

Kajian Fog menggunakan Data Observasi, Penginderaan Jauh dan Model Cuaca Numerik di Kotawaringin Barat (Studi kasus: 19 Februari dan 08 April 2020)

Deffi Munadiyat Putri¹ ✉ dan Mario Charlos Rohi Koten²

¹Stasiun Meteorologi Iskandar Kotawaringin Barat, Jl. Iskandar, Bandar Udara Iskandar Kotawaringin Barat, Kalimantan Tengah, 74112

²Stasiun Geofisika Sumba Timur, Jl. Adi Sucipto, No. I/8, Waingapu, Sumba Timur, Nusa Tenggara Timur, 87116

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima:
05 September 2021
Disetujui:
28 Desember 2021
Dipublikasikan:
29 Desember 2021

Keywords:
Downward
Longwave Radiation,
fog, inversion, LWC,
RGB composite

ABSTRAK

Fog merupakan fenomena yang memengaruhi aktivitas manusia. Proses pembentukan dan reaksi fog sangat kompleks serta prediksinya sulit karena limitasi dari stasiun meteorologi konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk memahami mekanisme yang terjadi pada siklus hidup fog menggunakan pendekatan analisis kondisi permukaan, profil udara atas serta model cuaca numerik terhadap dua kasus fog yang terjadi di Kotawaringin Barat. Distribusi spasial menggunakan komposit kanal Red Green Blue (RGB) menunjukkan bentangan yang luas berwarna biru muda yang mengindikasikan bahwa fog terbentuk pada kondisi atmosfer yang hangat. Kondisi kelembaban yang tinggi saat fog bertahan dari lapisan bawah hingga lapisan menengah dengan ketinggian inversi berada di ketinggian sekitar 200 m. Kasus fog terbentuk pada nilai Fog Stability Index (FSI) <31 dengan potensi pembentukan fog yang tinggi, akan tetapi pada kasus pertama sebelum fog nilai FSI menunjukkan potensi yang rendah. Sedangkan nilai Liquid Water Content (LWC) dan Downward Longwave Flux ($L\downarrow$) menunjukkan kenaikan yang terjadi pada waktu yang sama.

ABSTRACT

Fog is a phenomenon that affects human activities. Fog formation and reaction is complex and difficult to predict due to the limitation of conventional meteorological stations. This study aims to understand the mechanism of fog using an analysis approach of surface condition, vertical profile of the atmosphere and numerical weather model toward two cases of fog in Kotawaringin Barat. The spatial distribution by Red Green Blue (RGB) composite shows a wide expanse of light blue which indicates that fog is formed in warm atmospheric conditions. High humidity conditions during fog endure from low to middle layer atmosphere with inversion height at 200 m. Fog formed at Fog Stability Index (FSI) <31 with high potential of fog formation, however in the first case before fog shows low potential. While liquid Water Content (LWC) and Downward Longwave Flux ($L\downarrow$) values show an increase at the same time.

✉ Alamat korespondensi:
Stasiun Meteorologi Iskandar Kotawaringin Barat
E-mail: deffi.munadiyat.putri@gmail.com

PENDAHULUAN

Fenomena *fog* berpengaruh terhadap aktivitas transportasi darat, laut maupun udara (Yi dkk., 2016). *Fog* merupakan fenomena yang terdiri dari tetesan air di udara dekat permukaan (Han dkk., 2014). Penelitian telah dilakukan terhadap berbagai jenis *fog* antara lain *fog* radiatif, *fog* inversi, dan *fog* adveksi-radiasi (Dupont dkk., 2012). *Fog* terbentuk pada malam hari atau menjelang fajar (Ryu & Hong, 2020). Penelitian tentang sifat mikrofisis dari *fog* menunjukkan bahwa *fog* terjadi pada kondisi tekanan udara yang tinggi dan angin yang teduh. Penelitian lebih lanjut menunjukkan bahwa pembentukan *fog* terbagi kedalam tiga tahap utama yang memiliki karakteristik fisis berbeda yaitu akumulasi aerosol, transisi serta pencampuran aerosol, dan disipasi. Proses pembentukan dan reaksi *fog* sangat kompleks dan identifikasi serta prediksinya sulit karena limitasi dari stasiun meteorologi konvensional (Guo dkk., 2015).

Penelitian *fog* di India menggunakan data observasi permukaan menunjukkan adanya intensifikasi kelembaban saat terjadi *fog* dengan inversi suhu yang terletak pada ketinggian 200 m (Pithani dkk., 2019). Penelitian deteksi *fog* dan awan rendah selain menggunakan data observasi permukaan juga terus dilakukan pengembangan menggunakan teknik penginderaan jauh seiring dengan perkembangan sensor satelit baru (Cermak & Bendix, 2011). Teknik deteksi *fog* menggunakan satelit telah dikembangkan dan dimanfaatkan berdasarkan karakteristik spektral, sifat radiatif dan tekstur geometris citra satelit tersebut (Ryu & Hong, 2020). Analisis citra satelit untuk identifikasi *fog* menggunakan satelit *Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) dengan teknik *Red Green Blue* (RGB) menunjukkan bahwa sintesa warna membantu dalam membedakan *fog*/awan stratus rendah yang terbentuk secara akurat (Tatsii & Fedoseeva, 2021). Analisis *fog* pada malam hari menggunakan teknik citra diferensial dan komposit RGB rekomendasi dari *European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites* (EUMETSAT) yang dihasilkan melalui pengamatan objek meteorologi dari berbagai kanal satelit menunjukkan fitur yang tidak dapat diamati jika masing-masing kanal dianalisis secara terpisah (Jasiński dkk., 2012).

