

LAPORAN TUGAS BESAR PROJECT

Analisis Meteorologi Pada Saat Kejadian Banjir (Studi Kasus: Bandung, 22-24 Februari 2019)



Disusun Oleh:

Kelompok 11

Rizki Syarif	(12817032)
Novianto Dwi Putra	(12819010)
Gina Sofhia Rafiandi	(12819017)
Rira Angela Damanik	(22421902)
Mukhamad Adib Azka	(22421903)

PROGRAM STUDI METEOROLOGI
FAKULTAS ILMU DAN TEKNOLOGI KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

Semester Genap 2021/2021

BAB I	3
PENDAHULUAN	3
1.1 Latar Belakang	3
1.2 Tujuan	3
BAB II	4
KAJIAN PUSTAKA	4
2.1 Lapisan Batas Atmosfer	4
2.2 Turbulensi	4
2.3 Model WRF	5
2.4 Downscaling	5
2.5 Skema Mikrofisis	6
2.6 Analisis Harmonik	7
2.7 Presipitasi	8
2.8 Infiltrasi	8
Infiltrasi adalah gerakan air menembus permukaan tanah memasuki profil tanah. Aliran air itu kemudian mengalir ke pinggir dan menjadi aliran perantara menuju mata air, danau, dan sungai atau secara vertikal dikenal dengan penyaringan menuju air tanah.	8
2.9 Hidrograf	8
2.10 Root Mean Square Error (RMSE)	8
2.11 NSE	9
BAB III METODOLOGI	9
3.1 Data dan Metode	9
3.1.1 WRF - ARW	9
BAB IV	11
HASIL DAN ANALISIS	11
4.1 WRF - ARW	11
4.1.1 Perbandingan Hasil Data Temperatur	11
4.1.2 Perbandingan Hasil Data Curah Hujan	11
4.1.3 Perbandingan Spasial Temperatur	12
4.1.4 Perbandingan Spasial Data Curah Hujan	13
4.1.5 Verifikasi Titik	14
4.1.5.1 Verifikasi Data Temperatur	14
4.1.5.2 Verifikasi Data Curah Hujan	14
BAB V	21
PENUTUP	21
5.1 Kesimpulan	21
DAFTAR PUSTAKA	22
KONTRIBUSI ANGGOTA KELOMPOK	22

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai Citarum adalah sungai terpanjang dan terbesar di Provinsi Jawa Barat, Indonesia dengan panjang aliran sekitar 300 km yang meliputi 5 DAS yaitu DAS Citarum, DAS Cipunagara, DAS Cilamaya, DAS Cilalanang, dan DAS Ciasem. Sungai dengan nilai sejarah, ekonomi, dan sosial yang penting ini sejak tahun 2007 telah menjadi salah satu dari sungai dengan tingkat ketercemaran tertinggi di dunia. Sekitar 500 pabrik berdiri di sepanjang aliran sungai ini dan penggundulan hutan berlangsung pesat di wilayah hulunya. Mengingat fungsinya sebagai sumber aliran air sungai, bagian hulu merupakan bagian yang perlu dijaga kelestarian alamnya. Hampir setiap tahun terjadi banjir akibat luapan sungai Citarum. Beberapa penyebab dari banjir yang terjadi akibat meluapnya aliran sungai Citarum ini diantaranya adalah beralihnya daerah kawasan lindung menjadi kawasan permukiman, pertanian, peternakan, dan industri, lalu bertambahnya jumlah luasan lahan kritis akibat perencanaan dan pengawasan yang kurang baik, dan tingkat pengambilan air tanah yang tereksplorasi secara berlebihan yang menyebabkan penurunan muka tanah dan memperbesar potensi daerah rawan banjir (Imansyah, Fadhil., 2012).

Daerah Kabupaten Bandung, Jawa Barat memiliki karakteristik pola curah hujan monsunial dan memiliki dua puncak curah hujan (Septiadi, Hadi., 2011) kondisi ini juga terlihat pada debit sungai pada DAS Citarum hulu mengalami peningkatan pada musim penghujan dan penurunan pada musim kemarau (monsunal) (Hidayat, 2018). Pola curah hujan tertinggi di daerah yang memiliki pola curah hujan monsunial berada di bulan DJF (Desember, Januari, dan Februari), dan MAM (Maret, April, dan Mei). Seperti contoh kejadian banjir yang terjadi di daerah Kabupaten Bandung pada 22 - 24 Februari 2019 yang diakibatkan karena intensitas curah hujan yang tinggi yang membuat sungai Citarum meluap dan membanjiri Kecamatan Baleendah dan Dayeuhkolot. Oleh karena itu penelitian ini akan menganalisis pola diurnal curah hujan dan prakiraan cuaca di wilayah aliran sungai Citarum.

1.2 Tujuan

1. Mengetahui pola diurnal curah hujan di wilayah sungai Citarum
2. Mengetahui pola diurnal curah hujan di dua sub-DAS
3. Mengetahui prakiraan cuaca dari keluaran model WRF menggunakan beberapa parameterisasi

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Lapisan Batas Atmosfer

Planetary Boundary Layer (PBL) adalah bagian dari atmosfer dengan aliran yang sangat dipengaruhi oleh interaksi dengan permukaan Bumi. Lapisan ini merupakan area antara permukaan dan atmosfer bebas dimana permukaan memiliki pengaruh langsung terhadap pemanasan, kelembaban, dan momentum (Holton dan Hakim, 2012). Sejumlah komponen fisis seperti kecepatan angin, temperatur, kelembaban dsb, yang menunjukkan fluktuasi yang berubah dengan cepat, dan dengan kondisi pencampuran vertikal yang kuat. Di atas PBL merupakan atmosfer bebas dengan kondisi angin diperkirakan geostropik yang paralel dengan isobar, sementara di dalam PBL angin dipengaruhi oleh gesekan dengan permukaan disekitar geostropik yang paralel dengan isobar. PBL yang dihasilkan oleh transpor turbulen dapat berkisar dari sedikitnya 30 m dalam kondisi stabilitas statis yang besar hingga lebih dari 3 km dalam kondisi sangat konvektif. PBL juga dapat menjadi lebih rendah pada malam hari dan naik hingga beberapa ribu meter ketika atmosfer mengalami pemanasan.

Ciri-ciri lapisan batas:

1. Turbulensi hampir kontinu di seluruh ketinggian
2. Gaya gesekan yang besar terhadap permukaan besar sehingga terdapat sejumlah besar energi yang terdisipasi
3. Pencampuran turbulen yang sangat cepat secara vertikal dan horizontal
4. Transpor vertikal didominasi oleh turbulensi
5. Kedalaman bervariasi antara 100-3000 m yang bervariasi terhadap ruang dan waktu dengan variasi diurnal

Forcing Mechanism:

1. Heat transport from/to ground
2. Frictional drag
3. Evaporation/transpiration
4. Terrain-induced flow modification
5. Pollution emission

2.2 Turbulensi

Turbulensi merupakan gerakan massa udara yang bergerak secara tidak beraturan ke segala arah. Turbulensi yang sering terjadi saat cuaca buruk merupakan jenis turbulensi konvektif. Umumnya turbulensi konvektif terjadi saat awan Cumulonimbus (Cb) dalam fase

matang, dimana arus udara naik (updraft) dan arus turunnya (downdraft) terjadi secara bersamaan. Turbulensi terkuat pada awan Cb ditemukan pada / dekat area hujan lebat.

