



Identifikasi *Sea Breeze Front* di Wilayah Semarang Menggunakan Satelit Himawari-9

Rizky Adi Qolbussalim¹, Yosafat Donni Haryanto^{1*}, Avrionesti¹, Dodo Gunawan¹ Bima Arzhida¹

¹ Program Studi Sarjana Terapan Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Tangerang, Indonesia.

DOI: <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i4.3135>

Article Info

Received: August, 12th 2026

Revised: August, 31st 2026

Accepted: September, 11th 2026

Correspondence:

Dr. Yosafat Donni Haryanto, SP,
M.Si.

Phone: +628111541585

Abstract: Fenomena *Sea Breeze Front* (SBF) merupakan sirkulasi atmosfer skala meso yang berperan penting dalam pembentukan awan konvektif dan cuaca lokal di wilayah pesisir. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi karakteristik SBF di pesisir Semarang selama musim kemarau tahun 2025 (Juni-Agustus). Metode yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif menggunakan citra Satelit Himawari-9 kanal *visible* (Band 3) dan *infrared* (Band 13) untuk mengidentifikasi *cloud line*, serta data AWS dari Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Mas Semarang untuk menganalisis parameter angin permukaan (*windrose*), suhu udara, dan kelembapan relatif (RH). Analisis dilakukan terhadap enam kejadian SBF representatif, yaitu tanggal 17 Juni, 27 Juni, 13 Juli, 28 Juli, 11 Agustus, dan 30 Agustus 2025. Hasil analisis spasial-temporal menunjukkan SBF berhasil diidentifikasi melalui kemunculan pola *cloud line* memanjang yang bergerak menuju daratan. Masuknya SBF dikonfirmasi secara fisis di permukaan oleh perubahan arah angin dari darat menjadi laut, peningkatan kecepatan angin, penurunan suhu udara hingga 2,3°C (pada 17 Juni 2025), serta lonjakan RH hingga 14% (pada 11 Agustus 2025). Penelitian ini menunjukkan bahwa pergerakan SBF di Semarang sangat dipengaruhi oleh kekuatan angin latar (*background wind*) monsun timur dan hambatan topografi kompleks dari Gunung Ungaran di daratan bagian selatan.

Keywords: *Sea Breeze Front*, *Cloud Line*, Himawari-9, Observasi Permukaan, Semarang.

Citation: Qolbussalim, R. A., Haryanto, Y. D., Avrionesti, A., Gunawan, D., & Arzhida, B. (2026). Identifikasi *Sea Breeze Front* di Wilayah Semarang Menggunakan Satelit Himawari-9. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, Dan Geofisika* (GeoScienceEd Journal), 7(4), 5427-5434. <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i4.3135>

Introduction

Wilayah pesisir utara Pulau Jawa, termasuk Kota Semarang, memiliki dinamika atmosfer lokal yang kompleks akibat interaksi daratan dan lautan. Pemanasan harian yang tidak merata antara daratan yang memanaskan lebih cepat dibanding lautan memicu terbentuknya perbedaan tekanan horizontal. Gaya gradien tekanan ini mendorong aliran massa udara dingin dan basah dari laut menuju daratan pada siang hari, yang dikenal sebagai angin laut (Kurnia, 2025). Batas intrusi udara laut dingin yang masuk ke wilayah darat yang lebih hangat didefinisikan sebagai *Sea Breeze Front* (SBF) (Anjos & Lopes, 2019).

SBF bertindak sebagai sirkulasi pesisir pada skala meso β dengan cakupan 20–200 km yang sering kali berasosiasi dengan zona konvergensi di lapisan bawah (Orlanski, 1975). Pertemuan massa udara di sepanjang batas *front* ini mendorong massa udara basah terangkat secara vertikal, mendingin secara adiabatik hingga mencapai tingkat kondensasi, dan membentuk deretan awan konvektif jenis kumululus yang memanjang sejajar garis pantai, yang dikenal sebagai *cloud line* (Papulu dkk., 2022). Identifikasi SBF memiliki nilai penting dalam meteorologi karena zona konvergensi ini kerap menjadi pemicu inisiasi konveksi lokal yang berkembang menjadi badai konvektif atau hujan lokal pada sore hingga malam hari (Zheng dkk., 2022).

Email: yosafat.haryanto@stmkg.ac.id

Dalam pemantauan cuaca modern, penginderaan jauh menggunakan satelit geostasioner generasi terbaru, seperti Satelit Himawari-9 yang dikembangkan oleh *Japan Meteorological Agency* (JMA), memiliki kemampuan monitoring atmosfer yang sangat andal (Zhuge, 2023). Satelit geostasioner ini mampu menyediakan citra dengan resolusi temporal tinggi setiap 10 menit. Melalui kanal *visible* (Band 3) dan kanal *infrared* (Band 13), perkembangan dan propagasi *cloud line* yang merepresentasikan posisi SBF dapat dipantau secara berkesinambungan (Schmit dkk., 2017). Pendekatan citra satelit ini sangat efektif untuk mengisi keterbatasan spasial stasiun pengamatan permukaan (Ferdiansyah & Wijayanto, 2022).

