

PENGARUH CENS-CT TERHADAP CURAH HUJAN EKSTRIM PEMICU BANJIR DI KOTA SEMARANG TANGGAL 6 DAN 7 FEBRUARI 2021

THE EFFECT OF CENS-CT ON EXTREME RAINFALL TRIGGERING FLOOD IN SEMARANG CITY ON 6 AND 7 FEBRUARY 2021

Zauyik Nana Ruslana^{1*}, Sulistyowati², Umaroh³, Rudi Setro Prihatin⁴, Sri Endah ANA⁵
^{1,2,3,4,5}Stasiun Klimatologi Semarang, Jl. Siliwangi No. 291 Kalibanteng Kulon, Kota Semarang, 50145
*E-mail: aziexzazak@gmail.com

Naskah masuk: 30 Mei 2022

Naskah diperbaiki: 18 Maret 2022

Naskah diterima: 26 April 2022

ABSTRAK

Hujan intensitas tinggi dalam skala harian saat banjir di Kota Semarang menyebabkan banjir yang luas dampaknya bagi masyarakat pada tanggal 6 dan 7 Februari 2021. Melakukan penelitian dengan salah satu yang dapat menjadi pemicu terjadinya hujan ekstrem saat puncak musim hujan pada saat Monsun Asia yang kuat tersebut adalah faktor pengaruh dari aliran angin lintas ekuator dan factor lainnya. Untuk mendukung penelitian tersebut maka dilakukan dengan mengidentifikasi aliran angin permukaan yang sangat kuat melintasi ekuator yaitu Cross-Equatorial Northerly Surge (CENS), analisa dari wilayah CT (Cold Tongue) menunjukkan penjalaran suhu dingin dari LCS bersamaan dengan CENS hingga Laut Jawa yang berpotensi meningkatkan potensi hujan lebat. *Pearson's correlation coefficient (r)* curah hujan ekstrem (>150 mm) dan CENS sebesar 0.264 menunjukkan korelasi lemah (0.2 - 0.4). Sedangkan *Pearson's correlation coefficient (r)* curah hujan ekstrem (>150 mm) dan CT sebesar 0.180 menunjukkan korelasi sangat lemah (0 - 0.2). Hal ini mengindikasikan bahwa kemungkinan ada faktor lain selain CENS dan CT yang mempengaruhi curah hujan ekstrem di Kota Semarang. Disisi lain faktor aktifitas aliran massa udara basah dari Samudera Hindia sebelah Barat Pupau Jawa yang paling dominan untuk menambah potensi hujan hingga ekstrem dibuktikan dari Analisa transport uap air dan omega dan kemungkinan adanya cuaca lokal yang ikut mempengaruhi kondisi cuaca hujan lebat hingga esktrim tersebut. Berdasarkan historis kejadian banjir, bulan Februari tertinggi kedua setelah bulan Januari. Dalam periode tahun 2005 - 2021 kejadian banjir pada bulan Februari di Kota Semarang yaitu tanggal 2 dan 8 Februari 2009, 1 Februari 2010, 3 Februari 2014, 12 Februari 2015 dan 6 - 7 Februari 2021 terdapat kaitannya dengan curah hujan tinggi harian yang melewati batas atas 89 mm/hari dan sinkronisasi data hujan dengan kejadian banjir periode tahun 2012 - 2020 juga terdapat kaitannya antara banjir dan hujan dengan intensitas lebat - sangat lebat.

