



Identifikasi Karakteristik *Mesoscale Convective Complex* (MCC) serta Analisis Profil Vertikal Atmosfer di Wilayah Laut Banda dan Sekitarnya (Studi Kasus 9 dan 10 Maret 2024)

Muhizzadin Abdul Adzan¹, Pertiwi Risky Setyowati², Imma Redha Nugraheni³,
Nining Baidila Sari⁴

¹²³⁴ Program studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
e-mail: pertiwirisky118@gmail.com

ABSTRAK. Indonesia sebagai negara kepulauan di wilayah tropis memiliki dinamika atmosfer yang unik, termasuk pembentukan sistem *mesoscale* seperti *Mesoscale Convective Complex* (MCC). Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi karakteristik MCC yang terjadi di perairan Laut Banda dan sekitarnya pada 9–10 Maret 2024 berdasarkan kriteria Maddox (1980). Penelitian ini menggunakan pendekatan multidata yang terdiri dari data citra satelit Himawari-9, *Automatic Weather Station* (AWS), dan model *reanalysis* ECMWF untuk mengidentifikasi suhu puncak awan, luasan awan, eksentrisitas, durasi kejadian, serta kondisi atmosfer pendukungnya. Hasil menunjukkan bahwa MCC fase matang terjadi selama 14 jam dengan suhu puncak awan $\leq -80^{\circ}\text{C}$ serta rata-rata luasan awan $\pm 315.784 \text{ km}^2$ dan eksentrisitas sekitar 0.951307. Berdasarkan metode *Cloud Convective Overlays* (CCO), distribusi awan cumulonimbus (Cb) mencapai maksimum pada pukul 20–02 UTC. Analisis curah hujan di Kota Baubau menunjukkan intensitas maksimum 46,1 mm/jam selama kejadian MCC, sementara profil vertikal menunjukkan kondisi atmosfer *unstable* dengan nilai *vertical velocity* didominasi negatif sekitar -1.8 Pa/s hingga 0 Pa/s . Kelembaban relatif (RH) pada lapisan 1000–10 mb didominasi $\geq 80\%$ yang mendukung pertumbuhan MCC dan presipitasi intensif. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang komprehensif berbasis multidata dalam identifikasi karakteristik MCC dan analisis kondisi atmosfer di wilayah Indonesia.

Kata kunci: MCC, Citra Satelit, AWS, ECMWF

PENDAHULUAN

Menjadi salah satu negara maritim serta terletak di wilayah tropis membuat Indonesia menjadi salah satu negara yang memiliki kelembaban udara yang melimpah, suhu udara yang relatif hangat, serta mendapatkan penyinaran matahari sepanjang tahun (Tjasyono, 2009). Indonesia yang juga terletak di wilayah *Intertropical Convergence Zone* (ITCZ) yang merupakan wilayah-wilayah aliran konvergensi sehingga turut mendukung pertumbuhan awan-awan konvektif yang intens di wilayah tersebut (Shonk, 2020). Selain itu, terdapat beberapa dinamika-dinamika atmosfer lainnya, baik skala global, regional, maupun lokal yang turut memengaruhi kondisi wilayah atmosfer di wilayah Indonesia, terutama pembentukan awan-awan konvektif.

Awan konvektif merupakan awan yang terbentuk akibat pemanasan yang intens di permukaan maupun akibat pengangkatan secara mekanis sehingga udara hangat dapat terangkat dan menciptakan awan konvektif seperti awan cumulonimbus (Cb) (Ahrens, 2015). Awan-awan konvektif yang terbentuk dapat memberikan dampak yang signifikan, terutama dalam skala yang lebih besar seperti angin kencang dan hujan lebat di suatu wilayah. Salah satu sistem konvektif yang memiliki ukuran yang sangat luas serta memiliki dampak signifikan, terutama dalam meningkatkan intensitas curah hujan hingga 100 km bahkan lebih dalam beberapa jam dikenal sebagai *Mesoscale Convective System* (MCS) (Houze, 2004).

Berdasarkan Orlanski (1975), MCS dibagi menjadi beberapa klasifikasi, salah satunya yakni *meso-a-scale* dengan diameter sekitar 200-2000 km (6 - 36 jam). Salah satu *meso-a-scale* dengan skala yang sangat luas serta terdiri dari sistem awan *stratiform* dan konvektif yakni *Mesoscale Convective Complex* (MCC) (Maddox, 1980). Maddox (1980) merupakan orang pertama yang melakukan pengamatan MCC menggunakan citra satelit. Dalam penelitiannya, identifikasi MCC dilakukan dengan beberapa kriteria agar dapat diklasifikasikan sebagai MCC, seperti suhu inti awan (*cloud core cloud*) ≤ -52 °C dengan luasan wilayah ≥ 50.000 km², suhu selimut awan (*coverage cloud*) ≤ -32 °C dengan luasan wilayah ≥ 100.000 km², eksentrisitas (*minor/major axis*) ≥ 0.7 , serta memiliki lama kejadian ≥ 6 jam.

