



Analisis Parameter *Vertical Velocity* dan Kaitannya dengan Kondisi Parameter Cuaca saat Kejadian Hujan ES

Vertical Velocity Parameter and Its Relationship with Weather Parameter Condition in the Hail Event

Nadine Ayasha*

Stasiun Meteorologi H. Asan Kotawaringin Timur, Jalan Samekto, 74313

*Email: nadineayasha17@gmail.com

Naskah Masuk: 25 Februari 2022 | Naskah Diterima: 10 Mei 2022 | Naskah Terbit: 30 Juni 2022

Abstrak. Hujan es terjadi di Sukabumi, Sekadau dan Bogor, yang terjadi masing-masing pada tanggal 23 Agustus 2020, 22 Agustus 2020 dan 23 September 2020. Fenomena cuaca ekstrem di tiga tempat ini terjadi di musim kemarau. Penelitian ini memanfaatkan data model reanalysis ERA5 untuk menganalisa kondisi *vertical velocity* saat terjadi hujan es dan kaitannya dengan parameter cuaca lain seperti kelembapan udara dan pola angin. Selain itu, data satelit produk HCAI (*High resolution Cloud Analysis Information*) digunakan sebagai data pendukung untuk analisis perkembangan awan konvektif. Berdasarkan hasil model ERA5, nilai *vertical velocity* di lapisan 925 mb s/d 300 mb untuk wilayah Sukabumi, Sekadau dan Bogor masing-masing berkisar antara $-1.2-(-0.2)$, $-1.5-(-0.2)$, $-1-0$ Pa/s. Nilai negatif sebelum kejadian hujan es mengindikasikan terdapat *upward motion* dari massa udara yang memicu pertumbuhan awan konvektif yang memproduksi hujan es. Selain itu, kelembapan udara di lapisan 850–700 mb terdeteksi basah dan berkisar antara 80–90%. Sementara itu, pola angin di ketiga wilayah tersebut menunjukkan adanya konvergensi dengan perlambatan kecepatan angin berkisar antara 2–4 knots. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *upward motion* dari *vertical velocity* cukup untuk membentuk kelembapan udara yang basah di atmosfer dan konvergensi untuk pertumbuhan awan konvektif yang menghasilkan hujan es di musim kemarau.

Kata Kunci: Hujan Es, Cuaca Ekstrem, *Vertical Velocity*

Abstract. Hail occurred in Sukabumi, Sekadau and Bogor on August 23, 2020, August 22, 2020, and September 23, 2020. Extreme weather phenomena in these three places occurred in the dry season. This study utilizes the ERA5 data reanalysis model to analyze the vertical velocity conditions when hail happened and its conditions with other weather parameters such as relative humidity and wind patterns. In addition, HCAI (*High-Resolution Cloud Analysis Information*) product satellite data is used as supported data for the convective cloud development analysis. Based on the ERA5 model results, the vertical velocity values in the 925 mb to 300 mb layers for the Sukabumi, Sekadau and Bogor areas ranged from $-1.2-(-0.2)$, $-1.5-(-0.2)$, $-1-0$ Pa/s. Negative values before the hail occurrence indicate that there is upward motion from the air mass that triggers the convective cloud's growth, which produces hail. In addition, the humidity in the 850–700 mb layer was wet and ranged from 80–90%. Meanwhile, the wind patterns in the three regions show convergence with wind speed deceleration, which ranges from 2–4 knots. These results indicate that the upward motion of the vertical velocity is sufficient to form the moist conditions in the atmosphere and convergence to convective clouds growth that produces hail in the dry season.

Keywords: Hail, Extream Weather, *Vertical Velocity*

Pendahuluan

Kejadian hujan es di Kabupaten Sukabumi, Sekadau dan Bogor berturut-turut pada tanggal 23 Agustus 2020, 22 Agustus 2020 dan 23 September 2020, merupakan fenomena yang terjadi pada musim kemarau dan terjadi pada waktu yang berdekatan. Fenomena hujan es terjadi ketika *updraft* yang kuat bergerak secara vertikal, dimana mendukung batu es untuk tumbuh membesar. Proses ini berlanjut untuk tumbuh dan bertabrakan dengan tetesan cairan dingin. Ketika es mulai jatuh ke permukaan bumi, es tersebut tidak langsung mencair sebagai hujan [1]. Gerakan vertikal ini terjadi karena adanya *vertical velocity*, khususnya *upward vertical velocity*, dimana dapat meningkatkan perkembangan awan konvektif, dimana secara potensial menyebabkan cuaca buruk [13], contohnya kejadian hujan es [10] dan dapat mengganggu kondisi cuaca [5]. Penelitian mengenai pengaruh *vertical velocity* telah dilakukan oleh Li dan Gorman [7], Morrison [8], Peters [10] dan Peters, dkk [11].

