5	2	1.6	0.9	1	0.5	0.5	0.5	1.2
17.00	2.9	2	2.5	1.4	1.4	0.9	1	0.5	0.5	0.5	1.2

Keterangan Tabel 3a – 3d:

1. GMT +8: pukul 12.00 – 17.00 UTC adalah pukul 20.00 WITA – 02.00 WITA.
2. Kategori luas tutupan awan:
FEW: awan menutupi langit sebanyak 1 – 2 bagian dari 8 bagian
SCT: awan menutupi langit sebanyak 3 – 4 bagian dari 8 bagian
BKN: awan menutupi langit sebanyak 5 – 7 bagian dari 8 bagian
3. $AT_{max} - T_{10.30}$: beda (dalam °Celcius) suhu udara maksimum dengan suhu udara pada pukul 10.30 UTC (18.30 WITA/sesaat setelah matahari terbenam).
4. BR: sandi meteorologi untuk fenomena halimun (jarak pandang <5000 meter; kelembaban > 95%)
FG: sandi meteorologi untuk fenomena kabut (jarak pandang <1000 meter; kelembaban > 95%)
HZ: sandi meteorologi untuk fenomena haze (jarak pandang <5000 meter; kelembaban < 95%)

1.8 : nilai dew point depression pada pukul 17.00 UTC dihari terjadinya kabut

Berdasarkan data pada Tabel 3a – d, dilakukan pendekatan melalui probabilitas sederhana untuk mendapatkan *threshold* yang diinginkan dengan hasil sebagai berikut :



Tabel 4. Probabilitas terjadinya kabut berdasarkan parameter

Parameter	Kriteria	Hari Kejadian	Hari Dengan Kabut	(%) prob: (hari dengan kabut/hari kejadian) * 100
kondisi cuaca	hujan	19 hari	9 hari	47%
	cerah	12 hari	2 hari	17%
rata – rata angin	0 – 1.5 knts	19 hari	10 hari	58%
	≥ 1.5 knts	12 hari	1 hari	0%
$\Delta T_{\max} - T_{10.30}$	2 – 4.5 °C	19 hari	2 hari	11%
	> 4.5 °C	12 hari	9 hari	75%
dew point dep 17.00 UTC	< 1 °C	13 hari	10 hari	77%
	≥ 1 °C	18 hari	1 hari	6%

Keterangan: jumlah hari kejadian masing masing parameter bersifat independent dan tidak terkait satu sama lain

1. Cuaca pada siang hari.

Pada bulan Januari 2024 terdapat 19 hari hujan dengan 9 hari kejadian kabut dan 12 hari cerah dengan 2 kali kejadian kabut. Menggunakan rumus probabilitas kondisional sederhana didapatkan bahwa peluang kabut terjadi pada hari hujan adalah 47% sementara peluang kabut terjadi Ketika siang hari cerah adalah 17%. Dengan demikian probabilitas terjadi kabut di hari hujan lebih besar dibandingkan hari cerah.

2. Kecepatan angin rata – rata

Rata – rata kecepatan angin di bandara ZAM pada pukul 12.00 – 17.00 WITA berkisar antara 0.2 – 3.15 knots. Kabut terbentuk ketika angin berkisar antara 0.5–1.5 knots ^[4], sementara pada Januari 2024 terdapat 19 hari dengan rata – rata kecepatan angin berkisar antara 0 – 1.5 knots dan 11 hari kabut terjadi saat rata – rata kecepatan angin dalam range 0.2 – 1.2 knots. Probabilitas kabut terbentuk pada kondisi di mana rata – rata kecepatan angin sebesar 0 – 1.5 knot adalah 58 % sementara jika angin bertiup dengan kecepatan ≥ 1.5 knots probabilitas kabut terbentuk adalah nol persen (0%).

3. Jumlah tutupan awan

Berdasarkan Tabel 3a kabut dapat terjadi bahkan ketika lebih dari setengah langit tertutup awan (BKN/5 – 7 oktas). Tidak terlihat karakteristik yang jelas mengenai jumlah tutupan awan di hari dengan kabut. Hal ini menandakan bahwa kabut yang terbentuk pada bulan Januari 2024 tidak semuanya merupakan kabut radiasi yang terjadi ketika langit cerah tanpa awan.

