

Pemanfaatan Data Pengamatan Cuaca Berbasis Data Penginderaan Jauh Dan Model Cuaca Numerik Untuk Prakiraan Cuaca Dalam Mengurangi Risiko Bencana Hidrometeorologi

Aries Kristianto*, Immanuel Jhonson Arizona Saragih, Muhammad Ryan, Wulan Wandarana, Hensatiti Niken Pratiwi, Adelina Lumban Gaol, Khafid Pratama, dan Ejha Larasati Siadari

Program Studi Meterologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta

*Email: aries.kristianto@stmkg.ac.id

Received: 21 01 2018 / Accepted: 19 03 2018 / Published online: 25 07 2018

ABSTRAK

Cuaca ekstrem dengan intensitas curah hujan tinggi yang sering terjadi di tanah air menjadikan Indonesia memiliki ancaman terhadap bencana hidrometeorologi, seperti banjir, kekeringan, badai, dan tanah longsor. Terjadinya perubahan iklim mengindikasikan bahwa frekuensi kejadian cuaca ekstrem akan terus meningkat. Kejadian bencana hidrometeorologi memiliki dampak yang signifikan terhadap kondisi sosial dan ekonomi masyarakat yang terdampak. Mengingat besarnya dampak yang ditimbulkan, masyarakat dan pemerintah perlu meningkatkan kesiapsiagaan dalam menghadapi terjadinya bencana hidrometeorologi. Salah satu hal yang dapat dilakukan oleh BMKG adalah pengembangan teknologi monitoring dan prediksi kebencanaan hidrometeorologi, yaitu menggunakan data penginderaan jauh dan model numerik cuaca. Berdasarkan hal tersebut, tujuan kajian merupakan untuk menganalisis seberapa besar optimalisasi pemanfaatan data penginderaan jauh dan model cuaca numerik untuk keperluan prakiraan cuaca ekstrem. Hasil analisis menunjukkan bahwa data penginderaan jauh dan data model numerik cuaca dapat digunakan secara optimal untuk keperluan prakiraan cuaca. Selain itu, masih perlu dilakukan pengembangan dan inovasi pemanfaatan data penginderaan jauh maupun model numerik cuaca untuk mendukung kegiatan pencegahan dan penanggulangan bencana, terutama di bagian diseminasi/penyaluran informasi peringatan dini cuaca ekstrem kepada pihak terkait maupun kepada masyarakat.

Kata Kunci: Bencana Hidrometeorologis, Cuaca Ekstrem, Penginderaan Jauh, Model Numerik

ABSTRACT

Extreme weather with high intensity of rainfall that often occurs in the country makes Indonesia impact by hydrometeorological disasters, such as floods, droughts, storms, and landslides. The occurrence of climate change indicates that the frequency of extreme weather events will continue to increase. The incidence of hydrometeorological disasters has a significant impact on the social and economic conditions of affected communities. Given the magnitude of the impacts, communities and governments need to increase preparedness in the face of hydrometeorological disasters. One of the things

that can be done by BMKG is the development of monitoring technology and hydrometeorology disaster prediction. It is using remote sensing data and weather numerical model. The aim of research was analyzed use of remote sensing data and numerical weather models for extreme weather forecasts. The result indicated that the remote sensing data and numerical weather models has been able to utilize optimally for weather forecasts. However, the methods are need improving and inovation to support disaster mitigation activity especially for early warning extreme weather for goverments and society .

Keywords: *Hydrometeorological Disaster, Extreme Weather, Remote Sensing, Numerical Mode*

PENDAHULUAN

Bencana merupakan suatu peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor nonalam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis (Undang-Undang No. 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana). Berdasarkan penyebabnya, bencana dibedakan menjadi bencana alam, bencana nonalam, dan bencana sosial. Bencana alam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah longsor (UU No. 24 Tahun 2007).

Pada bidang meteorologi, dikenal adanya bencana hidrometeorologi. Bencana hidrometeorologi merupakan bencana yang diakibatkan oleh parameter-parameter meteorologi/cuaca, diantaranya curah hujan, kelembapan udara, suhu udara, dan angin. Contoh bencana hidrometeorologi yang terjadi di Indonesia adalah kebakaran hutan, banjir, longsor, angin puting beliung, angin fohn, dan sebagainya. Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), perubahan cuaca hanya merupakan pemicu terjadinya bencana hidrometeorologi, sedangkan penyebab utamanya adalah kerusakan lingkungan yang masif terjadi

sebagai akibat peningkatan aktivitas manusia yang diikuti dengan penurunan daya dukung dan daya tampung lingkungan.

