

Analisis Dinamika Atmosfer Saat Hujan Lebat di Wilayah Pontianak Menggunakan Model WRF-ARW (Studi Kasus 22-23 Desember 2022)

Minuk Hidayatul Mabriyah

Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tanjungpura
E-mail: h1071201030@student.untan.ac.id

Andi Ihwan*

Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tanjungpura
E-mail: andihwan@physics.untan.ac.id

Randy Ardianto

Stasiun Meteorologi Maritim Pontianak
E-mail: randyardianto@gmail.com

Abstrak

Kalimantan Barat memiliki iklim hutan hujan tropis yang dicirikan dengan intensitas curah hujan tinggi. Pada 22–23 Desember 2022, terjadi hujan lebat di Kota Pontianak dengan intensitas mencapai 101,3 mm/hari, yang menyebabkan banjir di kota tersebut. Studi ini menganalisis kondisi cuaca dan stabilitas atmosfer selama peristiwa tersebut menggunakan model WRF-ARW dengan data FNL sebagai input model, serta data GSMaP dan pengamatan suhu udara serta tekanan permukaan untuk verifikasi. Akurasi model dievaluasi menggunakan persamaan dikotomi (Akurasi, FAR, POFD), koefisien korelasi, dan Mean Absolute Error (MAE). Hasil verifikasi menunjukkan bahwa skema GD memiliki performa lebih baik dibandingkan skema KF Kessler dan KF Lin, dengan nilai akurasi skema GD mencapai 0,74, serta error lebih rendah. Analisis dengan skema GD mengindikasikan kondisi atmosfer yang mendukung pembentukan awan konvektif penyebab hujan lebat. Kondisi ini ditandai oleh atmosfer yang labil dengan suhu maksimum 30°C sebelum hujan, tekanan permukaan rendah, kecepatan angin yang tinggi di perairan bagian barat Kota Pontianak, kelembapan udara mencapai 100%, serta kategori CAPE menunjukkan ketidakstabilan sedang (2000 J/kg).

Kata-kata Kunci: Hujan lebat, skema parameterisasi kumulus, WRF-ARW

Abstract

West Kalimantan has a tropical rainforest climate characterized by high rainfall intensity. On December 22–23, 2022, heavy rainfall occurred in Pontianak City with an intensity reaching 101.3 mm/day, resulting in flooding in the area. This study analyzes weather conditions and atmospheric stability during the event using the WRF-ARW model with FNL data as model input, along with GSMaP data and observations of air temperature and surface pressure for verification. Model accuracy was evaluated using dichotomous equations (Accuracy, FAR, POFD), correlation coefficient, and Mean Absolute Error (MAE). The verification results indicate that the GD scheme performed better than the KF Kessler and KF Lin schemes, with the GD scheme achieving an accuracy value of 0.74 and lower error. Analysis using the GD scheme suggests atmospheric conditions conducive to the formation of convective clouds that caused the heavy rainfall. These conditions were marked by an unstable atmosphere with a maximum temperature of 30°C before the rain, low surface pressure, high wind speeds in the waters west of Pontianak City, humidity reaching 100%, and CAPE values indicating moderate instability (2000 J/kg).

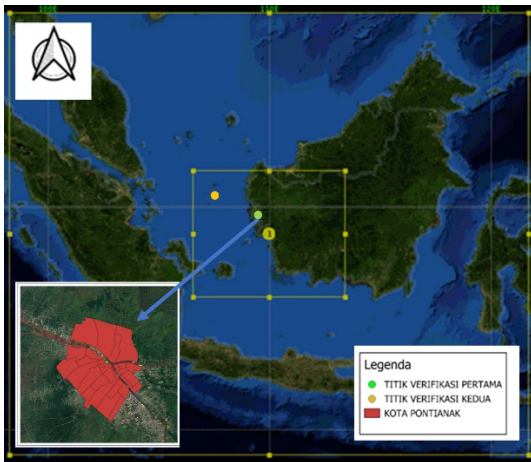
Keywords: Heavy rain, cumulus parameterization scheme, WRF-ARW

1. Pendahuluan

Indonesia, sebagai negara kepulauan, memiliki dua musim utama: kemarau dan penghujan. Pada periode musim hujan, sering memicu kondisi cuaca ekstrem, seperti hujan lebat, dan petir. Salah satu fenomena cuaca ekstrem yang paling sering terjadi adalah hujan lebat yang disebabkan oleh awan konvektif. Gangguan atmosfer akibat aktivitas awan konvektif di lapisan

atas troposfer melepaskan panas laten, yang berkontribusi pada ketidakstabilan atmosfer dan peningkatan intensitas curah hujan (Huda and Mulya, 2022). Proses evaporasi yang tinggi menyebabkan kondisi atmosfer yang tidak stabil dan akan memicu terjadinya pertumbuhan awan dan hujan yang lebat (Al Mughozali et al., 2017; Rumahorbo et al., 2020).

* Penulis Korespondensi: andihwan@physics.untan.ac.id



Gambar 1. Peta penelitian, kotak berwarna kuning merupakan batas wilayah model, dengan wilayah Pontianak (warnah merah) sebagai objek kajian. Titik pertama (warna hijau) adalah lokasi verifikasi pertama di Kota Pontianak (-0,05 LS - 109,35 BT), dan titik kedua (warna kuning) adalah lokasi verifikasi kedua di perairan Kalimantan Barat (0,05 LS - 108,05 BT). Kedua titik verifikasi digunakan pada Tabel 2.