4. Beda suhu maksimum.

Dalam kajian khusus wilayah bandara ZAM ini dilakukan uji coba untuk mencari tahu apakah perbedaan suhu maksimum dengan suhu setelah matahari terbenam dapat dijadikan indikator terbentuknya kabut (pukul 10.30 UTC). Terdapat 12 hari dimana perbedaan suhu mencapai > 4.5 °C dengan 9 hari kejadian kabut dalam kriteria tersebut yang menunjukkan bahwa peluang kabut terbentuk saat beda suhu mencapai > 4.5 °C mencapai 75% dan jika beda suhu ≤ 4.5 °C maka probabilitasnya hanya sebesar 11%.

5. Dew point depression

Nilai dew point depression pada Tabel 3b – 3d berkisar antara 0.5 – 5.7 °C dengan nilai terendah umumnya terjadi pada pukul 17.00 UTC. Hari kabut terjadi sebanyak 10 kali dari total 13 hari di mana nilai dew point depression pada pukul 17.00 UTC mencapai < 1 °C sehingga probabilitas kabut terbentuk saat dew point depression mencapai < 1 °C cukup tinggi, yaitu di 77% sementara jika dew point depression pukul 17.00 UTC ≥ 1 °C probabilitas kabut terbentuk hanyalah 5%.



Verifikasi Forecast Dikotonomi

Berdasarkan analisis pada sub – bab sebelumnya, telah kita mendapatkan gambaran umum beberapa kondisi yang mendukung terbentuknya kabut, yaitu:

- Hari dengan hujan yang turun pada waktu siang atau sore
- Angin rata rata pada jam 12.00 – 17.00 UTC < 1.5 knot
- Beda suhu maksimum dengan suhu setelah matahari terbenam > 4.5 °C
- Dew point depression < 1 °C pada pukul 17.00 UTC.

Dengan menggunakan kriteria diatas, akan dilakukan uji verifikasi forecast dikotonomi. Hasilnya sebagai berikut:

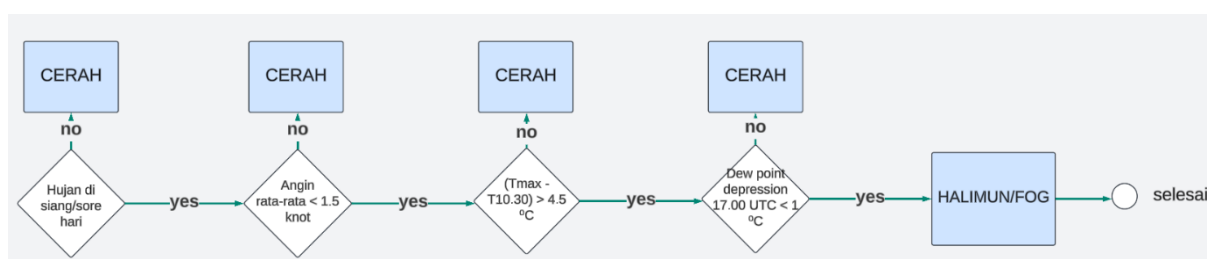
Tabel 5. Verifikasi forecast dikotomi terhadap data pengamatan bulan Januari 2024

Tgl.	Cuaca Siang Hari	Pukul 12.00 UTC – 17.30 UTC		$\Delta T_{\max} - T_{10.30}$	Dewpoint depressio n 17.00 UTC	Forecast	Cuaca Dini Hari	Jarak Pandan g	Kategori
		Angin (knots)						(meter)	
		Range	Rerata	(°C)					
1	X	0 – 1.3	V	V	V	cerah	BR	3000	MISS
2	V	0 – 1.1	V	V	V	BR	BR	5000	HIT
3	V	0 – 2.1	V	V	V	BR	BR	3000	HIT
4	V	0.8 – 4.4	X	X	X	cerah	cerah	7000	CN
5	X	0 – 1.0	V	V	V	cerah	BR	3000	MISS
6	V	0 – 1.2	V	X	V	cerah	cerah	7000	CN
7	V	0 – 1.1	V	V	V	BR	BR	2000	HIT
8	V	0 – 1.7	V	V	V	BR	BR	4000	HIT
9	V	0 – 1.7	V	V	V	BR	BR	3000	HIT
10	X	0.7 – 2.5	X	X	V	cerah	cerah	7000	CN
11	X	1.3 – 2.4	X	X	X	cerah	cerah	7000	CN
12	X	0.8 – 2.5	X	X	X	cerah	cerah	7000	CN
13	X	1.5 – 2.3	X	X	X	cerah	cerah	6000	CN
14	X	0.6 – 2.4	V	X	X	cerah	cerah	7000	CN
15	V	0.9 – 2.6	V	X	X	cerah	cerah	7000	CN
16	V	0.7 – 1.6	V	X	X	cerah	BR	4000	MISS
17	V	0.5 – 3.2	V	V	X	BR	HZ	4000	CN
18	V	0.7 – 1.5	V	V	X	cerah	cerah	7000	CN
19	V	1.8 – 2.7	X	X	X	cerah	cerah	7000	CN
20	V	2.1 – 4.1	X	X	X	cerah	cerah	7000	CN
21	X	1.5 – 4.3	X	X	X	cerah	cerah	6000	CN
22	X	1.9 – 3.2	X	X	X	cerah	cerah	7000	CN
23	X	2.2 – 3.8	X	X	X	cerah	cerah	7000	CN
24	V	1.2 – 3.5	X	V	X	cerah	HZ	5000	CN
25	X	0 – 2.0	V	X	X	cerah	HZ	5000	CN
26	V	0 – 5	X	X	V	cerah	cerah	7000	CN
27	V	0 – 3.8	V	X	X	cerah	cerah	7000	CN
28	V	0 – 1.4	V	V	V	BR	BR	4000	HIT
29	V	0 – 1.5	V	X	V	cerah	FG	500	MISS
30	V	0 – 1.3	V	V	V	BR	FG	500	HIT
31	X	0 – 1.4	V	X	X	cerah	cerah	6000	CN