Penelitian terhadap *fog* selain menggunakan data observasi permukaan dan penginderaan jauh, juga dapat dilakukan melalui teknik prediksi cuaca numerik, meskipun masih terdapat ketidakpastian dalam mekanisme fisis yang memengaruhi variabilitas *fog*. Prediksi *fog* menjadi tantangan karena keragaman mekanisme yang terlibat dalam siklus hidup *fog* dan interaksinya seperti aliran lokal, turbulensi, radiasi, mikrofisis, aerosol dan pengaruh kondisi permukaan (Mazoyer dkk., 2017). Skema parameterisasi *Planetary Boundary Layer* (PBL) dalam prediksi cuaca numerik untuk *fog* secara umum memainkan peranan yang penting dalam mengatur pertukaran massa, energi dan kelembaban antara daratan, lautan dan atmosfer. Penelitian-penelitian tentang *fog* menggunakan *Weather Research and Forecasting* (WRF) menunjukkan bahwa skema *Quasi-Normal Scale Elimination* (QNSE) pada parameterisasi PBL memiliki performa yang terbaik (Chaouch dkk., 2017; Pithani dkk., 2019). Penelitian *fog* di Tiongkok bagian utara menggunakan data model cuaca numerik untuk menganalisis karakteristik, mekanisme pembentukan dan evolusi *fog* menunjukkan hasil analisis parameter *Liquid Water Content* (LWC) maksimum berada pada nilai 0,16 g/kg (Guo dkk., 2015).

Kompleksitas perkembangan *fog* secara spasial dan temporal yang signifikan membutuhkan berbagai metode pengamatan dan pengukuran (Morska dkk., 2012). Pengembangan dari penelitian sebelumnya serta menggabungkan beberapa teknik analisis, penelitian ini melakukan berbagai pendekatan menggunakan data observasi permukaan, udara atas, prediksi cuaca numerik oleh WRF serta penginderaan jauh dengan komposit RGB citra satelit Himawari 8-AHI untuk mengatasi keterbatasan analisis dari stasiun meteorologi konvensional. Tujuan dari penelitian ini untuk mengidentifikasi *fog* serta memahami mekanisme pada siklus hidup *fog* di Stasiun Meteorologi Iskandar Kotawaringin Barat yang memengaruhi aktivitas penerbangan di Bandar Udara Iskandar Kotawaringin Barat .

METODE

Penelitian ini dilakukan di Stasiun Meteorologi Kotawaringin Barat yang berada di wilayah Bandar Udara Iskandar Kotawaringin Barat Provinsi Kalimantan Tengah. Wilayah penelitian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 berbatasan dengan perairan Laut Jawa di bagian selatan serta daratan provinsi Kalimantan Barat dan Kalimantan Tengah pada bagian timur, barat dan utara. Bagian timur wilayah penelitian terdapat kawasan hutan dari Taman Nasional Tanjung Puting. Kejadian yang diteliti merupakan *fog* pada tahun 2020 tepatnya tanggal 19 Februari dan 08 April 2020 sesuai dengan kriteria identifikasi *fog*. *Fog* merujuk pada fenomena kondensasi uap air dekat permukaan dengan kelembaban relatif (RH) mendekati 100% dan jarak pandang (*visibility*) kurang dari 1 km (Ding & Liu, 2014).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Data *in situ* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data observasi meteorologi konvensional dari Stasiun Meteorologi Iskandar Kotawaringin Barat yang berada pada koordinat $2,705^{\circ}\text{LS}$ dan $111,672^{\circ}\text{BT}$. Parameter yang dibutuhkan untuk kepentingan penelitian ini antara lain *visibility*, suhu udara dan kelembaban udara. Data observasi ini memiliki resolusi temporal satu jam. Informasi profil vertikal atmosfer yang membantu dalam identifikasi *fog* dari data observasi Radiosonde adalah ketinggian lapisan inversi, jenis inversi serta *Fog Stability Index* (FSI) dihitung menggunakan Persamaan (1):

$$FSI = 2|T_s - T_d| + 2|T_s - T_{850}| + W_{10m} \quad (1)$$

dimana, T_s adalah suhu permukaan, T_d merupakan suhu titik embun dan $T_s - T_d$ dikenal sebagai depresi titik embun (Arun dkk., 2018).