Penelitian mengenai pengaruh *vertical velocity* terhadap hujan ekstrem akibat perubahan iklim telah dilakukan menggunakan data *The Community Earth System Model–Large Ensemble* (CESM–LE), *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Climate Model* (GFDL), *Circulation Model 3* (CM3) dan *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5) [7]. Hasil menunjukkan bahwa *upward motion* memiliki pengaruh yang besar terhadap kejadian hujan ekstrem. Penguatan *upward motion* ini didukung oleh pemanasan diabatik, dimana diimbangi oleh kenaikan stabilitas statis kering (*dry static stability*). Penelitian mengenai *vertical velocity* juga telah dilakukan sebelumnya, yaitu mengenai hubungan antara *vertical velocity*, gangguan tekanan udara, ukuran *updraft* dan dimensi konveksi awan cumulus menggunakan pendekatan solusi analitis dari persamaan momentum dan kontinuitas massa dalam pemodelan 2D dan 3D [8]. Hasil penelitian Morrison [8] menunjukkan bahwa gangguan tekanan udara bergantung pada rasio radius *updraft*, yaitu ketinggian *updraft* dan pengaruh distribusi *vertical velocity*, ketika *updraft* terjadi dengan gangguan tekanan udara.

Kajian yang meneliti pengaruh *vertical velocity* terhadap *updraft* telah dilakukan menggunakan *Cloud Model 1* (CM1) dan data sounding WK82 sebagai kondisi inisial [10]. Hasil simulasi profil vertikal menggunakan *Cloud Model 1* secara akurat dapat mendeteksi *vertical velocity* maksimum ketika terjadi *updraft*. Kajian lainnya terkait pengaruh *vertical velocity* terhadap *updraft* supersel pada lapisan troposfer bagian atas juga telah dilakukan menggunakan *Cloud Model 1* (CM1) [11]. Hasil kajian mengindikasikan bahwa percepatan dinamika tekanan udara dapat meningkatkan *vertical velocity* maksimum. Hal ini didukung oleh percepatan tekanan apung yang bergerak ke bawah (*downward*). Proses ini mendukung pembentukan *updraft* supersel dengan nilai persentase *Convective Available Potential Energy* (CAPE) yang lebih tinggi.

Berdasarkan beberapa penelitian diatas, penelitian ini mengkaji dan menganalisis pengaruh *vertical velocity* terhadap kejadian hujan es di Sukabumi, Sekadau dan Bogor serta hubungannya dengan parameter cuaca terkait, seperti kelembapan udara dan pola angin. Penelitian ini menggunakan data model ECMWF *Reanalysis v5* (ERA5) untuk mendapatkan output dari *vertical velocity*, kelembapan udara, pola angin dan kecepatan angin. Selain itu, data produk satelit *High resolution Cloud Analysis Information* (HCAI) digunakan sebagai data pendukung untuk analisis pertumbuhan awan konvektif yang menghasilkan hujan es.

Metode Penelitian

Metode penelitian pada penelitian ini menggunakan metode analisis deskriptif dari data output *ERA5 hourly reanalysis data* [3] pada tanggal 23 Agustus 2020 di Sukabumi (–6.8276635 LS dan 106.9319665 BT), 22 Agustus 2020 di Sekadau (–0.0860578 LS and 110.5976472 BT) dan 23 September 2020 di Bogor (–6.5951935 LS and 106.791892 BT). Data ERA5 diolah menggunakan *The Grid Analysis and Display System* (GrADS) [3] untuk mendapatkan hasil data output. Adapun hasil data output yang digunakan yaitu:

1. *Vertical velocity* pada lapisan 1000–100 mb,
2. Komponen angin U dan V lapisan 925 mb
3. Kelembapan udara (*Relative Humidity*).

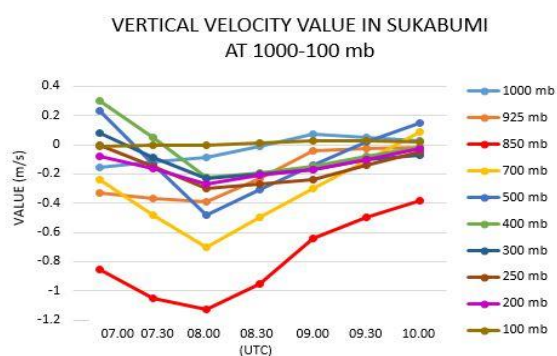
Selain itu, produk HCAI digunakan untuk menganalisis perkembangan awan, mulai dari tahap pertumbuhan, matang dan disipasi [9] yang ditandai dengan warna pada citra yang dihasilkan oleh produk HCAI. Data reanalisis ERA5 per jam diperoleh dari <https://cds.climate.copernicus.eu>. Dengan format netCDF (.nc). Selain itu, data satelit produk HCAI digunakan sebagai data pendukung [9] yang didapat dari <ftp://202.90.199.64>.

