

BULETIN

METEOROLOGI-OSEANOGRAFI INDONESIA



Pengenalan *Maritime Meteorological System 1 (MMS-1)*

Observasi data: *Marine Automatic Weather Station (MAWS)*

Indonesia Coupled Atmosphere - Wave-Ocean (InaCAWO)

Fully Integrated Single Platform (FISP)



Direktorat Meteorologi Maritim

Deputi Bidang Meteorologi | Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

Contact Us: ☎ (021)196

🌐 maritim.bmkg.go.id

📷 @bmkgmaritim

✉ @BMKGmaritim

Pengantar Redaksi

Kepada Pembaca yang Budiman,

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, Buletin Meteorologi-Oseanografi Indonesia Direktorat Meteorologi Maritim BMKG akhirnya dapat kembali hadir di hadapan masyarakat setelah terhenti untuk beberapa waktu. Keberhasilan penerbitan edisi ini tidak lepas dari dukungan, kerja sama, dan dedikasi seluruh pihak yang terlibat, baik tim redaksi, mitra ahli, maupun para pemangku kepentingan. Kami menyampaikan penghargaan setinggi-tingginya atas kontribusi yang telah diberikan.

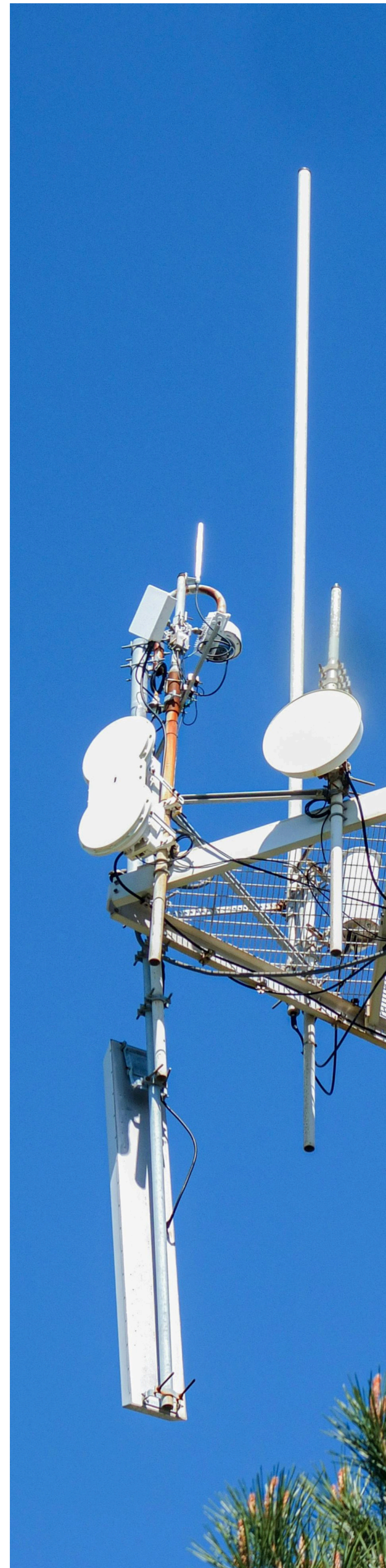
Edisi kali ini menghadirkan pembaruan informasi, analisis terkini, dan kajian ilmiah di bidang observasi meteorologi maritim yang relevan dengan kebutuhan masyarakat, khususnya para pelaku sektor kemaritiman. Kami berkomitmen untuk terus meningkatkan kualitas konten agar buletin ini tidak hanya menjadi sumber informasi, tetapi juga wadah edukasi dan inovasi bagi pembaca.

Sebagai redaksi, kami menyadari sepenuhnya bahwa kesempurnaan hanyalah milik Yang Maha Kuasa. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati, kami memohon maaf apabila terdapat kekurangan dalam penyajian materi, tata bahasa, maupun aspek teknis lainnya. Kritik dan saran konstruktif dari pembaca sangat kami harapkan untuk menyempurnakan edisi-edisi mendatang.

Akhir kata, semoga Buletin Meteorologi-Oseanografi Indonesia dapat menjadi sumber inspirasi dan referensi yang bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan serta penguatan literasi cuaca maritim di Indonesia. Selamat membaca, dan mari bersama menjaga semangat kolaborasi untuk Indonesia yang tangguh menghadapi dinamika iklim dan laut.

Hormat kami,

Tim Redaksi Buletin Meteorologi-Oseanografi Indonesia
Direktorat Meteorologi Maritim BMKG



Kata Pengantar

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, Buletin Meteorologi-Oceanografi Indonesia Direktorat Meteorologi Maritim BMKG Volume 1, Edisi 1 Tahun 2025 akhirnya dapat terbit sebagai media berkelanjutan untuk menyajikan informasi, inovasi, dan pengetahuan di bidang meteorologi maritim. Kehadiran buletin ini merupakan wujud komitmen BMKG dalam meningkatkan peran aktif sebagai penyedia informasi cuaca maritim yang akurat, edukatif, dan mudah diakses oleh seluruh lapisan masyarakat Indonesia.

Pada edisi perdana ini, kami menyampaikan apresiasi setinggi-tingginya kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi, baik melalui ide, tenaga, waktu, maupun dukungan teknis hingga tersusunnya buletin ini. Partisipasi aktif dari para pemangku kepentingan, mitra kerja, dan tim penyusun menjadi kunci terwujudnya terbitan ini sebagai sarana literasi meteorologi maritim yang bermanfaat.

Kami berharap Buletin Meteorologi-Oceanografi Indonesia tidak hanya menjadi referensi ilmiah, tetapi juga dapat mendorong peningkatan kesadaran masyarakat akan pentingnya pemahaman cuaca maritim bagi keselamatan dan produktivitas sektor kemaritiman. Melalui kolaborasi dan semangat berbagi pengetahuan, mari kita jadikan buletin ini sebagai langkah awal untuk memperkuat budaya literasi meteorologi maritim di Indonesia.

Kritik, saran, dan masukan dari pembaca sangat kami nantikan untuk penyempurnaan edisi selanjutnya. Terima kasih atas perhatian dan dukungan seluruh pihak.

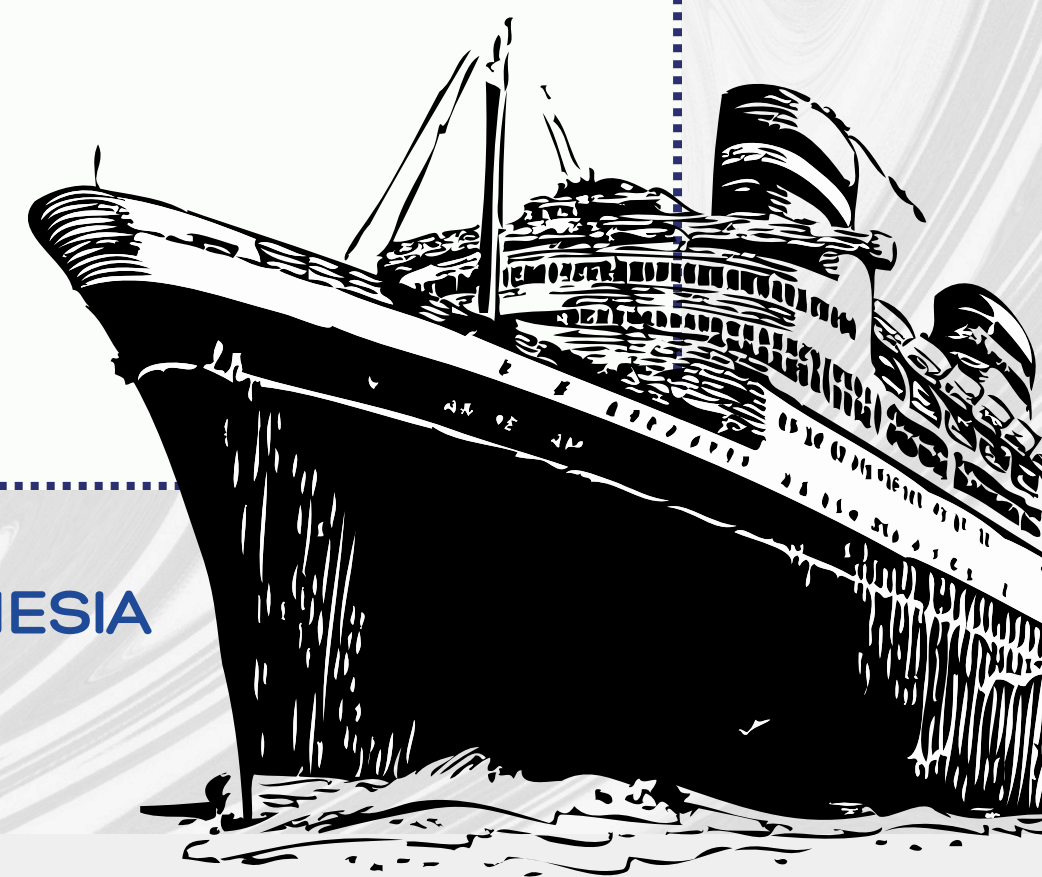
Selamat membaca!



Dr. Eko Prasetyo, MT
Direktur Meteorologi Maritim

Daftar Isi

Pengantar Redaksi.....	2
Kata Pengantar.....	3
Daftar Isi.....	4
Tim Redaksi.....	5
Pengenalan MMS-1.....	6
1. <i>Development of Marine Observation Infrastructure and Forecasting Technology for Maritime Meteorological System (MMS).....</i>	7
2. Peralatan Observasi Meteorologi Maritim.....	8
3. <i>Indonesia Coupled Atmosphere-Wave-Ocean (InaCAWO).....</i>	11
4. Sistem Prediksi, Produksi dan Integrasi Data.....	12
5. IT Infrastruktur.....	13
6. Peningkatan Kapasitas Sumber Daya Manusia.....	13
<i>Observasi data: Marine Automatic Weather Station (MAWS).....</i>	14
1. Variabilitas arah dan kecepatan angin.....	16
2. <i>Water Level.....</i>	17
3. Monitoring Kualitas Air Wilayah Pesisir.....	19
<i>InaCAWO (Indonesia Coupled Atmosphere-Wave-Ocean).....</i>	23
<i>Fully Integrated Single Platform (FISP).....</i>	28
1. <i>Synergie-Web.....</i>	29
2. <i>Extra-Met.....</i>	30
3. <i>Meteofactory.....</i>	30



Tim Redaksi

Pengarah :

Deputi Bidang Meteorologi

Penanggungjawab :

Direktur Meteorologi Maritim

Pimpinan Redaksi :

Eko Supriyadi

Staf Redaksi :

Sri Puji Rahayu

Widodo Agustyono

Imam Hidayat

Indah Fitrianti

Mia Utami Rachmadhaniati

Apdillah Akbar

Arum Putri Kusuma

Titi Sari

Ria Rosanti

Rodhi Janu Aldilla Putri

Widya Ayuningtiyas

Ivana Gabriela Suwana

Muhammad Alfaridzi

Editor :

Riris Adriyanto

Slamet Wiyono

Furqon Alfahmi

Oky Surendra

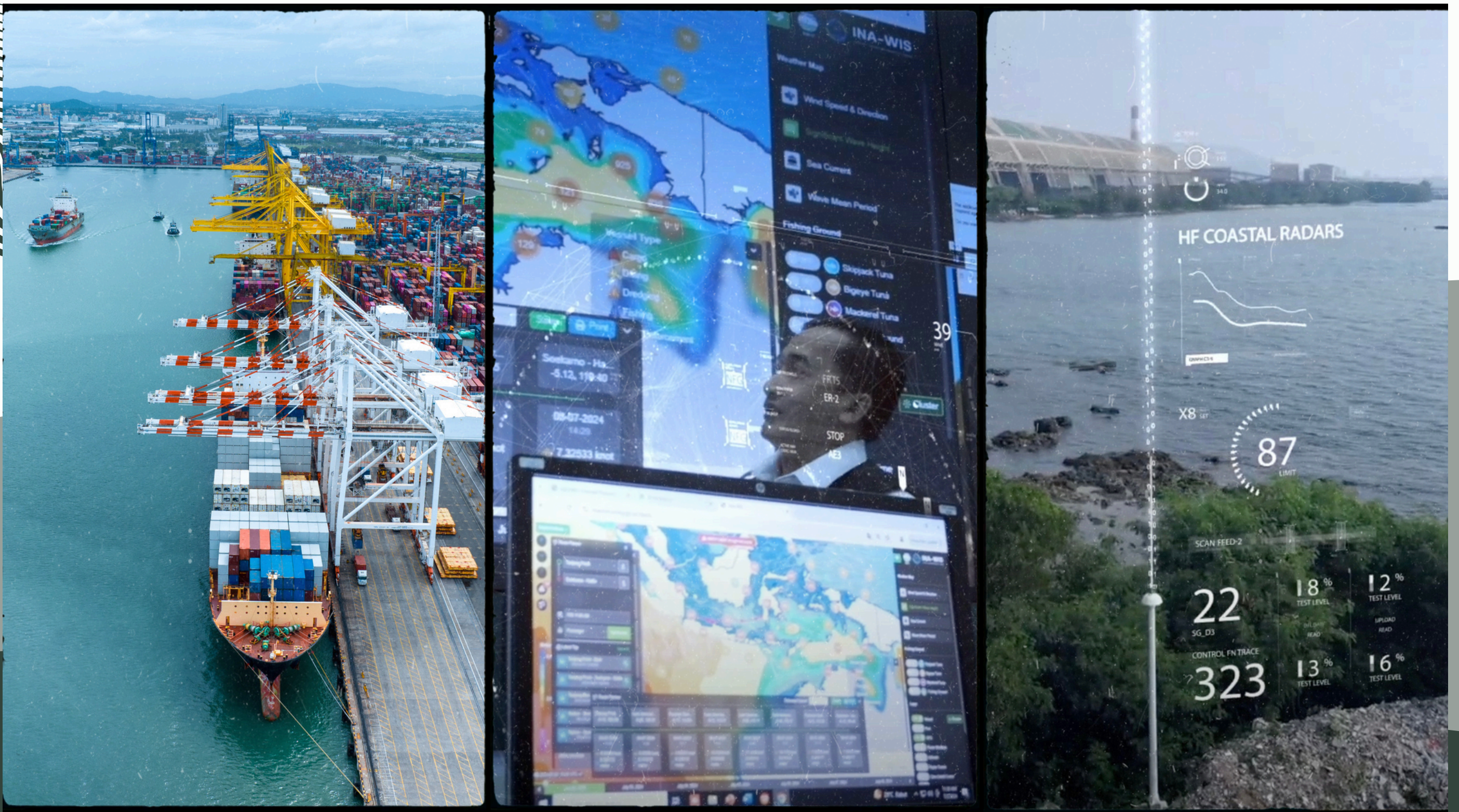
Yuli Kartiningsih

Rismanto Effendi

Ferry Yonathan

PENGENALAN

MMS-1 *Maritime Meteorological System 1*



BMKG



MARITIME METEOROLOGICAL SYSTEM

POWERED BY CLS

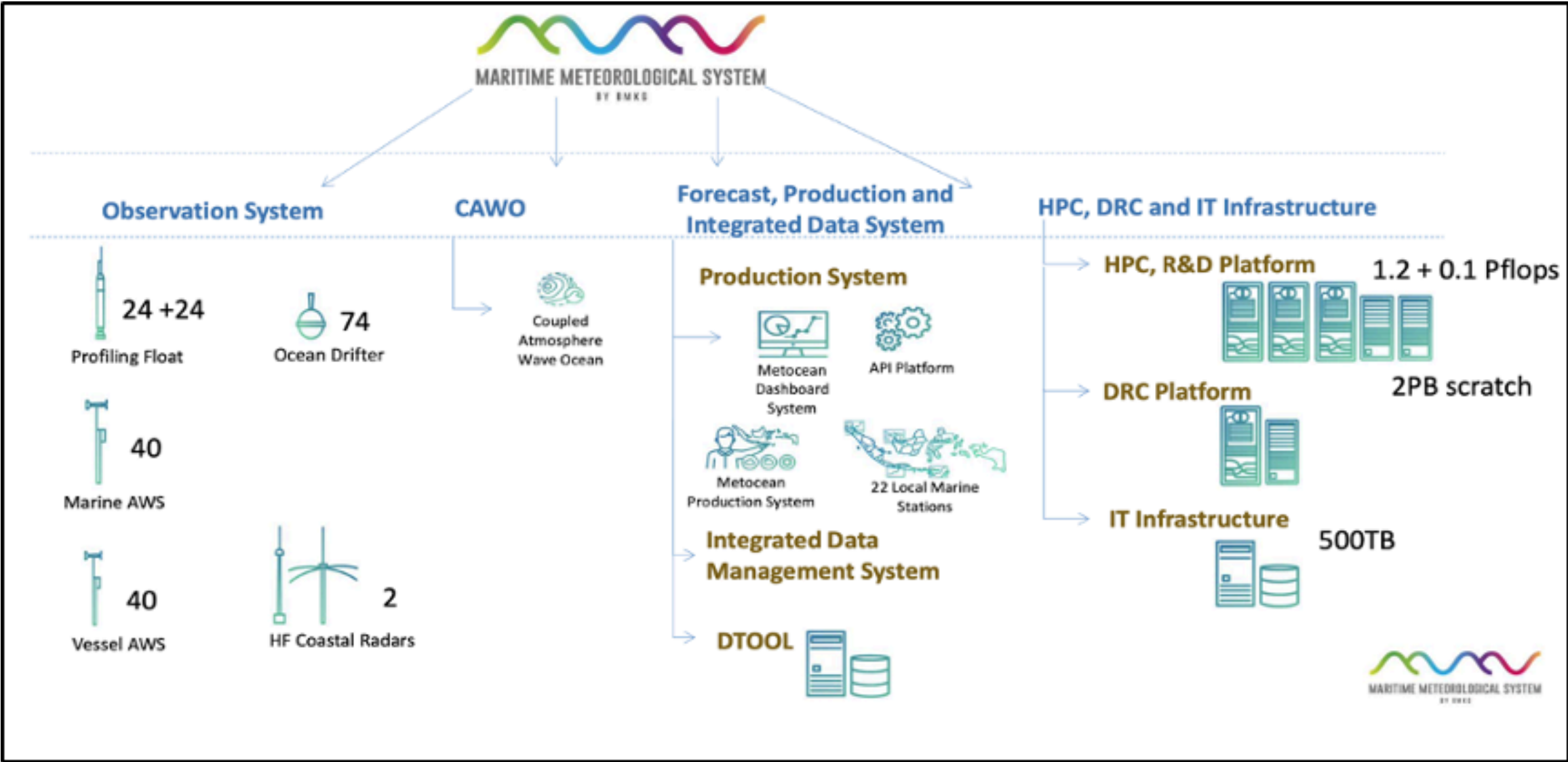
OVERVIEW MMS-1

Maritime Meteorological System-1

1. Development of Marine Observation Infrastructure and Forecasting Technology for Maritime Meteorological System (MMS)

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) melalui Direktorat Meteorologi Maritim telah melaksanakan proyek *Maritime Meteorological System - 1* (MMS-1) sejak tahun 2020 hingga 2024. Proyek MMS-1 merupakan bagian dari implementasi kegiatan *Strengthening of Climate and Weather Services Capacity Phase-II* (STR-II) yang bertujuan untuk meningkatkan layanan informasi cuaca.