2.3 Model WRF

Salah satu contoh model skala meso yang saat ini digunakan secara luas adalah model Weather Research and Forecasting (WRF). WRF merupakan model generasi lanjutan sistem prediksi cuaca numerik skala meso yang didesain untuk melayani prediksi operasional dan kebutuhan penelitian atmosfer. WRF cocok untuk aplikasi yang luas dari skala meter sampai ribuan kilometer. WRF merupakan model yang fleksibel, berseni, dan memiliki code portable yang efisien untuk lingkungan computing dari parallel supercomputer sampai laptop. WRF modular, single-source code dapat dikonfigurasi untuk penelitian dan aplikasi operasional. WRF memiliki pilihan spektrum fisis dan dinamis yang diperoleh dari percobaan dan hasil komunitas ilmuwan. Contoh modul WRF antara lain WRF-Var yang merupakan sistem variasi data asimilasi yang dimana dapat memadukan data observasi untuk mengoptimalkan kondisi inisial model, dan WRF-Chem yang dapat digunakan untuk memodelkan kimiawi udara (air chemistry). Model WRF memiliki 2 program dinamis utama (dynamical solver) yaitu:

- A. NMM (Nonhydrostatic Mesoscale Model) dikembangkan dan digunakan oleh Mesoscale and Microscale Meteorology Division dari NCAR, dan nonhydrostatic Mesoscale Model.
- B. ARW (Advanced Research WRF) dikembangkan oleh National Centers for Environmental Prediction yang didukung oleh Developmental Testbed Center. Yang digunakan dalam project ialah WRF-ARW. Komponen model WRF-ARW terdiri dari beberapa program utama, yaitu:

- i) WRF Processing System (WPS)

Program digunakan untuk persiapan sebelum simulasi utama seperti konfigurasi domain model, persiapan kondisi awal dan syarat batas atmosfer, dan juga syarat batas statis seperti topografi, tutupan lahan, tipe tanah, dll.

- ii) ARW Solver

Bagian ini adalah komponen penting dan utama dari downscaling dengan model WRF. Konfigurasi-konfigurasi fisis seperti parameterisasi ditentukan di sini.

- iii) Post Processing graphic tools

Berfungsi untuk memudahkan pengguna dalam pengolahan data luaran model WRF. Ada beberapa fitur seperti konversi format data dan interpolasi ketinggian. Beberapa program didukung, termasuk RIP 4 (berdasarkan graphics NCAR), NCL, NetCDF, GrADS, dan Vis5d.

2.4 Downscaling

Model cuaca global biasanya beresolusi rendah karena pertimbangan faktor komputasi. Resolusi model global bernilai puluhan hingga ratusan km. Ini berarti nilai angin, temperatur, kelembaban, dll bernilai sama untuk satu kota atau bahkan satu provinsi. Resolusi rendah menyebabkan pulau-pulau dan topografi tidak direpresentasikan dengan baik atau bahkan tidak ada sama sekali. Fenomena-fenomena skala meso seperti Mesoscale Convective System (MCS) dan land-sea breeze tentunya sangat sukar disimulasikan dalam model global. Oleh karena itu luaran model global tidak cocok untuk analisis kondisi cuaca skala lokal. Agar informasi cuaca bisa diturunkan pada level yang lebih kecil, kita perlu melakukan simulasi cuaca numerik yang difokuskan pada suatu wilayah dengan model regional (limited

area model) agar fenomena atmosfer lokal lebih realistis. Proses ini disebut juga dengan downscaling.

Downscaling adalah suatu teknik untuk meningkatkan resolusi data atmosfer dengan menerapkan persamaan-persamaan fisis dalam model numerik skala regional. Misal, luaran suatu model global beresolusi 100 km, dengan downscaling kita bisa mendapatkan informasi cuaca dengan resolusi 27 km. Downscaling dapat dilakukan lebih dari satu kali hingga skalanya lebih tinggi lagi, proses downscaling lebih dari satu kali dinamakan dengan downscaling bersarang atau nesting. Perlu dicatat bahwa downscaling tidak sama dengan metode interpolasi yang murni statistik. Dalam teknisnya, downscaling tidak asal menaikkan resolusi modelnya saja, diperlukan pengetahuan mengenai kondisi fisis dan dinamis atmosfer dalam perhitungan antar gridnya. Luaran model global menjadi kondisi awal (initial condition) dan syarat batas lateral (lateral boundary condition) bagi model regional. Perhitungan dalam grid yang lebih kecil di bagian dalam domain tetap menggunakan persamaan-persamaan prognostik yang diturunkan dari persamaan model matematis atmosfer.

2.5 Skema Mikrofisis

Mikrofisis melibatkan uap air, awan, dan proses presipitasi secara eksplisit. Dalam ARW versi terbaru, mikrofisis dibawa pada akhir dari time-step sebagai proses penyelesaian. Alasannya, adalah bahwa penyelesaian kondensasi harus dilakukan di akhir time-step untuk menjamin bahwa keseimbangan jenuh akhir cukup akurat untuk memperbaharui temperatur dan kelembapan. Namun, merupakan hal yang penting juga untuk memiliki panas laten agar dapat menekan temperatur potensial selama sub-step dinamis. Dan hal ini dilakukan dengan menyimpan pemanasan mikrofisis sebagai sebuah perkiraan untuk time-step selanjutnya. Baru-baru ini, proses sedimentasi dihitung di dalam modul individual mikrofisis, dan, untuk mencegah ketidakstabilan dalam perhitungan fluks vertikal dari presipitasi, time-step yang lebih boleh dipergunakan. Penyelesaian kejenuhan juga dimasukkan ke dalam mikrofisis. Nama lain parameterisasi ini adalah parameterisasi awan. Proses terbentuknya awan utamanya adalah ketika parsel udara naik ke atas pada cloud-free region dan menumpuk di atas sampai RH-nya melebihi 100% sehingga bisa terbentuk awan. Proses-proses fase pencampuran dihasilkan dari interaksi antara partikel es dan air. Untuk ukuran grid kurang dari 10 km, dimana updraft bisa terlihat, skema fase pencampuran harus digunakan, terutama pada situasi konvektif dan pembekuan. Berikut beberapa Skema yang digunakan dalam tugas besar kali ini:

1. Skema Kessler

Skema awan hangat yang sederhana, meliputi uap air, tetes hujan, dan hujan. Proses-proses mikrofisisnya meliputi, produksi, jatuh, dan penguapan hujan; pertumbuhan dan auto konversi tetes hujan; dan produksi tetes hujan dari kondensasi. Biasanya, digunakan untuk studi model awan ideal. Skema ini berguna untuk mempelajari proses konversi, akresi, evaporasi awan dan entrainment yang berasosiasi dengan sirkulasi tropis. Bisa diaplikasikan untuk daerah hangat dan tropis. Wilayah tropis dengan terrain pegunungan dan hujan lebat.

2. Skema New Thompson

Bulk microphysical parameterization (BMP) yang baru sudah dikembangkan untuk digunakan dengan WRF atau model skala meso lainnya. Dibandingkan dengan single-moment BMP sebelum-sebelumnya, skema baru ini menggabungkan pengembangan dalam jumlah yang besar baik untuk proses-proses fisis maupun computer coding plus yang menggunakan berbagai teknik yang ditemukan jauh lebih memuaskan secara spektral/skema bin menggunakan tabel-tabel look-up. Tidak seperti BMP lainnya, asumsi distribusi ukuran salju bergantung pada kandungan air/es dan temperatur yang direpresentasikan sebagai sebuah penjumlahan dari eksponensial dan distribusi gamma. Selanjutnya, salju mengasumsikan sebuah bentuk non-sferik dengan sebuah densitas yang menonjol yang bervariasi secara terbalik dengan diameter seperti yang ditemukan di dalam observasi, dan kontras dengan skema BMP lainnya yang mengasumsikan bentuk salju yang bulat dengan densitas konstan.

