



## Pemodelan Hujan Lebat Pemicu Longsor Menggunakan Model WRF

Modeling of Heavy Rainfall Triggering Landslide Using WRF Model

**Danang Eko Nuryanto\***, **Yuaning Fajariana**, **Radyan Putra Pradana**, **Rian Anggraeni**, **Imelda Ummiyatul Badri**, dan **Ardhasena Sopaheluwakan**

Pusat Penelitian dan Pengembangan, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Jl Angkasa I No.2 Kemayoran, Jakarta 10610

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 02 October 2019

Received in revised from 16 April 2020

Accepted 5 June 2020

doi: 10.29244/j.agromet.34.1.55-65

#### Keywords:

Heavy Rainfall

Kulonprogo

Landslide

Planetary Boundary Layer

Weather Research Forecasting (WRF)

### ABSTRACT

This study revealed the behavior of heavy rainfall before landslide event based on the Weather Research Forecasting (WRF) model. Simulations were carried out to capture the heavy rainfall patterns on 27 November 2018 in Kulonprogo, Yogyakarta. The modeling was performed with three different planetary boundary layer schemes, namely: Yonsei University (YSU), Sin-Hong (SH) and Bougeault and Lacarrere (BL). Our results indicated that the variation of rainfall distribution were small among schemes. The finding revealed that the model was able to capture the radar's rainfall pattern. Based on statistical metric, WRF-YSU scheme was the best outperforming to predict a temporal pattern. Further, the study showed a pattern of rainfall development coming from the southern coastal of Java before 13:00 LT (Local Time=WIB=UTC+7) and continued to inland after 13:00 LT. During these periods, the new clouds were developed. Based on our analysis, the cloud formation that generated rainfall started at 10:00 LT, and hit a peak at 13:00 LT. A starting time of cloud generating rainfall may be an early indicator of landslide.

## PENDAHULUAN

Longsor merupakan bencana alam yang banyak ditemukan di Indonesia, terutama pada topografi wilayah yang berbukit dan cenderung labil. Salah satu pemicu kejadian longsor yaitu curah hujan yang tinggi. Curah hujan secara kontinu pada periode yang lama memicu akumulasi aliran air bawah tanah penyebab longsor (Ku et al., 2017; Peruccacci et al., 2017; Zêzere et al., 2015). Secara umum, wilayah Indonesia merupakan kepulauan dengan deretan pegunungan, seperti yang banyak dijumpai di Pulau Jawa, dimana banyak ditemukan deretan pegunungan dari timur ke barat. Kondisi tersebut sangat berpotensi untuk kejadian longsor.

Berdasarkan data BNPB 1998-2018 (BNPB, 2019), Provinsi Jawa Tengah mengalami kejadian longsor hingga 1.927 kali. Sebaliknya, Provinsi Banten hanya terdapat 58 kejadian longsor (BNPB, 2019). Data tersebut menunjukkan perbandingan frekuensi kejadian longsor di Pulau Jawa dengan dominasi Provinsi Jawa Tengah. Topografi perbukitan yang dominan di Provinsi Jawa Tengah akan semakin

meningkatkan kerentanan kejadian bencana longsor di masa depan. Sehingga sains terkait dengan prediksi bencana alam longsor sangat diperlukan, mengingat dampak yang ditimbulkan terhadap masyarakat sekitar. Sebagai contoh, terdapat 10 titik kejadian tanah longsor di Kulonprogo pada tanggal 28 November 2018 sebagai akibat hujan lebat pada tanggal 27 November 2018 (BNPB, 2019).

Pendekatan sains yang dapat digunakan berupa aplikasi model numerik *Weather Research Forecasting* (WRF) untuk prediksi hujan lebat (Di et al., 2019; Huang et al., 2018; Jee and Kim, 2017; Nuryanto et al., 2018) dan tanah longsor (Park et al., 2018; Zhuo et al., 2019). Pendekatan WRF ini dapat digunakan sebagai upaya preventif kejadian bencana alam di masa depan, mengingat pengoperasian model WRF yang relatif mudah (Alvioli et al., 2018; Manor and Berkovic, 2015), dan tidak membutuhkan infrastruktur yang kompleks (Skamarock et al., 2008). Pemanfaatan WRF sudah diaplikasikan pada berbagai penelitian untuk: (i) menganalisis badai pemicu longsor di Italia (Alvioli et al., 2019; Zhuo et al., 2019), (ii) membangun aplikasi peringatan dini longsor di Indonesia (Susandi et al., 2018),

\*Corresponding author. danang.eko@bmk.go.id

(iii) menduga sebaran polutan di Jakarta (Turyanti and Chaerunnisa, 2017), (iv) mensimulasikan bencana longsor di India (Chevuturi et al., 2015), dan (v) mensimulasikan tanah longsor pada iklim hangat di masa depan yang kemungkinan terjadi di Amerika Serikat (Ren, 2016).

Salah satu kegunaan pendekatan WRF yaitu untuk aplikasi peringatan dini longsor di Indonesia. Luaran aplikasi tersebut berupa peta potensi longsor dengan memanfaatkan data prediksi keluaran WRF yang ditumpang-tindihkan dengan indeks longsor dari BNPB (Susandi et al., 2018). Namun, parameterisasi model WRF masih memerlukan usaha yang besar terkait dengan fenomena lokal yang belum teridentifikasi oleh model-model WRF yang ada. Sehingga performa aplikasi WRF untuk prediksi longsor belum maksimal. Salah satu proses yang berpengaruh dalam pemodelan WRF yaitu skema *Planetary Boundary Layer* (PBL), yang merupakan salah satu fenomena penting dalam pertumbuhan awan dan hujan (Milovac et al., 2016). Struktur PBL sangat tergantung pada interaksi antara permukaan bumi dan atmosfer. Beberapa penelitian terdahulu memberikan penekanan yang besar terhadap skema PBL (Banks et al., 2016; Chaouch et al., 2017; Yang et al., 2019). Penelitian tersebut hanya fokus pada aspek atmosfer atas, sehingga masih terdapat ruang untuk identifikasi dampak skema PBL terhadap kejadian longsor.

Pemanfaatan model WRF untuk penentuan lokasi potensi tanah longsor di Indonesia masih terbatas. Pendekatan yang ada menggunakan data observasi dan satelit. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan simulasi curah hujan pemicu longsor dengan menggunakan tiga skema PBL dalam model WRF. Pemodelan akan difokuskan untuk wilayah Kulonprogo, Yogyakarta. Wilayah ini dipilih karena pada bagian utara wilayah ini merupakan dataran tinggi/perbukitan Menoreh dengan ketinggian antara 500 – 1000 meter di atas permukaan laut (BPS, 2019). Pada wilayah ini penggunaan tanah diperuntukkan sebagai

kawasan budidaya konservasi (suaka marga-satwa Sermo) dan merupakan kawasan rawan bencana tanah longsor.