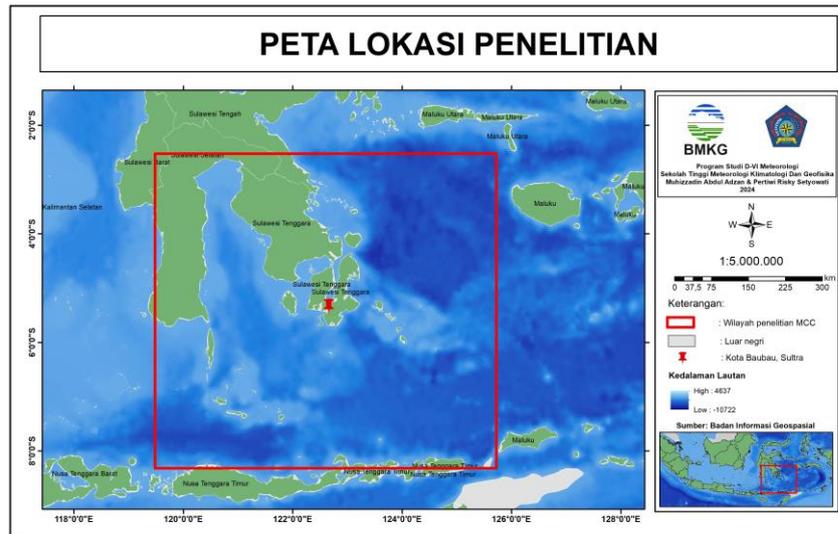
Penelitian dan identifikasi terkait MCC telah dilakukan, terutama di wilayah Indonesia dengan berbagai lokasi serta metode tambahan dalam melihat kondisi yang ditimbulkan oleh MCC. Penelitian yang dilakukan Adhitionsyah dan Haryanto (2023) mengidentifikasi MCC di wilayah Kalimantan Timur yang terjadi selama 8 jam dengan kelembaban relatif dan *vertical velocity* sekitar $>80\%$ dan -1.4 Pa/s, serta reflektivitas radar 53 dBz. Penelitian Febrizky dkk. (2023) mengidentifikasi 10 kejadian MCC di Papua selama Desember 2021-November 2022 dengan luasan maksimum sekitar 507.000 km², eksentrisitas sekitar 0.97, durasi kejadian sekitar 8 -14 jam, serta intensitas curah hujan hingga 64,1 mm/jam. Selain itu, Saragih dkk. (2022) mengidentifikasi MCC yang berkembang dari pukul 21.00 UTC hingga 07.00 UTC dengan luasan maksimum 842.640 km² menjadi penyebab hujan ekstrem 183,9 mm/hari di Bangka Belitung. Berdasarkan penelitian sebelumnya, kajian mengenai MCC di wilayah Indonesia bagian tengah, seperti perairan Laut Banda dan sekitarnya, masih tergolong terbatas, khususnya dalam menggunakan pendekatan multidata dalam mengidentifikasi karakteristik MCC dan intensitas curah hujan, serta menganalisis kondisi atmosfer.

Dalam penelitian ini, dilakukan sebuah pengamatan yang menggunakan *Global Satellite Mapping of Precipitation* (GSMaP) di wilayah Indonesia, khususnya pada tanggal 9 dan 10 Maret 2024. Pada pengamatan tersebut, teramati terdapat sebaran tutupan awan yang cukup luas di sekitar wilayah perairan Laut Banda dan sekitarnya. Persebaran tutupan awan tersebut teramati terjadi sejak 9 Maret 2024 pukul 18 UTC hingga 10 Maret 2024 pukul 03 UTC dengan cakupan wilayah sekitar 120° BT - 125° BT dan 4° LS - 8,8° LS.

Dengan demikian, berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi fenomena tersebut berdasarkan karakteristik MCC Maddox (1980) yang meliputi suhu puncak awan, luas cakupan awan, eksentrisitas, dan durasi kejadian. Selain itu, digunakan multidata yang terdiri dari Citra Satelit Himawari-9, data *Automatic Weather Station* (AWS), dan data model *reanalysis* ECMWF dalam mengidentifikasi karakteristik serta kondisi atmosfer ketika terjadi fenomena tersebut. Pendekatan multidata ini diharapkan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap fenomena MCC, termasuk dinamika atmosfer yang memengaruhi pembentukannya sehingga dapat berkontribusi pada pengembangan prediksi cuaca dan mitigasi dampak MCC di wilayah Indonesia.

METODE

Bagian metodologi menggambarkan langkah-langkah yang dilalui dalam mengeksekusi kajian. Lokus penelitian fenomena kejadian *Mesoscale Convective Complex* (MCC) dilakukan di wilayah perairan Laut Banda dan sekitarnya dengan cakupan wilayah sekitar 120° BT - 125° BT dan 4° LS - 8,8° LS. Penelitian ini dilakukan pada tanggal 9 Maret 2024 pukul 17 UTC hingga 10 Maret 2024 pukul 06 UTC dalam mengidentifikasi sebaran tutupan awan yang cukup luas di di wilayah tersebut. Selain itu, dilakukan pengamatan di wilayah daratan yang dekat dengan fenomena sebaran tutupan awan yang cukup luas tersebut. Wilayah yang dikaji yakni Kota Baubau, Sulawesi Tenggara dengan titik koordinat $-5,483^{\circ}$ LS dan 122.6° BT seperti yang digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian MCC di wilayah Laut Banda dan sekitarnya (kotak merah) serta lokasi Kota Baubau (pin merah)

Terdapat tiga sumber data yang digunakan dalam melakukan identifikasi MCC dan analisis profil vertikal atmosfer di wilayah Laut Banda dan sekitarnya, yakni data citra satelit Himawari-9, data AWS Digi Stamet Bau-Bau, dan data model *reanalysis* ECMWF. Data pertama yakni data citra satelit Himawari-9 *band* 8 (WV 6.2 μm), 13 (IR1 10.4 μm), dan 15 (IR2 12.4 μm) yang diperoleh dari data BMKG dengan format *.nc (www.satelit.bmkg.go.id). Data kedua yang digunakan yakni data pengamatan *ground-based Automatic Weather Station* (AWS) Digi Stamet Bau-Bau dengan parameter berupa curah hujan per jam (mm/jam) dalam bentuk excel yang diperoleh melalui AWS Center BMKG ([awscenter BMKG](http://awscenter.bmkg.go.id)). Selain itu, terdapat data ketiga yakni data model *reanalysis* ECMWF (*European Centre for Medium-Range*) dengan format NetCDF (*.nc) yang diperoleh melalui <https://cds.climate.copernicus.eu/> dengan parameter yakni *vertical velocity* dan *relative humidity* serta diolah menggunakan GrADS dalam menganalisis kondisi atmosfer saat kejadian MCC (Adhitionsyah & Haryanto, 2023; Copernicus, 2025).