Kota Pontianak merupakan salah satu wilayah yang tepat dilalui garis khatulistiwa, sehingga Kota tersebut termasuk wilayah tropis yang memiliki suhu, kelembapan, serta curah hujan yang tinggi. Pada tanggal 23 Desember 2022 terjadi banjir yang cukup tinggi melanda sebagian besar wilayah Pontianak. Berdasarkan tribun Pontianak, ketinggian banjir mencapai 20 cm hingga 60 cm yang diakibatkan oleh adanya banjir rob atau sungai Kapuas mangalami pasang tinggi serta hujan lebat yang terjadi dari dini hari sampai pagi hari. Data dari BMKG mengungkapkan bahwa pada tanggal tersebut intensitas curah hujan di Kota Pontianak termasuk hujan ekstrem yaitu 101,3 mm (Muhammad 2022).

Penelitian yang dilakukan Putra dan Rifani (2016) mengungkapkan bahwa pada kasus hujan lebat, model cuaca skala meso seperti model Weather Research and Forecasting – Advanced Research WRF (WRF-ARW) dianggap baik untuk mengkaji kondisi atmosfer. Berdasarkan uraian tersebut maka, pada penelitian ini dilakukan simulasi model cuaca numerik menggunakan WRF-ARW untuk menganalisis kondisi atmosfer pada saat kejadian hujan lebat di wilayah Kota Pontianak tanggal 22 hingga 23 Desember 2022. Tujuan penelitian ini adalah: pertama mengevaluasi keakuratan model WRF-ARW dalam memprediksi kejadian hujan lebat di wilayah Pontianak, kedua: menganalisis pola parameter cuaca dan stabilitas atmosfer yang berkontribusi terhadap peristiwa tersebut. Output penelitian ini diharapkan sbagai kajian untuk mitigasi bencana hidrometeorologi terutama cuaca ekstrim.

2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kota Pontianak, Kalimantan Barat secara geografis terletak pada 0° 02' 24" Lintang Utara dan 0° 05' 37" Lintang Selatan dan antara 109° 16' 25" Bujur Timur sampai dengan 109° 23' 01"

Bujur Timur. (Gambar 1), wilayah ini untuk menganalisis kondisi atmosfer selama kejadian hujan lebat yang menyebabkan banjir.

3. Metode Penelitian

Langkah awal yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengumpulan data inputan model dan data observasi. Data *Final Global Data Assimilation System* (FNL) digunakan sebagai data inisialisasi model WRF-ARW tanggal 21 Desember 2022 pukul 00.00 *Coordinated Universal Time* (UTC) sampai dengan 24 Desember 2022 pukul 00.00 UTC resolusi spasial data ini 0.25° x 0.25° dan setiap 6 jam yang di *download* dari <http://rda.ucar.edu/datasets/>. Data observasi berupa curah hujan, suhu udara, dan tekanan permukaan tanggal 21-24 Desember 2022 dari Stasiun Meteorologi Maritim Pontianak, Kalimantan Barat. Data ini digunakan sebagai data pembanding output model WRF-ARW.

Model meteorologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah model WRF-ARW. Model ini berfungsi untuk memprediksi serta menganalisis fenomena cuaca skala meso. Model WRF-ARW telah banyak dimanfaatkan oleh para peneliti, seperti yang dilakukan oleh Ridwan & Kudsy, (2011); Saragih et al., (2017); Moya-Álvarez et al., (2018); Emmanouil et al., (2021). Secara khusus, WRF-ARW dikembangkan untuk kepentingan penelitian atmosfer dan banyak diterapkan dalam simulasi atmosfer di sebagian besar wilayah Indonesia, meskipun penggunaannya masih terbatas di daerah Khatulistiwa (Putra and Rifani 2016). Beberapa skema parameterisasi yang digunakan dalam model WRF-ARW antara lain Kain-Fritsch (KF), Betts-Miller-Janjic (BMJ) dan Grell Devenyi (GD) seperti yang telah digunakan oleh (Sulung *et al.*, 2011; Ardianto, 2017; Al Habib and Firdiyanto, 2023). Proses pelaksanaan model WRF-ARW terdiri dari tiga tahapan utama. Pertama, tahap *pre-processing* yaitu penentuan batas wilayah kajian dilakukan menggunakan program WRF *Domain Wizard* dengan menerapkan teknik *downscaling* dan *nesting*. Kedua, tahap pemrosesan (*processing*) yang mencakup pengaturan syarat batas model serta pemilihan skema parameterisasi yang akan digunakan. Ketiga, tahap pascapemrosesan (*post-processing*), di mana output model WRF-ARW diperoleh dan kemudian divisualisasikan dengan menggunakan perangkat lunak *The Grid Analysis and Display System* (GrADS).

Hasil keluaran model akan diverifikasi dengan data observasi menggunakan metode dikotomi melalui tabel kontingensi (Tabel 1). Dalam metode ini, suatu kejadian dikategorikan secara biner, yang berarti hanya terdapat dua kemungkinan hasil, yaitu kejadian terjadi (**yes**) atau tidak terjadi (**no**) (Ardiyansah, 2014)

Hasil dari tabel kontingensi digunakan untuk menghitung beberapa parameter evaluasi, seperti nilai **akurasi**, *fraction correct*, *false alarm ratio* (**FAR**), dan *probability of false detection* (**POFD**). Nilai akurasi berkisar antara 0 hingga 1, di mana 1 menunjukkan tingkat keakuratan yang sempurna. Sementara itu, untuk parameter statistik FAR dan

Tabel 1. Tabel Kontingensi

Model	Observasi	
	Hujan	Tidak Hujan
Hujan	Hits	False Alarm
Tidak Hujan	Misses	Correct Negative

POFD, nilai ideal adalah 0 (Kim et al., 2017; Purnama et al., 2023). Ketiga parameter evaluasi tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan-persamaan berikut:

$$akurasi = \frac{\sum hits + \sum correct\ negative}{jumlah\ data} \quad (1)$$

$$FAR = \frac{\sum false\ alarm}{\sum hits + \sum false\ alarm} \quad (2)$$

$$POFD = \frac{\sum false\ alarm}{\sum correct\ negative + \sum false\ alarm} \quad (3)$$

Selain itu, dilakukan pengujian akurasi model terhadap parameter curah hujan, suhu udara, dan tekanan udara untuk menentukan skema parameterisasi terbaik. Evaluasi ini menggunakan koefisien korelasi (r) dan Mean Absolute Error (MAE). Verifikasi korelasi dan MAE dilakukan pada koordinat -0,05° LS dan 109,35° BT.

