

Simulasi Hujan Lebat Pemicu Banjir Bandang di Sub Das Sumbergunung Kota Batu Menggunakan Model Wrf-Arw Skema Kessler Kain Fritsch

Ilham Diki Pratama^{1*}, Emilya Nurjani¹, Andung Bayu Sekaranom¹

^{1,2,3}Jurusan Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

*email: ilham.diki.pratama@mail.ugm.ac.id

INFO ARTIKEL

Status Artikel:

Dikirim: 30 Mei 2023

Diterima: 27 Agustus 2023

Dipublikasi: 30 September 2023

Keywords:

batu city; flash flood;

parameteritiation;

sumbergunung sub watershed;

WRF-ARW

Kata kunci:

banjir bandang; kota batu;

parameterisasi; sub das

sumbergunung; WRF-ARW

Penulis Koresponden

Ilham Diki Pratama,

Jurusan Geografi, Fakultas

Geografi, Universitas Gadjah

Mada, Yogyakarta, Indonesia

E-mail:

ilham.diki.pratama@mail.ugm.ac.id

DOI:

10.23960/jpg.v11.i2.27701

ABSTRAK

Flash flood events are triggered by heavy rainfall. The impact of flash floods in Batu City on November 4th, 2021 caused in damage to property, agricultural land, destroyed settlements, the death of livestock and fatalities. This research was located in the Sumbergunung sub-watershed, Batu City, East Java, using the Kessler microphysics scheme and the Kain Fritsch cumulus scheme WRF-ARW Model. The data used in this study is GFS data on October 30th, 2021 with a resolution of 0.25o x 0.25o which is used to predict rain events until November 4th, 2021. Model verification is carried out using contingency tables and verification using tolerance limits. The results of this study show that this model is able to predict rain and not rain very well. However, this model is not good enough at predicting the thickness of rain until November 4th 2021. This model is able to predict the rain for 2 days, that is until November 1st 2021.

Peristiwa banjir bandang dipicu oleh curah hujan lebat. Dampak banjir bandang di Kota Batu tanggal 4 November 2021 mengakibatkan kerusakan harta benda, lahan pertanian, hancurnya permukiman masyarakat, matinya hewan ternak dan hilangnya nyawa manusia. Penelitian ini dilakukan di Sub DAS Sumbergunung Kota Batu, Jawa Timur dengan menggunakan model WRF-ARW skema mikrofisika Kessler dan skema cumulus Kain Fritsch. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data GFS pada tanggal 30 Oktober 2021 dengan resolusi 0,25o x 0,25o yang digunakan untuk memprediksi kejadian hujan hingga pada tanggal 4 November 2021. Verifikasi model dilakukan dengan menggunakan tabel kontingensi dan verifikasi menggunakan batas toleransi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model ini mampu memprediksi kejadian hujan dan tidak hujan dengan sangat baik. Akan tetapi model ini belum cukup baik dalam memprediksi ketebalan hujan hingga pada tanggal 4 November 2021. Meskipun demikian, model ini mampu memprediksi hujan hingga 2 hari kedepan yakni hingga tanggal 1 November 2021.

Copyright © 2023 Jurnal Penelitian Geografi-UNILA

This open access article is distributed under a

Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 International license



PENDAHULUAN

Kondisi topografi sangat mempengaruhi pola persebaran curah hujan. Selain itu, curah hujan dipengaruhi oleh parameter cuaca lain diantaranya adalah suhu, tekanan udara, kecepatan angin dan kelembapan. Keadaan ini menyebabkan curah hujan menjadi sulit diprediksi. Curah hujan adalah faktor utama yang berkaitan erat dengan bencana hidrometeorologi, terutama banjir. Berdasarkan catatan BNPB dari kurun waktu Januari 2021- Oktober 2022, terdapat 3103 kejadian banjir di Indonesia (BNPB, 2022).

Prakiraan hujan menggunakan Numerical Weather Prediction (NWP) sangat berguna dalam penguatan kemampuan operasional prakiraan cuaca. Namun, kemampuan prediksi cuaca yang dioperasionalkan oleh BMKG hanya baik digunakan untuk prediksi dikotomi hujan dan tidak hujan, sementara itu dalam memprediksi terjadinya hujan lebat masih dalam keandalan dan kemampuan yang kecil (Gustari et al., 2012). Kebutuhan akan informasi cuaca khususnya prediksi cuaca sangat dituntut baik kecepatan maupun ketepatannya. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu model cuaca dengan keandalan yang tinggi, salah satunya dengan menggunakan Weather Reserarch Forecasting (WRF). Model WRF telah banyak digunakan dalam pemodelan cuaca secara numeric (Skamarock et al., 2019).

Model WRF dapat memprediksi keadaan atmosfer wilayah, sehingga baik digunakan untuk menganalisis dan menginterpretasi fenomena meteorologi (Hadi et al., 2011). Selain untuk pelayanan cuaca publik, WRF juga dimanfaatkan untuk riset atmosfer, yaitu untuk analisa kejadian cuaca ekstrim, hujan lebat dan mengetahui faktor penyebab terjadinya fenomena penting atau kejadian ekstrim (Fatkhuroyan, 2015). Cuaca ekstrim disebabkan karena adanya peluang terjadinya pertumbuhan awan konvektif. Keadaan ini didasarkan oleh faktor wilayah hingga lokal seperti efek Siklon Tropis, Sirkulasi Eddy, dan daerah Shearline (Paski et al., 2015). Model WRF-ARW memiliki banyak skema parameterisasi. Skema parameterisasi digunakan untuk mensimulasikan atau memprediksi hujan, suhu, angin dan lainnya. Akan tetapi, tidak setiap skema parameterisasi akan bekerja dengan baik dalam semua keadaan dan untuk semua wilayah, oleh karena itu penting untuk melakukan eksperimen sensitivitas agar skema yang sesuai dapat diidentifikasi (Lange et al., 2021). Sejumlah besar penelitian telah melakukan pengujian sensitivitas terhadap opsi model WRF-ARW yang berbeda seperti *Planetary Boundary Layer* (PBL), skema radiasi, konveksi, dan mikrofisika, dan model permukaan tanah dan pengaruhnya terhadap prediksi variabel meteorologi (Banks et al., 2016; Giannaros et al., 2019). Dalam model NWP, representasi yang tepat dari proses mikrofisika (MP) merupakan faktor penting dalam memberikan kecenderungan panas dan kelembapan atmosfer dan fluks presipitasi vertikal. Parameterisasi ini sangat penting dalam prediksi curah hujan dan variabel terkait (Douluri & Chakraborty, 2021). Skema *cumulus parameterization* (CP) dikembangkan untuk memperkirakan dengan tepat efek skala sub-grid dari awan cumulus dalam mode NWP. Skema CP memberikan kecenderungan bidang awan dan presipitasi dalam kolom dan komponen konvektif dari curah hujan permukaan (Skamarock et al., 2005).