Fitur-fitur spesifik baru dalam skema bulk versi ini, diantaranya :

- Generalisasi bentuk distribusi gamma untuk setiap jenis hidrometeor,
- Non-spherical, variabel densitas salju, distribusi ukuran sesuai dengan observasi, Y-intercept dari hujan bergantung pada mixing ratio hujan, walaupun sumber yang terlihat adalah es yang mencair,
- Y-intercept dari graupel bergantung pada mixing ratio graupel,
- Skema pengaturan kejenuhan yang lebih akurat,
- Parameter variabel distribusi bentuk gamma untuk tetes awan dan hujan berdasarkan pada observasi,
- Tabel look-up untuk pembekuan tetes air yang jatuh,
- Tabel lookup untuk memindahkan kristal es ke dalam kategori salju,
- Deposisi/sublimasi uap yang lebih baik dan penguapan,
- Efisiensi kumpulan variabel untuk hujan, salju, dan graupel yang mengumpulkan tetes awan,
- Hujan yang lebih baik, mengumpulkan salju dan graupel

3. Morrison double Moment

Enam jenis air dimasukkan, diantaranya uap, tetes awan, kristal es, hujan, salju, dan graupel/hail. Kodennya memiliki sebuah user-specified switch untuk memasukkan baik graupel atau hail. Variabel prognostik meliputi jumlah konsentrasi dan mixing ratio dari kristal es, hujan, salju, dan graupel/hail, serta mixing ratio dari tetes awan dan uap air (total 10 variabel. Prediksi dari 2-moment (jumlah konsentrasi dan mixing ratio) membolehkan perlakuan yang lebih kasar untuk distribusi ukuran partikel, yang merupakan kunci dalam perhitungan nilai-nilai proses-proses mikrofisis dan evolusi awan/presipitasi. Beberapa liquid, es, dan proses-proses fase pencampuran dilibatkan. Distribusi ukuran partikel ditentukan dengan menggunakan fungsi gamma, dengan parameter intercept dan kemiringan yang berhubungan, yang didapatkan dari hasil prediksi mixing ratio dan jumlah konsentrasi. Skema ini telah diuji dengan berbagai studi kasus yang mengcover berbagai kondisi dengan cakupan yang luas.

2.6 Analisis Harmonik

fluktuasi tinggi fungsi sin dan cos dalam fungsi deret waktu. Dipilih dengan tujuan menentukan kelipatan bilangan bulat dan frekuensi dasar dari ukuran sampel data

2.7 Presipitasi

Dalam siklus hidrologi, terdapat fase presipitasi yang terjadi setelah kondensasi. Presipitasi adalah proses jatuhnya segala materi yang dicurahkan dari atmosfer ke permukaan bumi dalam bentuk cair (hujan) maupun padat (salju)

Intensitas Curah Hujan	Klasifikasi
0.5 – 20 mm/hari	Hujan ringan
20 – 50 mm/hari	Hujan sedang
50 – 100 mm/hari	Hujan lebat
100 – 150 mm/hari	Hujan sangat lebat
>150 mm	Hujan ekstrem

tabel 2.7 klasifikasi curah hujan harian

2.8 Infiltrasi

Infiltrasi adalah gerakan air menembus permukaan tanah memasuki profil tanah. Aliran air itu kemudian mengalir ke pinggir dan menjadi aliran perantara menuju mata air, danau, dan sungai atau secara vertikal dikenal dengan penyaringan menuju air tanah.

2.9 Hidrograf

Hidrograf adalah kurva yang memberi hubungan antara parameter aliran, dan waktu, Parameter tersebut bisa berupa kedalaman aliran (elevasi) atau debit aliran. Hidrograf menunjukkan tanggapan yang menyeluruh dari Daerah Aliran Sungai (DAS) terhadap masukan data hujan.

2.10 Root Mean Square Error (RMSE)

Root Mean Square Error (RMSE) merupakan besarnya tingkat kesalahan hasil prediksi, dimana semakin kecil (mendekati 0) nilai RMSE maka hasil prediksi lebih akurat. Dapat dikalkulasikan dengan formula:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_s)^2}{n}} \dots \dots \dots (1)$$

2.11 NSE

Efisiensi Nash-Sutcliffe (NSE) adalah statistik ternormalisasi yang menentukan besarnya relatif dari varians residual dibandingkan dengan varians data yang diukur

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_s^i - Q_o^i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o^i - Q_{o_{avg}})^2} \dots\dots\dots(2)$$

Nilai NSE	Kategori
> 0.75	baik
0.36 < NSE < 0.75	memuaskan
NSE < 0.36	tidak memuaskan

Tabel 2.11a Tabel kategori nilai NSE

BAB III METODOLOGI

3.1 Data dan Metode

3.1.1 WRF - ARW

Lokasi penelitian berada di wilayah Kota Bandung, Jawa Barat di tanggal 22 Februari 2019 sampai dengan 24 Februari 2019 dengan titik koordinat 107°BT dan 6.90°LS. Data inisiasi yang digunakan adalah data GFS (*Global Forecast System*) pada tanggal 22 Februari 2019 dengan resolusi spasial **0.25° x 0.25° dan resolusi temporal 3 jam yang diunduh dari laman <https://rda.ucar.edu/datasets/ds084.1/>**. Penelitian ini berfokus kepada uji sensitivitas parameterisasi mikrofisik yang menggunakan Skema Kessler, Skema Morrison-2 dan Skema Thompson. Proses *running* pada WRF-ARW menggunakan dua domain, tetapi pada penelitian ini yang ditampilkan hanyalah domain 2. Setelah proses running WRF - ARW selesai, selanjutnya ditampilkan dengan menggunakan *python* untuk dibandingkan dan diverifikasi dengan hasil observasi pada koordinat yang telah ditentukan. Dalam penelitian ini ditampilkan data temperatur 2 meter dan data curah hujan dalam bentuk sebaran spasial dan nilai pada titik koordinat. Verifikasi dilakukan dengan menggunakan Metode Korelasi dan RMSE, dan analisa spasial terhadap koordinat daerah penelitan.

Tabel 1. Skema Parameterisasi WRF - ARW untuk Domain 2

Skema Parameterisasi	Domain 2		
	Skema 1	Skema 2	Skema 3
Mikrofisis	Kessler	Morrison-2	Thompson
Kumululus	Kain-Fritsch	Kain-Fritsch	Kain-Fritsch
Radiasi gelombang pendek	Dudhia	Dudhia	Dudhia
Radiasi gelombang panjang	CAM	CAM	CAM
PBL	YSU Scheme	YSU Scheme	YSU Scheme
Permukaan	MM5 Scheme	MM5 Scheme	MM5 Scheme

3.1.2 Pola Diurnal Curah Hujan

Data yang digunakan untuk menganalisis pola diurnal curah hujan adalah data presipitasi per jam GSDMap daerah Citarum. Untuk menampilkan pola diurnal curah hujan menggunakan hasil plot dari script dengan bahasa program *Python* di *Google Colaboratory*. Adapun hasil keluarannya berupa time series, grafik fungsi harmonik berdasarkan amplitudo dan sudut fasanya, serta distribusi spasial dari fungsi harmonik berdasarkan amplitudo dan sudut fasanya dengan kontribusi $k=1$ dan $k=2$.