Selanjutnya melakukan analisis parameter cuaca berdasarkan skema parameterisasi terbaik. Pada tahapan ini semua parameter (angin, suhu udara, curah hujan, kelembapan relatif, tekanan permukaan dan indeks stabilitas atmosfer yaitu CAPE) akan dianalisis pola sebarannya di wilayah Pontianak dan sekitarnya dan fluktuasi nilai parameter tersebut secara temporan sebelum saat dan setelah hujan lebat terjadi. Analisis ini dilakukan untuk mengkaji dinamika atmosfer saat terjadi hujan lebat di Kota Pontianak.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Evaluasi keakuratan model WRF-ARW

Skema GD menghasilkan akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan skema yang lain (Tabel 2). Hal ini dilihat bahwa skema GD memiliki nilai akurasi pada kedua titik dengan nilai 0,68 pada titik pertama dan 0,74 pada titik kedua. Berdasarkan parameter statistik FAR dan POFD menunjukkan bahwa skema GD unggul dikedua titik dibandingkan skema lainnya dengan menghasilkan nilai terendah dikedua titik verifikasi dengan nilai 0,33 dan 0,41. Pada statistik POFD, skema GD memiliki nilai terendah yaitu pada titik pertama skema GD dan skema KF Kessler memiliki nilai yang sama yaitu 0,06. Namun pada titik kedua skema GD unggul dengan memiliki nilai terendah yaitu 0,18. Sehingga, pada simulasi ini skema GD unggul dalam menganalisis kejadian hujan dibandingkan skema lainnya.

Pada Tabel 3 merupakan hasil verifikasi empat parameter cuaca model terhadap data obeservasi di Kota Pontianak (titik pertama pada Gambar 1). Pada tabel tersebut terlihat bahwa skema GD merupakan skema yang lebih

Tabel 2. Hasil verifikasi dikotomi

Statistik	Skema	Titik Pertama	Titik Kedua
AKURASI	GD	0.68	0.74
	KF Kessler	0.67	0.67
	KF Lin	0.59	0.63
FAR	GD	0.33	0.41
	KF Kessler	0.38	0.52
	KF Lin	0.61	0.57
POFD	GD	0.06	0.18
	KF Kessler	0.06	0.30
	KF Lin	0.23	0.34

Tabel 3. Hasil verifikasi menggunakan korelasi dan MAE

Validasi	Skema	Hujan	Suhu	Tekanan
Korelasi	KF Kessler	0.2	0.7	0.8
	GD	0.3	0.7	0.8
	KF Lin	0.2	0.7	0.8
MAE	KF Kessler	9.8	3.0	1.7
	GD	5.1	2.5	1.2
	KF Lin	18.7	2.3	5.4

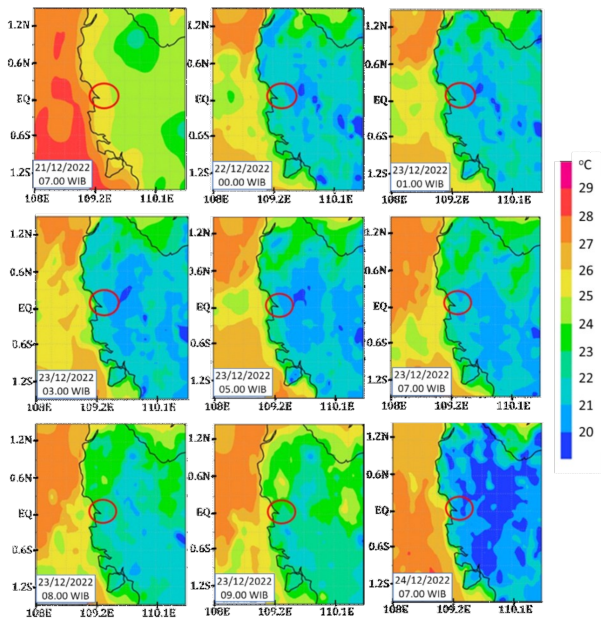
baik dibandingkan dengan skema KF Kessler dan KF Lin. Berdasarkan uji MAE Skema GD memiliki nilai error yang lebih kecil pada parameter curah hujan yaitu 5,1 dan tekanan permukaan, yaitu 1,2. Untuk uji korelasi juga menunjukkan, skema GD lebih unggul pada parameter curah hujan dengan nilai 0,3. Adapun pada parameter suhu udara dan tekanan permukaan, kedua skema memiliki nilai korelasi yang sama, yaitu 0,7 untuk suhu udara dan 0,8 untuk tekanan permukaan.

