

PREDIKSI CURAH HUJAN BULANAN UNTUK PERINGATAN DINI LONGSOR DI BANJARNEGARA BAGIAN SELATAN DENGAN STATISTICAL DOWNSCALING DAN ENSEMBLE

MONTHLY RAINFALL PREDICTION FOR LANDSLIDE EARLY WARNING IN THE SOUTH BANJARNEGARA WITH STATISTICAL DOWNSCALING AND ENSEMBLE METHODS

Agus Safril¹, Ni Luh C. Chevi¹, Lisa Agustina¹, Danang E. Nuryanto², Ki Agus Ardi Z¹, Munawar¹ dan Faturrahman¹

¹Prodi Klimatologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl. Perhubungan I No 5 Pondok Betung Tangerang Selatan Banten 15221

²Pusat Penelitian dan Pengembangan, BMKG, Jl. Angkasa No 1 Jakarta Pusat, 10620

*E-mail: agus.safril@stmkg.ac.id

Naskah masuk: 22 Juni 2020

Naskah diperbaiki: 13 Oktober 2020

Naskah diterima: 17 Oktober 2020

ABSTRAK

Banarnegara merupakan wilayah pegunungan sehingga sering terjadi longsor. Curah hujan sebagai salah satu parameter cuaca dengan kondisi tertentu mampu memicu terjadinya longsor. Keberadaan prediksi hujan sangat diperlukan untuk informasi berbasis dampak (*Impact Based Forecasting*) sebagai media untuk mitigasi bencana. Tujuan penelitian ini untuk membuat peringatan dini potensi bahaya longsor bulanan dengan *input* prediksi curah hujan bulanan (faktor dinamis) dengan metode *ensemble* dan *statistical downscaling* (SD). Prediktor yang digunakan terdiri dari CAPE, PW, U850 dan V850 dan SST sebagai parameter atmosfer yang terkait fisis dan dinamis dengan curah hujan. Indeks kerawanan longsor (IKL) yang digunakan sebagai faktor statis untuk peringatan dini bahaya longsor meliputi parameter curah hujan tahunan, kemiringan lereng dan penggunaan lahan. Hasil IKL selanjutnya di-*overlay* dengan prediksi curah hujan dengan tiga kategori persentil, yaitu Curah Hujan < P33 (persentil 33%) sebagai curah hujan rendah, P33-P66 (sedang) dan >P66 (tinggi). Hasil prediksi model *ensemble* menunjukkan pola curah hujan mengikuti pola musim kemarau dan awal musim hujan (curah hujan prediksi sesuai dengan observasi). Hasil korelasi yang tinggi menunjukkan bahwa model prediksi layak digunakan sebagai masukan model untuk peringatan dini longsor. Nilai IKL menunjukan bahwa Wilayah Kecamatan Banarnegara dan Wanadadi merupakan lokasi paling rawan longsor (3,625) kemudian Wanadadi (3,188) dan agak rawan Mandiraja (2,875). Hasil prediksi curah hujan kemudian di-*overlay* dengan tingkat IKL digunakan sebagai indikator peringatan dini. Hasil validasi dengan data observasi menunjukkan bahwa peringatan dini longsor mempunyai akurasi yang cukup baik (informasi peringatan dini sesuai umumnya dengan kejadian longsor).

Kata kunci: Prediksi Curah hujan, *Ensemble*, *Statistical Downscaling*, Peringatan dini dan IKL

ABSTRACT

Banarnegara is a mountainous region so landslides often occur. Rainfall is one of the weather parameters with certain conditions that can trigger landslides. The presence of rain predictions is really crucial for impact-based information (*Impact Based Forecasting*) as a mechanism for disaster reduction. The purpose of this paper is to make an early warning of potential monthly landslides with monthly rainfall prediction input (dynamic factors) with the *ensemble* and *statistical downscaling* (SD) methods. Predictors used consisted of CAPE, PW, U850, and V850, and SST as atmospheric parameters related to physical and dynamic rainfall. To build an early warning of landslide hazards, the landslide susceptibility index (IKL) was employed using annual rainfall, slope, and land use parameters. The results of IKL are then overlaid with predictions of rainfall with three percentile categories namely Rainfall <P33 (percentile 33%) as low rainfall, P33-P66 (moderate), and >P66 (high). The results of the *ensemble* model predictions show that rainfall patterns follow the pattern of the dry season and the beginning of the rainy season (predicted rainfall is in accordance with observations). The IKL value shows that the Districts of Banarnegara and Wanadadi are the most prone to landslides (3,625) than Wanadadi (3,188) and somewhat vulnerable to Mandiraja (2,875). The rainfall prediction results are then overlaid with the IKL level producing an index as an early warning indicator. The results of the validation with observational data indicate that early warning landslides have quite a good accuracy (early warning information is generally in accordance with landslide events).

Keywords: *Rainfall Prediction, Statistical Downscaling, Ensemble, Early Warning and avalanche hazard index*

1. Pendahuluan

Bencana longsor merupakan salah satu bencana yang disebabkan oleh keadaan topografi suatu wilayah dan dipicu oleh curah hujan yang tinggi hingga ekstrem yang merupakan salah satu bencana hidrometeorologi. Bencana longsor tidak hanya menyebabkan kerugian harta benda tetapi juga membawa bencana untuk jiwa manusia serta kerusakan lingkungan [1]. Dampak dari bencana longsor tersebut menyebabkan informasi mengenai potensi longsor perlu diberikan sehingga masyarakat memiliki kesiapan dalam mengurangi dampak akibat bencana alam. Longsor disebabkan salah satunya oleh faktor topografi, yaitu lereng yang sangat curam, kemudian dipicu oleh kejadian alam yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa gempa bumi, tsunami dan gunung meletus seperti yang disebutkan dalam Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 [2]. Indonesia dengan karakteristik geografisnya yang bergunung-gunung, memiliki banyak lereng yang curam sehingga banyak wilayah yang rawan bencana alam longsor.

Banjarnegara merupakan wilayah yang memiliki kemiringan lereng curam hingga sangat curam dengan curah hujan yang tinggi setiap tahunnya. Kondisi ini menyebabkan wilayah Banjarnegara menjadi salah satu wilayah rawan longsor. Beberapa parameter penyebab longsor antara lain kelerengan, jenis tanah, dan curah hujan. Perbedaan topografi dan curah hujan yang berbeda sehingga tingkat kerawanan longsor juga berbeda di Jawa Tengah [3]. Beragamnya tingkat kerawanan longsor di wilayah tersebut tentunya mempunyai risiko yang berbeda pula. Menurut Bayuaji, dkk. (2016), Analisis Indeks Kerawanan Longsor (IKL) di Banjarnegara dengan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) menunjukkan tingkat luas risiko yang berbeda, tingkat risiko rendah sebesar 17,291% dengan 19874,4366 Ha, risiko sedang 35,151% seluas 40403,8742 Ha, dan tinggi 47,558% atau 54665,2168 Ha dan luasan ini tersebar di 20 kecamatan terdiri dari 266 desa dan 12 kelurahan [4]. Sebagai contoh, kejadian longsor terjadi pada saat curah hujan tinggi seperti kejadian pada saat kejadian longsor pada bulan Desember 2014 memakan korban ratusan korban jiwa di wilayah Kecamatan Karang Kobar, salah satu Kecamatan di utara Kabupaten Banjarnegara[5].

Hujan yang turun sebelum kejadian longsor memiliki peran penting terhadap kejadian longsor yaitu terjadinya hujan lebat. Hujan lebat setelah musim kemarau ini memiliki peran penting karena mengisi pori-pori tanah lebih cepat, sehingga tanah tidak dapat beradaptasi terlebih dahulu yang selanjutnya menyebabkan tanah meluncur ke bawah (longsor).

Ketika musim kemarau tanah menjadi retak dan pori-pori menjadi besar. Pada saat hujan turun, air mudah masuk dan terserap oleh tanah, sehingga tanah menjadi lembut dan menjadi longsor [6].