Kata kunci: CENS, CT, CS, GsMAP, underestimate, overestimate

ABSTRACT

High-intensity rain on a daily scale during flooding in Semarang City caused widespread flooding for the community on February 6 and 7, 2021. Conducting research with one of the factors that can trigger extreme rains during the peak of the rainy season during the strong Asian Monsoon is the influence of wind flow across the equator and other factors. To support this research, it was carried out by identifying a very strong surface wind flow across the equator, namely the Cross-Equatorial Northerly Surge (CENS). heavy rain. Pearson's correlation coefficient (r) for extreme rainfall (>150 mm) and a CENS of 0.264 show a weak correlation (0.2 - 0.4). Meanwhile, Pearson's correlation coefficient (r) for extreme rainfall (>150 mm) and CT of 0.180 indicates a very weak correlation (0 - 0.2). This indicates that there may be other factors besides CENS and CT that affect the extreme rainfall in Semarang City. On the other hand, the factor of wet air mass flow activity from the Indian Ocean west of Pupau Java is the most dominant to increase the potential for rain to extremes as evidenced by the analysis of water vapor and omega transport and the possibility of local weather influencing the heavy to extreme rainy weather conditions. historically the incidence of flooding, February is the second highest after January. In the period 2005 - 2021, flood events in February in Semarang City, namely February 2 and 8 2009, February 1, 2010, February 3 2014, February 12, 2015 and February 6 - 7 2021 are related to daily high rainfall that exceeds the upper limit. 89 mm/day and the synchronization of rain data with flood events for the period 2012 - 2020 also has a relationship between flooding and rain with heavy intensity - very heavy.

Keywords: CENS, CT, CS, GsMAP, underestimate, overestimate

1. Pendahuluan

Kota Semarang merupakan Ibukota Provinsi Jawa Tengah, berada pada pelintasan Jalur Jalan Utara Pulau Jawa yang menghubungkan Kota Surabaya dan Jakarta. Secara geografis, terletak diantara $109^{\circ}35'$ - $110^{\circ}50'$ Bujur Timur dan $6^{\circ}50'$ - $7^{\circ}10'$ Lintang Selatan. Dengan luas $373,70 \text{ KM}^2$. Secara topografi terdiri atas daerah pantai, dataran rendah dan perbukitan (wilayah utara dataran rendah sedangkan di wilayah selatan merupakan dataran tinggi)

Daerah pantai merupakan kawasan di bagian Utara yang berbatasan langsung dengan Laut Jawa dengan kemiringan antara 0% sampai 2%, daerah dataran rendah merupakan kawasan di bagian Tengah, dengan kemiringan antara 2 – 15 %, daerah perbukitan merupakan kawasan di bagian Selatan dengan kemiringan antara 15 – 40% dan beberapa kawasan dengan kemiringan diatas 40% (>40%).

Kota Semarang dalam suatu sistem hidrologi, merupakan kawasan yang berada pada kaki bukit Gunung Ungaran, mengalir beberapa sungai yang tergolong besar seperti yaitu Kali Besole, Kali Beringin, Kali Silandak, Kali Siangker, Kali Kreo, Kali Kripik, Kali Garang, Kali Candi, Kali Bajak, Kali Kedungmundu, Kali Penggaron. Sebagai Daerah Hilir, dengan sendirinya merupakan daerah limpasan debit air dari sungai yang melintas dan mengakibatkan terjadinya banjir pada musim penghujan. Kondisi ini diperparah oleh karakteristik kontur wilayah berbukit dengan perbedaan ketinggian yang sangat curam sehingga curah hujan yang terjadi di daerah hulu akan sangat cepat mengalir ke daerah hilir [1]. Banjir yang terjadi di Kota Semarang akibat dari akumulasi curah hujan yang turun secara merata di seluruh wilayah kota Semarang sejak tanggal 5 Februari 2021 dengan curah hujan tertinggi 183 mm (sangat lebat) di Beringin, sedangkan terendah 69 mm (lebat) di Meteseh Tembalang, pada tanggal 6 Februari 2021 curah hujan tertinggi sebesar 59 mm (Lebat) terjadi di Tanjung Mas Semarang utara sedangkan curah hujan terendah 31 mm (sedang) terjadi di Mijen, Curah Hujan pada tanggal 7 Februari 2021 curah hujan tertinggi 199 mm (sangat lebat) di Gunung Pati, sedangkan yang terendah 24 mm (sedang) di Tanjung Mas Semarang utara).