4.2. Analisis kondisi cuaca saat kejadian hujan lebat

4.1.1. Suhu udara

Suhu udara yang tinggi di wilayah perairan dekat kota Pontianak pada saat sebelum terjadinya hujan mengakibatkan cepatnya proses evaporasi (Gambar 2) kemudian terbawa oleh angin masuk ke wilayah Kota Pontianak. Banyaknya uap air di atmosfer kota Pontianak, berkontribusi dalam pembentukan awan sehingga mengakibatkan hujan dengan intensitas yang tinggi. Pada saat terjadinya hujan suhu udara cenderung rendah, hal ini dikarenakan banyak terbentuk awan-awan konvektif yang menghalangi radiasi matahari untuk mencapai ke permukaan bumi (Sudjarwadi et al., 2004). Model WRF-ARW mampu menunjukkan hasil yang baik, dilihat bahwa pada saat sebelum terjadi hujan suhu udara di wilayah Pontianak menunjukkan suhu 27°C. Kemudian, pada saat hujan lebat wilayah Pontianak mengalami penurunan suhu udara 20°C hingga 24°C. Pada saat sesudah terjadi hujan lebat suhu udara mengalami penurunan yaitu 21°C.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa suhu udara sebelum terjadinya hujan lebat pada 21 Desember 2022 berkisar antara 24°C hingga 27°C. Selama periode hujan lebat, yakni dari 22 Desember 2022 pukul 00.00 WIB hingga 23 Desember 2022 pukul 09.00 WIB, suhu udara relatif konstan pada kisaran 20°C–24°C. Tingginya suhu udara sebelum hujan diduga



Gambar 2. Peta sebaran tekanan udara pada tanggal 21 s.d 24 Desember 2022. Lingkaran merah merupakan wilayah Kota Pontianak.

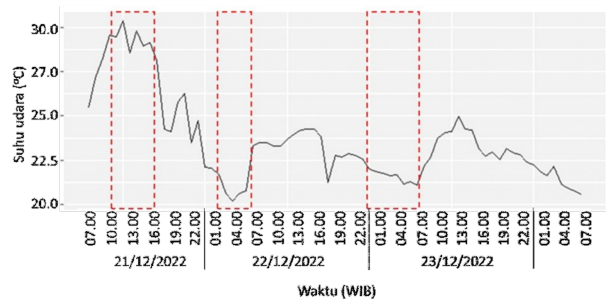
mempercepat proses evaporasi, sehingga meningkatkan kandungan uap air di atmosfer. Akumulasi uap air tersebut berperan dalam pembentukan awan konvektif yang akhirnya menghasilkan hujan dengan intensitas tinggi.

Selama hujan lebat, suhu udara cenderung lebih rendah akibat terhalangnya radiasi matahari oleh awan-awan konvektif (Sudjarwadi et al., 2004). Setelah hujan berakhir pada 24 Desember 2022, suhu udara mengalami penurunan signifikan hingga mencapai 21°C, mengindikasikan pengaruh pendinginan pascahujan (*post-rain cooling effect*).

Variasi suhu udara di wilayah Pontianak dengan koordinat -0,05 LS - 109,35 pada tanggal 21 Desember 2022 hingga 24 Desember 2022 menunjukkan bahwa terdapat kenaikan suhu udara yang sangat signifikan yaitu mencapai 30°C pada pukul 12.00 WIB, selanjutnya terjadi penurunan suhu udara yang signifikan dari pukul 17.00 WIB hingga pukul 04.00 WIB penurunan suhu udara yaitu mencapai 20°C (Gambar 3). Suhu yang tinggi pada saat sebelum terjadinya hujan lebat, menyebabkan laju proses evaporasi meningkat (Benny et al., 2015).

4.1.2. Tekanan permukaan

Model WRF-ARW mampu mensimulasikan parameter tekanan udara sebelum, saat dan setelah hujan lebat. Tekanan permukaan hasil simulasi berada pada rentang 1004 hPa sampai dengan 1010 hPa. Tekanan permukaan di wilayah Pontianak cenderung rendah yaitu 1004 hPa - 1008 hPa saat sebelum terjadi hujan lebat (Gambar 4). Kemudian setelah terjadi hujan lebat pada 24 Desember 2022 tekanan permukaan mengalami peningkatan yaitu pada rentang 1008 hPa - 1010 hPa.



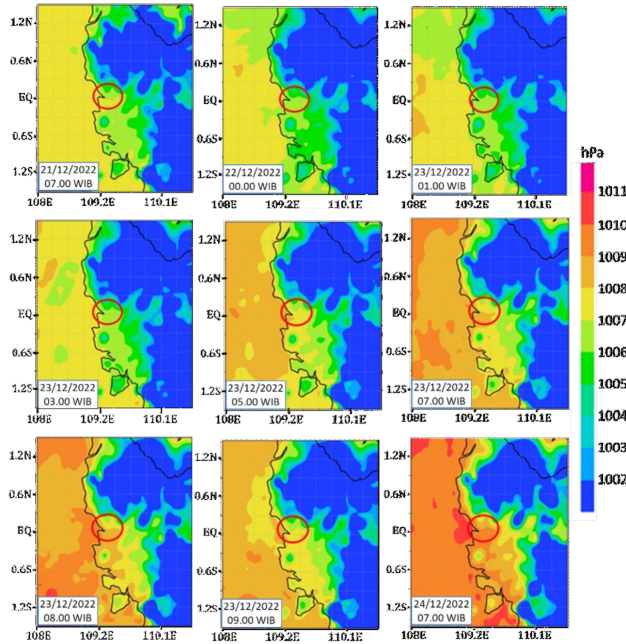
Gambar 3. Grafik time serier tekanan udara per 3 jam di Kota Pontianak (-0,05 LS - 109,35 BT) dari tanggal 21 Desember 2022 pukul 07.00 WIB sampai dengan tanggal 24 Desember 2022 pukul 07.00 WIB pada koordinat -0,05 LS - 109,35 BT

Variasi tekanan permukaan di Kota Pontianak dengan koordinat -0,05 LS - 109,35 BT pada tanggal 21 Desember 2022 hingga 24 Desember 2022 menunjukkan mengalami fluktuasi (Gambar 5). Pada tanggal 21 Desember 2022 tekanan permukaan relative rendah dibandingkan dengan satu dan dua hari setelahnya. Tekanan permukaan yang rendah disebabkan karena adanya pengangkutan massa udara secara vertical dalam bentuk evapotranspirasi, hal ini memudahkan terbentuknya awan konvektif yang diakibatkan suhu udara yang tinggi dan kondisi atmosfer yang lembap sehingga menyebabkan penguapan terjadi lebih cepat (Prasetyo and Zakir, 2020; Rumahorbo et al., 2020). Pengaruh dari tekanan permukaan rendah memiliki dampak yang signifikan terhadap kondisi di atmosfer sehingga dapat memicu terjadinya hujan bahkan sampai hujan lebat (Saefullah et al., 2022).