3.1.3 TMA dari Data Historis

Data yang digunakan untuk menganalisis TMA adalah data TMA yang berisikan presipitasi di daerah Nanjung dan Dayeuh Kolot per 10 menit. Untuk menampilkan pola TMA curah hujan dari data historis menggunakan hasil plot dari script dengan bahasa program *Python* di *Google Colaboratory*. Adapun hasil keluarannya berupa pola TMA dari curah hujan pada tanggal 22 hingga 24 Februari pada tahun 2017, 2018, dan 2019.

3.1.4 Simulasi Debit Air pada WMS

Data prediksi yang digunakan yakni pada tanggal 22, 23, 24 Februari 2019. Kemudian, untuk data observasi dan simulasi kalibrasi menggunakan data pada tanggal 19 dan 20 Februari 2019. Lalu, untuk tanggal validasi yang digunakan yakni tanggal 25 dan 26 Februari 2019. Untuk mendapatkan hasil simulasi menggunakan aplikasi WMS dan untuk mendapatkan data observasi untuk kalibrasi dan validasi diambil dari data TMA per 10 menit yang berisikan debit air di daerah Nanjung dan Dayeuh Kolot. Sedangkan untuk data observasi yang digunakan untuk simulasi prediksi menggunakan data observasi dari hasil keluaran WRF. Kemudian digunakan juga aplikasi ArcGIS untuk menghasilkan data *land use* dan jenis tanah yang didalamnya terdapat nilai *roughness* dan parameterisasi infiltrasi

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

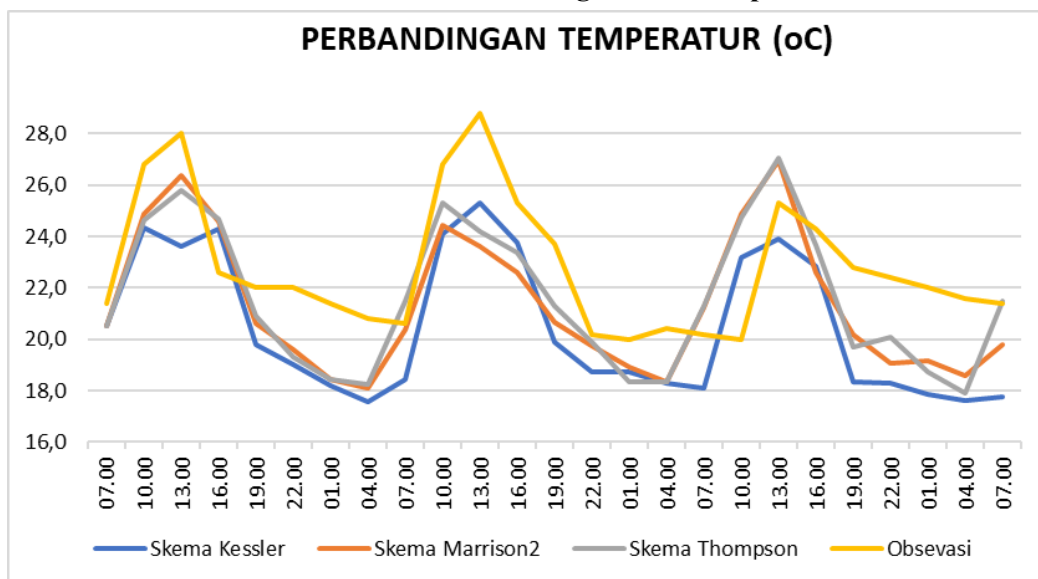
4.1 WRF - ARW

Hasil dari keluaran model WRF ditampilkan dengan menggunakan *Phyton* pada aplikasi *Anaconda*.

4.1.1 Perbandingan Hasil Data Temperatur

Berdasarkan hasil keluaran WRF-ARW pada masing-masing skema, dapat kita lihat bahwa ketiga skema menghasilkan pola yang hampir serupa dengan data observasi, dimana suhu akan meningkat pada dini hari menuju siang hari dan akan menurun pada sore hingga dini hari. Namun belum dapat memberikan perhitungan yang tepat sesuai nilai observasi, nilai temperatur yang dihasilkan oleh masing-masing skema cenderung *underestimate*.

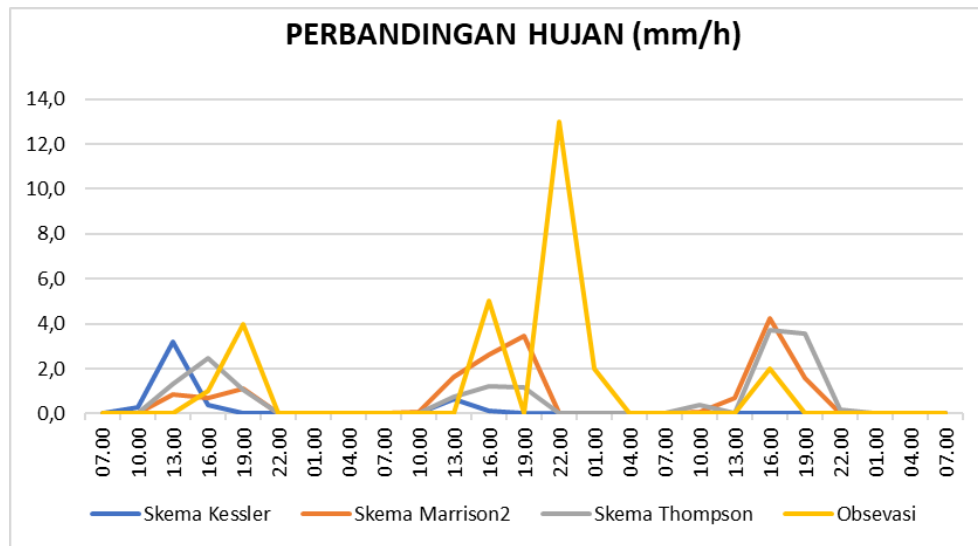
Gambar 1. Grafik Perbandingan Data Temperatur



4.1.2 Perbandingan Hasil Data Curah Hujan

Dari hasil keluaran WRF - ARW yang telah diproses, ketiga skema berhasil menampilkan adanya hujan pada ketiga hari penelitian, dimana sesuai dengan data observasi ketiga hari tersebut terjadi hujan. Waktu terjadinya hujan yang dihasilkan oleh masing masing skema cenderung lebih awal dibandingkan dengan waktu terjadinya hujan pada data observasi. Sementara, nilai curah hujan yang dihasilkan cenderung *underestimate* dibandingkan dengan curah hujan observasinya.