Proyek MMS-1 merupakan kegiatan penguatan sistem informasi cuaca meteorologi maritim yang dibiayai oleh pinjaman lunak luar negeri dari Prancis. Sejak November 2020, BMKG bekerja sama dengan *Collecte Localisation Satellites* (CLS) untuk mewujudkan implementasi dari proyek MMS-1. Secara garis besar, proyek MMS-1 ini terdiri dari empat komponen utama meliputi (1) penguatan sistem observasi; (2) peningkatan sistem modeling; (3) penguatan sistem prediksi dan produksi; (4) peningkatan IT infrastruktur; serta (5) pengembangan kapasitas sumber daya manusia (Gambar 1).



Gambar 1. Ruang Lingkup Pekerjaan MMS-1 (Sumber: properti MMS-1)

Adapun tujuan dari dirancangnya Proyek MMS-1 diantaranya peningkatan kerapatan jaringan observasi di wilayah perairan Indonesia, peningkatan akurasi informasi cuaca meteorologi maritim, dan peningkatan kecepatan diseminasi produk cuaca meteorologi maritim. Selain itu, tujuan dari proyek ini adalah peningkatan eksistensi BMKG di kancah internasional terutama dalam bidang pertukaran data meteorologi maritim. Dengan adanya proyek ini, diharapkan agar dapat memperkuat mitigasi risiko bencana terkait cuaca ekstrem, optimalisasi rute pelayaran, serta mendukung keputusan yang lebih cepat dan tepat dalam sektor transportasi laut.

2. Peralatan Observasi Meteorologi Maritim

Peralatan observasi yang dipasang selama proyek MMS-1 antara lain *Ocean Drifter* sebanyak 74 unit, *Profiling Float* sebanyak 48 unit, *Marine Automatic Weather Station* (MAWS) sebanyak 40 unit, *Vessel Automatic Weather Station* (VAWS) sebanyak 40 unit, dan High Frequency (HF) Radar sebanyak 2 pasang dengan lokasi yang tersebar di Indonesia .

Seluruh peralatan observasi meteorologi maritim dari proyek MMS-1 telah terpasang di perairan Indonesia (Gambar 2). Status kondisi dan visualisasi data dari seluruh peralatan observasi meteorologi tersebut dapat dipantau melalui Seecharts.



Gambar 2. Update Lokasi Peralatan Observasi Meteorologi Maritim MMS-1 Bulan Maret 2025 (sumber : Seecharts)

Dari hasil monitoring terkini, beberapa peralatan observasi dari proyek MMS-1 tidak lagi mengirimkan data pengamatan. Hal ini terjadi karena berbagai faktor, seperti kehabisan baterai, kerusakan pada salah satu sensor, maupun peralatan yang terdampar di daratan. Pada bulan Maret 2025, status peralatan observasi proyek MMS-1 yang dalam kondisi aktif mengirimkan data-data pengamatan adalah sebagai berikut:

- 26 unit drifter dari 74 unit
- 5 unit float untuk laut dangkal (dari 24 unit) dan 22 unit float untuk laut dalam (dari 24 unit)
- 37 unit VAWS dari 40 unit
- 2 pasang HF Radar
- 40 unit MAWS

2.1 Drifter

Drifters adalah perangkat oseanografi yang dilepas di laut dan hanyut mengikuti arus laut. *Drifter* digunakan untuk mengukur tekanan udara, suhu permukaan laut, arah serta kecepatan arus. *Drifter* terdiri dari komponen (1) *surface float* yang berguna untuk memastikan *drifter* mengapung; (2) *underwater drogues* yang berguna untuk memastikan pergerakan *drifter*; (3) data sensor yang berguna untuk mengukur parameter; (4) transmitter yang berfungsi untuk mengirimkan data; dan (5) *Global Positioning System* (GPS) yang berguna untuk identifikasi lokasi *drifter*. Data dari *drifter* dikirimkan ke server melalui sistem komunikasi satelit. Melalui proyek MMS-1, telah dilepas sebanyak 74 unit dari tahun 2022 sampai 2024 dengan rincian terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Lokasi Pelepasan *Drifter*

2022	2023	2024
Karimata: 3 unit Riau: 3 unit West Banda: 3 unit Banda: 3 unit Makassar: 3 unit	Lombok: 2 unit Maluku: 1 unit Makassar: 4 unit Jawa: 14 unit Banda: 4 unit	Banda: 6 unit Sulawesi: 1 unit Flores: 1 unit Jawa: 8 unit Makassar: 5 unit Maluku: 3 unit Natuna: 3 unit Selat Malaka: 1 unit Sumatera Barat: 2 unit Barat Laut Banda: 2 unit Kendari: 1 unit Jakarta Utara: 1 unit

2.2 Profiling Float

Profiling Float adalah alat observasi bergerak yang mengukur profil parameter laut di bawah permukaan seperti suhu, salinitas, dan tekanan air. Selain dilengkapi dengan sensor, *profiling float* dilengkapi juga dengan sistem GPS untuk identifikasi lokasi peralatan. Secara umum, peralatan ini beroperasi secara otonom yang mengikuti siklus transmisi data. Terdapat dua jenis pelampung (*floats*) yaitu ARVOR-I untuk pengukuran laut terbuka (hingga kedalaman 2000 meter) dan ARVOR-C untuk pengukuran laut pesisir (hingga 300 meter). Selama kurun waktu 3 tahun, telah dilepas sebanyak 24 unit ARVOR-I dan 24 unit ARVOR-C dengan rincian lokasi terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Lokasi Pelepasan ARVOR-I dan ARVOR-C

2022	2023	2024
ARVOR-1: Banda bagian barat: 1 unit Banda: 2 unit Makassar: 2 unit	ARVOR-I: Makassar: 3 unit Banda: 5 unit	ARVOR-I: Banda: 3 unit Sulawesi: 1 unit Flores: 1 unit Makassar: 2 unit Maluku: 2 unit Sumatera Barat: 1 unit Barat Laut Banda: 1 unit
ARVOR-C: Karimata: 2 unit Riau: 3 unit	ARVOR-C: Jawa: 8 unit	ARVOR-C: Jawa: 5 unit Natuna: 3 unit Selat Malaka: 2 unit Sumatera Barat: 1 unit

2.3 Vessel Automatic Weather Station

Vessel Automatic Weather Station (VAWS) adalah sistem pengamatan bergerak yang dilakukan di atas kapal, yang juga dikenal sebagai *Voluntary Observing Ship* (VOS). Program ini merupakan bagian dari program internasional untuk pengukuran atmosfer secara berkelanjutan di wilayah maritim.

MMS-1 VAWS memberikan pengukuran pada parameter tekanan udara, kelembaban udara, suhu udara, kecepatan dan arah angin, suhu laut, dan data manual yang diedit oleh pengamat di kapal. Selama proyek MMS-1 telah dipasang sebanyak 20 unit VAWS pada tahun 2022 dan 20 unit VAWS pada tahun 2023, adapun rincian kapal pemasangan VAWS terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Lokasi Pemasangan VAWS

2022	2023
1. KM. Dharma Rucitra 7	1. KMP. Aceh Hebat 1
2. KM. Kirana 3	2. KMP. Madani
3. KM. Dharma Kencana 7	3. KMP. Wayangan
4. KM. Dharma Ferry VII	4. KM. Umsini
5. KM. Dharma Kartika 9	5. KM. Awu
6. KM. Satya Kencana 3	6. KM. Lambelu
7. KM. Kirana I	7. KM. Leuser
8. KM. Dharma Ferry 2	8. KM. Sinabung
9. KM. Dharma Rucitra 9	9. KMP. Bahtera Nusantara 02
10. KM. Dharma Kartika 7	10. KM. Gunung Dempo
11. KM. Dharma Ferry 3	11. KM. Sirimau
12. KM. Dharma Kartika 3	12. KM. Egon
13. KM. Perdana Nusantara	13. KM. Dorolonda
14. KM. Kirana	14. KM. Sabuk Nusantara 48
15. KM. Legundi	15. KM. Wilis
16. KMP. Labuhan Haji	16. KFC. Jetliner
17. KMP. Dalente Woba	17. KM. Labobar
18. KM. Kirana 7	18. KM. Lawit
19. KM. Dharma Kencana 9	19. KM. Pangrango
20. KM. Wicitra Dharma 1 (sebelumnya Satya Kencana)	20. KM. Bukit Raya

2.4 High Frequency Radar Monopole

High Frequency Radar Monopole adalah sistem observasi maritim yang melakukan pengukuran arus permukaan di wilayah pesisir. Stasiun pengamatan ini dilengkapi dengan antena *monopole* dan shelter yang menyediakan pasokan listrik dan komunikasi. Selama Proyek MMS-1, terdapat 2 pasang HF-Radar yang terpasang di Selat Sunda dan Selat Lombok.

2.5 Marine Automatic Weather Station

Marine Automatic Weather Station (MAWS) adalah stasiun pengamatan tetap yang terletak di pelabuhan yang menyediakan pengukuran parameter atmosfer dan kelautan. MAWS mengukur parameter atmosfer dan laut, yaitu:

1. Radiasi matahari

2. Suhu Udara

3. Tekanan udara

4. Kelembapan udara

5. Curah hujan

6. Arah dan kecepatan angin

7. Tinggi muka air laut (*water level*)

8. Suhu permukaan laut

9. Salinitas permukaan laut

10. pH air laut

Pada tahun 2022, telah dipasang 20 unit MAWS di berbagai pelabuhan Indonesia. Pemasangan MAWS, dilanjutkan kembali pada tahun 2023 dengan memasang sebanyak 20 MAWS di pelabuhan milik pemerintah dan BUMN (Tabel 4).

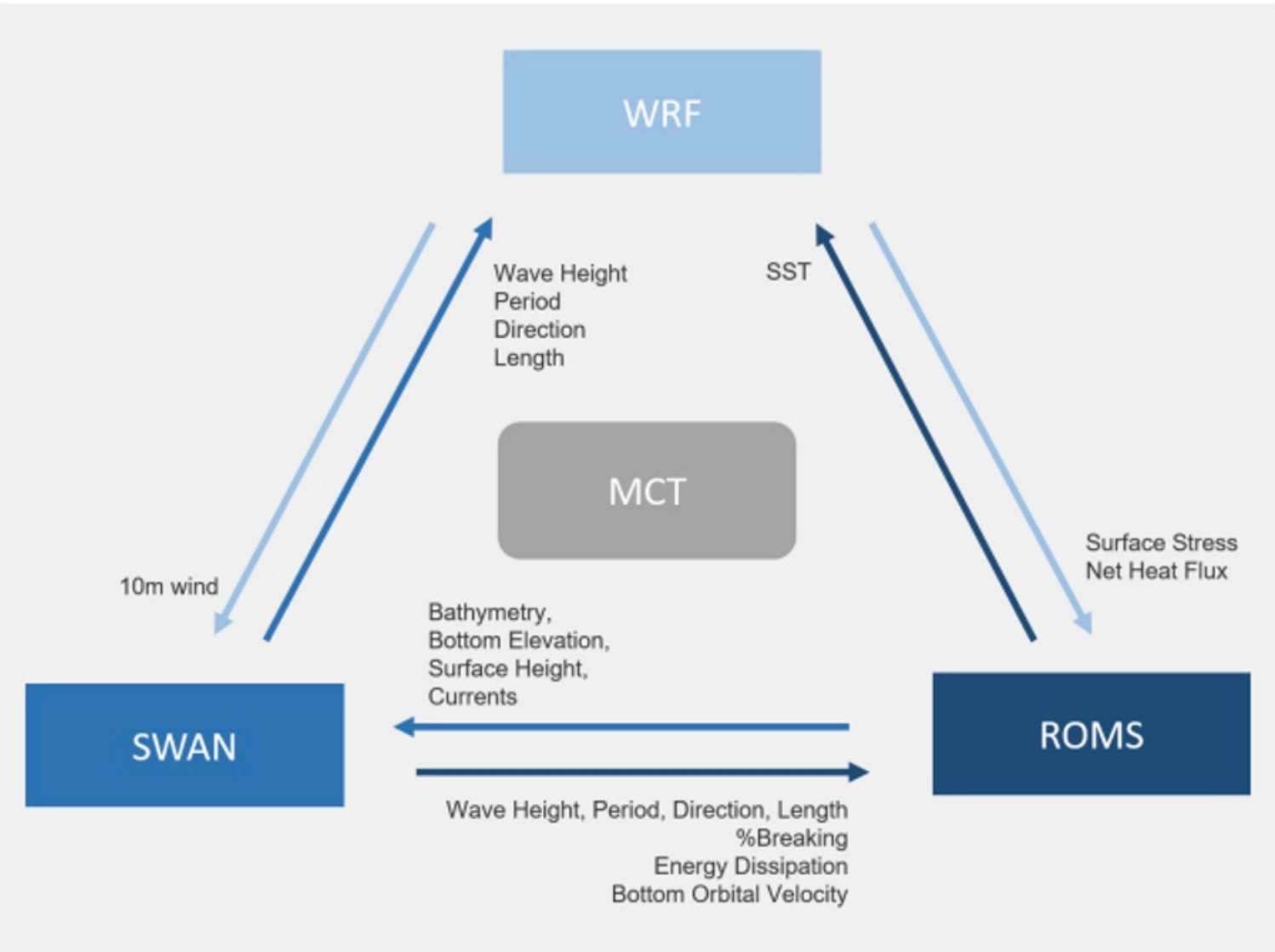
Tabel 4. Lokasi Pemasangan MAWS

2022	2023
1. Jambi	1. Belawan
2. Labuan Bajo	2. Tegal
3. Kuala Tanjung	3. Manado
4. Meulaboh	4. Larantuka
5. Ulee Lheueu	5. Rote
6. Likupang	6. Manokwari
7. Palu	7. Merauke
8. Panjang	8. Garangkong
9. Palembang	9. Tangkiang Luwuk
10. Sadeng	10. Tual
11. Rembang	11. Belang Belang
12. Patimban	12. Tidore
13. Kijing	13. Karimunjawa
14. Malang	14. Saumlaki
15. Pangkalan Bun	15. Biak
16. Tarakan	16. Bira
17. Bajoe	17. Lamongan
18. Sibolga	18. Labuhan Lombok
19. Natuna	19. Torobulu
20. Samarinda	20. Ambon

3. Indonesia Coupled Atmosphere-Ocean (InaCAWO)

Sistem pemodelan InaCAWO terdiri dari tiga model numerik yang mencakup atmosfer, gelombang, dan dinamika laut yang saling bertukar parameter dalam setiap proses pemodelan. Hal ini memungkinkan representasi antarmuka laut-atmosfer dengan akurasi yang lebih tinggi.

Pertukaran parameter ini dilakukan melalui serangkaian perangkat lunak yang dirancang khusus untuk memungkinkan komunikasi dinamis antar model tersebut. Melalui sistem pemodelan InaCAWO, BMKG dapat memprediksi pola gelombang laut, kondisi cuaca laut ekstrem, dan perubahan iklim maritim dengan lebih akurat. Gambar disamping ini menunjukkan alur kerja sistem InaCAWO secara umum.



