ANALISIS KONDISI CUACA PADA SAAT KEJADIAN SIKLON TROPIS SEROJA DAN ODETTE DENGAN MODEL *WEATHER RESEARCH AND FORECASTING (*WRF)

ADINDA LEONYTA RUSDY
H1071221022

SKRIPSI

PROGRAM STUDI GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2026

ANALISIS KONDISI CUACA PADA SAAT KEJADIAN SIKLON TROPIS SEROJA DAN ODETTE DENGAN MODEL *WEATHER RESEARCH AND FORECASTING (*WRF)

ADINDA LEONYTA RUSDY
H1071221022

Skripsi
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains pada Program Studi Geofisika

PROGRAM STUDI GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2026

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir	: Analisis Kondisi Cuaca Pada Saat Kejadian Siklon Tropis Seroja dan Odette Dengan Model *Weather Research and Forecasting* (WRF)
Nama Mahasiswa	: Adinda Leonyta Rusdy
NIM	: H1071221022
Jurusan/Program Studi	: Fisika/Geofisika
Tanggal Lulus	: 4 Maret 2026
SK Pembimbing	: NO 3400/UN22.8/TD.06/Tanggal: 6 Oktober 2025
SK Penguji	: NO 1329/DST/UN22.8/DT.00.09/Tanggal: 7 April 2026

Dosen Pembimbing

Pembimbing 1	Pembimbing 2
Dr. Andi Ihwan, M.Si.	Randy Ardianto, SST., S.Si., M.Si.
NIP 197310082002121001	NIP 198803192009111001

Dosen Penguji

Ketua Penguji	Anggota Penguji
Muliadi, S.Si., M.Si.	Zulfian, S.Si., M.Si.
NIP 197005101999031003	NIP 198812142020121005

Pimpinan Sidang (merangkap anggota penguji)	Sekretaris Sidang (merangkap anggota penguji)
Dr. Andi Ihwan, M.Si.	Randy Ardianto, SST., S.Si., M.Si.
NIP 197310082002121001	NIP 198803192009111001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Tanjungpura

Prof. Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si.
NIP 197108022000031001

PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Adinda Leonyta Rusdy
NIM	: H1071221022
Program Studi/Jurusan	: Geofisika/Fisika
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

dengan ini menyatakan bahwa dokumen ilmiah Tugas Akhir yang disajikan ini tidak mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, Dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2021. Apabila di kemudian hari dokumen ilmiah Tugas Akhir ini mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai ketentuan perundangan tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.
Demikian pernyatan ini untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Pontianak, 3 Maret 2026



Adinda Leonyta Rusdy

H1071221022

Analisis Kondisi Cuaca pada saat Kejadian Siklon Tropis Seroja dan Odette dengan Model *Weather Research and Forecasting (*WRF)

Abstrak

Pada April 2021, Siklon Tropis Seroja dan Odette berkembang hampir bersamaan di Samudra Hindia bagian timur dan berinteraksi secara dinamis, sehingga memengaruhi kondisi cuaca regional. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja skema parameterisasi mikrofisika pada model *Weather Research and Forecasting* (WRF) serta menganalisis kondisi cuaca dan kestabilan atmosfer selama kejadian kedua siklon tersebut. Simulasi dilakukan menggunakan model WRF-ARW dengan resolusi domain akhir 13 km dan tiga skema mikrofisika, yaitu WSM6, Morrison, dan Thompson. Parameter yang dianalisis meliputi curah hujan, kecepatan angin, tekanan permukaan, kelembapan relatif, dan *Convective Available Potential Energy* (CAPE). Verifikasi curah hujan dilakukan menggunakan data satelit GSMaP melalui metode tabel kontigensi, sedangkan kecepatan angin diverifikasi terhadap data ERA5 menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE) dan koefisien determinasi (R^2). Hasil menunjukkan bahwa skema Thompson memberikan kinerja terbaik secara keseluruhan, dengan nilai akurasi 0,87 dan *Threat Score* (TS) 0,06 pada fase puncak Siklon Tropis Seroja, serta akurasi 0,67 dan TS 0,35 pada fase matang Siklon Tropis Odette. Selain itu, skema Thompson menghasilkan nilai RMSE kecepatan angin terendah sebesar 3,01 pada Seroja dan nilai R^2 tertinggi sebesar 0,50 pada Odette. Analisis atmosfer menunjukkan bahwa penurunan tekanan permukaan, peningkatan kecepatan angin, kelembapan relatif tinggi, dan nilai CAPE yang besar berperan penting dalam proses intensifikasi dan reintensifikasi siklon tropis.

Kata kunci: Siklon Tropis Seroja, Siklon Tropis Odette WRF-ARW, skema mikrofisika, kondisi atmosfer, curah hujan.