Sebagian besar kajian SBF terdahulu berfokus pada wilayah pesisir dengan topografi datar. Namun, Kota Semarang memiliki karakteristik geografis unik karena daratan pesisirnya berdekatan dengan kompleks pegunungan Gunung Ungaran di bagian selatan. Sirkulasi angin lokal di Semarang tidak hanya dipengaruhi oleh sirkulasi angin laut-darat, melainkan juga berinteraksi dengan angin lembah-gunung serta angin latar (*background wind*) monsun timur selama musim kemarau (Ratri & Suyatim, 2014). Kajian yang mengintegrasikan data satelit beresolusi tinggi dengan observasi parameter meteorologi permukaan AWS untuk mengkaji SBF di pesisir Semarang masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola *visual cloud line* pada citra Himawari-9 dan menganalisis parameter meteorologi permukaan seperti arah dan kecepatan angin, suhu, dan kelembapan yang memengaruhi dinamika SBF di wilayah Semarang selama musim kemarau tahun 2025.

Method

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif untuk menguraikan karakteristik

spasial dan temporal fenomena SBF di pesisir Semarang (Sari dkk., 2025). Wilayah studi difokuskan di area pesisir administratif Kota Semarang, Jawa Tengah yang ditampilkan pada Gambar 1. Periode analisis difokuskan pada bulan Juni, Juli, dan Agustus tahun 2025 yang merepresentasikan musim kemarau. Pada musim kemarau, pengaruh gangguan sinoptik cenderung lemah, sehingga sirkulasi lokal darat-laut dapat berkembang secara optimal.

Data pengamatan yang digunakan terdiri dari dua sumber utama:

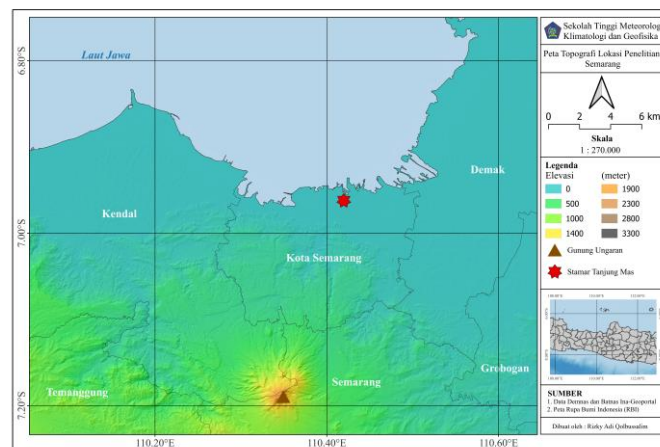
1. Data Citra Satelit Himawari-9:

Diperoleh dari server BMKG dalam format NetCDF (.nc) untuk kanal *visible* VS Band 3 (0,47–0,64 μm) dengan resolusi spasial tinggi untuk mendeteksi *cloud line* siang hari, serta kanal *infrared* IR Band 13 (10,3–10,6 μm) untuk mengestimasi suhu puncak awan dan ketebalan awan konvektif (Hastuti dkk., 2018). Data diambil dengan resolusi temporal harian per 10 menit.

2. Data Observasi Permukaan:

Diperoleh dari Stasiun Meteorologi Maritim BMKG Tanjung Mas Semarang. Parameter permukaan yang diekstrak meliputi data arah dan kecepatan angin permukaan, suhu udara, serta kelembapan relatif dengan resolusi temporal perjam.

Pengolahan data spasial satelit dan visualisasi grafik parameter permukaan dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python di platform *Google Colab*. Analisis statistik arah dan kecepatan angin divisualisasikan dalam diagram *windrose* menggunakan perangkat lunak *WRPlot View*. Kesesuaian visualisasi spasial citra satelit dianalisis secara deskriptif-kualitatif dengan memvalidasi keselarasan waktu kemunculan *cloud line* dengan fluktuasi penurunan suhu udara dan kenaikan RH.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

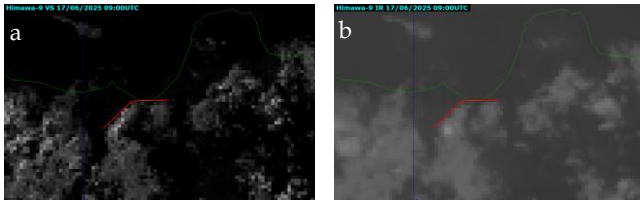
Result

Identifikasi Cloudline Menggunakan Satelit Himawari-9

Berdasarkan hasil pemrosesan citra satelit Himawari-9 pada periode Juni sampai Agustus 2025, teridentifikasi enam kejadian SBF representatif di pesisir Semarang.