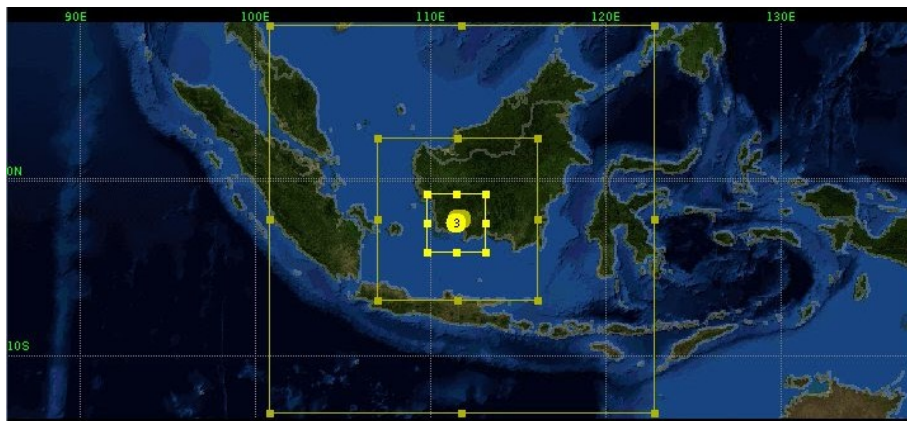
Himawari 8 adalah satelit geostasioner baru oleh *Japan Meteorological Agency* (JMA) dan membawa *Advanced Himawari Imager* (AHI), yang telah mengalami perkembangan pada jumlah kanal dan resolusi radiometrik, spektral dan spasial (Bessho dkk., 2016). Komponen R, G, B dari gabungan teknik citra RGB terdiri dari citra satelit kanal tunggal (Morska dkk., 2012). *Night Microphysics* RGB merupakan skema yang digunakan pada malam hari dan berfungsi untuk membedakan *fog* serta awan rendah. Perbedaan kanal 13 ($10,4 \mu\text{m}$) - kanal 15 ($12,4 \mu\text{m}$) pada warna merah dari RGB membantu

pengguna untuk membedakan awan tebal dan awan tipis. Warna hijau merupakan perbedaan antara kanal 7 ($3,9 \mu\text{m}$) - kanal 13 yang berfungsi sebagai deteksi *fog*/awan rendah. Kanal 13 yang diatur menjadi warna biru pada RGB menyediakan informasi suhu permukaan dan bagian atas awan. Berikut adalah susunan kanal pada Tabel 1 yang memuat fungsi *Nighttime Microphysics* RGB (Shimizu, 2020):

Tabel 1. Susunan kanal dan spesifikasinya untuk *night microphysics* RGB

Warna	Kanal AHI	Panjang Gelombang (μm)	Berhubungan dengan	Kontribusi rendah terhadap	Kontribusi besar terhadap
Merah	B13–B15	10,4–12,4	Ketebalan optik awan	Awan tipis	Awan tebal
Hijau	B07–B13	3,9–10,4	Fase awan	Awan es tipis	Awan <i>fog</i>
Biru	B13 (<i>inverse</i>)	10,4	Suhu puncak awan, Suhu permukaan	Awan dingin, Permukaan yang bersuhu dingin	Awan hangat, Permukaan yang bersuhu hangat

Weather Research and Forecasting (WRF) merupakan model numerik tiga dimensi (Payra & Mohan, 2014). Simulasi numerik pada penelitian ini memanfaatkan data *Global Forecast System* (GFS) dengan pengaturan tiga domain yaitu 27 km, 9 km dan 3 km untuk masing-masing domain seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2. Model WRF menunjukkan hasil yang sensitif terhadap waktu *spin-up* (Chaouch dkk., 2017; Román-Cascón dkk., 2012). Sensitivitas model WRF dipengaruhi oleh waktu *spin-up* dimana performa simulasi terbaik didapatkan ketika waktu *spin-up* antara 12 dan 18 jam (Chaouch dkk., 2017). Simulasi model WRF pada penelitian ini menggunakan waktu *spin-up* 12 jam dengan skema parameterisasi PBL QNSE.



Gambar 2. Pengaturan domain model cuaca numerik WRF

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Data Observasi dan Komposit Citra RGB

Dua kasus *fog* telah dipelajari dalam penelitian ini. Kasus *fog* terjadi pada 19 Februari dan 08 April 2020 dengan durasi yang berbeda-beda berdasarkan nilai *visibility* dibawah 1 km. Kasus *fog*