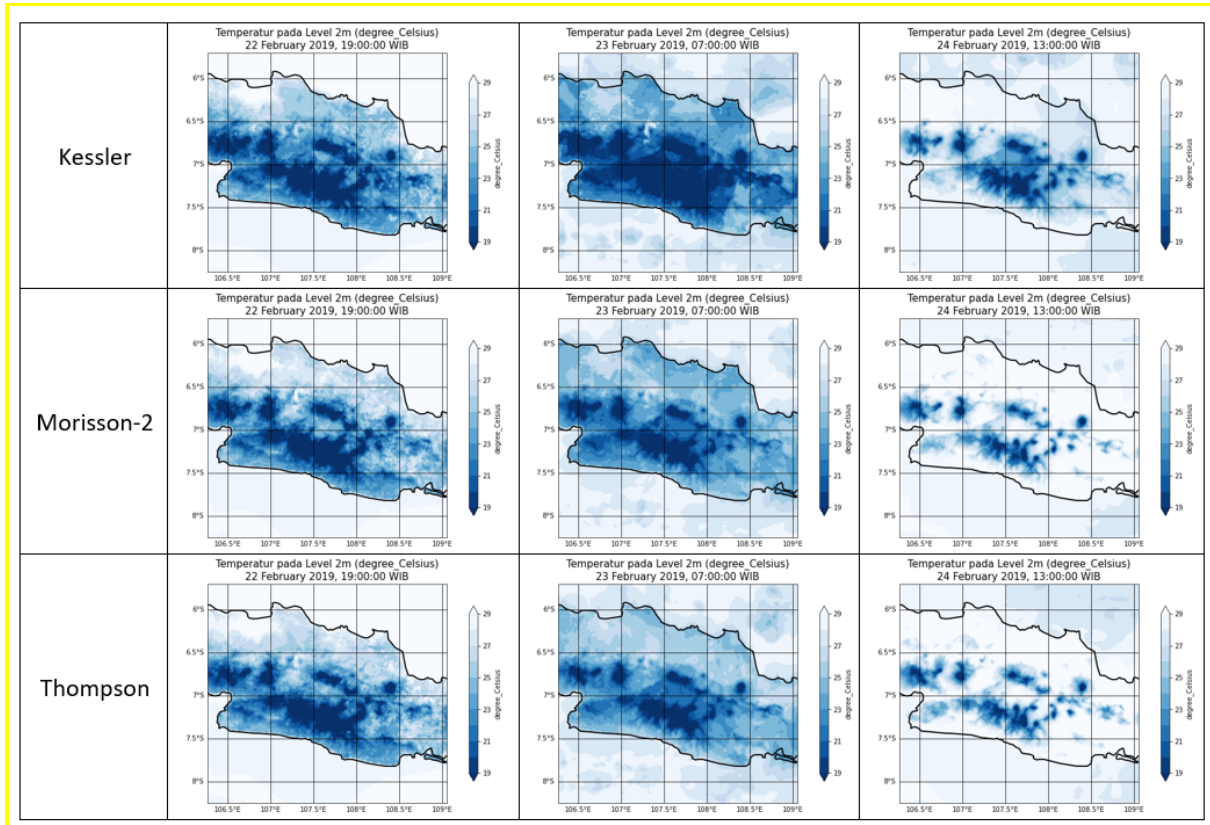
Gambar 2. Grafik Perbandingan Data Curah Hujan



4.1.3 Perbandingan Spasial Temperatur

Dari hasil keluaran WRF-ARW, sebaran spasial dari data temperatur pada ketiga skema tersebut berhasil menunjukkan penurunan suhu pada sore hari hingga dini hari dan kenaikan suhu pada pagi hingga siang hari. Dimana ketiga skema cenderung menunjukkan hasil sebaran spasial yang hampir sama.

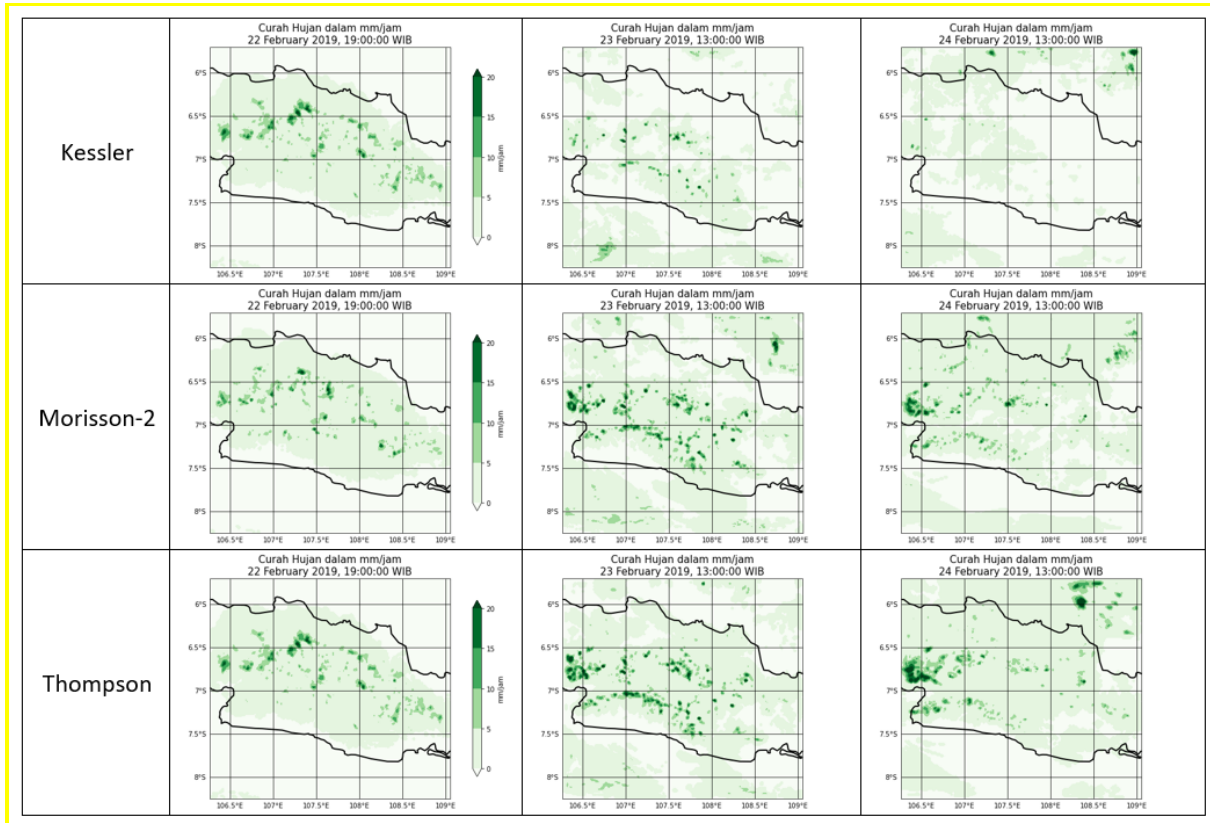
Gambar 3. Grafik Perbandingan Data Curah Hujan



4.1.4 Perbandingan Spasial Data Curah Hujan

Secara umum, keluaran model pada data curah hujan dari ketiga skema dapat memprakirakan waktu kejadian hujan yang cukup baik. Perbandingan sebaran hujan pada ketiga skema tidak terlalu berbeda, hujan terlihat muncul pada ketiga hari penelitian dengan sebaran kejadian pada waktu yang hampir sama. Hujan di lautan pada dini hari dan di daerah daratan sekitar lembah pegunungan terjadi pada siang menuju sore hari.

Gambar 4. Grafik Perbandingan Data Curah Hujan



4.1.5 Verifikasi Titik

4.1.5.1 Verifikasi Data Temperatur

Berdasarkan verifikasi titik data keluaran model WRF masing-masing skema dibandingkan dengan data observasi parameter temperatur 2 meter Bandara Husein Sastranegara didapatkan hasil bahwa nilai korelasi terbaik dimiliki oleh skema Kessler dengan nilai 0,77. Sedangkan, nilai RMSE terbaik dimiliki oleh skema Thompson dengan nilai 2,41.

Gambar 5. Grafik Perbandingan Data Curah Hujan

Verifikasi	Skema Kessler	Skema Marrison-2	Skema Thompson
Korelasi	0,77	0,69	0,70
RMSE	2,94	2,5	2,41

4.1.5.2 Verifikasi Data Curah Hujan

Berdasarkan verifikasi titik data observasi Bandara Husein Sastranegara menggunakan metode dikotomi tabel kontingensi, diketahui bahwa skema Thompson memiliki akurasi yang

paling baik dengan nilai 0,8 dibandingkan dengan skema lainnya. Sedangkan, skema Morrison-2 memiliki nilai bias yang paling baik dengan nilai 1 dibandingkan dengan skema lainnya. Artinya, skema Morrison-2 berhasil memprakirakan jumlah kejadian hujan sama dengan jumlah kejadian hujan pada observasi pada resolusi temporal 3 jam.