1. Kejadian 17 Juni 2025 (16.00 WIB)

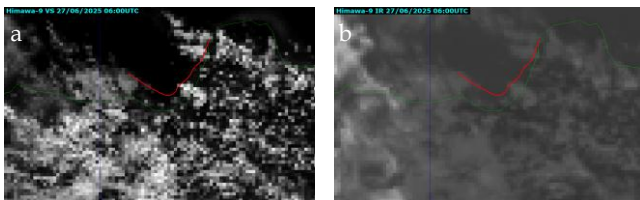
Citra kanal *visible* (VS) menunjukkan pembentukan pola memanjang awan konvektif di atas wilayah darat pesisir Semarang dengan reflektansi tinggi (piksel berwarna putih cerah) sejajar garis pantai. Citra *infrared* (IR) memperlihatkan kesesuaian spasial yang presisi, di mana barisan awan konvektif tersebut memiliki suhu puncak awan dingin yang mengindikasikan perkembangan awan vertikal secara linier akibat pengangkatan mekanis di sepanjang zona konvergensi SBF. Karakteristik ini divisualisasikan pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Citra satelit Himawari-9 di wilayah pesisir Semarang pada 17 Juni 2025 pukul 16.00 WIB: (a) kanal *visible* (Band 3), dan (b) kanal *infrared* (Band 13).

2. Kejadian 27 Juni 2025 (13.00 WIB)

Citra VS memperlihatkan pola *cloud line* melengkung yang mengikuti kontur garis pantai dan berpropagasi menjorok masuk ke arah daratan pesisir. Citra IR menunjukkan keselarasan dengan area bersuhu puncak awan mendingin, menandakan fase aktif sirkulasi angin laut pada siang hari yang mendorong arus gravitasi dingin menyusup ke daratan Semarang. Karakteristik ini divisualisasikan pada Gambar 3 berikut:

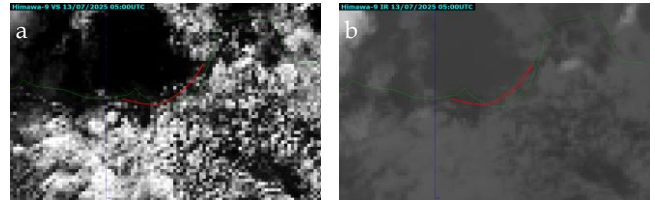


Gambar 3. Citra satelit Himawari-9 di wilayah pesisir Semarang pada 27 Juni 2025 pukul 13.00 WIB: (a) kanal *visible* (Band 3), dan (b) kanal *infrared* (Band 13).

3. Kejadian 13 Juli 2025 (12.00 WIB)

Pada tengah hari, citra VS menangkap formasi *cloud line* yang membentang rapat dan

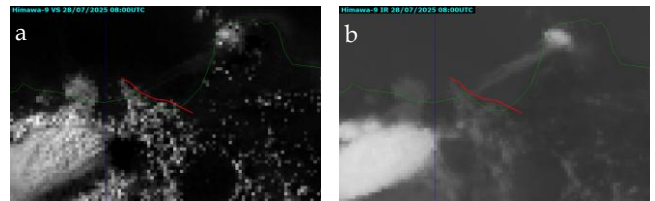
cenderung berhimpitan dengan kontur topografi garis pantai. Keadaan ini divalidasi oleh citra IR yang menunjukkan suhu puncak awan mulai mendingin. Posisi SBF yang tertahan tepat di pesisir pantai mencerminkan fase awal sirkulasi angin laut yang mengalami gaya hambat lokal. Karakteristik ini divisualisasikan pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4. Citra satelit Himawari-9 di wilayah pesisir Semarang pada 13 Juli 2025 pukul 12.00 WIB: (a) kanal *visible* (Band 3), dan (b) kanal *infrared* (Band 13).

4. Kejadian 28 Juli 2025 (15.00 WIB)

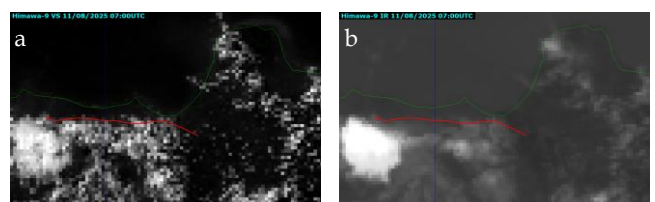
SBF berada pada fase perkembangan matang di sore hari, di mana deretan *cloud line* pada citra VS telah berpropagasi secara signifikan meninggalkan garis pantai dan menjorok jauh ke arah daratan bagian selatan. Citra IR mengonfirmasi ketebalan awan konvektif yang stabil dengan rona suhu puncak awan yang dingin di sepanjang garis *front*. Karakteristik ini divisualisasikan pada Gambar 5 berikut:



Gambar 5. Citra satelit Himawari-9 di wilayah pesisir Semarang pada 28 Juli 2025 pukul 15.00 WIB: (a) kanal *visible* (Band 3), dan (b) kanal *infrared* (Band 13).