Ditinjau dari frekuensi kejadiannya, banjir dan tanah longsor yang diakibatkan oleh curah hujan tinggi merupakan kejadian bencana hidrometeorologi yang sering terjadi di Indonesia. Curah hujan tinggi akibat kondisi cuaca ekstrem merupakan konsekuensi dari perubahan iklim. Namun, curah hujan yang tinggi bukan merupakan satu-satunya faktor penyebab terjadinya banjir di suatu wilayah. Faktor lingkungan, seperti infrastruktur sungai atau drainase yang buruk, penggundulan hutan, dan faktor lainnya sangat berpengaruh. Berdasarkan Gambar 1, data kejadian bencana di Indonesia tahun 2002 – 2016, frekuensi kejadian bencana tertinggi yaitu bencana hidrometeorologi seperti: banjir, puting beliung, tanah longsor, dan kekeringan. (BNPB, 2016).



Gambar 1. Grafik jumlah kejadian bencana di Indonesia periode tahun 2002-2016 (BNPB)



Gambar 2. Data jumlah kejadian bencana di Indonesia per tanggal 14 Juli 2016 (BNPB)

Sesuai amanat dalam UU No. 31 Tahun 2009 tentang Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) merupakan satu-satunya lembaga negara yang berhak dan wajib melaksanakan penyelenggaraan meteorologi, klimatologi, dan geofisika. Salah satu tugas pokok dan fungsi BMKG adalah mendiseminasikan informasi peringatan dini cuaca ekstrem untuk keperluan antisipasi dan/atau mitigasi bencana sebagai bentuk partisipasi BMKG dalam mendukung pencegahan dan penanggulangan bencana di Indonesia.

Sebagai tindak lanjut UU No. 31 Tahun 2009, Kepala BMKG mengeluarkan Peraturan Kepala BMKG (Perka BMKG) No. Kep. 009 Tahun 2010 tentang Prosedur Standar Operasional Pelaksanaan Peringatan Dini, Pelaporan, dan Diseminasi Informasi Cuaca Ekstrem. Salah satu mandate BMKG dalam Perka BMKG No. Kep. 009 Tahun 2010 adalah diseminasi informasi meteorologi yang cepat (*fast*), tepat (*precise*), akurat (*accurate*), luas (*wide coverage*), dan mudah dipahami (*understandable*) serta dapat dipertanggungjawabkan.

Untuk tujuan prakiraan cuaca dalam mengurangi risiko bencana hidrometeorologi memiliki berbagai metode salah satunya yaitu metode penginderaan jauh dan model numerik. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisis seberapa besar optimalisasi pemanfaatan

data penginderaan jauh dan model cuaca numerik untuk keperluan prakiraan cuaca ekstrem pencegahan dan penanggulangan bencana.

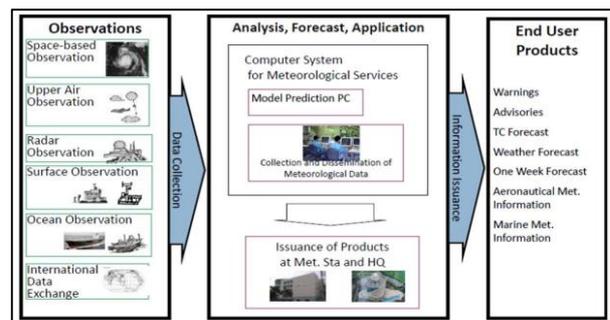
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode studi literatur terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan oleh taruna/i STMKG, terkait pemanfaatan data pengamatan cuaca berbasis penginderaan jauh dan model cuaca numerik untuk prakiraan cuaca sebagai bentuk usaha mengurangi risiko bencana hidrometeorologi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem Operasional Prakiraan Cuaca BMKG

Saat ini, sistem operasional meteorologi BMKG secara garis besar dikelompokkan menjadi 3 bagian kegiatan, yaitu pengamatan meteorologi (*observations*); analisis dan pembuatan prakiraan cuaca (*analysis, forecast, application*); dan diseminasi produk prakiraan cuaca (*end user products*) (Gambar 3).



Gambar 3. Sistem operasional meteorologi BMKG

Secara umum, kondisi cuaca di wilayah tropis, termasuk Indonesia, adalah sulit untuk diprakirakan. Beberapa tantangan dalam kegiatan prakiraan cuaca yang menyebabkan hal tersebut adalah sebagai berikut.

- a. Kondisi massa udara relatif homogen (meliputi parameter suhu udara,

- tekanan udara, dan suhu permukaan laut/Sea Surface Temperature).
- b. Efek gangguan cuaca skala meso dan lokal sangat dominan (dinamika/perubahan kondisi atmosfer relatif cepat).
 - c. Keterbatasan jaringan pengamatan meteorologi.
 - d. Keterbatasan keakuratan prakiraan cuaca numerik (*Numerical Weather Prediction*) di wilayah tropis.