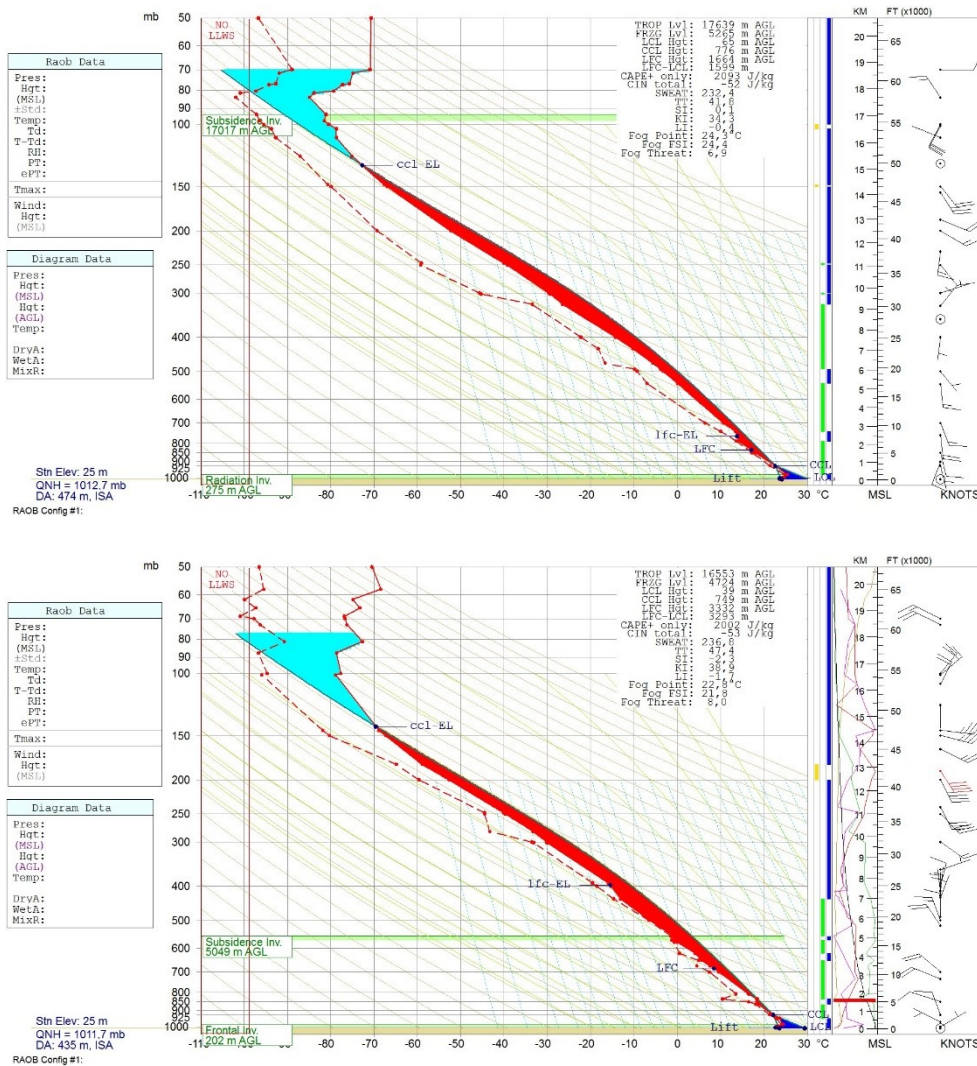
pertama (19 Februari 2020) memiliki durasi selama 8 jam (16:00–23:00 UTC) dengan *visibility* terendah 0,4 km sedangkan kasus *fog* kedua (08 April 2020) memiliki durasi yang lebih pendek yaitu 5 jam (20:00–00:00 UTC) dengan *visibility* terendah 0,1 km. Data observasi permukaan pada Tabel 2 menunjukkan terjadinya penurunan nilai suhu serta peningkatan kelembaban pada kedua kasus *fog*. Suhu udara memiliki siklus diurnal dimana kondisi maksimum terjadi saat siang hari sedangkan nilai minimumnya terjadi sebelum matahari terbit karena adanya pendinginan radiatif di permukaan pada malam hari (Jin & Mullens, 2014). *Fog* terbentuk ketika suhu permukaan menurun mendekati suhu titik embunnya sehingga udara sekitar menjadi semakin jenuh yang ditunjukkan oleh peningkatan nilai kelembaban (Syed dkk., 2012). Kasus pertama mengalami penurunan suhu yang lebih rendah dibandingkan kasus kedua akan tetapi peningkatan suhu yang terjadi pada kasus pertama terjadi lebih cepat setelah peristiwa *fog* dibandingkan kasus kedua. Kelembaban pada kedua kasus memiliki kesamaan yaitu berada di atas 95% akan tetapi kasus kedua mampu mencapai kelembaban jenuh yaitu 100% pada saat terjadi *fog* sementara itu kasus pertama hanya mencapai nilai kelembaban 98%.

Tabel 2. Data observasi permukaan

Waktu (UTC)	<i>Visibility</i> (km)		Suhu (°C)		Rh (%)	
	19/2/2020	08/4/2020	19/2/2020	08/4/2020	19/2/2020	08/4/2020
15:00	6	6	25,0	24,40	97	98
16:00	0,4	4	24,7	24,40	97	98
17:00	0,5	3	24,5	24,30	97	98
18:00	0,5	2	24,2	24,20	98	98
19:00	0,5	2	24,0	24,30	98	98
20:00	0,5	0,5	23,8	24,0	98	98
21:00	0,5	0,1	23,6	23,8	98	98
22:00	0,5	0,1	23,1	23,6	98	100
23:00	0,8	0,1	23,0	23,6	98	100
00:00	2	0,1	24,0	24,0	96	100
01:00	9	8	26,0	24,4	90	97
02:00	10	10	27,7	26,8	82	90
03:00	10	10	30,1	28,6	69	83

Profil vertikal data udara atas di kedua kasus oleh Radiosonde pada Gambar 3 menunjukkan bahwa atmosfer mengandung banyak uap air dari lapisan bawah hingga mencapai lebih dari 10 km Nilai FSI kasus pertama (Tabel 3) pada 19 Februari 2020 (12:00 UTC) sebesar 34,0 °C dan tanggal 20 Februari 2020 (00:00 UTC) yaitu 21,8 °C. Kasus kedua memiliki FSI tanggal 08 April 2020 (12:00 UTC) sebesar 27,4 °C dan pada 09 April 2020 (00:00 UTC) bernilai 24,4 °C. Nilai FSI <31,0 mengindikasikan probabilitas pembentukan *fog* yang tinggi sedangkan 31,0–55,0 berpotensi rendah terhadap pembentukan *fog* (Holtslag dkk., 2010). Berdasarkan kategori tersebut maka kondisi yang terjadi di kasus pertama (19 Februari 2020 pukul 12:00 UTC) berpotensi rendah terbentuk *fog*, kemudian potensi tersebut meningkat menjelang pagi hari (20 Februari 2020 pukul 00:00 UTC). Kondisi berbeda dimiliki oleh kasus kedua dimana potensi terbentuknya *fog* telah ditunjukkan pada pukul 12:00 UTC tanggal 08 April 2020 dan potensi tersebut masih ada hingga pukul 00:00 UTC hari berikutnya. Hasil observasi menunjukkan bahwa peristiwa *fog* kasus pertama sudah teramati pada pukul 16:00 UTC walaupun pada pukul 12:00 UTC memiliki potensi pembentukan yang rendah. Hal tersebut berbeda dari kasus kedua dimana *fog* baru teramati pada pukul 20:00 UTC walaupun potensi sudah muncul sejak 12:00 UTC. Pada beberapa kasus, walaupun FSI memiliki potensi yang rendah tetapi pembentukan *fog* memerlukan dukungan dari beberapa parameter seperti tingginya depresi titik

embun, ketidakstabilan atmosfer atau kecepatan angin yang rendah. Penelitian menunjukkan hubungan antara FSI dan *visibility* kasus pada kasus *fog* tidak selalu linear (Arun dkk., 2018).