Analysis of Weather Conditions during the Occurrence of Tropical Cyclones Seroja and Odette Using the Weather Research and Forecasting (WRF) Model

Abstract

In April 2021, Tropical Cyclones Seroja and Odette developed almost simultaneously over the eastern Indian Ocean and interacted dynamically, influencing regional weather conditions. This study aims to evaluate the performance of microphysics parameterization schemes in the Weather Research and Forecasting (WRF) model and to analyze weather conditions and atmospheric stability during the occurrence of both cyclones. Simulations were conducted using the WRF-ARW model with a final domain resolution of 13 km, applying three microphysics schemes: WSM6, Morrison, and Thompson. The analyzed parameters include rainfall, wind speed, surface pressure, relative humidity, and Convective Available Potential Energy (CAPE). Rainfall verification was performed using GSMaP satellite data through contingency table analysis, while wind speed was validated against ERA5 reanalysis data using the Root Mean Square *Error* (RMSE) and the coefficient of determination (R^2). The results indicate that the Thompson scheme shows the best overall performance, achieving an accuracy of 0,87 and a Threat Score (TS) of 0,06 during the peak phase of Tropical Cyclone Seroja, and an accuracy of 0,67 with a TS of 0,35 during the mature phase of Tropical Cyclone Odette. In addition, the Thompson scheme produces the lowest wind speed RMSE of 3,01 for Seroja and the highest R^2 value of 0,50 for Odette. Atmospheric analysis reveals that surface pressure reduction, enhanced wind speed, high relative humidity, and elevated CAPE play important roles in supporting the intensification and re-intensification of tropical cyclones.

Keywords: *Tropical Cyclone Seroja, Tropical Cyclone Odette, WRF-ARW, microphysics schemes, atmospheric conditions, rainfall.*

PRAKATA

بِسْـــــــــــــمِ اللهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيْمِ

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul "**Analisis Kondisi Cuaca pada saat Kejadian Siklon Tropis Seroja dan Odette dengan Model *Weather Research and Forecasting (*WRF)",** sebagai syarat dalam memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tanjungpura.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, motivasi, bimbingan, serta kritik dan saran dari berbagai pihak selama penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih setulus – tulusnya kepada:

1. Alm. Bapak Rustim, Ayahanda sekaligus cinta pertama yang selalu penulis rindukan kehadirannya. Ibu Susi selaku Ibunda tercinta yang sampai saat ini selalu memberikan segala doa, dukungan serta banyak pengorbanan yang tidak pernah putus untuk penulis. Saudara tercinta Ryan Rusdy yang selalu memberikan semangat dan motivasi kepada penulis, serta seluruh keluarga besar yang selalu mendukung dan mendoakan penulis.
2. Bapak Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura.
3. Bapak Dr. Bintoro Siswo Nugroho, S.Si., M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura.
4. Bapak Dr. Yoga Satria Putra, S.Si., M.Si selaku Ketua Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura.
5. Ibu Dr. Dwiria Wahyuni, S.Si., M.Sc selaku dosen Pembimbing Akademik yang banyak memberikan dukungan, nasihat dan motivasi yang berguna bagi penulis.

6. Bapak Dr. Andi Ihwan, S.Si., M.Si selaku Pembimbing I dan Bapak Randy Ardianto, SST., S.Si., M.Si selaku pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktu dalam memberikan saran, masukan serta membimbing penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
7. Bapak Muliadi, S.Si., M.Si selaku Penguji I dan Bapak Zulfian, S.Si., M.Si selaku penguji II yang telah memberikan kritik dan saran kepada penulis dalam penyelesaian skripsi.
8. Seluruh dosen Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura atas ilmu dan motivasi yang diberikan kepada penulis selama perkuliahan.
9. Stasiun Meteorologi Maritim Pontianak yang telah memberikan kesempatan, bimbingan, ilmu yang sangat berharga selama pelaksanaan Kerja Praktek (KP), serta memberikan bantuan kepada penulis dalam ketersediaan data untuk skripsi.
10. Syafira Aulia dan Ryca Mazaya, dan Algi Satriadi selaku sahabat tercinta yang telah menemani penulis sejak bangku Sekolah Dasar dan Sekolah Menengah Pertama hingga saat ini. Memberikan doa, dukungan, serta menjadi tempat untuk berkeluh kesah dan menghibur penulis selama penyusunan skripsi.
11. Utin Dzakiyyah, selaku sahabat yang selalu membersamai penulis sejak awal hingga akhir perkuliahan serta dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. Teman – teman KP 16, yaitu Brigita, Elda, Kezia, Tarisa dan Utin yang selalu membersamai penulis dalam menyelesaikan skripsi.
13. Teman – teman Geofisika 2022 (Anoxypristis) atas dukungan selama ini baik secara langsung maupun tidak langsung.
14. Dan yang terakhir kepada Adinda Leonyta Rusdy, yaitu diri saya sendiri. Terima kasih sudah mengusahakan sebaik dan semaksimal mungkin hingga sampai di titik ini. Meskipun banyak sekali kegagalan dan percobaan yang harus berulang kali dilakukan dalam proses penulisan skripsi, tetapi penulis sangat tidak menyerah sesulit apapun prosesnya.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari akan kekurangan dan kesalahan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diperlukan. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan ilmu pengetahuan bagi masyarakat dan terutama bagi penulis.