## METODE PENELITIAN

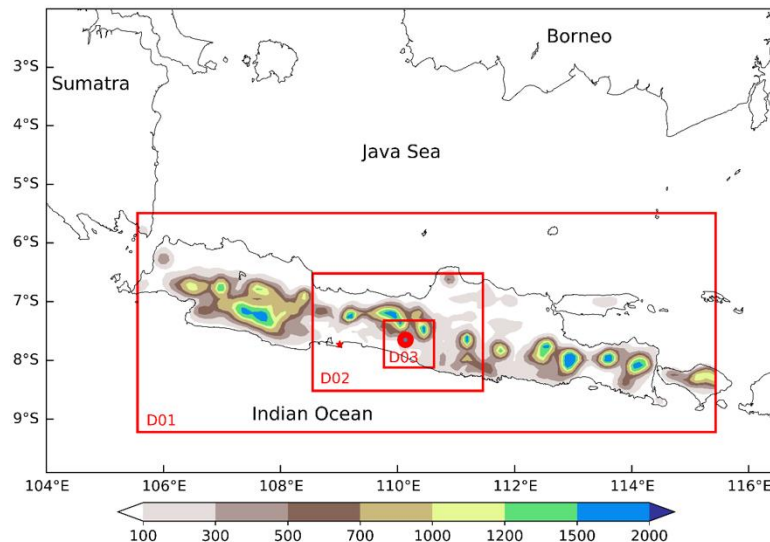
Simulasi numerik dilakukan menggunakan model WRF 4.1.2 dengan *nesting* tiga domain yang menerapkan resolusi horizontal 9, 3, dan 1 km (Gambar 1). Jumlah titik grid tiap resolusi adalah 123 x 48, 109 x 76 dan 97 x 91 dengan jumlah lapisan vertikal sebanyak 34 lapisan. Lokasi penelitian ketiga domain tersebut mencakup wilayah Kulonprogo. Data masukan (*input*) yang digunakan sebagai kondisi awal dan syarat batas domain terluar (d01) menggunakan data prediksi global dari *Global Forecast System* (GFS) dengan resolusi horizontal  $0.25^{\circ}$  ( $\pm 27$  km). Simulasi model dilakukan dengan inisial pukul 00:00 UTC (07:00 WIB) tanggal 26 November 2018 hingga 07:00 WIB tanggal 29 November 2018.

Konfigurasi model WRF menggunakan parameter pilihan skema 'tropical' dalam *namelist.input* (Tabel 1). Skema mikrofisika yang dipakai pada ketiga domain adalah WRF *Single Moment 6-class* (WSM-6) untuk proses awan dan curah hujan berskala grid (Pratap et al., 2020; Sarkar et al., 2019). Proses *running* model WRF dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan kondisi batas (*boundary layer*) tiga skema *Planetary Boundary Layer* (PBL) yang berbeda, yaitu: (i) Yonsei University (YSU), (ii) Sin-Hong (SH), dan (iii) Bougeault & Lacarrere (BL). Hal ini dilakukan untuk melihat perbedaan ketiganya, mengingat koefisien difusivitas momentum ditentukan berdasarkan ketinggian PBL dan skala kecepatan pada lapisan pencampuran (Hong et al., 2006).

Skema PBL YSU adalah skema *first-order* non-lokal dengan persamaan *eddy-diffusion* (Hong et al., 2006). Skema ini mempunyai kemampuan untuk meningkatkan pencampuran di lapisan batas stabil dengan meningkatkan angka *bulk Richardson* kritis dari

**Tabel 1.** Konfigurasi model *weather forecasting* untuk prediksi curah hujan di Kulonprogo

Konfigurasi	Domain 1	Domain 2	Domain 3
Titik Tengah Bujur	110.493	-	-
Titik Tengah Lintang	-7.357	-	-
Jumlah Grid X	123	109	97
Jumlah Grid Y	48	76	91
Resolusi Grid Horizontal	9 km	3 km	1 km
Jumlah Level Vertikal	34	34	34
Skema Mikrofisika	WSM-6	WSM-6	WSM-6
Skema PBL	YSU/SH/BL	YSU/SH/BL	YSU/SH/BL
Skema <i>Cumulus</i>	Skema <i>Tiedtke</i> terbaru	-	-
Skema Longwave Radiation	RRTMG	RRTMG	RRTMG
Skema Shortwave Radiation	RRTMG	RRTMG	RRTMG



**Gambar 1.** Pembagian 3 domain model pada wilayah penelitian. Wilayah studi dalam penelitian ini berfokus pada kotak merah paling kecil (D03). Tanda lingkaran merah (dalam kotak D03) menunjukkan lokasi radar yang digunakan sebagai verifikasi hasil model.

nol menjadi 0,25 di atas daratan dan menunjukkan fungsi angka *Rosby* permukaan di atas lautan (Hong and Kim, 2008). Dalam hal ini, skema PBL YSU menyumbang kontribusi *eddy-diffusion* yang besar untuk pencampuran total fluks turbulen, menjadikan skema ini bersifat non-lokal (Milovac et al., 2016). Sementara itu, skema PBL SH memperhitungkan skema dependensi ukuran grid dari transport vertikal dalam lapisan batas konvektif untuk skala grid horizontal, termasuk zona abu-abu (Shin and Hong, 2013). Parameterisasi profil transportasi *subgrid-scale* (SGS) tersebut didasarkan pada dua konsep. Pertama, ada perhitungan terpisah dari transportasi non-lokal melalui pembaruan kuat dan transportasi lokal melalui pusaran skala kecil yang tersisa. Kedua, transportasi SGS non-lokal diformulasikan dengan mengalikan fungsi ketergantungan ukuran grid dengan total profil transportasi non-lokal. Terakhir, skema PBL BL merepresentasikan skema penutupan lokal, sehingga memiliki kinerja yang bagus terkait dengan proses orografi (Bougeault and Lacarrere, 1989).