5. Kejadian 11 Agustus 2025 (14.00 WIB)

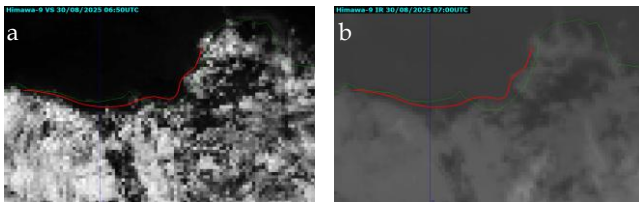
Citra VS mendeteksi garis awan yang telah berpropagasi cukup jauh memasuki daratan Semarang, ditandai oleh formasi awan ber-albedo sangat tinggi di sisi barat. Citra IR menunjukkan rona penurunan suhu puncak awan yang sangat drastis, mengindikasikan adanya pertumbuhan *deep convection* akibat gaya angkat vertikal yang sangat kuat di sepanjang SBF. Karakteristik ini divisualisasikan pada Gambar 6 berikut:



Gambar 6. Citra satelit Himawari-9 di wilayah pesisir Semarang pada 11 Agustus 2025 pukul 14.00 WIB: (a) kanal *visible* (Band 3), dan (b) kanal *infrared* (Band 13).

6. Kejadian 30 Agustus 2025 (14.00 WIB)

Teramati formasi *cloud line* yang sangat ekstensif membentang panjang dari barat ke timur. Citra VS (13.50 WIB) dan IR (14.00 WIB) memperlihatkan akumulasi massa udara lembap yang padat, namun posisinya stagnan dan berhimpitan mengikuti lekukan topografi garis pantai tanpa penetrasi jauh ke pedalaman. Karakteristik ini divisualisasikan pada Gambar 7 berikut:



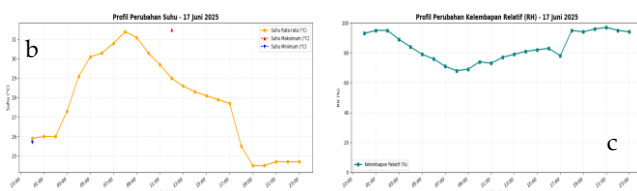
Gambar 7. Citra satelit Himawari-9 di wilayah pesisir Semarang pada 30 Agustus 2025: (a) kanal *visible* (Band 3), dan (b) kanal *infrared* (Band 13).

Analisis Observasi Permukaan Windrose, Perubahan Suhu, dan RH

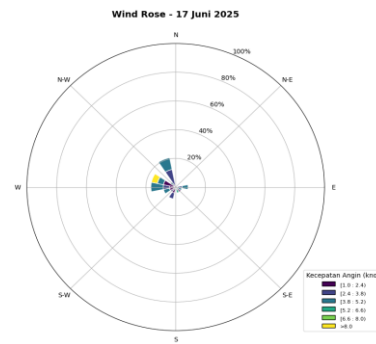
Data observasi permukaan di Stasiun Maritim Tanjung Mas Semarang secara konsisten memvalidasi karakteristik fisis lewatnya SBF di daratan Semarang:

1. Kejadian 17 Juni 2025

Diagram *windrose* menunjukkan dominasi sirkulasi angin permukaan dari Barat Laut dan Barat dengan frekuensi melampaui 20% dan kecepatan berkisar antara 3,8 hingga lebih dari 8,0 knot. Ini mengonfirmasi intrusi angin laut yang kuat. Grafik *time series* merekam suhu udara meningkat hingga maksimum 31,5°C pada pukul 12.00 WIB, kemudian anjlok secara drastis dari 27,8°C pada pukul 17.00 WIB menjadi 25,5°C pada pukul 19.00 WIB (penurunan sebesar 2,3°C) saat arus gravitasi dingin masuk. RH berada pada titik terendah 68% saat siang hari, namun melonjak tajam setelah pukul 17.00 WIB hingga menembus angka 95% pada pukul 19.00 WIB. Karakteristik ini divisualisasikan pada Gambar 8 berikut:



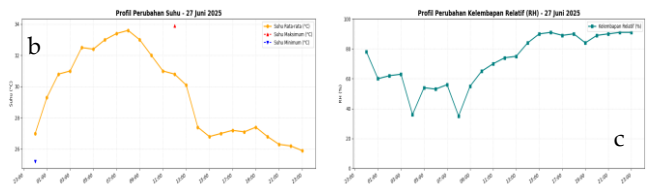
a



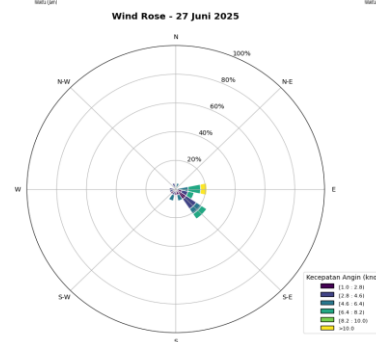
Gambar 8. Parameter meteorologi permukaan di Stasiun Maritim Tanjung Mas Semarang pada 17 Juni 2025: (a) diagram *windrose* harian, (b) profil perubahan suhu udara harian, dan (c) profil perubahan kelembapan relatif (RH) harian.