Peningkatan akurasi prakiraan cuaca, saat ini BMKG mengkombinasikan data penginderaan jauh, data pengamatan permukaan dan udara atas, serta data prakiraan cuaca numerik menggunakan model cuaca. Data penginderaan jauh BMKG diperoleh dari data citra satelit dan data radar cuaca. Satelit cuaca yang saat ini dominan digunakan oleh BMKG dan STMKG adalah satelit Himawari-8 yang memiliki resolusi temporal 10 menit, sehingga mampu mengatasi dinamika/perubahan kondisi atmosfer yang relatif cepat. Selain itu, saat ini BMKG juga telah memasang 41 site radar cuaca yang tersebar di wilayah Indonesia untuk mengatasi keterbatasan jaringan pengamatan meteorologi. Berdasarkan tujuan pemanfaatannya, model cuaca numerik yang umum digunakan di BMKG maupun STMKG diklasifikasikan menjadi 3 kelompok, yaitu model reanalisis yang menggunakan data *European Center for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF) maupun data *Final Analysis* (FNL) dari *NCEP/NCAR Global Reanalysis Products*, model prakiraan cuaca yang menggunakan data *Global Forecast System* (GFS), serta model prakiraan gelombang. Model cuaca numerik yang sering digunakan adalah model *Weather Research and Forecasting-Advanced Research WRF* (WRF-ARW), model *Wave Watch 3rd* (WW3), maupun SWAN.

Hasil Penelitian STMKG

A. Peringatan dini tanah longsor berbasis model cuaca numerik dan *Artificial Intelligence* (AI)

Longsor adalah berpindahnya bebatuan, tanah, atau bangunan/benda-benda di atas tanah ke arah bawah karena kemiringan dari tanah penampangnya. Longsor bisa disebabkan oleh hujan, gempa dan kejadian lainnya yang bisa membuat kemiringan tanah menjadi tidak stabil. Sebagian besar kejadian longsor disebabkan oleh tingginya curah hujan, dan faktor pemicu lain seperti struktur tanah, kemiringan tanah, vegetasi, beban tanah, dan lain - lain.

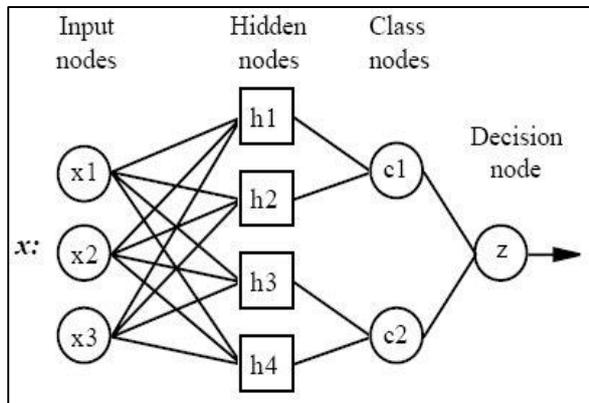
Tanah longsor bisa diklasifikasikan sesuai dengan tipe gerakan dan material yang dibawanya. Gabungan dari semua tipe atau beberapanya masuk kategori kompleks (Gambar 4).

TYPE OF MOVEMENT	TYPE OF MATERIAL		
	BEDROCK	ENGINEERING SOILS	
		Predominantly coarse	Predominantly fine
FALLS	Rock fall	Debris fall	Earth fall
TOPPLES	Rock topple	Debris topple	Earth topple
SLIDES	ROTATIONAL	Rock slide	Debris slide
	TRANSLATIONAL		
LATERAL SPREADS	Rock spread	Debris spread	Earth spread
FLOWS	Rock flow	Debris flow	Earth flow
	(deep creep)	(soil creep)	
COMPLEX	Combination of two or more principal types of movement		

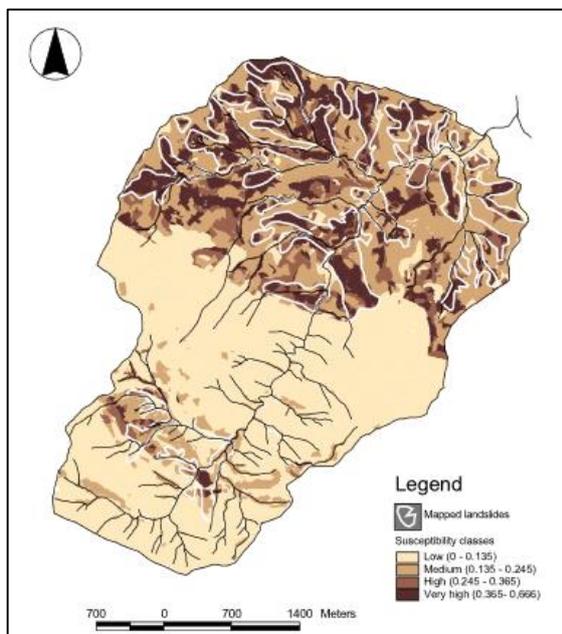
Gambar 4. Klasifikasi tanah longsor berdasarkan tipe gerakan dan material di bawahnya