Gambar 3. Diagram Sistem InaCAWO dengan parameter yang dipertukarkan oleh Model Oseanografi (ROMS), Gelombang (SWAN), dan Atmosfer (WRF) melalui Model Coupling Toolkit (MCT) (Sumber: properti MMS-1)

4. Sistem Prediksi, Produksi dan Integrasi Data

4.1 Fully Integrated Single Platform

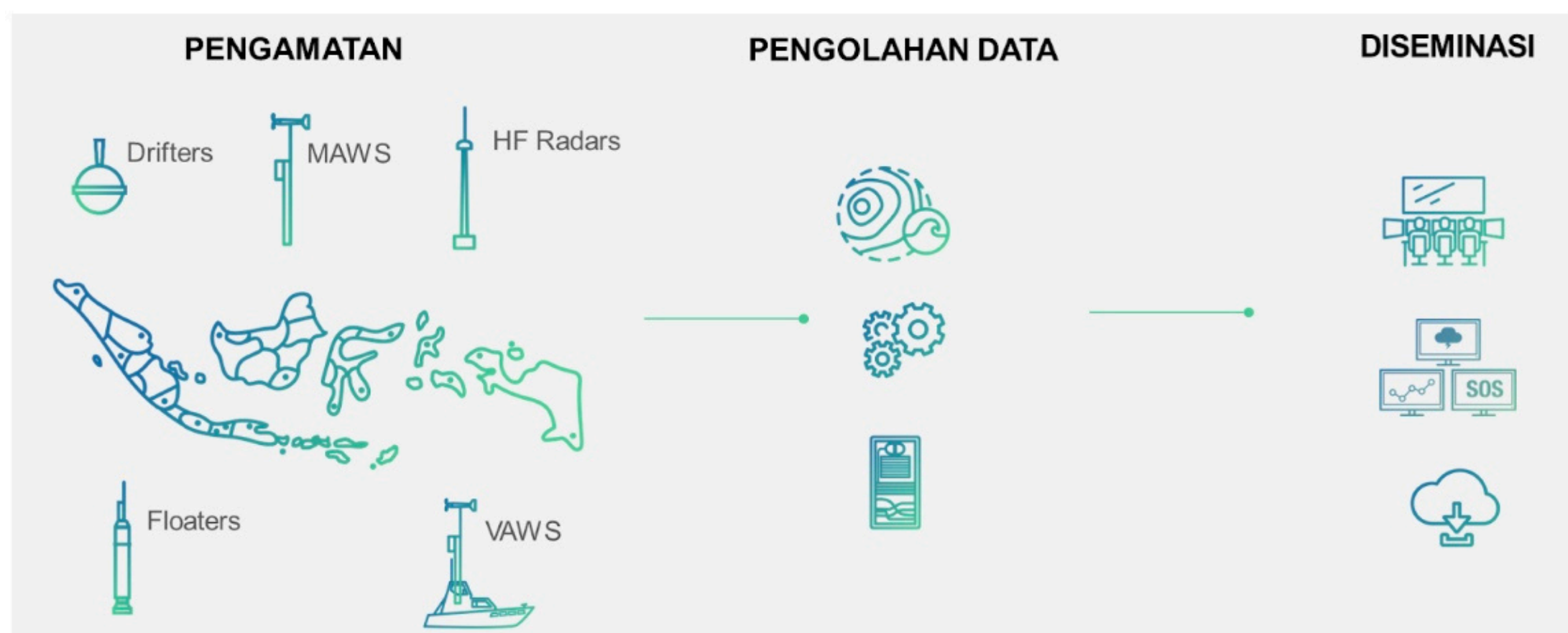
Fully Integrated Single Platform (FISP) dibangun untuk memodernisasikan infrastruktur BMKG yang sudah berjalan dari segi pengamatan, pengolahan data (prakiraan dan analisis) serta diseminasi produk informasi prakiraan menjadi dalam satu platform. Gambar 4. menunjukkan alur kerja dari FISP.

4.2 DTOOL

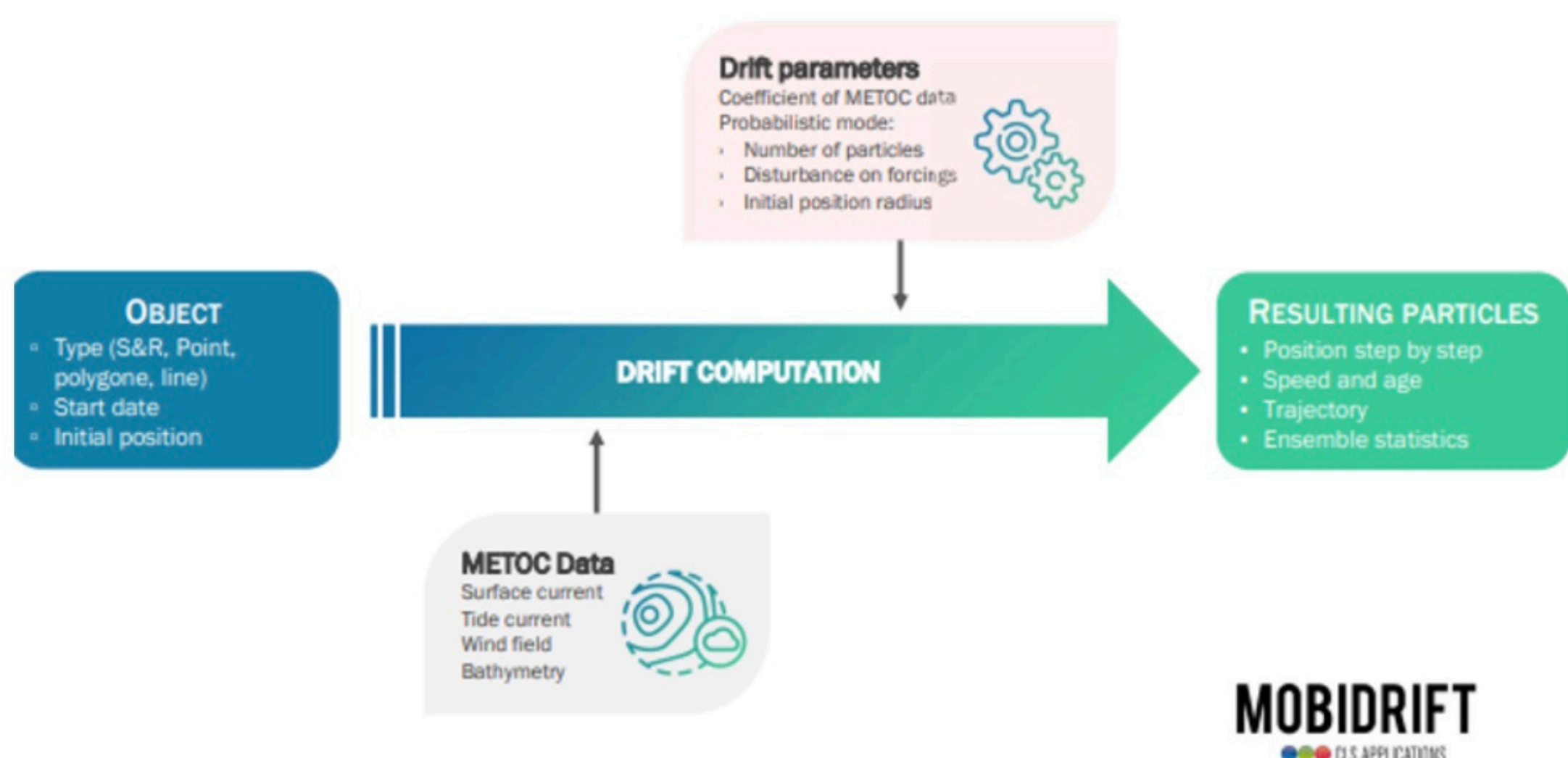
DTOOL merupakan sistem pemodelan trajektori berbasis web-browser yang digunakan untuk memodelkan lintasan

berbagai objek di laut, seperti tumpahan minyak ataupun keperluan SAR, untuk memprediksi lokasi ataupun perpindahan objek tersebut.

Sistem DTOOL dapat diakses di <https://mms.bmkg.go.id/dtool>. Secara umum, DTOOL menggunakan model numerik MOBIDRIFT dalam mensimulasikan lintasan berbagai objek di laut dengan mempertimbangkan faktor batimetri, angin, arus laut, dan/atau pasang surut dengan skema perhitungan Lagrangian dan Eularian. Alur kerja Sistem DTOOL ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Sistem Kerja *Fully Integrated Single Platform* / FISP (Sumber: properti MMS-1)



Gambar 5. Gambaran Alur Kerja DTOOL (Sumber: properti MMS-1)

5. IT Infrastruktur

5.1 *Operational and Research & Development Super Computing Platform*

Melalui proyek MMS-1 telah berhasil dibangun data center baru yang berlokasi di BMKG Pusat, *The New Marine Met-Ocean Forecasting Data Center* (MMOFDC). Komponen dari data center ini meliputi sistem proses data dan juga sistem prediksi. Sistem data center ini, dipasang pada *High Performance Computing* (HPC) yang memiliki performa sampai sekitar 1.2 Pflops. Selain pembangunan HPC untuk data center, melalui proyek ini dibangun pula HPS yang dedikasikan untuk keperluan penelitian dan pengembangan dengan performa 100 Tflops.

5.2 *Disaster Recovery Centers*

Disaster Recovery Centers (DRC) merupakan sistem backup data dari data center di Jakarta dengan kapasitas performa sekitar 20 Tflops. DRC telah berhasil dipasang di Bali pada tahun 2024.

Berbagai program pelatihan telah berhasil dilaksanakan baik di dalam negeri maupun luar negeri. Selama proyek MMS-1, total 59 pegawai BMKG telah mengikuti pelatihan pabrikan di Amerika dan Prancis.

Selain itu, telah dilakukan pelatihan lokal baik di lokasi pemasangan alat maupun di Jakarta untuk sebanyak 187 orang. Guna meningkatkan transfer ilmu dari penyedia ke BMKG, dilakukan pelatihan tematik selama satu bulan baik di Amerika dan Prancis. Sebanyak 15 orang telah mengikuti program pelatihan tematik ini.

6. Peningkatan Kapasitas Sumber Daya Manusia

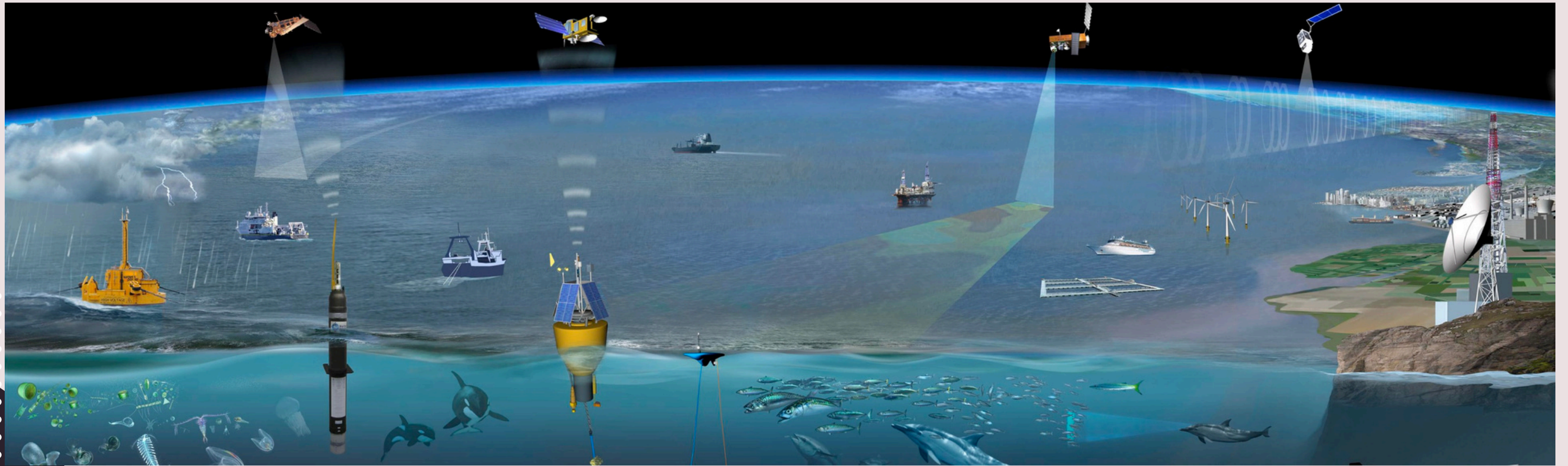
Proyek MMS-1 menawarkan kesempatan bagi pegawai MMS-1 untuk meningkatkan kemampuan dalam hal pengoperasian sistem MMS-1 melalui program sekolah (master dan doctoral), pelatihan pabrikan, pelatihan lokal, dan pelatihan tematik. Program yang ditawarkan meliputi bidang kemaritiman, meteorologi, IT, dan rekayasa. Selama proyek MMS-1, satu orang pegawai BMKG atas nama Bayu Edo Pratama mengikuti program doctoral di Université de Bretagne Occidentale. Selain itu, dua orang pegawai BMKG, Mahardika Pradana dan Wilmar Rajagukguk, telah mengikuti program Master di Université Toulouse III - Paul Sabatie selama satu tahun dan melanjutkan program penelitian di Université de Lyon pada tahun berikutnya.





OBSERVASI DATA: MARINE AUTOMATIC WEATHER STATION (MAWS)

MARINE OBSERVATION



Marine Automatic Weather Station (MAWS)

Marine Automatic Weather Station (MAWS) adalah stasiun pengamatan dan pengiriman data meteorologi dan oseanografi secara otomatis yang ditempatkan di wilayah pelabuhan di seluruh Indonesia. Saat ini, BMKG telah memiliki MAWS yang terpasang di 75 lokasi, dimana 40 lokasi diantaranya adalah MAWS yang dibangun melalui kegiatan MMS-1 (*Maritime Meteorological System Phase 1*).

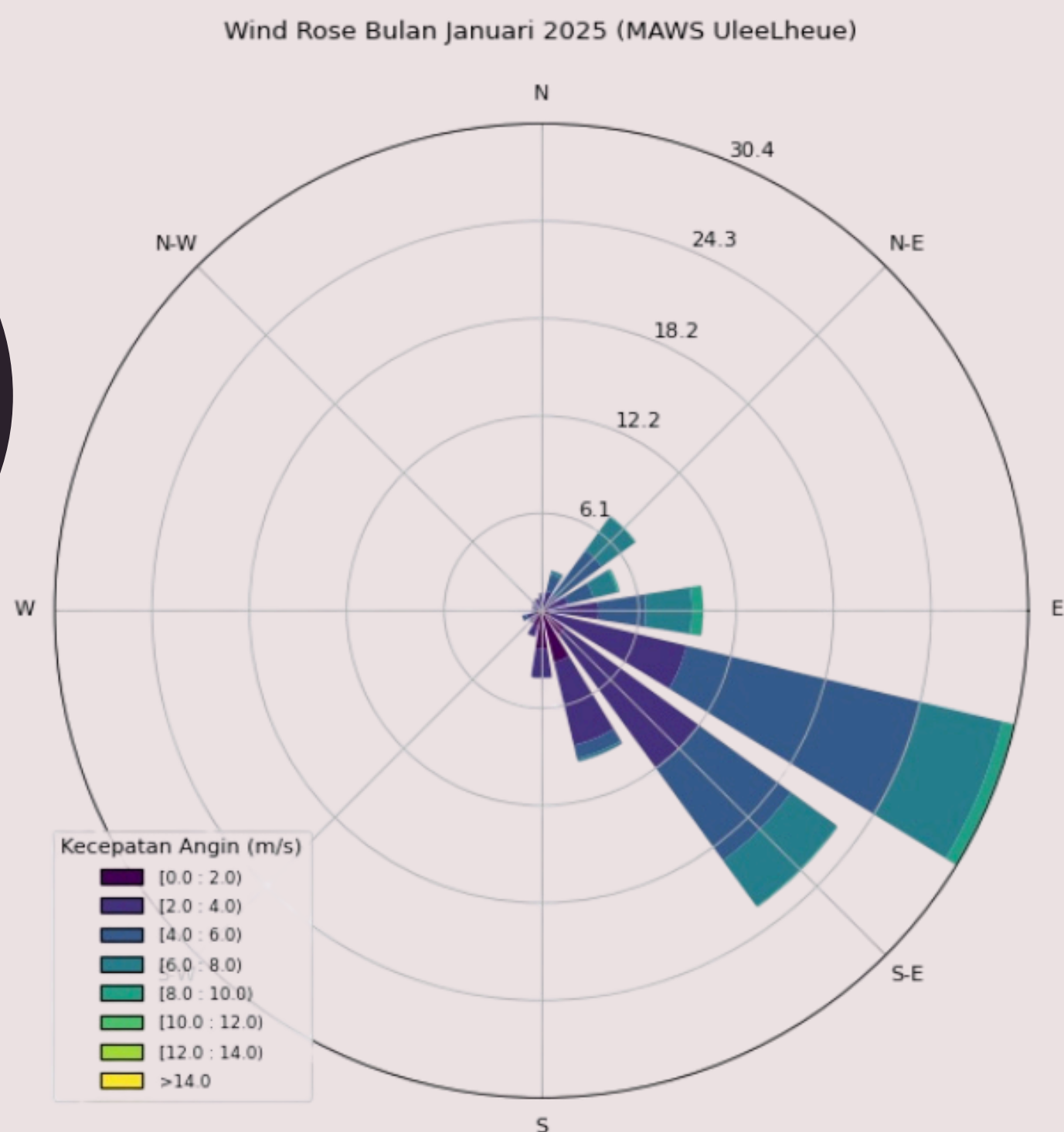
MAWS atau yang disebut juga Marine AWS dilengkapi dengan sensor suhu udara, kelembapan, tekanan udara, arah dan kecepatan angin, radiasi matahari, curah hujan, suhu permukaan laut, water level dan pH. Pada buletin kali ini akan dibahas hasil analisis data MAWS untuk menggambarkan variasi angin, water level, dan kualitas air selama periode bulan Januari 2025 di Lokasi MAWS Ulee Lheue, Garongkong dan Merauke.