2. Kejadian 27 Juni 2025

Windrose didominasi tiupan angin dari arah Timur dan Tenggara masing-masing sekitar 25%, dengan kecepatan tinggi menembus >10 knot dari Timur. Angin ini mencerminkan kuatnya pengaruh angin latar monsun timur. Meskipun demikian, SBF tetap terbentuk pada pukul 13.00 WIB. Suhu harian memuncak di angka 33,6°C pada pukul 08.00 WIB, lalu anjlok secara mendadak antara pukul 13.00 WIB dan 14.00 WIB dari 30,1°C menjadi 27,4°C. Parameter RH menunjukkan peningkatan curam pasca pukul 13.00 WIB dari kisaran 75% menjadi nyaris 90% pada pukul 15.00 WIB. Karakteristik ini divisualisasikan pada Gambar 9 berikut:



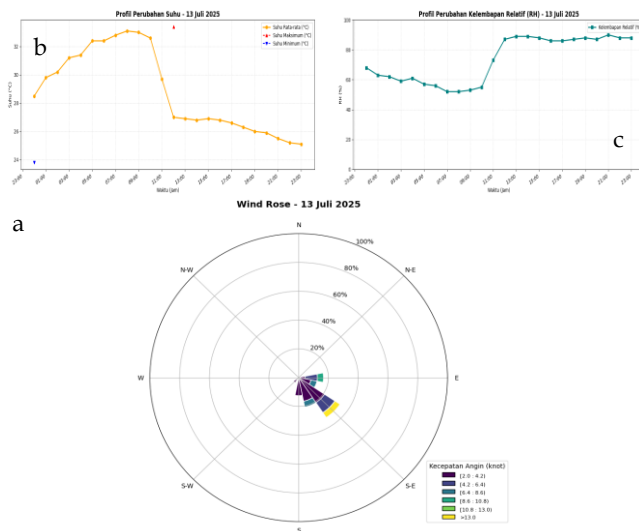
a



Gambar 9. Parameter meteorologi permukaan di Stasiun Maritim Tanjung Mas Semarang pada 27 Juni 2025: (a) diagram *windrose* harian, (b) profil perubahan suhu udara harian, dan (c) profil perubahan kelembapan relatif (RH) harian.

3. Kejadian 13 Juli 2025

Teridentifikasi dominasi aliran angin yang sangat kuat dari arah Tenggara melampaui 30% dengan kecepatan tinggi menembus >13 knot, mengindikasikan angin latar monsun tenggara yang sangat kuat. Angin lepas pantai (*offshore*) yang kencang ini memberikan resistensi kuat terhadap angin laut, sehingga menahan posisi *cloud line* berhimpitan dekat garis pantai pada siang hari. Suhu udara permukaan meningkat stabil hingga mencapai puncaknya di kisaran 33,1°C pada pukul 08.00–09.00 WIB, namun anjlok secara ekstrem menjelang tengah hari dari 32,6°C pada pukul 10.00 WIB menjadi 27,0°C pada pukul 12.00 WIB saat SBF menerobos pesisir. RH melompat secara curam dari kisaran 55% pada pukul 10.00 WIB menjadi 87% tepat pada pukul 12.00 WIB. Karakteristik ini divisualisasikan pada Gambar 10 berikut:

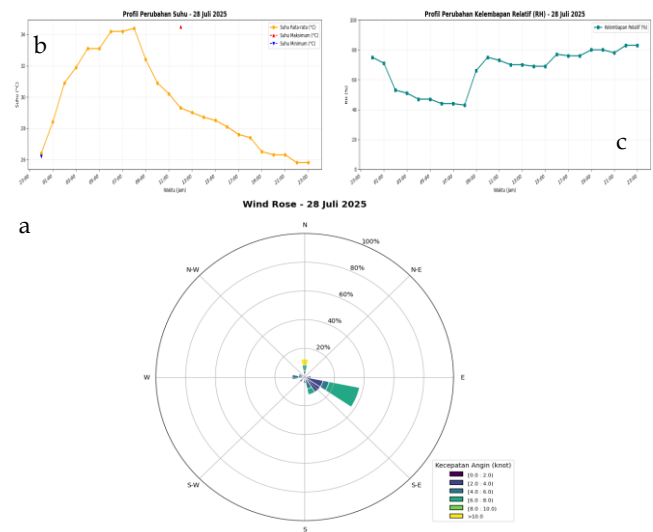


Gambar 10. Parameter meteorologi permukaan di Stasiun Maritim Tanjung Mas Semarang pada 13 Juli 2025: (a) diagram *windrose* harian, (b) profil perubahan suhu udara harian, dan (c) profil perubahan kelembapan relatif (RH) harian.

4. Kejadian 28 Juli 2025

Angin permukaan didominasi oleh Tenggara mencapai 37,5%, namun terekam intrusi angin laut dari Utara dengan kecepatan tinggi menembus >10 knot. Kecepatan angin utara yang masif ini mengatasi gaya hambat monsun dan mendorong SBF berpropagasi jauh ke daratan bagian selatan. Suhu udara permukaan mengalami penurunan ekstrem sejak pagi, anjlok dari 34,4°C pada pukul 08.00 WIB menjadi 32,4°C pada pukul 09.00 WIB dan terus merosot ke 30,9°C pada pukul 10.00 WIB, menandakan *onset* awal. Bersamaan dengan itu, RH harian melonjak secara vertikal dari titik terendah 43% pada pukul 08.00 WIB menjadi 66% pada pukul 09.00 WIB dan menembus 75% pada pukul 10.00 WIB.