Dengan karakteristik hujan seperti tersebut di atas, awal musim hujan dapat digunakan menjadi peringatan dini potensi longsor. Awal musim hujan ditandai dengan curah jumlah hujan 150 milimeter/bulan dan musim kemarau ditandai dengan curah hujan yang kurang dari 150 milimeter/bulan. Awal musim hujan diperoleh dari rata-rata klimatologis curah hujan. Dasar penentuan jumlah 150 mm diperoleh dari kriteria jumlah curah hujan dasarian (10 harian) dikatakan telah masuk musim kemarau apabila curah hujan dengan jumlah 50 milimeter berturut-turut selama tiga dasarian berjumlah 150 milimeter [7].

Dalam penelitian ini untuk kebutuhan peringatan dini terhadap bencana (*early warning system*) diperlukan model prediksi curah hujan yang mampu menangkap pola awal musim hujan dan akhir musim kemarau. Berdasarkan hal tersebut diperlukan akurasi model prediksi. Untuk memperoleh hasil prediksi yang akurat ditentukan oleh ketepatan dalam memilih prediktor. Prediktor menggunakan data input model numerik dan hasil observasi pengamatan unsur cuaca yang terkait dengan curah hujan. Metode prediksi dengan data prediktor hasil observasi dan model numerik ini dapat menggambarkan kondisi fisis dan dinamis atmosfer yang dikenal dengan metode *statistical downscaling* [8]. Artinya data prediktor grid-grid berskala besar dalam periode dan jangka waktu tertentu digunakan sebagai dasar untuk menentukan data predictor pada grid berskala lebih kecil [9]. Pemilihan prediktor yang tepat diperlukan model prediksi untuk dapat menangkap pola monsun ataupun anomali iklim seperti *Indian Ocean Dipole* (IOD) dan *El Nino Southern Oscillation* (ENSO). Beberapa variabel prediktor yang dapat digunakan antara lain hasil pengamatan suhu muka laut (*Sea Surface Temperature*=SST), angin zonal yang menggambarkan sirkulasi timur-Barat (Walker), utara-selatan (meridional), kandungan uap air (*Precipitable Water*=PW) [10] dan energi konvektif (*Convective Availability Potential Energy*=CAPE) [11] untuk proses konveksi di wilayah pegunungan.

Pentingnya pemodelan prediksi curah hujan yang mampu menjadi peringatan dini longsor sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Pada umumnya menyampaikan bagaimana parameter *planetary boundary layer* (PBL) mempunyai peran dalam pembentukan awan hujan [12, 13]. Namun bagaimana caranya memanfaatkan keluaran model tersebut sehingga dapat di aplikasikan dalam system peringatan dini longsor belum secara jelas diuraikan.

Salah satu metode prediksi yang dapat digunakan adalah dengan melakukan *ensemble* (gabungan) dari metode-metode prediksi yang ada. Metode *ensemble* tersebut dikembangkan dan digunakan sebagai alat prediksi di Eropa yang menggunakan *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) yang mengembangkan metode ECMWF *Ensemble Prediction System* sejak tahun 1993 [14]. Selain itu juga ada *North American Ensemble Forecast System* (NAEFS) yang merupakan kerjasama antara *Meteorological Service of Canada* (MSC) di Kanada, *National Weather Service* (NWS) di Amerika Serikat dan *National Meteorological Service of Mexico* (NMSM) di Meksiko menggunakan metode *ensemble* untuk mendapatkan hasil prediksi cuaca di Amerika Utara [15].

Prediksi *ensemble* diperlukan untuk mengatasi dan mengurangi permasalahan ketidakpastian dalam iklim. Prediksi *ensemble* adalah koleksi dari beberapa model iklim yang berbeda, namun tidak perlu khawatir tentang model mana yang cocok untuk satu lokasi tertentu. Menurut Palmer dan Leutbecher [16] *ensemble* dapat diartikan kumpulan dari beberapa keluaran model, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil prediksi dengan menggunakan konsep *ensemble* adalah prediksi yang didasarkan pada kumpulan dari beberapa model. Secara sederhana metode *ensemble mean* adalah metode penggabungan hasil prediksi semua member dengan merata-ratakan hasil prediksi tersebut [17].

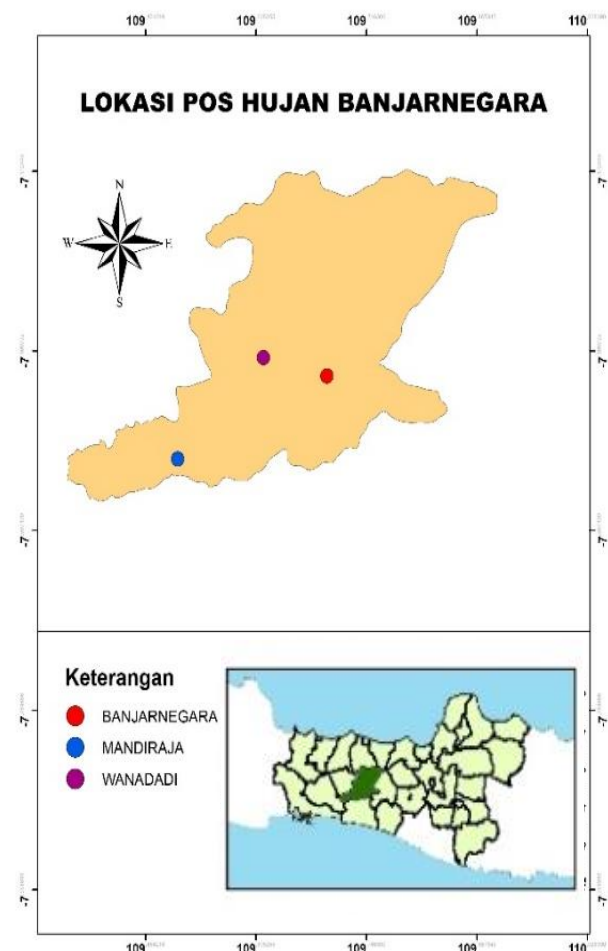
Berbagai metode *ensemble* telah dikembangkan; seperti metode prediksi *lag ensemble* [18, 19], teknik *breeding* [20], prediksi *multimodel superensemble* [21, 22, 23, 24]. Sehingga model bersifat dinamis, karena setiap model yang berbeda memiliki variabilitas sendiri yang dihasilkan oleh dinamika internal [25]; akibatnya kinerja multi-model *ensemble* umumnya lebih dapat diandalkan daripada model tunggal [26, 27].

Informasi peringatan dini ini dapat digunakan oleh masyarakat dan pemerintah untuk melakukan mitigasi bencana sehingga mengurangi dampak akibat bencana baik harta maupun jiwa. Prediksi dengan berbasis dampak (*impact based Forecasting*) diperlukan untuk memberikan informasi yang lebih bermanfaat [28]. Prediksi *ensemble* statistik juga dapat digunakan untuk mengestimasi ketidakpastian hasil prediksi yang diperoleh dari anggota *ensemble* [29]. Dalam penelitian ini hasil prediksi curah hujan model *ensemble* digunakan sebagai variabel masukan pada wilayah yang rawan terhadap longsor di Wilayah Banjarnegara.

2. Metode Penelitian

Data. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan sebagai prediktan (variabel yang diprediksi) dan SST, CAPE, angin zonal pada lapisan 850 hPa (U850) dan angin meridional pada lapisan 850 hPa (V850) sebagai prediktor (variabel untuk memprediksi). Data prediktor tersebut merupakan data periode bulanan yang diperoleh dari *Internasional Research Institute* (IRI) sedangkan data CAPE berasal dari ECMWF.

Data curah hujan harian diolah menjadi data curah hujan bulanan. Data curah hujan diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum (DPU) dan Tata Ruang Kabupaten Banjarnegara. Selain itu, data curah hujan juga diperoleh dari tiga stasiun sebagai sampel yaitu Banjarnegara, Wanadadi dan Mandiraja. Lokasi stasiun pengamatan curah hujan tercantum dalam Gambar 1. Ketiga wilayah kecamatan ini dipilih karena bagian Selatan Banjarnegara merupakan wilayah padat penduduk sehingga memiliki tingkat kerentanan tinggi [30].