Dengan memperhatikan pergerakan semu matahari di 23.5° Belahan Bumi Selatan (BBS) terjadi pada bulan-bulan DJF, sehingga angin bertiup dari arah utara menuju ke selatan yang lebih dikenal dengan Monsun Barat. Monsun Barat biasanya lebih lembab dan banyak menimbulkan hujan [3]. Aktifitas Monsun barat dapat dianalisa dengan salah satunya Seruak Dingin (Cold surge) merupakan aliran masa udara dingin yang berasal dari daratan Asia sekitar Tibet melalui Laut Cina Selatan hingga ke wilayah

Indonesia bagian barat saat monsoon Asia musim dingin [4]. Chang [5] menyimpulkan bahwa aktifitas seruak dingin mengakibatkan meningkatnya curah hujan lebat di Asia Timur hingga Asia Tenggara.

Pada penelitian saat ini lebih banyak difokuskan pada aliran angin permukaan yang sangat kuat melintasi ekuator disebut Surge Cross-Equatorial Northerly (CENS) [6]. Berdasarkan penelitian Hattori et al. [7], CENS yang ditunjukkan oleh angin utara yang kuat (5 - 8 m/s) berlangsung dari akhir Desember hingga pertengahan Februari. Seruak dingin dapat mengangkut massa udara tingkat rendah dari garis lintang tengah ke ekuator dengan cukup efektif. Karena massa udara dingin dan kering ini (disebut sebagai 'lidah dingin') bergerak ke lintang rendah, fluks panas permukaan yang kuat melemahkan anomali udara dingin, dan lonjakan tersebut dapat kehilangan karakter 'dinginnya'. Namun, angin meridional yang kuat tetap menjadi tanda yang jelas dari CENS tersebut. Faktor ini penting dalam pembentukan presipitasi di atas Benua Maritim. Hattori (2011) mendefinisikan indeks Cross-Equatorial Northerly Surge (CENS) sebagai kecepatan angin meridional rata-rata yang melebihi 5 m / s di area (lebih dari 105° E - 115° E , 5° S - EQ) [8]. CENS berperan besar dalam memicu aktivitas kuat konveksi yang menimbulkan hujan ekstrim yang dapat menyebabkan banjir [9].



Gambar 1. Peta Kota Semarang

Pendukung CENS adalah yang disebut dengan Cold Tongue (CT) ([10]; [11]; 12]; [13]) dengan inti terdingin di perairan dekat pesisir tenggara Vietnam [13] dan menunjukkan bahwa CT yang kuat secara konsisten telah mempengaruhi peningkatan aktivitas musim hujan dan memiliki pengaruh pada penambahan penguapan [6]. Selain itu, CT juga telah dipelajari untuk mempengaruhi distribusi Curah hujan harian antara Pulau Jawa dan Laut Jawa yaitu berupa penurunan curah hujan yang terjadi di atas Laut Jawa dan sebaliknya peningkatan curah hujan di seluruh daratan [12]. Cross-equatorial northerly surge (CENS) menyusup ke Laut Jawa dengan lidah dingin (CT) suhu permukaan laut (SST) di awal periode (masa aktif CENS: 16–26 Januari), dan kemudian mulai mundur (masa transisi: 27 Januari–05 Februari); setelah itu, hanya beberapa tanda itu jelas (masa tidak aktif CENS: 06-14 Februari) [11]. CT yang terjadi bersamaan dengan CENS dapat memperparah kejadian hujan ekstrem pada dini hari [9].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui fenomena atmosfer dari hujan ekstrim dini hari yang menyebabkan banjir di Kota Semarang saat puncak musim hujan dan angin monsun Asia yang sedang menguat. Diharapkan dari penelitian ini menjadi acuan dalam kesiagaan pra bencana dan deteksi dini potensi hujan ekstrim untuk peringatan dini kepada stakeholder terkait sebagai imbas aliran angin lintas ekuator salah satunya adalah CENS.