Hasil dan Pembahasan

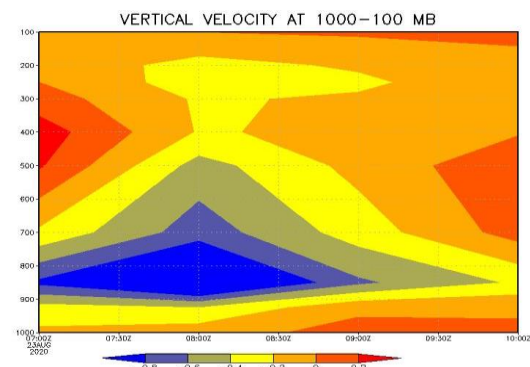
Analisis *Vertical Velocity* di Sukabumi

Hujan es terjadi di Sukabumi pada tanggal 23 Agustus 2020 dimulai pada pukul 08.45 UTC dan bertahan dalam 30 menit. Berdasarkan hasil dari grafik *vertical velocity* untuk lapisan 1000–100 mb (Gambar 1), grafik menunjukkan bahwa nilai *vertical velocity* mulai menurun di seluruh lapisan pada pukul 07.30 UTC, terutama di lapisan 850 dan 700 mb, dengan nilai $-1 - 0$ Pa/s. Selain itu, nilai terendah pada grafik terjadi pada pukul 08.00 UTC yang berkisar antara $-1.2 - 0$ Pa/s. Hal ini didukung oleh hasil diagram hovmoller (Gambar 2) pada jam 07.00–08.30 UTC, dimana hasil bernilai negatif, terutama pada lapisan 850–700 mb yaitu < -0.8 Pa/s.

Nilai negatif pada grafik dan diagram hovmoller sebelum kejadian hujan es pada pukul 07.00–08.30 UTC mengindikasikan terdapat *updraft* yang kuat atau telah terjadinya *upward vertical velocity*, dimana hal ini meningkatkan jumlah awan–awan konvektif dan memicu cuaca buruk [13]. *Updraft* yang kuat terjadi di hampir seluruh lapisan di atmosfer, terutama lapisan 850–700 mb. Jadi, *vertical velocity* adalah salah satu faktor yang menyebabkan hujan es di Sukabumi. Selain itu, nilai *vertical velocity* meningkat pada pukul 09.00–10.00 UTC, dimana hal ini mengindikasikan terjadinya *downward vertical velocity* dan hujan es perlahan lahan selesai.