Pontianak, 25 Februari 2026

Adinda Leonyta Rusdy
H1071221022

DAFTAR ISI

PRAKATA vi
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR TABEL xvi
DAFTAR ISTILAH xvii
DAFTAR LAMPIRAN xix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Batasan Penelitian 4
1.5 Manfaat Penelitian 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 Siklon Tropis 6
2.1.1 Siklus Hidup Siklon Tropis 8
2.2 Pengaruh Siklon Tropis Terhadap Cuaca 9
2.3 *Convective Available Potensial Energy* (CAPE) 12
2.4 Model *Weather Research and Forecasting* (WRF) 12
2.4.1 *Pre-processing* 15
2.4.2 *Processing* 16
2.4.3 *Post-processing* 16
2.5 Skema Parameterisasi *Micro-physics* pada Model WRF 17
2.5.1 Skema Parameterisasi Thompson (Aerosol-*Aware Double-Moment*) 17
2.5.2 Skema Parameterisasi Micro-physics: WSM6 (WRF *Single-Moment* 6-class) 18
2.5.3 Skema Parameterisasi Micro-physics: Morrison (*Double-Moment*) 18
BAB III METODOLOGI 20
3.1 Lokasi Penelitian 20
3.2 Data yang digunakan 20
3.3 Prosedur Penelitian 21
3.3.1 Identifikasi kejadian Siklon Tropis Seroja dan Odette 21
3.3.2 Melakukan Pengumpulan Data 22
3.3.3 Menjalankan Model WRF-ARW 23
3.3.4 Menguji Keakuratan Model WRF-ARW 25
3.3.5 Menampilkan hasil luaran Model dengan *software* GrADS 27
3.3.6 Analisis kondisi Atmosfer 27
3.4 Diagram alir penelitian 28

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 29
4.1 Analisis Keakuratan Model WRF-ARW 29
4.1.1 Analisis Spasial Curah Hujan Data GSMaP dan Model WRF 29
4.1.2 Analisis Hasil Verifikasi Model WRF-ARW 38
4.2 Analisis Spasial Kondisi Atmosfer Pada Kejadian Siklon Tropis Seroja 40
4.2.1 Tekanan Permukaan Laut (*Sea Level Pressure*) 40
4.2.2 Kecepatan Angin 43
4.2.2.1 Kecepatan Angin Lapisan 950 mb 42
4.2.2.2 Kecepatan Angin Lapisan 850 mb 43
4.2.2.3 Kecepatan Angin Lapisan 700 mb 44
4.2.2.4 Kecepatan Angin Lapisan 500 mb 45
4.2.3 Kelembapan Relatif 48
4.2.4 *Outgoing Longwave Radiation* (OLR) 49
4.2.5 *Convective Available Potensial Energy* (CAPE) 51
4.2.6 Curah Hujan 52
4.3 Analisis Spasial Kondisi Atmosfer Pada Kejadian Siklon Tropis Odette 54
4.3.1 Tekanan Permukaan Laut (*Sea Level Pressure*) 54
4.3.2 Kecepatan Angin 57
4.3.2.1 Kecepatan Angin Lapisan 950 mb 55
4.3.2.2 Kecepatan Angin Lapisan 850 mb 56
4.3.2.3 Kecepatan Angin Lapisan 700 mb 57
4.3.2.4 Kecepatan Angin Lapisan 500 mb 58
4.3.3 Kelembapan Relatif 61
4.3.4 *Outgoing Longwave Radiation* (OLR) 63
4.3.5 *Convective Available Potensial Energy* (CAPE) 64
4.3.6 Curah Hujan 66
4.4 Analisis Temporal Kondisi Atmosfer saat Kejadian Siklon Tropis Seroja (Fase Puncak Matang) dengan Grafik *Time series* 67
4.4.1 Tekanan Permukaan Laut (*Sea Level Pressure*) 67
4.4.2 Kecepatan Angin 68
4.4.3 Kelembapan Relatif 69
4.5 Analisis Temporal Kondisi Atmosfer saat Kejadian Siklon Tropis Odette (Fase Matang) dengan Grafik *Time series* 70
4.5.1 Tekanan Permukaan Laut (*Sea Level Pressure*) 70
4.5.2 Kecepatan Angin 71
4.5.3 Kelembapan Relatif 72
BAB V PENUTUP 74