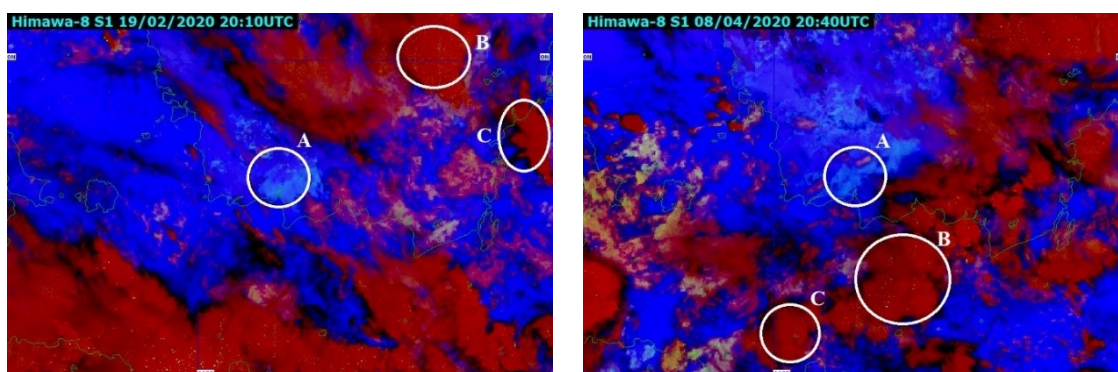
Gambar 3. Profil vertikal atmosfer oleh observasi udara atas Radiosonde (atas) kasus pertama 20 Februari 2020 pukul 00:00 UTC dan (bawah) kasus kedua 09 April 2020 pukul 00:00 UTC

Fog memiliki kecenderungan untuk terbentuk pada kondisi atmosfer yang stabil karena lapisan inversi (Miller dkk., 2013). Lapisan inversi yang kuat dan rendah berpotensi besar dalam pembentukan *fog* (Gilson dkk., 2018). Data profil udara atas Radiosonde menunjukkan kondisi lapisan inversi di atmosfer ketika terjadi *fog*. Berdasarkan profil udara atas pengamatan Radiosonde lapisan inversi pada kasus pertama termasuk kedalam jenis *frontal inversion* sedangkan kasus kedua merupakan *radiation inversion* dengan masing-masing nilai ketinggian dan suhu pada Tabel 3. *Frontal inversion* biasanya terjadi pada malam hari dan *fog* terdapat di sisi hangat dari sistem frontal (Policarpo dkk., 2017) seperti yang terjadi pada kasus pertama dimana *fog* terjadi mulai malam hari. *Radiation inversion* dapat terbentuk dan semakin menguat menjelang pagi hari dan menghilang saat matahari terbit ketika permukaan bumi sudah menerima panas (Li dkk., 2012) seperti yang terjadi pada kasus kedua.

Tabel 3. Nilai FSI dan ketinggian serta suhu lapisan inversi

	19/2/2020	20/2/2020	08/4/2020	09/4/2020
FSI	34,0	21,8	27,4	24,4
Lapisan Inversi	<i>Frontal</i>	<i>Frontal</i>	<i>Radiation</i>	<i>Radiation</i>
Ketinggian (meter)	195	202	187	275
Ketinggian (milibar)	985	986	987	979
Suhu (°C)	26,2	24,4	27,4	25,4

Produk RGB *Nighttime Microphysics* satelit Himawari 8-AHI pada Gambar 4 menunjukkan warna biru terang yang membentang pada kedua kasus. Berdasarkan interpretasi, warna biru terang menunjukkan *fog*/awan stratus rendah yang meluas membentuk luasan di sekitar lokasi penelitian yang ditunjukkan oleh lingkaran A sedangkan awan B dan C merupakan awan konvektif yang tebal. Komposit RGB berwarna biru terang ini menunjukkan kontribusi dari warna biru pada kanal 13 yang dipengaruhi oleh kondisi termal. Komposit citra akan menunjukkan warna biru terang ketika berada pada kondisi atmosfer yang hangat (Shimizu, 2020).



