

KARAKTERISTIK SPASIOTEMPORAL ANGIN KENCANG DI PULAU SULAWESI BERBASIS MODEL REANALISIS ERA5

Achmad Fahrudin Rais^{1*}, Rezky Yunita², Hijrah Kule Musgamy³, Rahmat Tauladani⁴,
Ahmad Kosasih²

¹ Pusat Riset Geospasial (PRG)-Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Cibinonga

²Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Jakarta

³Stasiun Meteorologi Sangia Ni Bandera, Sulawesi Tenggara

⁴Stasiun Meteorologi Yogyakarta Internasional Airport

e-mail: ¹achm050@brin.go.id

ABSTRAK

Pola spasiotemporal angin kencang di Pulau Sulawesi dieksplorasi dalam tulisan ini menggunakan data reanalisis ERA5 periode 1979-2020. Metode yang digunakan adalah *roteted empirical orthogonal function* (REOF) dan fourier harmonik. Hasil yang didapatkan adalah bahwa frekuensi dan magnitudo kecepatan angin terbesar berada di Sulawesi Selatan dan sebagian Sulawesi Tenggara dengan puncak di bulan Agustus dan Januari, pola dominan lainnya adalah di Sulawesi Utara dan Gorontalo dengan pola puncak yang sama yaitu Agustus dan Januari dan di pegunungan tengah Sulawesi dengan puncak pada bulan Januari.

Kata kunci— angin kencang, ERA5, REOF

ABSTRACT

The spatiotemporal pattern of wind gusts over Sulawesi Island was explored in this paper using ERA5 reanalysis for the period 1979-2020. The methods used were rotated empirical orthogonal function (REOF) and Fourier harmonics. The results obtained were that the highest frequency and magnitude of wind speed were in South Sulawesi and parts of Southeast Sulawesi with peaks in August and January, the other dominant pattern were in North Sulawesi and Gorontalo with the same peak pattern, namely August and January and in the central mountains of Sulawesi with a peak in January.

Keywords— wind gust, ERA5, REOF

PENDAHULUAN

Sulawesi yang terletak di sekitar ekuator adalah area yang termasuk ke dalam wilayah doldrum (Crowe, 1951). Doldrum adalah istilah area dengan angin berkecepatan rendah (Ahrens; & Henson, 2014). Namun Sulawesi adalah merupakan area dengan 7 kabupaten memiliki risiko tertinggi terhadap cuaca ekstrim (BNPB, 2020). Cuaca ekstrim yang dimaksud adalah angin kencang.

Kajian angin kencang juga merupakan suatu hal yang menarik. Pasalnya, bencana ini dapat berpengaruh terhadap badan manusia (Gjeta dkk., 2020), menyebabkan kerusakan bangunan (Sarli dkk., 2020), kerusakan kendaraan (Hemingway, 2020) dan timbulnya gelombang tinggi di laut (Hilmi dkk., 2018).

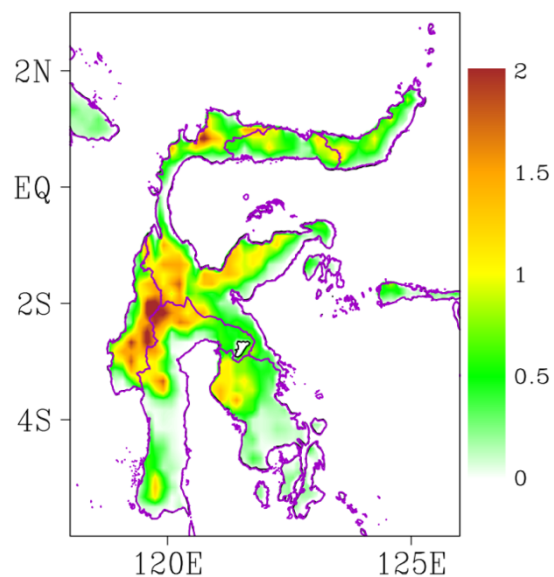
Umumnya, kajian angin kencang di Sulawesi sebelumnya hanya mengkaji angin kencang dalam area yang lebih kecil atau tidak mencakup seluruh Sulawesi dan tidak menganalisis pola temporal klimatologinya. Sulung dkk (2011) hanya mensimulasikan angin kencang di Kota Makassar pada 15-17 Januari 2011. Murlina (2013) dan Oktrifiani (2013) membangun model prediksi hanya di Maros dan Toraja Utara. Syahfitri dkk. (2021) membuat menganalisis tingkat bahaya angin kencang di Sidenreng Rappang saja. Oleh karena itu penulis akan mengkaji pola spasiotemporal angin kencang di seluruh Pulau Sulawesi.