Peristiwa banjir bandang yang melanda Kota Batu disebabkan oleh meluapnya air akibat hujan lebat dan munculnya bendungan alami di hulu sungai yang terdiri dari bahan longsor, kayu, dan batu. Curah hujan yang tinggi telah mengisi alur-alur sungai pada bagian hulu dan mengalir serta bermuara pada lembah-lembah yang kemudian menyebabkan luapan. Beberapa-pa titik terjadinya gerakan tanah juga ditemukan di hulu sungai, kondisi ini juga menyebabkan terjadinya bendung alami yang menyebabkan banjir bandang. Material aliran longsor mengalir melalui alur sungai, meluap ke bagian tebing sungai, kemudian merusak pemukiman dan fasilitas umum (ESDM,2021).

Daerah aliran sungai (DAS) adalah batas alami yang berupa igir bukit atau punggung yang dapat menampung dan mengalirkan hujan yang turun melalui sistem aliran sungai dari hulu hingga hilir (Asdak, 2010). Keadaan ini menjadikan DAS sebagai batas fisik yang sangat baik dalam kajian hidrometeorologi. Secara umum kondisi morfologi Kota Batu yang terjadi bencana banjir bandang adalah wilayah dataran hingga perbukitan. Daerah genangan berada pada wilayah dataran, sedangkan jalur aliran banjir bandang berada pada wilayah perbukitan. Perbukitan curam hingga sangat curam merupakan lokasi sumber longsor dan material lainnya yang berada dibagian hulu. Sementara itu kondisi lereng yang lebih dari kemingan 60° menjadi pemicu terjadinya longsor (ESDM,2021).

Sub DAS Sumbergunung secara administrasi terletak di dua kelurahan, yaitu Kelurahan Sumbergondo dan Kelurahan Bulukerto, Kecamatan Bumijati, Kota Batu. Lokasi tersebut terletak pada sisi barat Gunung Arjuno dengan cakupan wilayah pada bagian kerucut puncak Gunung Arjuno hingga lereng kaki. Sub DAS Sumbergunung memiliki pola aliran sentrifugal. Kondisi lereng yang terjal dibagian hulu dan landai pada bagian hilir, dapat menyebabkan terjadinya banjir bandang dimasa yang akan datang. Penggunaan lahan pada lereng bagian atas digunakan sebagai lahan hutan dengan pohon campuran yang dikelola oleh perhutani, sedangkan pada lereng bagian tengah mayoritas dimanfaatkan untuk lahan kebun campuran dan sebagian

pemukiman warga. Pada lereng bagian bawah dimanfaatkan untuk lahan pemukiman (ESDM, 2021). Alih fungsi lahan juga terus terjadi dari lahan hutan menjadi lahan pertanian dan permukiman. Penggunaan lahan hutan di Kecamatan Bumiaji pada tahun 2008 seluas 5886,38 Ha, sementara pada tahun 2015 seluas 5389,7 Ha. Luas penggunaan lahan permukiman tahun 2008 adalah 482.82 Ha dan pada tahun 2015 adalah 558.26 Ha. Penggunaan lahan kebun tahun 2008 seluas 426.19 dan tahun 2015 seluas 668.39 Ha. (Wirosoedarmo, et al, 2018). Perbandingan tersebut menunjukkan adanya alih fungsi lahan dengan penyempitan luas lahan hutan dan peningkatan lahan permukiman dan kebun.

Hujan dengan intensitas yang tinggi terjadi di Kota Batu pada hari Kamis, 4 November 2021. Kejadian ini menyebabkan 8 titik lokasi di Kota Batu tergenang oleh banjir bandang. Kedelapan titik lokasi tersebut terletak di Desa Giripurno, Desa Sidomulyo, Desa Bulukerto, Desa Sumberbrantas, Desa Bumiaji, Desa Tulungrejo, Desa Sumbergondo, Kelurahan Temas, Desa Pendem dan beberapa desa/kelurahan terdampak mengalami putus jaringan air. Kejadian ini juga menyebabkan 8 orang mengalami luka-luka, 7 orang meninggal dunia, kerusakan pada 31 rumah, 5 tempat usaha dan 9 kandang ternak. (BPBD Kota Batu, 2021)

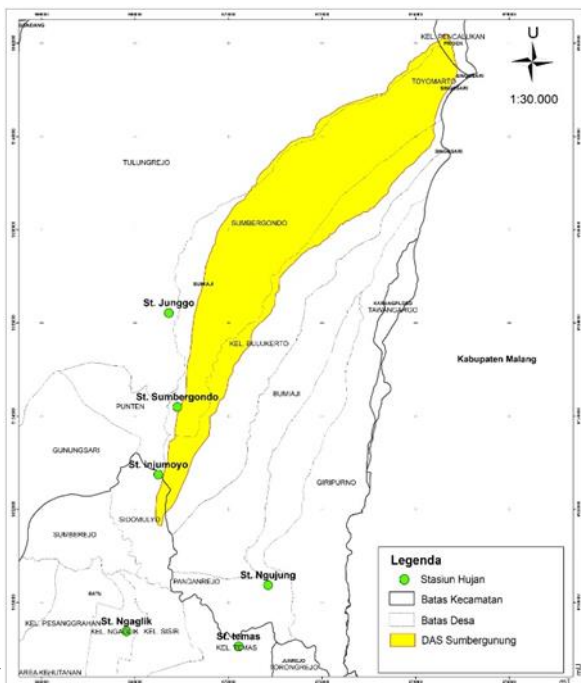
Bencana ini juga menyebabkan kerugian dan kerusakan lahan dengan rincian : Desa Sumbergondo terdapat petani terdampak sejumlah 82 orang, Desa Sidomulyo petani terdampak 10 orang, Desa Bumiaji pada aliran sungai Bulukerto-Beru petani terdampak 22 orang, kerusakan pada Green House sejumlah 4 orang, Desa Bumiaji pada aliran sungai Tlogorejo-Kalilanang petani terdampak 25 orang, Desa Pandanrejo petani terdampak 11 orang, Desa Torongrejo petani terdampak 3 orang, Kelurahan Temas petani terdampak 13 orang, Desa Giripurno petani terdampak 25 orang, dan Desa Bulukerto petani terdampak 14 orang (BPBD Kota Batu, 2021).

Berdasarkan data rekapitulasi kejadian bencana BPBD Kota Batu, (2021) diketahui bahwa kejadian banjir bandang dipicu oleh hujan lebat dan berkurangnya area resapan pada bagian hulu akibat pembukaan lahan. Oleh karena itu, diperlukan langkah untuk mitigasi bencana banjir bandang di wilayah tersebut. Langkah mitigasi yang dapat diterapkan salah satunya adalah dengan memodelkan curah hujan yang merupakan salah satu variabel utama penyebab bencana banjir.