Gambar 4. Citra komposit RGB Himawari 8-AHI kasus pertama 19 Februari 2020 (kiri) dan kasus kedua 08 April 2020 (kanan)

Analisis Data Model Cuaca Numerik

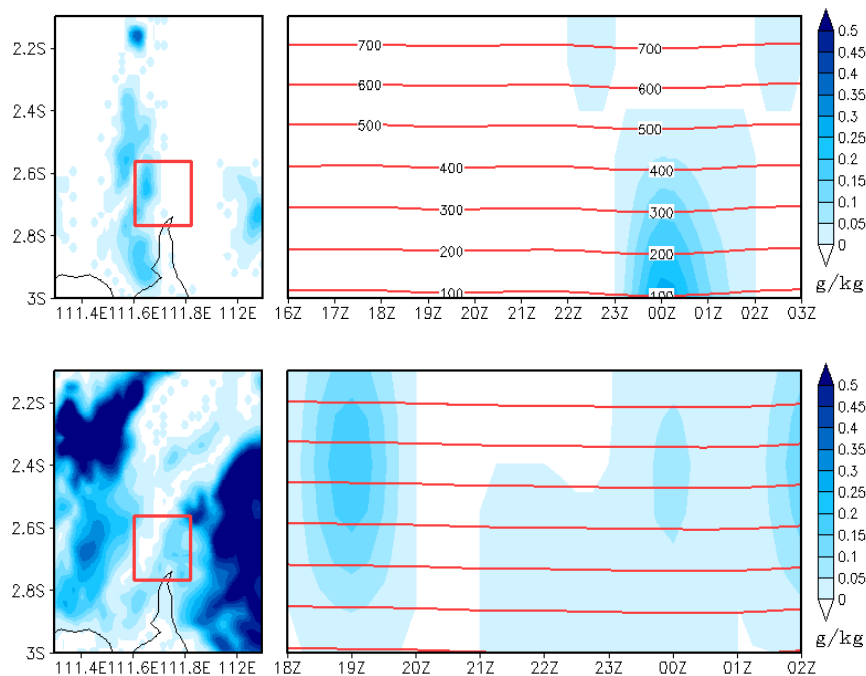
Kemampuan model cuaca numerik dalam simulasi studi kasus *fog* ditunjukkan oleh performa statistik Tabel 4. Nilai *Root Mean Square* (RMSE) dan korelasi dilakukan antara data model dengan observasi terhadap parameter suhu, titik embun dan kelembaban lapisan permukaan. Model memiliki nilai RMSE yang relatif rendah serta korelasi yang tinggi dibandingkan terhadap penelitian oleh (Pithani dkk., 2019) dan (Román-Cascón dkk., 2012) dengan pengaturan PBL QNSE.

Tabel 4. RMSE dan korelasi antara data model cuaca numerik dan observasi

	19/2/2020			08/4/2020		
	T ₂	Td ₂	Rh ₂	T ₂	Td ₂	Rh ₂
RMSE	0,80	0,60	4,90	1,00	0,60	2,70
Korelasi	0,93	0,80	0,84	0,92	0,56	0,98

Distribusi spasial secara horizontal dan vertikal LWC oleh model WRF ditunjukkan oleh Gambar 5. Distribusi spasial horizontal LWC pada kasus kedua membentang dengan nilai maksimum lebih tinggi dibandingkan kasus pertama yaitu 0,5 g/kg yang terkonsentrasi pada bagian timur lokasi penelitian. Distribusi spasial vertikal pada lokasi penelitian menunjukkan hasil sebaliknya dimana

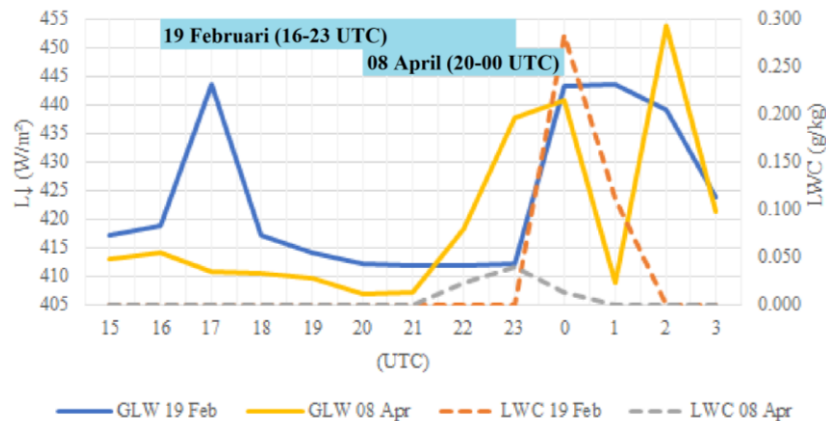
kasus pertama memiliki nilai maksimum lebih tinggi dari kasus kedua yaitu 0,25-0,3 g/kg. Perbedaan pola spasial terlihat pada kedua kasus. Pola bidang vertikal kasus pertama menunjukkan nilai LWC yang terkonsentrasi di permukaan hingga di bawah ketinggian 500 meter sedangkan kasus kedua memiliki nilai LWC yang tersebar merata dengan nilai maksimum berada di ketinggian 500–600 meter.



Gambar 5. Distribusi spasial horizontal dan vertikal LWC (atas) kasus pertama dan (bawah) kasus kedua