5.1 Kesimpulan 74
5.2 Saran 75
DAFTAR PUSTAKA 76
LAMPIRAN 79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur siklon tropis 7
Gambar 2. 3 Modelling sistem WRF-ARW 14
Gambar 2. 4 Ilustrasi teknik *downscaling* 15
Gambar 3. 1 Pergerakan siklon pada lokasi penelitian 20
Gambar 3. 3 Proses pembuatan Domain Wizard pada WRF 23
Gambar 3. 4 Diagram alir penelitian 28
Gambar 4. 1 Lokasi tiap fase kejadian siklon tropis Seroja dan Odette 29
Gambar 4. 2 Perbandingan sebaran curah hujan (mm/jam) di wilayah kejadian Siklon Tropis Seroja data GSMAP dengan tiga skema keluaran model WRF, pada fase tumbuh (2/4 12 UTC) Siklon Seroja. (a) data GSMAP, (b) Skema Morrison, (c) Skema Thompson, dan (d) Skema WSM6. 30
Gambar 4. 3 Perbandingan sebaran curah hujan (mm/jam) di wilayah kejadian Siklon Tropis Seroja data GSMAP dengan tiga skema keluaran model WRF, pada fase matang (6/4 00 UTC) Siklon Seroja. (a) data GSMAP, (b) Skema Morrison, (c) Skema Thompson, dan (d) Skema WSM6. 31
Gambar 4. 4 Perbandingan sebaran curah hujan (mm/jam) di wilayah kejadian Siklon Tropis Seroja data GSMAP dengan tiga skema keluaran model WRF, pada fase puncak (11/4 06 UTC) Siklon Seroja. (a) data GSMAP, (b) Skema Morrison, (c) Skema Thompson, dan (d) Skema WSM6. 32
Gambar 4. 5 Perbandingan sebaran curah hujan (mm/jam) di wilayah kejadian Siklon Tropis Seroja data GSMAP dengan tiga skema keluaran model WRF, pada fase punah (12/4 00 UTC) Siklon Seroja. (a) data GSMAP, (b) Skema Morrison, (c) Skema Thompson, dan (d) Skema WSM6. 33
Gambar 4. 6 Perbandingan sebaran curah hujan (mm/jam) di wilayah kejadian Siklon Tropis Odette data GSMAP dengan tiga skema keluaran model WRF, pada fase tumbuh (3/4 00 UTC) Siklon Odette. (a) data GSMAP, (b) Skema Morrison, (c) Skema Thompson, dan (d) Skema WSM6. 34
Gambar 4. 7 Perbandingan sebaran curah hujan (mm/jam) di wilayah kejadian Siklon Tropis Odette data GSMAP dengan tiga skema keluaran model WRF, pada fase matang (5/4 00 UTC) Siklon Odette. (a) data GSMAP, (b) Skema Morrison, (c) Skema Thompson, dan (d) Skema WSM6. 35
Gambar 4. 8 Perbandingan sebaran curah hujan (mm/jam) di wilayah kejadian Siklon Tropis Odette data GSMAP dengan tiga skema keluaran model WRF, pada fase puncak (9/4 00 UTC) Siklon Odette. (a) data GSMAP, (b) Skema Morrison, (c) Skema Thompson, dan (d) Skema WSM6. 36

Gambar 4. 9 Perbandingan sebaran curah hujan (mm/jam) di wilayah kejadian Siklon Tropis Odette data GSMAP dengan tiga skema keluaran model WRF, pada fase punah (10/4 12 UTC) Siklon Odette. (a) data GSMAP, (b) Skema Morrison, (c) Skema Thompson, dan (d) Skema WSM6. 37
Gambar 4. 10 Distribusi Tekanan Permukaan (hPa) di wilayah kejadian Siklon Tropis Seroja skema WRF Thompson. (a) fase tumbuh (2/4 12 UTC), (b) fase matang (6/4 00 UTC), (c) fase puncak (11/4 06 UTC), dan (d) fase punah (12/4 00 UTC)..... 40
Gambar 4. 11 Perbandingan lintasan data observasi BoM vs data luaran WRF skema Thompson parameter SLP pada saat kejadian Siklon Tropis Seroja. 42
Gambar 4. 12 Distribusi Kecepatan Angin (m/s) pada lapisan 950mb di wilayah kejadian Siklon Tropis Seroja skema WRF Thompson. (a) fase tumbuh (2/4 12 UTC), (b) fase matang (6/4 00 UTC), (c) fase puncak (11/4 06 UTC), dan (d) fase punah (12/4 00 UTC)..... 44
Gambar 4. 13 Distribusi Kecepatan Angin (m/s) pada lapisan 850mb di wilayah kejadian Siklon Tropis Seroja skema WRF Thompson. (a) fase tumbuh (2/4 12 UTC), (b) fase matang (6/4 00 UTC), (c) fase puncak (11/4 06 UTC), dan (d) fase punah (12/4 00 UTC)..... 45
Gambar 4. 14 Distribusi Kecepatan Angin (m/s) pada lapisan 700mb di wilayah kejadian Siklon Tropis Seroja skema WRF Thompson. (a) fase tumbuh (2/4 12 UTC), (b) fase matang (6/4 00 UTC), (c) fase puncak (11/4 06 UTC), dan (d) fase punah (12/4 00 UTC)..... 46
Gambar 4. 15 Distribusi Kecepatan Angin (m/s) pada lapisan 500mb di wilayah kejadian Siklon Tropis Seroja skema WRF Thompson. (a) fase tumbuh (2/4 12 UTC), (b) fase matang (6/4 00 UTC), (c) fase puncak (11/4 06 UTC), dan (d) fase punah (12/4 00 UTC)..... 47
Gambar 4. 16 Hovmoller kelembapan relatif (%) Siklon Tropis Seroja skema WRF Thompson. (a) fase tumbuh, (b) fase puncak, dan (c) fase punah. (d) Lokasi setiap titik verifikasi pada kejadian Siklon Tropis Seroja. 48
Gambar 4. 17 Distribusi *Outgoing Longwave Radiation* (W/m²) pada saat Kejadian Siklon Tropis Seroja. (a) fase tumbuh (2/4 12 UTC), (b) fase matang (6/4 00 UTC), (c) fase puncak (11/4 06 UTC), dan (d) fase punah (12/4 00 UTC). 50
Gambar 4. 18 Diagram Hovmoller CAPE (J/kg) saat Kejadian Siklon Tropis Seroja. (a) fase tumbuh, (b) fase puncak, dan (c) fase punah. (d) Lokasi setiap titik verifikasi pada kejadian Siklon Tropis Seroja..... 52