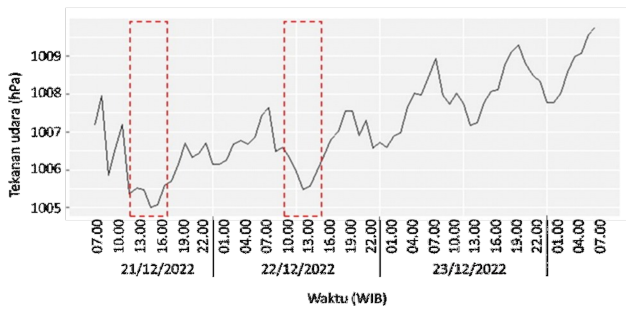
4.1.3. Kecepatan angin

Hasil simulasi model WRF-ARW tentang distribusi kecepatan angin di wilayah kajian berada pada rentang 2 ms⁻¹ – 22 ms⁻¹, sebaran kecepatan angin yang rendah terdistribusi di wilayah daratan sedangkan kecepatan angin yang tinggi ini terdistribusi di wilayah laut (Gambar 6). Pada saat terjadinya hujan lebat pada tanggal 23 Desember 2022 pukul 01.00 WIB hingga 23 Desember 2022 pukul 13.00 WIB wilayah laut dengan kecepatan angin yang tinggi yang disertai dengan adanya pusat kovergensi di beberapa wilayah laut bagian Barat Kalimantan seperti yang ditandai bulat hitam pada Gambar 6. Pusat konvergensi di wilayah perairan bagian Barat Kalimantan tersebut merupakan pemicu terjadinya hujan lebat, bahkan mengakibatkan gelombang pasang dan menimbulkan banjir rob di wilayah Pontianak. Disisi lain pada saat hujan lebat di wilayah daratan memiliki kecepatan angin yang konstan dan relatif rendah, hal ini selaras dengan Simbolon et al., (2022) yang menjelaskan bahwa kecepatan angin memiliki pengaruh negatif terhadap curah hujan. Artinya, ketika kecepatan angin meningkat, curah hujan cenderung menurun, sedangkan saat kecepatan angin berkurang, curah hujan justru meningkat.

4.1.4. Kelembapan relatif

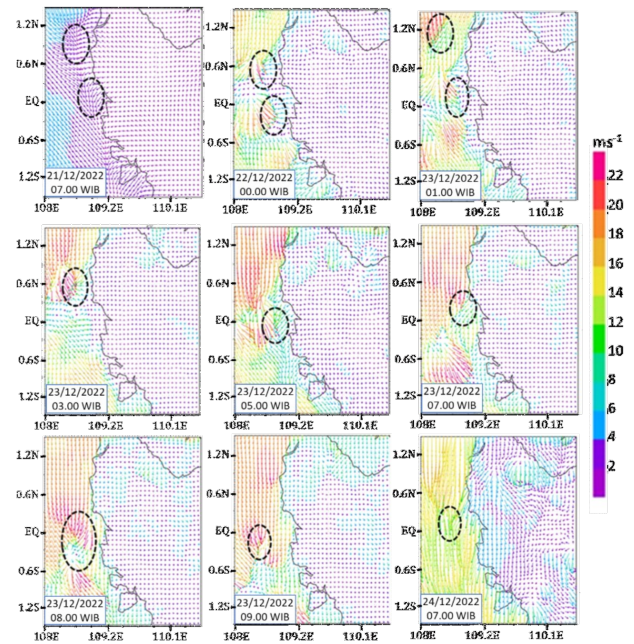


Gambar 4. Peta sebaran tekanan udara pada tanggal 21 s.d 24 Desember 2022. Lingkaran merah merupakan wilayah Kota Pontianak.



Gambar 5. Grafik time series tekanan udara per 3 jam di Kota Pontianak (-0,05 LS - 109,35 BT) dari tanggal 21 Desember 2022 pukul 07.00 WIB sampai dengan tanggal 24 Desember 2022 pukul 07.00 WIB pada koordinat -0,05 LS - 109,35 BT

Berdasarkan diagram hovmoller kelembapan relatif pada koordinat -0,05 LS - 109,35 BT Pada tanggal 21 Desember 2022 pada pukul 00.00 WIB hingga 23 Desember 2022 pukul 19.00 WIB, pada lapisan 950 mb - 800 mb menunjukkan bahwa kondisi atmosfer dalam keadaan yang jenuh dengan nilai 75% - 95% (Gambar 7). Pada tanggal 22 Desember 2022 pada pukul 23.00 WIB hingga 24 Desember 2022 pada pukul 00.00 WIB pada lapisan 950 mb - 500 mb memiliki nilai 85% - 100% menunjukkan kondisi yang sangat jenuh. Keadaan atmosfer yang jenuh atau lembap menyebabkan uap air banyak terkandung di dalamnya sehingga awan-awan konvektif terbentuk dan menghasilkan hujan dengan intensitas yang tinggi (Putra and Rifani 2016). Kemudian setelah hujan lebat terlihat bahwa kelembapan atmosfer menurun hingga mencapai 45% dilapisan 850 mb - 700 mb. Hal ini menunjukkan bahwa model WRF mampu menggambarkan kondisi atmosfer yang jenuh dan mendukung proses kondensasi pembentukan awan konvektif hingga terjadi hujan lebat di wilayah Pontianak.