Metode identifikasi MCC mengikuti karakteristik menurut Maddox (1980) dengan setiap sarat terpenuhi ≥ 6 jam menggunakan citra satelit band IR (Ismanto, 2011). Data satelit Himawari-9 band IR diolah menggunakan bahasa pemrograman Python untuk mengidentifikasi MCC berdasarkan suhu puncak awan dengan variabel *brightness temperature*. *Grid* dengan suhu puncak awan ≤ 241 K diidentifikasi sebagai selimut awan, sedangkan *grid* dengan suhu ≤ 221 K diidentifikasi sebagai inti awan. Setiap *grid* yang memenuhi kriteria ini dikonversi menjadi data biner, dengan nilai "1" untuk memenuhi kriteria dan "0" jika tidak memenuhi. Luas area yang memenuhi kriteria dihitung dengan menjumlahkan piksel yang saling terhubung melalui empat koneksi *grid* terdekat. Seleksi selanjutnya dilakukan hanya pada wilayah dengan luasan selimut awan sekitar 3305 piksel atau ≥ 100.000 km² serta luasan inti awan sekitar 1652 piksel atau ≥ 50.000 km². Selanjutnya dilakukan identifikasi eksentrisitas MCC menurut Maddox (1980) dengan nilai *threshold* eksentrisitas (*minor/major axis*) mencapai $\geq 0,7$ saat luasan maksimum tercapai. Selain itu, dilakukan identifikasi pusat massa dari MCC menggunakan persamaan Carvalho dan Jones (2001) dalam melihat pusat beban MCC berdasarkan Persamaan 1.

$$X_o = \frac{\sum_i^N X_i}{N} \text{ dan } Y_o = \frac{\sum_i^N Y_i}{N} \quad (1)$$

dengan:

X_o dan Y_o : pusat massa dalam sumbu x dan y

X_i : piksel ke-i pada sumbu-x

Y_i : piksel ke-i pada sumbu-y
 N : luas area / total piksel MCC

Selain digunakan dalam identifikasi MCC, data citra satelit Himawari-9 *band* 13 (IR1 10.4 μm) juga digunakan dalam menggambarkan distribusi awan berdasarkan suhu puncak awan dengan GrADS. Selain itu, digunakan juga multi *band* yang terdiri dari *band* 8 (WV 6.2 μm), 13 (IR1 10.4 μm), dan 15 (IR2 12.4 μm) untuk mengidentifikasi distribusi awan cumulonimbus (Cb). Identifikasi distribusi awan cumulonimbus (Cb) akibat MCC menggunakan metode *Cloud Convective Overlays* (CCO) yang divisualisasikan dengan menggunakan Python. Algoritma yang digunakan dalam metode CCO yaitu *Split Windows* dan *Dual Channel Difference* berdasarkan Persamaan 2.

$$\text{Split Windows: } (IR - IR2 \leq 2)$$

$$\text{Dual Channel Difference: } (IR - WV \leq 3) \tag{2}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi karakteristik MCC

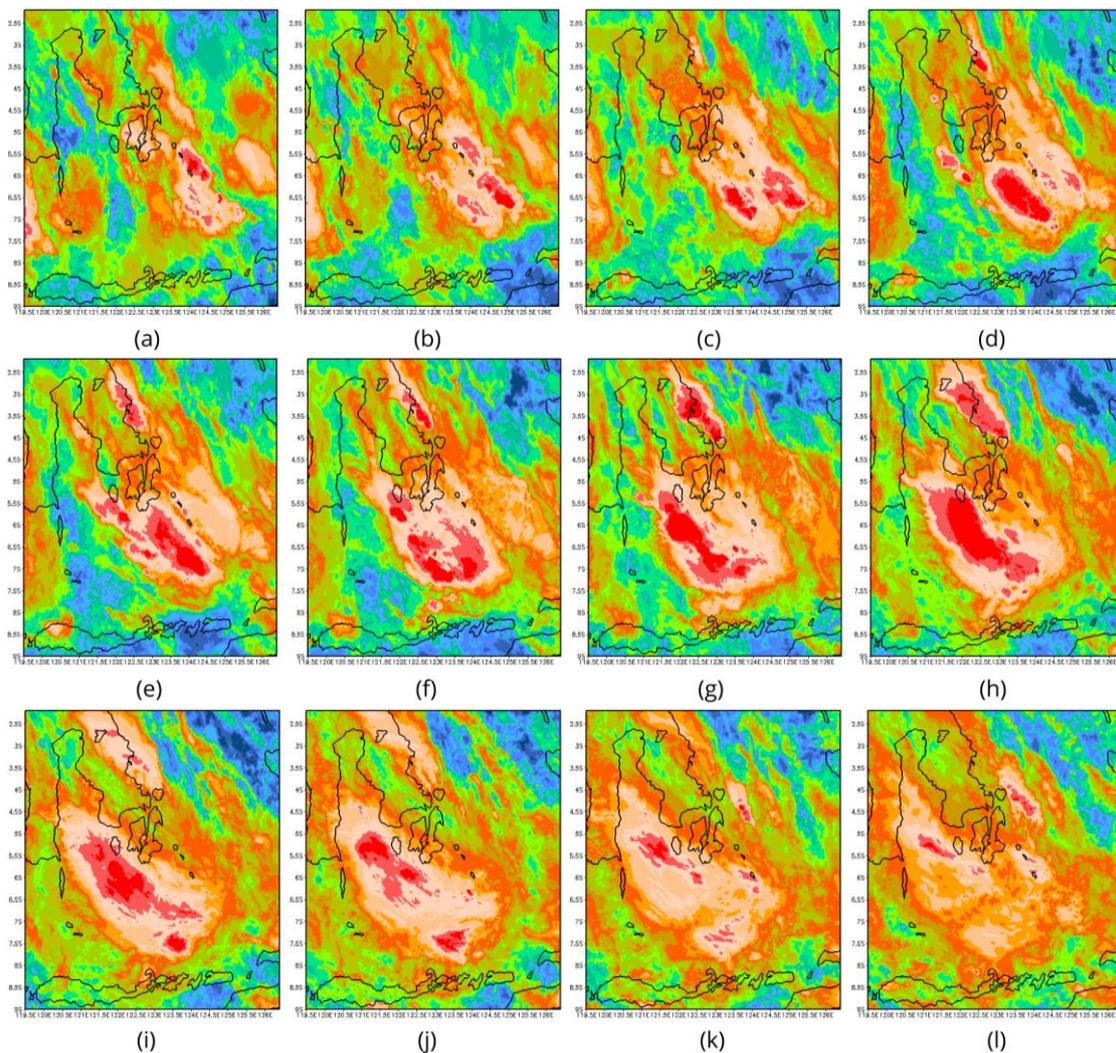
Identifikasi *Mesoscale Convective Complex* (MCC) di wilayah Laut Banda dan sekitarnya menggunakan citra satelit Himawari-9 dengan menggunakan pemrograman Python digambarkan pada Tabel 1. Berdasarkan observasi sebelumnya, teramati tutupan awan yang luas di 120° BT - 125° BT dan 4° LS - 8,8° LS pada 9 Maret 2024 pukul 17 UTC hingga 10 Maret 2024 pukul 06 UTC. Dengan menggunakan karakteristik MCC menurut Maddox (1980) dalam mengidentifikasi kejadian tersebut, hasil menunjukkan bahwa fenomena tersebut merupakan MCC fase matang yang tumbuh di wilayah Indonesia. Fase matang MCC diidentifikasi dengan suhu inti awan (*cloud core cloud*) ≤ -52 °C dengan luasan wilayah ≥ 50.000 km², suhu selimut awan (*coverage cloud*) ≤ -32 °C dengan luasan wilayah ≥ 100.000 km², eksentrisitas (*minor/major axis*) ≥ 0.7, serta memiliki lama kejadian ≥ 6 jam.