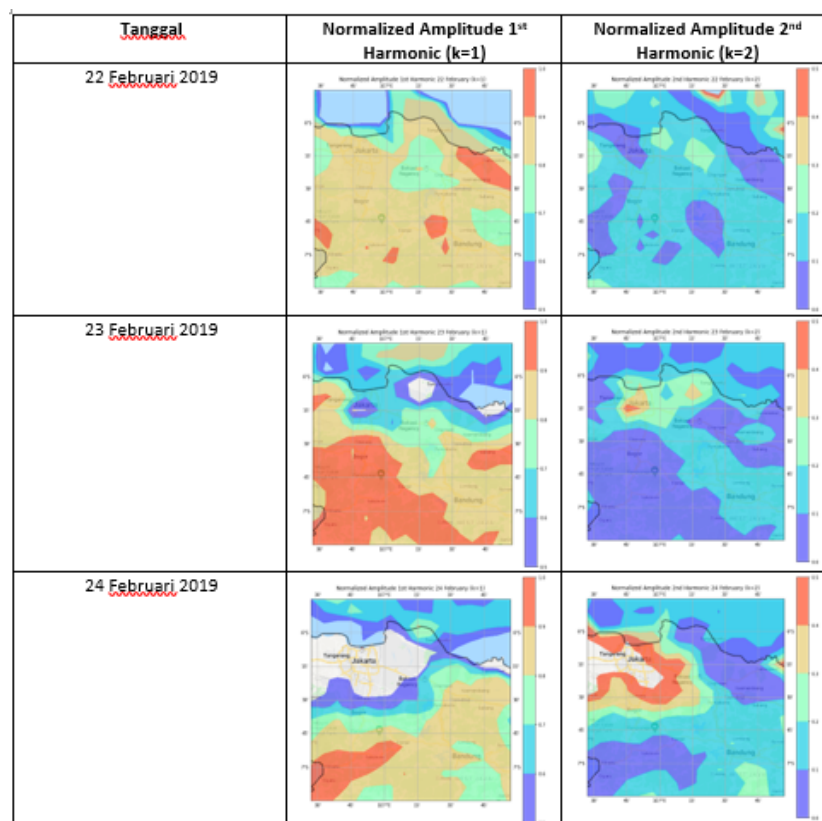
Gambar 6. Grafik Perbandingan Data Curah Hujan

No	Skema	Bias	Akurasi
1	Kessler	0,17	0,72
2	Morrison-2	1,00	0,76
3	Thompson	1,17	0,80

4.2 Pola Diurnal Curah Hujan

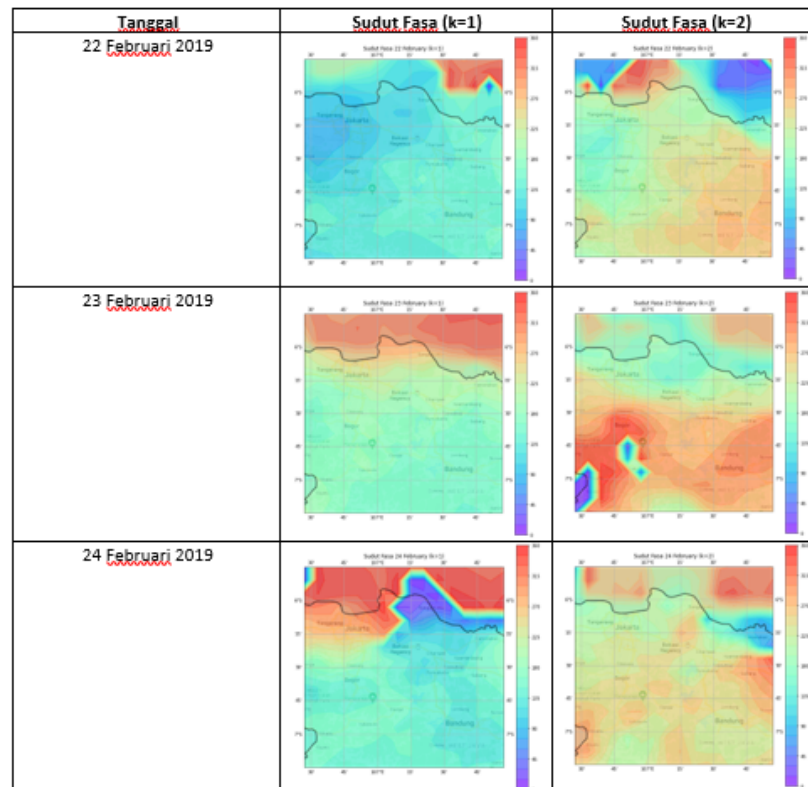
Hasil dari keluaran pola diurnal curah hujan ditampilkan dengan menggunakan *Python* pada *Google Colaboratory*.

4.2.1 Analisis Harmonik



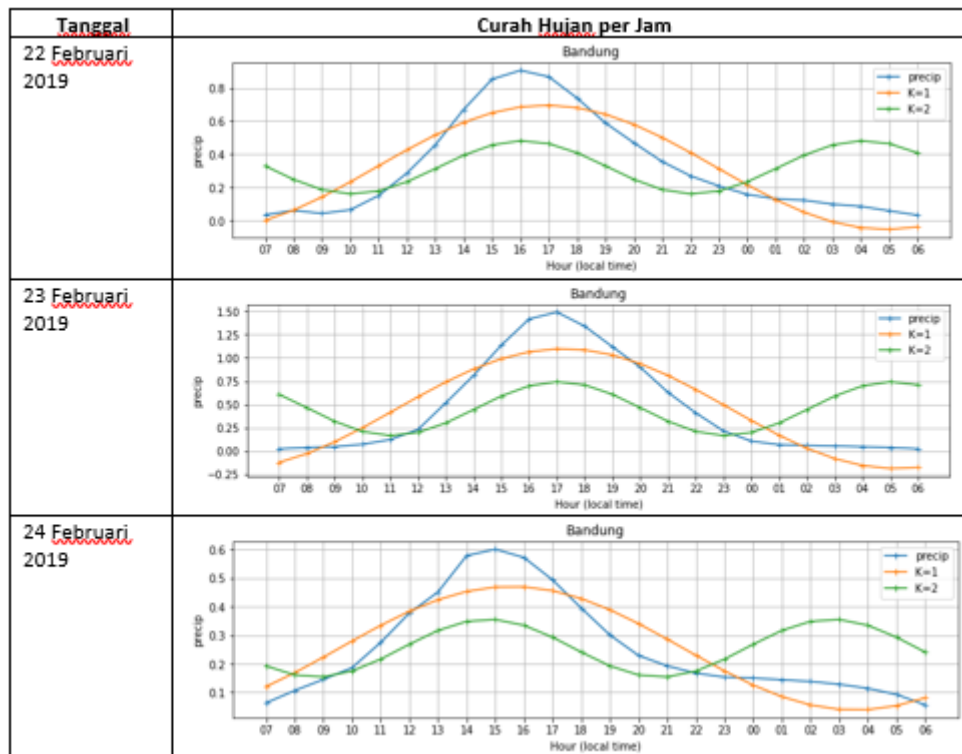
Gambar 4.2.1.1 Hasil Plot Amplitudo k=1 dan k=2

Berdasarkan hasil plot di atas, untuk $k=1$ sebagai sinyal yang memberikan kontribusi terbesar terhadap sinyal utama curah hujan pada tanggal 22, 23, dan 24 februari 2019 di wilayah kota Bandung . Proses terjadinya pola diurnal ini tentunya berkaitan dengan pola angin darat dan angin laut yang berdampak pada perbedaan karakteristik hujan yang terjadi. Jika ditinjau dari gambar spasial untuk bilangan gelombang $k=2$ (pola semi diurnal) amplitudo di daerah Bandung hanya berada pada rentang 0 hingga 0,2. Dapat disimpulkan bahwa kontribusi $k=1$ atau pola diurnal dominan dalam penentuan besar curah hujan di wilayah tersebut.