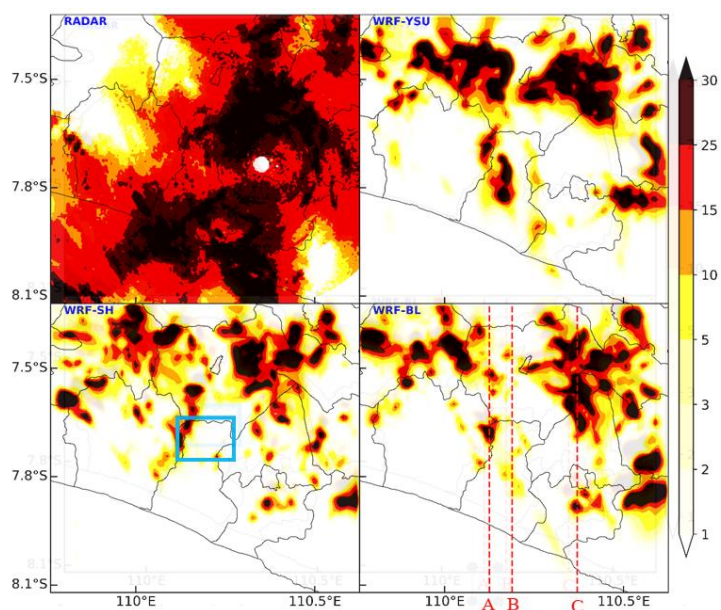
Setelah tahapan pemodelan untuk tiap skema PBL, kita melakukan perbandingan hasil pemodelan WRF dengan data observasi pada kejadian hujan lebat tanggal 27 November 2018. Kemudian tahapan verifikasi dilakukan dengan cara membandingkan keluaran model WRF dengan citra radar cuaca dari Stasiun BMKG Yogyakarta (Gambar 1). Verifikasi dilakukan secara spasial dan temporal. Analisis selanjutnya dilakukan plot *hoevmoller* distribusi pada beberapa lokasi yang dipilih. Untuk analisis ini dilakukan perhitungan selisih curah hujan hasil keluaran model WRF (YSU-SH, YSU-BL dan SH-BL). Selain itu juga dilakukan analisis profil vertikal parameter konvektif. Parameter konvektif sebagai komponen atmosfer yang dimaksud adalah

*equivalent potential temperature* ( $\theta_e$ ), uap air dan angin zonal serta kecepatan vertikal.

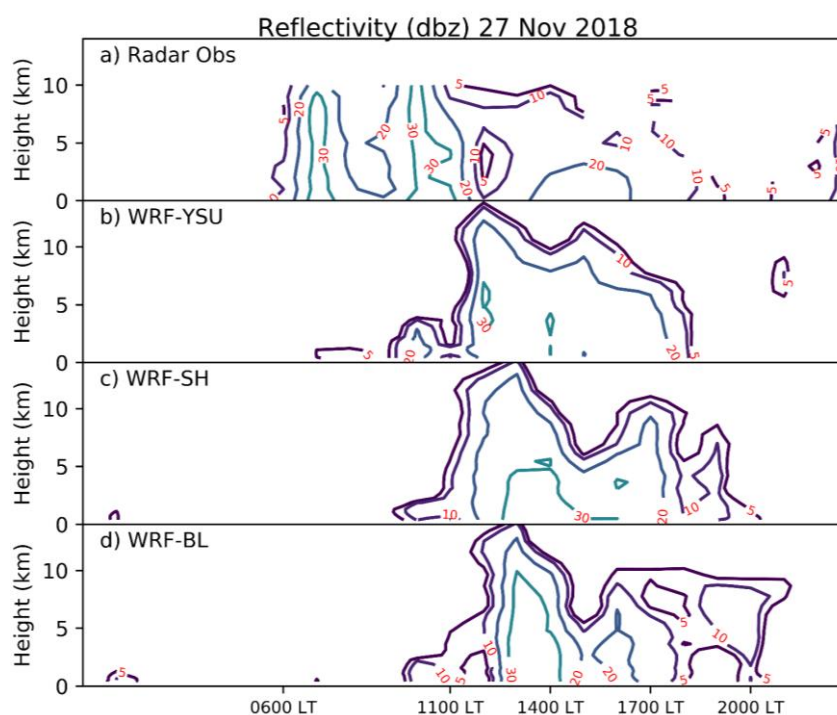
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi spasial antara hasil keluaran model WRF dengan observasi radar bervariasi tergantung dari skema PBL yang digunakan. Sebagai contoh yaitu Gambar 2 menunjukkan distribusi pada pukul 11:00 WIB untuk tanggal 27 November 2018. Dari hasil prediksi diperoleh bahwa seluruh skema PBL yang digunakan (YSU, SH, dan BL) dapat menangkap pola hujan lebat (garis putus-putus A, B, dan C). Akan tetapi, skema SH dan BL cenderung sedikit lebih tinggi dibandingkan skema YSU untuk menangkap kejadian hujan lebat yang ditunjukkan oleh garis C (sekitar lat -7.90) (Gambar 2). Meskipun pola distribusi curah hujan tidak sepenuhnya tertangkap model, pola curah hujan keluaran radar dapat ditangkap oleh ketiga skema PBL, terutama curah hujan di sekitar pegunungan. Hal ini mengindikasikan kemampuan model WRF dalam simulasi curah hujan tipe orografis, yang akan bermanfaat dalam prediksi potensi longsor di wilayah pegunungan.

Gambar 3 menunjukkan distribusi temporal antara hasil keluaran model WRF menggunakan skema PBL yang berbeda (YSU, SH, dan BL) dengan observasi radar yang fokus pada lokasi spesifik di Kulonprogo (kotak berwarna biru, Gambar 2). Hasil analisis menunjukkan terlihat pola pertumbuhan awan pada ketiga skema PBL (Gambar 3b-d) yang mirip dengan pola vertikal pada radar (Gambar 3a). Nilai korelasi curah hujan skema PBL (YSU, SH, dan BL) terhadap radar secara berurutan sebesar 0,57; 0,54; dan 0,52. Nilai ini menunjukkan performa WRF cukup menjanjikan untuk mensimulasikan proses pertumbuhan awan. Hal ini mengin-



**Gambar 2.** Perbandingan hasil model (WRF-YSU, WRF-SH dan WRF-BL) dengan data radar pada sekitar pukul 11:00 WIB tanggal 27 November 2018. Kotak biru digunakan untuk verifikasi temporal (Gambar 3). Garis putus-putus A, B, dan C digunakan untuk analisis *hoevmoller* dan profil vertikal berikutnya (Gambar 4).



**Gambar 3.** Perbandingan hasil model (WRF-YSU, WRF-SH, dan WRF-BL) dengan data radar di lokasi kotak biru secara vertikal dan temporal pada tanggal 27 November 2018 (Gambar 2).