DATA DAN METODE

Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data wind gust *The European Centre for Medium-Range Weather Forecast Reanalysis 5-th Generation* yang biasa disingkat ERA5. Data setiap jam selama periode bulan Februari 1979 – Desember 2020 yang didapatkan dari <https://cds.climate.copernicus.eu>. Data kejadian puting beliung didapat dari data informasi bencana Indonesia Badan Nasional Penanggulangan Bencana (DIBI BNPB) <https://dibi.bnpb.go.id/xdibi> selama

periode 2011-2020. Secara definisi, puting beliung dan angin kencang berbeda dimana angin puting beliung atau tornado memiliki kecepatan >64.4 km/jam dan angin kencang memiliki kecepatan >46,3 km/jam dalam Perka BMKG No.9 Tahun 2010. Tetapi dalam DIBI BNPB, tidak ada kecepatan angin yang dicantumkan, melainkan hanya mencantumkan korban jiwa dan kerusakan. Dalam penelitian Sarli dkk. (2020), angin dengan kecepatan 28.8 km/jam dapat menyebabkan terjadinya kerusakan. Oleh karena itu, laporan puting beliung DIBI BNPB dianggap angin kencang pada penelitian ini. Area penelitian meliputi Pulau Sulawesi (gambar 1).



Gambar 1. Peta ketinggian (km) lokasi penelitian.

Metode

Dalam mendapatkan pola-pola utama, penulis menggunakan teknik *rotated empirical orthogonal function* (REOF). REOF kurang rentan terhadap fitur buatan yang dihasilkan dari kendala ortogonalitas pada EOF tanpa rotasi (Wilks, 2019). Untuk menghitung REOF (Dommenget, 2015), terlebih dahulu mencari nilai eigen (λ) dari determinasi kovariansi matriks data angin kencang (Σ) dan matriks identitas spasial (I_s) menggunakan rumus sebagai berikut :
$$\text{Det}(\Sigma - \lambda \cdot I_s) = 0 \quad (1)$$

Kemudian mencari vektor eigen (π) dengan formula sebagai berikut :

$$(\Sigma - \lambda_r I_s)\pi = 0 \quad (2)$$

Vektor eigen terotasi (π_r) didapatkan dari VARIMAX π dengan formula :

$$S_{var}(\pi_r) = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S \left(\frac{x_i}{\sigma_i} \right)^4 - \frac{1}{S^2} \left(\sum_{i=1}^S \left(\frac{x_i}{\sigma_i} \right)^4 \right)^2 \quad (3)$$

σ adalah normalisasi π , S sebagai dimensi spasial dan $S_{var}(\pi_r)$ merupakan spasial vector eigen VARIMAX. Dengan persamaan 2 didapatkan λ terotasi (λ_r). Untuk selanjutnya λ_r disebut PC dan π_r disebut REOF. Dalam menganalisis setiap pola yang dihasilkan harus mengkombinasikan REOF dengan PC sehingga mengetahui pola yang lemah dan pola yang kuat.

Penulis menggunakan *fourier* harmonik (Wilks, 2019) sebanyak 4 harmonik (1, 1/2, 1/4 dan 1/8 tahunan) untuk *smoothing* grafik PC sehingga mendapatkan pola PC berdasarkan banyaknya puncak dalam satu tahun (365 hari). PC yang di-*smooth* (PCs) dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$PC_s(t) = \overline{PC} + \sum_{n=1}^4 \left(a_n \cos \frac{n\pi t}{365} + b_n \sin \frac{n\pi t}{365} \right)$$

(4)