Pada tanggal 17 Januari 2024 pukul 22.30 – 23.30 UTC terjadi penurunan jarak pandang hingga 4000 meter. *Relative Humidity* dari AWOS tercatat berkisar antara 84 – 91% yang merupakan indikator *Haze* (kekaburan udara akibat partikel kering). Nilai dew point depression sebesar 1.4 °C pada pukul 17.00 UTC (Tabel 3c) menandakan bahwa kondisi udara tidak cukup lembap. Pada kasus ini, prediksi cuaca adalah cerah. Meskipun penurunan jarak pandang terjadi, namun fenomena penyebabnya bukanlah kabut melainkan *haze* sehingga kondisi ini dikategorikan sebagai *correct negative*.

Setelah menghitung jumlah *hit* dan *correct negative*, maka dengan menggunakan persamaan (2) didapatkan nilai akurasi sebesar 87%. Nilai akurasi 87% dianggap cukup baik, terutama dalam konteks prakiraan cuaca. Ini berarti bahwa dari 100% prediksi, 87% di antaranya benar. Kriteria *false alarm* tidak terjadi sehingga dapat dinyatakan bahwa kabut akan terbentuk jika semua kondisi diatas terpenuhi. Gambar 2 merupakan alur yang dilakukan oleh seorang prakirawan dalam membuat prakiraan kabut.



Gambar 2. Alur menentukan prakiraan halimun/fog di Stasiun Meteorologi Zainuddin Abdul Madjid

Berdasarkan hasil analisis, kabut di bulan Januari 2024 terjadi ketika terdapat presipitasi di siang hari, kecepatan rata – rata angin di malam hari kurang dari 1.5 knot, perbedaan suhu maksimum dengan suhu udara setelah matahari terbenam lebih dari 4.5°C, dan *dew point depression* di bawah 1°C pada pukul 17.00 UTC. Kondisi ini telah diverifikasi menggunakan pendekatan dikotomi pada Januari 2024, dengan tingkat akurasi mencapai 87%. Metode verifikasi dikotomi memiliki akurasi/ skor prakiraan yang tinggi, penelitian serupa dengan metode yang sama pernah dilakukan oleh Habib Burrahman dkk^[14] yang menyimpulkan bahwa verifikasi dikotomi memiliki skor ketrampilan prakiraan tertinggi dibandingkan dengan asimilasi lainnya. Didiharyono dan Giarno^[15] dalam penelitiannya bahwa metode verifikasi dikotomi memiliki keakuratan prakiraan dan kesesuaian antara parameter yang diramalkan dapat diperoleh.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang didapatkan bahwa prakiraan dengan metode pada kajian ini tidak 100% akurat. Disisi lain, sampel data yang digunakan dalam kajian ini terbilang sedikit, maka dari itu nilai *threshold* tidak cukup untuk digeneralisasi menjadi nilai panduan prediksi kabut di Bandara Zainuddin Abdul Madjid. Hasil dari penelitian ini sebaiknya dijadikan sebagai hipotesis awal untuk kajian berikutnya, dimana pengujian harus dilakukan dengan data yang lebih banyak di bulan yang berbeda dan di evaluasi pada waktu yang berbeda. Tidak adanya *false alarm* mengindikasikan bahwa dalam kajian berikutnya, empat kondisi meteorologis yang telah direview dalam kajian ini bisa menjadi panduan parameter awal yang harus dikaji lebih mendalam.