Berdasarkan kondisi lapangan sebab akibat terjadi longsor adalah kejadian yang non linear. Oleh karena itu, faktor-faktor penyebab longsor dan aktivitas gempa bumi di cari relasi non linearnya menggunakan model non linear seperti Jaringan Syaraf Tiruan. Menurut analisis jenis JST yang sering digunakan untuk estimasi kerentanan tanah longsor adalah Probabilistic Neural Network (PNN). Hal ini memanfaatkan gaussian kernel antara data masukan dan data *training*, persentase kerentanan tanah longsor bisa dihitung. Pada PNN, *gaussian kernel* adalah suatu fungsi yang menentukan prediksi atau klasifikasi kejadian di masa sekarang atau mendatang berdasarkan

kemiripan kejadian dimasa lampau (Gambar 5 dan 6)



Gambar 5. Struktur PNN



Gambar 6. Pengkategorian tanah longsor berdasarkan klasifikasi dari PNN (Ermini dkk., 2005)

B. Identifikasi kejadian hujan lebat berbasis data penginderaan jauh dan model cuaca numerik

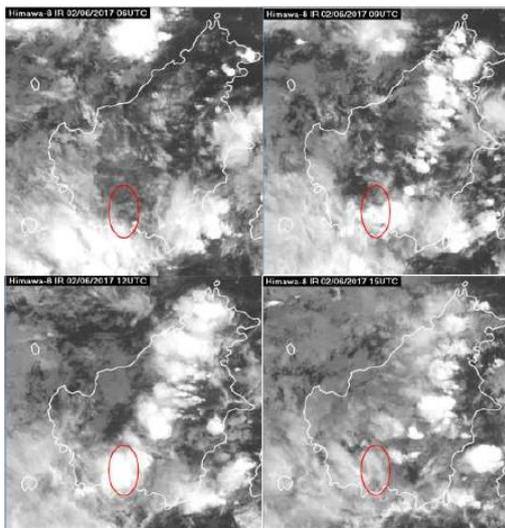
Ningsih (2017), telah melakukan penelitian terhadap kejadian hujan lebat yang terjadi di Sampit pada tanggal 02 Juni 2017 menggunakan satelit MTSAT Himawari-8 dan model *Weather Research and Forecasting* (WRF). Satelit MTSAT Himawari-8 memanfaatkan dua jenis sensor *imager*, yaitu sensor *visible* (VIS) dan *infrared* (IR) dengan kanal (IR1-IR4).

Citra satelit IR1 digunakan untuk mengetahui jenis awan berdasarkan suhu puncak awan, dimana suhu puncak awan yang sangat dingin pada umumnya mengindikasikan adanya konvektif kuat yang berpotensi menimbulkan hujan lebat. Citra VIS memberi informasi tambahan yang tidak bisa diperoleh dari citra IR. Contohnya, kabut dapat diamati dari citra VIS, tetapi tidak pada citra IR ketika kabut dan permukaan tanah memiliki suhu yang sama. Intensitas pada citra VIS bergantung pada albedo/reflektivitas dari permukaan atau awan.

WRF-ARW merupakan model generasi lanjutan sistem prediksi cuaca numerik skala meso yang didesain untuk kebutuhan prediksi operasional dan penelitian atmosfer. Fenomena di atmosfer tidak semuanya bisa diselesaikan secara eksplisit dengan menggunakan persamaan-persamaan numerik karena fenomena-fenomena di atmosfer memiliki skala spasial dan temporal lebih kecil dari skala *grid* dari model (*sub-grid*), sehingga model NWP menggunakan parameterisasi terhadap parameter cuaca yang perhitungannya tidak bisa dilakukan langsung dengan perhitungan matematis.