Gambar 4. 19 Distribusi Curah Hujan (mm/jam) pada saat Siklon Tropis Seroja (a) fase tumbuh (2/4 12 UTC), (b) fase matang (6/4 00 UTC), (c) fase puncak (11/4 06 UTC), dan (d) fase punah (12/4 00 UTC). 53
Gambar 4. 20 Distribusi Tekanan Permukaan (hPa) di wilayah kejadian Siklon Tropis Odette skema WRF Thompson. (a) fase tumbuh (3/4 00 UTC), (b) fase matang (5/4 00 UTC), (c) fase puncak (9/4 00 UTC), dan (d) fase punah (10/4 12 UTC)..... 55
Gambar 4. 21 Perbandingan lintasan data observasi BoM vs data luaran WRF skema Thompson parameter SLP pada saat kejadian Siklon Tropis Seroja. 56
Gambar 4. 22 Distribusi Kecepatan Angin (m/s) pada lapisan 950mb di wilayah kejadian Siklon Tropis Odette skema WRF Thompson. (a) fase tumbuh (3/4 00 UTC), (b) fase matang (5/4 00 UTC), (c) fase puncak (9/4 00 UTC), dan (d) fase punah (10/4 12 UTC)..... 58
Gambar 4. 23 Distribusi Kecepatan Angin (m/s) pada lapisan 850mb di wilayah kejadian Siklon Tropis Odette skema WRF Thompson. (a) fase tumbuh (3/4 00 UTC), (b) fase matang (5/4 00 UTC), (c) fase puncak (9/4 00 UTC), dan (d) fase punah (10/4 12 UTC)..... 59
Gambar 4. 24 Distribusi Kecepatan Angin (m/s) pada lapisan 700mb di wilayah kejadian Siklon Tropis Odette skema WRF Thompson. (a) fase tumbuh (3/4 00 UTC), (b) fase matang (5/4 00 UTC), (c) fase puncak (9/4 00 UTC), dan (d) fase punah (10/4 12 UTC)..... 60
Gambar 4. 25 Distribusi Kecepatan Angin (m/s) pada lapisan 500mb di wilayah kejadian Siklon Tropis Odette skema WRF Thompson. (a) fase tumbuh (3/4 00 UTC), (b) fase matang (5/4 00 UTC), (c) fase puncak (9/4 00 UTC), dan (d) fase punah (10/4 12 UTC)..... 61
Gambar 4. 26 Hovmoller kelembapan relatif (%) Siklon Tropis Odette skema WRF Thompson. (a) fase tumbuh, (b) fase puncak, dan (c) fase punah. (d) Lokasi setiap titik verifikasi pada kejadian Siklon Tropis Odette. 62
Gambar 4. 27 Distribusi *Outgoing Longwave Radiation* (W/m²) pada saat Kejadian Siklon Tropis Odette. (a) fase tumbuh (3/4 00 UTC), (b) fase matang (5/4 00 UTC), (c) fase puncak (9/4 00 UTC), dan (d) fase punah (10/4 12 UTC). 64
Gambar 4. 28 Diagram Hovmoller CAPE (J/kg) saat Kejadian Siklon Tropis Odette. (a) fase tumbuh, (b) fase puncak, dan (c) fase punah. (d) Lokasi setiap titik verifikasi pada kejadian Siklon Tropis Odette. 65