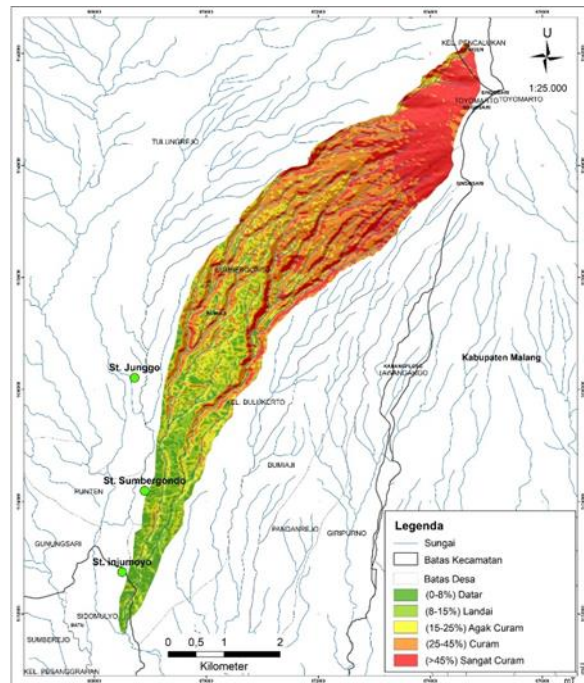
Kajian ini bertujuan untuk melakukan pemodelan curah hujan pada saat kejadian banjir bandang dengan Skema Kessler dan Kain-Fritsch, yaitu tanggal 04 November 2021 di Kota Batu. Kejadian banjir di Kota Batu membutuhkan investigasi lebih lanjut dari segi meteorologis, dan membutuhkan metode simulasi cuaca skala semi detail hingga detail yang mampu mendekati kondisi atmosfer sebenarnya. Verifikasi performa model WRF dalam membuat prediksi hujan harian di Sub DAS Sumbergunung diperlukan untuk mengetahui seberapa besar kecocokan model ini pada wilayah tersebut, yang berguna dalam prediksi kejadian bencana dimasa mendatang. Verifikasi akan dilakukan secara kuantitatif dengan cara membandingkan hasil prediksi model terhadap data curah hujan stasiun BMKG terdekat.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Sumbergunung, Kota Batu, Provinsi Jawa Timur. Lokasi daerah penelitian pada rentang koordinat 9141994,96 mU - 9141983,01 mU dan 668018,57 mT - 675999,04 mT yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pemilihan lokasi penelitian di Sub DAS Sumbergunung dikarenakan adanya kejadian hujan lebat yang menjadi salah satu faktor pemicu terjadinya banjir bandang di Sub DAS Sumbergunung pada tanggal 04 November 2021 yang mengakibatkan kehilangan nyawa dan kerugian materil. Selain itu, kondisi topografi daerah penelitian yang terjal pada daerah hulu dan cukup landai pada daerah hilir, membuat daerah ini memiliki potensi untuk kembali terjadi bencana banjir bandang yang ditunjukkan pada gambar 2.

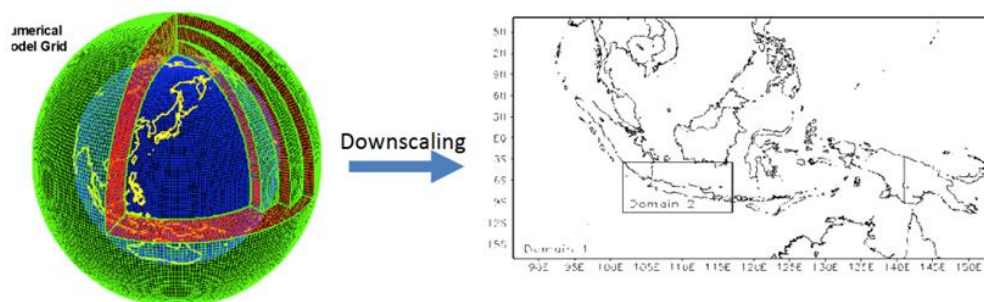


Gambar 1. Peta Stasiun Hujan
(Sumber: Peneliti, 2023)



Gambar 2. Peta Kelerengan
(Sumber: Peneliti, 2023)

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif, yaitu untuk mengungkapkan alternatif penyelesaian terhadap suatu fenomena keadaan alam dan keadaan sosial. Penelitian ini menggunakan metode pemodelan curah hujan dengan menggunakan model WRF-ARW. WRF berfungsi untuk mendetailkan atau meningkatkan data global (GFS) hingga kurang dari 10 meter (Sekaranom, 2020) dengan melakukan proses downscaling. Downscaling adalah suatu teknik untuk menaikkan resolusi model dengan cara menurunkan skala grid pada model global menjadi skala regional pada domain yang diinginkan. Resolusi model global sendiri adalah $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ atau sama dengan $111 \text{ km} \times 111 \text{ km}$, dengan melakukan downscaling maka resolusi model akan meningkat sesuai dengan yang diinginkan. Misalnya menjadi $27 \text{ km} \times 27 \text{ km}$. Downscaling tidak sekedar memotong data (cropping) dari domain besar ke domain yang lebih kecil. Namun dalam downscaling dilakukan pula interpolasi data dari satu grid besar menjadi grid-grid yang lebih kecil dengan nilai yang belum tentu sama dengan nilai grid induknya.



Gambar 3. Downscaling (Sumber: Hadi, at al., 2011)

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data GFS (Global Forecast System) yang berasal dari National Centers for Environmental Prediction (NCEP) dengan resolusi spasial $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ yang diunduh melalui website (<https://rda.ucar.edu>). Data yang diunduh dimulai dari tanggal 31 Oktober 2021 hingga 5 November 2021. Pemodelan curah hujan model WRF-ARW digunakan untuk simulasi dan prediksi peristiwa hujan lebat yang terjadi di Sub DAS Sumbergunung dengan menggunakan skema KS (Kassler). Data curah hujan BMKG pada enam stasiun terdekat juga digunakan sebagai data validasi kesesuaian model WRF-ARW. Lokasi enam stasiun BMKG yang dijadikan sebagai data verifikasi dapat dilihat pada gambar 2.

Tabel 1.
Konfigurasi Model WRF-ARW

No.	Konfigurasi	Keterangan
1	Resolusi grid horisontal	Domain 1 : 4900 m Domain 2 : 1633 m Domain 3 : 544 m
2	Skema Mikrofisis	Kessler
3	Skema Cumulus	Kain-Fritsch
4	Skema Pbl	Skema YSU

Sumber: Peneliti, 2023

Data hujan yang digunakan untuk memverifikasi data pemodelan adalah data curah hujan dari 6 stasiun hujan terdekat. Data tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 2.
Data Curah Hujan Observasi BMKG

NO	Nama Stasiun BMKG	Observasi BMKG				
		Tgl 31	Tgl 1	Tgl 2	Tgl 3	Tgl 4
1	St. Junggo	35	25	17	0	55
2	St. Ngaglik	9	15	5	0	53
3	St. Ngujung	15	16	18	0	57
4	St. temas	5	23	18	0	67
5	St. Pendem	14	5	28	0	8
6	St. injumoyo	32	19	7	0	39