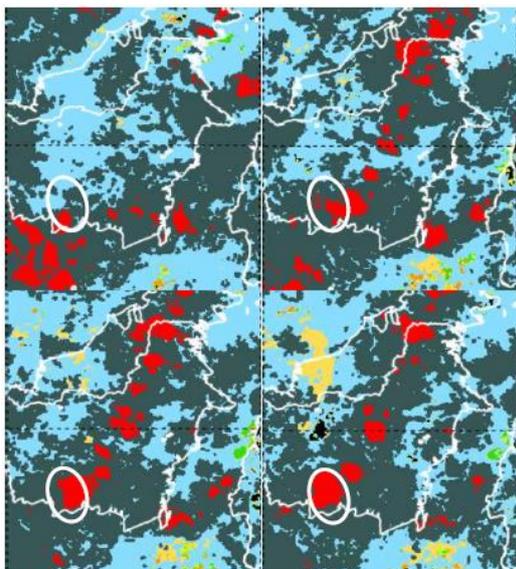
C. Analisis output data satelit

Berdasarkan citra satelit Himawari-8 tersebut (Gambar 7) yang ditampilkan menggunakan aplikasi *Satellite Animation and Interactive Diagnosis* (SATAID) menunjukkan kondisi perawanan di wilayah Sampit selama 24 jam terdapat pertumbuhan awan. Pada tanggal 02 Juni 2017 wilayah Sampit ditutupi oleh awan rendah yang muncul sejak sore hari jam 09.00 UTC dan terus berkembang semakin tebal sampai jam 12.00 UTC, kemudian menghilang dari jam 12.00 UTC. Hal ini dapat diindikasikan terdapat awan *Cumulonimbus* yang terbentuk pada sore hari hingga malam hari.



Gambar 7. Citra satelit Himawari-8 kanal IR1 tanggal 02 Juni 2017 (06.00 UTC, 09.00 UTC, 12.00 UTC dan 15.00 UTC)

Berdasarkan analisis klasifikasi jenis awan pada citra satelit Himawari (Gambar 8), indikasi pertumbuhan awan yang signifikan dapat terlihat jelas ketika terjadi hujan jam 09.00 UTC hingga jam 12.00 UTC sebagian wilayah Sampit ditutupi oleh awan konvektif yang diklasifikasikan sebagai awan tebal yang diindikasikan sebagai awan Cumulonimbus.

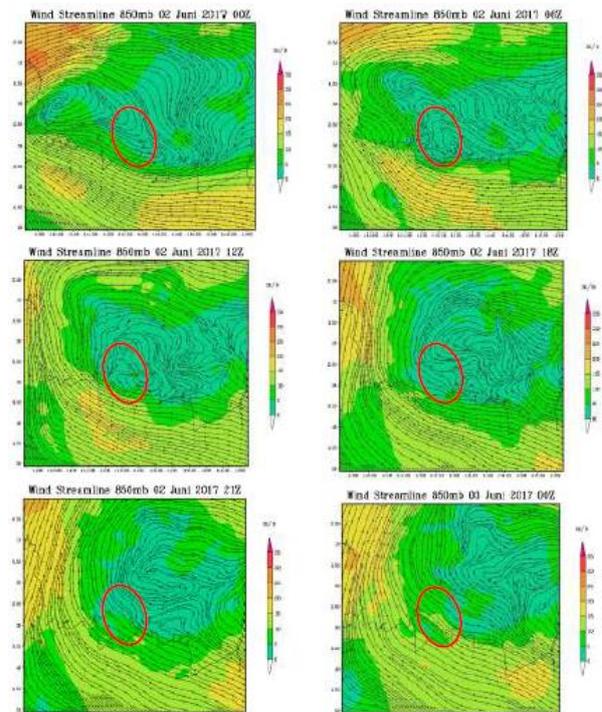


Gambar 8. Klasifikasi jenis awan citra satelit Himawari-8 kanal IR1 tanggal 02 Juni 2017 (06.00 UTC, 09.00 UTC, 12.00 UTC dan 15.00 UTC)

D. Analisis output data model cuaca numerik

1). Analisis streamline lapisan 850 mb

Hasil analisis streamline lapisan 850 mb (Gambar 9), yang ditunjukkan dengan lingkaran merah streamline pada tanggal 02 Juni 2017 pada lapisan 850 mb. Pada tanggal 02 Juni 2017 pukul 00.00 sampai 18.00 UTC menunjukkan adanya belokan angin dan konvergensi di wilayah Sampit, konvergensi kecepatan anginnya juga cenderung melemah yaitu berkisar 0–5 m/s, sedangkan tanggal 03 Juni 2017 pukul 00.00 UTC adanya divergensi (kecepatan angin meningkat) berkisar 5–20 m/s.