Perubahan nilai *Downward Longwave Flux* (L_{\downarrow}) dan LWC dari model WRF terhadap waktu ditunjukkan pada Gambar 6 beserta periode terjadinya *fog* yang ditunjukkan oleh kotak berwarna biru. Perubahan nilai L_{\downarrow} dan LWC pada kedua kasus menunjukkan pola yang serupa dimana peningkatan L_{\downarrow} diikuti oleh peningkatan LWC. L_{\downarrow} pada kasus pertama mengalami peningkatan pada pukul 17:00 UTC yang merupakan awal masa hidup *fog*, akan tetapi nilai LWC tidak demikian. LWC masih bernilai 0 g/kg ketika *fog* terjadi dan baru akan mengalami peningkatan pada akhir masa hidup *fog*. Kasus pertama menunjukkan pola peningkatan L_{\downarrow} dan LWC terjadi secara bersamaan pada akhir masa hidup *fog* yaitu pukul 23:00 UTC serta peningkatan maksimum terjadi pada pukul 00:00 UTC dan nilai LWC menurun hingga pukul 02:00 UTC. Pola peningkatan nilai L_{\downarrow} dan LWC secara bersamaan pada kasus kedua sama seperti kasus pertama akan tetapi peningkatan nilai ini terjadi dalam masa hidup *fog*. Peningkatan L_{\downarrow} dan LWC terjadi mulai pukul 21:00 UTC hingga mencapai puncak pada 23:00 UTC dengan nilai L_{\downarrow} 437,75 W/m² dan LWC 0,039 g/kg serta mengalami penurunan pada akhir masa hidup *fog*. Kedua kasus *fog* memiliki profil yang tidak sepenuhnya sama seperti yang terjadi pada parameter L_{\downarrow} dan LWC. Kasus pertama tidak menunjukkan adanya peningkatan nilai LWC selama terjadinya *fog* akan tetapi pada awal masa hidup terjadi peningkatan GLW. Hal ini terjadi karena *visibility* ketika terjadi *fog* tidak hanya ditentukan oleh nilai LWC akan tetapi dibutuhkan perhitungan terhadap konsentrasi jumlah droplet (N_d) (Zhou dkk., 2012). Mikrofisis pada *fog* merupakan fungsi dari N_d dan LWC (Gultepe dkk., 2006). Kasus pertama juga menunjukkan nilai LWC mengalami penurunan pada pukul 02:00 UTC. Hal ini terjadi karena LWC akan tetap bertahan setelah disipasi *fog* (Pithani dkk., 2019). Uap air merupakan gas di atmosfer yang penting dalam

kontribusinya terhadap radiasi termal yang dapat menyerap dan mengemisikan radiasi gelombang panjang (Feng dkk., 2021). Keberadaan awan yang tebal atau *fog* dapat meningkatkan emisi L_{\downarrow} (Viúdez-Mora dkk., 2015). Proses perubahan nilai L_{\downarrow} pada kasus kedua terlihat lebih jelas dibandingkan dengan kasus pertama saat terjadi *fog*. Hal ini disebabkan oleh ketebalan *fog* kasus kedua lebih besar dibandingkan kasus pertama sehingga berpengaruh terhadap emisi L_{\downarrow} yang diterima permukaan.



Gambar 6. Grafik nilai *Downward Longwave Flux* (L_{\downarrow}) dan LWC dari model WRF

SIMPULAN

Distribusi spasial fenomena *fog* pada tanggal 19 Februari 2020 dan 08 April 2020 di Kotawaringin Barat menunjukkan bentangan yang luas berwarna biru muda yang mengindikasikan bahwa *fog* terbentuk pada kondisi atmosfer yang hangat. *Fog* pada kedua kasus menunjukkan pola penurunan suhu udara permukaan bersamaan dengan peningkatan kelembaban di atas 95% hingga 100%. Kasus *fog* terbentuk pada nilai FSI < 31,0 dengan potensi pembentukan *fog* yang tinggi, akan tetapi pada kasus pertama nilai FSI pukul 12:00 UTC (sebelum *fog*) menunjukkan potensi yang rendah. Model cuaca numerik WRF untuk memahami mekanisme yang terjadi pada *fog* memiliki performa yang baik dengan RMSE dan korelasi yang baik ketika diuji dengan parameter suhu, titik embun dan kelembaban permukaan. Nilai LWC dan L_{\downarrow} yang dihasilkan dari model cuaca numerik WRF menunjukkan kenaikan yang terjadi pada waktu yang sama. Kenaikan LWC dan L_{\downarrow} kasus pertama terjadi pada akhir masa hidup *fog* sedangkan proses perubahan nilai LWC dan L_{\downarrow} pada kasus kedua terjadi saat masa hidup *fog*. *Visibility* saat *fog* tidak hanya dipengaruhi oleh LWC akan tetapi perlu pemahaman juga tentang konsentrasi jumlah droplet (N_d) karena mikrofisis *fog* merupakan fungsi dari kedua parameter tersebut. Peningkatan nilai L_{\downarrow} saat kejadian *fog* kasus kedua terjadi karena tebalnya lapisan *fog* sehingga memengaruhi penerimaan radiasi gelombang panjang oleh permukaan bumi.

REFERENSI

- Arun, S. H., Chaurasia, S., Misra, A., & Kumar, R. (2018). Fog stability index: a novel technique for fog/low clouds detection using multi-satellites data over the Indo-Gangetic plains during winter season. *International Journal of Remote Sensing*, 39(22), 8200–8218.
- Bessho, K., Date, K., Hayashi, M., Ikeda, A., Imai, T., Inoue, H., ... Yoshida, R. (2016). An introduction to Himawari-8/9—Japan's new-generation geostationary meteorological satellites. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 94(2), 151–183.
- Cermak, J., & Bendix, J. (2011). Detecting ground fog from space - a microphysics-based approach. *International Journal of Remote Sensing*, 32(12), 3345–3371.