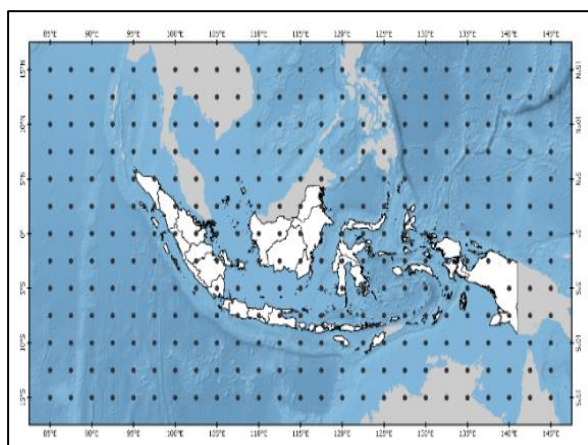


Gambar 1. Lokasi Pengamatan Curah Hujan

Data untuk analisis longsor diperoleh dari *Digital Elevation Model (DEM) Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second* Global dan dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Setiap data yang digunakan merupakan data bulanan dari tahun 1990-2014.

Pemilihan predictor. Pembangunan model prediksi dimulai dengan pemilihan variabel prediktor dari model global (IRI dan ECMWF) dengan proses *downscaling*. Prediktor pertama adalah SST, dengan pertimbangan karena SST mempunyai kaitan dengan proses aktivitas pembentukan awan yang pada kondisi tertentu menghasilkan curah hujan [31]. SST mempengaruhi tingkat penguapan di suatu wilayah. SST juga berpengaruh saat terjadi anomali iklim seperti ENSO dan IOD. Parameter lain adalah prediktor V850 untuk menangkap pola musonal. Sedangkan U850 terkait dengan pola sirkulasi timur barat yang sensitif terhadap pola Sirkulasi Walker. Selain itu angin zonal digunakan untuk mengindikasikan variabel sebagai salah satu penyebab curah hujan dan digunakan model empiris dan berdasarkan diagnostik fisis atmosfer yang dapat meningkatkan kemampuan akurasi prediksi [32]. Selanjutnya variabel PW dipilih sebagai indikator adanya kandungan uap air dalam awan yang memiliki potensi untuk terjadinya curah hujan di suatu wilayah [33]. Variabel CAPE dipilih terkait dengan konveksi di suatu wilayah yang menyebabkan curah hujan di suatu wilayah [34]. Pemilihan prediktor didasarkan parameter fisis dan dinamis yang terkait dengan curah hujan di wilayah Banjarnegara. Lokasi prediktor dipilih dalam dua kategori di luar dan di dalam grid (global dan lokal) dari wilayah prediksi. Berikut wilayah prediktor SST, PW, U850 dan V850 (Gambar 2).

Dalam penelitian ini dilakukan pemilihan koordinat sebagai indikator untuk dijadikan input pada model prediksi hujan. Adapun Koordinat bujur dan lintang yang dipilih dengan koordinat di luar wilayah prediksi seperti dalam Tabel 1.



Gambar 2. Lokasi Prediktor di Luar Grid

Tabel 1. Koordinat Kotak lokasi predictor (derajat) di luar wilayah prediksi (SST, PW, U850 dan V850)

No	Pre-diktor	Lokasi	Wilayah		
			Banjarnegara	Mandiraja	Wanadadi
1	SST	Bujur	122,5	125	122,5
		Lintang	-10	-10	-10
2	PW	Bujur	125	130	132,5
		Lintang	-15	-15	-12,5
3	U850	Bujur	100	100	100
		Lintang	15	15	15
4	V850	Bujur	115	115	112,5
		Lintang	15	15	15

Tabel 2. Koordinat Lokasi Prediktor dalam grid Variabel (derajat) CAPE

No	Stasiun	Lokasi	
1	Banjarnegara	Bujur	109,7
		Lintang	-7,39
2	Mandiraja	Bujur	109,5
		Lintang	-7,48
3	Wanadadi	Bujur	109,6
		Lintang	-7,39

Untuk proses konveksi lokal (dalam grid), prediktor diperoleh dari lokasi pada koordinat pada ketiga wilayah pengamatan sebagai mana dalam Tabel 2.

Pembangunan model prediksi dan Indeks Kerawanan Longsor.

Model downscaling dan model ensemble. Analisis korelasi dilakukan antara prediktor dan prediktan. Nilai korelasi menyatakan kekuatan hubungan antara 0 sampai dengan 1. Nilai korelasi mendekati nol merupakan hubungan lemah dan mendekati 1 hubungan kuat. Hal ini dimaksudkan untuk memperoleh akurasi tinggi apabila prediktor yang digunakan sebagai masukan model merupakan parameter iklim yang secara signifikan mempengaruhi variabilitas iklim di lokasi penelitian. Parameter iklim tersebut diseleksi terlebih dahulu menggunakan uji korelasi *Pearson*.

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}} \quad (1)$$

Model *downscaling* didefinisikan sebagai suatu fungsi transfer yang menggambarkan hubungan fungsional antara sirkulasi atmosfer global (data luaran GCM) dengan unsur-unsur iklim lokal dengan lebih memperhatikan keakuratan variabel prediktor [9]. Prediksi dilakukan pada kelima variabel prediktor dan dihitung hasilnya sebagai model tunggal dilakukan untuk mendapatkan model dengan akurasi yang baik. Keterhubungan antara prediktor dan prediktan dengan korelasi >0,5 selanjutnya digunakan sebagai prediktor untuk membangun model *ensemble*. Persamaan regresi dikembangkan dengan persamaan sederhana. Model

variabel dengan variabel bebas (SST, PW, CAPE, U850 dan V850) yang secara fisis terkait curah hujan di daerah prediksi. Persamaan regresi sederhana untuk model *statistical downscaling* [39] adalah sebagai berikut:

$$y = a + b_1 x_1 \quad (2)$$

Variabel y adalah variabel respon (curah hujan), a dan b_1 adalah konstanta, x_1 adalah variabel bebas (SST, PW, CAPE, U850 dan V850). Data latih model regresi dilakukan dengan periode data tahun 1990 – 2000. Untuk mendapatkan nilai bobot data latih (1990-2000) dilakukan analisis *Root Mean Square Error* (RMSE) pada hasil prediksi data latih (Persamaan 2).

$$RMSE = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - y_i)^2 / n} \quad (3)$$

Maka persamaan pembobotan [35] adalah sebagai berikut:

$$\omega_i = \frac{1}{\sigma^2} \quad (4)$$

Dimana σ merupakan nilai dari RMSE. Dari persamaan pembobotan tersebut maka diperoleh persamaan model *ensemble* berdasar nilai bobot yang disajikan sesuai formulasi berikut ini [35]:

$$Y'_{wav} = \frac{\sum \omega_i Y'_i}{\sum \omega_i} \quad (5)$$

Dari persamaan 3 diketahui jika semakin kecil nilai RMSE maka nilai bobot semakin besar. Bobot tersebut mewakili besar kontribusi dari masing-masing model tunggal berdasar nilai RMSE data latih. Adapun jumlah total skor pembobotan yaitu 100%.

Data untuk verifikasi model prediksi menggunakan data observasi selama 5 tahun (2010-2014). Dengan periode tersebut model prediksi dapat menangkap pola variabilitas hujan akibat ENSO dan IOD. Selanjutnya hasil prediksi hujan dibuat dalam tiga kategori yaitu curah hujan bulanan kurang bila (CH) < Persentil 33 (P33), CH cukup antara P33-P66 (Persentil 33-Persentil 66) dan berlebih bila CH > P66 (Persentil 66).

Prediksi curah hujan ini selanjutnya dioverlay dengan indeks kerawanan longsor di tiga wilayah kecamatan. Ada ketentuan lebih lanjut yang menunjukkan wilayah rawan longsor pada ketiga kecamatan tersebut. Pertama jika curah hujan diprediksi > P66 maka peringatan dini diberikan dengan potensi longsor tinggi. Kedua bila curah hujan yang turun antar P33-P66 maka kategori menengah, dan bila CH < P33 maka potensi longsor rendah.