Gambar 2. MAWS Ulee Lheue (kanan), Garongkong (tengah) dan Merauke (kanan)

1. Variabilitas arah dan kecepatan angin

Hasil pengolahan data arah dan kecepatan angin dari pengamatan MAWS disajikan dalam bentuk diagram mawar (*windrose*) untuk melihat arah dan kecepatan angin dominan di wilayah MAWS terpasang atau di sekitar wilayah pesisir. Data arah dan kecepatan angin yang digunakan yaitu data pada periode bulan Januari 2025.



Gambar 1. *Windrose* MAWS Ulee Lheue bulan Januari 2025

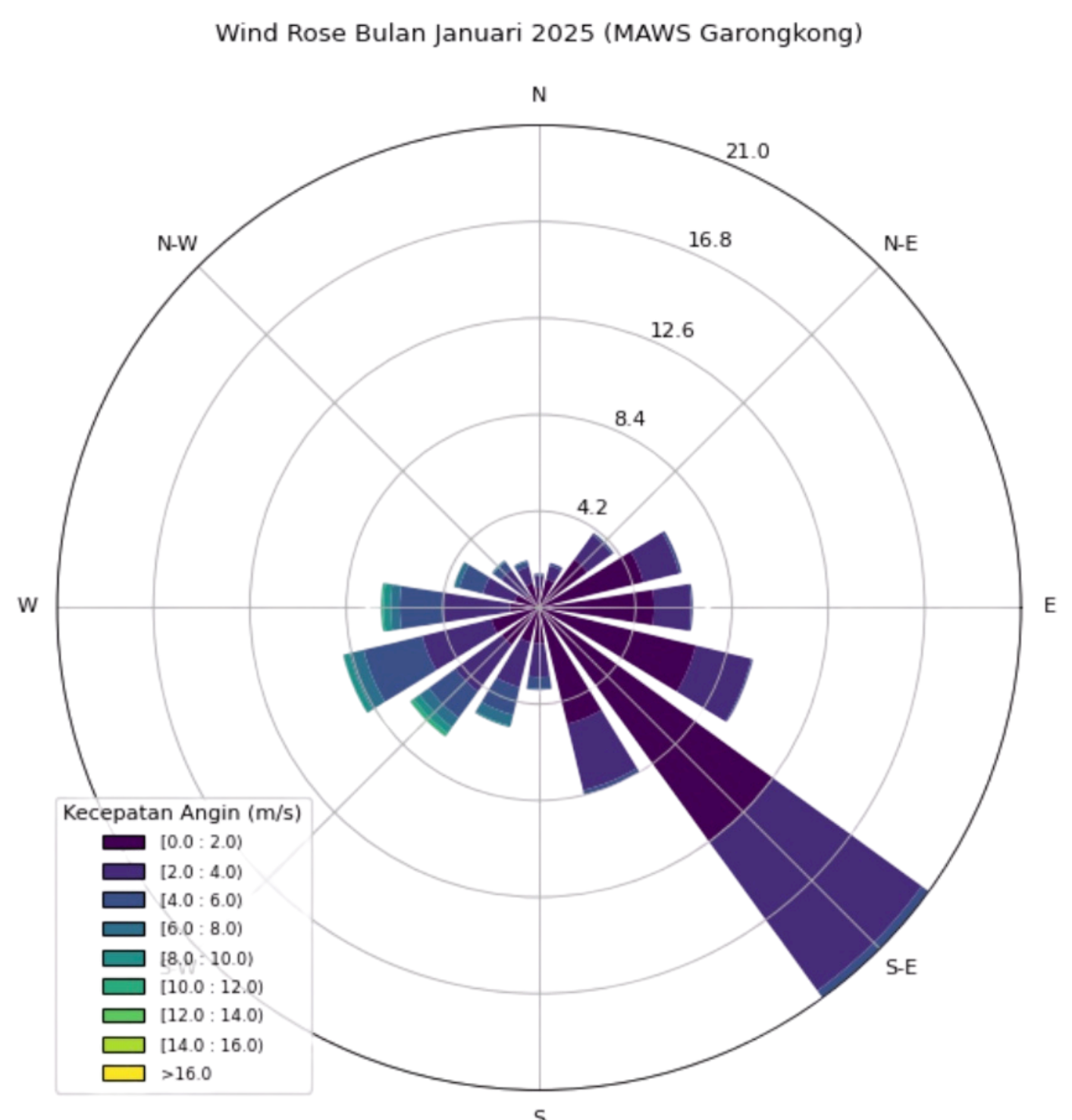
Berdasarkan Gambar 1. tersebut diketahui bahwa *windrose* menunjukkan distribusi arah angin selama bulan Januari 2025 di Lokasi MAWS Ulee Lheue. Secara umum selama Januari 2025 arah angin dominan berhembus dari timuran. Angin dominan datang dari arah Timur Tenggara dengan persentase sebesar 30.4% dan kecepatan dominan 4 – 6 m/s. Kecepatan angin terendah anatar 0 – 2 m/s dan kecepatan maksimum mencapai 8 – 10 m/s.

Selanjutnya, berdasarkan pada Gambar 2. diketahui bahwa selama periode bulan Januari di lokasi MAWS Garongkong arah -

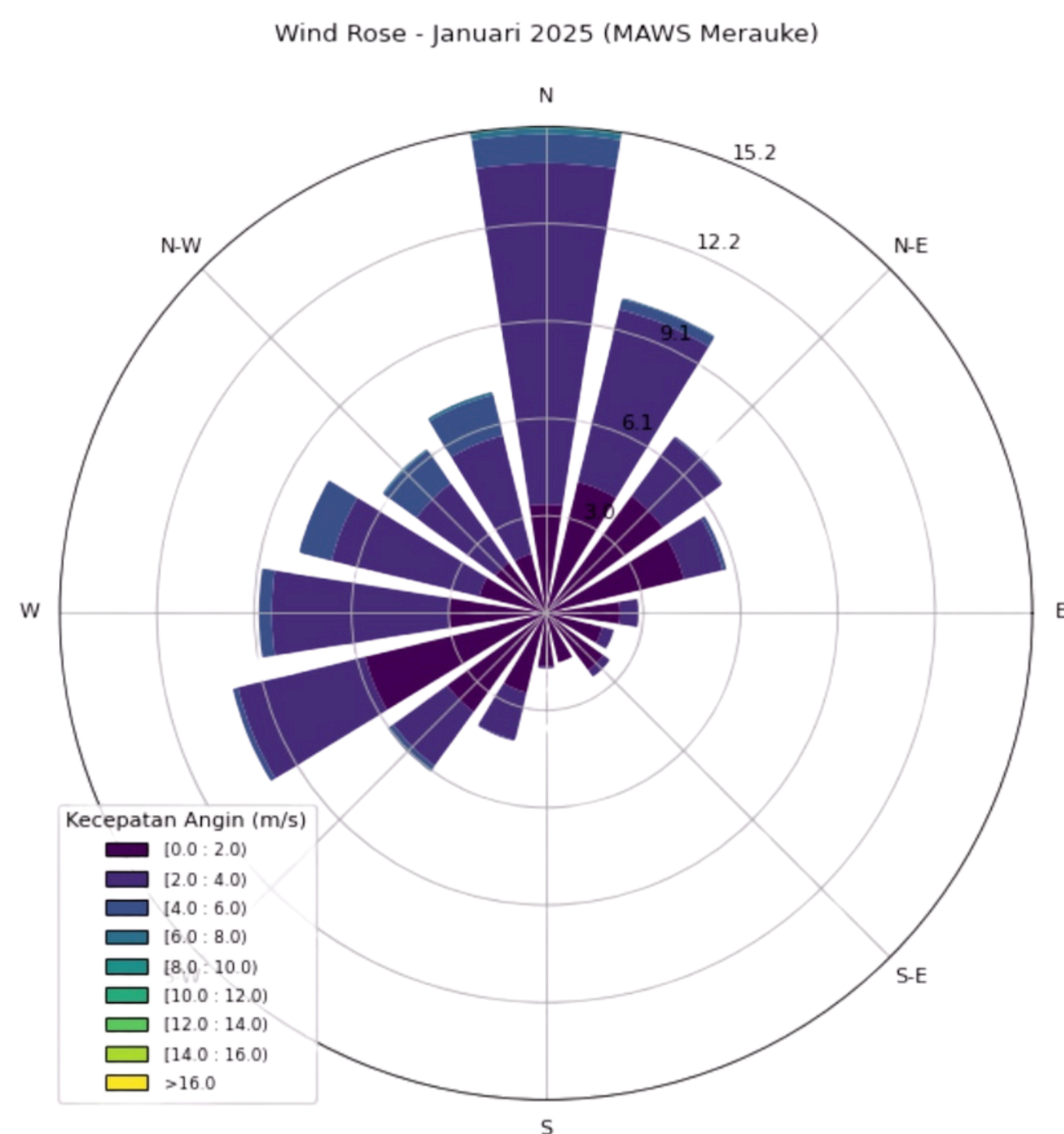
angin secara umum bervariasi namun dominan berasal dari arah Tenggara dengan persentase sebesar 21% dan kecepatan angin dominan berkisar 0 – 2 m/s. Kecepatan angin terendah antara 0 – 2 m/s dan kecepatan maksimum mencapai 8 – 10 m/s.

Berdasarkan Gambar 3. di Merauke selama periode bulan Januari 2025 arah angin secara umum bervariasi berasal dari baratan dan arah angin dominan berasal dari Utara dengan persentase 15.2% dan kecepatan dominan berkisar 2 – 4 m/s. Kecepatan angin minimum antara 0 – 2 m/s dan kecepatan angin maksimum antara 6 – 8 m/s.

Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa secara umum variasi angin di wilayah Indonesia barat, Tengah dan timur memiliki kondisi yang berbeda. Wilayah Ulee Lheue dan Garongkong secara umum didominasi oleh arah angin dari timuran. Sedangkan wilayah Merauke, justru sebaliknya. Arah angin secara umum berhembus dari baratan. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan kondisi geografis pada masing – masing wilayah tersebut.



Gambar 2. *Windrose* MAWS Garongkong bulan Januari 2025

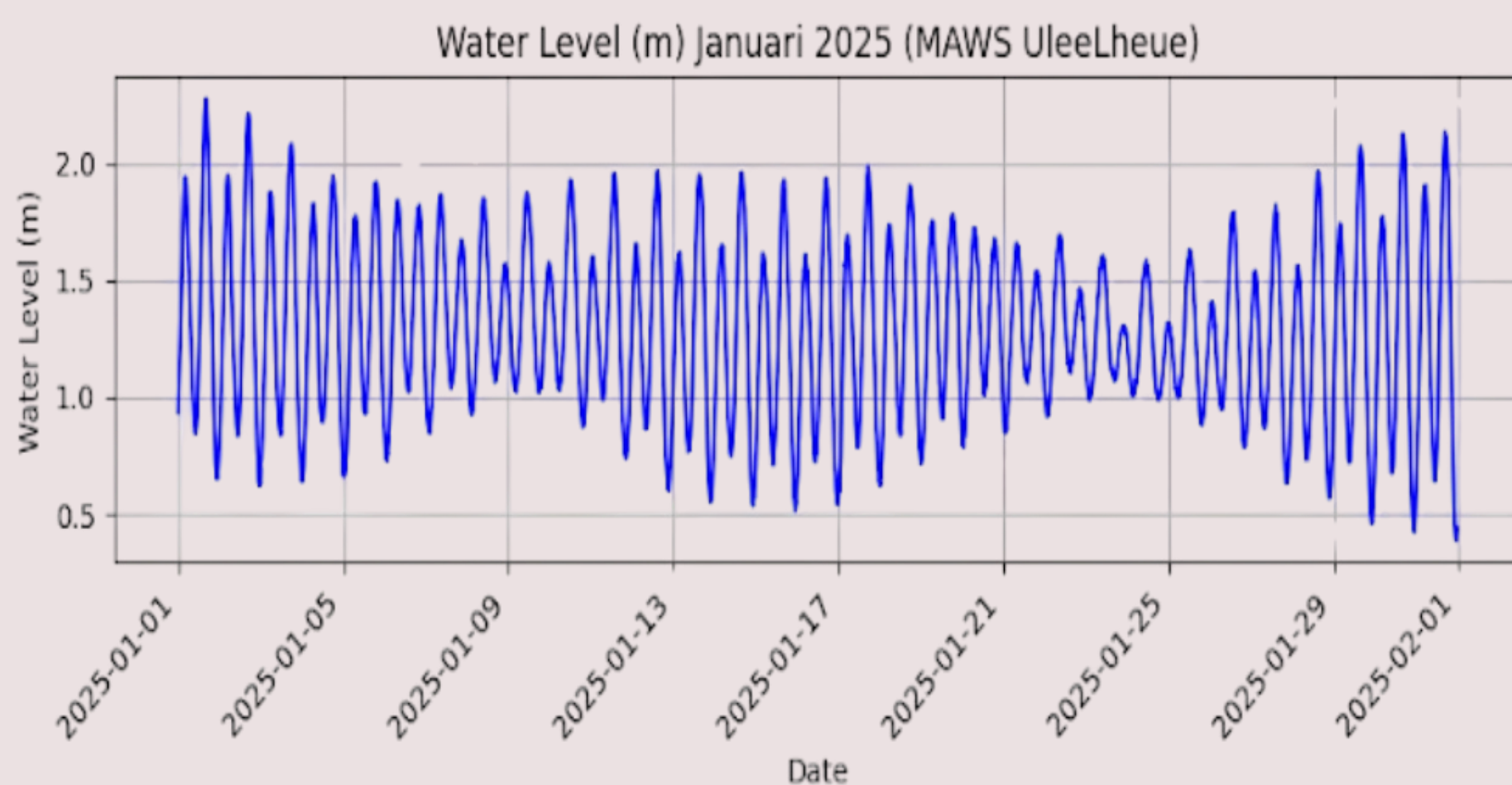


Gambar 3. Windrose MAWS Merauke bulan Januari 2025

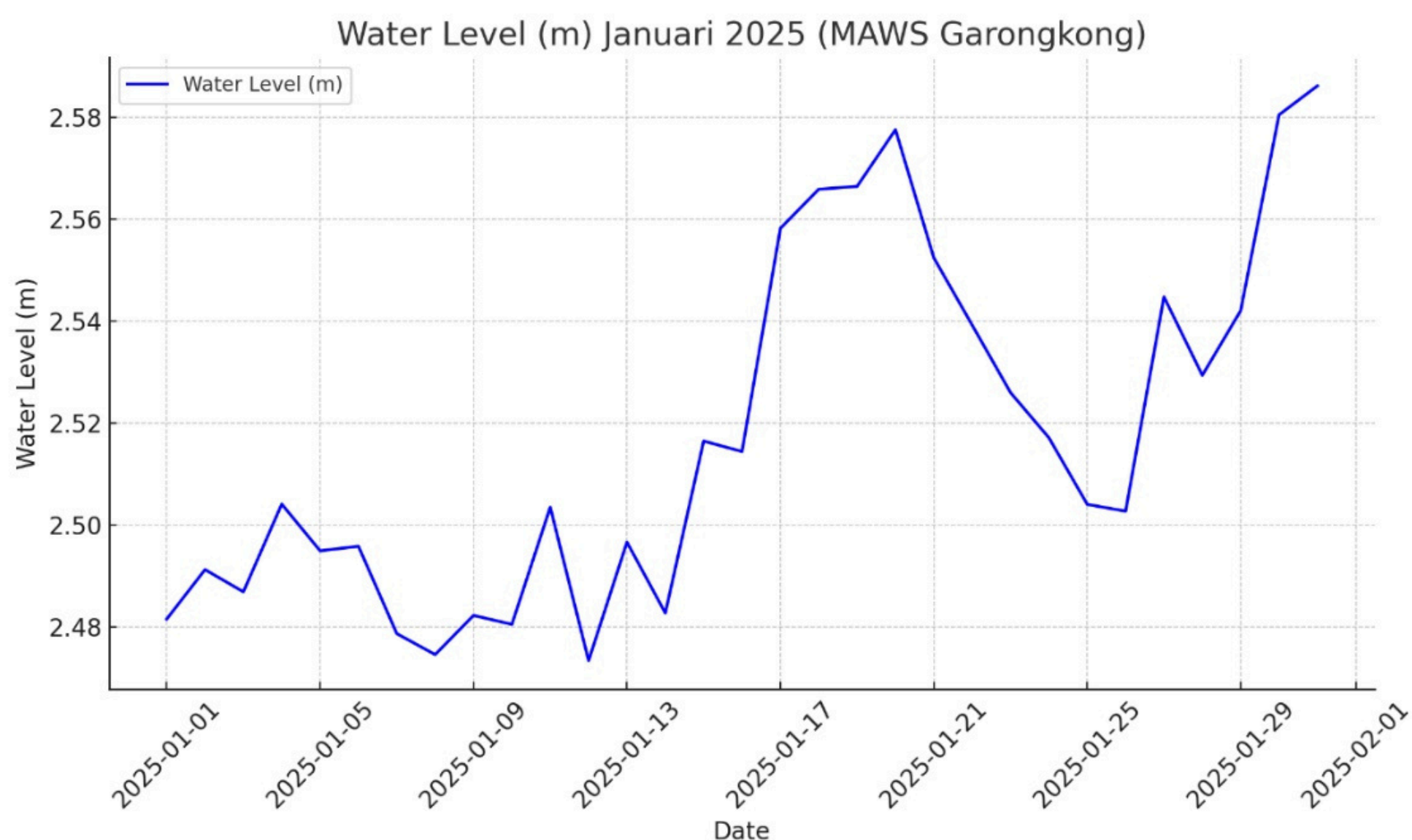
2. Water Level

Water level menggambarkan ketinggian muka air laut di suatu wilayah dan dapat dimanfaatkan untuk prediksi pasang surut. Berdasarkan Gambar 4. dapat diketahui perubahan tinggi muka air laut di wilayah Ulee Lheue sepanjang bulan Januari 2025. Grafik ini menunjukkan fluktuasi tinggi muka air yang terjadi setiap hari pada bulan Januari 2025. Gambar menunjukkan pola gelombang yang berulang secara teratur, yang menunjukkan adanya gelombang pasang surut harian.