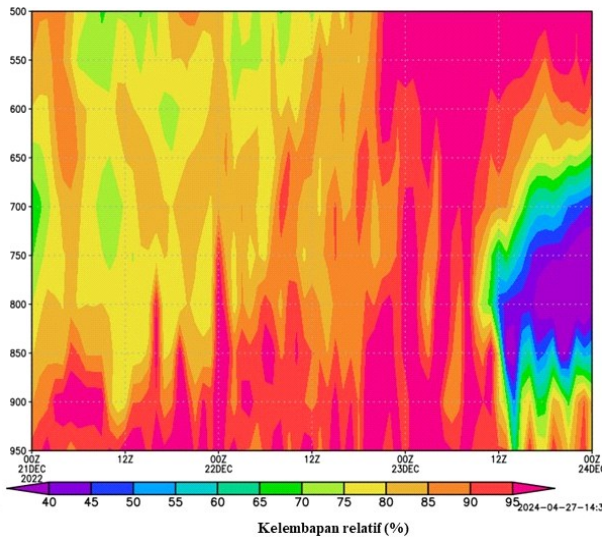


Gambar 6. Peta sebaran kecepatan dan arah angin pada tanggal 21 s.d 24 Desember 2022. Lingkaran hitam merupakan angin konvergensi.

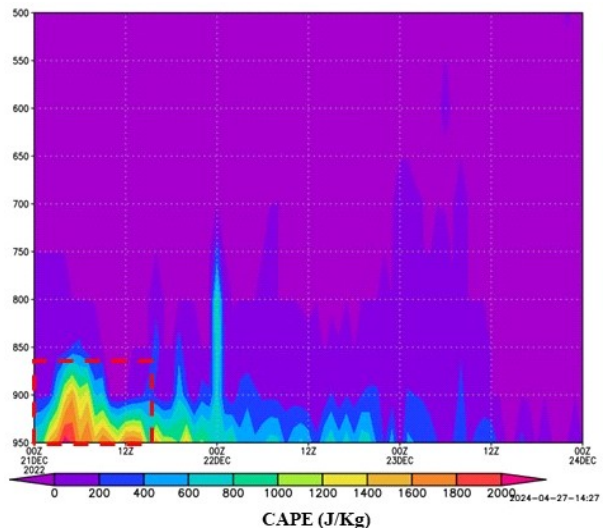
Nilai kelembapan relatif permukaan di wilayah Pontianak dengan koordinat -0,05 LS - 109,35 BT pada tanggal 21 Desember 2022 hingga 24 Desember 2022 menunjukkan nilai yang relative tinggi (100%) terutama sesaat sebelum hingga terjadinya hujan lebat dan kelembapannya konstan. Keadaan ini menunjukkan bahwa udara dalam keadaan jenuh dengan uap air. Temuan ini sejalan dengan penelitian Wisnawa *et al.*, (2019), yang menyatakan bahwa peningkatan kandungan uap air di atmosfer mengindikasikan adanya proses pertumbuhan awan-awan konvektif yang berpotensi memicu hujan lebat. Kemudian setelah kejadian hujan lebat nilai kelembapan udara relative menurun dari 100% hingga mencapai 80%.

4.2. Analisis Convective Available Potential Energy (CAPE)

Gambar 8 menampilkan diagram Hovmöller CAPE pada koordinat -0,05° LS dan 109,35° BT. Nilai CAPE tersebut merupakan indikator yang menunjukkan potensi terbentuknya awan konvektif serta digunakan untuk mengukur tingkat ketidakstabilan atmosfer. Nilai CAPE mencerminkan jumlah energi yang tersedia bagi parcel udara dalam proses pembentukan awan konvektif (Wisnawa *et al.*, 2019). Nilai CAPE pada Gambar 9 menunjukkan bahwa pada 21 Desember 2022 mulai pukul 07.00 WIB hingga 19.00 WIB di lapisan 950 mb - 850 mb, atmosfer dalam kondisi labil, sehingga mendukung pertumbuhan awan konvektif. Kondisi ini ditandai dengan nilai CAPE yang tinggi berkisar antara 400 hingga 2000 J/Kg. Ketidakstabilan atmosfer di lapisan dekat permukaan terjadi akibat proses konvektif yang terbentuk di lapisan rendah (Kirshbaum 2018; Schumacher and Rasmussen, 2020). Nilai CAPE yang tinggi tersebut di wilayah Pontianak tergolong ke



Gambar 7. Diagram hovmoller kelembapan relatif, per 3 jam di Kota Pontianak (-0,05 LS - 109,35 BT) dari tanggal 21 Desember 2022 pukul 07.00 WIB sampai dengan tanggal 24 Desember 2022 pukul 07.00 WIB

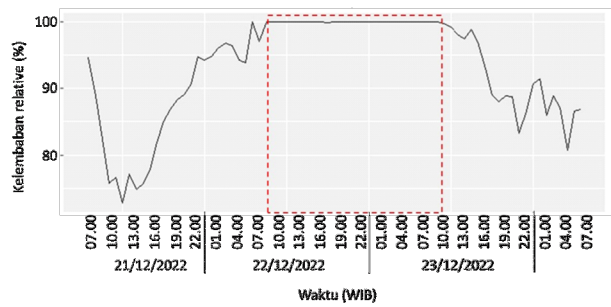


Gambar 9. Diagram hovmoller CAPE per 3 jam di Kota Pontianak (-0,05 LS - 109,35 BT) dari tanggal 21 Desember 2022 pukul 07.00 WIB sampai dengan tanggal 24 Desember 2022 pukul 07.00 WIB.