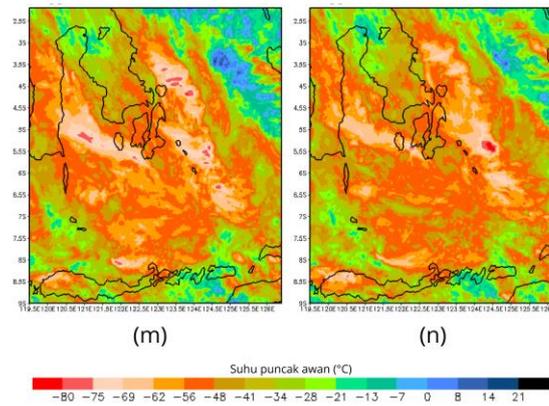
Tabel 1. Identifikasi MCC berdasarkan kriteria Maddox (1980) di wilayah Laut Banda dan sekitarnya pada 9 hingga 10 Maret 2024

Tanggal	Jam (UTC)	Esentrisitas	Selimut MCC				Inti MCC			
			Piksel	Luasan(km ²)	Bujur	lintang	Piksel	Luasan(km ²)	Bujur	lintang
9	17	0.98906	31129	153955.46	123.13	-4.6365	10676	52800.56	123.83	-3.9263
	18	0.86339	43922	217226.12	123.66	-5.0025	16591	82054.52	123.79	-4.4027
	19	0.93657	41946	207453.37	123.61	-5.0122	18306	90536.44	123.94	-4.2868
	20	0.9918	49704	245822.30	123.57	-4.9084	22811	112816.93	123.95	-4.4333
	21	0.97588	50423	249378.28	123.58	-4.7656	30004	148391.52	123.5	-4.6253
	22	0.96316	55162	272816.07	123.51	-4.7319	30124	148985.01	123.65	-4.204
	23	0.90745	59532	294428.88	123.32	-4.596	24911	123202.95	123.02	-3.9349
10	00	0.87626	63430	313707.32	123.17	-4.5275	27550	136254.72	122.9	-3.8941
	01	0.92076	75568	373738.52	122.74	-4.4437	27291	134973.77	122.61	-3.8735
	02	0.99207	79245	391923.95	122.69	-4.3532	28743	142154.96	122.4	-3.9708
	03	0.9311	80590	398575.95	122.62	-4.33	31025	153441.11	122.31	-4.021
	04	0.99144	84571	418264.88	122.65	-4.2254	3313	163861.75	122.44	-4.034
	05	0.98981	88374	437073.47	122.7	-4.1798	35470	175424.85	122.64	-4.3632
	06	0.98955	90303	446613.78	122.77	-4.2098	27283	134934.21	122.84	-4.9104

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa kejadian MCC yang terjadi di wilayah Laut Banda dan sekitarnya terjadi selama 14 jam yang dimulai pada 9 Maret 2024 pukul 17 UTC hingga 10 Maret 2024 pukul 06 UTC. Fase matang MCC di wilayah Laut Banda dan sekitarnya mulai terjadi pada malam hari (01.00 WITA) hingga sore hari waktu setempat (14.00 WITA). Hal tersebut menunjukkan inisiasi pertumbuhan MCC di wilayah tersebut mulai terjadi pada malam hari, hal ini sejalan dengan beberapa penelitian yang menunjukkan bahwa kejadian MCC mayoritas dimulai pada sore atau malam hari waktu setempat (Febrizky, Fadli, & Wiliam, 2023; Saragih, Hestiwi, Sari, & Winarso, 2022; Norman & Trilaksono, 2019; Miller & Fritsch, 1991).

