

ESTIMASI CURAH HUJAN MENGGUNAKAN METODE CONVECTIVE STRATIFORM TECHNIQUE (CST) DAN MODIFIED CONVECTIVE STRATIFORM TERCHNIQUE (mCST) (STUDI KASUS: JOMBANG, 2 JANUARI 2021)

Isnaini Anjelina Ramadhan¹, Aditya Mulya²

^{1,2)} Prodi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
Jl. Perhubungan I No. 5 Komplek Meteo DEPHUB, Bintaro, Pondok Betung, Tangerang Selatan

E-mail: isnaini.anjelina.ramadhan@stmkg.ac.id

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang terletak di wilayah tropis dengan curah hujan tinggi sehingga rawan dengan bencana banjir. Pada tanggal 2 Januari 2021 telah terjadi banjir di Dusun Beluk, Desa Jombok, Kecamatan Kesamben, Kabupaten Jombang, Provinsi Jawa Timur yang berlangsung selama dua pekan dan merupakan banjir te parah dibanding tahun-tahun sebelumnya. Tidak adanya stasiun pengamatan permukaan menjadi rintangan dalam memantau dan menganalisis kejadian di lokasi terkait. Maka dari itu dilakukan estimasi curah hujan menggunakan satelit cuaca Himawari-8. Penelitian bertujuan untuk mengetahui curah hujan estimasi selama kejadian banjir dan metode manakah yang lebih sesuai diterapkan di lokasi. Perhitungan dilakukan dengan metode *Convective Stratiform Technique* (mCST) dan *Modified Convective Stratiform Technique* (mCST). Verifikasi dilakukan pada curah hujan hasil estimasi berdasarkan data pengamatan permukaan dari stasiun pengamat terdekat guna menguji seberapa baik kedua metode ini. Dari hasil analisis diperoleh bahwa kejadian hujan deras terjadi antara pukul 00—03 UTC dan 09—15 UTC. Nilai estimasi metode CST berkisar 2,8–397,4 mm dan bernilai lebih tinggi dari metode mCST yang berkisar 0,4–294,6 mm. Hasil verifikasi metode CST memiliki korelasi 0,881—0,916 (hubungan sangat kuat), $R-Sq$ 77,60%–83,96%, $P-value$ 0,001—0,004 (signifikan), dan RMSE 132,1—148,1 mm. Sementara metode mCST memiliki korelasi 0,881—0,916 (hubungan sangat kuat), $R-Sq$ 78,96—86,27%, $P-value$ 0,001—0,003 (signifikan), dan RMSE 88,8—103,5 mm. Perbandingan keduanya menunjukkan bahwa metode mCST memiliki hubungan yang lebih erat serta error lebih rendah daripada metode CST. Maka, metode CST lebih dapat merepresentasikan curah hujan pada kasus banjir Jombang 2 Januari 2021.

Kata Kunci: : Curah hujan, CST, mCST

ABSTRACT

Indonesia is a country located in the tropic with high rainfall so it is prone to flooding. On January 2, 2021, there was a flood in Dusun Beluk, Desa Jombok, Kecamatan Kesamben, Kabupaten Jombang, Provinsi Jawa Timur which lasted for two weeks and was the worst flood compared to previous years. The absence of a surface observation station is an obstacle in monitoring and analyzing related events at the location. Therefore, an estimate of rainfall was carried out using the Himawari-8 weather satellite. This study aims to determine the estimated rainfall during flood events and the method applied at the location. Calculations were performed using the *Convective Stratiform Technique* (mCST) and *Modified Convective Stratiform Technique* (mCST) methods. Verification is carried out on the estimated rainfall based on surface observation data from the nearest observation station to test how well these two methods are. From the results of the analysis, it was found that heavy rains occurred between 00—03 UTC and 09—15 UTC. The estimated value of the CST method ranges from 2,8–397,4 mm and

is higher than the mCST method which ranges from 0,4–294,6 mm. The result of the verification of the CST method have coefficient correlation of 0,881-0,916 (very strong relationship), R-Sq 77,60%-83,96%, P-value 0,001-0,004 (significant), and RMSE 132,1-148,1 mm. While the mCST method has coefficient correlation of 0,881-0,916 (very strong relationship), R-Sq 78,96-86,27%, P-value 0,001-0,003 (significant), and RMSE 88,8-103,5 mm. The comparison of the two methods show that the mCST method has a closer relationship and lower error than the CST method. So, the CST method is more able to represent rainfall in the Jombang flood case on January 2, 2021.