Indeks Kerawanan Longsor (IKL). Perhitungan IKL diperoleh dari parameter curah hujan tahunan, kelerengan, dan penggunaan lahan. Pembobotan IKL dilakukan dengan melakukan skoring pada curah

hujan, penggunaan lahan dan kemiringan lereng, kemudian dibobot sesuai dengan besar pengaruhnya masing-masing. Persamaan pembobotan adalah sebagai berikut:

$$\text{Indeks Kerawanan Longsor} = 0,5 (\text{skor curah hujan}) + 0,15 (\text{skor ke lereng}) + 0,15 (\text{skor penggunaan lahan}) / 0,8 \quad (6)$$

Pembobotan dilakukan sesuai dengan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) Badan Geologi dalam Arbain [36]. Faktor curah hujan diberi bobot 50% karena dianggap memiliki pengaruh yang besar terhadap kejadian longsor. Skoring curah hujan terhadap kerawanan longsor ditampilkan pada Tabel 3 [37]. Skoring kemiringan lereng terhadap kerawanan longsor ditampilkan pada Tabel 4 [37], dan skoring penggunaan lahan ditampilkan pada Tabel 5 [38].

Selanjutnya dari ketiga parameter dibobot dan dirata-ratakan dengan akhir kriteria dari tidak rawan hingga rawan. Hasil prediksi curah hujan yang *dioverlay* dengan peta rawan longsor di tiga kecamatan selanjutnya sebagai dasar untuk dasar peringatan dini longsor dengan kategori tidak rawan hingga rawan. Alur penelitian terdiri dari dua bagian besar (prediksi curah hujan) sebagai variabel dinamis dan penentuan indeks kerawanan longsor (IKL) dengan keluaran akhir berupa peringatan dini potensi longsor dalam tiga kriteria (rendah, menengah, dan tinggi) seperti tercantum pada Gambar 3.

Tabel 3. Skoring Curah Hujan

No.	Curah Hujan (mm/tahun)	Kategori	Skor
1	≤ 1.000	Sangat Kering	1
2	1.001 – 2.000	Kering	2
3	2.001 – 3.000	Sedang	3
4	3.001 – 4.000	Basah	4
5	> 4.000	Sangat Basah	5

Sumber: Kalandoro (2018) [37]

Tabel 4. Skoring Kemiringan Lereng

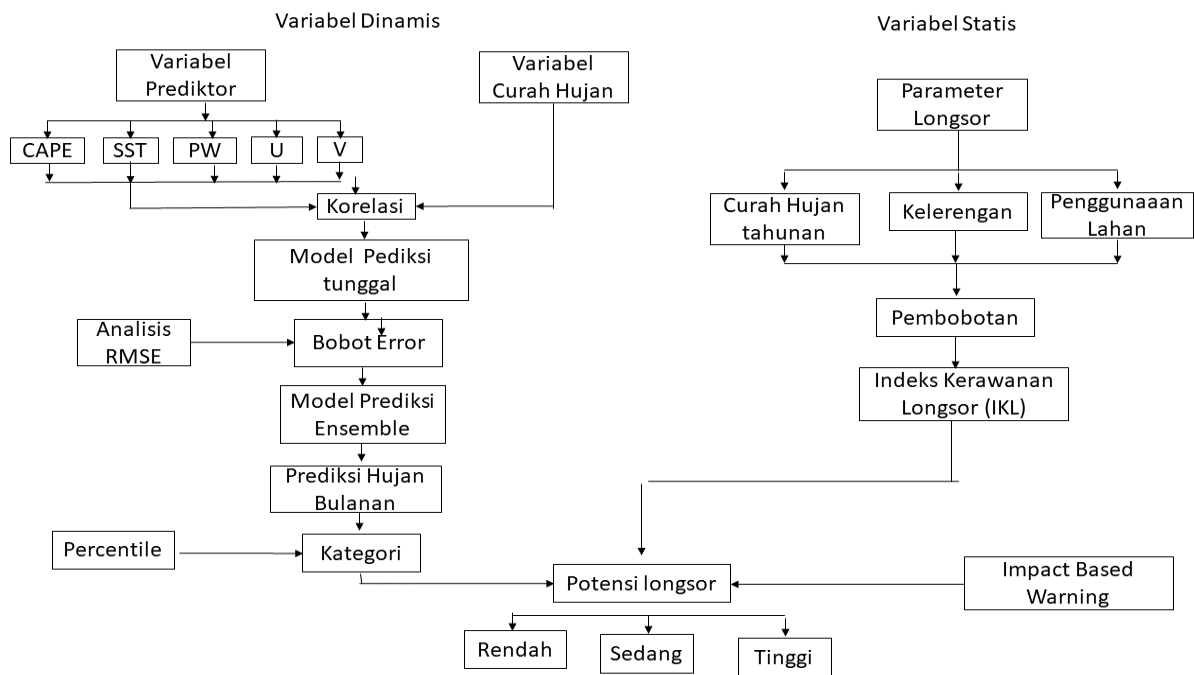
No.	Kemiringan Lereng	Bentuk Lereng	Skor
1	0 - 8%	Datar	1
2	8 -15%	Landai	2
3	15-25%	Agak Curam	3
4	25-40%	Curam	4
5	> 40%	Sangat Curam	5

Sumber: Kalandoro (2018) [37]

Tabel 5. Skoring Penggunaan Lahan

No	Tipe penutupan/penggunaan lahan	Skor
1	Hutan / vegetasi lebat dan badan-badan air	1
2	Kebun campuran / semak belukar	2
3	Perkebunan dan sawah irigasi	3
4	Kawasan industri dan pemukiman /perkampungan	4
5	Lahan-lahan kosong	5

Sumber: Arif (2018) [38]



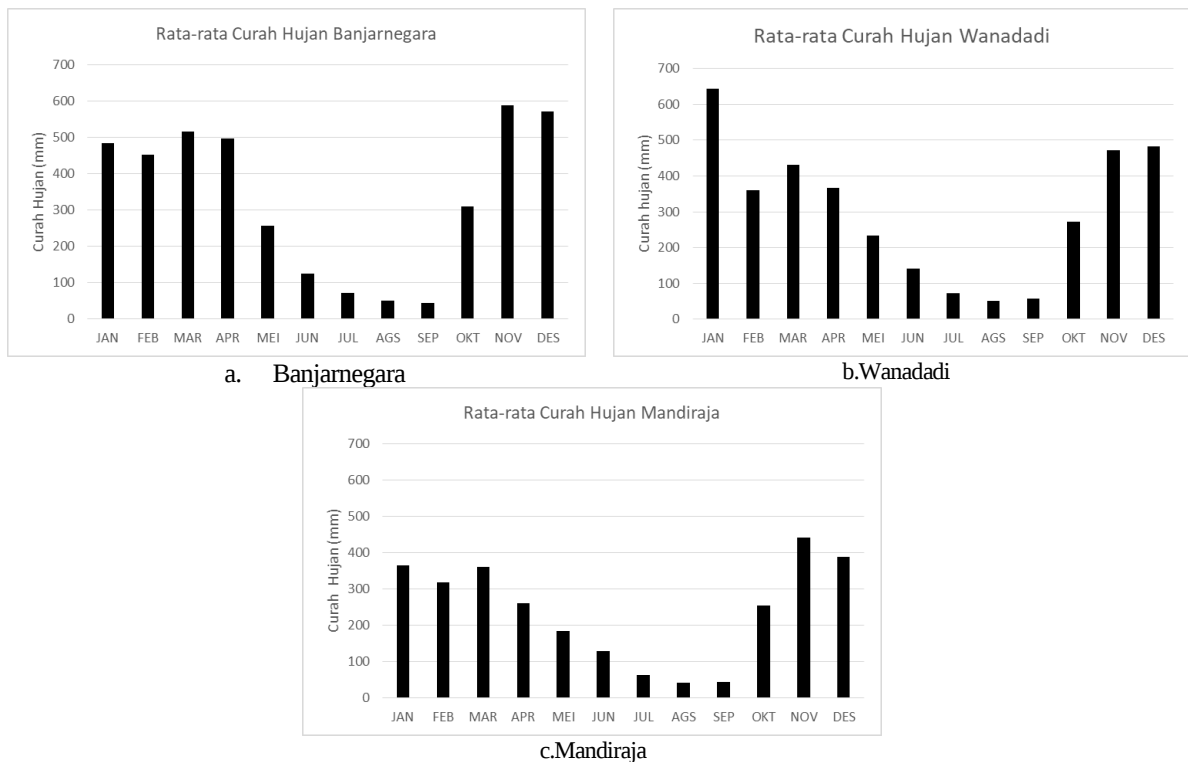
Gambar 3. Alur penelitian prediksi *ensemble* dan penentuan indeks kerawanan Longsor