Jika dilihat dari frekuensi yang relatif teratur dengan dua puncak setiap hari, ini menunjukkan bahwa fenomena ini kemungkinan adalah pasang surut semi-diurnal, di mana terdapat dua siklus pasang dan surut dalam sehari. Pasang surut ini terjadi dua kali sehari, dengan perubahan tinggi muka air yang cenderung konsisten. Tinggi muka air bervariasi antara 0.5 hingga 2 meter. Ada beberapa titik di mana tingkat air mencapai puncaknya di sekitar 2 meter, dan pada titik lain turun lebih rendah sekitar 0.5 meter.



Gambar 4. Grafik *Water Level* MAWS Ulee Lheue

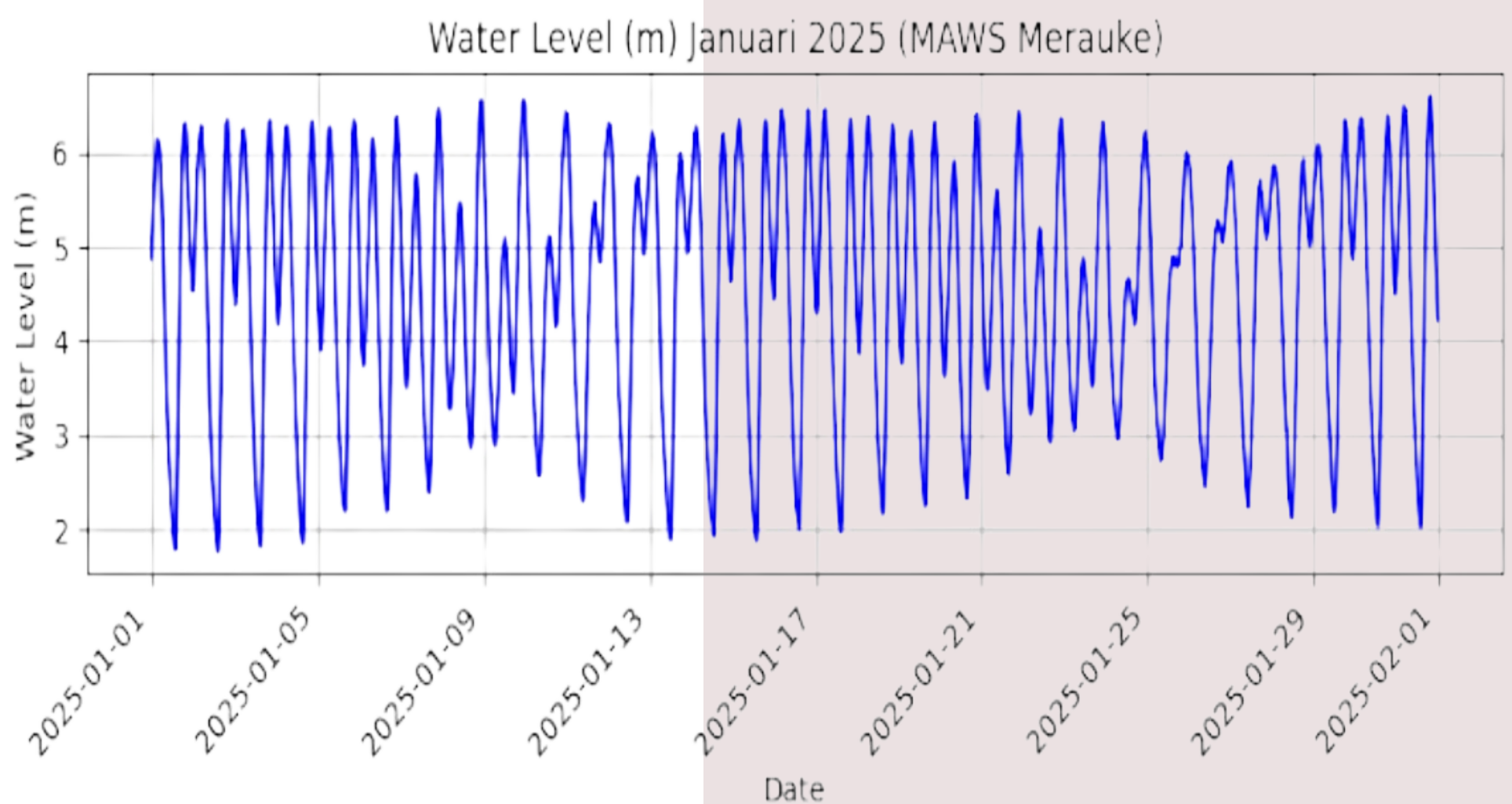


Gambar 5. Grafik Water Level MAWS Garongkong

Berdasarkan Gambar 5. diketahui nilai *water level* bulan Januari 2025 pada MAWS Garongkong. Gambar menunjukkan perubahan yang tidak teratur dan cenderung tidak mengikuti pola yang konsisten dari waktu ke waktu. Hal ini menunjukkan kemungkinan adanya pola pasang surut campuran (*mixed tides*). Jenis ini terjadi ketika terdapat lebih dari dua puncak pasang dan lebih dari dua lembah surut dalam satu periode, namun amplitudo atau kedalaman pasang surutnya bervariasi tidak teratur. Jenis pasang surut campuran ini umum terjadi di beberapa daerah yang memiliki faktor pengaruh lokal yang lebih besar, seperti perubahan iklim musiman, angin, hujan, dan kondisi geografi yang mempengaruhi level air laut. Pada grafik tersebut diketahui adanya kenaikan yang tajam pada akhir Januari 2025, dengan level air meningkat secara signifikan, mencapai lebih dari 2,5 meter pada 29 Januari. Peningkatan tajam ini dapat disebabkan oleh faktor lain selain pasang surut alami, seperti hujan lebat, angin kencang, atau faktor geografi setempat.

Berdasarkan grafik *water level* bulan Januari 2025 pada MAWS Merauke (Gambar 6), diketahui bahwa grafik menunjukkan fluktuasi level air yang teratur, dengan dua puncak pasang dan dua lembah surut yang terjadi dalam satu hari. Hal ini menunjukkan bahwa kemungkinan pola pasang surut lokasi tersebut adalah semi-diurnal. Semi-diurnal berarti ada dua siklus pasang dan dua siklus surut dalam satu hari, dan biasanya terjadi karena pengaruh posisi bulan dan matahari yang memengaruhi gaya gravitasi Bumi. Fluktuasi yang terjadi dalam grafik ini cukup teratur, dengan interval waktu yang konsisten antara puncak dan lembah pasang surut.

Meskipun fluktuasi pasang surut menunjukkan pola yang teratur, kenaikan atau penurunan level air mungkin disebabkan oleh perubahan cuaca, angin, atau curah hujan yang terjadi selama bulan Januari. Data *water level* kemudian digunakan untuk melakukan prediksi pasang surut. Dari hasil prediksi tersebut kemudian dilakukan verifikasi terhadap kesesuaian data yang dihasilkan. Hasilnya bahwa pada periode Januari 2025 nilai akurasi prediksi lokasi MAWS Ulee Lheue, Garongkong dan Merauke secara berturut – turut bernilai 99.72%, 97.21% dan 90.61%.



Gambar 6. Grafik Water Level MAWS Merauke

3. Monitoring Kualitas Air Wilayah Pesisir

Marine AWS dari Proyek *Maritime Meteorological System* (MMS-1) telah dilengkapi sensor *water quality (water temperature, pH, conductivity sensor)* yang bisa digunakan sebagai sarana pemantauan kualitas air di pesisir. Pada bagian ini akan dilakukan pemantauan kualitas air laut menggunakan nilai pH (kecuali MAWS Merauke dikarenakan sensor pH dalam pemeliharaan), salinitas dan suhu permukaan laut selama bulan Januari 2025. Pemantauan kualitas air laut merujuk pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut. Baku mutu air laut tersebut dibagi untuk perairan pelabuhan, wisata bahari, dan biota laut seperti pada tabel berikut.

Tabel 1. Baku Mutu Air Laut

Baku Mutu Air	pH	Salinitas	Suhu Air
Perairan Pelabuhan	6.5 - 8.5	Bervariasi pagi siang malam	Bervariasi pagi siang malam
Wisata Bahari	7 - 8.5	Bervariasi pagi siang malam	Bervariasi pagi siang malam
Biota Laut	7 - 8.5	Bervariasi pagi siang malam Coral: 33 - 34 Mangrove: s/d 34 Lamun (seagrass): 33 - 34	Bervariasi pagi siang malam Coral: 28 - 30 Mangrove: 28 - 32 Lamun (seagrass): 28 - 30

Selain itu, jenis perairan bisa dikategorikan berdasarkan nilai salinitasnya, yaitu sebagai berikut:

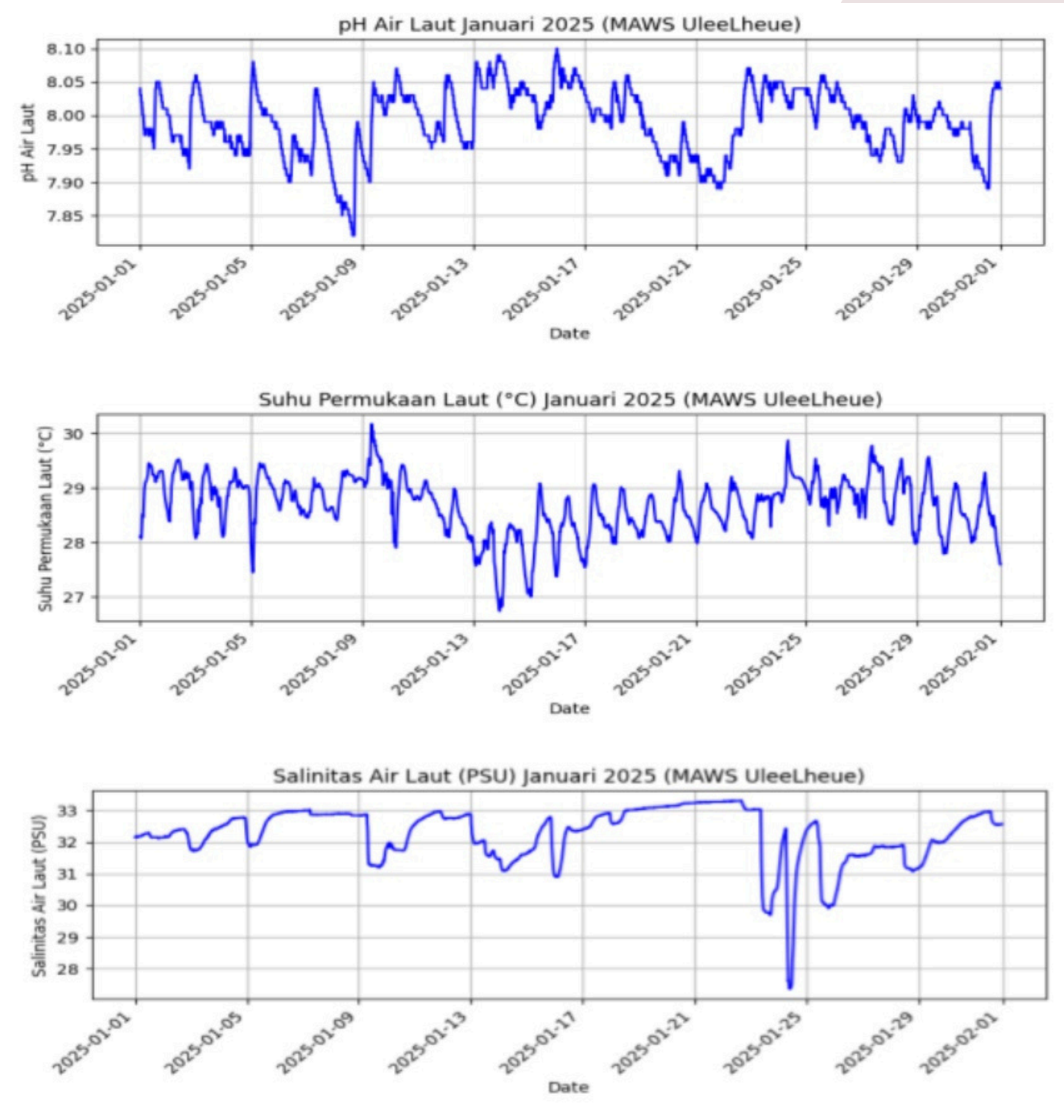
Tabel 2. Kategori Perairan menurut Nilai Salinitas

Jenis Perairan	Nilai Salinitas (ppt atau PSU)
Perairan tawar (<i>fresh water</i>)	0 - 5
Perairan payau (<i>brakish water</i>)	5 - 30
Perairan laut (<i>saline water</i>)	30 - 50
Perairan hipersaline (<i>brine water</i>)	> 50

Gambar 7 adalah grafik pH, Suhu Permukaan Laut, dan Salinitas Air Laut di MAWS Ulee Lheue selama Januari 2025. Grafik pH air laut menunjukkan fluktuasi yang beragam, namun tetap berada dalam rentang 7.5 hingga 8.5 sepanjang Januari 2025. Kualitas pH air laut di stasiun MAWS Ulee Lheue menunjukkan hasil yang baik, dengan nilai pH yang stabil dalam kisaran yang aman untuk ekosistem laut.

Grafik suhu permukaan laut menunjukkan suhu bervariasi antara 27°C – 30°C, dengan sedikit fluktuasi yang lebih tinggi pada beberapa hari tertentu. Suhu permukaan laut cenderung stabil dan berada dalam rentang yang umumnya aman bagi kehidupan laut. Sehingga perairan di pesisir Ulee Lheue dapat mendukung kehidupan biota laut seperti terumbu karang, bakau dan lamun.

Selanjutnya, grafik salinitas menunjukkan fluktuasi yang cukup besar, dengan beberapa nilai salinitas turun di bawah 30 PSU pada akhir Januari 2025 dan mencapai puncak lebih dari 32 PSU. Sehingga perairan didominasi oleh air payau. Namun, nilai fluktuasi secara keseluruhan berada dalam rentang yang dapat diterima. Perlu pemantauan lebih lanjut terkait nilai ekstrem di bawah 30 PSU yang dapat berisiko bagi kehidupan laut, terutama bagi spesies yang sensitif terhadap perubahan salinitas.