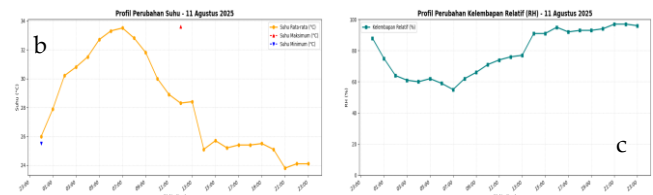
Karakteristik ini divisualisasikan pada Gambar 11 berikut:

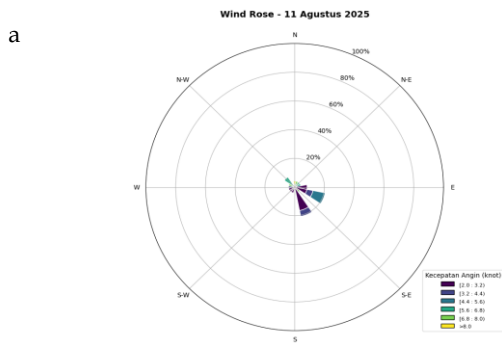


Gambar 11. Parameter meteorologi permukaan di Stasiun Maritim Tanjung Mas Semarang pada 28 Juli 2025: (a) diagram *windrose* harian, (b) profil perubahan suhu udara harian, dan (c) profil perubahan kelembapan relatif (RH) harian.

5. Kejadian 11 Agustus 2025

Terantau dominasi hembusan angin dari daratan (Selatan sekitar 20,8%, Timur, dan Tenggara), namun diintervensi oleh angin laut dari Utara dan Barat Laut berkecepatan tinggi menembus >8,0 knot. Dorongan angin laut yang tebal ini memicu konveksi dalam. Suhu udara menurun vertikal secara ekstrem dari 28,4°C pada pukul 13.00 WIB menjadi 25,1°C pada pukul 14.00 WIB dengan penurunan 3,3°C dalam satu jam. RH harian melonjak ekstrem dari kisaran 77% pada pukul 13.00 WIB meroket hingga 91% pada pukul 14.00 WIB, menyuplai uap air jenuh yang tebal bagi pertumbuhan awan *deep convection*. Karakteristik ini divisualisasikan pada Gambar 12 berikut:

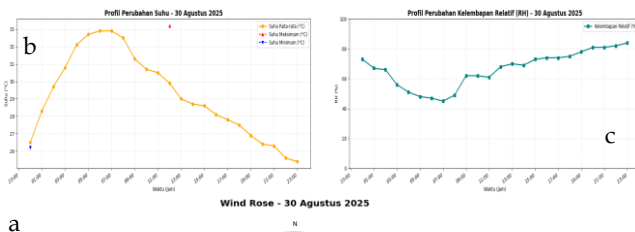




Gambar 12. Parameter meteorologi permukaan di Stasiun Maritim Tanjung Mas Semarang pada 11 Agustus 2025: (a) diagram *windrose* harian, (b) profil perubahan suhu udara harian, dan (c) profil perubahan kelembapan relatif (RH) harian.

6. Kejadian 30 Agustus 2025:

Teridentifikasi dominasi mutlak dari aliran angin darat monsun dari Tenggara mencapai 37,5% berkecepatan 5,4 hingga lebih dari 9,0 knot. Angin lepas pantai yang kuat ini menahan laju intrusi angin laut, menyebabkan *cloud line* tertahan rapat di pesisir. Suhu udara permukaan mulai berangsur turun setelah mencapai puncak termal harian di kisaran 32,9°C pada pukul 14.00 WIB, menyusut menjadi 31,3°C pada pukul 16.00 WIB. RH harian berada pada nilai minimum harian 45% pada pukul 14.00 WIB, lalu melonjak naik secara tajam menjadi 62% pada pukul 16.00 WIB. Karakteristik ini divisualisasikan pada Gambar 13 berikut:



Gambar 13. Parameter meteorologi permukaan di Stasiun Maritim Tanjung Mas Semarang pada 30 Agustus 2025: (a) diagram *windrose* harian, (b) profil perubahan suhu udara harian, dan (c) profil perubahan kelembapan relatif (RH) harian.

Discussion

Dinamika atmosfer di wilayah pesisir Semarang selama periode musim kemarau diatur oleh interaksi kuat antara pemanasan termal lokal harian dengan kondisi angin regional skala sinoptik. Pola spasial dan temporal dari keenam kejadian SBF menunjukkan evolusi atmosfer yang seragam dan sistematis, di mana kemunculan indikator visual *cloud line* pada citra Himawari-9 selalu mendahului atau bertepatan dengan perubahan fisis parameter permukaan di daratan.