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pola Curah Hujan Klimatologi

Curah hujan secara klimatologi menunjukkan curah hujan tinggi pada bulan Oktober sampai dengan Mei dan curah hujan rendah (kemarau) bulan Juni - September pada tiga kecamatan (Banjarnegara, Wanadadi, dan

Mandiraja). Akhir musim kemarau pada bulan September, awal musim hujan dengan curah hujan > 150 mm umumnya terjadi pada bulan Oktober (Gambar 4). Curah hujan tinggi pada bulan Oktober - Januari. Tingginya curah hujan pada bulan-bulan tersebut perlu diwaspadai mengingat kondisi topografi wilayah tersebut yang mempunyai karakter rawan longsor.



Gambar 4. Rata-rata Curah Hujan Klimatologi

3.2 Pengembangan Model *Downscaling* dan *Ensemble*

Untuk membangun model *downscaling* dan *ensemble* dilakukan analisis korelasi antara variabel prediktor dan curah hujan. Hasil korelasi antara prediktor dan curah hujan untuk semua stasiun sebagai berikut untuk beberapa variabel prediktor yang menjadi anggota seperti pada Tabel 6. Nilai korelasi umumnya dominan sedang-hingga kuat. Dengan hasil korelasi ini variabel prediktor layak digunakan untuk model prediksi *ensemble*.

Dari hasil prediksi tunggal dengan prediktor SST, PW, U850 dan V850 terpilih maka diperoleh bobot RMSE dari data latih yang dinyatakan dengan persentase (Tabel 7).

3.3 Kemampuan Prediksi Anggota *Ensemble*

Analisis kemampuan model diperoleh dengan melihat korelasi antara curah hujan prediksi dan observasi dengan satu variabel prediktor dihasilkan 5 model prediksi. Hasil korelasi umumnya menunjukkan korelasi yang sedang hingga kuat dengan umumnya di atas 0,6 (Tabel 8), maka model – model ini selanjutnya dapat di *ensemble*.

3.4 Kemampuan Model Prediksi dalam menangkap pola peralihan musim kemarau dan hujan

Hasil prediksi *ensemble* digambarkan dalam grafik dinyatakan dengan garis berwarna hitam (Gambar 5). Pola curah hujan pada musim kemarau menjelang musim hujan menunjukkan pola yang mirip pada ketiga stasiun pengamatan hujan. Di wilayah Banjarnegara terjadi lima kali musim kemarau dengan curah hujan dari kelima tersebut puncak menjelang pada bulan Oktober (Gambar 5a). Kondisi ini sama dengan wilayah Wanadadi dengan 5 kali musim kemarau yang diikuti dengan awal musim hujan (Gambar 5b). Wilayah Mandiraja juga mengalami hal yang sama (Gambar 5c).

Hasil *ensemble* dalam penelitian ini cenderung mempunyai kemiripan dengan rata-rata seluruh model prediksi tunggal, dimana memberikan hasil prediksi cenderung moderate (tidak menangkap pola ekstrim). Proses rata-rata tersebut cenderung mengkoreksi nilai-nilai hujan sehingga curah hujan puncak berkurang dan cakupan areal hujan ringan secara artifisial diperluas [40].

Prediksi *ensemble* memiliki kemampuan yang baik dalam menangkap pola musim kemarau yang diikuti dengan musim hujan. Namun prediksi tunggal dengan predictor CAPE terlihat mampu menangkap pola ekstrim curah hujan sehingga layak digunakan untuk peringatan dini (*early warning*) terjadinya potensi longsor. Potensi longsor diberikan satu bulan sebelum terjadinya longsor. Hasil ini mampu memberikan

prediksi potensi terjadinya longsor pada waktu tertentu dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan tingkat kerawanan tanpa ada informasi waktu [36, 37].

Hasil prediksi *ensemble* dengan nilai korelasi di atas 0,7 dan nilai RMSE antara 151-2017 (Tabel 9).

Tabel 6. Korelasi antara variabel prediktor dan prediktan

Variabel	Banjarnegara	Wanadadi	Mandiraja
CAPE	0,78	0,52	0,70
SST	0,59	0,42	0,54
PW	0,69	0,52	0,64
U850	-0,74	-0,51	-0,66
V850	-0,69	-0,52	-0,61

Tabel 7. Pembobotan dari hasil model prediksi Banjarnegara Dari Data Latih

Variabel	Banjarnegara		Wanadadi		Mandiraja	
	RM	%	RM	%	RM	%
CAPE	229	19,7	329	18,4	189	18,6
SST	259	15,4	330	18,3	200	16,6
PW	208	24,0	306	21,3	163	25,0
V	224	20,6	307	21,2	183	19,9
U	226	20,3	309	20,8	183	19,9

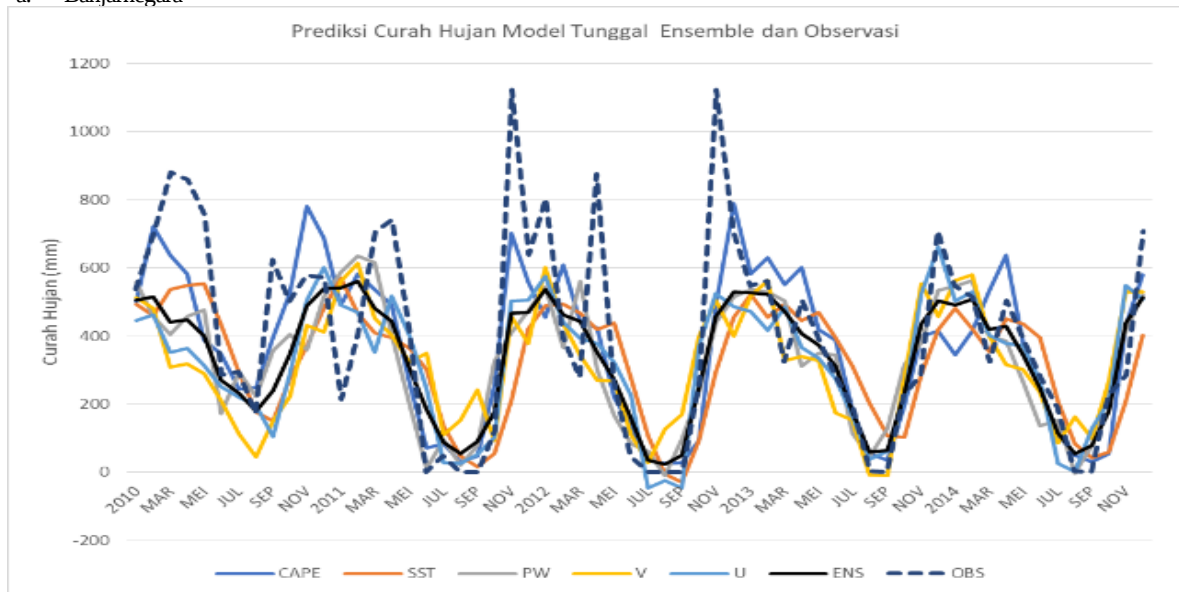
Tabel 8. Nilai korelasi prediksi model tunggal dan observasi tahun 2010-2014