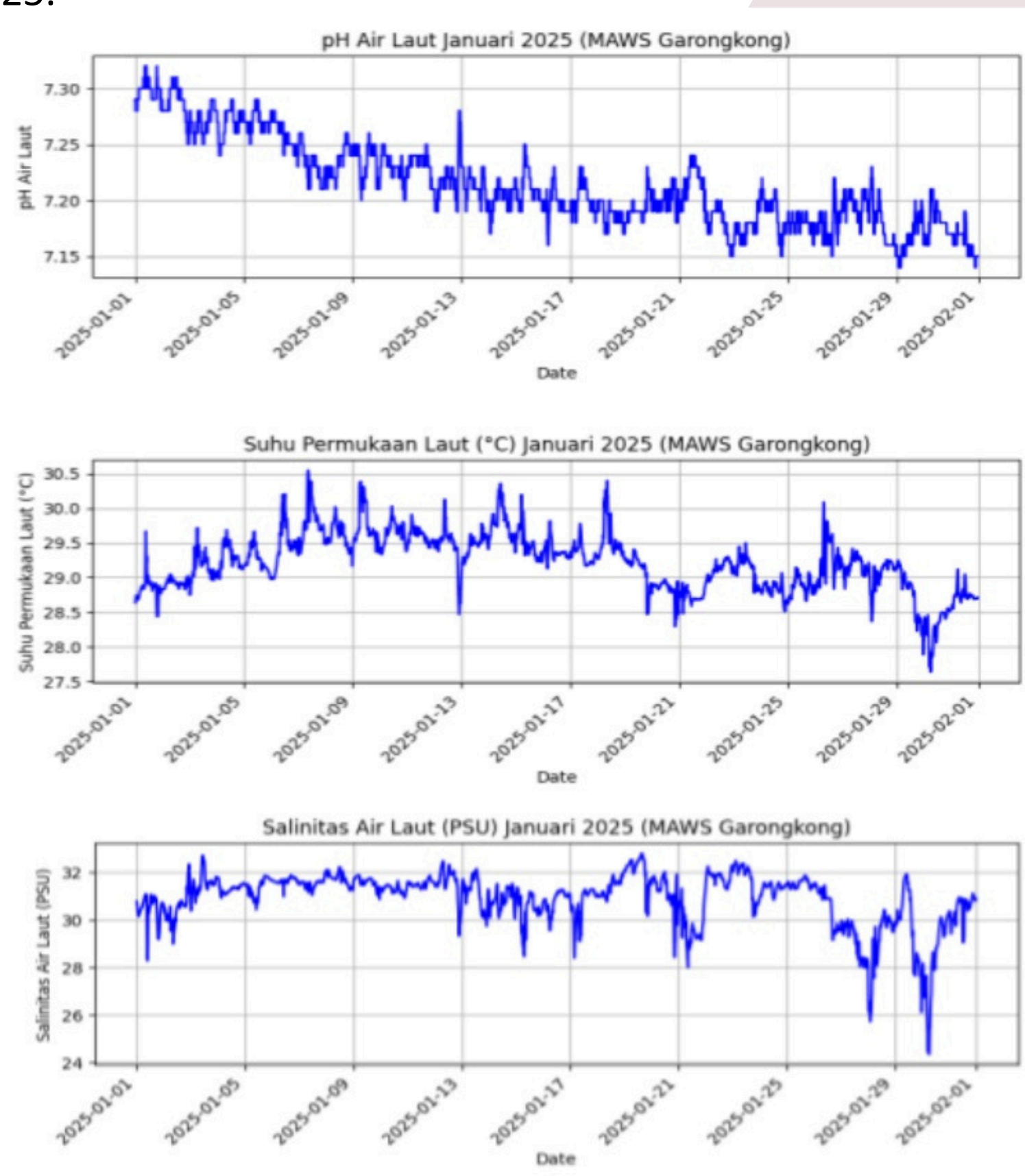


Gambar 7. Grafik pH, Suhu Permukaan dan Salinitas MAWS Ulee Lheue

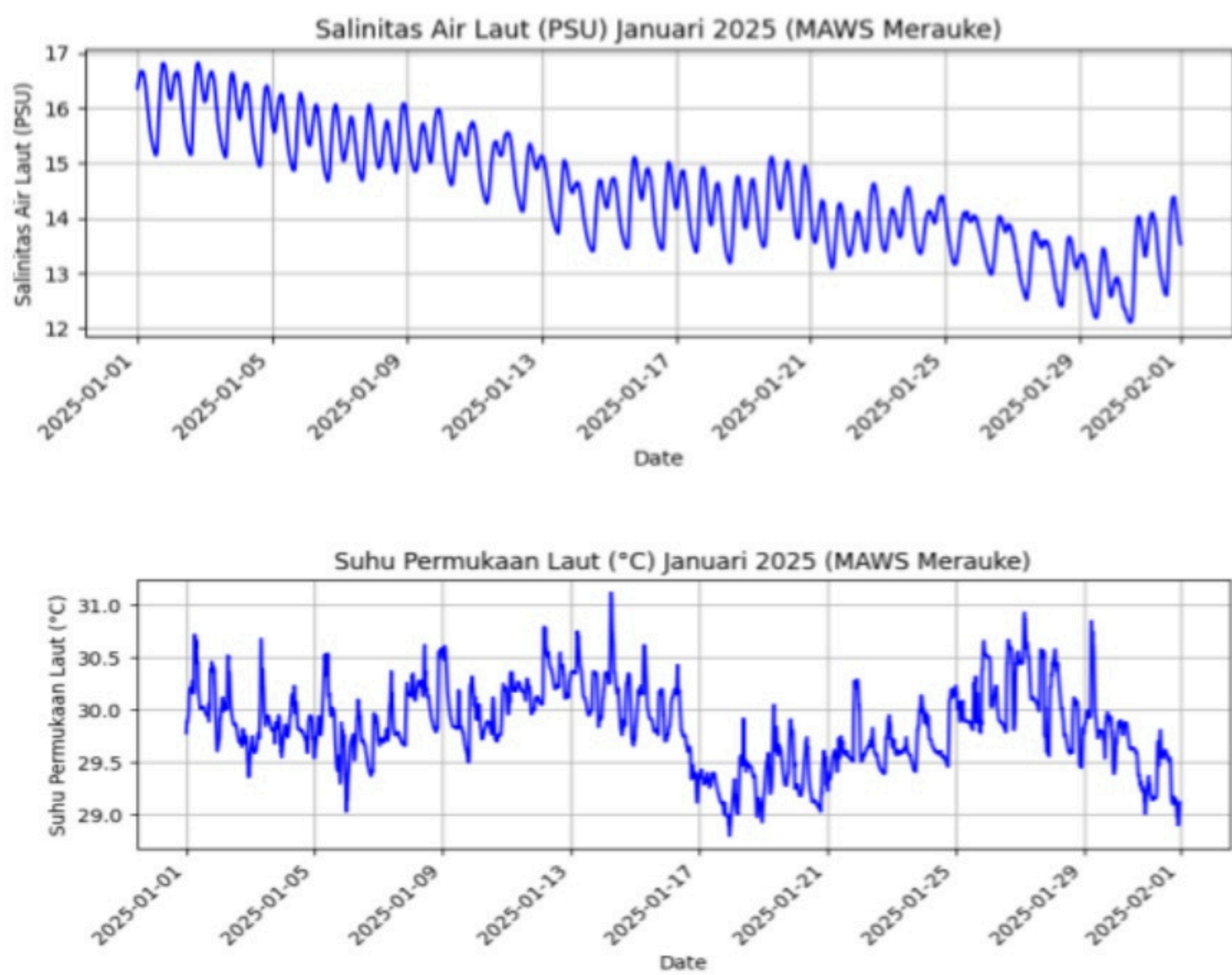
Pada grafik Gambar 8. menunjukkan fluktuasi pH air laut yang cenderung stabil dalam rentang 7.2 – 7.8 sepanjang Januari 2025 dan berada dalam batas yang dapat diterima untuk kebanyakan kehidupan laut. Grafik menunjukkan fluktuasi suhu permukaan laut antara 28°C – 30.5°C, dengan beberapa titik mencapai di atas 30°C. Sehingga perairan pesisir Garongkong dapat mendukung kehidupan biota laut seperti terumbu karang, bakau dan lamun. Selanjutnya, grafik salinitas menunjukkan fluktuasi antara 28 – 32 PSU. Sehingga Perairan didominasi dengan air payau. Variabilitas nilai salinitas ini dapat disebabkan oleh faktor eksternal seperti curah hujan yang tinggi atau pengaruh air tawar yang masuk ke laut.

Grafik salinitas (Gambar 9) menunjukkan fluktuasi nilai yang rendah jika dibandingkan dengan 2 lokasi lainnya sepanjang Januari 2025.

Nilai salinitas berkisar antara 12 – 16 PSU. Sehingga perairan pesisir Merauke didominasi oleh perairan payau. Nilai salinitas yang terjadi dapat disebabkan oleh adanya pengaruh air tawar yang mengalir ke laut, seperti hujan lebat atau air sungai. Salinitas yang rendah ini dapat berdampak pada kelangsungan hidup organisme laut, terutama yang membutuhkan salinitas lebih tinggi. Karena salinitas yang lebih rendah dapat mempengaruhi banyak organisme laut, perlu dilakukan pemantauan lebih lanjut terhadap penyebab fluktuasi ini, baik dari faktor alami maupun pengaruh manusia. Selanjutnya, grafik suhu permukaan laut menunjukkan fluktuasi antara 29°C – 31°C, dengan sebagian besar data berada di atas 30°C pada sebagian besar bulan Januari 2025. Meskipun terdapat nilai yang bervariasi namun rentang nilai suhu permukaan ini dapat mendukung kehidupan biota laut seperti terumbu karang, bakau dan lamun.



Gambar 8. Grafik pH, Suhu Permukaan dan Salinitas MAWS Garongkong



Gambar 9. Grafik Salinitas dan Suhu Permukaan MAWS Merauke



BMKG

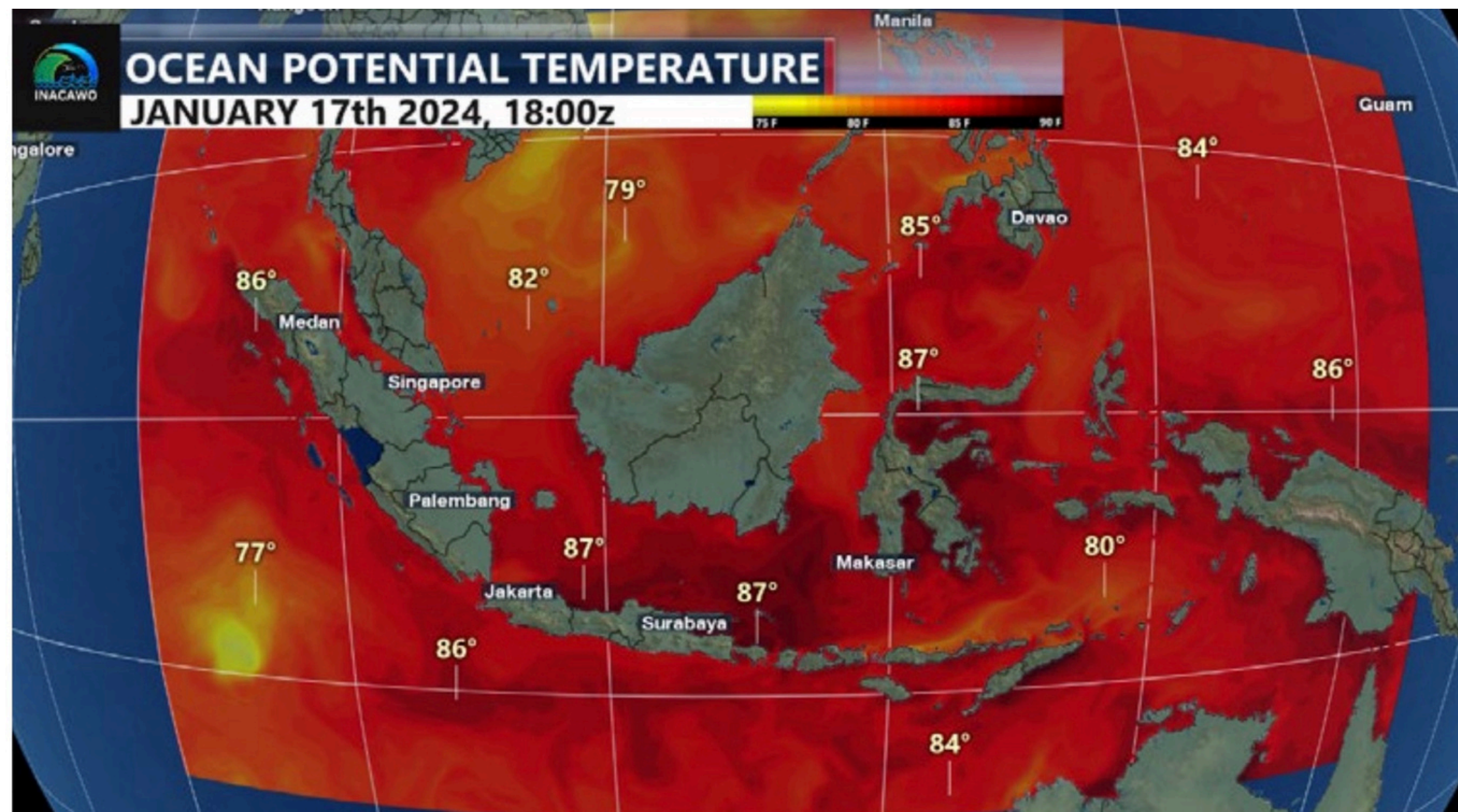
INDONESIA

Ina-CAWO

COUPLED ATMOSPHERE-WAVE-OCEAN

(InaCAWO)

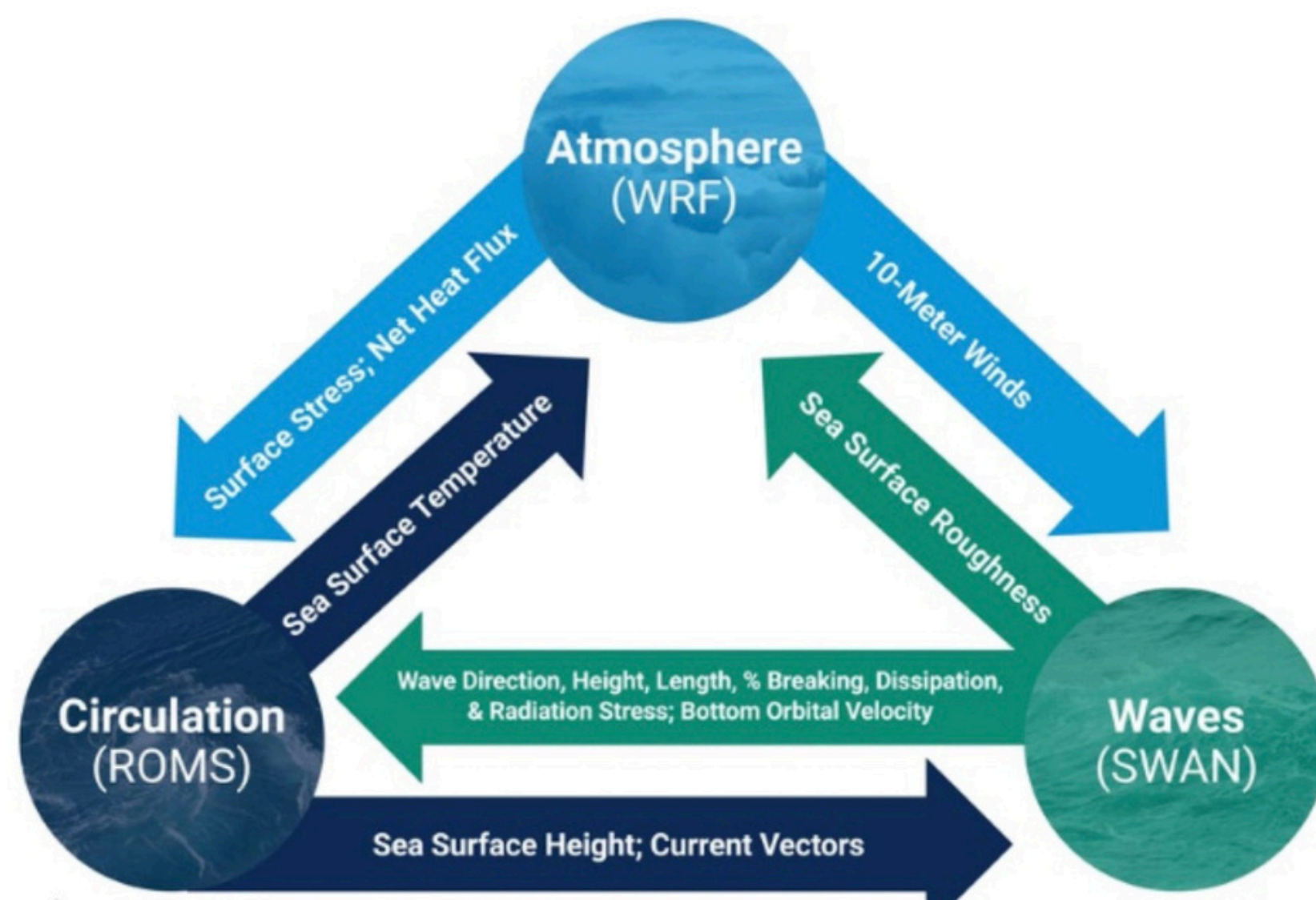
INDONESIA COUPLED ATMOSPHERE-WAVE-OCEAN



Pemodelan numerik memegang peranan penting dalam memprediksi kondisi cuaca dan laut. Pemodelan yang dengan resolusi spasial dan temporal yang lebih rapat dapat meningkatkan akurasi prediksi. BMKG sebelumnya memiliki *Ocean Forecast System* (OFS) yang terdiri dari model InaWAVES dan InaFLOWS. InaWAVES merupakan model untuk memprediksi gelombang, kecepatan angin, swell, dan windsea, sedangkan InaFLOWS adalah model yang digunakan untuk memprediksi arus, temperatur, dan salinitas. Performa OFS sangat baik dalam memprediksi kondisi laut, namun seiring dengan berkembangnya kebutuhan akan prediksi yang lebih detail dan akurat, BMKG mengembangkan model yang lebih unggul, yaitu *Indonesia Coupled Atmosphere-Wave-Ocean* (InaCAWO).