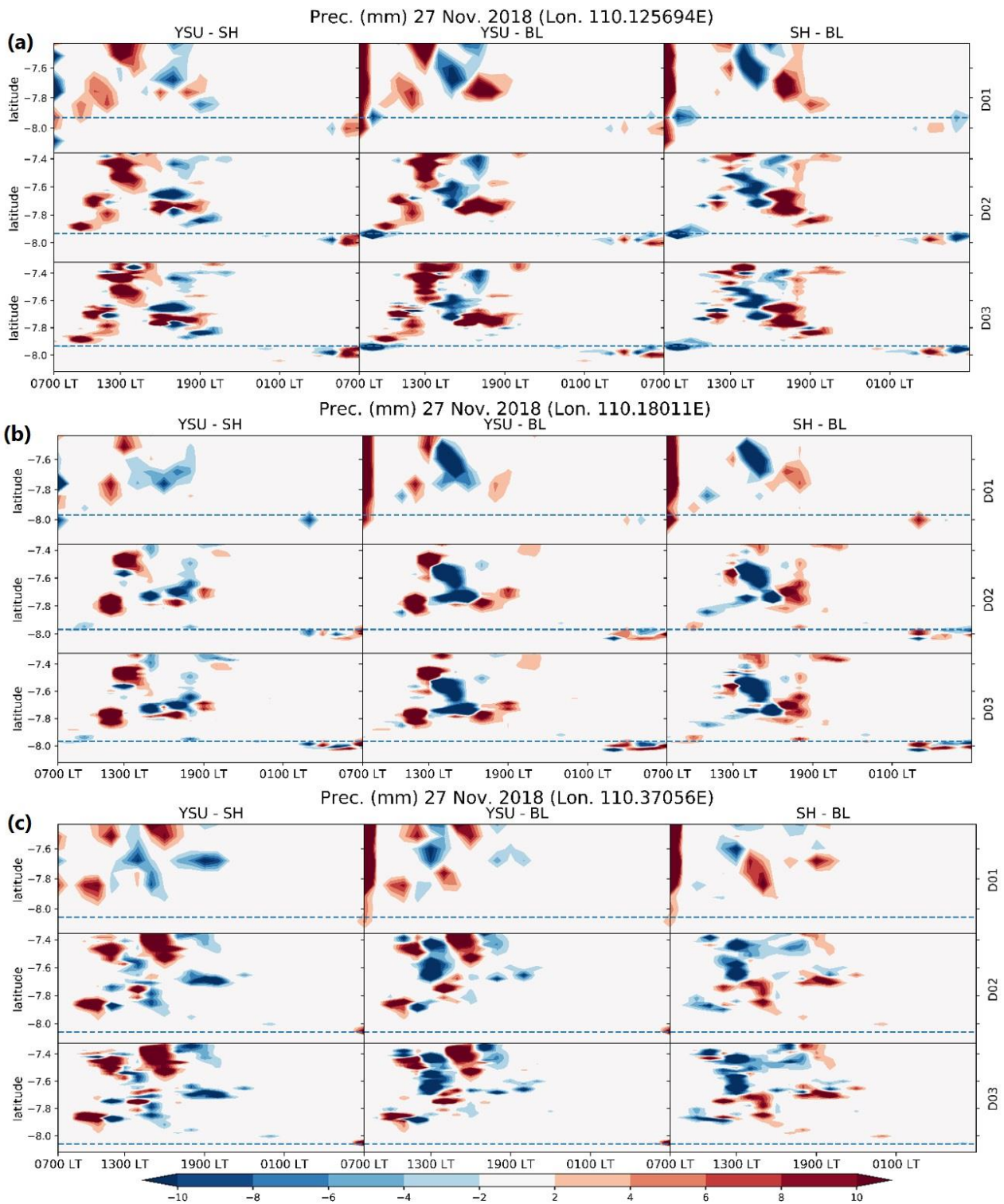
dikasikan bahwa kontribusi *eddy-diffusion* cukup besar untuk pencampuran total (Milovac *et al.*, 2016) mengingat wilayah penelitian merupakan bagian dari daratan tinggi.

Gambar 4a merupakan *hoevmoller* waktu vs lintang (*latitude*) pada posisi A (lihat Gambar 2) yang menunjukkan perbandingan antara selisih curah hujan hasil keluaran model WRF (YSU-SH, YSU-BL dan SH-BL) tanggal 27 November 2018. Hasil menunjukkan terdapat perbedaan pola hujan pada skema SH-BL, bila dibandingkan dengan skema YSU-SH dan YSU-BL di

ketiga domain. Pada skema YSU-SH, intensitas hujan lebat terjadi setelah pukul 07.00 WIB (*Local Time*=LT), dan intensitasnya melemah sekitar pukul 17.00-19.00 WIB.

Skema PBL yang dipilih berdasarkan waktu, sangat berpengaruh terhadap besar intensitas hujan. Pada pagi hari (09:00 WIB), curah hujan WRF-YSU lebih tinggi di-bandingkan dengan skema WRF-SH dan WRF-BL. Untuk siang hari (13:00 WIB), curah hujan model WRF-BL lebih tinggi dibandingkan dengan skema WRF-YSU dan WRF-SH. Namun pada malam hari





**Gambar 4.** *Hoevmoller* waktu vs lintang (*latitude*) pada (a) posisi A, (b) posisi B, dan (c) posisi C (lihat Gambar 2) selisih curah hujan antara YSU – SH, YSU – BL, dan SH – BL tanggal 27 November 2018.

(±19:00 WIB), jumlah curah hujan model WRF-SH lebih tinggi dibandingkan dengan skema WRF-YSU dan WRF-BL.

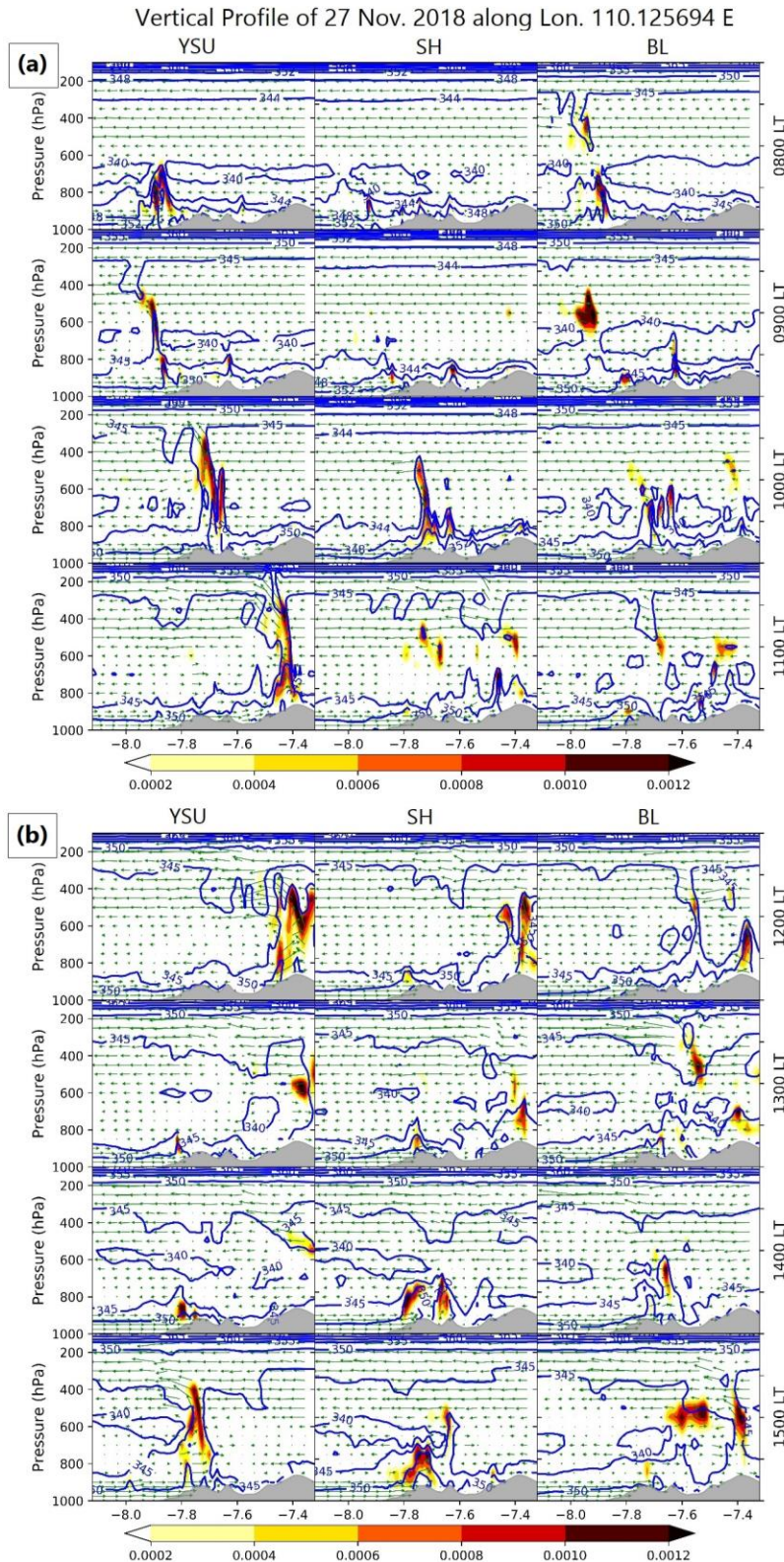
Untuk posisi B pada Gambar 2, selisih antar skema PBL juga bervariasi berdasarkan waktu seperti yang ditunjukkan *hoevmoller* pada Gambar 4b. Curah hujan pada posisi garis melintang B tidak persis sama pada posisi A. Pada pagi hari (09:00 WIB), curah hujan skema WRF-YSU lebih tinggi dibandingkan dengan

skema lain. Kondisi berbeda pada siang hari (13:00 WIB), dimana skema WRF-BL terlihat lebih dominan. Pada malam hari (±19:00 WIB), skema WRF-SH menghasilkan curah hujan yang lebih tinggi dibandingkan skema lain.

Gambar 4c menunjukkan *hoevmoller* waktu vs lintang (*latitude*) pada posisi C (lihat Gambar 2) perbandingan antara selisih curah hujan hasil keluaran model WRF (YSU-SH, YSU-BL dan SH-BL) tanggal 27

November 2018. Curah hujan pada posisi C, tidak jelas seperti pada posisi A atau B. Akan tetapi masih ada kondisi pada pagi hari (09:00 WIB) curah hujan model WRF dengan skema YSU lebih tinggi dibandingkan dengan skema SH atau BL. Kondisi sebaliknya terjadi

pada siang hari (13:00 WIB), curah hujan model WRF dengan skema BL lebih tinggi dibandingkan dengan skema YSU atau SH. Kondisi curah hujan model WRF dengan skema SH lebih tinggi dibandingkan dengan skema YSU atau BL terjadi malam hari ( $\pm 19:00$  WIB).



**Gambar 5.** Profil vertikal vs lintang (*latitude*) pada posisi A (lihat Gambar 2) antara YSU, SH dan BL pada: (a) pagi hari (pukul 08:00 WIB, 09:00 WIB, 10:00 WIB dan 11:00 WIB) dan (b) siang hari (pukul 12:00 WIB, 13:00 WIB, 14:00 WIB dan 15:00 WIB) tanggal 27 November 2018. *Shading* warna merepresentasikan uap air, contour merupakan representasi theta-e dan vektor angin meridional dengan kecepatan vertikal.



Gambar 5a menunjukkan profil vertikal vs lintang pada posisi A (Gambar 2) perbandingan antara uap air (*shading* warna), theta-e, dan vektor angin meridional dan kecepatan vertikal (vektor) hasil keluaran model WRF (YSU, SH dan BL) pada pagi hari (pukul 08:00 WIB, 09:00 WIB, 10:00 WIB dan 11:00 WIB) tanggal 27 November 2018. Terlihat adanya massa uap air yang bergerak dari laut menuju darat pada 3 skema. Hal ini terlihat pada 3 parameter menunjukkan adanya pergerakan massa uap air tersebut. Massa uap pada skema YSU terlihat jelas sekali dibanding dengan 2 skema lainnya. Terlihat pada skema YSU, bahwa uap air cukup tinggi pada pukul 08.00 LT pada lapisan antara 100 hingga 700 hPa, dan hingga pukul 11.00 LT kandungan uap air yang cukup tinggi ini terus bergerak ke utara. Pada skema SH, terdapat kandungan uap air dalam jumlah yang relative sedikit pada pukul 08.00-09.00 LT, dan menjadi cukup tinggi pada pukul 10.00-11.00 LT. Sedangkan untuk skema BL mempunyai kemiripan pola dengan YSU.

Gambar 5b menunjukkan profil vertikal vs lintang pada posisi A (lihat Gambar 2) perbandingan antara uap air (*shading* warna), theta-e dan vektor angin meridional dan kecepatan vertikal (vektor) hasil keluaran model WRF (YSU, SH dan BL) pada siang hari (pukul 12:00 WIB, 13:00 WIB, 14:00 WIB dan 15:00 WIB) tanggal 27 November 2018. Tidak terlihat ada massa uap air yang bergerak dari darat menuju laut pada 3 skema seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 3. Hal ini terlihat pada 3 parameter menunjukkan ada pergerakan massa uap air tersebut menuju utara. Massa uap mulai tumbuh lagi di sekitar pantai dan bergerak ke arah utara.

Gambar 6a menunjukkan profil vertikal vs lintang pada posisi B (lihat Gambar 2) perbandingan antara uap air (*shading* warna), theta-e dan vektor angin meridional dan kecepatan vertikal (vektor) hasil keluaran model WRF (YSU, SH dan BL) pada pagi hari (pukul 08:00 WIB, 09:00 WIB, 10:00 WIB dan 11:00 WIB) tanggal 27 November 2018. Profil penampang vertikal tidak sebesar pada posisi A. Meskipun demikian, masih terlihat ada massa uap air yang bergerak dari laut menuju darat pada 3 skema. Hal ini terlihat pada 3 parameter menunjukkan adanya pergerakan massa uap air tersebut. Massa uap pada skema YSU terlihat jelas sekali dibanding dengan 2 skema lainnya.

Gambar 6b menunjukkan profil vertikal vs lintang pada posisi B (lihat Gambar 2) perbandingan antara uap air (*shading* warna), theta-e dan vektor angin meridional dan kecepatan vertikal (vektor) hasil perbandingan antara uap air (*shading* warna), theta-e (kontur) dan vektor angin meridional dan kecepatan vertikal (vektor) hasil keluaran model WRF (YSU, SH dan BL) pada siang hari (pukul 12:00 WIB, 13:00 WIB, 14:00

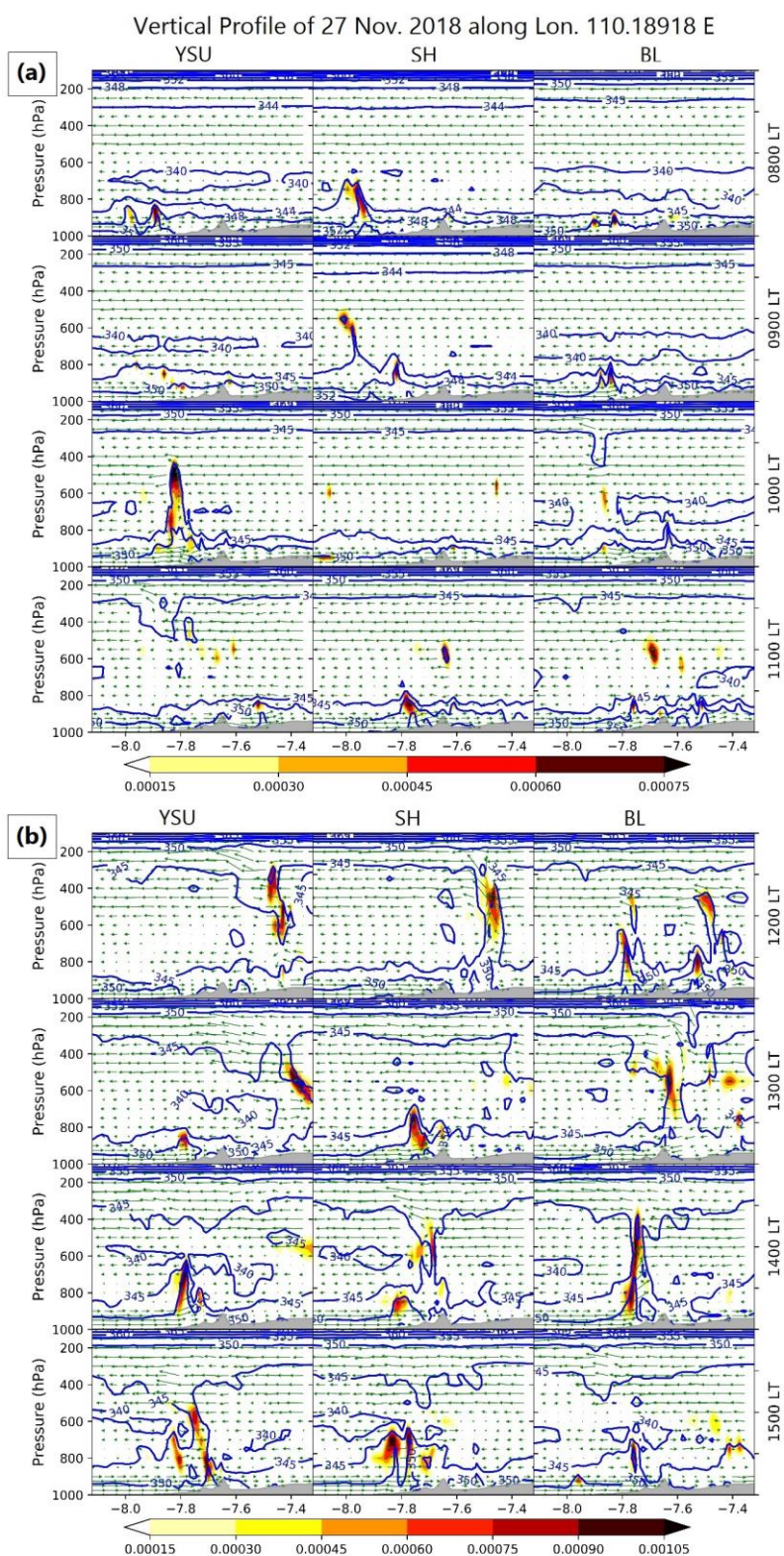
WIB dan 15:00 WIB) tanggal 27 November 2018. Terlihat pola yang mirip dengan posisi A. Tidak terlihat adanya massa uap air yang bergerak dari darat menuju laut pada 3 skema seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 3. Hal ini terlihat pada 3 parameter menunjukkan adanya pergerakan massa uap air tersebut menuju utara. Massa uap mulai tumbuh lagi di sekitar pantai dan bergerak ke arah utara.

Gambar 7a menunjukkan profil vertikal vs lintang pada posisi C (lihat Gambar 2) perbandingan antara uap air (*shading* warna), theta-e dan vektor angin meridional dan kecepatan vertikal (vektor) hasil keluaran model WRF (YSU, SH dan BL) pada pagi hari (pukul 08:00 WIB, 09:00 WIB, 10:00 WIB dan 11:00 WIB) tanggal 27 November 2018. Meskipun tidak jelas pola pergerakannya, masih terlihat adanya massa uap air yang bergerak dari laut menuju darat pada 3 skema. Hal ini terlihat pada 3 parameter menunjukkan adanya pergerakan massa uap air tersebut. Massa uap pada skema YSU terlihat jelas sekali dibanding dengan 2 skema lainnya.

Gambar 7b menunjukkan profil vertikal vs lintang pada posisi C (lihat Gambar 2) perbandingan antara uap air (*shading* warna), theta-e dan vektor angin meridional dan kecepatan vertikal (vektor) hasil keluaran model WRF (YSU, SH dan BL) pada siang hari (pukul 12:00 WIB, 13:00 WIB, 14:00 WIB dan 15:00 WIB) tanggal 27 November 2018. Pada posisi C ini juga memiliki kemiripan pola gerakan dengan posisi A dan B. Tidak terlihat adanya massa uap air yang bergerak dari darat menuju laut pada 3 skema seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 3. Terlihat pada 3 parameter yang menunjukkan adanya pergerakan massa uap air tersebut menuju utara. Massa uap mulai tumbuh lagi di sekitar pantai dan bergerak ke arah utara. Hal ini merepresentasikan ada dominasi angin laut yang diperkuat dengan angin lembah pada topografi yang kompleks (Ribeiro et al., 2018).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemodelan WRF dengan skema PBL YSU (WRF-YSU) sudah cukup memadai dalam mensimulasikan curah hujan di wilayah pegunungan. Penelitian ini hanya menggunakan satu kasus kejadian longsor di Kulonprogo, dimana belum bisa disimpulkan bahwa skema ini cocok untuk kejadian longsor lainnya di tempat lain. Namun dalam penelitian ini cukup memadai untuk melihat peranan PBL dalam pertumbuhan awan di kawasan pegunungan. Hal ini meningkatkan pengetahuan dalam pemodelan WRF untuk mendeteksi kejadian longsor sebelumnya (Alvioli et al., 2019; Chevuturi et al., 2015; Milovac et al., 2016; Park et al., 2018; Susandi et al., 2018; Zhuo et al., 2019).

Penelitian ini menunjukkan pemilihan skema PBL yang sesuai dalam pemodelan WRF akan menghasilkan



**Gambar 6.** Profil vertikal vs lintang (*latitude*) pada posisi B (lihat Gambar 2) antara YSU, SH dan BL pada: (a) pagi hari (pukul 08:00 WIB, 09:00 WIB, 10:00 WIB dan 11:00 WIB) dan (b) siang hari (pukul 12:00 WIB, 13:00 WIB, 14:00 WIB dan 15:00 WIB) tanggal 27 November 2018. *Shading* warna merepresentasikan uap air, contour merupakan representasi theta-e dan vektor angin meridional dengan kecepatan vertikal.

pola curah hujan lebat yang dapat dijadikan indikator potensi terjadinya longsor di kawasan pegunungan. Hasil pemodelan WRF ini dapat digunakan untuk prediksi hingga 3-6 hari kedepan. Artinya dalam periode itu dapat dilakukan upaya antisipasi sebelum kejadian longsor. Namun penelitian ini belum mendapatkan

akurasi WRF dalam prakiraan curah hujan dan nilai ambang batas curah hujan berpotensi longsor. Hasil ini berimplikasi pada keperluan penelitian lanjutan yang lebih komprehensif dalam studi WRF dan bencana longsor. Penelitian lanjutan mengharuskan lokasi dan pola hujan yang berbeda studi WRF dan bencana long-



Vertical Profile of 27 Nov. 2018 along Lon. 110.37056 E



**Gambar 7.** Profil vertikal vs lintang (*latitude*) pada posisi C (lihat Gambar 2) antara YSU, SH dan BL pada: (a) pagi hari (pukul 08:00 WIB, 09:00 WIB, 10:00 WIB dan 11:00 WIB) dan (b) siang hari (pukul 12:00 WIB, 13:00 WIB, 14:00 WIB dan 15:00 WIB) tanggal 27 November 2018. *Shading* warna merepresentasikan uap air, *contour* merupakan representasi theta-e dan vektor angin meridional dengan kecepatan vertikal.

sor. Penelitian lanjutan mengharuskan lokasi dan pola hujan yang berbeda yang mewakili rezim hidrologi dan tanah untuk mendapatkan nilai ambang batas curah hujan penyebab banjir.

Hasil simulasi model WRF dengan menggunakan eksperimen skema PBL yang berbeda memperlihatkan bahwa eksperimen tersebut mampu menangkap pola hujan lebat seperti yang terekam pada radar. Hasil ini juga memberikan implikasi penting dalam upaya

deteksi dini kejadian longsor. Hal ini terlihat dengan keberadaan pola hujan lebat pada wilayah rawan longsor, sehingga upaya mitigasi dampak longsor dapat diusahakan. Terakhir, hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat dalam upaya penanggulangan wilayah dengan tingkat kerawanan cukup tinggi terhadap longsor.

### KESIMPULAN

Studi ini menunjukkan perbedaan perilaku curah hujan lebat sebelum terjadi longsor menggunakan model *weather research forecasting* (WRF) dengan tiga skema *planetary boundary layer* (PBL) yang berbeda, yaitu: Yonsei University (YSU), Sin-Hong (SH) dan Bougeault and Lacarrere (BL). Simulasi dilakukan pada tanggal 27 November 2018 di sekitar Kulonprogo untuk menangkap pola hujan lebat sebelum kejadian longsor. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa meskipun tidak sama persis, pola curah hujan keluaran model WRF dapat menangkap pola hujan lebat yang tertangkap radar. Secara umum terlihat bahwa skema YSU merupakan skema terbaik dalam merepresentasikan pola pertumbuhan awan dengan korelasi 0,57. Terdapat pola diurnal pergerakan hujan dari pantai menuju pedalaman sebelum jam 13:00 WIB dan berlanjut setelah pukul 13:00 WIB, bahkan ada pembentukan awan baru. Perbedaan hasil simulasi profil parsel udara menunjukkan bahwa skema BL memiliki pola yang hampir sama dengan skema YSU pada pagi hari. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan mengambil sampel kejadian lebih banyak lagi (minimal 10 kejadian longsor) untuk dapat dilakukan generalisasi fenomenanya.

### DAFTAR PUSTAKA

Alvioli, M., Melillo, M., Guzzetti, F., Rossi, M., Palazzi, E., von Hardenberg, J., Brunetti, M.T., Peruccacci, S., 2019. Effects of Climate Change on Landslide Hazard in Central Italy within the TRIGRS Model. *AGUFM 2019*, NH31C-04.

Banks, R.F., Tiana-Alsina, J., Baldasano, J.M., Rocadenbosch, F., Papayannis, A., Solomos, S., Tzanis, C.G., 2016. Sensitivity of boundary-layer variables to PBL schemes in the WRF model based on surface meteorological observations, lidar, and radiosondes during the HygrA-CD campaign. *Atmospheric Research* 176–177, 185–201.  
<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.02.024>

BNPB, 2019. Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2019 [WWW Document]. URL

<http://bnpb.cloud/dibi/tabel1> (accessed 9.12.19).