Gambar 1. Grafik *Vertical Velocity* di Sukabumi tanggal 23 Agustus 2020

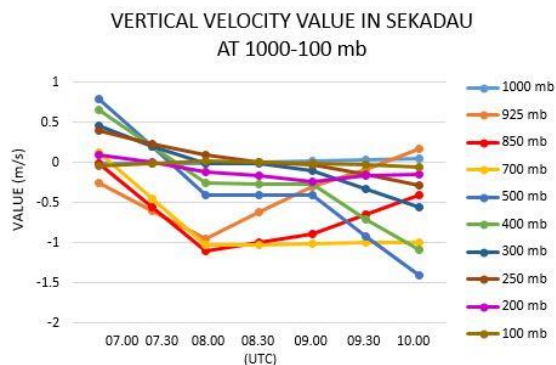


Gambar 2. Diagram Hovmoller di Sukabumi tanggal 23 Agustus 2020

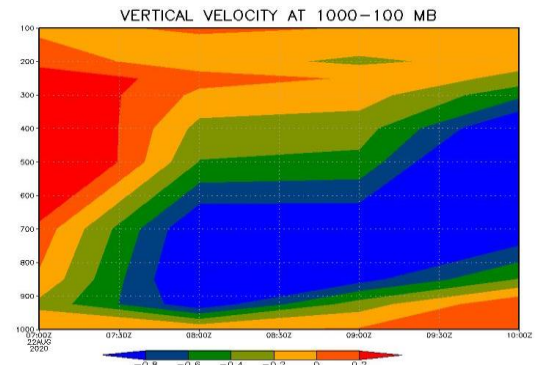
Analisis *Vertical Velocity* di Sekadau

Fenomena hujan es di Sekadau tanggal 22 Agustus 2020 terjadi pada pukul 14.23–15.00 UTC. Secara umum, sebelum kejadian hujan es, grafik *vertical velocity* untuk lapisan 1000–100 mb menunjukkan nilai negatif (Gambar 3), dimana nilai berkisar antar $-1.5 - (-0.5)$ Pa/s pada pukul 07.00–10.00 UTC. Hal ini menunjukkan terjadinya *upward vertical velocity* di seluruh lapisan atmosfer dan memiliki rentang nilai yang beragam. Nilai terendah terjadi pada pukul 08.00 UTC, terutama pada lapisan 850 mb. Sementara itu, nilai *vertical velocity* berlangsung stagnan untuk lapisan 500–300 mb pada pukul 08.00–09.00 UTC. Tetapi, nilai mulai menurun pada rentang $-1.5 - (-0.5)$ Pa/s pada pukul 09.00–10.00 UTC. Hal ini mengindikasikan terdapat pengangkatan massa udara yang kuat di Sekadau.

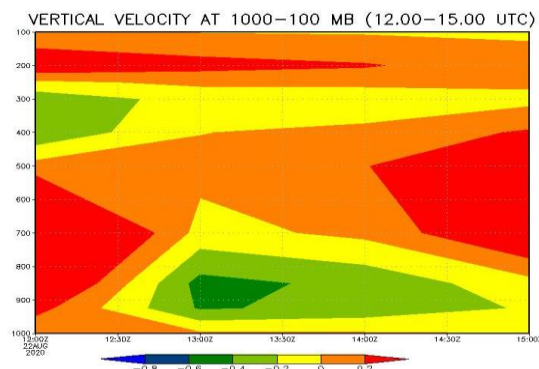
Hal tersebut didukung oleh diagram hovmoller (Gambar 4), dimana lapisan 850–400 mb memiliki nilai negatif yang berkisar antara $-0.8 - (-0.6)$ Pa/s pada pukul 08.00–10.00 UTC. Satu jam sebelum kejadian hujan es, diagram hovmoller masih menunjukkan nilai negatif pada pukul 13.00–14.00 UTC (Gambar 5) yang berkisar antara $-0.6 - 0$ Pa/s pada lapisan 850–700 mb. Hal ini menunjukkan bahwa *updraft* yang kuat telah mempengaruhi keadaan di atmosfer sejak siang hari dan bertahan hingga hujan es turun ke permukaan bumi pada malam hari. Fenomena hujan es ini dapat terjadi karena fluktuasi suhu udara yang memicu pemanasan udara [5], dikarenakan *updraft* sudah menguat sejak siang hari dan mendukung terjadinya *upward vertical velocity*. Oleh karena itu, *vertical velocity* merupakan salah satu faktor penting saat terjadinya hujan es.



Gambar 3. Grafik *Vertical Velocity* di Sekadau tanggal 22 Agustus 2020



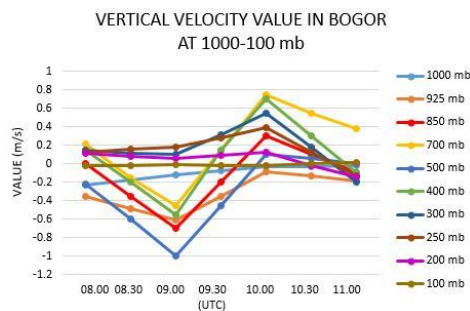
Gambar 4. Diagram Hovmoller di Sekadau tanggal 22 Agustus 2020



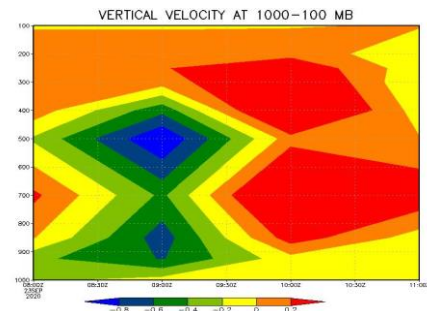
Gambar 5. Diagram Hovmoller pukul 12.00–15.00 UTC di Sekadau tanggal 22 Agustus 2020

Analisis *Vertical Velocity* di Bogor

Pada tanggal 23 September 2020, pukul 10.15 UTC, hujan es turun di Bogor. Secara umum, berdasarkan hasil grafik *vertical velocity* (Gambar 6), nilai *vertical velocity* berfluktuasi pada pukul 08.00–11.00 UTC di semua lapisan di atmosfer. Nilai *vertical velocity* terendah terjadi pada pukul 09.00 UTC, terutama pada lapisan 925–400 mb dan berkisar antara $-1.0 - (-0.4)$ Pa/s. Hal ini mengindikasikan adanya kenaikan massa udara yang kuat menuju atmosfer dan mendukung untuk pembentukan awan konvektif penyebab hujan es. Pada pukul 09.30–10.30 UTC, terdapat kenaikan nilai *vertical velocity* untuk seluruh lapisan di atmosfer atau *downward vertical velocity*, dimana hal ini mengindikasikan turunnya hujan es pada pukul 10.15 UTC. Hal ini didukung oleh diagram hovmoller (Gambar 7) pada pukul 09.00 UTC di lapisan 925–400 mb, dimana nilai berkisar antara $-0.8 - (-0.2)$ Pa/s. Berdasarkan analisis diatas, nilai *vertical velocity* negatif mengindikasikan adanya *updraft* atau pergerakan udara keatas [7], dimana hal ini mendukung pembentukan awan konvektif dan menjadi faktor untuk terjadinya hujan es di Bogor.