InaCAWO merupakan prakiraan yang menggabungkan secara real-time model atmosfer WRF, model gelombang spektral SWAN, dan model lautan regional ROMS. InaCAWO diproses dengan menggunakan superkomputer yang memiliki 372 *node* dengan 96 *core* per *node*. *Model-Coupling Toolkit* (MCT) pada InaCAWO memungkinkan pertukaran data setiap 30 menit. WRF dikonfigurasi dengan 48 lapisan atmosfer, yang merepresentasikan berbagai tingkat ketinggian dalam model cuaca untuk menangkap dinamika atmosfer secara detail.

ROMS menggunakan 70 lapisan di dalam laut, yang memungkinkan pemodelan arus laut, suhu, dan salinitas di berbagai kedalaman dengan resolusi tinggi. SWAN membagi spektrum gelombang laut ke dalam 36 bin spektral, yang masing-masing merepresentasikan rentang frekuensi dan arah gelombang untuk mensimulasikan propagasi dan transformasi gelombang dengan lebih akurat.



Gambar 1. Proses pertukaran data di InaCAWO

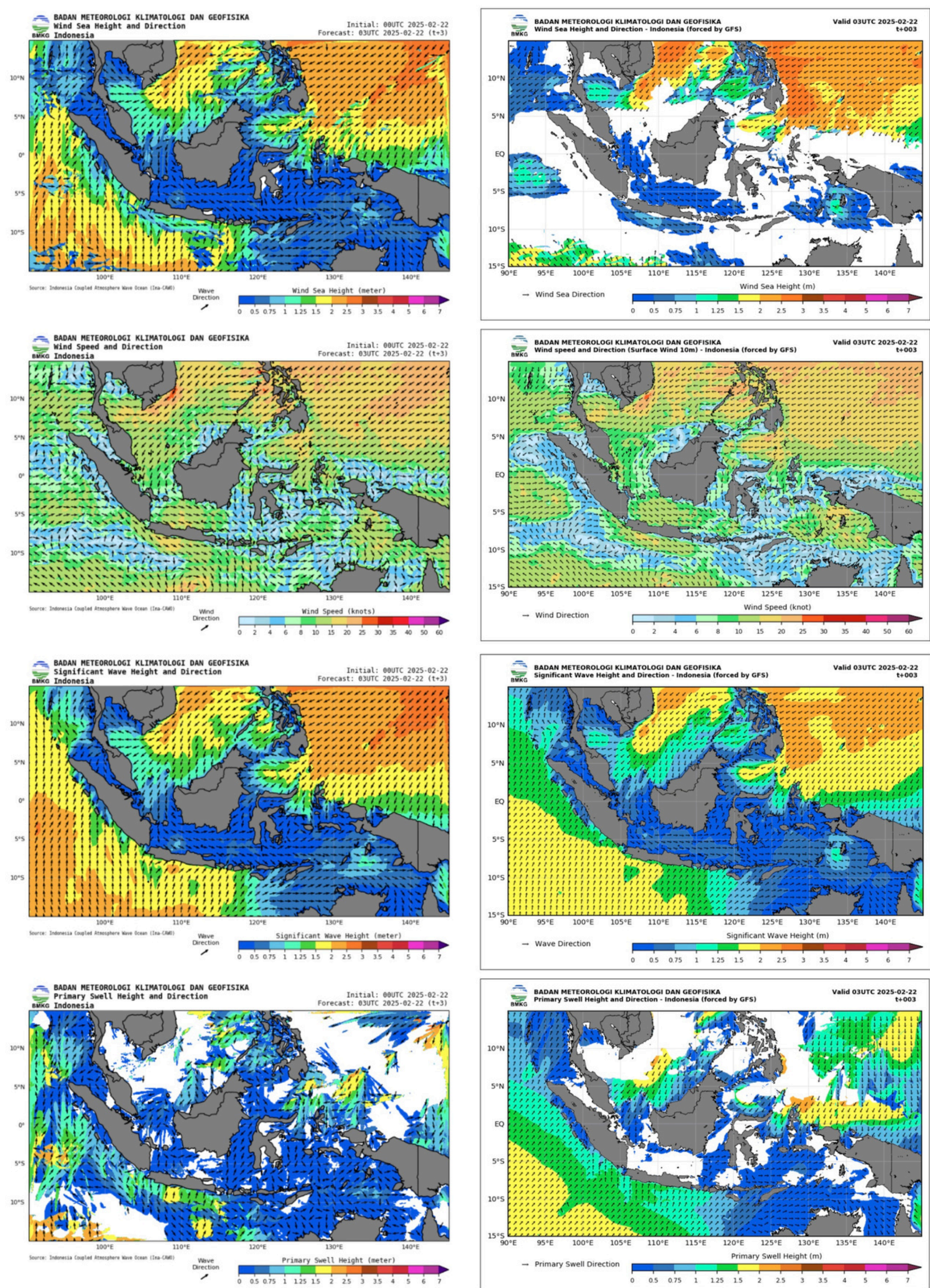
InaCAWO memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan OFS, terutama dalam hal resolusi. Resolusi spasial output yang dihasilkan model InaCAWO adalah 3 km lebih rapat dibandingkan dengan OFS yang hanya 7 km, dan resolusi temporalnya juga lebih baik yaitu per jam dibandingkan dengan OFS yang 3 jam. Pembaharuan data inisial atau baserun InaCAWO 4 kali dalam sehari pukul 00, 06, 12, dan 18 UTC dengan durasi mencapai 240 jam untuk baserun 00 dan 12 UTC dan 90 jam untuk baserun 06 dan 18 UTC. Berdasarkan hasil pengujian dari Baron Inc. kinerja optimal model diperoleh dengan menjalankan 8500 core dan dapat menyelesaikan prakir-
-aan 10 hari dalam waktu 3 jam. Lebih lengkapnya perbandingan antara InaCAWO dan OFS (InaWAVES) terdapat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Perbandingan InaCAWO dan InaWAVES

Perbedaan	InaCAWO	InaWAVES
Model	WRF, SWAN, ROMS	WaveWatch III
Input Data	ECMWF, GFS, Mercator Ocean, & HYCOM	GFS
Resolusi Spasial	3 km	7 km
Resolusi Temporal	Setiap 1 jam	setiap 3 jam
Update Baserun	4 kali (00, 06, 12, 18 UTC)	2 kali (00 dan 12 UTC)
Durasi	240 jam (00 & 12 UTC) dan 90 jam (06 & 18 UTC)	240 jam

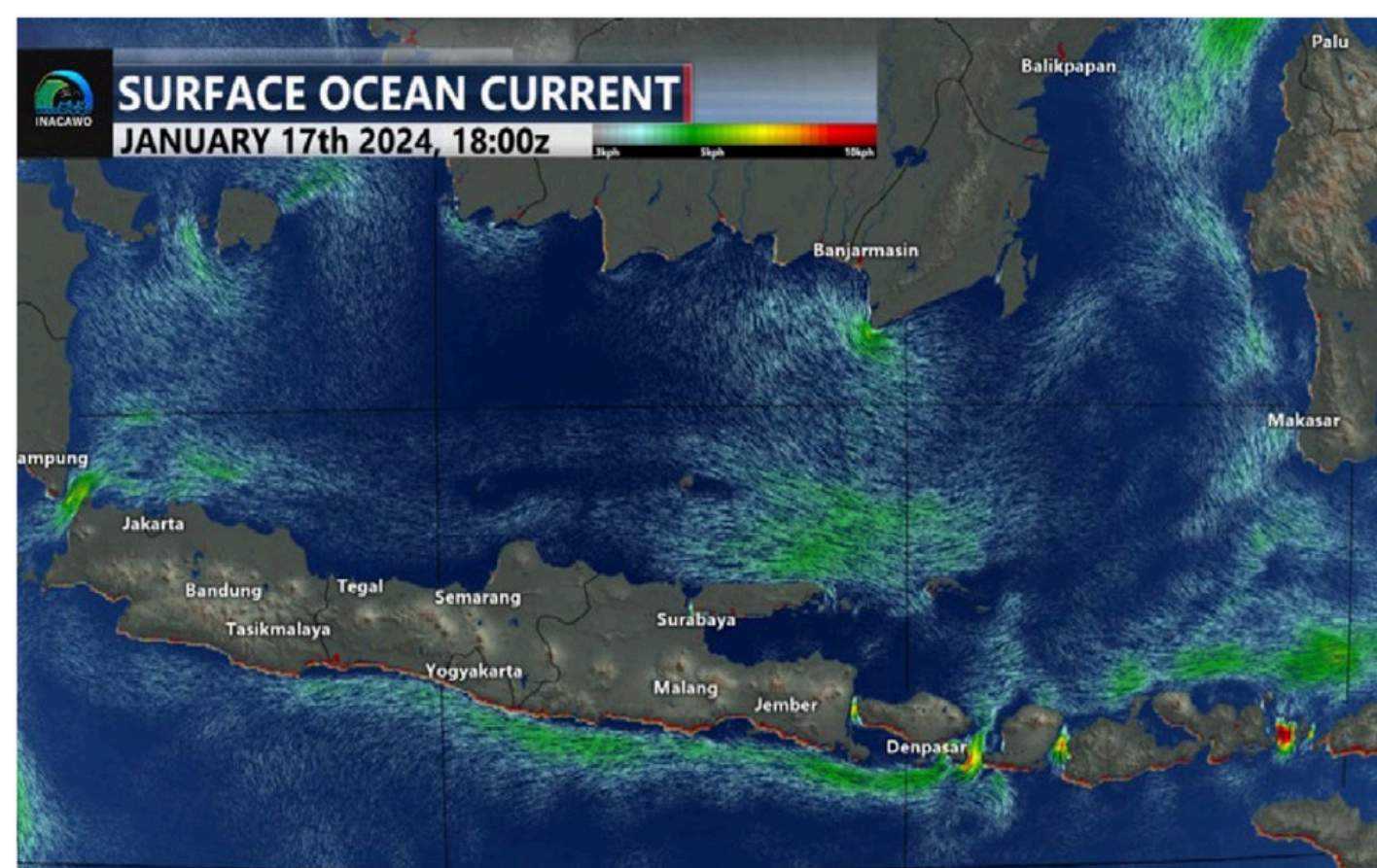
Model InaCAWO telah divalidasi dengan data pengamatan sinoptik dan *Marine Automatic Weather Station* (MAWS), kecepatan arus dan suhu permukaan laut dari drifter, tinggi gelombang signifikan dari satelit, dan pasang surut dari *tide gauge* selama 1 September 2021 hingga 31 Agustus 2022.

Hasilnya akurasi InaCAWO mencapai akurasi 86,14 %, sehingga menghasilkan prakiraan yang lebih baik. Pada gambar di bawah terlihat perbandingan InaCAWO dan OFS pada tanggal 22 Februari 2025 saat terjadi siklon tropis Bianca di Samudera Hindia Selatan Jawa Timur. Pada model InaCAWO terlihat tinggi gelombang signifikan di Samudera Hindia Selatan Jawa dan sekitarnya lebih tinggi dalam rentang 2 – 2.5 m dibandingkan dengan OFS yang hanya 1.5 – 2 m, dengan *swell* dan *wind sea* yang terlihat lebih tinggi di Samudera Hindia Selatan Jawa. Selain itu, pola tinggi gelombang signifikan pada InaCAWO di sekitar Samudera Pasifik utara Papua Barat menunjukkan pola yang sama dengan arah dan kecepatan anginnya dibandingkan dengan OFS. Kerapatan resolusi antara kedua model menjadi penyebab perbedaan ini, dengan resolusi 3 km, InaCAWO mampu menangkap variabilitas gelombang dengan lebih baik, dibandingkan OFS yang memiliki resolusi 7 km.



Gambar 2. Perbandingan hasil InaCAWO dan OFS pada tiap parameter

Dengan berbagai peningkatan dalam resolusi spasial, temporal, serta kemampuan model *coupling*, InaCAWO menjadi langkah maju dalam pemodelan prediksi kondisi cuaca dan lautan di Indonesia. Validasi yang menunjukkan akurasi tinggi membuktikan bahwa InaCAWO dapat memberikan prakiraan yang lebih detail dan akurat, yang sangat penting bagi keselamatan pelayaran, aktivitas perikanan, mitigasi bencana, serta berbagai sektor lainnya yang bergantung pada kondisi cuaca dan laut. Pengembangan model ini menegaskan komitmen BMKG dalam menghadirkan sistem prakiraan yang canggih untuk mendukung ketahanan dan keselamatan lingkungan laut di Indonesia.



Gambar 3. Keluaran produk Ina-CAWO-ROMS (sumber: Baron Weather)

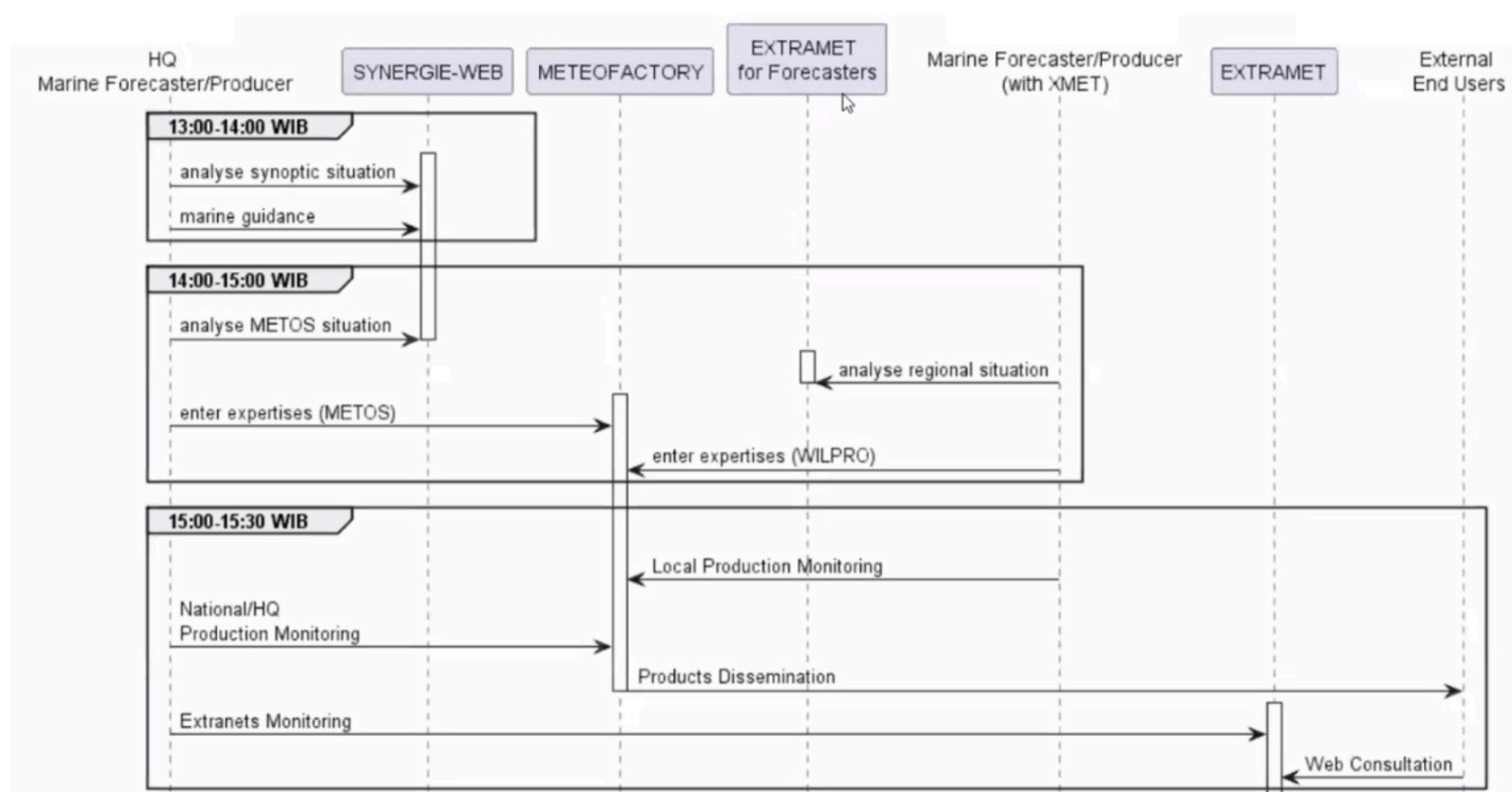
FISP

FULLY INTEGRATED SINGLE PLATFORM



FISP

Fully Integrated Single Platform (FISP) merupakan serangkaian kegiatan dari pengamatan, pengolahan data, prediksi, analisis, dan diseminasi produk informasi yang dilakukan dalam satu platform. Dari segi pengamatan, BMKG memiliki beberapa instrumen seperti *Drifters*, *Marine Automatic Weather Station* (MAWS), *High Frequency Radar* (HF Radar), *Vessel Automatic Weather Station* (VAWS), dan *Profiling Float* yang digunakan untuk mendapatkan data hasil observasi meteorologi maritim. Dari segi prediksi dan diseminasi digunakan beberapa tools seperti Synergie-Web, Meteofactory, dan Extramet, yang akan dibahas lebih banyak dalam bab ini.