Key words: Rainfall, CST, mCST

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang terletak di wilayah tropis dengan curah hujan berlimpah. Salah satu penyebab tingginya curah hujan di daerah tropis adalah pemanasan matahari sepanjang tahun yang berdampak pada laju evaporasi di Indonesia dan adanya daerah konvergensi yang memiliki potensi pertumbuhan awan yang tinggi (Wulandari, Pratama, dan Ismail 2018). Hal ini ditambah dengan kondisi wilayah Indonesia yang merupakan negara kepulauan dengan wilayah laut 70% dan darat 30%. Laut yang mengelilingi Indonesia memberikan suplai air yang cukup dalam pembentukan awan hujan. Tingginya pemanasan dan tersedianya banyak uap air merupakan lahan subur bagi pertumbuhan awan-awan konvektif seperti *cumulonimbus* yang sangat erat kaitannya dengan kondisi cuaca buruk seperti hujan lebat, kilat, angin kencang, dan badai guntur (Putri 2016).

Ada dua macam jenis awan hujan berdasarkan pembentukannya, yaitu *cumuliform* dan *stratiform*. Awan *cumuliform* tumbuh akibat fenomena konveksi dan menghasilkan hujan dengan karakteristik singkat namun deras (*shower*). Sementara, awan *stratiform* tumbuh lebih lambat, arus vertikalnya kuat dan terjadi pada wilayah dengan kelembaban kecil (Andani dan Endarwin 2016). Lama hujannya relatif

lebih lama dengan intensitas lebih ringan.

Keberadaan curah hujan tinggi di Indonesia memberikan dampak positif dan negatif. Dampak positifnya yaitu sektor kehutanan dan agraris dapat berjalan dengan baik. Sebagai contoh terdapat hutan hujan tropis yang tersebar di Pulau Sumatra, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua (Forest Stewardship Council 2021). Namun, dampak negatifnya Indonesia sering mengalami bencana banjir dan longsor akibat hujan deras. Dapat dipastikan hampir seluruh provinsi di Indonesia akan mengalami bencana ini setiap musim penghujan datang.

Salah satu kejadian banjir akibat curah hujan tinggi terjadi di Kabupaten Jombang, Provinsi Jawa Timur. Pada tanggal 2 Januari 2021, Dusun Beluk, Desa Jombok, Kecamatan Kesamben, Kabupaten Jombang tergenang banjir dengan ketinggian maksimum 80 cm. Setidaknya ratusan rumah terdampak oleh bencana ini. Menurut Badan Penanggulangan Bencana Daerah (2021), banjir ini terjadi akibat hujan intensitas sedang hingga lebat yang mengguyur sejak sore hari dan mengakibatkan meluapnya air sungai Avour Watudakon pada 22.00 WIB. Kejaidan banjir tahun 2021 berlangsung selama dua pekan dan menjadi kejadian paling parah dari sekian kali banjir yang melanda setiap tahunnya (Kontributor

Jombang dan Syafii 2021). Berbagai kerugian seperti bangunan rusak, penutupan jalan, dan penularan penyakit telah dirasakan warga di lokasi kejadian. Pada kejadian banjir ini hujan deras yang mengguyur lokasi menjadi faktor utama bencana.

Pemantauan curah hujan merupakan hal penting yang harus dilakukan untuk mengetahui potensi banjir. Selain itu, analisis dapat menjadi acuan dalam menghadapi bencana yang mungkin terjadi di kemudian hari. Sayangnya tidak semua wilayah memiliki stasiun pengamatan meteorologi sehingga tidak memungkinkan dilakukan pengamatan hujan. Termasuk juga Kabupaten Jombang yang terpaut 80 km dari stasiun meteorologi terdekat yaitu Stasiun Meteorologi Kelas I Bandara Juanda. Untuk mengatasi masalah ini, satelit cuaca hadir sebagai solusi penyedia data penginderaan jauh. Satelit cuaca memiliki jangkauan pengamatan yang sangat luas dengan resolusi tinggi dibandingkan pengamatan yang dilakukan secara langsung (Diniyati dan Mulya 2021). Selain itu, frekuensi pengamatan cukup tinggi dan data yang dapat diperoleh aktual serta tidak dipungut biaya (Claudia dkk. 2018). Citra satelit dengan resolusi temporal terbaik untuk wilayah Indonesia dihasilkan oleh satelit Himawari-8 yang diluncurkan oleh *Japan Meteorological Agency* (JMA) pada tahun 2014 (Dharma dan Trilaksono 2021). Satelit ini memiliki 16 kanal observasi dan resolusi spasialnya 0,5 atau 1 km untuk kanal visibel dan inframerah dekat, serta 2 km untuk kanal inframerah (Bessho dkk. 2016). Melalui satelit ini kejadian banjir Jombang dapat dianalisis lebih lanjut dengan

memperoleh nilai estimasi curah hujannya.