Selain itu, teramati bahwa rata-rata luasan selimut awan MCC yang terjadi di wilayah tersebut $\pm 315.784 \text{ km}^2$ serta luasan inti awan $\pm 128.559 \text{ km}^2$. Luasan kejadian MCC yang terjadi di lautan, seperti di Laut Banda dan sekitarnya, dominan memiliki lulusan yang lebih besar dibandingkan kejadian MCC jika terjadi di daratan (Septiadi & Septiadi, 2020). Kejadian MCC tersebut memiliki nilai rata-rata eksentrisitas sekitar 0.951307 yang mengidentifikasi sistem awan konvektif dan *stratiform* yang mendekati *circle*. Rata-rata pusat massa MCC yang terjadi di Laut Banda dan sekitarnya berada pada $123,126^\circ \text{ BT}$ dan -4.385° LS .



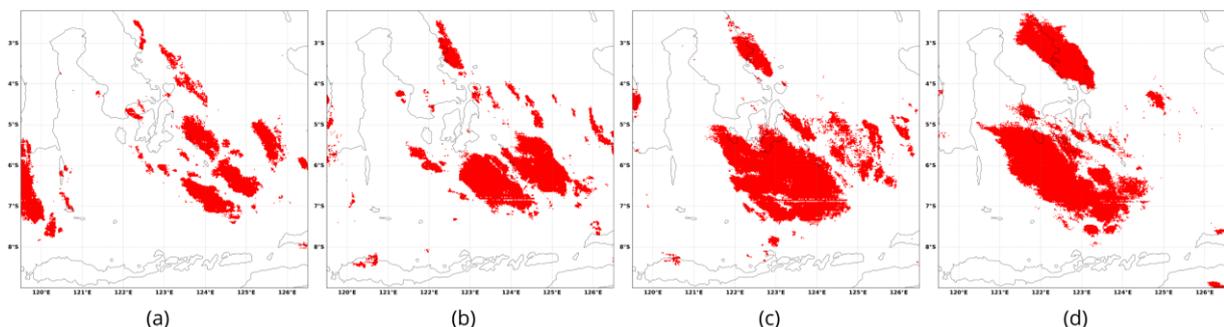


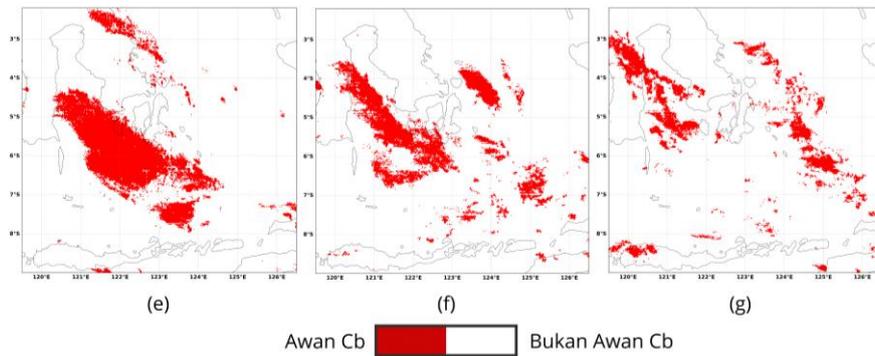
Gambar 2. Distribusi awan saat fase matang MCC di wilayah Laut Banda dan sekitarnya pada pukul (a) 17 UTC, (b) 18 UTC, (c) 19 UTC, (d) 20 UTC, (e) 21 UTC, (f) 22 UTC, (g) 23 UTC, (h) 00 UTC, (i) 01 UTC, (j) 02 UTC, (k) 03 UTC, (l) 04 UTC, (m) 05 UTC, hingga (n). 06 UTC

Berdasarkan distribusi spasial kejadian MCC di wilayah Laut Banda dan sekitarnya yang ditunjukkan pada Gambar 2, dapat dilihat bahwa persebaran kejadian MCC mayoritas terjadi di lautan serta terdapat beberapa wilayah daratan yang terdampak tutupan awan MCC. Beberapa diantaranya yakni Sulawesi Tenggara, Sulawesi Selatan, dan Nusa Tenggara Timur. Selama fase matang MCC, suhu puncak awan dapat mencapai $\leq -80\text{ }^{\circ}\text{C}$ yang diidentifikasi dengan warna merah terang. Selain itu, luasan suhu puncak awan $\leq -80\text{ }^{\circ}\text{C}$ terluas terjadi pada pukul 20 UTC hingga 02 UTC serta suhu puncak awan $\leq -56\text{ }^{\circ}\text{C}$ mendominasi pada pukul 05 UTC hingga 06 UTC yang mengidentifikasi MCC yang mendekati fase peluruhan.

Analisis distribusi sebaran awan cumulonimbus

MCC merupakan sistem konvektif yang memiliki ukuran yang sangat luas yang terdiri dari kumpulan sistem awan-awan stratiform dan konvektif (Houze, 2004). Metode *Cloud Convective Overlays* (CCO) merupakan salah satu metode dengan memanfaatkan multi *band* yang dapat digunakan dalam mengidentifikasi awan konvektif, terutama awan cumulonimbus (Cb) secara subjektif (Hastuti & Mulsandi, 2017; Syaifullah & Nuryanto, 2016). Metode tersebut menggunakan dua algoritma yang harus terpenuhi dalam menentukan awan Cb. Algoritma yang digunakan yaitu *Split Windows* ($\text{IR-IR2} \leq 2$) dan *Dual Channel Difference* ($\text{IR-WV} \leq 3$) berdasarkan perbedaan *brightness temperature* antar *band* yang digunakan.