Gambar 6. Grafik *Vertical Velocity* di Bogor tanggal 23 September 2020

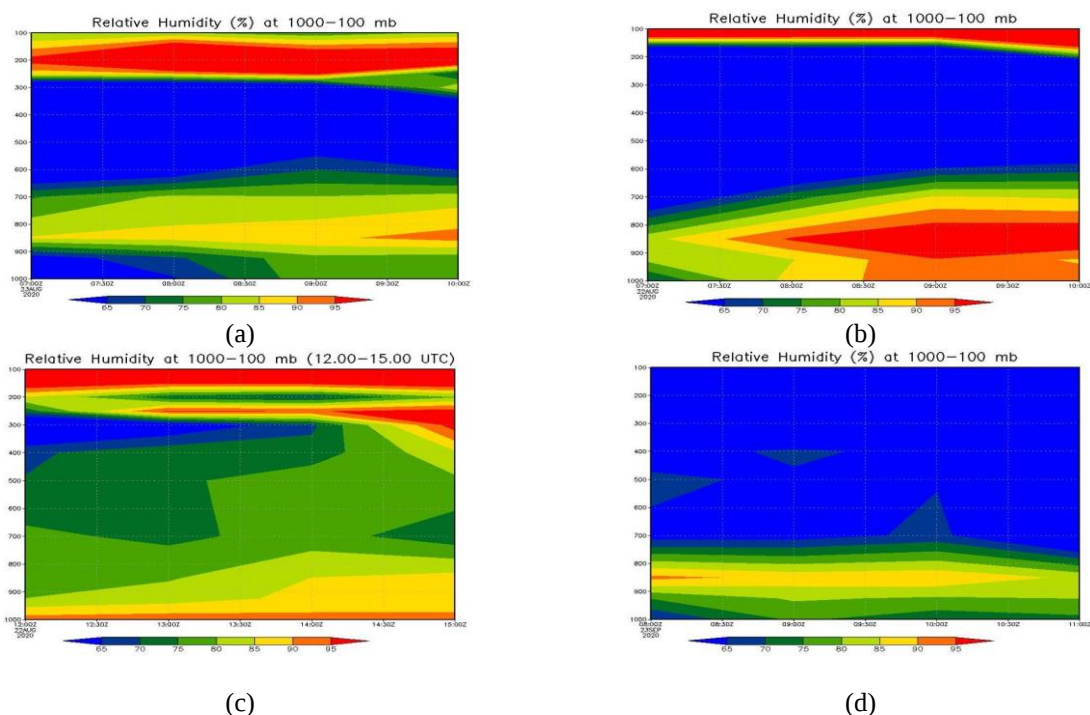


Gambar 7. Diagram Hovmöller di Bogor tanggal 23 September 2020

Analisis Kelembapan Udara

Berdasarkan diagram hovmöller (Gambar 8) untuk kelembapan udara di Sukabumi pada pukul 07.00–10.00 UTC, lapisan 925–700 mb memiliki kelembapan udara basah dengan rentang 80–90%. Sementara itu, kelembapan udara untuk wilayah Sekadau sebelum kejadian hujan es (08.30–13.30 UTC) dan selama kejadian hujan (14.23–15.00 UTC) cenderung basah dengan rentang 80–95% untuk lapisan 925–700 mb. Untuk wilayah Bogor, lapisan 925–850 mb terdeteksi cukup basah dengan kisaran 80–90% pada pukul 08.00–11.00 UTC. Keadaan kelembapan udara di atmosfer tersebut mendukung untuk terjadinya proses hujan es di Sukabumi, Sekadau dan Bogor.

Awan yang dapat memproduksi hujan es terjadi akibat uap air yang terangkat ke atmosfer, dimana uap air dapat meningkatkan kelembapan udara [2]. Pengangkatan uap air ke atmosfer ini didukung oleh *vertical velocity* skala besar, dimana mendorong terjadinya kondensasi uap air ke atmosfer. Hal ini mengakibatkan kelembapan udara bertambah basah di area tersebut [12]. Hal ini dibuktikan dengan nilai negatif dari *vertical velocity* di ketiga wilayah tersebut dan mengindikasikan adanya pengangkatan udara keatas. Dengan kata lain, hujan es terjadi karena kelembapan udara di atmosfer basah, terutama pada troposfer bagian bawah [4] dan diindikasikan dengan kelembapan yang basah di ketiga wilayah tersebut, terutama pada lapisan 925–700 mb.