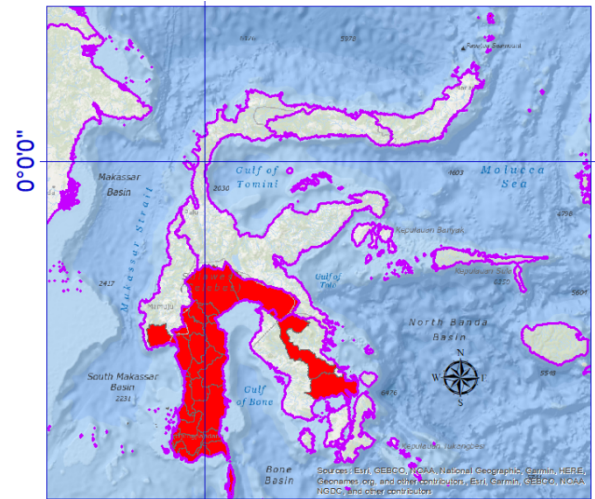
Dengan \overline{PC} , n, π dan t adalah PC rata-rata dan banyaknya harmonic, 180° dan waktu.

HASIL DAN DISKUSI

Analisa Data DIBI BNPB

Pada gambar 2, laporan angin kencang terbanyak berada di Sulawesi Selatan dengan kasus total laporan sebanyak 404 kejadian. Laporan ini tentu berkaitan dengan banyaknya penduduk di Sulawesi Selatan dibandingkan provinsi lain di Sulawesi (BPS, 2021) sehingga banyak yang terdampak dan melaporkan. Angin kencang Sulawesi Selatan umumnya berasal dari kabupaten yang berbatasan dengan laut dengan kejadian terbanyak berasal dari Kabupaten Pangkajene Kepulauan, Takalar serta Bulukumba yang secara berurutan adalah 37, 36 dan 25. Kejadian angin puting beliung paling sedikit berasal dari Enrekang dan Luwu Timur. Delapan puluh empat kejadian angin kencang berasal dari Sulawesi Tenggara dengan 12 dan 11 yang berasal dari Kabupaten Konawe dan Konawe Selatan.

Di Sulawesi Barat, 19 dari 33 kejadian angin kencang pada bulan Oktober berasal dari Kabupaten Polewali Mandar. Di Sulawesi Utara, konsentrasi kejadian terbanyak berada di kepulauan sebelah utara. Sulawesi Tengah dan Gorontalo adalah provinsi dengan angin kencang paling sedikit.



Gambar 2. Peta distribusi angin puting beliung terbanyak di Pulau Sulawesi berdasarkan DIBI BNPB.

Analisis Model Reanalisis ERA5

Delapan mode REOF dan PCs dianalisis dalam penelitian ini dengan total variansi bernilai 73,9%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa mayoritas variansi data sudah diwakili oleh 8 mode REOF dan PCS.

Spasial mode 1 pada gambar 4, yang memiliki variansi sebesar 20,61%, memperlihatkan nilai vektor eigen positif semua dengan nilai terbesar berada di Sulawesi Selatan dan Sulawesi Tenggara. Nilai positif menandakan bahwa grafik temporal tidak terbalik karena rekonstruksi data awal adalah penjumlahan dari spasial vector eigen dikalikan nilai PC-nya pada setiap mode (Wilks, 2019). Hasil ini memiliki pola spasial yang menyerupai pola sebaran kejadian puting beliung DIBI BNPB (gambar 2). Mode 1 memiliki puncak terbesar pada bulan Agustus dan bulan Januari pada gambar 3. Pada bulan Agustus angin permukaan yang kencang

terjadi di sekitar perairan Sulawesi bagian selatan yang bertiup dari tenggara (Alifdini, 2021).

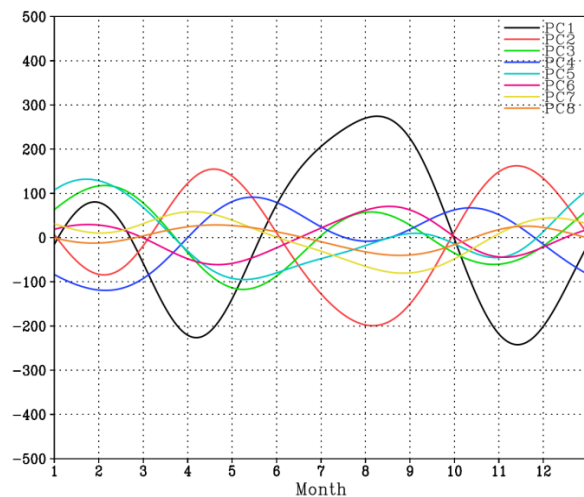
REOF 2 dengan variansi 12.05% menunjukkan nilai vector eigen negatif semua terutama di Gorontalo, Sulawesi Utara dan Sulawesi Tengah bagian barat pada gambar 3. Nilai negatif ini membalikkan grafik PCs 2 menjadi PCs dengan puncak pada bulan Agustus pada gambar 3. Tampaknya, angin permukaan juga bernilai besar pada bulan Agustus di perairan sekitar Gorontalo dan Sulawesi Utara dalam penelitian Alifdini (2021).