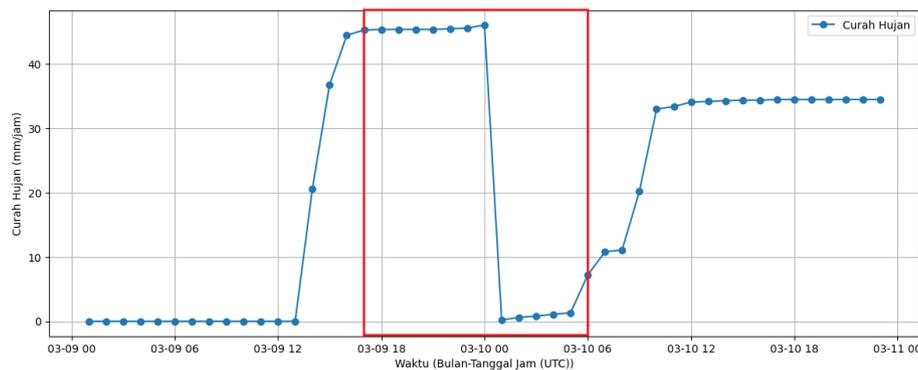


Gambar 3. Peta distribusi awan Cb di wilayah Laut Banda dan sekitarnya dengan metode CCO pada pukul (a) 18 UTC, (b) 20 UTC, (c) 22 UTC, (d) 00 UTC, (e) 02 UTC, (f) 04 UTC, hingga (g) 06 UTC

Berdasarkan Gambar 3, dapat diamati distribusi awan Cb di wilayah Laut Banda dan sekitarnya selama kejadian MCC pada pukul 18 UTC, 20 UTC, 22 UTC, 00 UTC, 02 UTC, 04 UTC, hingga 06 UTC dengan warna merah mengidentifikasi awan Cb dan warna putih mengidentifikasi bukan awan Cb. Berdasarkan gambar tersebut, dapat diamati bahwa akumulasi sebaran awan Cb yang terluas terjadi selama pukul 20 UTC hingga 02 UTC dengan cakupan wilayah yakni Laut Banda dan sekitar Sulawesi Tenggara. Pada pukul 04 UTC hingga 06 UTC, luasan persebaran awan Cb mulai berkurang serta relatif tersebar yang mengidentifikasi mulai melemahnya aliran *updraft* sebagai sumber pembentukan awan Cb serta mengidentifikasi mulai mendekati fase meluruh (Shonk, 2020).

Analisis curah hujan di wilayah Kota Baubau

Mesoscale Convective System (MCC) memiliki karakteristik dapat memberikan dampak signifikan terutama dalam meningkatkan intensitas curah hujan hingga 100 km bahkan lebih dalam beberapa jam (Houze, 2004). Selain itu, MCC memiliki dampak dalam meningkatkan total curah hujan di wilayah benua maritim Indonesia hingga lebih dari 20% selama 15 tahun (Trismidianto, Ishida, Satyawardhana, & Yulihastin, 2017). Hal tersebut menunjukkan bahwa kejadian MCC di suatu wilayah dapat memberikan peningkatan curah hujan di wilayah tersebut.



Gambar 4. Grafik *time series* curah hujan (mm/jam) AWS Digi Stamet Baubau selama kejadian fase matang MCC (kotak merah)

Gambar 4 merupakan grafik *time series* curah hujan *Automatic Weather Station* (AWS) di wilayah Kota Baubau, Sulawesi Tenggara. Wilayah tersebut merupakan salah satu wilayah daratan yang berdekatan dengan kejadian MCC yang terjadi di Laut Banda dan sekitarnya. Berdasarkan grafik tersebut, kotak merah mempresentasikan waktu kejadian MCC di sekitar wilayah tersebut

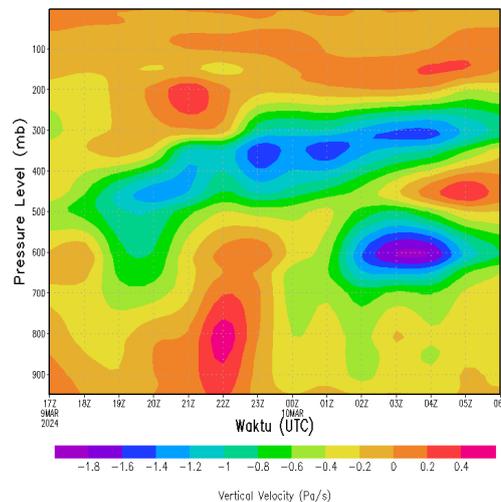
yang mana kejadian MCC terjadi pada 9 Meter 2024 pukul 17 UTC hingga 10 Meter 2024 pukul 06 UTC.

Pada tanggal 9 Maret 2024 pukul 14 UTC, mulai terjadi peningkatan curah hujan sebesar 20.6 mm/jam. Terdapat *leg time* dari awal mula peningkatan curah hujan di wilayah Kota Baubau terhadap waktu fase matang MCC sekitar 3 jam, dimana kejadian fase matang MCC mulai pada pukul 17 UTC. Akan tetapi, peningkatan curah hujan mulai terjadi pada pukul 14 UTC. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh (Septiadi dan Septiadi)2020) yang menunjukkan terdapat *leg time* dari awal mula peningkatan curah hujan terhadap fase matang MCC.

Curah hujan terus mengalami peningkatan hingga pukul 17 UTC dan relatif konsisten hingga pukul 00 UTC dengan rata-rata intensitas curah hujan sekitar 45.5 mm/jam serta termasuk kategori hujan sangat lebat (BMKG, 2020). Intensitas curah hujan maksimal terjadi pada tanggal 10 Maret 2024 pukul 00 UTC dengan intensitas 46.1 mm/jam. Setelah itu, curah hujan relatif menurun pada pukul 01 UTC hingga 05 UTC dengan rata-rata intensitas curah hujan sekitar 0.8 mm/jam. Penurunan intensitas dapat diakibatkan oleh distribusi tutupan awan di wilayah Kota Baubau yang mulai melemah atau menjauh wilayah tersebut, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Analisis *vertical velocity* di wilayah Kota Baubau

Vertical velocity merupakan gambaran distribusi pergerakan parcel udara yang dapat digunakan dalam mengidentifikasi stabilitas atmosfer (Stull, 2015). *Vertical velocity* menggambarkan kecepatan pergerakan suatu material secara vertikal terhadap *pressure levels* dengan satuan Pa/s (Copernicus, 2025). Nilai *vertical velocity* negatif dapat mengidentifikasi kondisi atmosfer yang *unstable* sehingga parcel udara cenderung mengalami updraft yang mendukung pertumbuhan awan-awan seperti awan konvektif. Selain itu, nilai negatif mengidentifikasi kondisi atmosfer yang stabil dan terdapat aliran *downdraft*.