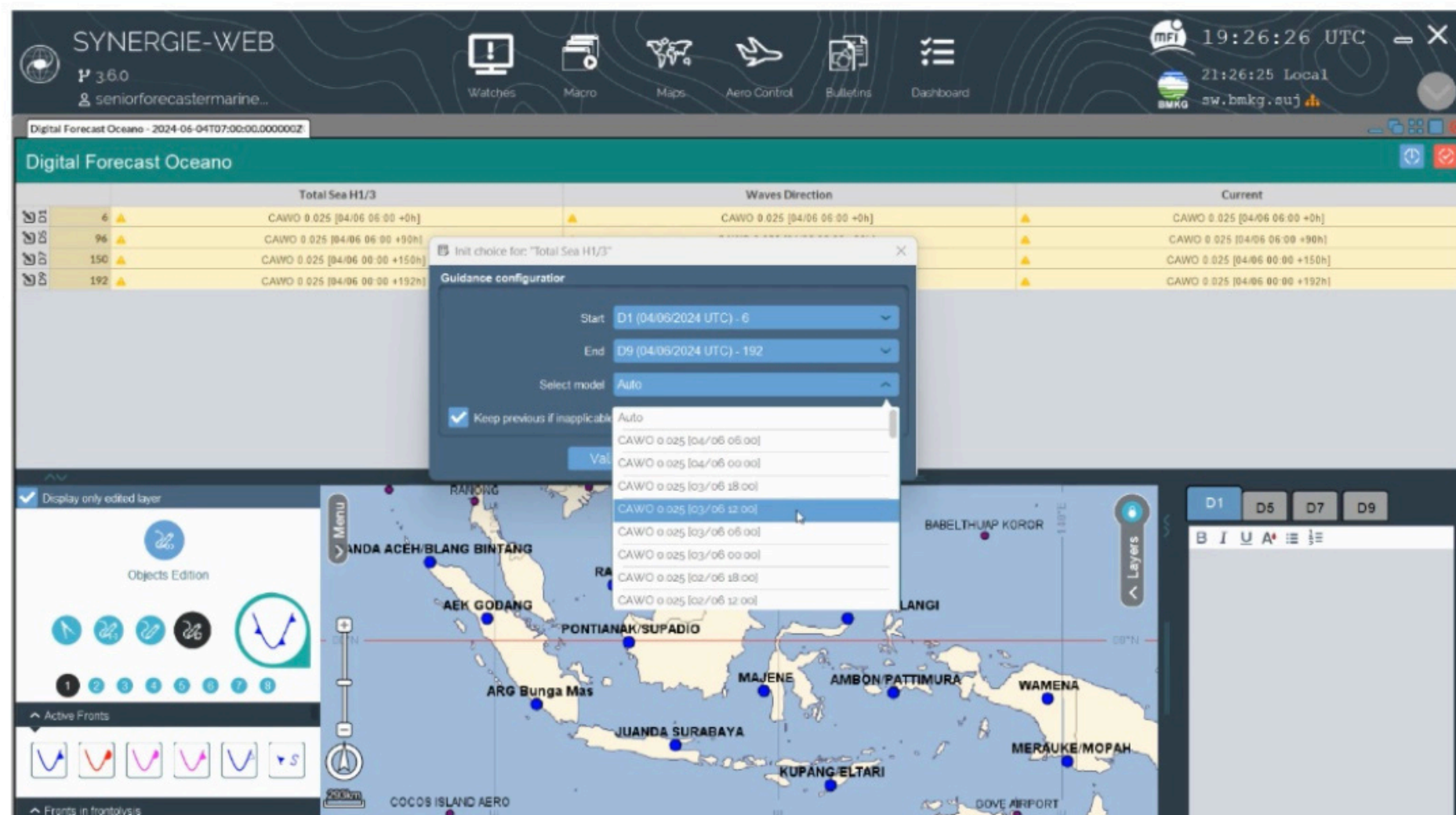


Gambar 1. Proses prediksi, diseminasi, dan monitoring dalam FISP

1. Synergie-Web

Synergie-Web dalam FISP digunakan untuk menentukan model dan base run atau data awal yang digunakan sebagai guidance model pada hari tersebut. Penentuan ini harus mempertimbangkan model yang terbaik dan base run dengan durasi yang paling panjang untuk keperluan prediksi cuaca dan kondisi laut hingga mencapai 10 hari kedepan. Khususnya untuk Maritim, model yang terbaik saat ini adalah model InaCAWO, dengan resolusi 3 km, beberapa model digunakan untuk cadangan/back up jika InaCAWO mengalami permasalahan teknis atau sedang tidak dapat digunakan. Hasil pemilihan model dan base run ini selanjutnya akan diharmonisasikan ke Extramet dan Meteofactory, sehingga seluruh UPT dapat melihat *guidance* yang dibuat oleh *Senior Forecaster* (SF) di pusat/Direktorat Meteorologi Maritim (DMM) dan menggunakan model serta *base run* yang sama.

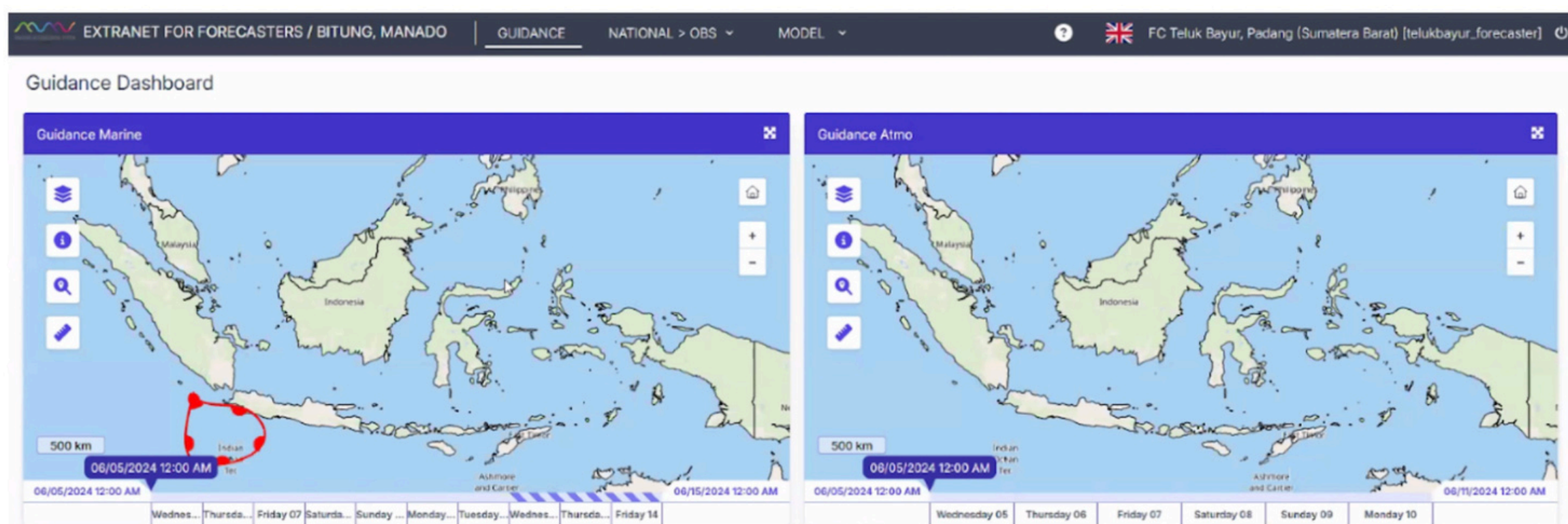
Marine Guidance



Gambar 2. Penggunaan Synergie-Web dalam penentuan model dan base run

2. Extra-Met

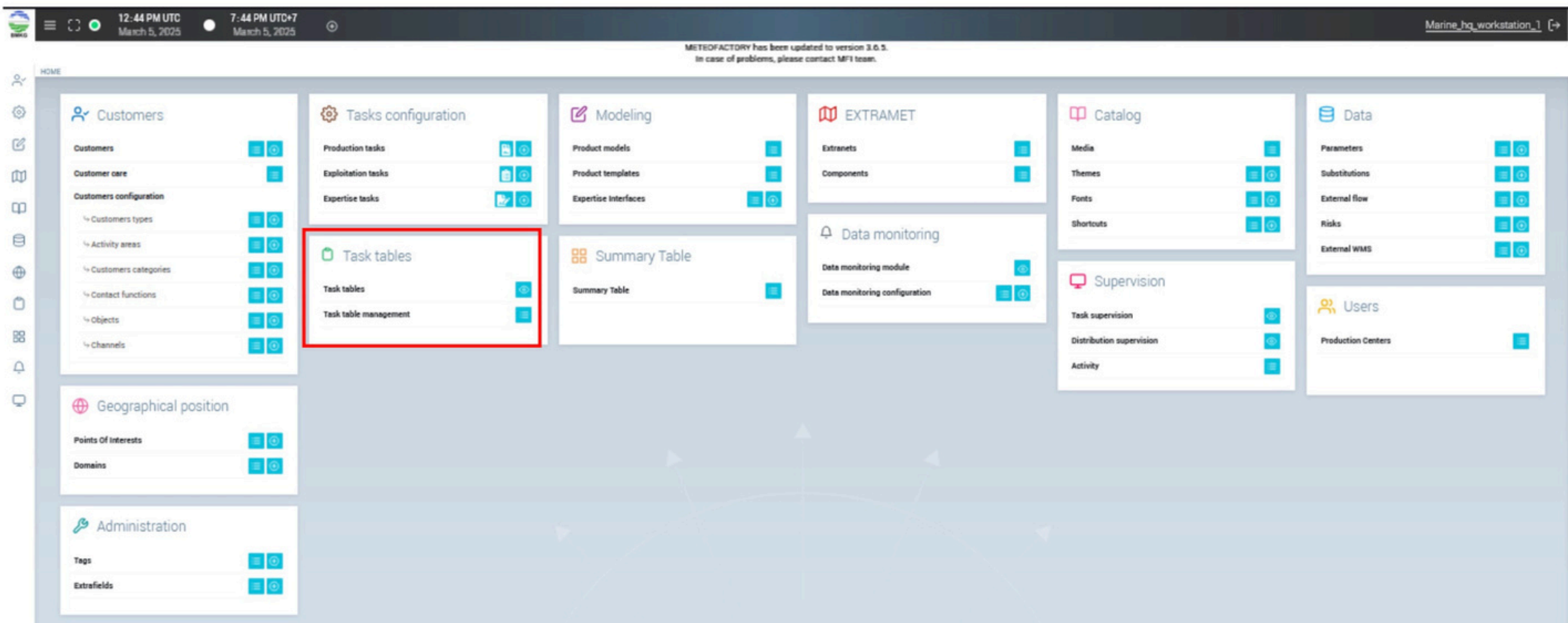
Setelah harmonisasi dari Synergie-Web, UPT dapat melihat *guidance* yang telah dibuat oleh SF Pusat/DMM sebagai pertimbangan dalam membuat prediksi. SF Pusat membuat panduan kondisi perairan dan atmosfer, dengan membagi dalam tiga kategori, yaitu Waspada (Hijau), Siaga (Biru), Awas (Merah).



Gambar 3. Tampilan extranet yang berisi guidance marine dan atmo untuk UPT

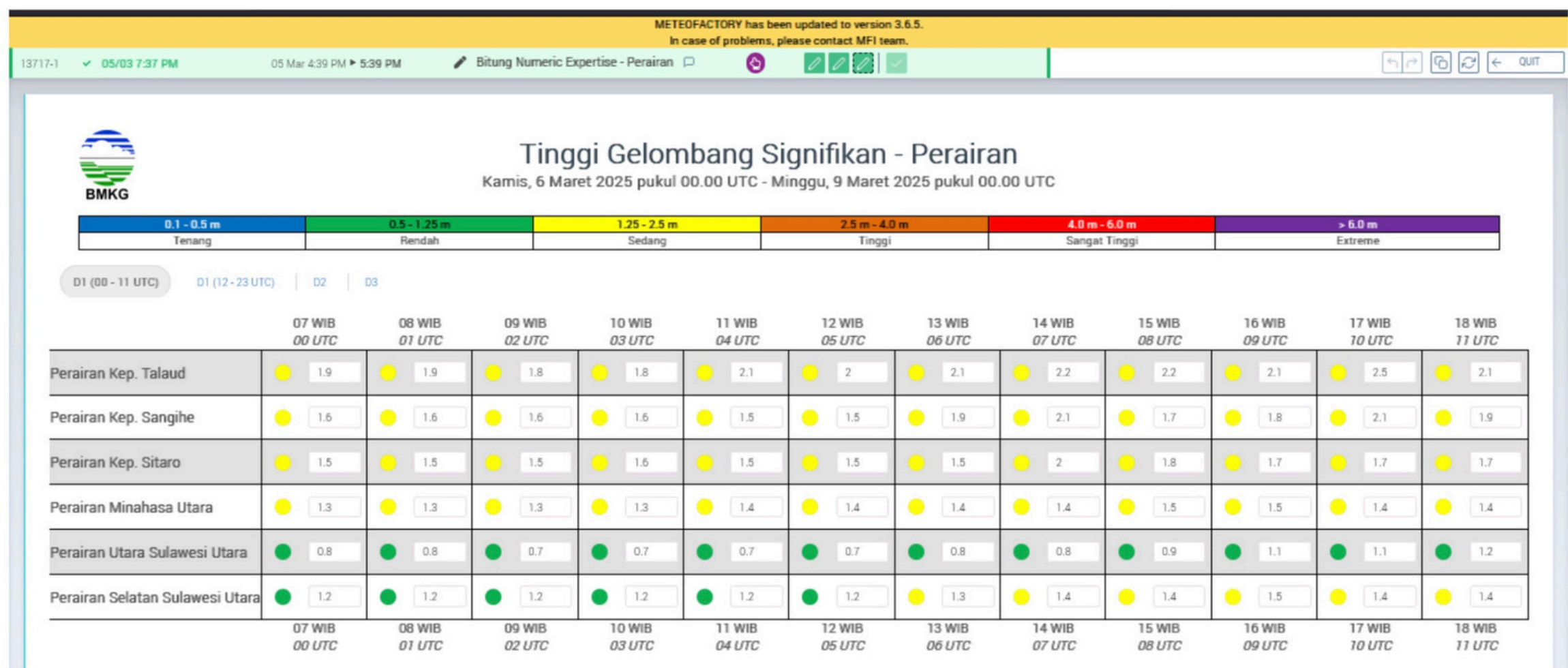
3. Meteofactory

Meteofactory merupakan tools yang menghasilkan produk informasi prediksi perairan dan pelabuhan serta juga digunakan untuk diseminasi ke website dan kanal komunikasi atau sosial media lainnya. Pusat dan UPT mengerjakan produk prakiraan rutin melalui *task table*. Produk yang dikeluarkan oleh pusat berupa web *bulletin for shipping* (WBFS), prakiraan cuaca maritim wilayah Met-Ocean, dan prospek gelombang mingguan. Produk UPT berupa prakiraan cuaca wilayah provinsi dan wilayah pelabuhan. Meskipun model dan *base run* terbaik sudah ditentukan, namun seluruh *forecaster* pusat dan tiap UPT juga wajib melakukan *expertise* kembali untuk beberapa parameter sesuai dengan kondisi daerahnya masing-masing, sehingga dapat meningkatkan akurasi dalam prakiraan.



Gambar 4. Tampilan awal meteofactory (kotak merah menunjukkan task tables)

Expertise juga merupakan sarana untuk memberikan *forecaster* kebebasan dalam menentukan kondisi cuaca di daerah tanggungjawabnya, hasil dari model hanya merupakan alat bantu pertimbangan *forecaster* dalam prediksi.



Gambar 5. Menu expertise beberapa parameter

Menu *task table* merupakan menu utama untuk menghasilkan produk informasi prediksi cuaca. Pertama, setelah marine guidance selesai *forecaster* pusat dan UPT melakukan *expertise* terhadap data model yang masuk, jika semua parameter sudah sesuai *forecaster* dapat memvalidasinya. Selanjutnya, setelah melakukan *expertise* seluruh *forecaster* mengisi bagian nama prakirawan dan nomor produk yang nantinya akan ditampilkan dalam produk informasi cuaca. Setelah itu, *forecaster* dapat mengklik *generate* supaya menghasilkan produk cuaca perairan dan pelabuhan, dan *forecaster* dapat mereview ulang hasilnya, jika tidak terdapat kendala maka bisa dilanjutkan dengan menekan tombol *spread* yang berfungsi untuk mendiseminasikan produk tersebut ke web meteorologi maritim di maritim.bmkg.go.id. Perlu diingat kembali bahwa rangkaian dalam pengerjaan ini harus sesuai, jika tidak maka dapat terjadi *error* pada produk yang dihasilkan. Selain itu, SF pusat juga bertugas untuk melakukan monitoring dan mengingatkan kepada UPT yang lupa mengerjakan ataupun ada proses yang terlewat.



happy
eid al fitr



1446 H



Direktorat Meteorologi Maritim





BMKG

Direktorat Meteorologi Maritim

Deputi Bidang Meteorologi | Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika