

ANALISIS ANGIN KENCANG DARI AWAN CUMULONIMBUS DENGAN WRF-ARW: STUDI KASUS DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA FEBRUARI 2020

WRF-ARW ANALYSIS OF WINDGUST FROM CUMULONIMBUS CLOUD: CASE STUDY YOGYAKARTA SPECIAL REGION FEBRUARI 2020

Heri Ismanto^{1*}, Hayu Nur Mahron², Edwin F³, Fitriani³

¹⁾ Pusat Meteorologi Penerbangan, Jakarta 10610

²⁾ Stasiun Meteorologi Tanjung Pandan, 78391

³⁾ Stasiun Klimatologi Mlati, Yogyakarta, 55284

*Email: heri.ismanto@bmkgo.go.id

ABSTRAK

Abstrak Fenomena angin kencang menjelang hujan merupakan fenomena yang dominan saat cuaca buruk di wilayah Indonesia. Awan cumulonimbus pada fase matang menampung sejumlah uap air, air hingga es dalam jumlah besar akibat proses konveksi. Limit kemampuan maksimal menahan mengakibatkan dorongan kebawah yang sangat kuat sebagai respon gaya grafitasi. Gusty (hembusan) akibat downdraft ini menghasilkan angin kencang hingga ekstrem sebelum/bersamaan dengan presipitasi keluar dari badan awan cumulonimbus. Kejadian ekstrem angin kencang tanggal 14 Februari 2020 disimulasikan menggunakan weather research forecast (WRF). Angin permukaan 10 meter dan angin lapisan ketinggian 950 mb menunjukkan nilai 10-14 knots dan 10 hingga 18 knots. Terdapat sinyal reflektivitas tinggi keluaran WRF yang bersesuaian dengan lokasi kejadian angin kencang, yang bersesuaian juga dengan pola siklonal angin. Indeks labilitas Konvektif Indeks (KI) tidak dapat menggambarkan lokasi pasti kejadian lokasi potensi angin kencang.

Kata kunci: windgust, simulasi angin, simulasi reflektivitas, indeks konveksi

ABSTRACT

Abstract The phenomenon of strong winds preceding rain is a dominant phenomenon during bad weather in the Indonesian region. Cumulonimbus clouds in the mature phase contain a large amount of water vapor, water, and ice due to convection processes. The limit of maximum holding capacity results in a strong downward force in response to gravitational forces. Gusty winds caused by this downdraft result in strong to extreme winds before/during precipitation exits the cumulonimbus cloud. The extreme occurrence of strong winds on February 14, 2020, was simulated using the Weather Research Forecast (WRF). Surface winds at 10 meters and winds at a height of 950 mb showed values of 10-14 knots and 10-18 knots, respectively. There were high reflectivity signals from the WRF output that corresponded to the location of the occurrence of strong winds, which also matched the cyclonic wind pattern. The Convective Index (KI) cannot accurately depict the location of potential strong winds.

Keywords: Windgust, wind simulation, reflectivity simulation, Convective Index

1. Pendahuluan

Potensi kejadian cuaca ekstrem semakin meningkat yang

mengakibatkan dampak berbahaya bagi masyarakat dan lingkungan. Indonesia merupakan daerah yang rentan terhadap cuaca ekstrem, baik

yang berupa hidrometeor [1,2] maupun litometeor [3], keduanya bisa menghasilkan cuaca signifikan seperti *visibility* rendah yang membahayakan transportasi [4]. *Thunderstorm* atau dalam bahasa Indonesia dikenal sebagai badai guntur dan menghasilkan angin ekstrem dapat menyebabkan kerugian material, kerusakan pemukiman dan juga korban jiwa [5]. Pemanasan akibat perubahan iklim yang terjadi di Indonesia menyebabkan *trend* basah yang meningkat dan menyebabkan peningkatan presipitasi ekstrem yang utamanya terjadi pada periode musim Desember-Januari-Februari (DJF) dan Maret-April-Mei (MAM) [6]. Kejadian cuaca ekstrem ini sangat membahayakan berbagai kehidupan manusia: fenomena Angin kencang, hujan lebat, turbulensi, kabut, *visibility* rendah, tinggi dasar awan terkait dengan penerbangan [7]; Efisiensi penerbangan terkait dengan konsumsi bahan bakar serta pembuangan emisi karbon di udara dipengaruhi faktor penting angin selain juga suhu, teknik seorang pilot, dan prosedur *air traffic controller* (ATC) [8].

Menurut doswell [9] *Thunderstorm* istilah lain *deep moist convection* (DMC) merupakan fenomena skala meso yang melibatkan pembentukan awan cumulonimbus yang menghasilkan berbagai jenis presipitasi yang berintensitas kuat, angin kencang dan petir serta fenomena lainnya yang merusak seperti *downburst*. Beberapa parameter atmosfer yang mendukung DMC antara lain: kelembaban yang cukup, tingkat instabilitas yang tinggi di atmosfer dan parcel yang naik melalui konveksi bebas dari beberapa mekanisme. *Thunderstorm* terbentuk sebagai hasil dari udara hangat yang basah dan naik ke atas karena efek gaya apung (*buoyancy*). Ketika udara ini naik maka secara termodinamika atau adiabatik parcel udara tersebut

akan mendingin karena proses ekspansi pada tekanan rendah. Kondisi ini menyebabkan uap air mengembun dan membentuk awan cumulonimbus yang bisa menghasilkan cuaca hingga pada tingkat ekstrem. Potensi *windgust* dari awan cumulonimbus dapat diestimasi kejadiannya menggunakan model yang dibangun dari berbagai index labilitas [10].

Fenomena *windgust* merupakan salah satu fenomena cuaca membahayakan berbagai transportasi: kereta dan truk pada transportasi di Jepang, Italy, Swiss, dan China; kendaraan yang menyebrang pada jembatan; dan kontrol kecepatan kendaraan bermotor saat terjadi *windgust* menjadi sesuatu yang sangat krusial yang dapat menyebabkan kecelakaan [11].

Angin ekstrem yang sering terjadi di Indonesia yang bersesuaian dengan kemunculan awan cumulonimbus biasa disebut *windgust*. Angin ini membahayakan operasi penerbangan terutama saat *takeoff* dan *landing*. Tidak seperti angin puting beliung yang berpola berputar, *windgust* ini memiliki karakteristik hembusan permukaan keluar kesegala arah 'A strong downdraft with blown down outward in starburst pattern' dan disebut sebagai *DOWNBURST* [12].

Fenomena ini selalu identik dengan *downdraft* yang kuat bagian dari sirkulasi pada system badai Guntur (*Thunderstorm*) [13]. Kecepatan *downdraft* maksimum bisa mencapai 24 m/s di ketinggian 25.000 kaki, berdasarkan pengukuran dengan pesawat di bawah dasar awan menunjukkan bahwa kecepatan signifikan *downdraft* muncul di level rendah sekitar 300 kaki hingga 400 kaki diatas permukaan [14]. *Maksimum downdraft speed* sekitar

10-20 m/s di troposfer menengah dan tinggi (6 – 8 km AGL) [15;16].

Peforma model cuaca numerik WRF untuk *windgust* cenderung over estimate, serta skill performa juga bervariasi setiap daerah (contoh wilayah Eropa, wilayah pegunungan Alpen dan Swiss Plateau menggambarkan model terbaik) [17]. Penambahan parametrisasi gusty untuk fenomena konvektif (Gutierrez-Fovell dan Nakamura) menghasilkan nilai *true value* tertinggi, namun juga meningkatkan *false detection* [18].

Hujan lebat dan angin kencang berdampak pada pohon tumbang dan infrastruktur lainnya menyebabkan korban jiwa, gangguan transportasi dan rusaknya bangunan warga di 6 kecamatan (Tabel 1) di Kabupaten Sleman pada Jumat 14 Februari 2022 sekitar 14.30 WIB (sumber: Pusdalops BPBD Kab. Sleman), dan beberapa lokasi di Kabupaten Bantul. Kepala Stasiun Klimatologi BMKG DIY mengungkapkan “Curah hujan terukur di Stasiun Klimatologi Sleman Yogyakarta pada Jumat 14 Februari 2020 adalah 74.5 milimeter dalam durasi 1.5 jam. Hujan dalam kategori sangat lebat disertai petir dan angin kencang di sebagian besar wilayah DIY”[19].

Fenomena *windgust* sangat penting dikaji secara detail kasus demi kasus baik secara keluaran data dari instrumen observasi, penginderaan jauh maupun dengan simulasi model. Kemampuan keluaran model WRF masih memiliki kelemahan sehingga diperlukan kajian yang lebih mendalam. Pemahaman ini sangat penting dalam mendukung operasional forecaster pada bandara maupun untuk kepentingan publik dan maritim dalam penyediaan informasi peringatan dini cuaca ekstrem maupun produk prakiraan cuaca untuk keselamatan, dan kesejahteraan masyarakat Indonesia.

Kajian ini lebih berfokus pada analisis keluaran model simulasi WRF dalam menggambarkan kejadian angin maksimum pada studi kasus dalam kajian ini. Manfaat yang dapat didapat antara lain: memahami pola citra radar, memahami performa simulasi WRF, memahami mekanisme pada kejadian angin maksimum akibat sistem konveksi skala meso pada lokasi penelitian.

2. Data dan Metode

2.1. Data kejadian akibat angin kencang

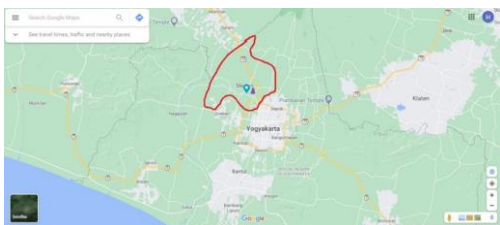
Cuaca ekstrem berupa angin kencang menyebabkan kerugian material dan jiwa pada 14 Februari 2020 di propinsi Yogyakarta. Terjadi cuaca ekstrem di Sleman DIY tanggal 14 Februari 2020 sekitar pukul 14.30 WIB sd 16.00 WIB (07.30 UTC – 09.00 UTC). Tercatat laporan badan penanggulangan bencana kejadian ekstrem pohon tumbang pada lokasi 6 kecamatan di Kabupaten Sleman (minggir, tempel, mlati, gamping, ngaglik, sleman) akibat hujan deras dan angin kencang (Tabel terlampir).



Gambar 1. Dampak cuaca ekstrem tanggal 14 Februari 2020 di Kabupaten Sleman Yogyakarta. [19;20]

2.2. WRF-ARW

Metode yang digunakan dalam kajian ini yaitu analisis visual data observasi dan model WRF-ARW. Data observasi berdasarkan pengamatan cuaca sinoptik dan penginderaan jauh RADAR stasiun klimatologi mlati Sleman. Sedangkan model yang digunakan adalah simulasi WRF dengan skema pada tabel 1. Analisis temporal kejadian cuaca ekstrem berdasarkan data pengamatan sinoptik jam-an untuk mengetahui bagaimana kondisi real dengan data pengamatan cuaca aktual yang dilaporkan serta estimasi waktu kejadian. Sedangkan data radar adalah analisis pola (*signature*) penginderaan jauh pada perkiraan waktu kejadian cuaca ekstrem angin kencang dengan resolusi temporal 10 menit. Analisis data (output WRF, Synop, area dampak cuaca ekstrem, dan data radar) hanya dibatasi sekitar area DIY dan daerah sekitarnya dalam radius skala lokal dan meso.



Gambar 2. lokasi radar cuaca (WMO ID 96851) Stasiun Klimatologi Mlati Sleman DIY; dan area terdampak cuaca ekstrem yang menyebabkan pohon tumbang akibat system konveksi awan cumulonimbus (polygon merah diplot berdasarkan laporan Badan penanggulangan bencana daerah DIY, segitiga ungu adalah lokasi radar)

Skema fisis yang terdapat di dalam pengaturan model WRF-ARW adalah sebagai berikut:

1. Mikrofisis: terdiri dari skema fisis sederhana yang cocok untuk simulasi ideal hingga pendekatan *mixed phase*, *multi-moment*, bin, dan aerosol untuk mendukung proses pembentukan awan dan presipitasi.
2. Fisis cumulus: terdiri dari skema *deep shallow convection*, fluks massa, dan skema sejenis untuk mengkuantifikasikan proses pembentukan awan hujan.
3. Fisis permukaan: terdapat berbagai model permukaan dalam beberapa lapisan mulai dari model termal sederhana hingga model yang seluruhnya vegetasi dan tanah lembab, termasuk tutupan salju dan es di laut, parameterisasi untuk perkotaan juga terdapat dalam opsi ini.
4. Fisis lapisan batas planeter (PBL): terdiri dari prediksi energi kinetik turbulen dan skema K non-lokal serta memperhitungkan proses-proses yang terjadi pada PBL.
5. Fisis radiasi atmosfer: terdiri dari skema gelombang Panjang dan gelombang pendek dengan beberapa spektral gelombang. Skema gelombang pendek yang sederhana cocok untuk penerapan dalam iklim dan cuaca. Efek awan dan fluks permukaan termasuk dalam opsi fisis ini.

Tabel 1. Pengaturan Model WRF

	Nomor	Nama
mp_physics*	2/6/24	Lin/WSM6/WSM7
ra_lw_physics	1	RRTM
ra_sw_physics	1	Dudhia
bl_pbl_physics*	1/2/5	YSU/MYJ/MYNN
sf_sfclay_physics**	1/2/5	MM5/Eta/MYNN

sf_surface_physics	2	Unified Noah Land-Surface Model
sr_urban_physics	0	no urbanization
cu_physics	5	Grell-3d (D1,D2)

Catatan:

* menandakan skema parameterisasi yang diuji dalam penelitian ini.