Ada berbagai macam cara untuk menganalisis curah hujan menggunakan data satelit. Salah satunya estimasi curah hujan metode *Convective Stratiform Technique* (CST). Metode CST pertama kali digunakan pada penelitian Adler dan Negri (1988). Konsepnya adalah mengestimasi nilai curah hujan dengan cara memisahkan awan konvektif dan *stratiform* untuk selanjutnya dihitung nilai curah hujannya berdasarkan persamaan tertentu. Penentuan jenis awan didasarkan pada nilai kecerahan gradien suhu puncak awan yang diperoleh dari geostasioner saluran data satelit IR1 (Alfuadi dan Wandala 2016). Metode ini tidak dapat memberikan nilai curah hujan seungguhnya, tetapi dapat memberikan estimasi kemungkinan tertinggi curah hujan. Sehingga dalam mitigasi bencana atau peringatan dini, potensi bencana dapat diketahui.

Adapun pembaruan dari metode CST adalah *Modified Convective Stratiform Technique* (mCST). Enderwin dkk. (2014) telah memodifikasi metode CST untuk wilayah Indonesia. Secara umum kedua metode ini sama. Perbedaan terletak pada nilai variabel intensitas curah hujan konvektif (R_c) dan *stratiform* (R_s) serta luas rata-rata wilayah yang dilingkupi piksel (A).

Kedua metode tersebut telah banyak diaplikasikan pada beberapa kasus hujan lebat yang terjadi di Indonesia. Diniyati dan Mulya (2021) membandingkan metode CST dan mCST untuk kejadian banjir 22 Februari 2020 di Jakarta Timur dan 28 Desember 2020 di Surabaya. Enderwin dkk. (2014) menggunakan mCST untuk estimasi curah hujan di 23 titik wilayah Indonesia. Ada pula estimasi curah hujan

menggunakan metode CST dan mCST berdasarkan tipe hujan ekuatorial, monsunal, dan lokal seperti penelitian Andani dan Putra (2016) serta Damanik dkk. (2018).

Berdasarkan penelitian terdahulu, kedua metode ini dapat menjadi referensi dalam estimasi curah hujan pada kasus banjir Jombang. Namun, tetap perlu dilakukan verifikasi dengan data pengamatan permukaan untuk menilai kesesuaiannya. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui estimasi curah hujan selama kejadian banjir Jombang 2 Januari 2021. Selain itu, akan dicari metode manakah yang lebih sesuai dengan wilayah tersebut menggunakan cara statistik. Dengan begitu dapat menjadi pertimbangan untuk penelitian selanjutnya.

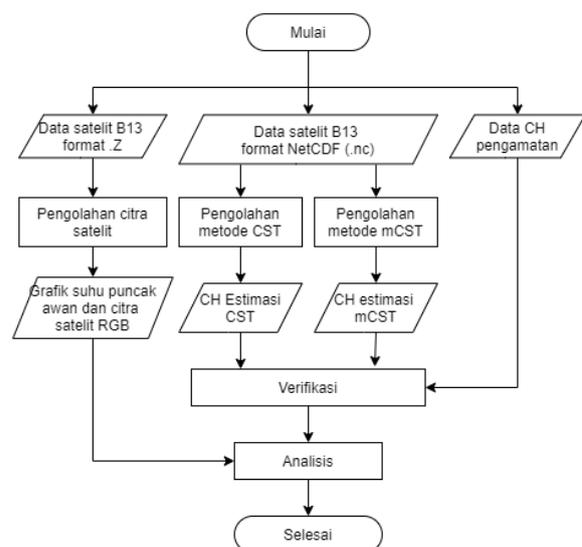
METODE

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain:

1. Data satelit Himawari-8 kanal inframerah (IR) B13 dengan format .Z tanggal 2 Januari 2021 pukul 00 UTC hingga 3 Januari 2021 pukul 00 UTC dengan interval setiap 10 menit. Data ini digunakan untuk mengetahui kondisi perawanan.
2. Data satelit Himawari-8 kanal inframerah (IR) B13 dengan format NetCDF tanggal 2 Januari 2021 pukul 00 UTC hingga 3 Januari 2021 pukul 00 UTC dengan interval setiap 10 menit. Data ini berisi informasi yang akan digunakan dalam estimasi curah hujan.
3. Data curah hujan dari pengamatan permukaan *Automatic Weather Station* (AWS) SMPK Mojosari, *Automatic Rain Gauge* (ARG) GI Sambikerep, dan Penakar Hujan Observatorium (OH Obs) Juanda dengan interval waktu tiap 3 jam.