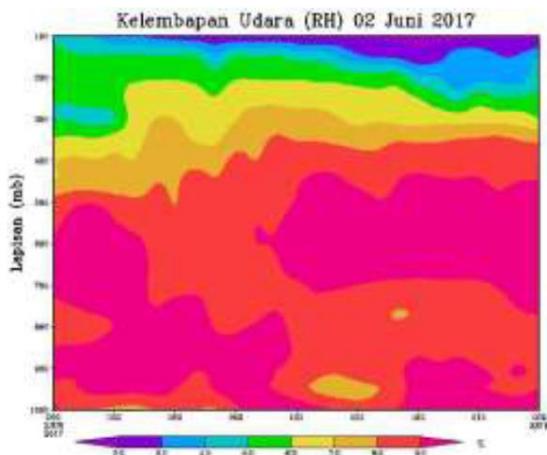
Gambar 9. Streamline lapisan 850 mb tanggal 02 Juni 2017 jam 00.00 UTC, 06.00 UTC, 12.00 UTC, 18.00 UTC, 21.00 UTC dan tanggal 03 Juni 2017 pukul 00.00 UTC

2). Analisis kelembapan udara

Berdasarkan analisis kelembapan udara (Gambar 10), profil vertikal kelembapan udara tanggal 02 Juni 2017 di lapisan permukaan sampai lapisan 850 mb nilai kelembapannya > 90% dari pukul 00.00 UTC sampai 11.30 UTC. Pada pukul 11.30 UTC sampai 00.00 UTC tanggal 03 Juni

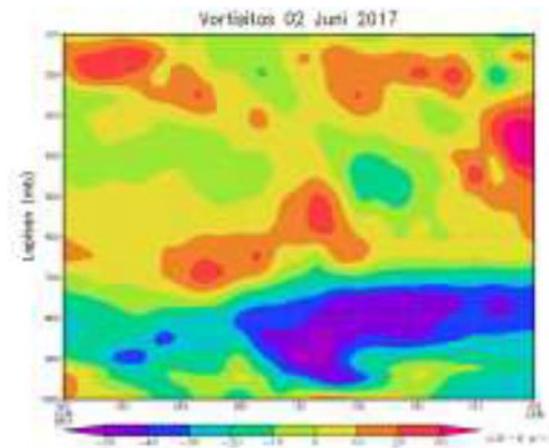
2017, nilai kelembapannya < 80 % di lapisan permukaan 850 mb.

hujan ekstrem pada tanggal dan 02 Juni 2017 kurang lebih berlangsung lama.



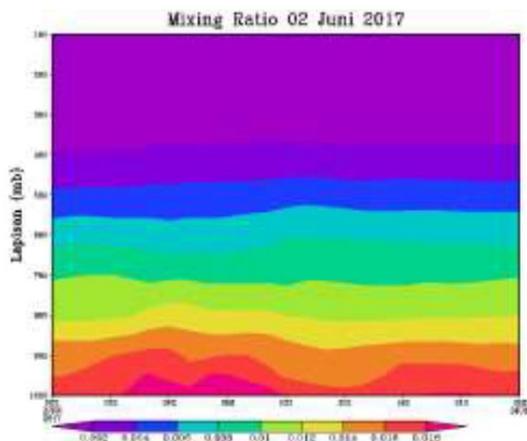
Gambar 10. Profil vertikal kelembapan udara tanggal 02 Juni 2017 di Sampit

4) Analisis vortisitas



Gambar 12. Profil vortisitas tanggal 02 Juni 2017 di Sampit

3). Analisis *mixing ratio*



Gambar 11. Profil vertikal *mixing ratio* tanggal 02 Juni 2017 di Sampit

Berdasarkan analisis profil vertikal *mixing ratio* (Gambar 11), pada tanggal 02 Juni 2017 hujan terjadi mulai pukul 05.00 UTC sampai 15.00 UTC. Selanjutnya, terjadi hujan kembali dari pukul 23.00 UTC sampai 00.00 UTC tanggal 03 Juni 2017. Pada tanggal 02 Juni 2017, output WRF menunjukkan di setiap waktu udara cenderung basah, dengan keadaan atmosfer yang cukup basah tersebut, menunjukkan kondisi uap air yang cukup banyak untuk mendukung proses pembentukan awan-awan konvektif yang menyebabkan terjadinya

Profil vortisitas (Gambar 12) menunjukkan bahwa nilai vortisitas udara di wilayah Sampit dapat merepresentasikan kondisi udara di wilayah tersebut. Pada tanggal 02 Juni 2017 di sampit terjadi hujan dari pukul 05.00 UTC sampai pukul 15.00 UTC. Selanjutnya, terjadi hujan kembali pukul 23.00 UTC sampai pukul 00.00 UTC tanggal 03 Juni 2017. Output WRF pada lapisan permukaan 1000 mb menunjukkan nilai vortisitas negatif ketika hujan masih berlangsung sampai jam 12.00 UTC dengan nilai vortisitas $-10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ sampai $-30 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. Peluruhan sel awan hujan di mulai pada pukul 12.00 UTC sampai pukul 15.00 UTC di lapisan permukaan yang di tandai nilai vortisitas positif yaitu $10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ sampai $30 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. Pada lapisan atas 950 mb sampai lapisan 700 mb vortisitas bernilai negatif yang besar yaitu $-20 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ sampai $-50 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$