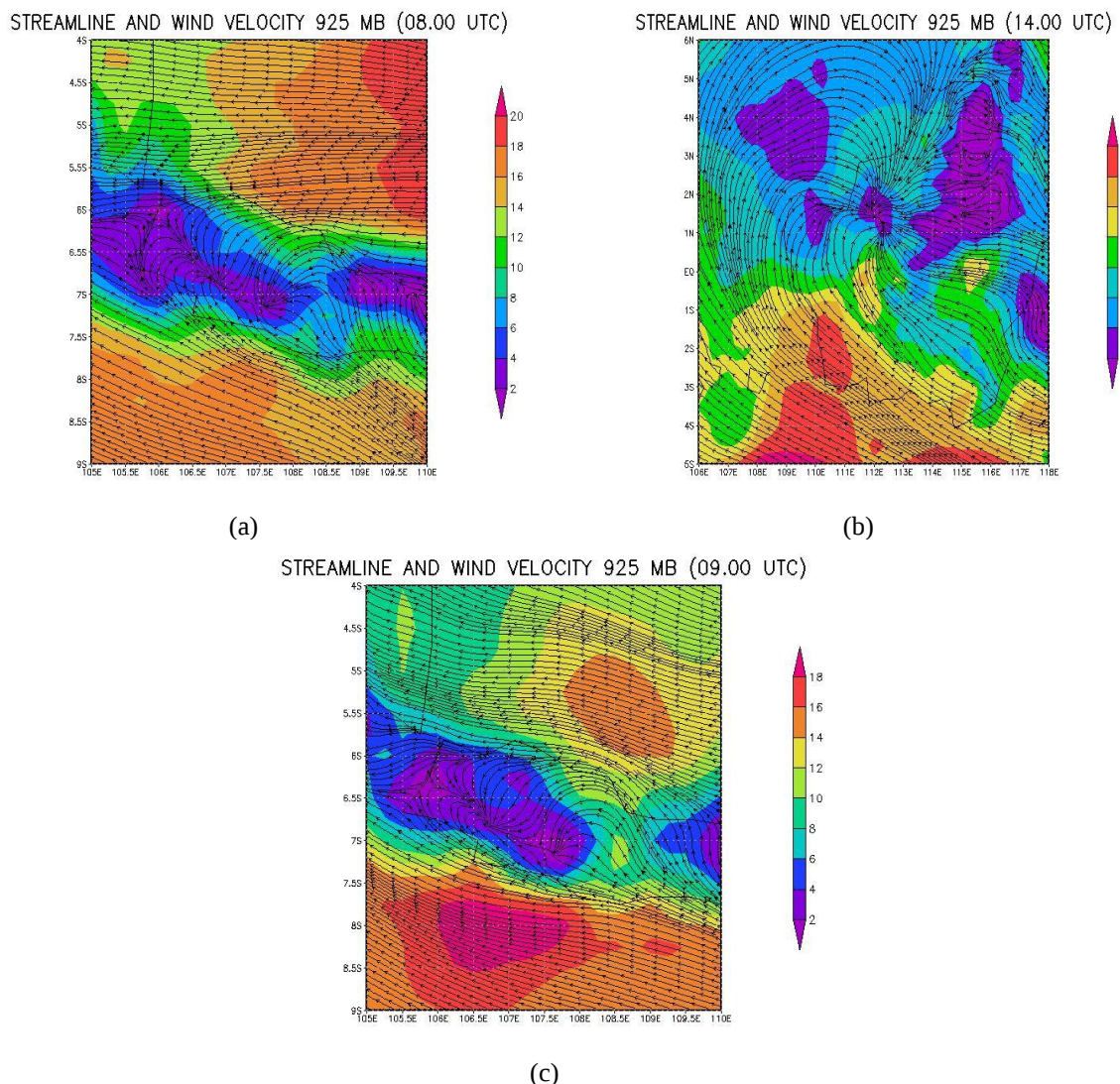


Gambar 8. Diagram Hovmöller untuk (a). Sukabumi, 23 Agustus 2020, (b). Sekadau, tanggal 22 Agustus 2020 pada pukul 07.00–10.00 UTC, (c). Sekadau pada pukul 12.00–15.00 UTC dan (d). Bogor, 23 September 2020

Analisis Pola Angin

Berdasarkan *streamline* dan kecepatan angin pada Gambar 9 untuk lapisan 925 mb (3000 feet) di wilayah Sukabumi, dapat dilihat bahwa terdapat adanya perlambatan kecepatan angin yang membentuk konvergensi dan belokan angin (*shear line*) dengan kecepatan angin 2–4 knots. Konvergensi ini menjadi penyebab pembentukan awan konvektif penyebab hujan es, karena massa udara yang terkonsentrasi mendukung pertumbuhan awan konvektif di wilayah Sukabumi.