Mekanisme Fisis Pembentukan SBF dan Karakteristik Spasial Cloudline

Secara fisis, SBF bertindak sebagai batas depan arus gravitasi di mana massa udara laut yang dingin, padat, dan lembap menyusup menggantikan massa udara daratan yang lebih hangat dan ringan. Karakteristik spasial SBF dapat dikenali dengan sangat baik menggunakan citra temporal Satelit Himawari-9. Kanal *visible* (Band 3) beresolusi tinggi sangat sensitif mendeteksi *cloud line* yang sejajar garis pantai, yang memantulkan albedo matahari tinggi berwarna putih cerah. Kanal *infrared* (Band 13) memberikan validasi termal yang presisi melalui deteksi suhu puncak awan yang dingin, membuktikan adanya aktivitas pertumbuhan awan secara vertikal di sepanjang garis batas konvergensi tersebut.

Pola ini sangat konsisten dengan temuan Ferdiansyah & Wijayanto (2022) dan Papolu dkk. (2022) di mana *cloud line* linier bertindak sebagai representasi visual batas konvergensi permukaan akibat intrusi angin laut. Kemampuan resolusi temporal 10 menit Himawari-9 sangat efektif dalam memetakan *onset* awal hingga fase luruhnya SBF secara dinamis.

Respon Termodinamika Permukaan terhadap Intrusi SBF

Masuknya batas depan SBF melewati stasiun pengamatan pesisir divalidasi oleh rangkaian respon parameter permukaan secara berurutan:

1. Pergeseran Angin Permukaan

Arah angin bergeser secara konsisten dari dominasi angin darat monsun Tenggara-Timur menjadi angin laut berasal dari Utara-Barat Laut disertai penguatan kecepatan angin. Penguatan angin laut ini meningkatkan energi kinetik untuk mendesak massa udara hangat di daratan.

2. Penurunan Suhu Udara Permukaan

Terjadi anomali penurunan suhu yang tajam dalam waktu singkat seperti penurunan sebesar 2,3°C pada 17 Juni 2025 dan 3,3°C pada 11 Agustus 2025. Penurunan suhu ini merupakan hasil adveksi langsung massa udara laut yang memiliki kapasitas panas lebih

besar dibandingkan daratan, sejalan dengan hasil studi Anjos & Lopes (2019).

3. Lonjakan Kelembapan Relatif (RH)

Terjadi peningkatan kelembapan yang curam mencapai >90% pasca *onset* angin laut. Udara laut yang kaya uap air menurunkan tingkat ketinggian kondensasi adiabatik, sehingga pengangkatan udara di zona konvergensi SBF sangat efektif menginisiasi pertumbuhan awan kumululus linier, mendukung teori transportasi uap air oleh Yulihastin dkk. (2022).

Interaksi Angin Latar Monsun Timur dan Topografi Pegunungan

Karakteristik dinamika SBF di Semarang menunjukkan adanya keunikan akibat pengaruh angin latar monsun timur dan topografi kompleks Gunung Ungaran. Pada musim kemarau, angin latar monsun bertiup dari arah Timur-Tenggara. Arah angin ini berlawanan dengan arah angin laut Semarang yang berhembus dari arah Utara.

Keseimbangan dinamis antara kekuatan angin latar monsun dan sirkulasi lokal angin laut bertindak sebagai kontrol utama jangkauan penetrasi spasial SBF:

1. Kondisi Angin Latar Kuat (Kejadian 13 Juli dan 30 Agustus 2025)

Monsun tenggara bertiup kencang dengan kecepatan mencapai >13 knot di permukaan. Hambatan dinamis yang masif dari darat menahan laju intrusi angin laut, menyebabkan *cloud line* terjebak, menumpuk, dan stagnan berhimpitan di dekat garis pantai pesisir. Meskipun propagasi tertahan, suplai RH yang pekat dari laut tetap berhasil memicu pengangkatan mekanis lokal untuk membentuk awan pantai.

2. Kondisi Angin Latar Lemah atau Angin Laut Kuat (Kejadian 28 Juli dan 11 Agustus 2025)

Dorongan angin laut utara yang masif >10 knot mampu mengatasi gaya hambat angin monsun darat. Akibatnya, zona konvergensi SBF berpropagasi secara aktif meninggalkan garis pantai dan menembus jauh memasuki daratan bagian selatan pedalaman. Karakteristik ini mendukung penjelasan Yulihastin dkk. (2022) mengenai sensitivitas pergerakan SBF terhadap kekuatan *background wind* regional.

Saat SBF berhasil berpropagasi jauh ke pedalaman daratan selatan mencapai sekitar 20 km dari garis pantai, jalurnya berinteraksi dengan lereng Gunung Ungaran. Topografi pegunungan yang kompleks ini memodifikasi sirkulasi angin laut melalui penggabungan dengan sirkulasi angin lembah harian. Interaksi mekanis dan termal pegunungan ini memberikan tambahan gaya angkat vertikal, menyebabkan awan konvektif berkembang jauh lebih masif dan intensif di sekitar wilayah lereng pegunungan

bagian selatan Semarang pada sore hari. Efek *blocking* dan modifikasi orografis oleh Gunung Ungaran ini konsisten dengan sirkulasi topografi kompleks yang dikaji oleh Oigawa dkk. (2017) dan Ratri & Suyatim (2014) di wilayah Semarang.