** menandakan skema lapisan permukaan yang disesuaikan dengan skema PBL.

3. Analisis dan Pembahasan

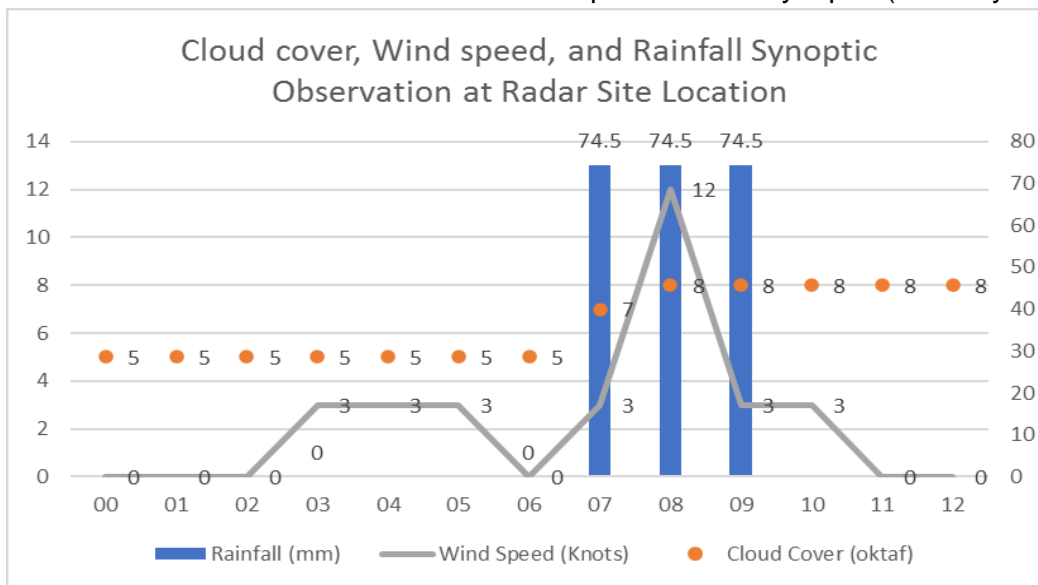
Dibahas dalam 3 bagian yaitu: Analisis pengamatan cuaca sinoptik dan radar, Analisis simulasi WRF-ARW, dan Pembahasan.

3.1. Analisis Pengamatan Cuaca Synoptik dan Radar

Pengamatan cuaca sinoptik (dilakukan setiap satu jam) WMO ID 96851 Stasiun Klimatologi Mlati Daerah Istimewah Yogyakarta (Gambar 3) terjadi cuaca bermakna hujan disertai petir dengan curah hujan mencapai 74.5 mm (hujan lebat, [21]) dalam periode antara pukul 07.00 hingga 09.00 UTC (14.00

WIB hingga 16.00 WIB). Pada sistem konveksi ini selain hujan, teridentifikasi juga peningkatan angin permukaan mencapai 12 knots (24 m/s) pada jam pengamatan 08.00 UTC (15.00 WIB). Peningkatan aktifitas konveksi ditandai dengan meningkatnya tutupan awan mulai dari pkl. 07.00 UTC (14.00 WIB).

Nilai tidak maksimum dari kecepatan angin maksimum akibat *windgust* pada kejadian ini terdapat beberapa kemungkinan antara lain: pertama kejadian angin ekstrem dan hujan ekstrem ini terjadi pada jam antara pengamatan jam 06.00 UTC dan 07.00 UTC (13.00 WIB dan 14.00 WIB) sehingga tidak masuk dalam laporan cuaca synoptik (sandi synop)



Gambar 3. Data observasi sinoptik Stasiun Klimatologi Mlati, Yogyakarta

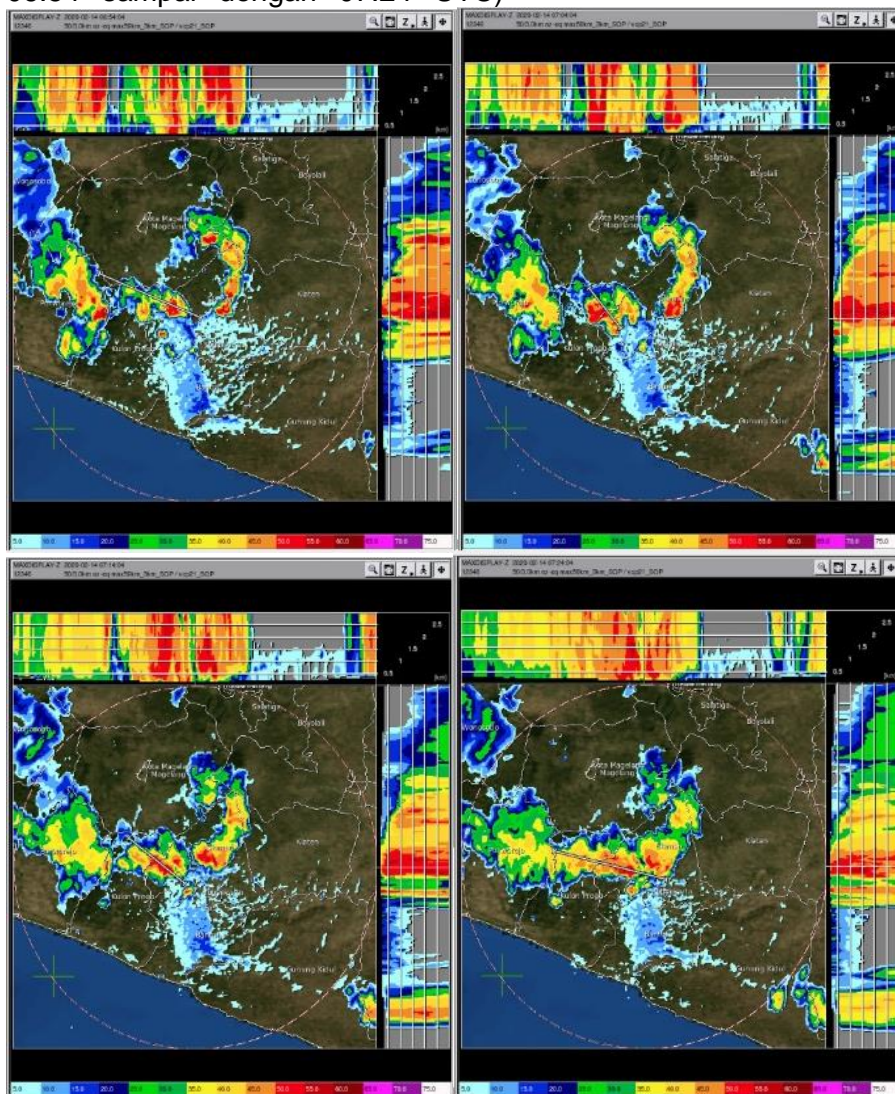
yang dipertukarkan, kedua lokasi stasiun klimatologi tidak mendapatkan efek secara langsung dari angin maksimum yang terjadi akibat *windgust* pada fenomena ekstremnya. Kedua kemungkinan ini masih

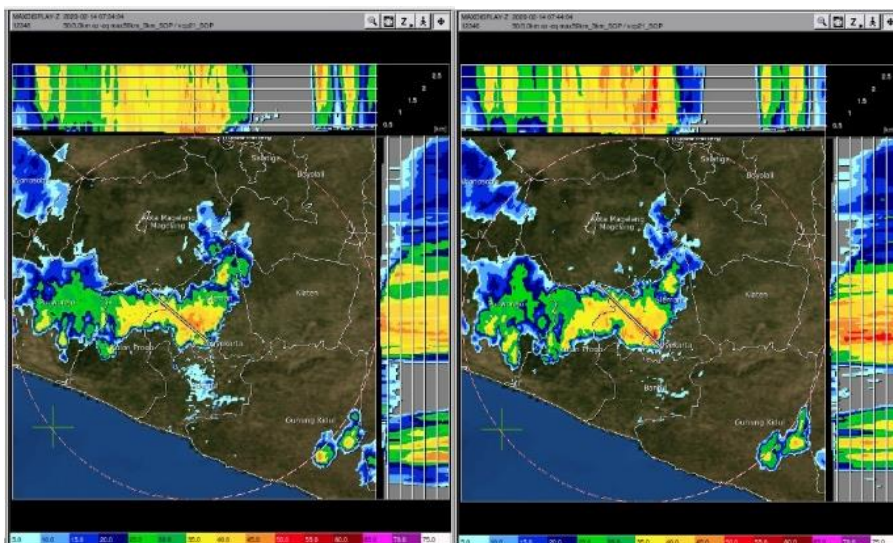
dimungkinkan mengingat tidak ada jaringan pengamatan otomatis pada area diluar stasiun Klimatologi sleman. Tumbangnya puluhan pohon pada area lokasi 6 kecamatan di Kabupaten Sleman menunjukkan

kecepatan angin yang tinggi akibat downburst dalam bentuk *windgust* dari awan konveksi skala meso, dan tumpahnya *water loading* dari sistem konveksi ini menjadi hujan yang lebat (74 mm/3 jam).