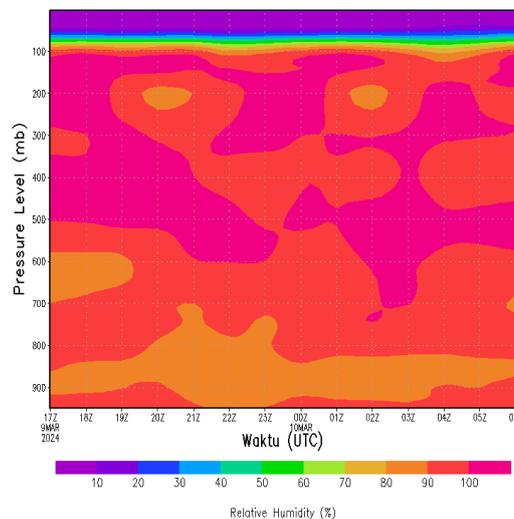
Gambar 5. *Vertical velocity* (Pa/s) pada 9 dan 10 Maret 2024 di Kota Baubau

Berdasarkan Gambar 5, dapat diamati bahwa kondisi profil vertikal atmosfer (1000 - 10 mb) di Kota Baubau saat kejadian MCC dominan dalam keadaan *unstable* dengan nilai *vertical velocity* didominasi nilai negatif sekitar kurang dari -1.8 Pa/s hingga 0 Pa/s. Selain itu, sekitar pukul 17 UTC hingga 18 UTC serta 20 UTC hingga 00 UTC, nilai *vertikal velocity* pada lapisan permukaan hingga menengah memiliki nilai positif sekitar 0 Pa/s hingga lebih dari 0.4 Pa/s yang dapat mengidentifikasi terdapat aliran *downdraft* seperti presipitasi. Hal tersebut sejalan dengan kondisi grafik *time series* curah hujan yang mana saat jam tersebut terjadi curah hujan di wilayah Kota Baubau.

Pada pukul 00 UTC hingga 05 UTC, nilai *vertikal velocity* bernilai negatif sekitar kurang dari -1.8 Pa/s hingga 0 Pa/s pada hampir di semua lapisan. Nilai terkecil terjadi pada lapisan menengah sekitar 700 - 550 mb yang mengidentifikasi terdapat aliran *updraft* yang mendukung pertumbuhan MCC serta berkurangnya *downdraft* seperti presipitasi. Selain itu, pada lapisan menengah hingga lapisan atas sekitar 650 - 250 mb, nilai didominasi negatif sekitar -1.6 Pa/s hingga -0.2 Pa/s yang mengidentifikasi kondisi atmosfer yang *unstable* dalam mendukung pertumbuhan fase matang MCC.

Analisis *relative humidity* di wilayah Kota Baubau

Relative humidity (RH) atau kelembaban relatif merupakan rasio antara jumlah uap air pada parsel udara dengan jumlah uap air maksimum yang dapat ditampung parsel udara pada suhu tertentu (WMO, 1996). Nilai RH dinyatakan dalam persentase (%). RH 100% mengidentifikasi bahwa udara jenuh sehingga uap air tambahan akan membuat uap air dapat terkondensasi. Kelembaban udara penting dalam proses atmosfer karena mempengaruhi kondensasi, pembentukan awan, dan potensi presipitasi.



Gambar 6. *Relative humidity* (%) pada 9 dan 10 Maret 2024 di Kota Baubau

Berdasarkan Gambar 6, dapat diamati kondisi profil vertikal *relative humidity* atmosfer dari lapisan permukaan hingga lapisan atas (1000 - 10 mb) di Kota Baubau. Kelembaban relatif selama kejadian MCC didominasi dengan kelembaban yang relatif tinggi sekitar 80% hingga mencapai keadaan *supersaturation* ($\geq 100\%$). Pada lapisan permukaan sekitar 1000 - 700 mb, *relative humidity* bernilai 80% hingga 100% yang menunjukkan kelembaban udara yang tinggi serta mendukung pertumbuhan dan mendukung pembentukan sistem badai di dalamnya. Selain itu, kondisi pada lapisan menengah hingga lapisan atas (10 mb) juga didominasi dengan kelembaban yang tinggi dari 90% hingga lebih dari 100% yang sangat mendukung fase matang MCC. Keadaan *relative humidity* yang mencapai kondisi supersaturation ($RH \geq 100\%$) disebabkan oleh *cloud condensation nuclei* (CCN) yang relatif sedikit sehingga diperlukan kelembaban udara yang lebih tinggi untuk memfasilitasi kondensasi uap air (Wallace & Hobbs, 2006).

KESIMPULAN

Indonesia yang merupakan salah satu wilayah ITCZ serta kaya akan kelembapan, pemanasan yang intensif, dan dinamika atmosfer lainnya mendukung pertumbuhan *Mesoscale Convective Complex* (MCC) di wilayah tersebut. Dengan memperhatikan kriteria MCC berdasarkan Maddox (1980), fenomena tutupan awan yang lusa di wilayah Laut Banda dan sekitarnya pada

tanggal 9–10 Maret 2024 merupakan fenomena MCC. Berdasarkan karakteristik MCC menurut Maddox (1980), kejadian MCC di atas Laut Banda saat fase matang berlangsung selama 14 jam. MCC tersebut menghasilkan luas inti awan sekitar 128.559 km², luas selimut awan sekitar 315.784 km, serta eksentrisitas rata-rata sekitar 0,951307. Analisis CCO menunjukkan distribusi awan cumulonimbus (Cb) mencapai maksimum terjadi pada pukul 20–02 UTC.