Conclusion

Berdasarkan analisis hasil penelitian, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Fenomena *Sea Breeze Front* di wilayah pesisir Semarang berhasil diidentifikasi secara spasial-temporal menggunakan citra temporal tinggi Satelit Himawari-9 melalui pelacakan pola *cloud line* linier yang sejajar garis pantai dan berpropagasi menuju wilayah darat harian. Kanal *visible* (Band 3) dan *infrared* (Band 13) terbukti sangat efektif memantau fase perkembangan, onset, serta arah propagasi SBF secara berkesinambungan.
2. Masuknya batas SBF ke wilayah daratan pesisir terkonfirmasi secara fisis oleh respon berurutan dari parameter meteorologi permukaan AWS di Stasiun Maritim Tanjung Mas, yang ditandai oleh pergeseran arah angin darat menjadi angin laut, penguatan kecepatan angin, anomali penurunan suhu udara harian, serta peningkatan tajam nilai kelembapan relatif harian.
3. Propagasi horizontal SBF di Semarang sangat dikontrol oleh keseimbangan dinamis antara kekuatan sirkulasi lokal angin laut dengan angin monsun timur. Ketika angin latar kencang, SBF tertahan rapat di dekat garis pantai; sebaliknya, saat angin latar melemah, SBF berpropagasi jauh ke pedalaman selatan sejauh sekitar 20 km sebelum penetrasinya terhalang oleh kompleks topografi Gunung Ungaran, yang kemudian memicu pertumbuhan awan konvektif intensif akibat efek orografis.

Acknowledgements

Penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya Dr. Yosafat Donni Haryanto, SP., M.Si., selaku dosen pembimbing skripsi atas arahan, bimbingan, serta ilmu yang diberikan dalam penyusunan artikel ini. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika atas dukungan pengambilan data dan fasilitas sehingga artikel dapat terselesaikan dengan baik.

References

- Anjos, M., & Lopes, A. (2019). Sea Breeze Front Identification on the Northeastern Coast of Brazil and Its Implications for Meteorological Conditions in the Sergipe Region. *Theoretical and Applied Climatology*, 137(3-4), 2151-2165. doi: <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2732-x>
- Ferdiansyah, M. R., & Wijayanto, A. W. (2022). The estimation of sea-breeze front velocity over coastal urban using Himawari-8 images: A case study in Jakarta. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 23(3), 39-44. doi: <https://doi.org/10.31172/jmg.v23i3.39-44>
- Hastuti, D., Firdianto, P. U., & Pribadi, Y. H. (2018). Penentuan Variabilitas Awan Menggunakan Satelit Himawari-9 di Bandara Tunggalwulung. *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika (JIIF)*.
- Kurnia, L. (2025). Angin darat dan Angin Laut dan Dampaknya Pada Lingkungan. *Item TESLINK: Teknik Sipil dan Lingkungan*, 7(1), 225-230.
- Oigawa, M., Matsuda, T., Tsuda, T., & Noersomadi. (2017). Coordinated observation and numerical study on a diurnal cycle of tropical convection over a complex topography in West Java, Indonesia. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 95(4), 261-281. doi: <https://doi.org/10.2151/jmsj.2017-015>
- Orlanski, I. (1975). A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 56(5), 527-530.
- Papolu, J. S., Prasad, M. B., Vasavi, S., & Geetha, G. (2022). A Framework for Detection from Coastal Regions of India Using Morphological Snake Algorithm. *ECS Transactions*, 107(1), 585.
- Ratri, W., & Suyatim. (2014). Karakteristik Angin Darat dan Angin Laut di Semarang pada Musim Kemarau. *Skripsi Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta*.
- Sari, A. R., Al Husnawati, H., Suryono, J., Marzuki, M., & Mulyapradana, A. (2025). *Metode Penelitian Kualitatif, Kuantitatif, Dan R&D*. YPAD Penerbit.
- Schmit, T. J., Griffith, P., Gunshor, M. M., Daniels, J. M., Goodman, S. J., & Lehair, W. J. (2017). A closer look at the ABI on the GOES-R series. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(4), 681-698.
- Yulihastin, E., Hadi, T. W., Abdillah, M. R., Fauziah, I. R., & Ningsih, N. S. (2022). Propagation of Convective Systems Associated with Early Morning Precipitation and Different Northerly Background Winds over Western Java. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 100(1), 99-113. doi: <https://doi.org/10.2151/jmsj.2022-005>
- Zheng, J., Abulikemu, A., Wang, Y., Kong, M., & Liu, Y. (2022). Convection initiation associated with the merger of an immature sea-breeze front and a gust front in Bohai Bay Region, North China: A case study. *Atmosphere*, 13(5), 750.
- Zhuge, X., Zou, X., Yu, L., Li, X., Zeng, M., Chen, Y., & Kan, W. (2023). Introduction to the NJIAS Himawari-8/9 cloud feature dataset for climate and typhoon research. *Earth System Science Data Discussions*, 2023, 1-37.