Sistem awan konveksi multisel mulai tampak nyata pada pukul 06.54 UTC. Dalam waktu sekitar 40 menit, terlihat memiliki beberapa sel konvektif kuat ditandai dengan nilai *cmax* besar (berasosiasi dengan hujan lebat) dari permukaan hingga ketinggian 7500 kaki. Sel konveksi dengan pertumbuhan vertikal (dari pukul 06.54 sampai dengan 07.24 UTC)

kemudian mulai pada fase matang hingga punah dengan pergerakan sistem ke arah Tenggara dan muncul sel stratiform pada bagian barat laut. Kejadian angin kencang dan hujan lebat yang menyebabkan kerusakan infrastruktur dan pohon umbang diperkirakan terjadi antara pkl. 06.54 hingga 07.24 UTC atau berada pada fase pertumbuhan hingga menjelang fase matang. Pada periode ini bersesuaian dengan estimasi area terdampak angin ekstrem yang menyebabkan kerusakan infrastruktur akibat tumbangya pepohonan.





Gambar 4. Produk radar Cmax *reflectivity* pada 14 Februari 2020 pukul 06.54 & 07.04 UTC (baris-1), 07.14 & 07.24 UTC (baris -2); pukul 07.34 & 07.44 UTC (baris-3)

3.2. Analisis Simulasi WRF-ARW

Deskripsi model yang digunakan untuk analisis ini adalah WRF_ARW, spinup time 12 jam, *downscaling* hingga 3 km. Data inisial kondisi dari model GFS 1 derajat. Resolusi output model setiap 30 menit.

Prediksi angin permukaan 10 meter pada kejadian hujan lebat disertai angin kencang dijabarkan dalam gambar 5. Berdasarkan keluaran simulasi antara jam 05.30 sd 09.00 UTC menangkap kejadian angin kecepatan maksimum dari dua fenomena yaitu angin laut di pesisir selatan Jawa (DIY dan Jawa Tengah) dan fenomena konvektif di sekitar Kabupaten Sleman bagian Barat Laut. Kecepatan angin laut maksimum terjadi antara 05.00-07.00 UTC (12.00 – 14.00 WIB), sedangkan angin maksimum akibat sistem konveksi muncul pada jam 05.30-07.30 Z (12.30-16.30 WIB) di sekitar DIY bagian Barat Laut dan daerah berbatasan dengan Jawa Tengah.

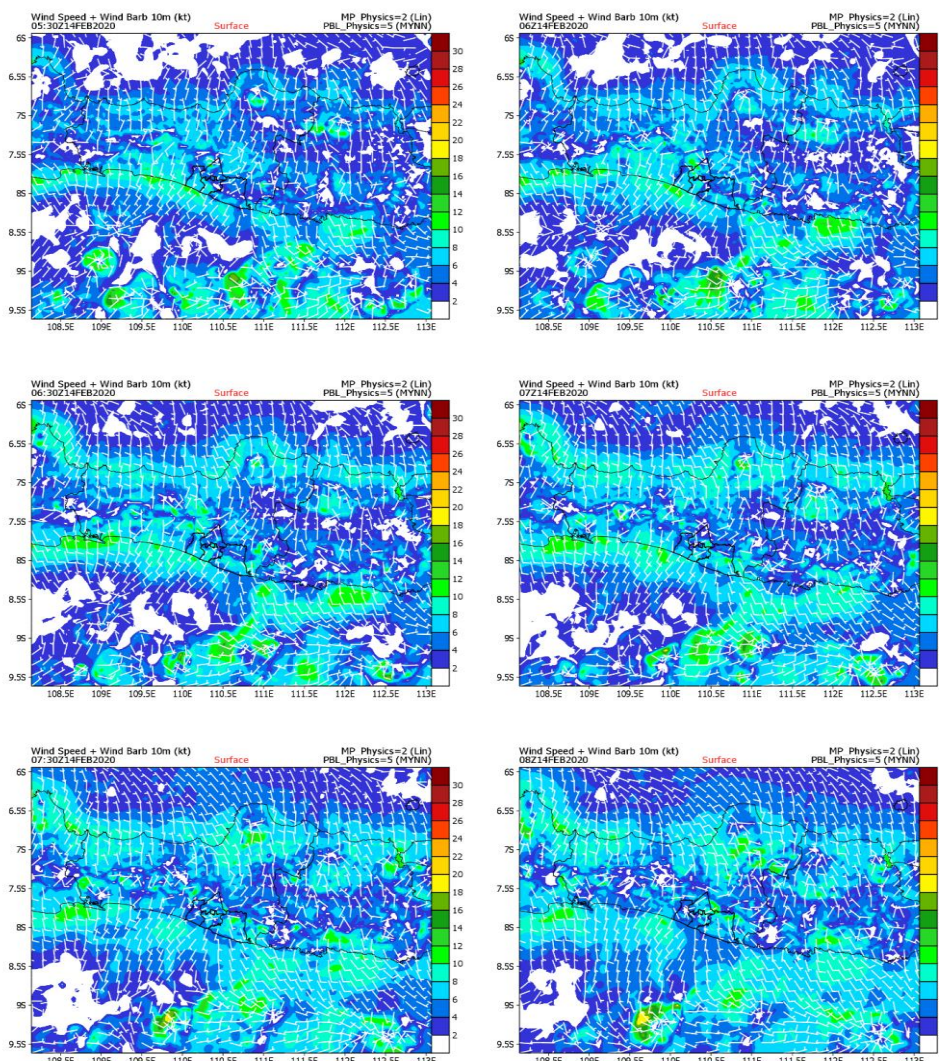
Sejak pukul 05.30 UTC ditemukan pola siklonal di Sleman bagian Utara-Barat Laut dan area Jawa Tengah yang berbatasan dengan pergerakan ke arah barat-tenggara. Tanda

kemunculan angin maksimum dengan kecepatan 10 hingga 14 knots (pada 05.30-06.30 UTC) nampak muncul disekitar Sleman bagian Utara dan Barat Laut. Sedangkan mulai 07.00 UTC kecepatan maksimum terjadi pada posisi yang Sleman bagian Timur yang berbatasan dengan wilayah Jawa Tengah. (gambar 2). Keluaran produk WRF-ARW untuk parameter arah dan kecepatan angin jika dalam waktu dan spasial yang hampir bersesuaian (pola siklonal + kecepatan angin maksimum) dapat dijadikan indikasi potensi *windgust* yang cukup kuat.