Sumber: BMKG, 2021

Verifikasi Tabel Kontingensi

Verifikasi diperlukan untuk mengetahui tingkat keakurasian model WRF-ARW dalam memprediksi hujan. Verifikasi ini dijalankan dengan membandingkan data hasil pemodelan WRF-ARW dengan data observasi BMKG. Proses verifikasi akan menghasilkan keakurasian skema Kessler dan Kain-Fritsch dalam mensimulasikan hujan lebat pemicu banjir bandang di Sub DAS Sumbergunung, Kota Batu. Hasil tersebut kemudian dimasukkan dalam tabel kontingensi untuk dilakukan perhitungan. Hasil verifikasi ini akan menunjukkan keakurasian model dalam memprediksi kejadian hujan dan tidak hujan. Sementara itu, kemampuan model dalam memprediksi tebal hujan akan diverifikasi dengan menggunakan verifikasi dengan batas toleransi. Tabel kontingensi ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 2.
Tabel Kontingensi

		Observasi		
		Yes	No	Total
Prediksi	Yes	Hits	False Alarm	Forecast Yes
	No	Missed	Correct Negatives	Forecast No
	Total	Observed Yes	Observed No	Total

Sumber: Swastiko dan Rifani, 2017

Keterangan:

Hits : Pemodelan sesuai dengan data observasi.

False Alarm : Data prediksi kejadian terjadi, data observasi tidak terjadi.

Missed : Data prediksi kejadian tidak terjadi, data observasi terjadi.

Correct Negatives : Data prediksi kejadian tidak terjadi, data observasi tidak terjadi.

Berdasarkan tabel kontingensi tersebut, dapat dihitung variabel verifikasi yang akan digunakan berupa:

a. Frekuensi Bias

Frekuensi bias digunakan untuk menghitung frekuensi kejadian “ya” pada data pemodelan atau prediksi dibandingkan dengan kejadian “ya” pada data observasi. Perbandingan data tersebut dapat menunjukkan apakah model cenderung mengalami overestimate (apabila bias>1) atau underestimate (apabila bias<1).

$$\text{BIAS} = \frac{\text{hits} + \text{FalseAlarm}}{\text{hits} + \text{missed}} \quad (1)$$

b. False Alarm Ratio (FAR)

FAR digunakan untuk menghitung banyaknya kejadian “ya” pada data pemodelan yang diprediksi terjadi akan tetapi dalam data observasi tidak terjadi (*false alarm*), artinya data pemodelan tidak sesuai dengan data observasi. Sebuah pemodelan dapat dinilai akurat jika nilai FAR adalah 0 yang berarti tidak ada *false alarm* dan nilai FAR model paling buruk adalah 1.

$$\text{FAR} = \frac{\text{falsealarm}}{\text{hits} + \text{falsealarm}} \quad (2)$$

c. Probability of Detection (POD)

POD digunakan untuk menghitung kejadian “ya” pada data pemodelan benar benar atau sesuai dengan data observasi. Nilai POD berkisar antara angka 0 hingga 1. Nilai yang mendekati satu menunjukkan bahwa eksperimen memiliki performa yang hampir sempurna (Prata et al., 2021). Misalnya nilai POD adalah 0,75 berarti sekitar 75% kejadian “ya” yang ada pada data pemodelan sesuai dengan data observasi atau benar terjadi.

$$\text{POD} = \frac{\text{hits}}{\text{hits} + \text{miss}} \quad (3)$$

d. Percent Correct (PC)

PC digunakan untuk menghitung kejadian “ya” pada pemodelan sesuai dengan data observasi. Artinya data curah hujan pemodelan sesuai dengan data observasi. Nilai PC berkisar antara 0 hingga 1, dan 1 adalah nilai yang akurat. Misalnya nilai PC adalah 0,85 berarti sekitar 85% kejadian pada data pemodelan sesuai dengan data observasi. Skill skor PC disebut juga sebagai skill skor *Accuracy* (ACC).

$$\text{PC} = \frac{\text{hits} + \text{CorrectNegatives}}{\text{Total}} \quad (4)$$

Hasil yang diperoleh dari tabel kontingensi digunakan untuk menghitung nilai *Percent Correct* (PC), *Frekuensi bias* (BIAS), *probability of detection* (POD), dan *false alarm ratio* (FAR) (Wilks, 2020).

Verifikasi Batas Toleransi

Verifikasi dengan batas toleransi dilakukan dengan cara memberikan batas toleransi tertentu dengan memasukkan batas toleransi tersebut dalam tingkat kesesuaian tertentu. Nilai curah hujan hasil pemodelan WRF-ARW dibandingkan dengan data observasi BMKG dalam batas toleransi dan tingkat kesesuaian tertentu. Semakin besar toleransi kesalahan, maka semakin buruk pula tingkat kesesuaiannya. Sementara itu, semakin kecil nilai pemodelan masuk dalam batas toleransi yang telah ditentukan, maka semakin baik pula tingkat kesesuaian data tersebut dengan data hasil observasi BMKG. Skema dengan tingkat kesesuaian yang tinggi dan jumlah data yang masuk dalam kategori tidak sesuai terkecil merupakan skema terbaik. Verifikasi batas toleransi dapat memperkuat metode hasil verifikasi yang lainnya. Berikut ini adalah tabel verifikasi batas toleransi:

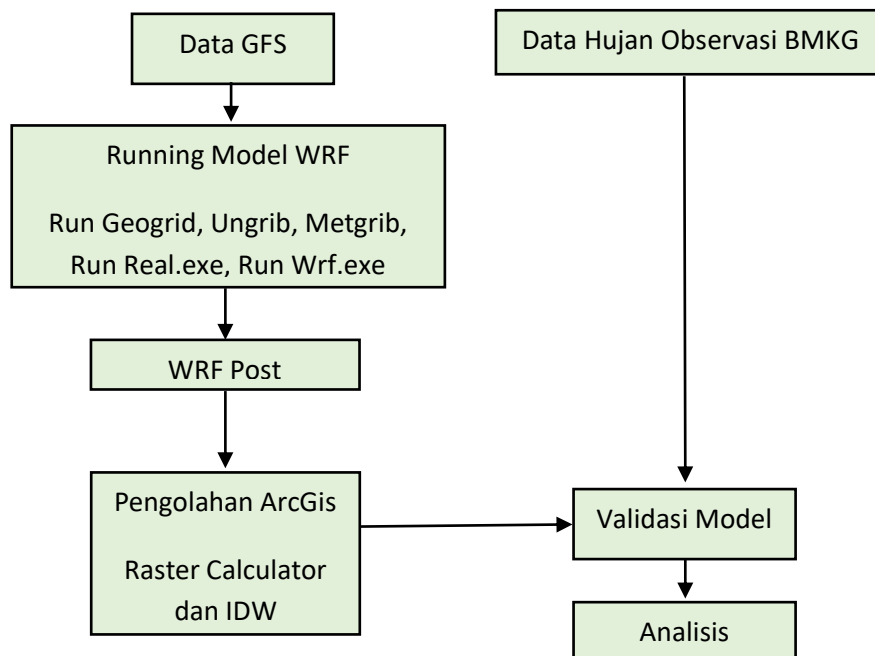
Tabel 3.