Variabel	Banjarnegara	Wanadadi	Mandiraja
CAPE	0,78	0,78	0,73
SST	0,61	0,65	0,62
PW	0,71	0,71	0,64
U850	0,72	0,68	0,65
V850	0,61	0,53	0,56

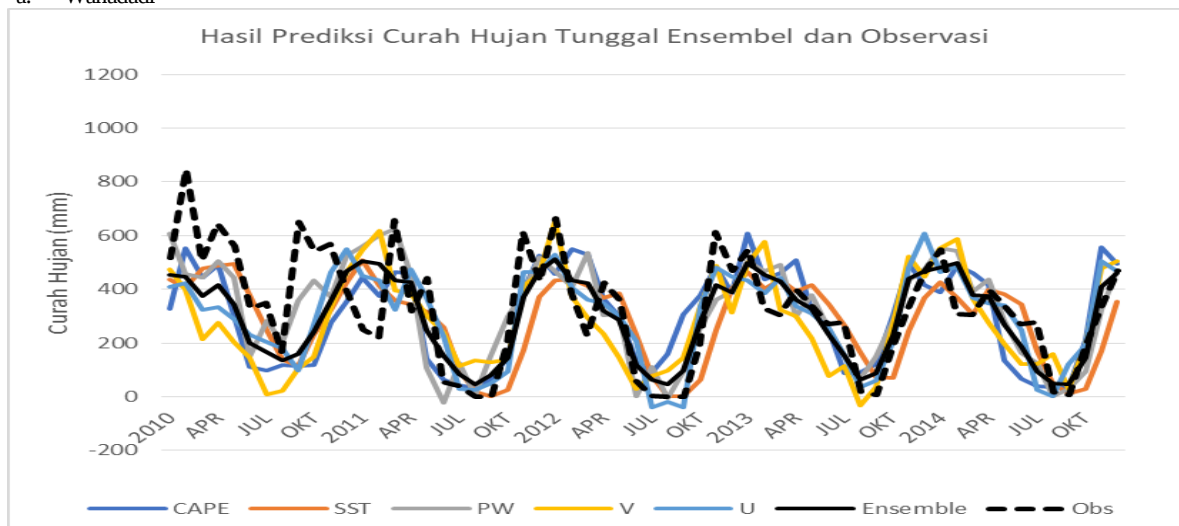
Tabel 9. Nilai Korelasi dan RMSE prediksi *Ensemble*

No	Pos Hujan	Akurasi	Ensemble
1	Banjarnegara	RMSE Korelasi	207 0,77
2	Wanadadi	RMSE Korelasi	151 0,71
3	Mandiraja	RMSE Korelasi	151 0,71

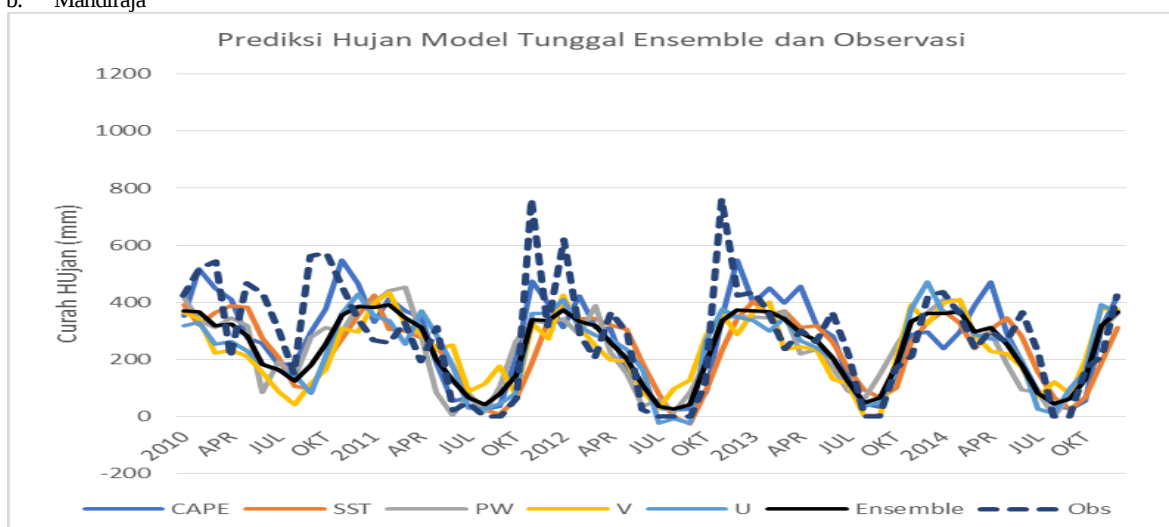
a. Banjarmasin



a. Wanadadi

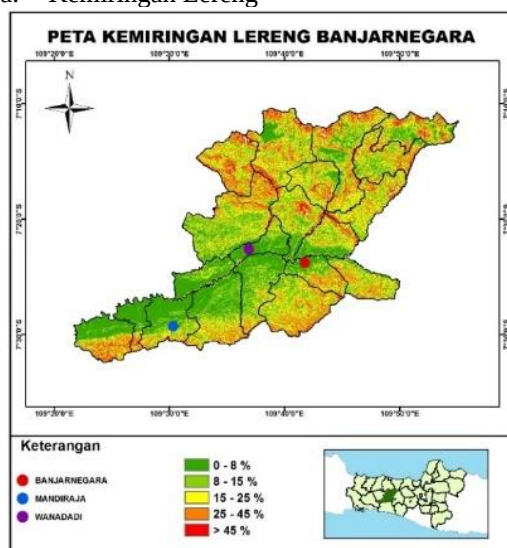


b. Mandiraja



Gambar 5. Perbandingan hasil prediksi tunggal dan observasi pada stasiun Banjarmasin, Wanadadi dan Mandiraja

a. Kemiringan Lereng



b. Penggunaan Lahan



Gambar 6. Peta Kelerengan dan Penggunaan Lahan kabupaten Banjarnegara (Sumber Data: SRTM dan KLHK)

3.5 Karakteristik Tingkat Kerawanan Longsor

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan, dilakukan analisis yang mendalam terhadap curah hujan dari DPU Kab Banjarnegara, kemiringan lereng dari DEM SRTM 1 Arc-Second Global dan penggunaan lahan dari KLHK. Peta kelerengan dan penggunaan Lahan dapat dilihat pada Gambar 6.

Wilayah Banjarnegara memiliki curah hujan tahunan sebesar 3.964 mm, dengan kemiringan lereng landai dan tutupan lahan sebagian besar permukiman. Wilayah Mandiraja memiliki curah hujan tahunan sebesar 2.855 mm, dengan kemiringan lereng curam dan tutupan lahan sebagian besar permukiman. Wilayah Wanadadi memiliki curah hujan sebesar 3.964 mm, dengan kemiringan lereng datar dan tutupan lahan sebagian besar hutan dan badan air.

Tabel 9. Kelas Pembobotan Indeks Longsor

No.	Bobot	Kelas
1	0.1 - 1	Tidak Rawan
2	1.01 - 3	Agak Rawan
3	3.01 - 5	Rawan

Tabel 10. Pembobotan Indeks Peringatan Longsor

Keterangan	Banjarnegara	Mandiraja	Wanadadi
Skor CH	4	3	4
Skor lereng	2	3	1
Skor Lahan	4	4	1
Bobot	3,625	3,188	2, 875
Kelas	Rawan	Rawan	Agak Rawan

Pembobotan dari ketiga faktor dari ketiga titik penelitian ditampilkan dalam skala 1 sampai dengan 5 sebagai Tabel 9. Hasil pembobotan dari ketiga faktor pada ketiga titik penelitian ditampilkan Tabel 10.