Kecepatan angin maksimum (Area pantai selatan DIY dan Purworejo-JATENG bagian selatan) pada hari kejadian angin ekstrem ini terlihat bahwa saat pra dan saat diperkirakan kejadian angin maksimum akibat fenomena konveksi, angin laut memiliki nilai maksimum. Dan paska kejadian angin ekstrem akibat konveksi (simulasi model WRF) angin laut juga mengalami penurunan kekuatan (nampak dari simulasi jam 07.00 - 08.30 Z). Diperlukan kajian lebih lanjut terkait dengan interaksi skala meso antara angin maksimum di pesisir selatan Yogyakarta dengan

kejadian potensi *windgust* di wilayah DIY baik melalui simulasi WRF ARW

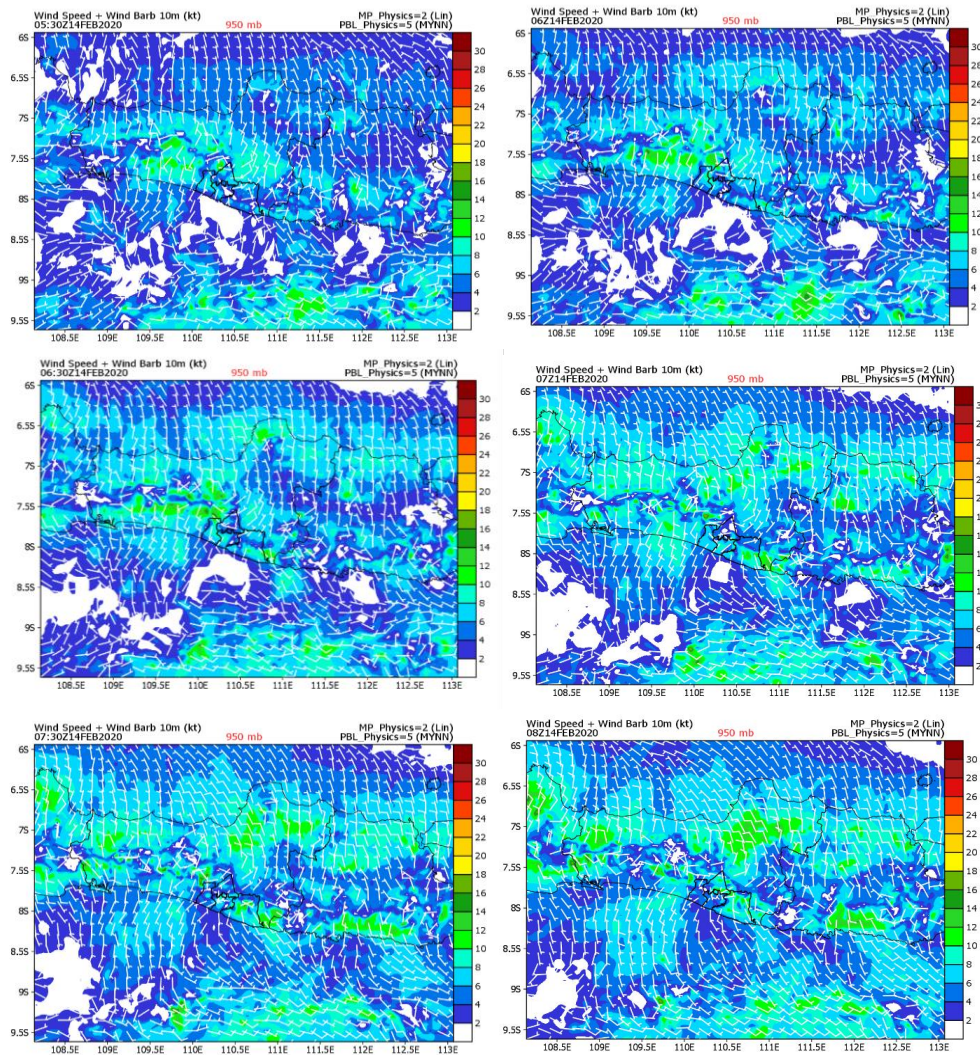
maupun dukungan data yang lebih presisi.



Gambar 5. Output produk WRF-ARW dengan resolusi 3 km parameter arah (barb), kecepatan (*shaded*) angin di permukaan

Analisis angin lapisan 950 mb memiliki pola identik dengan permukaan tetapi dengan tanda yang lebih jelas, meskipun cenderung memiliki cakupan spasial yang lebih besar (Gambar 6). Pola siklonal dan angin maksimum (10-18 knots) pada pkl. 05.30-06.30 dampak di sekitar Sleman Barat Laut yg berbatasan

dengan area Jawa Tengah. Jika dibandingkan dengan lokasi kenyataan (Gambar 2) bergeser tidak terlalu jauh kearah barat laut, dan jika ditinjau dari waktu kejadian angin maksimum muncul lebih cepat dibandingkan kejadian realnya (lebih cepat sekitar 20 menit).