Nilai verifikasi batas toleransi hasil luaran model WRF

Toleransi Curah Hujan	Tingkat Kesesuaian
>10 mm	Sesuai
10-20 mm	Kesalahan Sedang
>20	Tidak Sesuai

(Sumber: Zou and Mu, 2018)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kemampuan model WRF-ARW dengan Skema Kessler dan Kain-Fritsch dalam mensimulasikan dan memprediksi kejadian hujan serta tebal hujan. Berikut ini adalah alur penelitian:



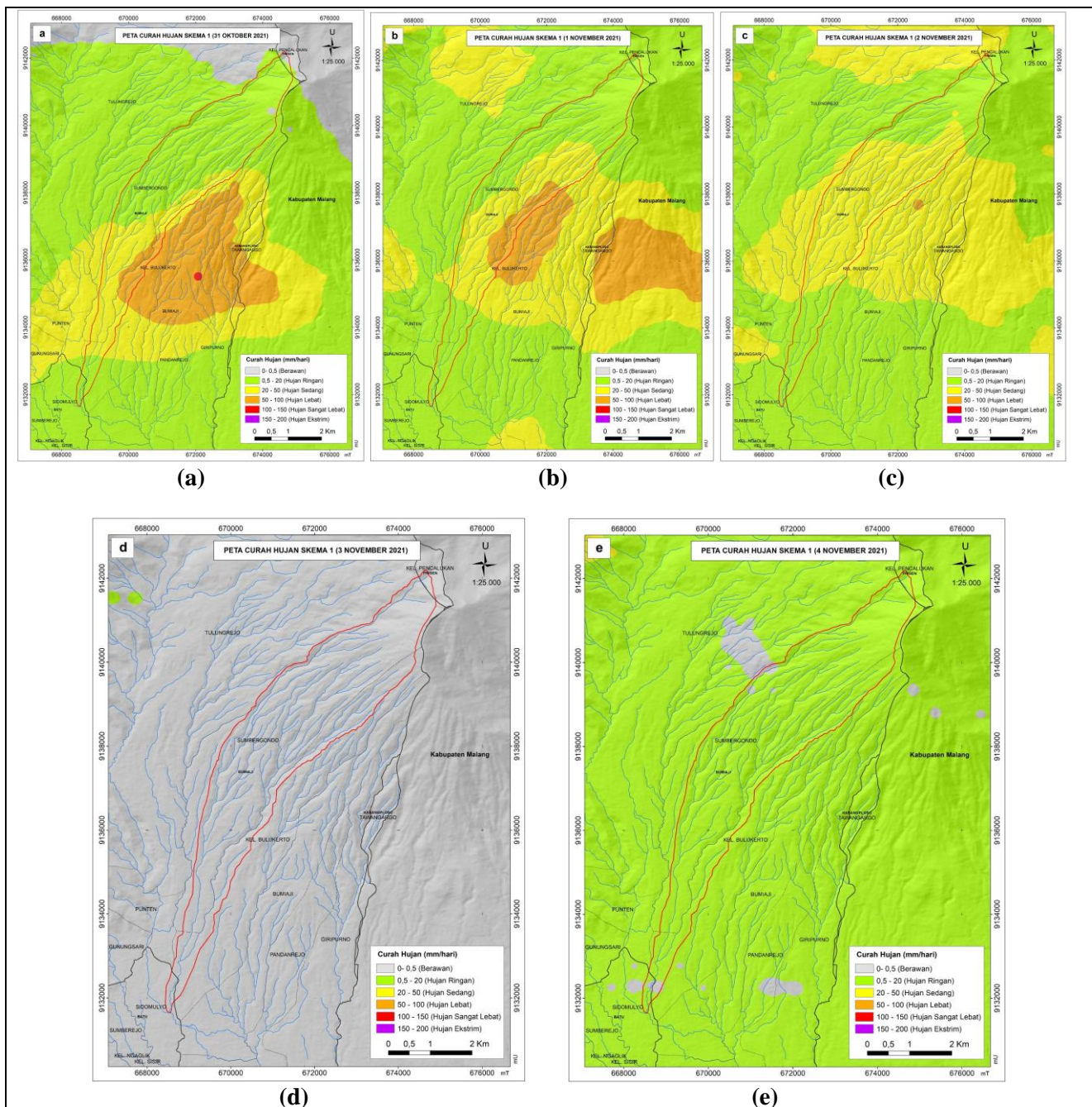
Gambar 4. Gambaran Umum Pemodelan WRF-ARW (Sumber: Peneliti, 2023)

Penelitian ini meneliti tentang skema parameterisasi terbaik dalam model WRF-ARW yang dapat digunakan untuk memprediksi peristiwa hujan lebat pada tanggal 04 November 2021. Persamaan dalam penelitian-penelitian sebelumnya adalah pada penggunaan model WRF-ARW dalam memprediksi kejadian cuaca ekstrim atau hujan lebat. Adapun penelitian ini menggunakan data GFS dan data Observasi sebagai verifikasi kesesuaian model.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebaran Hujan Model WRF-ARW Skema Kessler Dan Kain-Fritsch

Model WRF-ARW dijalankan dengan menggunakan skema parameterisasi mikrofisika Kessler dan Skema Cumulus Kain-Fritsch. Skema parameterisasi ini secara umum berhasil menggambarkan persebaran hujan dalam kurun waktu tanggal 31 Oktober-4 November 2021. Skema ini juga berhasil dalam memprediksi kejadian hujan dan tidak hujan. Melalui pemodelan dengan menggunakan Skema Kessler dan Kain-Fritsch dapat diketahui bahwa hujan telah terjadi beberapa hari sebelum kejadian banjir bandang, dengan mayoritas persebaran hujan berada pada hulu dan tengah DAS Sumbergunung sebagaimana ditampilkan pada Gambar 5 a-e. Pada tanggal 4 November 2021, hasil pemodelan justru menunjukkan curah hujan yang relatif rendah. Kondisi ini berbanding terbalik dengan data observasi BMKG yang menunjukkan adanya kejadian hujan lebat pada tanggal 4 November 2021 (lihat Tabel 2). Meskipun demikian, model tetap mampu menggambarkan sebaran hujan hingga tanggal 4 November 2021 sebagai berikut:



Gambar 5. Distribusi Hujan Skema Kessler dan Kain Fritch (a) Tanggal 31 Oktober 2021 (b) Tanggal 1 November 2021 (c) Tanggal 2 November 2021 (d) Tanggal 3 November 2021 (e) Tanggal 4 November 2021 (Sumber: Peneliti, 2023)

Hasil Verifikasi Menggunakan Tabel Kontingensi

Verifikasi kontingensi menunjukkan kemampuan model dengan skema parameterisasi Kessler dan Kain-Fritsch dalam memprediksi kejadian hujan dan tidak hujan. Terdapat empat hasil verifikasi table kontingensi, yaitu *Percent Correct* (PC), *Frekuensi bias* (BIAS), *probability of detection* (POD), dan *false alarm ratio* (FAR) Hasil verifikasi kontingensi dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5.
Hasil verifikasi tabel kontingensi
Skema Kessler dan Kain-Fritsch