- Chaouch, N., Temimi, M., Weston, M., & Ghedira, H. (2017). Sensitivity of the meteorological model WRF-ARW to planetary boundary layer schemes during fog conditions in a coastal arid region. *Atmospheric Research*, 187, 106–127.
- Ding, Y. H., & Liu, Y. J. (2014). Analysis of long-term variations of fog and haze in China in recent 50 years and their relations with atmospheric humidity. *Science China Earth Sciences*, 57(1), 36–46.
- Dupont, J. C., Haeffelin, M., Protat, A., Bouniol, D., Boyouk, N., & Morille, Y. (2012). Stratus-fog formation and dissipation: a 6-day case study. *Boundary-Layer Meteorology*, 143(1), 207–225.
- Feng, C., Zhang, X., Wei, Y., Zhang, W., Hou, N., Xu, J., ... Jiang, B. (2021). Estimation of long-term surface downward longwave radiation over the global land from 2000 to 2018. *Remote Sensing*, 13(9).
- Gilson, G. F., Jiskoot, H., Cassano, J. J., & Nielsen, T. R. (2018). Radiosonde-derived temperature inversions and their association with fog over 37 melt seasons in East Greenland. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(17), 9571–9588.
- Gultepe, I., Müller, M. D., & Boybeyi, Z. (2006). A new visibility parameterization for warm-fog applications in numerical weather prediction models. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 45(11), 1469–1480.
- Guo, L. J., Guo, X. L., Fang, C. G., & Zhu, S. C. (2015). Observation analysis on characteristics of formation, evolution and transition of a long-lasting severe fog and haze episode in North China. *Science China Earth Sciences*, 58(3), 329–344.
- Han, S. Q., Wu, J. H., Zhang, Y. F., Cai, Z. Y., Feng, Y. C., Yao, Q., ... Zhang, M. (2014). Characteristics and formation mechanism of a winter haze-fog episode in Tianjin, China. *Atmospheric Environment*, 98, 323–330.
- Holtzlag, M. C., Steeneveld, G. J., & Holtzlag, A. A. M. (2010). Fog forecasting: “old fashioned” semi-empirical methods from radio sounding observations versus “modern” numerical models. *5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew*, 1(July), 1–4.
- Jasiński, J., Krawczyk, K., & Pietrek, S. (2012). Fog detection over sea based on multispectral analysis of satellite images. *Scientific Journal*, 29(101), 53–62.
- Jin, M. S., & Mullens, T. (2014). A study of the relations between soil moisture, soil temperatures and surface temperatures using ARM observations and offline CLM4 simulations. *Climate*, 2(4), 279–295.
- Kim, S. H., Suh, M. S., & Han, J. H. (2019). Development of fog detection algorithm during nighttime using Himawari-8/AHI satellite and ground observation data. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 55(3), 337–350.
- Li, Y., Yan, J., & Sui, X. (2012). Tropospheric temperature inversion over central China. *Atmospheric Research*, 116, 105–115.
- Mazoyer, M., Lac, C., Thouron, O., Bergot, T., Masson, V., & Musson-Genon, L. (2017). Large eddy simulation of radiation fog: Impact of dynamics on the fog life cycle. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17(21), 13017–13035.
- Miller, N. B., Turner, D. D., Bennartz, R., Shupe, M. D., Kulie, M. S., Cadeddu, M. P., & Walden, V. P. (2013). Surface-based inversions above central Greenland. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 118(2), 495–506.
- Payra, S., & Mohan, M. (2014). Multirule based diagnostic approach for the fog predictions using WRF modelling tool. *Advances in Meteorology*, 2014.
- Pithani, P., Ghude, S. D., Chennu, V. N., Kulkarni, R. G., Steeneveld, G. J., Sharma, A., ... Madhavan, R. (2019). WRF model prediction of a dense fog event occurred during the winter fog experiment (WIFEX). *Pure and Applied Geophysics*, 176(4), 1827–1846.

- Policarpo, C., Salgado, R., & Costa, M. J. (2017). Numerical simulations of fog events in Southern Portugal. *Advances in Meteorology*, 2017(1989).
- Román-Cascón, C., Yagüe, C., Sastre, M., Maqueda, G., Salamanca, F., & Viana, S. (2012). Observations and WRF simulations of fog events at the Spanish Northern Plateau. *Advances in Science and Research*, 8(1), 11–18.
- Ryu, H. S., & Hong, S. (2020). Sea fog detection based on normalized difference snow index using advanced himawari imager observations. *Remote Sensing*, 12(9).
- Shimizu, A. (2020). Introduction to Himawari-8 RGB composite imagery. *Meteorological Satellite Center Technical Note*, (65), 42.
- Syed, F. S., Körnich, H., & Tjernström, M. (2012). On the fog variability over south Asia. *Climate Dynamics*, 39(12), 2993–3005.
- Tatsii, D., & Fedoseeva, N. (2021). The fog/low stratus clouds in the Arctic: detection with multispectral satellite imagery. *EGU General Assembly 2020*, EGU2020-10867,
- Viúdez-Mora, A., Costa-Surós, M., Calbó, J., & González, J. A. (2015). Modeling atmospheric longwave radiation at surface during overcast skies: The role of cloud base height. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(1), 199–214.
- Yi, L., Thies, B., Zhang, S., Shi, X., & Bendix, J. (2016). Optical thickness and effective radius retrievals of low stratus and fog from MTSAT daytime data as a prerequisite for yellow sea fog detection. *Remote Sensing*, 8(1), 1–15.
- Zhou, B., Du, J., Gultepe, I., & Dimego, G. (2012). Forecast of low *visibility* and fog from NCEP: current status and efforts. *Pure and Applied Geophysics*, 169(5–6), 895–909.