Gambar 4.2.1.2 Hasil Plot Sudut Fasa $k=1$ dan $k=2$

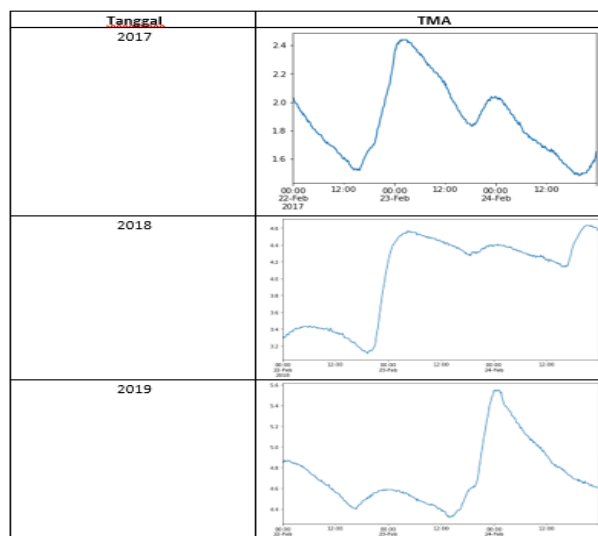
Berdasarkan hasil plot di atas, sudut fasa untuk $k=2$ memberikan kontribusi terbesar terhadap sinyal utama curah hujan pada tanggal 22, 23, dan 24 februari 2019 di wilayah kota Bandung . Pada gambar spasial yang terbentuk, terlihat jelas untuk bilangan gelombang $k=2$ (semidiurnal) di daerah Bandung dan sekitarnya menunjukkan angka yang besar yaitu pada rentang nilai 180 hingga 315 derajat, sedangkan jika ditinjau dari gambar spasial untuk bilangan gelombang $k=1$ atau pola diurnal sudut fasa di daerah Bandung hanya berada pada rentang 90 hingga 135 derajat. Dapat Disimpulkan bahwa kontribusi $k=2$ atau pola semidiurnal dominan dalam penentuan besar curah hujan di wilayah tersebut jika ditinjau dari hasil distribusi spasial harmonik melalui sudu fasa.



Grafik 4.2.1.3 Time Series Curah Hujan

Berdasarkan hasil grafik di atas, menunjukkan perbandingan kontribusi harmonik terhadap curah hujan tiap jam pada tanggal 22, 23, dan 24 februari 2019. Terlihat bahwa kontribusi harmonik dengan nilai $k=1$ memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan kontribusi harmonik bernilai $k=2$ di ketiga hari tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa pada setiap jam kontribusi harmonik pola diurnal lebih dominan mempengaruhi pola curah hujan dibandingkan dengan kontribusi harmonik pola semidiurnal.

4.3 TMA



Grafik 4.2.1.4 Nilai TMA

Berdasarkan hasil grafik nilai TMA di atas, terlihat bahwa terdapat perbedaan nilai TMA pada tahun 2017, 2018, dan 2019 pada tanggal 22, 23 dan 24 februari. Hali ini terlihat bahwa pada tahun 2017 nilai maksimum TMA terdapat pada tanggal 23 februari sekitar pukul 00.00 WIB sedangkan pada tahun 2018 dan 2019 nilai TMA maksimum terdapat pada tanggal 24 februari meskipun pada tahun 2018 TMA terbear terdapat pada sekitar pukul 20.00 WIB sedangkan pada tahun 2019 terjadi pada sekitar pukul 00.00 WIB.

4.4 Pemodelan Hidrometeorologi

4.4.1 Analisis Hasil Simulasi WMS

4.4.1.1 Ketentuan Nilai *Roughness* dan Infiltrasi

Roughness								
ID	1	2	3	4	5	6	7	8
Description 1	Kebun	Ladang	Sawah	Pemukiman	Air	Tanah Kosong	Hutan	Semak
Description 2								
Surface roughness	0.198000	0.070000	0.050000	0.040000	0.030000	0.050000	0.400000	0.100000

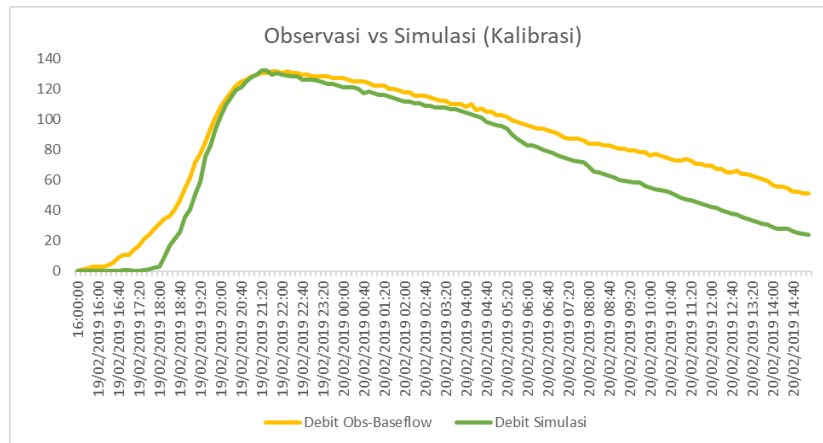
Gambar 4.4.1.1 Tabel Indeks *Roughness*

Infiltration			
Hydraulic conductivity (cm/hr)	0.930000	0.150000	0.060000
Capillary head (cm)	4.950000	23.900000	31.630000
Porosity (m^3/m^3)	0.437000	0.430000	0.475000
Pore distribution index (cm/cm)	0.694000	0.223000	0.165000
Residual saturation (m^3/m^3)	0.020000	1.090000	0.900000
Field capacity (m^3/m^3)	0.091000	0.339000	0.396000
Wilting point (m^3/m^3)	0.033000	0.239000	0.272000

Gambar 4.4.1.2 Tabel Indeks Infiltrasi

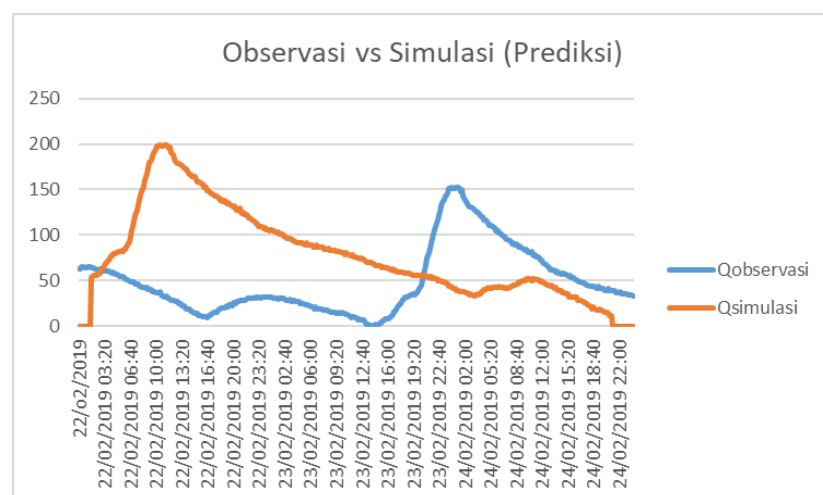
Berdasarkan tabel 4.4.1.1 di atas diambil delapan nilai *roughness*. Nilai *roughness* tersebut diambil dengan menyesuaikan pada grafik data observasi. Dengan nilai *roughness* yang diambil tersebut, grafik hasil simulasi WMS kalibrasi mendekati dengan grafik dari hasil data observasi. Sedangkan untuk nilai dari tujuh parameter infiltrasi seperti pada grafik 4.4.1.2 di atas, menyesuaikan dengan ketentuan dari GSSHA *roughness*.