Gambar 4. 29 Distribusi Curah Hujan (mm/jam) pada saat Siklon Tropis Odette. (a) fase tumbuh (3/4 00 UTC), (b) fase matang (5/4 00 UTC), (c) fase puncak (9/4 00 UTC), dan (d) fase punah (10/4 12 UTC). 67
Gambar 4. 30 Grafik *Time series* Tekanan Permukaan Laut data ECMWF vs Hasil Luaran Skema Mikrofisika Thompson WRF pada titik puncak Siklon Tropis Seroja (11/4 06 UTC). 68
Gambar 4. 31 Grafik *Time series* Kecepatan Angin data ECMWF vs Hasil Luaran Skema Mikrofisika Thompson WRF pada titik puncak Siklon Tropis Seroja (11/4 06 UTC). 69
Gambar 4. 32 Grafik *Time series* Kelembapan Relatif data ECMWF vs Hasil Luaran Skema Mikrofisika Thompson WRF pada titik puncak Siklon Tropis Seroja (11/4 06 UTC). 70
Gambar 4. 33 Grafik *Time series* Tekanan Permukaan Laut data ECMWF vs Hasil Luaran Skema Mikrofisika Thompson WRF pada titik matang Siklon Tropis Odette (5/4 00 UTC)..... 71
Gambar 4. 34 Grafik *Time series* Kecepatan Angin data ECMWF vs Hasil Luaran Skema Mikrofisika Thompson WRF pada titik matang Siklon Tropis Odette (5/4 00 UTC). 72
Gambar 4. 35 Grafik *Time series* Kelembapan Relatif data ECMWF vs Hasil Luaran Skema Mikrofisika Thompson WRF pada titik matang Siklon Tropis Odette (5/4 00 UTC). 73

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi badai tropis (Sumber: NOAA, 2010) 8
Tabel 2. 2 Klasifikasi curah hujan (BMKG, 2008) 11
Tabel 2. 3 Klasifikasi CAPE (Sumber: NOAA, 2024)..... 12
Tabel 3. 2 Konfigurasi WRF 24
Tabel 3. 3 Tabel kontigensi 2x2 (Mahubessy and Purnama, 2022) 25
Tabel 4. 1 Hasil verifikasi curah hujan per jam dari model WRF-ARW 38
Tabel 4. 2 Hasil Verifikasi R^2 dan RMSE Kecepatan Angin pada 2 titik verifikasi .. 39

DAFTAR ISTILAH

BOM (Bureau of Meteorology)	:	Badan meteorologi nasional Australia yang menyediakan informasi cuaca dan siklon tropis di wilayah Australia dan sekitarnya.
CAPE (*Convective Available Potensial Energy*)	:	Energi potensial yang tersedia untuk konveksi di atmosfer (J/kg).
Coriolis	:	Gaya semu akibat rotasi bumi yang membelokkan arah angin.
Dikotomi	:	Pembagian suatu konsep menjadi beberapa kategori berbeda.
Downscalling	:	Proses peningkatan resolusi data global menjadi skala regional.
Efek Fujiwara	:	Interaksi dua siklon tropis yang saling mempengaruhi lintasan.
FNL (*Final Global Data Assimilation System*)	:	Data analisis global untuk kondisi awal model cuaca.
Gale force wind	:	Angin kencang dengan kecepatan 34 – 47 knot.
GSMaP (*Global Satellite Mapping of Precipitation*)	:	Data curah hujan berbasis satelit.
GrADS (*Grid Analysis and Display System*)	:	Perangkat lunak visualisasi data meteorologi.
Gust	:	Hembusan angin maksimum sesaat.
Hovmoller	:	Diagram evolusi parameter terhadap waktu dan satu dimensi spasial.
IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*)	:	Badan PBB (Perserikatan Bangsa – Bangsa) terkait kajian perubahan iklim.
NCAR (*National Center for Atmospheric Research*)	:	Lembaga riset atmosfer pengembang WRF.
Nesting	:	Teknik domain bertingkat dalam pemodelan numerik.
NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*)	:	Lembaga AS penyedia data cuaca dan iklim.
NWP (*Numerical Weather Prediction*)	:	Metode prakiraan cuaca berbasis model numerik.

OLR (*Outgoing Longwave Radiation*)	:	Radiasi gelombang panjang yang dipancarkan bumi ke angkasa.
Overestimate	:	Kondisi model menghasilkan nilai lebih tinggi dari referensi.
RMSE *(Root Mean Square Error)*	:	Ukuran rata-rata kesalahan model terhadap data acuan.
SLP *(Sea Level Pressure)*	:	Tekanan udara pada permukaan laut.
Steering flow	:	Angin skala besar di atmosfer yang mengarahkan pergerakan siklon tropis.
TCWC (*Tropical Cyclone Warning Centre)*	:	Pusat peringatan resmi siklon tropis.
TS (*Threat Score*)	:	Indeks ketepatan model dalam memprediksi kejadian.
UTC (*Coordinated Universal Time*)	:	Standar waktu internasional.
WRF – ARW (*Weather Research and Forecasting-Advanced* WRF)	:	Model numerik atmosfer untuk simulasi cuaca regional.
WSM6 *(WRF Single-Moment 6-Class Microphysics)*	:	Skema mikrofisika dalam model WRF.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Menjalankan model WRF 79
Lampiran 2. Distribusi tekanan permukaan laut (*sea level pressure*) 81
Lampiran 3. Distribusi kecepatan angin pada lapisan 950 mb 83
Lampiran 4. Distribusi spasial *Outgoing Longwave Radiation* 85
Lampiran 5. Distribusi Curah Hujan 87
Lampiran 6. Perhitungan dikotomi skema Thompson, Morrison dan WSM6 pada titik verifikasi Siklon Tropis Seroja. 89
Lampiran 7. Perhitungan dikotomi skema Thompson, Morrison dan WSM6 pada titik verifikasi Siklon Tropis Odette. 89
Lampiran 8. Perhitungan RMSE dan R2 tekanan permukaan, kelembapan relatif dan kecepatan angin pada titik verifikasi Siklon Tropis Seroja. 89
Lampiran 9. Perhitungan RMSE dan R2 tekanan permukaan, kelembapan relatif dan kecepatan angin pada titik verifikasi Siklon Tropis Odette. 89