		Observasi		
		Yes	No	Total
Prediksi	Yes	22	0	22
	No	2	6	1
	Total	24	6	23
			PC	1,217391
			POD	0,916667
			FAR	0
			BIAS	0,916667

Sumber: Peneliti, 2023

Berdasarkan hasil verifikasi pemodelan, diketahui bahwa nilai *Percent Correct* adalah sebesar 0,52, hasil ini menunjukkan bahwa Skema Kessler dan Kain-Fritsch memiliki tingkat akurasi atau prediksi yang bernilai benar adalah sebesar 52%. Sementara itu, nilai *Probability of Detection* (POD) Skema Kessler dan Kain-Fritsch adalah sebesar 0,91, sehingga nilai kejadian “ya” pada data pemodelan yang benar-benar terjadi atau sesuai dengan data observasi adalah 91%. Nilai FAR model skema Skema Kessler dan Kain-Fritsch adalah 0, hasil ini menunjukkan bahwa tidak terdapat *false alarm* pada pemodelan dengan Skema Kessler dan Kain-Fritsch. FAR digunakan untuk menghitung banyaknya kejadian “ya” pada data pemodelan yang diprediksi terjadi akan tetapi dalam data observasi tidak terjadi (*false alarm*), artinya data pemodelan tidak sesuai dengan data observasi. Semakin tinggi nilai *false alarm*, hasil model akan semakin buruk. Hasil frekuensi bias model Skema Kessler dan Kain-Fritsch adalah sebesar 0,91. Frekuensi bias digunakan untuk menghitung frekuensi kejadian “ya” pada data pemodelan atau prediksi dibandingkan dengan kejadian “ya” pada data observasi. Perbandingan data tersebut dapat menunjukkan apakah model cenderung mengalami *overestimate* (apabila bias>1) atau *underestimate* (apabila bias<1), dengan demikian hasil tersebut menunjukkan bahwa model Skema Kessler dan Kain-Fritsch cenderung *underestimate*.

Sebagaimana diketahui, penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Skema Kessler dan Skema Kain-Fritsch. Skema parameterisasi tersebut merupakan skema yang sering digunakan di wilayah Indonesia. Kessler (1969) mengungkapkan bahwa skema mikrofisika Kessler cocok digunakan untuk situasi dan jenis awan yang terdapat pada wilayah tropis. Skema tersebut dibangun dengan persamaan kontinuitas dasar yang melibatkan partikel awan, uap air dan presipitasi dalam bentuk hujan dan skema awan hangat.

Hasil verifikasi tabel kontingensi menunjukkan bahwa perpaduan antara skema mikrofisika Kessler dan skema cumulus Kain-Fritsch mampu memprediksi kejadian hujan dan tidak hujan dengan cukup baik. Nilai POD mencapai 0,91, artinya nilai kejadian “ya” pada data pemodelan yang benar-benar terjadi atau sesuai dengan data observasi adalah 91%. Model ini menunjukkan kemampuannya dalam memprediksi kejadian tidak hujan pada tanggal 3 November 2021 (Gambar 5d), sebelum terjadi hujan lebat pada tanggal 4 November 2021 sesuai dengan data observasi BMKG. Hasil penelitian serupa yang dilakukan oleh Swastiko & Rifani (2017) yang melibatkan skema Kain-Fritsch juga mampu mewakili kejadian hujan lebat yang terjadi. Skema ini relatif lebih baik dibanding beberapa skema yang lain dengan nilai *success ratio* paling tinggi dibandingkan skema lainnya yaitu sebesar 0.67 dan nilai hits sebesar 0.80 yang menandakan sebanyak 80% dari kejadian diprakirakan terjadi benar-benar terjadi. Nilai POD tertinggi juga diperoleh dalam penelitian Lasmono et al. (2021) dengan melibatkan kombinasi skema kumulat Kain-Fritsch dan eksplisit, dengan skema mikrofisika WSM3.

Hasil frekuensi bias model Skema Kessler dan Kain-Fritsch adalah kurang dari 1, hasil tersebut menunjukkan bahwa model Skema Kessler dan Kain-Fritsch cenderung *underestimate*. Kondisi ini menunjukkan bahwa kejadian hujan yang diprediksi tidak terjadi ternyata beberapa data observasi menunjukkan terjadi. Hasil tersebut juga diperkuat dengan perolahan nilai false (FAR) alarm sebesar 0. Artinya tidak terdapat data yang diprediksi terjadi namun tidak terjadi berdasarkan data observasi BMKG. Kondisi ini menguatkan bahwa model cenderung *underestimate*. Semakin tinggi nilai *false alarm*, hasil model akan semakin buruk. Meskipun demikian, secara umum model telah sangat baik dalam memprediksi kejadian hujan dan tidak hujan pada lokasi penelitian.

Verifikasi Dengan Batas Toleransi

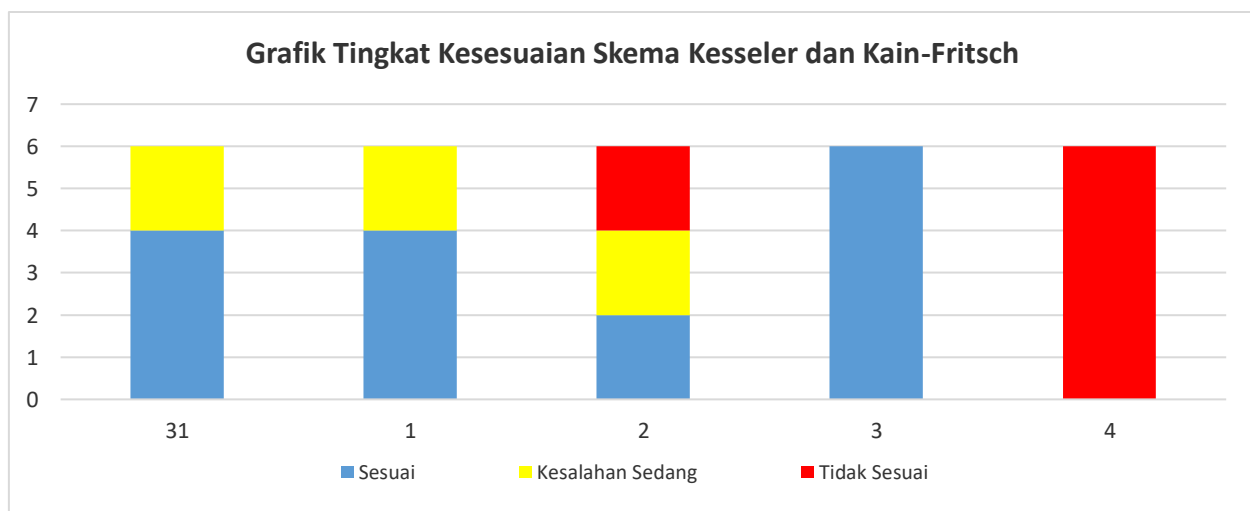
Verifikasi dengan batas toleransi menunjukkan kemampuan model dalam memprediksi tebal hujan pada lokasi penelitian. Hasil verifikasi dengan batas toleransi menunjukkan bahwa model cukup baik dalam memprediksi tebal hujan hingga 2 hari kedepan dari data input. Model mampu memprediksi hingga tanggal 1 November 2021. Hasil verifikasi ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6.
Hasil verifikasi batas toleransi