REOF 3, 4 dan 8 dengan variansi 11,59%, 9,84%, 2,63% bernilai kecil di Pulau Sulawesi pada gambar 4 secara umum. Nilai REOF yang kecil menandakan lemahnya PCs 3, 4 dan 8 di Pulau Sulawesi.

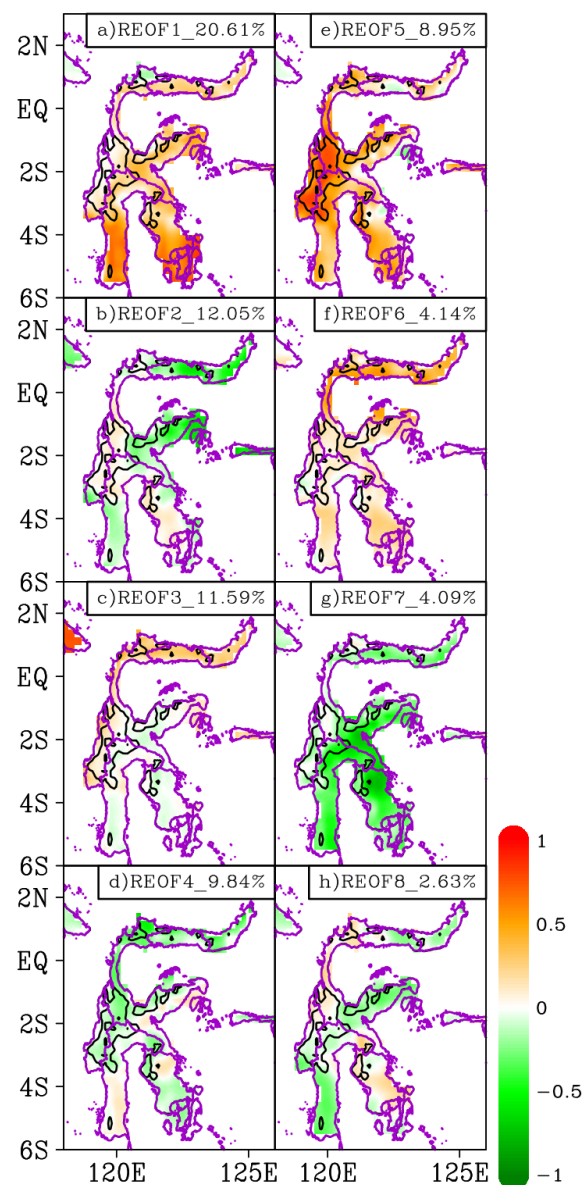
REOF 5 dengan variansi 8,95% memiliki sebaran nilai terbesar berada di dataran tinggi Sulawesi bagian tengah pada gambar 4. Dibandingkan REOF lainnya, hanya REOF 5 yang paling besar di dataran tinggi Sulawesi bagian tengah yang artinya merupakan pola paling dominan di area tersebut. PCs 5 memiliki puncak tertinggi pada bulan Januari pada gambar 3.

REOF 6 (variansi 4,14%) menunjukkan nilai positif semua dan distribusi terbesar berada di Sulawesi bagian utara pada gambar 4. Nilai yang tidak terlalu besar tampak pula di sebagian Sulawesi Selatan dan Tenggara. Sebarannya tampak menyerupai REOF 2, tetapi berbeda di Sulawesi Tengah bagian utara dan barat. PCs 6 juga memiliki pola yang sama dengan PCs 2 dengan REOF 2 negatif.

Pada gambar 4, REOF 7 (variansi 4,09%) bernilai negatif dan memiliki nilai paling kecil di sekitar Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara dan Sulawesi Tengah bagian barat. Polanya menyerupai REOF 1, kecuali di Sulawesi Tengah. Ketika PCs 7 dikalikan dengan nilai negatif karena REOF 7 negatif, PCs 7 memiliki pola temporal seperti PCs 1 pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik PCs 1 sampai PCs 8.