Data tersebut berguna dalam tahap verifikasi.

Alat yang digunakan meliputi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). *Hardware* yang diperlukan adalah satu set laptop. Sementara *software* yaitu SATAID, aplikasi *browser*, Minitab, dan *Microsoft Excel*. SATAID digunakan untuk mengolah data satelit format .Z. Aplikasi *browser* berfungsi sebagai sarana menjalankan *Google Colaboratory* yang dapat diakses melalui pranala <https://colab.research.google.com>. *Google Colaboratory* merupakan program *Google Research* yang bisa digunakan untuk menulis, menjalankan, dan membagikan script dengan bahasa pemrograman *Python*. Kemudian Minitab dan *Mirosoft Excel* diperlukan dalam langkah verifikasi dengan metode statistik.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Tahapan penelitian estimasi curah hujan menggunakan metode CST dan mCST selama kejadian banjir Jombang 2 Januari 2021 disajikan disajikan pada Gambar 1. Tahap paling awal yaitu menyiapkan data-data yang diperlukan. Kemudian dilakukan pengolahan data satelit B13 format .Z untuk

menghasilkan grafik suhu puncak awan dan tampilan citra satelit dengan menggunakan fitur *Sandwich*.

Berikutnya, data satelit B13 format NetCDF diolah melalui *Google Colaboratoty* untuk menghasilkan nilai curah hujan estimasi. Pengolahan dilakukan dengan running script yang berisi perhitungan sesuai kaidah metode CST dan mCST. Alur pemrosesan secara detail dijelaskan sebagai berikut.

1. Menentukan inti awan konvektif.
Penentuan inti awan konvektif diperoleh dari suhu kecerahan awan (T_{BB}) minimum atau T_{min} dalam satu atau multi piksel. Setelah identifikasi T_{min} , kekuatan konvektif tersebut diukur dengan menggunakan parameter *slope* (S) (Adler & Negri, 1988).
2. Pemisahan awan konvektif dan *stratiform*.
Sebelumnya dilakukan perhitungan *slope* menggunakan persamaan S (Endarwin dkk., 2014; Islam dkk., 2002) sebagai berikut.

$$S = k \frac{(T_{i-2,j} + T_{i-1,j} + T_{i+1,j} + T_{i,j-2} + T_{i,j-1} + T_{i,j+1} + T_{i,j+2} - 8T_{i,j})}{8T_{i,j}} \quad (1)$$

Keterangan:

S = Parameter slope (K)

T = Suhu kecerahan awan (K)

i, j = Posisi piksel yang dihitung

Syarat pemisahan berdasarkan ketentuan berikut (Endarwin dkk., 2014; Goldenberg dkk., 1990; Islam dkk., 2002).

$$S \geq \exp[0.0826(T_{min} - 207)] \quad (2)$$

Jika S memenuhi syarat tersebut maka digolongkan konvektif.

Namun, jika tidak maka digolongkan *stratiform*.

3. Menentukan luas wilayah presipitasi.
Luasan wilayah presipitasi diperoleh melalui persamaan Goldenberg dkk. (1990) untuk masing-masing awan konvektif dan stratiform.

$$\ln(A_c) = a T_{ci} + b \quad (3)$$

$$\ln(A_s) = a T_s + b \quad (4)$$

Keterangan:

$a = -0,0492$

$b = 15,27$

A_c = Luas cakupan hujan awan konvektif (km^2)

A_s = Luas cakupan hujan awan stratiform (km^2)

T_{ci} = Suhu puncak awan pada inti konvektif (K)

T_s = Suhu puncak awan pada inti stratiform (K)

4. Menentukan curah hujan.
Perhitungan estimasi curah hujan CST dan mCST menggunakan persamaan sebagai berikut (Adler & Negri, 1988; Goldenberg dkk., 1990; Islam dkk., 2002; Endarwin dkk., 2014).

$$CH_{konvektif} = C(A_c/A)T R_c \quad (5)$$

$$CH_{stratiform} = St(A_s/A)T R_s \quad (6)$$

Keterangan:

C = Bilangan sel konvektif

St = Bilangan sel stratiform

A_c = Luas cakupan hujan awan konvektif (km^2)

A_s = Luas cakupan hujan awan stratiform (km^2)

A = Luas rata-rata area yang dilingkupi piksel (km^2)

T = Rata-rata periode estimasi (jam)

R_c = Intensitas curah hujan awan konvektif (mm/jam)

R_s = Intensitas curah hujan awan stratiform (mm/jam)

Perbedaan metode CST dan mCST terletak pada nilai variabel pada tabel 1 sesuai penelitian Endarwin dkk. (2014).