Daftar Pustaka

- [1] World Meteorological Organization. (2017). Fog compared with Mist. (<https://cloudatlas.wmo.int/en/fog-compared-with-mist.html>, diakses 11 November 2024).
- [2] Lakra, K., & Avishek, K. (2022). A review on factors influencing fog formation, classification, forecasting, detection and impacts. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 33, 319 – 359. doi.org/10.1007/s12210-022-01060-1
- [3] Habby, J. (2024). Fog Forecasting.

- (https://www.weather.gov/source/zhu/ZHU_Training_Page/fog_stuff/forecasting_fog/FORECASTING_FOG.htm#FOG, diakses 11 November 2024)
- [4] Pérez – Díaz, J.L., Ivanov, O., Peshev, Z., Álvarez – Valenzuela, M.A., Valiente – Blanco, I., Evgenieva, T., Dreischuh, T., Gueorguiev, O., Todorov, P.V., Vaseashta, A. (2017). Fogs: Physical Basis, Characteristic Properties, and Impacts on the Environment and Human Health. *Water*, 9, 807. doi.org/10.3390/w9100807
 - [5] Lakra, K., & Avishek, K. (2022). A review on factors influencing fog formation, classification, forecasting, detection and impacts. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 33, 319 – 359. doi.org/10.1007/s12210 – 022 – 01060 – 1
 - [6] Met Office (2024). How do you forecast fog? (<https://www.metoffice.gov.uk/weather/learn – about/weather/types – of – weather/fog/how – do – you – forecast – fog>, diakses 11 November 2024)
 - [7] Gultepe, I., Milbrandt, J.A. & Zhou, B. (2017). Marine fog: A review on microphysics and visibility prediction. Dalam Koračin, D., & Dorman, C. (Ed.). *Marine Fog: Challenges and Advancements in Observations, Modeling, and Forecasting*. Springer Atmospheric Sciences : 345 – 394. Springer, Cham. doi.org/10.1007/978 – 3 – 319 – 45229 – 6_7
 - [8] Stensrud, D.J. (2007). *Parameterization schemes: keys to understanding numerical weather prediction models*. Cambridge University Press.
 - [9] Stull, R.B. (2012). *An introduction to boundary layer meteorology* (Vol. 13). Springer Science & Business Media.
 - [10] Parde, A.N., Ghude, S.D., Dhangar, N.G., Lonkar, P., Wagh, S., Govardhan, G., Biswas, M., Jenamani, R.K. (2022). Operational Probabilistic Fog Prediction Based on Ensemble Forecast System: A Decision Support System for Fog. *Atmosphere*, 13, 1608. doi.org/10.3390/atmos13101608
 - [11] International Civil Aviation Organization. (2010). Annex 3, Meteorological Service for International Air Navigation. <https://www.icao.int/airnavigation/IMP/Documents/Annex%203%20 – %2075.pdf>, diakses 10 Desember 2024).
 - [12] Ei – emam, K., Benlarbi, S., El Emam, K., Goel, N., & Rai, S. (2002). Thresholds for Object – Oriented Measures. *National Research Council Canada, ERB* – 1073. doi: 10.1109/ISSRE.2000.885858
 - [13] Kiki, & Alam, F. (2021). Verifikasi Parameter Presipitasi Aumulasi 24 Jam Pada Model Cuaca Numerik Tahun 2017 – 2020. *Megasains*, 12 (2), 11 – 16. doi.org/10.46824/megasains.v12i1.38
 - [14] Burrahman, H., Silitonga, A. K., Batubara, I. H., & Fadlan, A. (2013). Pengaruh asimilasi model cuaca weather research forecast (WRF) dengan data radiasi satelit terhadap estimasi curah hujan (Studi Kasus Stasiun Meteorologi Pattimura–Ambon Tanggal 24-25 Juli 2013). In *Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya)* (Vol. 3, pp. 118-129).
 - [15] Didiharyono, D., & Giarno, G. (2021). Application of the simple verification method to estimate the weather at makassar maritime station, Indonesia. *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*, 18(18), 9542-12.