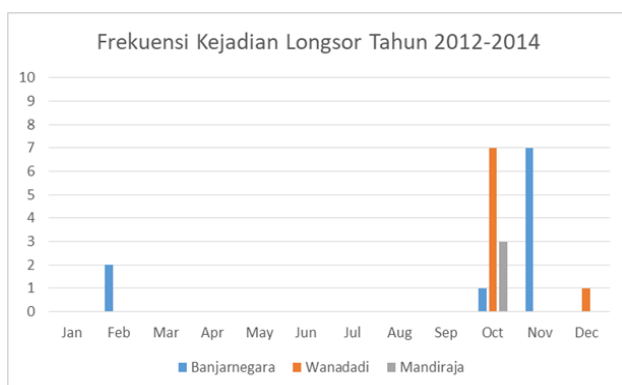
Hasil pembobotan dari curah hujan, kemiringan lereng dan penggunaan lahan menunjukkan bahwa Kecamatan Banjarnegara dan Kecamatan Mandiraja merupakan wilayah yang memiliki potensi rawan longsor, sedangkan Kecamatan Wanadadi memiliki potensi agak rawan Hasil pembobotan dari skor curah hujan, kemiringan lereng dan penggunaan lahan menunjukkan bahwa Kecamatan Banjarnegara memiliki potensi longsor tertinggi dari ketiga wilayah penelitian. Kecamatan Mandiraja menjadi wilayah dengan potensi longsor kedua setelah Banjarnegara dan sebelum Wanadadi.

Prediksi curah hujan yang *dioverlay* dengan tingkat kerawanan longsor pada ketiga kecamatan menunjukkan tingkat potensi longsor tinggi adalah Banjarnegara dan Wanadadi. Potensi longsor tinggi umumnya terjadi pada awal musim hujan. Contoh hasil peringatan dini untuk bahaya longsor tahun 2012 sebagai dalam Tabel 11. Pada wilayah Banjarnegara terlihat dua kejadian longsor pada bulan Februari, Oktober dan November, dengan jumlah kejadian terbanyak pada bulan November (7 kali). Sementara itu kejadian longsor di Mandiraja dan Wanadadi di bulan November berturut-turut terjadi 5 kejadian, 7 dan 3 kejadian.

Hasil peringatan dini ini mirip dengan kejadian longsor yang tercatat pada tahun 2011-2015 di tiga kecamatan. Kejadian longsor dengan frekuensi terbanyak dan merata di semua kecamatan terjadi pada bulan Oktober (Banjarnegara, Wanadadi, dan Mandiraja) dengan jumlah kejadian tertinggi sebanyak 8 kali dan minimum satu kali. Kejadian longsor kedua terjadi pada November, Desember dan Februari. (Gambar 7) pada saat hujan tinggi. Tidak terjadi kejadian longsor pada bulan Januari, kemudian Maret sampai dengan September. Frekuensi Kejadian longsor ini tinggi karena kelerengan yang tinggi, tutupan lahan sebagian besar permukiman dan curah hujan tinggi pada tiga wilayah.

Tabel 11. Peringatan Dini Longsor dan evaluasi kejadian longsor pada tahun 2012

Bulan	Banjarnegara		Wanadadi		Mandiraja	
	Potensi	Jml	Potensi	Jml	Potensi	Jml
Jan	Tinggi	-	tinggi	-	tinggi	-
Feb	Tinggi	2	tinggi	-	tinggi	-
Mar	Tinggi	-	sedang	-	tinggi	-
Apr	sedang	-	tinggi	-	rendah	-
May	sedang	-	sedang	-	rendah	-
Jun	sedang	-	rendah	-	rendah	-
Jul	rendah	-	rendah	-	rendah	-
Aug	rendah	-	rendah	-	rendah	-
Sep	rendah	-	rendah	-	rendah	-
Oct	sedang	-	rendah	-	rendah	-
Nov	Tinggi	5	sedang	7	Tinggi	3
Des	Tinggi	-	Tinggi	1	tinggi	-



Gambar 7. Frekuensi Kejadian Longsor Bulanan tahun 2012-2014 di Kecamatan Banjarnegara

4. Kesimpulan

Hasil model prediksi hujan dari anggota *ensemble* menggunakan 5 variabel prediktor (SST, CAPE, PW, U850 dan V850) menunjukkan pola curah hujan yang dapat mengikuti pola musim kemarau dan awal musim hujan dengan nilai korelasi prediksi terhadap observasi umumnya sedang hingga kuat. Hasil prediksi *ensemble* menunjukkan nilai korelasi antara prediksi *ensemble* dengan observasi juga cukup kuat yakni diatas 0,7 sehingga model prediksi *ensemble* layak digunakan sebagai masukan untuk model peringatan dini bahaya longsor. Hasil prediksi hujan bulanan dibagi dalam tiga kategori persentil ($CH < P33$ dengan potensi bahaya rendah, antara $P33-P66$ (sedang), dan $> P66$ (tinggi) sebagai input untuk peringatan dini longsor.

Hasil prediksi curah hujan *dioverlay* dengan tingkat kerawanan (Indeks Kerawanan Longsor/IKL). Wilayah Kecamatan Banjarnegara dan Wanadadi merupakan titik paling rawan longsor dengan IKL (3,625) kemudian Wanadadi (3,188) dan agak rawan Mandiraja (2,875). Hasil peringatan dini menunjukkan akurasi yang cukup baik (hasil peringatan dini longsor umumnya sesuai dengan observasi (kejadian longsor). Potensi longsor

umumnya terjadi pada awal musim hujan pada curah hujan tinggi (Curah Hujan $> P66$) yang sesuai dengan observasi kejadian longsor. Distribusi bulanan tingkat potensi bahaya longsor (tinggi pada awal musim hujan dan rendah-sedang pada saat musim kemarau) umumnya juga sesuai dengan kejadian longsor.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih diberikan kepada ketua Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG), Dinas Pekerjaan Umum Banjarnegara dan Unit Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (UP2KM) STMKG yang telah memberikan dukungan penelitian. Ucapan kami sampaikan terimakasih juga kepada semua pihak yang telah membantu sehingga terlaksananya penelitian ini.

Pernyataan Kontribusi Penulis

Agus Safril dan Danang Eko Nuryanto merupakan kontributor utama dalam penyusunan karya tulis ilmiah ini.

Ni Luh C. Chevi, Lisa Agustina, Ki Agus Ardi Z, Munawar dan Faturrahman, masing-masing sebagai kontributor anggota.

Daftar Pustaka

- [1] Naryanto, H.S., Analisis Kejadian Bencana Tanah Longsor Tanggal 12 Desember 2014 Di Dusun Jemblung, Desa Sampang, Kecamatan Karangkobar, Kabupaten Banjarnegara, Provinsi Jawa Tengah, *Jurnal Alami* (ISSN : 2548-8635), Vol. 1, No. 1, 2017.
- [2] Badan Nasional Penanggulangan Bencana, (2007) Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana Warnadi. 2014.
- [3] Warnadi, W., Inventarisasi Daerah Rawan Longsor Banjarnegar Jawa Tengah Spatial, *Wahana Komunikasi dan Informasi Geografi* Vol 12 No 2, 2014.
- [4] D.H Bayuaji, A.K. Nugraha, A. Sukmono, Anlisis Penentuan Zonasi Risiko Bencana Tanah Longsor Berbasis Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Kabupaten Banjarnegara), *Jurnal Geodesi Universitas Diponegoro*, Vol. 5, No. 1, 2016.
- [5] Badan Informasi Geografis (BIG), Peta Kejadian Longsor Desa Jemblung Karangkobar, 2014.
- [6] Alfi, R., Analisa Pengaruh Curah Hujan Terhadap Kejadian Tanah Longsor Di Ulu Klang Malaysia, *Jurnal Iptek* Vol. 4 No. 1, 2012.
- [7] Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Prakiraan Musim Hujan, 2019.
- [8] Manzanar, R., Assessing The Suitability of Statistical Downscaling Approaches for Seasonal Forecasting in Senegal *Atmospheric*