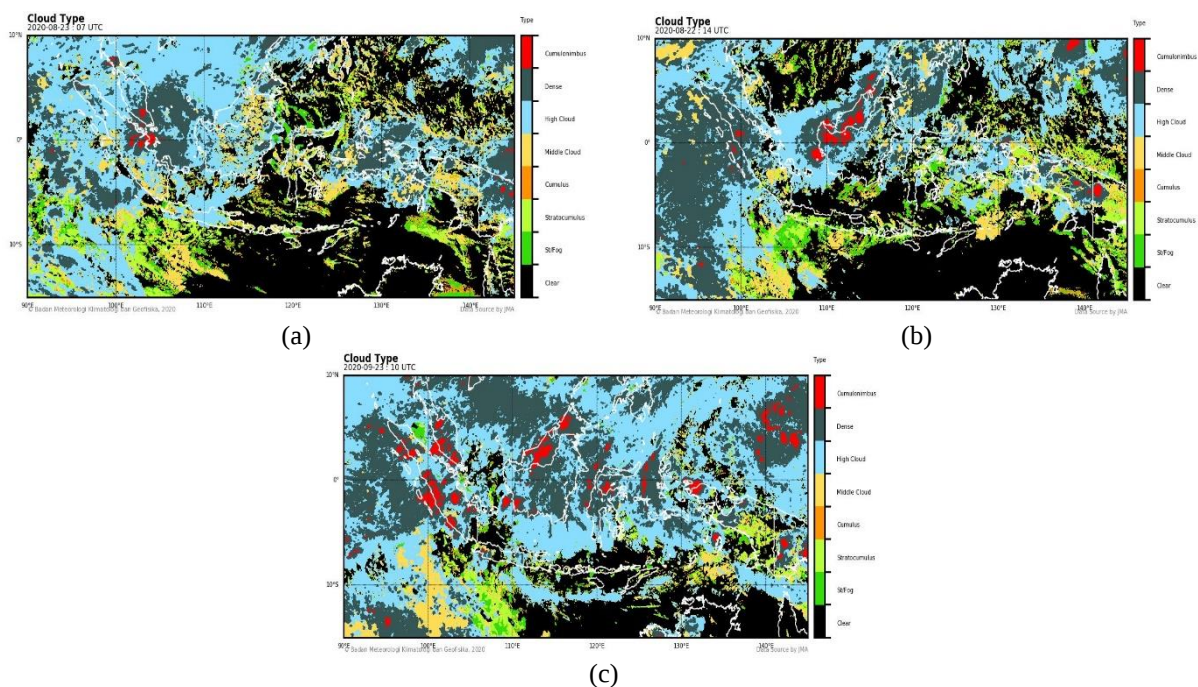
Wilayah Sekadau memiliki pola belokan angin (*shear line*) pada lapisan 925 mb. Belokan angin tersebut memicu maasa udara untuk berkumpul di wilayah Sekadau dan mendukung pertumbuhan awan–awan konvektif penyebab hujan es. Sementara itu, hujan es di wilayah Bogor dipengaruhi oleh hal yang sama seperti wilayah Sukabumi, yaitu belokan angin (*shear line*) dan konvergensi yang berasal dari perlambatan kecepatan angin. Jika dikaitkan dengan pola angin, *vertical velocity* memiliki pengaruh terhadap kecepatan angin [6]. Hal ini dibuktikan oleh adanya gangguan kecepatan angin saat terjadi hujan es di ketiga wilayah tersebut.



Gambar 9. *Streamline* dan Kecepatan Angin untuk wilayah (a). Sukabumi, (b). Sekadau (c). Bogor

Analisis Data HCAI

Berdasarkan hasil analisis dan interpretasi dari data HCAI (Gambar 10), awan konvektif yang tumbuh di Sukabumi bergerak dari arah Barat Laut dimulai sejak pukul 07.00 UTC hingga terjadinya hujan es. Hal ini didukung oleh penjelasan pola angin diatas, dimana pertumbuhan awan konvektif terjadi karena belokan angin dari arah Barat Laut. Untuk wilayah Sekadau, pertumbuhan awan konvektif dimulai sejak pukul 12.00 UTC hingga terjadinya hujan es. Berdasarkan data HCAI, awan Cumulonimbus terdeteksi di wilayah Sekadau pada pukul 12.00–15.00 UTC. Sementara itu, pertumbuhan awan konvektif di Bogor sudah terdeteksi sejak pukul 10.00 UTC, dimana 15 menit sebelum kejadian hujan es. Berdasarkan analisis diatas, hujan es dihasilkan dari updraft yang kuat di atmosfer dan membentuk awan–awan konvektif, terutama awan Cumulonimbus [2].