Bougeault, P., Lacarrere, P., 1989. Parameterization of orography-induced turbulence in a mesobeta-scale model. *Monthly Weather Review*. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1989\)117<1872:POOITI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1989)117<1872:POOITI>2.0.CO;2)

Chaouch, N., Temimi, M., Weston, M., Ghedira, H., 2017. Sensitivity of the meteorological model WRF-ARW to planetary boundary layer schemes during fog conditions in a coastal arid region. *Atmospheric Research* 187, 106–127. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.12.009>

Chevuturi, A., Dimri, A.P., Das, S., Kumar, A., Niyogi, D., 2015. Numerical simulation of an intense precipitation event over Rudraprayag in the central Himalayas during 13–14 September 2012. *Journal of Earth System Science*. <https://doi.org/10.1007/s12040-015-0622-5>

Di, Z., Gong, W., Gan, Y., Shen, C., Duan, Q., 2019. Combinatorial optimization for WRF physical parameterization schemes: A case study of three-day typhoon simulations over the Northwest Pacific Ocean. *Atmosphere* 10. <https://doi.org/10.3390/atmos10050233>

Hong, S.-Y., Kim, S.-W., 2008. Stable boundary layer mixing in a vertical diffusion scheme. *Proc. Ninth Annual WRF User's Workshop*.

Hong, S.-Y., Noh, Y., Dudhia, J., 2006. A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. *Monthly Weather Review* 134, 2318–2341.

Huang, Y., Liu, Yubao, Xu, M., Liu, Yuewei, Pan, L., Wang, H., Cheng, W.Y.Y., Jiang, Y., Lan, H., Yang, H., Wei, X., Zong, R., 2018. Forecasting severe convective storms with WRF-based RTFDDA radar data assimilation in Guangdong, China. *Atmospheric Research* 209, 131–143. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.03.010>

Jee, J.B., Kim, S., 2017. Sensitivity study on high-resolution WRF precipitation forecast for a heavy rainfall event. *Atmosphere* 8. <https://doi.org/10.3390/atmos8060096>

Ku, C.-Y., Liu, C.-Y., Su, Y., Xiao, J.-E., Huang, C.-C., 2017. Transient modeling of regional rainfall-triggered shallow landslides. *Environmental Earth Sciences* 76, 570. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6902-4>

Manor, A., Berkovic, S., 2015. Bayesian Inference aided analog downscaling for near-surface winds in complex terrain. *Atmospheric Research* 164–165, 27–36.

- <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.04.014>
- Milovac, J., Warrach-Sagi, K., Behrendt, A., Späth, F., Ingwersen, J., Wulfmeyer, V., 2016. Investigation of PBL schemes combining the WRF model simulations with scanning water vapor differential absorption lidar measurements. *Journal of Geophysical Research* 121, 624–649. <https://doi.org/10.1002/2015JD023927>
- Nuryanto, D.E., Pawitan, H., Hidayat, R., Aldrian, E., 2018. Contribution of land use changes to meteorological parameters in Greater Jakarta: Case 17 January 2014, in: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/149/1/012028>
- Park, J., Lee, S., Kwon, S., Kim, M., Kwak, J., 2018. Development of a New Landslide Diagnosis and Prediction System in Korea-A Coupled WRF-Landslide Model. Presented at the AGU Fall Meeting Abstracts.
- Peruccacci, S., Brunetti, M.T., Gariano, S.L., Melillo, M., Rossi, M., Guzzetti, F., 2017. Rainfall thresholds for possible landslide occurrence in Italy. *Geomorphology* 290, 39–57. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.03.031>
- Pratap, S., Srivastava, P.K., Routray, A., Islam, T., Mall, R.K., 2020. Appraisal of hydro-meteorological factors during extreme precipitation event: case study of Kedarnath cloudburst, Uttarakhand, India. *Natural Hazards* 100, 635–654. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03829-4>
- Ren, D., 2016. Hurricane Camille 1969 and storm-triggered landslides in the Appalachians and a perspective in a warmer climate. *International Journal of Geosciences* 7, 53.
- Ribeiro, F.N.D., Oliveira, A.P. de, Soares, J., Miranda, R.M. de, Barlage, M., Chen, F., 2018. Effect of sea breeze propagation on the urban boundary layer of the metropolitan region of Sao Paulo, Brazil. *Atmospheric Research* 214, 174–188. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.07.015>
- Sarkar, A., Dutta, D., Chakraborty, P., Dutta, S.K., Majumdar, S., Payra, S., Bhatla, R., 2019. Influence of cumulus convection and cloud microphysics parameterizations on the prediction of Western Disturbances. *Meteorology and Atmospheric Physics*. <https://doi.org/10.1007/s00703-019-00697-2>
- Shin, H.H., Hong, S.-Y., 2013. Analysis of Resolved and Parameterized Vertical Transports in Convective Boundary Layers at Gray-Zone Resolutions. *Journal of the Atmospheric Sciences* 70, 3248–3261. <https://doi.org/10.1175/jas-d-12-0290.1>
- Susandi, A., Tamamadin, M., Pratama, A., Faisal, I., Wijaya, A.R., Pratama, A.F., Pandini, O.P., Widiawan, D.A., 2018. Development of hydro-meteorological hazard early warning system in Indonesia. *Journal of Engineering and Technological Sciences* 50, 461–478. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2018.50.4.2>
- Turyanti, A., Chaerunnisa, C., 2017. The Estimation of Rainwater Acidity Level based on the Ambient Air Pollutants Concentration (Case Study: DKI Jakarta). *Agromet* 31, 71–79. <https://doi.org/10.29244/j.agromet.31.2.71-79>
- Yang, Y., Hu, X.M., Gao, S., Wang, Y., 2019. Sensitivity of WRF simulations with the YSU PBL scheme to the lowest model level height for a sea fog event over the Yellow Sea. *Atmospheric Research* 215, 253–267. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.09.004>
- Zêzere, J.L., Vaz, T., Pereira, S., Oliveira, S.C., Marques, R., Garcia, R.A.C., 2015. Rainfall thresholds for landslide activity in Portugal: a state of the art. *Environmental Earth Sciences* 73, 2917–2936. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3672-0>
- Zhuo, L., Dai, Q., Han, D., Chen, N., Zhao, B., 2019. Assessment of Simulated Soil Moisture from WRF Noah, Noah-MP, and CLM Land Surface Schemes for Landslide Hazard Application. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 1–48. <https://doi.org/10.5194/hess-2019-95>