Skema Kessler dan Kain-Fritsch							
Tingkat Kesesuaian	31	1	2	3	4	Jumlah	Presentase
Sesuai	4	4	2	6	0	16	53%
Kesalahan Sedang	2	2	2	0	0	6	20%
Tidak Sesuai	0	0	2	0	6	8	27%

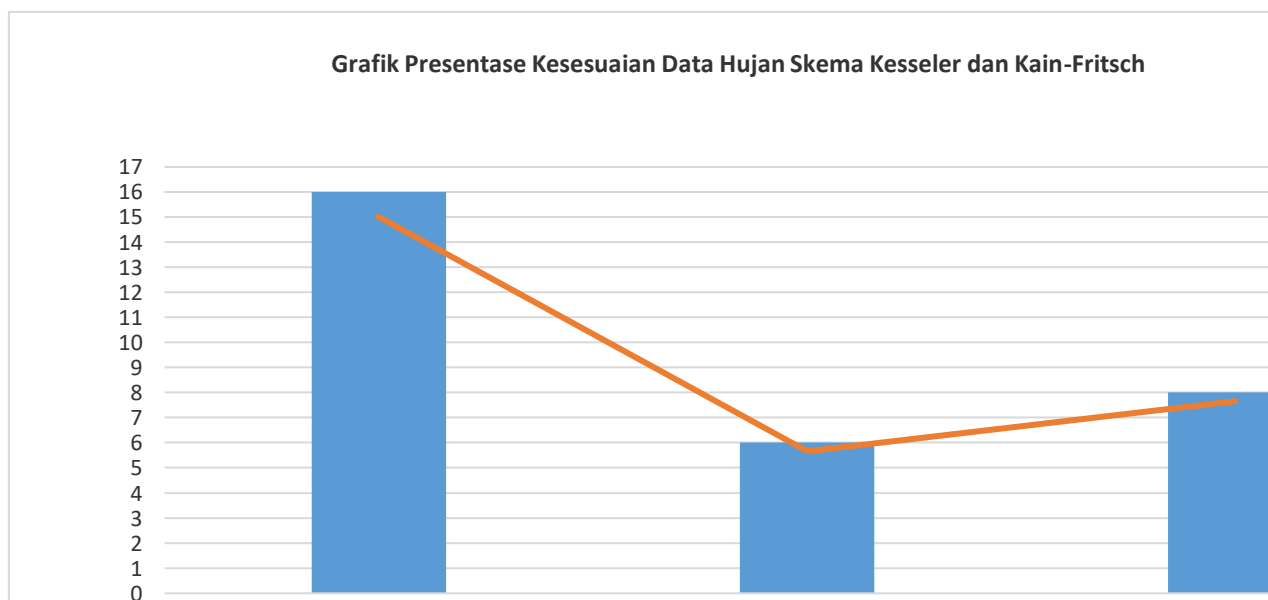
Sumber: Peneliti, 2023.

Pada tanggal 31 Oktober 2021 hingga tanggal 1 November 2021, data model mampu memprediksi dengan tingkat kesesuaian data sesuai hingga tingkat kesalahan sedang. Pada tanggal tersebut tidak terdapat hasil model yang berada pada tingkat kesesuaian data tidak sesuai, setelah dilakukan verifikasi dengan data observasi BMKG. Kondisi ini menunjukkan bahwa model mampu memprediksi hujan hingga tanggal 1 November 2021. Akan tetapi pada tanggal 2 November, terdapat data hujan yang termasuk dalam tingkat kesesuaian tidak sesuai. Tingkat kesesuaian data hasil model ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Tingkat Kesesuaian Skema Kessler dan Kain-Fritsch

Berdasarkan hasil verifikasi batas toleransi dapat diketahui bahwa jumlah data pemodelan yang sesuai dengan data observasi BMKG adalah sebesar 16 data. Sementara itu, jumlah data yang tidak sesuai dengan data observasi BMKG adalah sebesar 8 data. Berdasarkan hal tersebut diperoleh persentase kesesuaian model dalam memprediksi curah hujan di wilayah penelitian sebesar 53%. Apabila data tersebut digabungkan dengan data yang memiliki kesalahan sedang, dengan rentang kesalahan 10 - 20 mm, maka diperoleh jumlah persentase kesesuaian data pemodelan sebesar 73%. Grafik persentase kesesuaian model ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Persentase Kesesuaian Data Hujan

Verifikasi dengan batas toleransi menunjukkan bahwa skema Kessler dan Kain-Fritsch cukup baik dalam memprediksi tebal hujan pada lokasi penelitian hingga 2 hari kedepan. Meskipun demikian, presentase tertinggi tetap diperoleh pada kategori tingkat kesesuaian data sesuai. Verifikasi juga menunjukkan bahwa pada tanggal 4 November 2021, model cenderung *underestimate*. Tebal hujan berdasarkan model skema Kessler dan Kain-Fritsch berkisar antara 0 hingga 24 mm pada lokasi penelitian (Gambar 10). Sementara itu, data observasi BMKG menunjukkan bahwa tebal hujan berkisar antara 8 hingga 67 mm pada tanggal 4 November 2021. Curah hujan tersebut merupakan kejadian hujan tertinggi dalam kurun waktu tanggal 31 Oktober 2021 – 04 November 2021. Berbeda dengan hasil model yang menunjukkan bahwa curah hujan pada tanggal 04 November 2021 relatif lebih rendah dibandingkan dengan tanggal lainnya. Kondisi ini kemungkinan terjadi dikarenakan model kehilangan kesetabilannya dalam memprediksi tebal hujan dalam waktu yang lama. Kejadian ini juga relatif berdasar karena semakin lama waktu yang dimodelkan, maka tingkat akurasi model juga cenderung akan menurun. Gambar 6 menunjukkan bahwa data hasil luaran model WRF-ARW Skema Kessler dan Kain-Fritsch pada tanggal 04 November 2021 tidak cocok atau tidak sesuai dengan data observasi 6 stasiun BMKG, sehingga seluruh data pada tanggal 04 November 2021 termasuk dalam kategori tingkat kesesuaian tidak sesuai.

Hasil skema Kessler dan Kain Fritsch cukup bagus pada threshold 0 hingga 20 mm. dengan persentase 73% (Tabel 6). Kondisi ini senada dengan penelitian yang dilakukan oleh Swastiko & Rifani (2017) dengan menggunakan skema cumulus Kain-Fritsch yang berhasil menemukan bahwa skema Kain Fritsch memiliki performa yang cukup baik untuk threshold 20 mm. Sementara itu, pada threshold 50 mm model cenderung memiliki performa yang *overestimate*.