Tabel 1. Perbedaan variabel metode CST dan mCST

Metode	Intensitas curah hujan (mm/jam)		Luas rata-rata area yang dilingkupi piksel (km ²)
	Konvektif (R_c)	Stratiform (R_s)	
CST	20	3,5	121
mCST	26	0,8	202,1243

Sumber: (Sugiyono, 2020)

Setelah didapatkan nilai curah hujan estimasi baik metode CST maupun mCST, kemudian dilakukan verifikasi dengan pertimbangan data pengamatan permukaan. Verifikasi dilakukan dengan menghitung nilai korelasi Pearson, R -Sq, P -value, dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Korelasi Pearson dan R -Sq digunakan untuk mengetahui keeratan hubungan variabel (Tabel 2). P -value guna mengetahui seberapa signifikan hubungan. Sedangkan RMSE untuk mengetahui tingkat *error*/kesalahan.

Tabel 2. Interpretasi koefisien korelasi

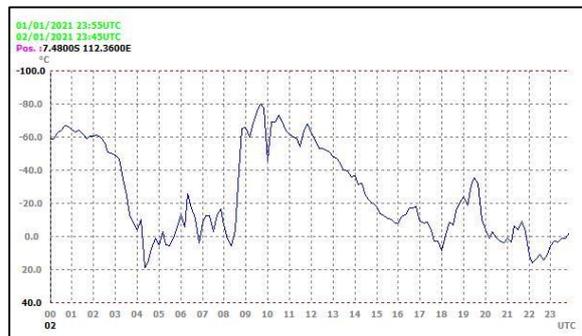
Interval koefisien	Tingkat hubungan
0,000—0,199	Sangat rendah
0,200—0,399	Rendah
0,400—0,599	Sedang
0,600—0,799	Kuat
0,800—1,000	Sangat kuat

Tahap terakhir yaitu dilakukan analisis untuk kondisi perawanan serta curah hujan estimasi metode CST dan mCST. Hal ini dilakukan sebagai tujuan akhir agar diketahui metode mana yang paling baik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kondisi Perawanan

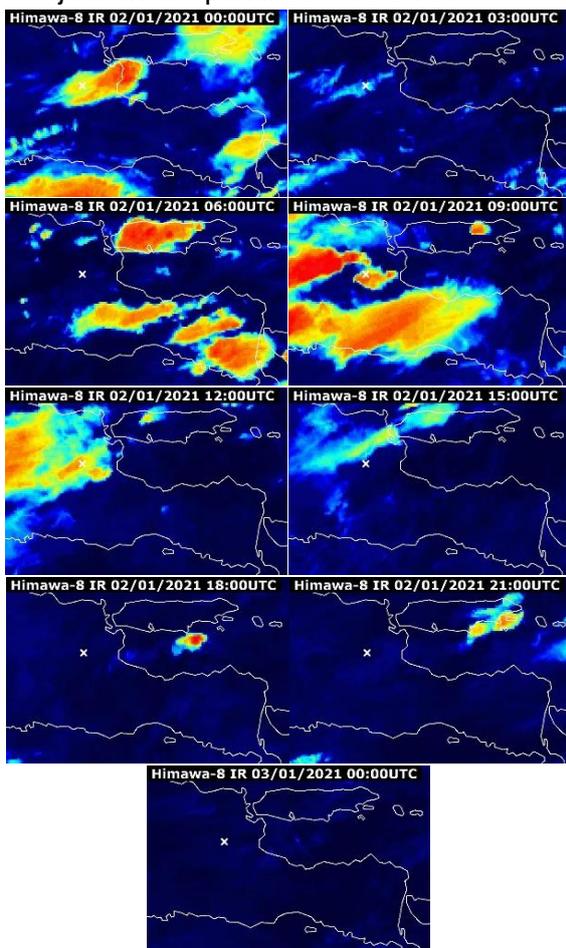
Berdasarkan gambar 2, diketahui bahwa suhu puncak awan terendah terjadi dua kali pada 2 Januari 2021, yaitu antara pukul 00—04 UTC dan 09—15 UTC. Suhu paling rendah dicapai pukul 09.40 UTC dengan nilai $-79,9$ °C. Suhu awan rendah mengindikasikan adanya tutupan jenis awan tinggi atau awan konvektif. Dalam hal ini yang perlu diperhatikan adalah jenis cumulonimbus yang dapat menyebabkan hujan deras. Sementara pada suhu awan yang relatif lebih tinggi dimungkinkan adanya awan rendah atau awan stratiform.