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fenomena cuaca ekstrem merupakan salah satu bentuk bencana alam yang frekuensinya cenderung meningkat dan berdampak signifikan terhadap kehidupan manusia di berbagai belahan dunia. Laporan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) menyatakan bahwa pemanasan global berkontribusi terhadap meningkatnya kandungan energi di atmosfer dan lautan, yang pada akhirnya memperkuat sistem cuaca ekstrem, termasuk badai tropis dan kejadian hidrometeorologi berskala besar. Dampak fenomena ini tidak hanya berupa kerusakan lingkungan, tetapi juga menimbulkan kerugian sosial dan ekonomi serta korban jiwa dalam jumlah yang besar.

Dalam konteks regional, Indonesia meskipun relatif jarang menjadi lokasi langsung pembentukan siklon tropis, tetap rentan terhadap dampak tidak langsung dari sistem tersebut. Dampak yang sering terjadi meliputi hujan ekstrem, angin kencang, gelombang tinggi, banjir bandang, dan tanah longsor. Salah satu kejadian yang paling menonjol adalah Siklon Tropis Seroja pada tahun 2021, yang menimbulkan bencana serius terutama di wilayah Nusa Tenggara Timur. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) melaporkan bahwa peristiwa ini menyebabkan korban jiwa, kerusakan infrastruktur dalam skala luas, serta gangguan signifikan terhadap aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat setempat.

Secara astronomis, wilayah Indonesia terletak pada 6° LU – 11° LS dan 95° BT – 141° BT, sehingga berada di dekat garis ekuator. Kondisi ini menyebabkan potensi pembentukan siklon tropis relatif rendah karena lemahnya gaya Coriolis yang diperlukan untuk memicu rotasi siklon (Nugroho dan Muzaki, 2022). Secara klimatologis, lintasan utama siklon tropis juga jarang melintasi wilayah ekuatorial Indonesia (Syaifullah, 2015). Namun demikian, siklon tropis yang terbentuk di wilayah

perairan sekitarnya, khususnya di Samudra Hindia bagian timur dan perairan selatan Indonesia, tetap dapat memberikan dampak signifikan terhadap kondisi cuaca di wilayah daratan Indonesia.

Siklon tropis merupakan sistem badai berskala besar yang terbentuk di atas perairan hangat dengan suhu permukaan laut lebih dari 26,5°C, ditandai oleh pusat tekanan rendah, sistem perawanan konvektif yang intens, serta angin berputar dengan kecepatan minimum 34 knot. Secara teknis, siklon tropis didefinisikan sebagai sistem tekanan rendah non-frontal berskala sinoptik yang bertahan setidaknya selama enam jam (Annada dan Kumalawati, 2023). Dalam sistem sirkulasi atmosfer global, siklon tropis berperan penting dalam redistribusi panas dari wilayah tropis menuju lintang yang lebih tinggi (Suhardi *et al.,* 2020). Oleh karena itu, pemahaman terhadap dinamika atmosfer yang mengontrol pertumbuhan, intensifikasi, dan pelemahan siklon tropis menjadi sangat penting, terutama dalam rangka mitigasi bencana dan sistem peringatan dini.

Prediksi dan analisis siklon tropis dapat dilakukan melalui pendekatan *Numerical Weather Prediction* (NWP), salah satunya menggunakan model Weather Research and Forecasting (WRF). Model WRF dikembangkan oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) bekerja sama dengan berbagai lembaga meteorologi di Amerika Serikat, dan telah banyak digunakan baik untuk kepentingan operasional maupun penelitian. Salah satu variannya, yaitu *Advanced Research* WRF (WRF-ARW), merupakan model skala meso yang mampu merepresentasikan proses atmosfer dari skala lokal hingga regional, serta fleksibel dalam pengaturan parameterisasi fisik (NCAR, 2013).

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan kemampuan model WRF dalam menganalisis dan memprediksi kejadian siklon tropis. Perawiska *et al*. (2018) menunjukkan bahwa model WRF-ARW mampu merepresentasikan karakteristik utama Siklon Tropis Haiyan, seperti peningkatan kecepatan angin, kelembaban relatif tinggi, penurunan tekanan permukaan, dan curah hujan ekstrem. Penelitian Ihwan *et al*. (2025) yang mengombinasikan WRF-ARW dengan data satelit Himawari-9 dan ERA5

juga menunjukkan bahwa model ini efektif dalam menggambarkan kondisi atmosfer yang mendukung pembentukan bibit siklon tropis di wilayah Indonesia. Selain itu, Amanda (2024) menunjukkan bahwa pemilihan skema parameterisasi kumulus dalam WRF berpengaruh signifikan terhadap akurasi simulasi siklon tropis, sementara Kurniati *et al*. (2024) menegaskan bahwa penggunaan data assimilation melalui WRFDA mampu meningkatkan ketepatan prediksi lintasan dan intensitas siklon tropis.