Gambar 10. Data HCAI untuk (a). Sukabumi, (b). Sekadau (c). Bogor

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan diatas, secara umum, hasil pemodelan ERA5 dari grafik dan diagram hovmoller menunjukkan bahwa nilai *vertical velocity* pada lapisan 925–300 mb di Sukabumi, Sekadau dan Bogor sebelum kejadian hujan es berkisar antara -1.2 – (-0.2) , -1.5 – (-0.2) , -1 – 0 Pa/s. Nilai negatif mengindikasikan adanya pergerakan massa udara keatas, dimana memicu pertumbuhan awan konvektif penghasil hujan es. Hal ini dibuktikan dengan kehadiran awan Cumulonimbus dari produk data HCAI ketika hujan es turun. Untuk parameter cuaca lainnya, kelembapan udara pada lapisan 850–700 mb cenderung basah dan berkisar antara 80–95%. Selain itu, pola angin di ketiga wilayah tersebut menunjukkan adanya konvergensi dengan perlambatan kecepatan angin dan berkisar antara 2–4 knots.

Terkait hubungan antara *vertical velocity* dengan kelembapan udara dan pola angin, pergerakan keatas dari *vertical velocity* mempengaruhi kondisi kelembapan atmosfer yang basah, konvergensi dan pola angin. Kondisi ini mendukung pertumbuhan awan konvektif yang menghasilkan hujan es di musim kemarau. Oleh karena itu, *vertical velocity* memberikan pengaruh terhadap kondisi kelembapan udara dan pola angina.

Saran

Diperlukan adanya pemodelan menggunakan produk data lainnya dalam mengolah data *vertical velocity* sebagai data pembanding.

Daftar Pustaka

- [1] Ahren, D.C., Henson, R. 2019. *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and The Environment*. 12nd edn. Cengage Learning, USA.
- [2] Ahren, D.C., Henson, R. 2018. *Essentials of Meteorology, An Invitation to the Atmosphere*. 8th edn. Cengage Learning, USA.
- [3] Frystine, M., Mulya, A., Kristianto, A., Mauliyah, M.P. 2022. Analysis of Atmospheric Condition On Hail Event At Pelalawan (Case Study: September 23rd, 2019). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. 23(2).
- [4] Helmis, C.G., Nastos, P.T. 2012. *Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*. Springer, New York.
- [5] Holton, J. R. 2012. *An Introduction to Dynamic Meteorology*. 4th edn. Elsevier Academic Press. San Diego California.
- [6] Houston, A.L., Laurence, R.J., Nichols, T.W., Waugh, S., Argrow, B., Ziegler, C.L. 2016. Intercomparison of Unmanned Aircraftborne and Mobile Mesonet Atmospheric Sensors. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 33(8): 1569–1582.
- [7] Li, Z., O’Gorman, P.A. 2020. Response of Vertical Velocities in Extratropical Precipitation Extremes to Climate Change. *Journal of Climate*. 33(16): 7125–7139.
- [8] Morrison, H. 2016. Impacts of Updraft Size and Dimensionality on the Perturbation Pressure and Vertical Velocity in Cumulus Convection. Part I: Simple, Generalized Analytic Solutions. *Journal of the Atmospheric Science*. 73(4): 1441–1454.
- [9] Paski, J.A.I., Sepriando, A., Pertiwi, D.A.J. 2017. Pemanfaatan Teknik RGB pada Citra Satelit Himawari-8 Untuk Analisis Dinamika Atmosfer Kejadian Banjir Lampung 20–21 Februari 2017. 4(3).
- [10] Peters, J.M. 2016. The Impact of Effective Buoyancy and Dynamic Pressure Forcing on Vertical Velocities within Two Dimensional Updrafts. *Journal of the Atmospheric Science*. 73(11): 4531–4551.
- [11] Peters, J.M., Nowotarski, C.J., Morrison, H. 2019. The Role of Vertical Wind Shear in Modulating Maximum Supercell Updraft Velocities. *Journal of the Atmospheric Science*. 76(10): 3169–3189.
- [12] Singh, M. S., Warren, R. A., Jakob, C. 2019. A Steady State Model for the Relationship Between Humidity, Instability, and Precipitation in the Tropics. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*. 11(12): 3973–3994.
- [13] Stull, R. 2015. *Practical Meteorology—An Algebra-based Survey of Atmospheric Science*. University of British Columbia, Canada.