Gambar 2. Grafik suhu puncak awan

Gambar 3 menunjukkan citra satelit suhu puncak awan dengan metode Sandwich untuk tanggal 02/01/2021 pukul 00 UTC hingga 03/02/2021 pukul 00 UTC dengan interval setiap 3 jam. Warna merah menunjukkan rendah sedangkan hitam menunjukkan suhu tinggi. Sehingga untuk awan konvektif diindikasikan dengan warna merah. Lokasi kejadian banjir ditunjukkan oleh tanda X warna

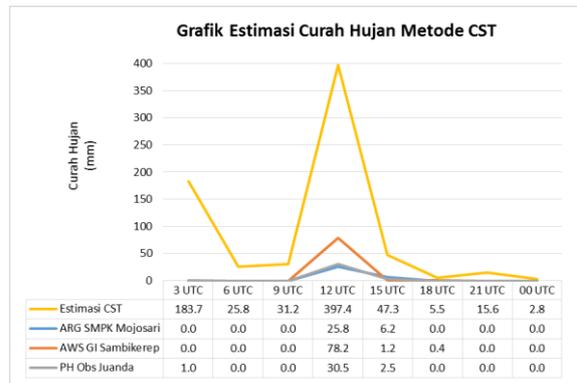
putih. Pada tanggal 02/01/2021 pukul 00 UTC terlihat bahwa lokasi tertutup oleh bagian awan yang meluruh. Pukul 03—06 UTC sudah tidak terdapat awan yang menutupi lokasi kejadian. Awan kembali terlihat pada pukul 09 UTC dan masih dalam tahap perkembangan yang ditandai oleh wilayah cakupannya yang tidak teralu luas. Selanjutnya pukul 12 UTC awan telah memasuki tahap peluruhan. Awan terus meluruh hingga 15 UTC dan menutupi sedikit bagian wilayah Jombang. Pada jam 18 UTC hingga 00 UTC di hari berikutnya tidak ditemukan aktivitas awan di lokasi kejadian. Dari rentang waktu sehari tersebut, aktivitas awan paling intens terjadi antara pukul 09—15 UTC.



Gambar 3. Citra satelit Himawari B13 Sandwich

2. Curah Hujan Estimasi *Convective Stratiform Technique (CST)*

Dari hasil pengolahan data, tampak bahwa nilai estimasi CST jauh lebih tinggi dibandingkan observasi (Gambar 4). Nilai curah hujan estimasi per tiga jam berkisar antara 2,8–397,4 mm. Terdapat dua kali puncak curah hujan yakni antara pukul 00—03 UTC dan 09—15 UTC. Curah hujan tertinggi diukur ketika pukul 12 UTC dimana nilai estimasi 397,4 mm. Ini artinya bahwa kejadian hujan deras terjadi antara pukul 09—12 UTC. Grafik ini sekilas memiliki pola kesamaan dengan grafik suhu puncak awan (Gambar 2).



Gambar 4. Grafik curah hujan estimasi CST

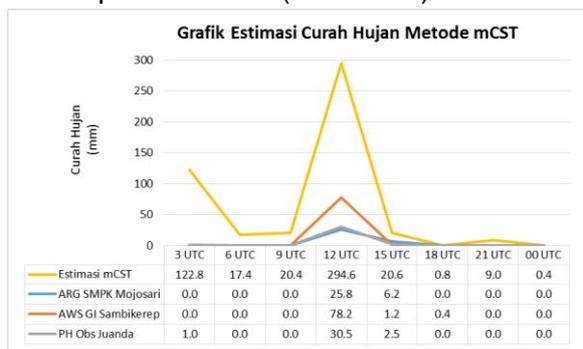
Setelah dilakukan verifikasi, didapatkan nilai korelasi Pearson antara curah hujan estimasi dan pengamatan berkisar 0,881 hingga 0,916 yang menunjukkan tingkat hubungan antarvariabel sangat kuat (Tabel 3). Nilai R-Sq berkisar 77,60% hingga 83,96% dan linier dengan nilai korelasi. P-value seluruhnya <0,005 yang berarti hubungan antarvariabel tersebut signifikan. Adapun nilai RMSE berkisar 132,1—148,1 mm.