- Science Letters*, pp 381–386, Vol 20, DOI: 10.1002/asl.767, 2017.
- [9] Wigena AH. 2006. *Pemodelan Statistical Downscaling dengan Regresi Projection Pursuit untuk Peramalan Curah Hujan Bulanan di Indramayu [disertasi]*. Bogor (ID): Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- [10] Diaz, H.F., and R.S. Bradley (eds.), *The Hadley Circulation: Present, Past and Future*, Kluwer Academic Publisher pp. 173–202., 2005.
- [11] Holley, D.M., S.R. Dorling S.R., C.J. Stelea C.J, and N.A. Earla, *Climatology of Convective Available Potential Energy in Great Britain, International Journal of. Climatolology*. 34: 3811–3824 DOI: 10.1002/joc.3976, 2014.
- [12] Nuryanto DE, R Satyaningsih, TA Nuraini, J Rizal, E Heriyanto, UA Linarka, A Sopaheluwakan. 2019. Evaluation of Planetary Boundary Layer (PBL) schemes in simulating heavy rainfall events over Central Java using high resolution WRF model, *Proceedings of SPIE*, 113720Q (2019), doi: 10.1117/12.2541817.
- [13] Nuryanto D. E., Y Fajariana, RP Pradana, R Anggraeni, IU Badri, A Sopaheluwakan. 2020. Modeling of Heavy Rainfall Triggering Landslide Using WRF Model, *Agromet* 34(1):55 – 65. doi: 10.29244/j.agromet.34.1.55-65.
- [14] Molteni, F., Buizza, R., Palmer, T. N. and Petroliagis, T. (1996). The ECMWF Ensemble Prediction System: Methodology and validation. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 122: 73–119. DOI: 10.1002/qj.49712252905.
- [15] http://weather.gc.ca/ensemble/naefs/index_e.html (Diakses tanggal 16 September 2020)
- [16] Palmer, TN., & Leutbecher, M. (2007). The Ensemble Prediction System – Recent and Ongoing Developments, Paper presented to the 36th Session of the SAC. https://www.wmolc.org/contents.php?sm_id=1&tm_id=1&cdepth=3&upnum=1&ca_id=95&s1=2&s2=1&t1=1.
- [17] Kirk, R.E. (2008). *Statistics: An Introductions (5th Edition)*. USA: Madsworth. Pp. 123–151. ISBN-13:978-0-534-56478-0.
- [18] Kalnay, E., Historical perspective: earlier ensembles and forecasting forecast skill. *Q J R Meteorol.Soc.* 2019; 145 (Suppl.1): 25– 34. <http://doi.org/10.1002/qj.3595>.
- [19] Hoffman, R.N. and Kalnay, E. (1983) Lagged average forecasting, an alternative to Monte Carlo forecasting. *Tellus A*, 35A(2), 100–118. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.1983.tb00189.x>.
- [20] Toth, Z. and Kalnay, E. (1993) Ensemble forecasting at NMC: the generation of perturbations. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 74(12), 2317–2330. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1993\)074<2317:EFANTG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1993)074<2317:EFANTG>2.0.CO;2).
- [21] Krishnamurti, T. N., Kishtawal, C. M., LaRow, T. E., Bachiochi, D. R., Zhang, Z. and co-authors. 1999. Improved weather and seasonal climate forecasts from multi-model superensemble. *Science* 285, 1548–1550. DOI: 10.1126/science.285.5433.1548.
- [22] Krishnamurti, T. N., Kishtawal, C. M., Zhang, Z., LaRow, T. E., Bachiochi, D. R. and co-authors. 2000a. Improving tropical precipitation forecasts from a multi-analysis superensemble. *J. Climate* 13, 4217–4227. DOI: 10.1175/1520-0442(2000)013<4217:ITPFFA>2.0.CO;2.
- [23] Krishnamurti, T. N., Kishtawal, C. M., Shin, D. W. and Williford, C. E. 2000b. Multi-model superensemble forecasts for weather and seasonal climate. *J. Climate* 13, 4196–4216. DOI: 10.1175/1520-0442(2000)013<4196:MEFFWA>2.0.CO;2.
- [24] Krishnamurti, T. N., Surendran, S., Shin, D. W., Correa-Torres, R. J., Kumar, T. S. V. and co-authors. 2001. Real-time multianalysis/multi-model superensemble forecasts of precipitation using TRMM and SSM/I products. *Mon. Wea. Rev.* 129, 2861–1883. DOI: 10.1175/1520-0493(2001)129<2861:RTMMSF>2.0.CO;2.
- [25] Straus, D. M., and J. Shukla, 2000: Distinguishing between the SST forced variability and internal variability in mid latitudes: Analysis of observations and GCM simulations. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 126, 2323–2350.
- [26] Wandishin, M. S., S. L. Mullen, D. J. Stensrud, and H. E. Brooks, 2001: Evaluation of a Short-Range Multimodel Ensemble System. *Mon. Wea. Rev.*, 129, 729–747, [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2001\)129<0729:EOASRM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2001)129<0729:EOASRM>2.0.CO;2).
- [27] Solman, S.A., Sanchez, E., Samuelsson, P. et al. Evaluation of an ensemble of regional climate model simulations over South America driven by the ERA-Interim reanalysis: model performance and uncertainties. *Clim Dyn* 41, 1139–1157 (2013). <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1667>.
- [28] World Meteorological Organization (WMO) *Impact based forecasting WMO Guidelines on Multi-hazard Impact-based Forecast and Warning Services*, WMO-No. 1150, ISBN 978-92-63-11150-0, 2015.
- [29] World Meteorological Organization (WMO) *Guidelines on Ensemble Prediction Systems and Forecasting*, WMO-No. 1091, ISBN 978-92-63-11091-6, 2012.
- [30] Badan Pusat Statistik (BPS), Kabupaten Banjarnegara, Banjarnegara dalam angka 2017, 2017.
- [31] Jie He, A,B,C Nathaniel C. Johnson, A,B Gabriel A. Vecchi, D,E Ben Kirtman, A. T. Wittenberg, B And Sturmg S. SST Precipitation Sensitivity to Local Variations in Tropical Sea Surface

- Temperature, *Journal Of Climate* Doi: 10.1175/Jcli-D-18-0262.1.
- [32] J.F David. , S. Scott. L. Zonal dan meridional Zonal Wind Indices to Reconstruct CONUS Winter Precipitation, *Geophysical Research Letter*, Vol. 44, pp 12,236-12,243 <https://doi.org/10.1002/2017GL075959>, 2017.
- [33] Z. Dingling H. Jianpi , G. Xiao G., C.Bin C., and Z Lei., Long-term trends of precipitable Water And Precipitation Over The Tibetan Plateau Derived From Satellite And Surface Measurements, *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 122 pp 64–71, 2013.
- [34] L. Chiara L., V. Daniele, and M. Annalisa M. Temperature and CAPE Dependence Of Rainfall Extremes In The Eastern United States, *Research Letter*, 10.1002/2014gl062247 2014.
- [35] Taylor, J., *An Introduction to Error Analysis*, Sausalito, CA: University Science Books, 1982.
- [36] Arbain. A. A., Deteksi Daerah Rawan Longsor Menggunakan Data Geospasial dan Satelit Berbasis Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus Provinsi Banten, DKI Jakarta dan Jawa Barat), Tesis, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Indonesia, 2011.
- [37] Kalandoro, A.S.Z., Analisis Spasial Sebaran Rawan Longsor Di Kabupaten Bandung, Skripsi, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, 2018.
- [38] Arif, A. Skripsi, Program Sarjana Terapan Klimatologi Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika, 2018.
- [39] Wilby RL, Wigley, TML. 2000. Precipitation Predictors for Downscaling: Observed and General Circulation Model Relationships. *International J of Climatology* 20(6). DOI: 10.1002/(SICI)1097-0088(200005)20:6<641::AID-JOC501>3.0.CO;2-1.
- [40] Fang, X., and Kuo, Y-H. 2013. Improving Ensemble-Based Quantitative Precipitation Forecasts for Topography-Enhanced Typhoon Heavy Rainfall over Taiwan with a Modified Probability-Matching Technique. *Mon. Wea. Rev.* 141. DOI: 10.1175/MWR-D-13-00012.1.