Pada awal April 2021, dua sistem siklon tropis, yaitu Siklon Tropis Seroja dan Siklon Tropis Odette, terbentuk hampir bersamaan di Samudra Hindia bagian timur. Siklon Tropis Seroja berkembang dari bibit siklon 90S dan menunjukkan intensitas yang kuat dengan umur siklon yang relatif panjang. Sementara itu, Siklon Tropis Odette juga berkembang di wilayah yang berdekatan dan berinteraksi dengan Seroja melalui efek Fujiwara, yaitu fenomena interaksi dua siklon tropis yang saling memengaruhi lintasan dan intensitas masing-masing. Interaksi ini berlangsung selama sekitar 36 – 48 jam dan menyebabkan dinamika atmosfer yang kompleks.

Meskipun beberapa penelitian telah mengkaji Siklon Tropis Seroja, maupun penggunaan model WRF dalam analisis siklon tropis, kajian yang secara khusus menganalisis dinamika atmosfer serta interaksi dua siklon tropis yang terjadi secara bersamaan di Samudra Hindia bagian timur, khususnya Seroja dan Odette, masih relatif terbatas. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dinamika atmosfer yang memengaruhi pertumbuhan, intensifikasi, pelemahan, hingga punahnya Siklon Tropis Seroja dan Odette, serta interaksi di antara keduanya, dengan menggunakan model WRF. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai perilaku siklon tropis di wilayah Indonesia dan sekitarnya, serta berkontribusi terhadap peningkatan akurasi prediksi dan mitigasi bencana hidrometeorologi di masa mendatang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana akurasi dari masing – masing skema parameterisasi mikrofisika yang diterapkan dalam simulasi Siklon Tropis Seroja dan Odette?
2. Bagaimana kondisi cuaca serta tingkat kestabilan atmosfer di wilayah Samudera Hindia bagian Timur saat kejadian Siklon Tropis Seroja dan Odette berdasarkan hasil simulasi model *Weather Research and Forecasting* (WRF)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menguji keakuratan dari masing – masing skema parameterisasi mikrofisika yang diterapkan dalam simulasi Siklon Tropis Seroja dan Odette.
2. Menganalisis kondisi cuaca serta tingkat kestabilan atmosfer di wilayah Samudera Hindia bagian Timur saat kejadian Siklon Tropis Seroja dan Odette dengan model *Weather Research and Forecasting* (WRF).

1.4 Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menganalisis Siklon Tropis Seroja dan Siklon Tropis Odette. Seroja terbentuk di sekitar Laut Sawu, sebelah barat daya Pulau Timor, Nusa Tenggara Timur (NTT) tepatnya 11,10° s.d 19,8° LS dan 109,4° s.d 122,5° BT pada rentang tanggal 2 April 2021 12 UTC hingga 12 April 2021 pukul 00 UTC, dengan puncak kejadian pada tanggal 5 – 11 April 2021. Sedangkan Odette terbentuk di Samudra Hindia selatan barat daya dari Cilacap tepatnya 10,5° s.d 19,9° LS dan 102,7° s.d 112,9° BT pada rentang tanggal 3 April 2021 pukul 00 UTC hingga 10 April 2021 pukul 12 UTC.
2. Parameter cuaca yang dianalisis terbatas pada kecepatan angin, kelembaban relatif, tekanan permukaan dan curah hujan.
3. Parameter tingkat kestabilan atmosfer yang dikaji adalah *Convective Available Potensial Energy* (CAPE) dianalisis pada lapisan 950 hingga 650 mb.
4. Skema parameterisasi WRF-ARW yang digunakan adalah skema parameterisasi Microphysics, Kumulus (GD), PBL (YSU), RRTM, Dudhia, Noah Land Surface

Model, Monin-Obukhov Similarity. Namun yang divariasikan hanya Skema *Microphysics*, yaitu WSM6, Thompson dan Morrison.

5. Uji keakuratan model WRF-ARW dilakukan dengan mengambil titik sampel yang merupakan titik lokasi puncak terjadinya Siklon Tropis Seroja dan titik lokasi matang Siklon Tropis Odette untuk verifikasi parameter curah hujan, kecepatan angin, kelembapan relatif dan tekanan permukaan.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan kajian dinamika atmosfer, khususnya terkait karakteristik dan evolusi siklon tropis di wilayah Samudra Hindia bagian timur. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi referensi dalam pemilihan skema parameterisasi model WRF yang lebih sesuai untuk simulasi siklon tropis, sehingga mendukung peningkatan akurasi analisis dan prakiraan cuaca ekstrem di wilayah Indonesia dan sekitarnya.