Tabel 3. Hasil verifikasi metode CST

	ARG SMPK Mojosari	AWS GI Sambikerep	Obs Juanda
Korelasi	0,881	0,905	0,916
R-Sq	77,60%	81,84%	83,96%
P-Value	0,004	0,002	0,001
RMSE	148,1	132,1	146,6

3. Curah Hujan Estimasi *Modified Convective Stratiform Technique* (mCST)

Hampir sama seperti estimasi CST, gambar 5 menunjukkan bahwa nilai estimasi mCST jauh lebih tinggi dibandingkan observasi. Nilai curah hujan estimasi per tiga jam berkisar antara 0,4–294,6 mm. Terdapat dua kali puncak curah hujan yakni antara pukul 00–03 UTC dan 09–15 UTC. Curah hujan tertinggi diukur ketika pukul 12 UTC dimana nilai estimasi 294,6 mm yang berarti kejadian hujan deras terjadi antara pukul 09–12 UTC. Grafik ini juga memiliki pola kesamaan dengan grafik suhu puncak awan (Gambar 2).



Gambar 5. Grafik curah hujan estimasi mCST

Melalui verifikasi terhadap tiga data pengamatan, diperoleh nilai korelasi antara estimasi dan observasi berkisar 0,889 hingga 0,929 yang menunjukkan bahwa hubungan antarvariabel sangat kuat. Sementara *R-Sq* yang linier dengan korelasi berkisar 78,96% hingga 86,27%. *P-value* seluruhnya <0,005

yang berarti hubungan antar variabel tersebut signifikan. Adapun nilai RMSE berkisar 88,8–103,5 mm.

Tabel 4. Hasil verifikasi metode mCST

	ARG SMPK Mojosari	AWS GI Sambikerep	Obs Juanda
Korelasi	0,889	0,921	0,929
R-Sq	78,96%	84,76%	86,27%
P-Value	0,003	0,001	0,001
RMSE	105,1	88,8	103,5

KESIMPULAN

Pada tanggal 2 Januari 2021 telah terjadi banjir di Kabupaten Jombang, Jawa Timur. Diketahui suhu puncak awan terendah dan aktivitas citra awan paling intens terjadi pukul 09–15 UTC yang mengindikasikan pertumbuhan dan peluruhan awan konvektif. Nilai curah hujan estimasi CST (2,8–397,4 mm) relatif lebih tinggi dari mCST (0,4–294,6 mm). Kedua metode memiliki koefisien korelasi dengan hubungan sangat kuat dan signifikan dengan *P-Value* <0,005. Perbandingan keduanya menunjukkan bahwa metode mCST memiliki nilai korelasi Pearson, *R-Sq*, *P-value*, dan RMSE yang lebih baik daripada metode CST. Maka, metode CST lebih dapat merepresentasikan curah hujan pada kasus banjir Jombang 2 Januari 2021. Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pemerintah dan masyarakat terdampak untuk mengambil langkah preventif kemungkinan kejadian berikutnya. Pada penelitian selanjutnya, verifikasi dapat dilakukan dengan interval waktu setiap jam sehingga dapat menaikkan tingkat keakuratan estimasi.