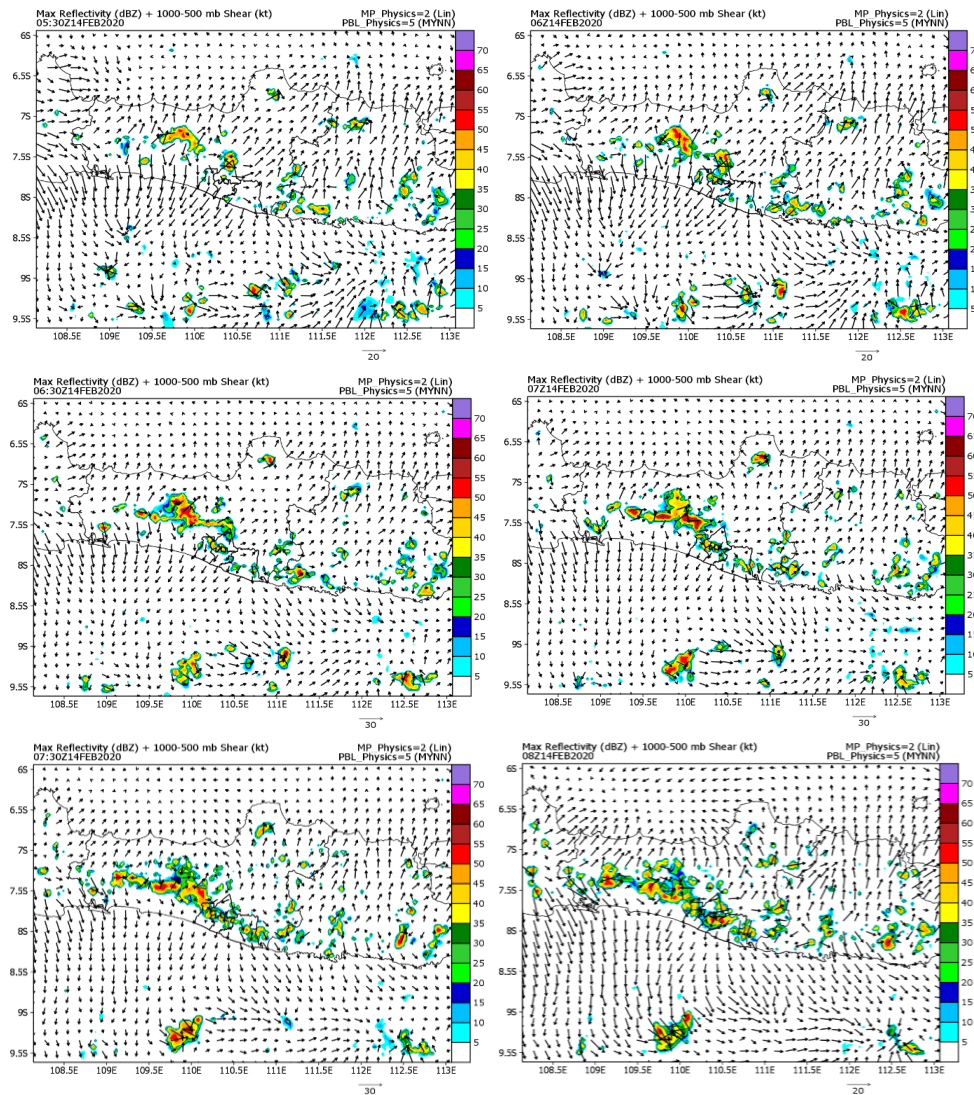


Gambar 6. seperti keterangan gambar 5 tetapi pada level 950 m

Output produk model WRF-ARW *reflectivity* (dBz) (Gambar 7) menunjukkan munculnya sistem konveksi dengan *reflectivity* 40 dBz pada area utara Sleman pada pukul 05.30 Z, dan tetap bertahan hingga 6.30 Z dengan sistem yang lebih besar. Sistem yang diindikasikan sebagai penyebab angin maksimum mulai muncul mulai pada pukul 06.00 dengan sel-sel tunggal yang sejajar (*quasi linear*), dan terus mengalami perkembangan dan bergabung dengan sistem yang lebih besar di area Jawa Tengah perbatasan dengan Sleman bagian barat laut dan Kulon Progo bagian utara.

Pergerakan perkembangan awan konveksi ke arah Tenggara terlihat hingga pukul 08.00 Z.

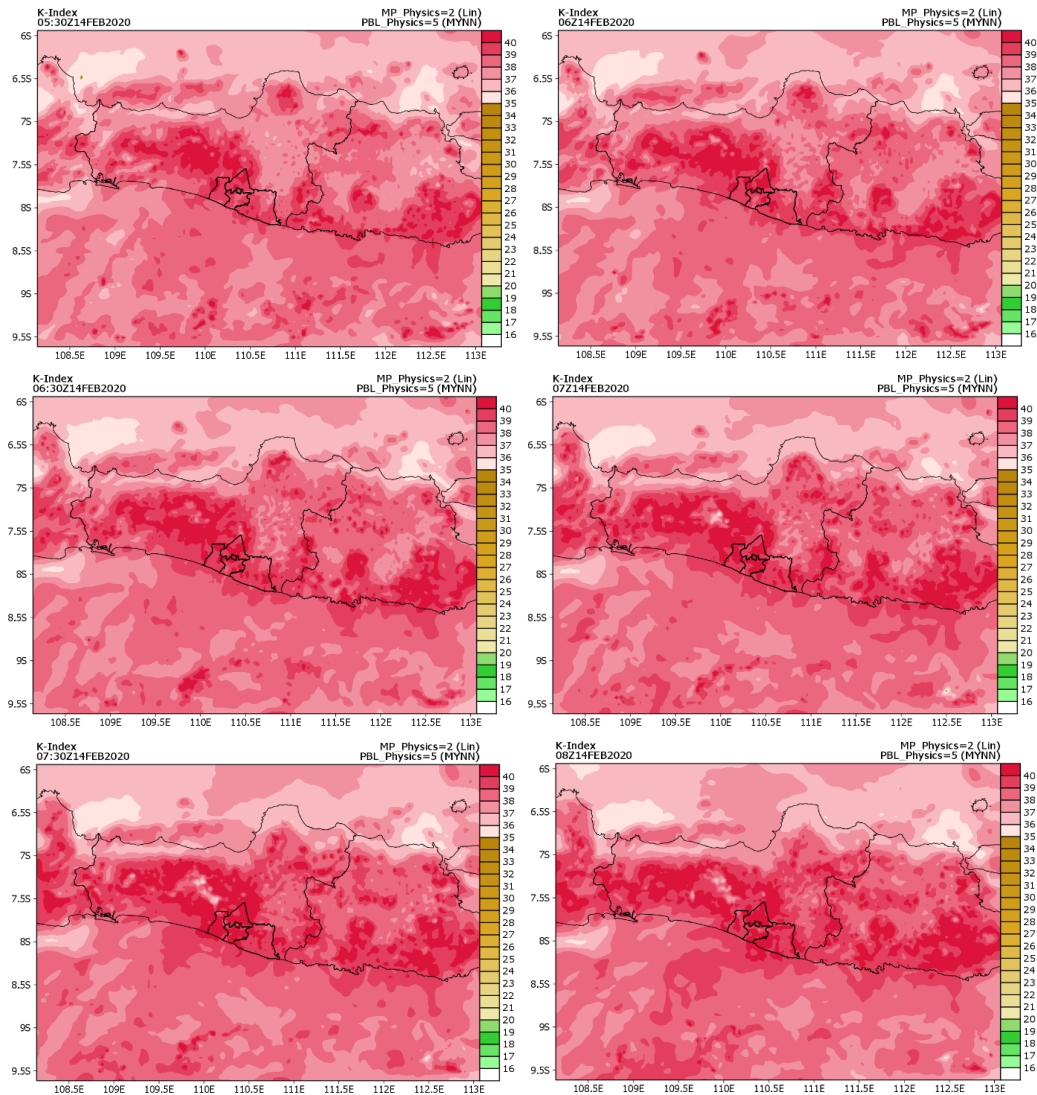
Windshear level 1000 mb – 500 mb mengindikasikan aktifitas konveksi memiliki nilai shear yang besar yang bersesuaian dengan area keluaran model reflektifitas tinggi. Namun simulasi kejadian *windgust* oleh sistem konveksi ini cenderung bergeser dari lokasi rusaknya sarana-prasarana dan tumbang pohon, sehingga area angin maksimum yang mengakibatkan kerusakan infrastruktur belum dapat diidentifikasi secara mudah.



Gambar 7. Output produk WRF-ARW dengan resolusi 3 km parameter *windshear* lapisan 1000 mb – 500 mb (barb), *maksimum reflectivity* (shaded)

Gambar 8 menunjukkan kondisi spasial nilai *instability K-index*. Secara umum wilayah Jawa bagian tengah menunjukkan nilai KI yang besar (> 35) yang berarti semua area memiliki peluang munculnya system awan cumulonimbus disertai hujan lebat dan angin kencang. Tetapi terdapat nilai K index yang sangat tinggi (>40 , *best potential for thunderstorm with heavy rain*) pada area tempat kejadian cuaca ekstrem hujan lebat dan angin kencang. Namun analisis dengan KI sangat sulit menentukan tepatnya lokasi sistem angin maksimum akibat awan

konveksi tersebut terjadi, karena luasnya area KI tinggi. Area dengan nilai KI yang tinggi memiliki area yang cukup luas jika dibandingkan kejadian munculnya sistem konveksi (awan kumulonimbus) dan kejadian angin ekstrem. Indeks KI dari simulasi WRF dengan skema yang diterapkan dalam penelitian ini lebih dapat digunakan untuk analisis bahwa memang sangat besar peluang terjadinya sistem konveksi pada area KI tinggi tetapi belum fix dapat dipastikan di area mana awan konvektif tersebut tumbuh dan menghasilkan cuaca ekstrem.