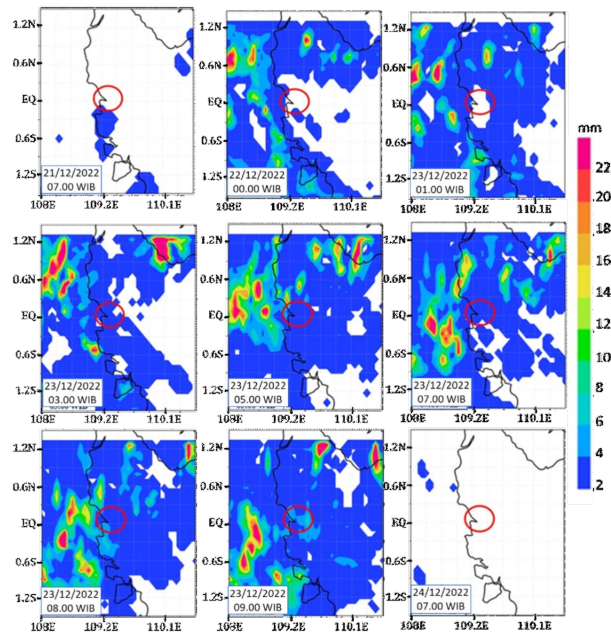
dalam kategori *moderate* atau kategori ketidakstabilan sedang. Nilai CAPE yang besar menyebabkan semakin banyak pertumbuhan awan dan presipitasi, sehingga terjadinya peningkatan curah hujan (Castorina et al., 2019; Diniyati et al., 2020).

4.2.1. Curah hujan

Berdasarkan *output* model WRF-ARW bahwa pada pukul 07.00 WIB tanggal 21 Desember 2022 dan 01.00 WIB pada tanggal 23 Desember 2022 belum terjadi hujan di wilayah Pontianak (**Gambar 9**). Pada pukul 05.00 – 13.00 WIB mulai terjadi hujan dengan intensitas curah hujan yang kecil < 2 mm/jam. Kemudian pada pukul 07.00 WIB pada tanggal 24 Desember 2022 di wilayah kajian tidak terjadi hujan lagi, namun curah lebat terjadi di perairan sebelah



Gambar 8. Grafik time series kelembapan relatif per 3 jam di Kota Pontianak (-0,05 LS - 109,35 BT) dari tanggal 21 Desember 2022 pukul 07.00 WIB sampai dengan tanggal 24 Desember 2022 pukul 07.00 WIB



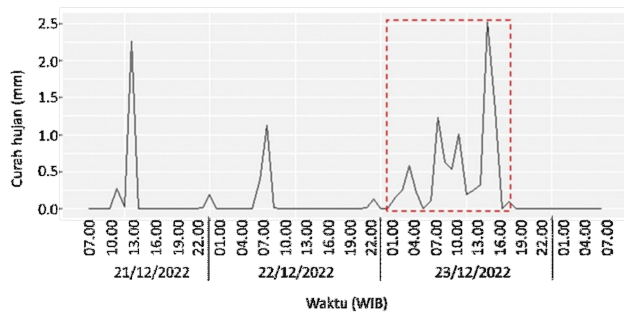
Gambar 10. Peta sebaran curah hujan pada tanggal 21 s.d 24 Desember 2022. Lingkaran merah merupakan wilayah Kota Pontianak

barat Pontianak dengan intensitas diatas 10 mm/jam. Hal ini terjadi karena adanya angin konvergensi di perairan sebelah barat Pontianak.

Variasi nilai curah hujan di wilayah Pontianak dengan koordinat -0,05 LS - 109,35 BT pada tanggal 21 Desember 2022 hingga 24 Desember 2022 menunjukkan bahwa pada pukul 13.00 WIB terjadi hujan dengan intensitas 2,2 mm/jam (**Gambar 11**). Pada waktu selanjutnya tidak ada terjadinya hujan hingga pukul 06.00 WIB. Terjadi hujan pada pukul 01.00 WIB hingga 19.00 WIB pada tanggal 23 Desember 2022 intensitas hujan tertinggi yaitu 2,5 mm/jam. Pada waktu berikutnya tidak terjadi hujan di wilayah Pontianak.

5. Kesimpulan

1. Pengujian keakuratan output model WRF-ARW menggunakan tiga uji statistik akurasi, FAR, dan POFD menunjukkan bahwa skema GD merupakan yang paling optimal untuk mensimulasikan kondisi atmosfer pada saat



Gambar 11. Grafik time series curah hujan per 3 jam di Kota Pontianak (-0,05 LS - 109,35 BT) dari tanggal 21 Desember 2022 pukul 07.00 WIB sampai dengan tanggal 24 Desember 2022 pukul 07.00 WIB

hujan lebat di Kota Pontianak pada 22–23 Desember 2022.

- Keadaan atmosfer sebelum terjadinya hujan lebat ditandai dengan suhu udara di permukaan relatif tinggi yang mencapai 30°C. Suhu yang tinggi ini memicu terjadinya proses evaporasi. Adanya proses pengangkatan massa udara akibat suhu yang tinggi menyebabkan tekanan permukaan menjadi rendah, sekitar 1005 hPa. Tingginya proses evaporasi mengakibatkan kelembapan atmosfer meningkat hingga mencapai 100%.
- Angin konvergen yang terjadi di wilayah perairan bagian barat Kalimantan menyebabkan badai laut dan mendukung pertumbuhan awan konvektif.
- Nilai indeks CAPE yang mencapai 2000 J/kg, menunjukkan kondisi atmosfer yang labil sebelum hujan lebat mendukung terjadinya hujan lebat.
- Seiring dengan terjadinya hujan, suhu udara kemudian menurun hingga 20°C, kemudian kelembapan udara juga mengalami penurunan, serta tekanan udara di permukaan mulai meningkat.