Analisis curah hujan di Kota Baubau menunjukkan intensitas curah hujan maksimum yang tertakar saat kejadian MCC sekitar 46,1 mm/jam pada pukul 00 UTC yang termasuk dalam kategori hujan sangat lebat. Curah hujan mulai naik pada pukul 14 UTC, tiga jam menjelang fase matang dengan intensitas curah hujan rata-rata saat itu 45,5 mm/jam. Selama kejadian, *vertical velocity* di wilayah Kota Bau-Bau didominasi nilai negatif sekitar kurang dari -1.8 Pa/s hingga 0 Pa/s yang menunjukkan keadaan atmosfer yang *unstable*. Selain itu, kelembapan relatif di wilayah tersebut bernilai antara 80% hingga $\geq 100\%$ yang mendukung pembentukan awan dan presipitasi yang intensif.

PENGHARGAAN

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), *Japan Meteorology Agency* (JMA), serta *Climate Change Service* karena telah menyediakan data citra satelit Himawari-9, AWS BMKG, dan model *reanalysis* ECMWF yang menjadi sumber penting dalam penelitian ini. Selain itu, terima kasih yang sebesar-besarnya juga diberikan kepada Program Studi Meteorologi Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG) serta para dosen STMKG yang telah memfasilitasi terlaksananya penelitian ini. Dukungan dan kontribusi dari semua pihak tersebut merupakan bagian yang sangat penting dalam mendukung penyelesaian penelitian ini.

REFERENSI

- Adhitionsyah, D., & Haryanto, Y. D. (2023). Analysis of Atmospheric Conditions during the Occurrence of Mesoscale Convective Complex (MCC) in East Kalimantan and Surrounding Area (Case Study: December 26, 2021). *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan dan Profesi Kegeografian*, 20(2), 43-48.
- Ahrens, C. D. (2015). *Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment*. Cengage Learning Canada Inc.
- BMKG. (2020). Prosedur Standar Operasi Informasi Peringatan Dini Cuaca Ekstrem Nowcasting Dan Mekanisme Koordinasi Ketika Terjadi Bencana Akibat Cuaca Ekstrem. HK.06.00/005/KMU/XII/2020.
- Carvalho, L. M., & Jones, C. (2001). A satellite method to identify structural properties of mesoscale convective systems based on the maximum spatial correlation tracking technique (MASCOTTE). *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 40(10), 1683-1701.
- Copernicus. (2025, Januari 2). *ERA5 hourly data on pressure levels from 1940 to present*. Retrieved from <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-pressure-levels>
- Febrizky, L., Fadli, M., & Wiliam, W. (2023). IDENTIFIKASI MESOSCALE CONVECTIVE COMPLEX (MCC) BERBASIS DATA SATELIT HIMAWARI-8 DI PULAU PAPUA DAN SEKITARNYA DESEMBER 2021-NOVEMBER 2022. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2), 294-305.
- Hastuti, M. I., & Mulsandi, A. (2017). Pemantauan Sebaran Awan Konvektif Menggunakan Metode Cloud Convective Overlays dan Red Green Blue Convective Storms pada Satelit Himawari-8 (Studi Kasus: Hujan Ekstrem Bima 21 Desember 2016). In *Seminar Nasional Pengindraan Jauh ke-4 Tahun* (pp. 477-483).
- Houze Jr, R. A. (2004). Mesoscale convective systems. *Reviews of Geophysics*, 42(4).

- Maddox, R. A. (1980). Mesoscale convective complexes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1374-1387.
- Miller, D., & Fritsch, J. M. (1991). Mesoscale convective complexes in the western Pacific region. *Monthly Weather Review*, 119(12), 2978-2992.
- Norman, Y., & Trilaksono, N. J. (2019). Investigation of Mesoscale Convective Systems over Indonesian Maritime Continent using Geostationary Meteorological Satellite. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1204, No. 1, p. 012124). IOP Publishing.
- Orlanski, I. (1975). A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 527-530.
- Septiadi, D., & Septiadi, Y. N. (2020). Identifikasi Mesoscale Convective Complex (MCC) Dan Dampaknya Terhadap Curah Hujan Di Benua Maritim Indonesia (BMI) Sepanjang Tahun 2018. *J. Meteorol. dan Geofis*, 20(2), 73.
- Ismanto, H. (2011). *Characteristics of MCC in the Maritime Continent* (Doctoral dissertation, Thesis of Earth Sciences Master's Degree Study Program. (Bandung: Bandung Institute of Technology)).
- Saragih, R. W., Hestiwi, A. H., Sari, F. I., & Winarso, P. A. (2019). Identification of Mesoscale Convective Complex (MCC) over Bangka Belitung Area. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 303, No. 1, p. 012017). IOP Publishing.
- Shonk, J. (2020). *Introducing Meteorology: A Guide to Weather*, Edition 2. Dunedin Academic Press.
- Stull, R. B. (2015). *Practical meteorology: an algebra-based survey of atmospheric science*. University of British Columbia.
- Syaifullah, M. D., & Nuryanto, S. (2016). Pemanfaatan Data Satelit GMS Multi Kanal untuk Kegiatan Teknologi Modifikasi Cuaca. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 17(2), 47-55.
- Tjasyono, B. (2009). Meteorologi Indonesia Volume I (Vol. I). *Jakarta: BMKG Pusat*.
- Trismidianto, J. T. N., Ishida, S., Satyawardhana, H., & Yulihastin, E. (2017). The contribution of the mesoscale convective complexes (MCCs) to total rainfall over Indonesian Maritime Continent. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 54, p. 012027). IOP Publishing.
- Wallace, J. M., & Hobbs, P. V. (2006). *Atmospheric science: an introductory survey* (Vol. 92). Elsevier.
- WMO, G. (1996). Guide to meteorological instruments and methods of observation.