KESIMPULAN

Secara umum model WRF-ARW Skema Kessler dan Kain-Fritsch berhasil dalam memprediksi kejadian hujan dan tidak hujan dengan cukup baik. Skema ini juga mampu mensimulasikan kejadian hujan harian dengan baik. Akan tetapi, model WRF-ARW dengan Skema Kessler dan Kain Fritsch belum efektif dalam memprediksi ketebalan hujan hingga pada tanggal 4 November 2021. Skema tersebut tidak cukup baik apabila digunakan untuk memprediksi kejadian hujan dalam waktu yang lama. Meskipun demikian Model WRF-ARW dengan skema tersebut mampu memprediksi ketebalan hujan hingga 2 hari kedepan, sehingga model cukup baik dalam menggambarkan persebaran hujan hingga pada tanggal 1 November 2021. Skema Kessler dan Kain-Fritsch dapat digunakan dalam mitigasi bencana di lokasi penelitian untuk waktu prediksi 2 hari kedepan. Saran skema yang digunakan untuk lokasi penelitian yang lain atau wilayah serupa sebaiknya menggunakan banyak skema yang lebih beragam lagi, sehingga skema terbaik dapat diketahui.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Dinas PUPR Kota Batu, BPBD Kota Batu, BAPEDA dan rekan-rekan BMKG yang telah memfasilitasi dan membantu pelaksanaan penelitian ini.

REFERENSI

- Asdak, C. (2010). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Air Sungai: Edisi Revisi Kelima* (5th ed.). Gadjah Mada University Press.
- Banks, R., Tiana-Alsina, J., Baldasano, J., Rocadenbosch, F., APapayannis, Solomos, S., & Tzanis, C. (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. *Journal of Atmosphere Research*, 176-177 ; 185–201.
- BNPB, (Badan Nasional Penanggulangan Bencana). (2022). *Data Bencana Banjir*. <https://gis.bnpb.go.id/>
- BPBD, K. B. (2021). *Data Rekapitulasi Kejadian Bencana BPBD Kota Batu Tahun 2021*.
- Douluri, D. L., & Chakraborty, A. (2021). Assessment of WRF-ARW model parameterization schemes for extreme heavy precipitation events associated with atmospheric rivers over West Coast of India. *Atmospheric Research*, 249, 1–19.
- ESDM. (2021). *Laporan Pemeriksaan Banjir Bandang di Kota Batu, Provinsi Jawa Timur. Diakses pada 31 Oktober 2021*. <https://vsi.esdm.go.id/index.php/gerakan-tanah/kejadian-%09gerakan-tanah/3840-laporan-pemeriksaan-banjir-bandang-di-kota-batu-provinsi-jawa-timur>.
- Fatkhuroyan. (2015). Simulasi Banjir Jakarta Dengan Menggunakan Model Numerik WRF V3.5.1 (Studi Kasus : 17 Januari 2013). *Pusat Penelitian Dan Pengembangan BMKG*, 1(February 2015), 4–9.
- Giannaros, C., Melas, D., & Giannaros, T. (2019). On the short-term simulation of heat waves in the Southeast Mediterranean: sensitivity of the WRF model to various physics schemes. *Journal of Atmosphere Research*, 218, 99–116.
- Gustari, I., Hadi, T. W., Hadi, S., & Renggono, F. (2012). *Akurasi Prediksi Curah Hujan Harian Operasional di Jabodetabek: Hasil Prediksi Operasional dan Model WRF*. 13(2), 119–130.
- Hadi, T. W., Junnaedhi, Satrya, L. I., Anugrah, P., & Octarina, D. T. (2011). *Modul Pelatihan Model WRF (Weather Research and Forecasting)*. Laboratorium Analisis Meteorologi FITB-ITB.
- Kessler, K. (1969). On the Distribution and Continuity of Water Substance in Atmospheric Circulation. *Meteorological Monographs*.
- Lange, D. A., Naidoob, M., Garlanda, R. M., & Dyson, L. L. (2021). Sensitivity of meteorological variables on planetary boundary layer parameterization schemes in the WRF-ARW model. *Atmospheric Research*, 247, 1–19.
- Lasmono, F., Risyanto, & Fathrio. (2021). Evaluasi Skema Parameterisasi Model WRF untuk Pengamatan Kemunculan Awan dari Satelit Himawari-8 di atas Indonesia (Evaluation of WRF Model Parameterization Schemes for Observation of Cloud Occurences from Himawari-8 Satellite over Indonesia). *Jurnal Sains Dirgantara*, 18(2), 89–98.
- Paski, J. A. I., Budi, F. S., & Pertiwi, D. A. (2015). Analisis Dinamika Atmosfer Kejadian Hujan Ekstrim Memanfaatkan Citra Radar, Satelit Dan Model WRF (Studi Kasus : Tanggal 20 April 2014 di Kota Bengkulu). *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 12(2).
- Prata, A. C., Federicob, S., Torcasiob, R. C., Fierroc, A. O., & Dietrich, S. (2021). Lightning data assimilation in the WRF-ARW model for short-term rainfall forecasts of three severe storm cases in Italy. *Atmospheric Research*, 247, 1–16.
- Sekaranom, A. B. (2020). *Kejadian Hujan Ekstrim Wilayah Tropis*.
- Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Wang, W., & Powers, J. G. (2005). A Description of the Advanced Research WRF version 2. *NCAR Tech. Note NCAR/TN-4681STR*.
- Skamarock, W. C., Klemp, J., Dudhia, J., Gill, D. O., Liu, Z., Berner, J., Wang, W., Powers, J. G., Duda, M. G., Barker, D. M., & Huang, X. Y. (2019). A Description of the Advanced Research WRF Version 4. *National Center for Atmospheric Research, Colorado*.
- Swastiko, W. A., & Rifani, A. (2017). Prakiraan Hujan Lebat Menggunakan Model WRF-ARW di Palangka Raya (Studi Kasus 3 Juni 2016). *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 4(2), 16–23.
- Wilks, D. S. (2020). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences* (4th ed.). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2017-0-03921-6>

- Wirosoedarmo, R., Tunggul, A., Haji, S., Zulfikar, F., Program, D., Teknik, S., Fakultas, L., Pertanian, T., Brawijaya, U., Program, M., Teknik, S., & Brawijaya, U. (2018). *Analisa Perubahan Tata Guna Lahan dan Pengaruhnya Terhadap Pencemaran di Brantas Hulu , Kota Batu , Jawa Timur . Analysis of Land Use Change and Its Effect on Pollution in Brantas Upstream , Batu City , East Java Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 33–39.
- Zhou, Y., & Mu, Z. (2018). Impact of different reanalysis data and parameterization schemes on WRF dynamic downscaling in the Ili Region. *Water*, 10(12), 1729.