Gambar 8. Output produk WRF-ARW dengan resolusi 3 km parameter *instability K-Index (shaded)*

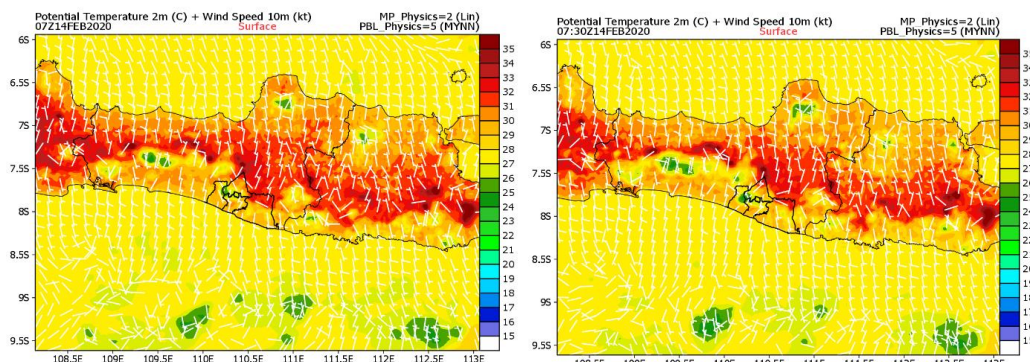
Gambar 9 menunjukkan bahwa area dengan suhu potensial di permukaan bersesuaian dengan lokasi kejadian *windgust* yang menyebabkan kerusakan infrastruktur di DIY. Pada data simulasi WRF-ARW pukul 07.00 dan 07.30 UTC muncul area dengan suhu potensial rendah (23-25 C).

Gambar 10 penampang cross section (Utara-Selatan dan Timur-Barat) pada lokasi kejadian *windgust*, menunjukkan adanya kecepatan angin maksimum pada level rendah yang signifikan. Dari gambar 10 a & c (penampang vertikal arah Utara-Selatan) terdapat dua sistem

konveksi 7.8 S dan 7.6 S (lebih besar dengan *reflektivity* signifikan hingga ketinggian lapisan 200 millibar). Sistem konveksi dengan sinyal angin kencang nampak nyata dengan kecepatan angin antara 6-15 KT pada sistem konveksi yang lebih kecil (7.8 S), sedangkan dari sistem konveksi 7.6 S menghasilkan angin yang lebih rendah kecepatannya namun dengan penetrasi penjarangan angin yang lebih jauh.

Gambar 10 b & d penampang vertikal arah Barat-Timur, sinyal *updraft* yang lebih menonjol khususnya pada puncak konveksi, sedangkan sinyal

downdraft terlihat tetapi dengan kekuatan yang lebih lemah.



Gambar 9. Suhu potensial lapisan permukaan (2 meter, *shaded*) dan angin (Barb)

Simulasi parameter cuaca dengan WRF (angin, indeks labilitas, *reflectivity*) menunjukkan area potensial terjadinya awan konveksi aktif, sedangkan kejadian ekstremnya hanya terjadi pada beberapa lokasi yang lebih sempit dibandingkan hasil keluaran model.

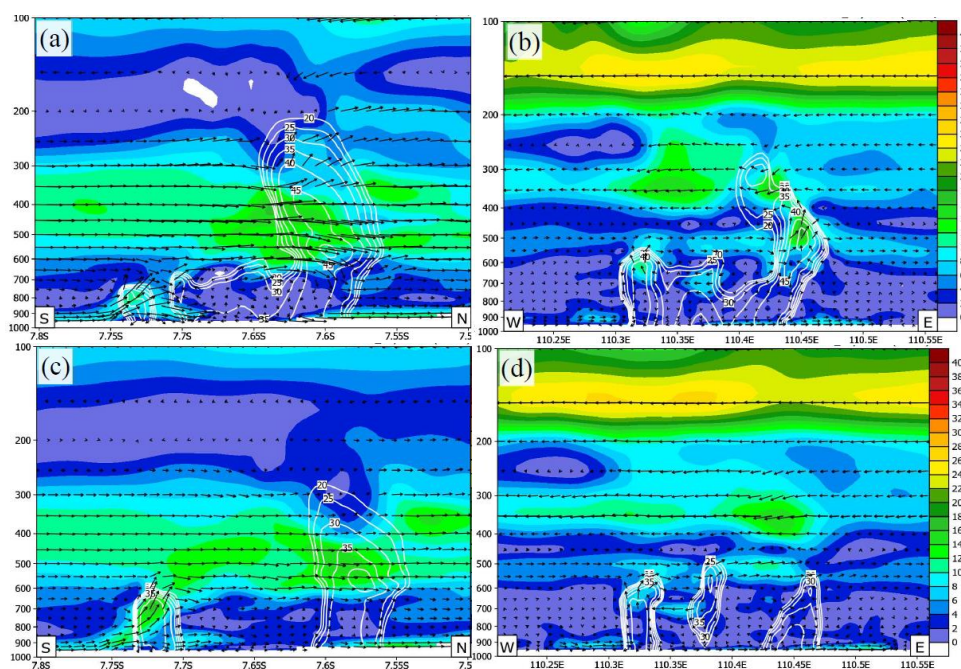
Kecepatan angin vertikal saat *gusty* maksimum maupun minimum dipengaruhi oleh *updraft* dan *downdraft* pada *boundary layer*. Kecepatan angin merata atau angin *gusty* terkuat teramati saat kondisi stabilitas *near-neutral*, sedangkan terlemah adalah saat kondisi stabilitas udara *very stable* dan saat *very unstable*. Untuk kondisi *Gust Factor* (GF) yang merupakan fungsi dari stabilitas dengan ketinggian diatas permukaan, menunjukkan bahwa nilai GF Pada kondisi stabil/netral semakin menurun terhadap ketinggian [22].

Pemodelan WRF dengan inisial kondisi menggunakan *reanalysis* ERA INTERIM mampu menangkap

fenomena *windgust* namun dari sisi waktu kejadian dan magnitudo puncaknya kurang teridentifikasi dengan baik [17]. Untuk operasional prediksi *windgust* masih terhalang antara lain waktu kejadian, intensitas dan lokasi kejadian *windgust*. Kesuksesan model prediksi gust juga ikut ditentukan oleh parameter fisis (*microphysics* and *cumulus convection*) tidak cukup dengan PBL.

Untuk meningkatkan kemampuan prediksi model *gust* dilakukan dengan kombinasi model *gust* dengan *high quality numerical model*, *ensemble* dengan skema parametrisasi lain, aplikasi *rapid update cycle* dan asimilasi radar data [18].

Estimasi Wind juga dapat dikeluarkan dari data navigasi pesawat udara, perlu dilakukan kajian estimasi kejadian cuaca ekstrem khususnya angin berdasarkan data sekunder dari data pesawat udara dengan menggunakan metode dari [23].



Gambar 10. Irisan penampang vertikal angin (vector, shaded) dan reflectivity (contour). Irisan komponen utara-selatan dan kecepatan vertikal (kt) pukul (a) 07.00 UTC dan (c) 07.30 UTC. Irisan komponen angin barat-timur dan kecepatan vertikal (kt) pukul (b) 07.00 UTC dan (d) 07.30 UTC.