Gambar 4. REOF a) mode 1, b) mode 2, c) mode 3, d) mode 4, e) mode 5, f) mode 6, g) mode 7, dan h) mode 8. REOF dioverlay dengan data ketinggian GLOBE

KESIMPULAN

Explorasi data angin kencang model reanalisis ERA5 di Pulau Sulawesi dilakukan dalam penelitian ini dengan menggunakan metode EOF dan Fourier harmonik yang dikomparasi dengan data DIBI BNPB. Setelah menganalisis data-data tersebut, penulis berkesimpulan bahwa angin kencang di Sulawesi Selatan dan Sulawesi Tenggara adalah yang dominan terjadi di Pulau Sulawesi dan memiliki puncak pada bulan Agustus yang dipengaruhi oleh angin dari tenggara, angin kencang di Sulawesi Utara, Gorontalo dan Sulawesi Tengah bagian barat juga memiliki pola temporal yang sama dengan pola dominan tetapi dengan magnitudo yang lebih kecil serta angin kencang di pegunungan tengah Sulawesi dengan magnitudo yang lebih kecil dibandingkan pola-pola sebelumnya memiliki puncak pada bulan Januari.

Untuk lebih lanjut, kajian yang menganalisis data observasi diperlukan untuk melengkapi kajian angin kencang di Pulau Sulawesi.

KONTRIBUSI PENULIS

Penulis pertama adalah kontributor utama mengolah data, menganalisis data dan membuat naskah. Penulis ke-2 sampai ke-4 menelaah naskah.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahrens, C. D., & Henson, R. (2014). *Meteorology today : an introduction to weather, climate, and the environment*. Cengage.
- Alifdini, I. (2021). *Seasonal distribution and variability of surface winds in the Indonesian seas using scatterometer and reanalysis data. July 2020*, 1–19. <https://doi.org/10.1002/joc.7101>
- Amin Nur Syafitri, Maru, R., & Invanni, I. (2021). Analisis Tingkat Bahaya Bencana Angin Puting Beliung Berbasis Sistem Informasi Geografis di Kabupaten Sidenreng Rappang. *Jurnal Environmental Science*, 3(April). ojs.unm.ac.id/JES
- BNPB. (2020). *IRBI Indeks Risiko Bencana Indonesia Tahun 2020*. BNPB.
- BPS. (2021). Hasil Sensus Penduduk 2020. *Berita Resmi Statistik*, 7, 1–12.
- Crowe, P. . R. . (1951). Wind and Weather in the Equatorial. *Institute of British Geographers Transactions*, 17(17), 23–76.
- Dommengot, D. (2015). *An Introduction to Statistical Analysis in Climate*.
- Gjeta, A., Malka, L., Hasanaj, A., & Alcani, M. (2020). *The wind gusts effects on human body based on cfd simulations*. 142(4), 138–142.
- Hemingway, R. (2020). *Developing a hazard-impact model to support impact-based forecasts and warnings : The Vehicle OverTurning (VOT) Model*. January. <https://doi.org/10.1002/met.1819>
- Hilmi, I., Ningsih, N. S., Sofian, I., Hanifah, F., & Rizal, A. M. (2018). *The study of MJO impact on wave height and wind speed in Indonesian Seas*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/162/1/012004>
- Murlina, E. (2013). *Prediksi Puting Beliung di Kabupaten Maros*.
- Okstrifiani, N. (2013). *Prediksi Puting Beliung Di Kabupaten Toraja Utara*. Universitas Hasanuddin.
- Sarli, P. W., Abdillah, M. R., & Sakti, A. D. (2020). Relationship between wind incidents and wind-induced damage to construction in West Java , Indonesia Relationship between wind incidents and wind-induced damage to construction in West Java , Indonesia. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci*, November, 13. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/592/1/012001>
- Sulung, G., Priyanka, M., Saraswati, N., Nurfiana, S. P., & Ricardo, L. G. (2011). *Pengaruh Parameterisasi Kumulus terhadap Simulasi Angin Kencang di Makassar dengan Menggunakan WRF*.
- Wilks, D. S. (2019). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Elsevier Inc.