DAFTAR PUSTAKA

Adler, Robert F., dan Andrew J. Negri. 1988. "A Satellite Infrared

- Technique to Estimate Tropical Convective and Stratiform Rainfall.” *Journal of Applied Meteorology* 27 (1): 30–51. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1988\)027<0030:ASITTE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1988)027<0030:ASITTE>2.0.CO;2).
- Alfuadi, Nanda, dan Agie Wandala. 2016. “Comparative Test of Several Rainfall Estimation Methods Using Himawari-8 Data.” *International Journal of Remote Sensing and Earth Science* 13 (2): 95–104. <http://dx.doi.org/10.30536/j.ijres.es.2016.v13.a2453>.
- Andani, Ashriah Jumi Putri, dan F. N. U. Endarwin. 2016. “Kajian Penerapan Estimasi Curah Hujan Per Jam Memanfaatkan Metode Convective Stratiform Technique (CST) dan Modified Convective Stratiform (mCST) di Pontianak.” *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika* 3 (3): 9–20. <https://doi.org/10.36754/jmkg.v3i3.11>.
- Andani, Ashriah Jumi Putri, dan Richard Mahendra Putra. 2016. “Penerapan Estimasi Curah Hujan Dengan Metode CST dan mCST di Wilayah Tipe Hujan Ekuatorial dan Monsunal (Studi Kasus Pontianak, 20 November 2014 dan Surabaya, Januari 2014).” Dalam *Prosiding Seminar Hari Meteorologi Dunia 2016*, 132–45. https://www.academia.edu/40311906/PENERAPAN_ESTIMASI_CURAH_HUJAN_DENGAN_METODE_CST_DAN_MCST_DI_WILAYAH_TIPE_CURAH_HUJAN_EKUATORIAL_DAN_MONSUNAL_STUDI_KASUS_PONTIANAK_NOVEMBER_2014_DAN_SURABAYA_JANUARI_2014.
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah. 2021. “Log Kejadian [13342].” *SmartPB* (blog). 2021. https://smartpb.bpbd.jatimprov.go.id/public/tb_disasterlogs_view.php?editid1=13342.
- Bessho, Kotaro, Kenji Date, Masahiro Hayashi, Akio Ikeda, Takahito Imai, Hidakazu Inoue, Yukihiko Kumagai, dkk. 2016. “An Introduction to Himawari-8/9 — Japan’s New-Generation Geostationary Meteorological Satellites.” *April 2016 Journal of the Meteorological Society of Japan* 94 (2): 151–83. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2016-009>.
- Claudia, Fara Dlva, Cecylia Putri Mawarni, Kadek Krisna Yulianti, dan Paulus Agus Winarso. 2018. “Utilization of Estimated Rainfall as An Early Warning System Before Flash Flood Event.” *Journal of Physics: Theories and Applications* 2 (2): 73–82. <https://doi.org/10.20961/jphystheor-appl.v2i2.30670>.
- Damanik, Rira Angela, Ni Kadek Trisna Dewi, Ayu Vista Wulandari, dan Ahmad Fadlan. 2018. “Penggunaan Metode Modified Convective Stratiform Technique (MCST) di Wilayah Tipe Curah Hujan Ekuatorial, Monsunal, dan Lokal (Studi Kasus di Sintang, Jakarta, dan Ambon).” Dalam *Seminar Nasional Penginderaan Jauh ke-5*, 942–48. Depok: Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.
- Dharma, C. S., dan N. J. Trilaksono. 2021. “Rain Detection using Himawari-8 Imagery; Case Study Singkawang West Kalimantan.” Dalam *Earth and Environmental Science*, 1–10. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/750/1/012011>.
- Diniyati, Estri, dan Aditya Mulya. 2021. “Analisis Perbandingan Metode CST dan MCST Terhadap Curah Hujan Observasi Saat Banjir.” *Jurnal Ilmiah Matematika* 8 (1): 1–10.

- Endarwin, E., Safwan Hadi, Bayong Tjasyono H. K., Dodo Gunawan, dan S. Siswanto. 2014. "Modified Convective Stratiform Technique (CSTm) Performance on Rainfall Estimation in Indonesia." *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences* 46 (3): 251–68.
<https://doi.org/10.5614/j.math.fund.sci.2014.46.3.4>.
- Forest Stewardship Council. 2021. *Hutan Hujan Tropis* (blog). 2021.
<https://id.fsc.org/id-id/program-fsc-indonesia/hari-ini-aku-belajar-hiab/hutan-hujan-tropika>.
- Kontributor Jombang, dan M. Syafi'i. 2021. "Cerita Banjir 2 Pekan di Jombang dan Protes Warga ke Bupati..." *Kompas.com*, 18 Januari 2021.
<https://regional.kompas.com/read/2021/01/18/07165151/cerita-banjir-2-pekan-di-jombang-dan-protes-warga-ke-bupati?page=all>.
- Putri, Rodhi Janu Aldilla. 2016. "Pemanfaatan Data Satelit Himawari-8 Untuk Analisis Kejadian Hujan Sangat Lebat di Kabupaten Nabire, Papua Tengah (Tanggal 12, 21, dan 22 Maret 2016)." Dalam *Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer (SNSA)*, 195–2014. LAPAN.
http://digilib.mercubuana.ac.id/manager/t!@file_artikel_abstrak/lsi_Artikel_858914436275.pdf.
- Wulandari, Ayu Vista, Khafid Rizki Pratama, dan Prayoga Ismail. 2018. "Using Convective Stratiform Technique (CST) Method to Estimate Rainfall (Case Study in Bali, December 14th 2016)." Dalam *Journal of Physics: Conference Series*, 1–6. 1022. Solo Baru: IOP Publishing.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1022/1/012039>.