4. Kesimpulan

- Keluaran produk WRF kecepatan angin permukaan maupun 950 mb resolusi waktu 30 menit menunjukkan nilai kecepatan maksimum pada estimasi kejadian *windgust*/angin kencang. Angin maksimum terlihat nyata secara spasial, namun secara nilai kecepatan anginnya mengindikasikan sebuah nilai yang *under-estimate*. Dan kepastian waktunya terjadi lebih awal satu jam dibandingkan kejadian saat cuaca ekstrem terjadi, sehingga pada saat pukul 07.30 UTC *system* sudah berada pada arah Timur +/- 30 km dari lokasi kejadian aktualnya.
 - Lokasi pertumbuhan system konveksi berdasarkan keluaran produk *reflectivity* WRF menunjukkan lokasi yang bersesuaian dengan kejadian aktualnya digambarkan dengan *reflectivity value* 35-50 dBz.
- Pertumbuhan sistem ini ke arah tenggara dan timur yang bersesuaian dengan kondisi pertumbuhan aktualnya
 - Keluaran produk K index (>40) bersesuaian dengan *spasial pattern* kejadian cuaca ekstrem. *Areal polygon* KI nilai ini bahwa area tersebut berpeluang munculnya Ts dan *heavy rain* baik sepenuhnya ataupun hanya sebagian. Indek ini bisa dijadikan dasar untuk potensi konveksi kuat, namun belum dapat memastikan lokasi kejadian angin kencang.
 - Nilai suhu potensial (*theta*) permukaan saat terjadinya cuaca ekstrem menunjukkan penurunan suhu yang signifikan dibandingkan area di sekitar. Lokasi suhu potensial rendah ini bersesuaian dengan dampak hujan deras dan angin kencang, lebih dikenal dengan fenomena *cold pool*. Semburan *downburst* nampak pada bagian selatan, tenggara,

dan timur, dan ditunjukkan dengan kecepatan angin yang jauh lebih kuat dibandingkan dengan kecepatan angin yang berada pada sistem awan konvektifnya.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Stasiun Klimatologi Mlati yang telah menyediakan data Radar sebagai data utama kemunculan sistem konveksi skala meso di area Daerah Istimewa Yogyakarta..

Daftar Pustaka

- [1] I. Rasmala, R. Zikri, R. Rahman, M. Ansori, I. Nugraheni and A. Ali. (2021). "Identification of small toonado event using weather radar and Himawari-8 products (case study: puting beliung event on November 22, 2018 in Jakarta)," in The 2nd International Conference on Tropical Meteorology and Atmospheric Science.
- [2] H. Ismanto, Karakteristik Kompleks Konvektiv Skala Meso di Benua Maritim Indonesia, Bandung: Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan ITB.
- [3] H. Ismanto, Hartono and M. A. Marfai. (2020). "Classification tree analysis (CTA) of smoke detection using Himawari_8 satellite data over Sumatera-Borneo Island, Indonesia," SN Applied Sciences, pp. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03310-z>.
- [4] H. Ismanto, H. Hartono and M. Marfai. (2020). "Visibility Estimation Due To Forest Fire smoke Using Backward Elimination Multiple Regression of Hlmawari_8 Satellite Data Over Sumatera and Borneo Island Indonesia," in International Conference of Science and Technology (ICST) UGM, Yogyakarta, Indonesia.
- [5] W. Ashley and T. Mote. (2005). "Derecho hazards in the United States," Bulletin American Meteorology Society, pp. 209-220.
- [6] Supari, F. Tangang, L. Juneng and E. Aldrian. (2016). "Observed changes in extrem temperature and prcipitation over Indonesia," International Journal of Climatology, p. doi:10.1002/joc4829.
- [7] I. Gultepe, R. Sharman, P. D. William, B. Zhou, G. Ellrod, P. Minnis, S. Trier, S. Griffin, Seong, S. Yum, B. Gharabaghi, W. Feltz, M. Temini, P. Zaoxia, L. Storer, P. Kneringer, M. J. Weston, H.-Y. Chuang, L. Thobois and A. P. Dimri. (2019). "A Review of High Impact for Aviation Meteorology," Pure and Applied.
- [8] L. L. Jensen and R. J. Hansmann. (2013). "Commercial Airline Speed Optimization STRategies for Reduced Cruise Fuel Consumption," in Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, Los Angeles, CA.
- [9] C. Doswell. (2001). "Severe convective storms - An overview," Meteorological Monographs, pp. 1-26; vol. 28.
- [10] S. Chaundhuri and A. Middey. (2011). "Adaptive neuro-fuzzy inference system to forecast," Meteorology Atmospheric Physics, pp. 139-149.
- [11] H. Wang, Y.-M. Zhang, J.-X. Mao and H.-P. Wan. (2020). "A probabilistic approach for short-term prediction of wind gust

- speed using ensemble learning," *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, p. doi: 10.1016/j.jweia.2020.104198.
- [12] T. T. Fujita. (1985). *The Downburst: Microburst and Macrobust*, Chicago: The University of Chicago Press, 122 pp.
- [13] F. H. Ludlam. (1963). "Severe Local Storms. A Review Meteorological Monogram No 27," *American Meteorological Society*, pp. 1-30.
- [14] H. R. Byers and R. R. J. Braham. (1949). *The Thunderstorm*, Washington, DC: U. S. Department of Commerce.
- [15] D. J. Musil, W. R. Sand and R. A. Schlessener. (1973). "Analysis of data from T-28 aircraft penetration of a Colorado hailstorm," *Journal Applied Meteorology*, pp. 12, 1364-1370.
- [16] D. J. Musil, E. L. May, P. L. Smith and W. R. Sand. (1976). "Structure of an evolving hailstorm, Part IV: Internal structure from penetration aircraft," *Monthly Weather Review*, pp. 104, 596-602.
- [17] P. Stucki, S. Dierer, C. Welker, J. Gomez-Navaro, C. Raible, O. Martius and S. Bronnimann. (2016). "Evaluation of downscaled wind speeds and parameterised gust for recent and historical windstorm in Switzerland," *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, p. doi: 10.3402/tellusa.v68.31820.
- [18] A. Gutierrez, C. Porrini and R. Fovell. (2020). "Combination of wind gust models in convective event," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, p. doi: 10.1016/j.jweia.2020.104118.
- [19] E. Wijayana, "Tertimpa Pohon Beringin di Perempatan Terong, Pengemudi Mobil Tewas," 14 februari 2020. [Online]. Available: <https://jogja.suara.com/read/2020/02/14/200900/tertimpa-pohon-beringin-di-perempatan-terong-pengemudi-mobil-tewas>.
- [20] Kuntadi, "Hujan Deras Guyur Yogyakarta, Puluhan Pohon Tumbang," 14 Februari 2020. [Online]. Available: <https://news.okezone.com/read/2020/02/14/510/2168636/hujan-deras-guyur-yogyakarta-puluhan-pohon-tumbang>.
- [21] ICAO, (2014). Doc. 9837 Manual on Automatic Meteorological Observing Systems at Aerodromes, International Civil Aviation Organization.
- [22] I. Suomi, S. -E. Gryning, R. Floors, T. Vihma and C. Fortelius. (2015). "On the vertical structure of wind gust," *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, pp. 1658-1670. doi:10.1002/qj.2468.
- [23] M. B. Rhudy, Y. Gu, J. N. Gross and H. Chao. (2017). "Onboard wind velocity estimation comparison for unmanned aircraft systems," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, pp. 55-56.
- [24] E. Krider, "Thunderstorm," 7 Juli 2019. [Online]. Available: <http://www.britannica.com/science/thunderstorm>.
- [25] P. Sallis, W. Claster and S. Hernandez. (2011). "A machine-learning algorithm for wind gust prediction," *Computers & Geoscience*, pp. 1337-1344; doi:10.1016/j.cageo.2011.03.004.