5) Deteksi siklon tropis menggunakan Teknik Dvorak

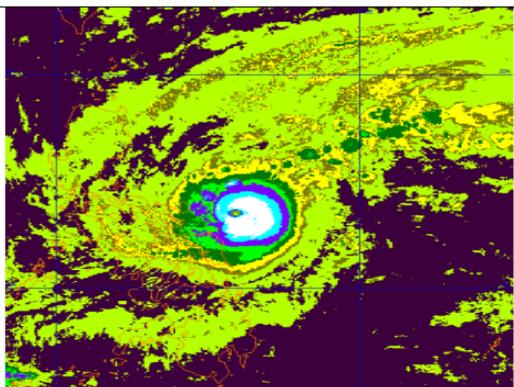
Siklon tropis adalah sistem tekanan rendah yang terbentuk di atas perairan tropis yang hangat dan memiliki angin kencang (angin bertiup 63 km/jam atau lebih dan hembusan lebih dari 90 km/jam) di dekat

pusat. Secara teknis mereka didefinisikan sebagai sistem tekanan rendah nonfrontal dengan skala sinoptik yang berkembang di atas perairan hangat yang memiliki konveksi terorganisir dan kecepatan angin rata-rata maksimum 34 knot atau lebih besar yang membentang lebih dari setengah jalan di sekitar pusat dan bertahan selama setidaknya enam jam.

Secara umum, syarat terjadinya siklon tropis adalah sebagai berikut.

- a) Lautan yang luas.
- b) Umumnya di atas 10° LU/LS.
- c) Suhu muka laut >26,5° C.
- d) Shear vertikal antara lapisan permukaan dengan lapisan di atasnya lemah.
- e) Lapisan dekat permukaan sangat labil.

Siklon tropis dapat memberikan dampak tidak langsung yaitu daerah yang dilintasi siklon terpengaruh oleh ekor siklon atau imbas dari keberadaan siklon utamanya yang terdekat dengan posisi siklon. Apabila ada siklon, maka terjadi perubahan atau dinamika atmosfer ataupun terjadi gangguan atmosfer seperti terbentuknya *convergence*, *shear*, *strong convective*, *divergence*, dan *strong advection*. Dampak langsung siklon tropis adalah terjadinya angin kencang, gelombang tinggi, hujan lebat disertai angin kencang. Dampak yang diakibatkan oleh siklon bergatung dari intensitas siklon dan jaraknya dengan daerah terdampak (Gambar 13).



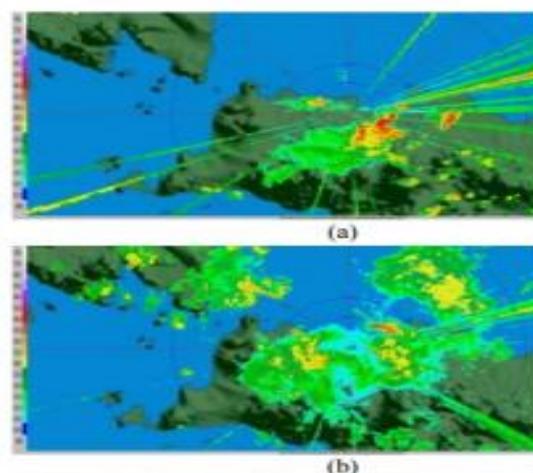
Gambar 13. Tahap matang siklon tropis Nock-Ten kategori 5 skala Saffir-Simpson yang ditandai dengan adanya mata badai

Gambar 14. Grafik irisan melintang siklon tropis Nock-Ten kategori 5 skala Saffir-Simpson



Berdasarkan analisis Dvorak dapat diketahui bahwa intensitas maksimum dari siklon tropis Nock-Ten adalah TNumber yang mencapai angka 7.0 pada 25 Desember 2016 jam 00.00 UTC. Penggunaan tabel Dvorak T- Number, dapat diketahui bahwa pada saat T-Number bernilai 7.0 maka super taifun Nock-Ten memiliki prakiraan nilai tekanan udara minimum di pusat siklonnya mencapai 898 mb. Prakiraan laju angin maksimum hingga 140 knots, ekuivalen dengan siklon tropis kategori 5 pada skala Saffir-Simpson (Ismail, dkk., 2017).