Daftar Pustaka

- Al Habib, A.H., and Firdiyanto, R.A. (2023). *WRF-ARW Numerical Model Sensitivity Test on Simulation of Loud Rain in The South Kalimantan Area*. Jurnal Fisika dan Aplikasinya, 19(3), 79-85.
- Al Mughozali, S., Firdianto, P.U., and Irawan, A.M. (2017). *Analisis Hujan Lebat dan Angin Kencang di Wilayah Banjarnegara Study Kasus Rabu 8 November 2017*. Unnes Physics Journal, 6(1), 65-69.
- Ardianto, R. (2017). *Pemanfaatan Model WRF-ARW Untuk Analisis Fenomena Atmosfer Borneo Vortex (Studi Kasus Tanggal 28 Desember 2014)*, Positron, 7(1), p. 01.
- Benny, W. P., Putra, E. T. S., and Supriyanta, S. (2015). *Tanggapan Produktivitas Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.) terhadap Variasi Iklim*. Vegetalika, 4(4), 21-34.
- Castorina, G., Caccamo, M.T., and Magazù, S. (2019). *Study of convective motions and analysis of the impact of physical parametrization on the WRF-ARW forecast model*. Atti della Accademia Peloritana dei Pericolanti-Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, 97(S2), 19.
- Diniyati, E., Pratama, R.R., Muzaki, N.H., Mulya, A., And Syofyan, D.Q. (2020). *Kajian Convective Available Potential Energy (Cape) Saat Kejadian Hujan Sangat Lebat (Studi Kasus: Banjir Jakarta, 22-23 Februari 2020)*. Jurnal Material dan Energi Indonesia, 10(337), pp. 10–19.
- Emmanouil, G., Vlachogiannis, D., and Sfetsos, A., (2021). *Exploring the ability of the WRF-ARW atmospheric model to simulate different meteorological conditions in Greece*. Atmospheric Research, 247, 105226.
- Huda, A.D., and Mulya, A. (2022). *Pemanfaatan Metode RGB (Red Green Blue) pada Citra Satelit Himawari-8 dalam Klasifikasi Awan pada Kejadian Hujan Lebat Daerah Sidoarjo 3 Februari 2021*. Jurnal Teknik SILITEK, 1(02), 73-79.
- Kim, M., Im, J., Park, H., Park, S., Lee, M.I., and Ahn, M.H. (2017). *Detection of tropical overshooting cloud tops using Himawari-8 imagery*. Remote sensing, 9(7), 685.
- Kirshbaum, D.J., Adler, B., Kalthoff, N., Barthlott, C., and Serafin, S. (2018). *Moist orographic convection: Physical mechanisms and links to surface-exchange processes*. Atmosphere, 9(3), 80.
- Moya-Álvarez, A.S., Gálvez, J., Holguín, A., Estevan, R., Kumar, S., Villalobos, E., and Silva, Y. (2018). *Extreme rainfall forecast with the WRF-ARW model in the Central Andes of Peru*. Atmosphere, 9(9), 362.
- Prasetyo, S., and Zakir, A., (2020). *Tinjauan Meteorologis Pada Fenomena Hujan Lebat Penyebab Banjir (Studi Kasus: Cilacap, 16-17 November 2020 Dan Kendal, 19 November 2020)*. Jurnal Material dan Energi Indonesia, 10(01), 37-48.
- Purnama, D.R., Hakiki, M., Fitria, N.I., Putri, A.P.S., Pramuwardani, I., and Rifani, A. (2023). *On the Development of the Impact-Based Forecast Model in Indonesia*. In International Conference on Radiosience, Equatorial Atmospheric Science and Environment (pp. 259-271). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Putra, R.M. and Rifani, A., (2016). *Analisis Hujan Ekstrem Menggunakan Model WRF-ARW*. Prosiding Seminar Nasional Fisika Dan Pendidikan Fisika, pp. 105–114.
- Ridwan, R. and Kudsy, M., (2011). *Parameterisasi Model Cuaca Wrf-Arw Untuk Mendukung Kegiatan Teknologi Modifikasi Cuaca (Tmc) Di Sumatera, Sulawesi, Dan Jawa*. Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca, 12(1), p.1.

- Rumahorbo, I., Hidayat, U., Prasetyo, S., and Mulya, A. (2020). *Analisis Kondisi Atmosfer Pada Kejadian Hujan Lebat Penyebab Banjir Deli Serdang (Studi Kasus: 18 Juni 2020)*. Prosiding Seminar Nasional Kahuripan I Tahun 2020, pp. 144–148.
- Saragih, I.J.A., Kristianto, A., Silitonga, A.K., and Paski, J.A.I. (2017). *Kajian Dinamika Atmosfer saat Kejadian Hujan Lebat di Wilayah Pesisir Timur Sumatera Utara Menggunakan Model WRF-ARW dan Citra Satelit Himawari-8*. Unnes Physics Journal, 6(1), 25-30.
- Schumacher, R.S., and Rasmussen, K.L. (2020) *The formation, character and changing nature of mesoscale convective systems*. Nature Reviews Earth & Environment, 1(6), 300-314.
- Simbolon, C.D.L., Ruhiat, Y. and Saefullah, A. (2022) *Analisis Arah dan Kecepatan Angin Terhadap Sebaran Curah Hujan Di Wilayah Kabupaten Tangerang*. Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika, 10 (01), pp. 113–114.
- Wisnawa, G.G., Utami, A.D., Prayudhi, S.A., and Sari, F.P. (2019). *Pemanfaatan Model WRF-ARW untuk Simulasi Hujan Sangat Lebat di Bandara I Gusti Ngurah Rai Bali (Studi Kasus Tanggal 12 Januari 2019)*. Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika 2019. pp. 56-63.