4.4.1.2 Hasil Simulasi Dengan Data Observasi



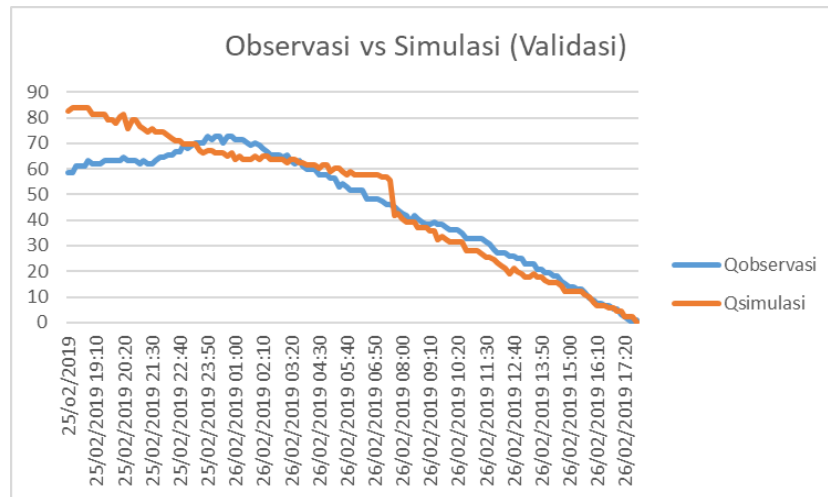
Gambar 4.4.1.3 Grafik Perbandingan Debit Observasi dan Debit Simulasi Kalibrasi

Berdasarkan grafik 4.4.1.3 di atas terlihat bahwa hasil debit observasi dan simulasi kalibrasi memiliki puncak yang sama meskipun terdapat perbedaan besar nilai debit setelahnya. Terlihat juga bahwa nilai debit yang dihasilkan dari data observasi memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan debit simulasi.



Gambar 4.4.1.4 Grafik Perbandingan Debit Observasi dan Debit Simulasi Prediksi

Berdasarkan grafik 4.4.1.4 di atas terlihat bahwa hasil debit observasi dan simulasi dari data prediksi tidak memiliki puncak yang sama akan tetapi memiliki pola yang sama dalam kenaikan dan penurunan debit air yang dihasilkan. Terlihat juga bahwa nilai debit yang dihasilkan dari data simulasi memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan debit observasi.



Gambar 4.4.1.5 Grafik Perbandingan Debit Observasi dan Debit Simulasi Validasi

Berdasarkan grafik 4.4.1.5 di atas terlihat bahwa hasil debit observasi dan simulasi data validasi tidak memiliki puncak yang sama dan pola kenaikan airnya berbeda. hal ini menandakan bahwa hasil simulasi tidak menghasilkan pola kenaikan debit air yang sama di semua tanggal hanya di beberapa tanggal tertentu saja.

	Kalibrasi	Prediksi	Validasi
NSE	0.919029	0.111329	0.154073
RMSE	16.35773	9.95401	8.386443

Gambar 4.4.1.6 Nilai NSE dan RMSE

Berdasarkan tabel diatas, nilai NSE pada kalibrasi menghasilkan nilai 0.919029 yang termasuk kategori baik. Sedangkan nilai NSE pada simulasi data prediksi dan validasi masih menghasilkan nilai dibawah 0,35 yang termasuk kategori tidak memuaskan meskipun menggunakan nilai roughness dan nilai parameter infiltrasi yang sama dengan yang digunakan pada simulasi untuk kalibrasi. Hal ini menunjukkan kemungkinan nilai *roughness* dan parameterisasi infiltrasi kurang tepat untuk digunakan pada simulasi validasi dan prediksi.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil prediksi dari WRF terlihat bahwa pada tanggal 22, 23, dan 24 Februari 2019 terdapat presipitasi yang cukup besar. Hal ini juga didukung oleh verifikasi dari citra satelit Himawari-8 dan satelit GSDMap yang mana menunjukkan pada tanggal tersebut terdapat tutupan awan dan presipitasi yang selalu terjadi pada pukul 12 UTC hingga 15 UTC.
2. Berdasarkan analisis harmonik curah hujan pada tanggal 22, 23, dan 24 Februari 2019 pola harmonik dengan kontribusi harmonik $k=1$ (pola diurnal) lebih dominan menghasilkan pula diurnal curah hujan di wilayah Bandung. Hal ini pun didukung oleh grafik time series kontribusi harmonik yang dihasilkan
3. berdasarkan grafik time series nilai TMA pada tanggal 22, 23, dan 24 Februari di tahun 2017, 2018, dan 2019 terlihat bahwa pada tahun 2018 dan 2019 tinggi muka air maksimum pada tanggal 24 Februari dikarenakan presipitasi maksimumnya terjadi pada tanggal 23 Februari. Sedangkan pada tahun 2017 terlihat bahwa tinggi muka air maksimum pada tanggal 23 Februari hal ini diperkirakan karena tanggal 22 Februari 2017 merupakan puncak presipitasinya.
4. Berdasarkan simulasi WMS, terlihat bahwa simulasi untuk kalibrasi menghasilkan nilai NSE 0,919 yang termasuk kategori baik meskipun pada nilai NSE prediksi dan validasi termasuk kategori tidak memuaskan hal ini diperkirakan karena nilai *roughness* dan parameterisasi infiltrasi tidak sesuai untuk kedua simulasi tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Hidayat, H., *et al.* (2018). *Impact of La Nina and La Nina Modoki in Indonesia Rainfall Variability*. IOP Conf, Ser.: Earth Environ. Sci. 149 012046.

Imansyah, Fadhil. (2012). *Studi Umum Permasalahan dan Solusi DAS Citarum Serta Analisis Kebijakan Pemerintah*. Institut Teknologi Bandung.

Septiadi, Deni., Safwan Hadi. (2011). *Karakteristik Petir Terkait Curah Hujan Lebat di Wilayah Bandung, Jawa Barat*.

A Sudarmanto (2014). *Jurnal Geografi*

KONTRIBUSI ANGGOTA KELOMPOK

Nama	Kontribusi
Rizki Syarif	<ul style="list-style-type: none"> ● Membuat PPT ● Membuat laporan
Gina Sofhia Rafiandi	<ul style="list-style-type: none"> ● membuat script untuk plot hasil WRF ● membuat script untuk menghasilkan plot curah hujan diurnal dan TMA dari data historis ● membuat script untuk plot data curah hujan dan koordinat dari WRF ● Membuat simulasi aliran air untuk kalibrasi, prediksi, dan validasi ● membuat PPT ● membuat laporan
Novianto Dwi Putra	<ul style="list-style-type: none"> ● Membuat PPT ● Membuat laporan
Rira Angela Damanik	<ul style="list-style-type: none"> ● Menampilkan hasil wrf output ● Membuat PPT ● Membuat Laporan
Mukhamad Adib Azka	<ul style="list-style-type: none"> ● Running WRF ● Membuat PPT ● Riset jurnal ● Menghitung verifikasi titik ● Membuat laporan