- 6) Deteksi hujan es (hail) berbasis data radar cuaca



Gambar 15. Tampilan produk CMAX pada kejadian hujan es di Jakarta tanggal 22 April 2014 jam 08.30 UTC (a) dan tanggal 9 Februari 2015 jam 10.28 UTC (b)

Deteksi hujan es berbasis data radar cuaca dilakukan dengan metode *Severe Hail Index* (SHI), berdasarkan hasil pengamatan radar cuaca Doppler (Ali dan Hidayati, 2015). Nilai SHI 30 menit sebelum kejadian hujan es di Jakarta menunjukkan nilai $> 130 \text{ Jm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ dan meningkat pada saat kejadian menjadi $> 300 \text{ Jm}^{-1} \text{ s}^{-1}$. Nilai *Probability of Severe Hail* (POSH) menunjukkan kesesuaian antara perhitungan dengan hasil observasi di lapangan. Nilai POSH 20-30 menit sebelum kejadian menunjukkan nilai probabilitas $> 50\%$ dan meningkat menjadi $> 80\%$ pada saat kejadian hujan es (Gambar 15).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini diketahui bahwa STMKG sebagai wadah pengenalan dan pendidikan BMKG, telah memanfaatkan secara optimal data penginderaan jauh dan data model numerik cuaca untuk keperluan prakiraan cuaca. Selain itu, masih perlu dilakukan pengembangan dan inovasi pemanfaatan data penginderaan jauh maupun model numerik cuaca untuk mendukung kegiatan pencegahan dan penanggulangan bencana, terutama di bagian diseminasi/penyaluran informasi peringatan dini cuaca ekstrem kepada pihak terkait maupun kepada masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A., & Hidayati, S. (2015). Peringatan Dini Potensi Hujan Es Menggunakan Metode Severe Hail Index Berdasarkan Pengamatan Radar Cuaca Doppler. *PROSIDING SEMINAR NASIONAL FISIKA (E-JOURNAL)* (Vol. 4, pp. SNF2015-IX).
- Ermini, L., Catani, F., dan Casagli, N. (2005). Artificial neural networks applied to landslide susceptibility assessment. *Geomorphology*, 66(1-4), 327-343
- Ismail, P., Hidayat, M. N., Siadari, E. L. (2017). Analisis Siklon Tropis Nock-Ten Berbasis Data Satelit Himawari. *Prosiding Seminar Hari Meteorologi Dunia STMKG 2017*
- Kristianto, A., Saragih, I. J. A., Larasati, G., dan Akib, K. (2017). Identifikasi Kejadian Hujan Es Menggunakan Citra Radar dan Satelit Cuaca. *Prosiding PIT KE-5 Riset Kebencanaan IABI Universitas Andalas, Padang*
- Roguna, S., Saragih, I. J. A., Siregar, P. S., & Julius, A. M. (2018). Analysis of Impact of Tropical Cyclone Blance on Rainfall at Kupang Region Based on Atmospheric Condition and Satellite Imagery. *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1011, No. 1, p. 012021). IOP Publishing
- Saragih, I. J. A., Meygatama, A. G., Sugihartati, F. M., Sidauruk, M., & Mulsandi, A. (2018). Study of atmospheric condition during the heavy rain event in Bojonegoro using weather research and forecasting (WRF) model: case study 9 February 2017. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 332, No. 1, p. 012025). IOP Publishing
- Saragih, I. J. A. (2017). Kajian Dinamika Atmosfer saat Kejadian Hujan Lebat di Wilayah Pesisir Timur Sumatera Utara Menggunakan Model WRF-ARW dan Citra Satelit Himawari-8. *Unnes Physics Journal*, 6(1), 25-30
- Tjasyono, B. (1991). Pertumbuhan Badai Tropis Dan Hubungannya Dengan Perairan Panas di Sekitar Indonesia. *Jurnal Agromet Indonesia*, 7(2)
- Perka BMKG No. Kep. 009 Tahun 2010 tentang Prosedur Standar Operasional

Pelaksanaan Peringatan Dini,
Pelaporan, dan Diseminasi Informasi
Cuaca Ekstrem

Undang-Undang No. 24 Tahun 2007 tentang
Penganggulangan Bencana

Undang-Undang No. 31 Tahun 2009 tentang
Meteorologi, Klimatologi, dan
Geofisika

BMKG, <https://www.bmkg.go.id/> diakses
pada tanggal 30 Mei 2018

BNPB, <https://www.bnpb.go.id/home/definisi> diakses pada tanggal 30 Mei
2018