2. Metode Penelitian

Bulan Februari merupakan puncak musim hujan dan monsun Asia juga sedang aktif. Dengan melakukan pembatasan analisisnya yaitu dari aliran angin lintas ekuator dengan analisa kecepatan angin meridional lapisan 925 mb pada wilayah 105 ° E - 115 ° E, 5 ° S - EQ (CENS) dan SST pada wilayah 105 ° E - 112 ° E, 2 ° N - 10 ° N (CT) , analisa VIMT untuk mengetahui transpor uap air dari level rendah hingga ketinggian 500 mb. Transpor uap air memiliki peranan yang penting dalam menganalisis dampak dari beberapa gangguan cuaca terhadap curah hujan [19]. Massa udara yang besar dan perubahan *moisture transport* dapat menggeser tempat terbentuknya hujan. Transpor uap air merupakan jumlah uap air yang ditransfer per satu volume massa udara, dengan rentangan nilai transpor uap air yang berbeda-beda [20]. Salah satu yang mengendalikan mekanisme monsun adalah proses kelembaban [21]. Proses *moisture transport* di khatulistiwa terjadi ketika uap air bergerak dari utara ke selatan saat bulan Desember-Februari (DJF) [22]. Untuk mengetahui sumber daerah kelembaban dapat dihitung dengan *moisture transport* yang terintegrasi secara vertikal (vertically integrated transpor uap air (VIMT)), menggunakan persamaan [21]:

$$VIMT = \int_{surface}^{300\text{ mb}} qU dp \quad (1)$$

Keterangan:

VIMT : Transpor uap air yang terintegrasi secara vertikal

U (Vektor angin): angin zonal dan angin meridional (m/s)

q : Kelembapan spesifik (kg/m⁻¹)

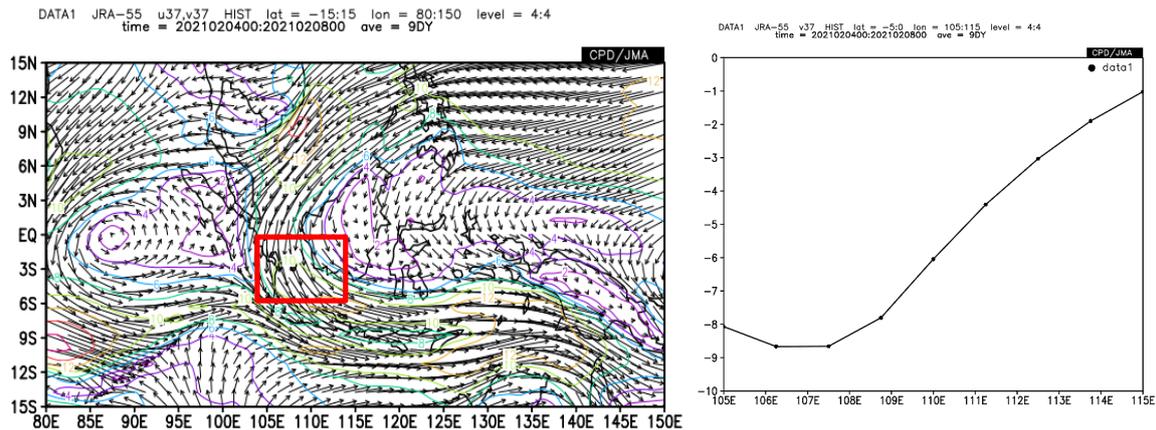
p : pressure/tekanan udara (mb)

Data transpor uap air didapat dari data reanalysis ECMWF/Copernicus (ERA5) dengan resolusi 0.25⁰ x 0.25⁰. ERA5 adalah data reanalysis ECMWF generasi kelima untuk iklim dan cuaca global selama 4 hingga 7 dekade terakhir, ERA5 menggantikan reanalysis ERA-Interim [23]. Parameter meteorologi untuk mengolah data transpor uap air adalah kelembaban spesifik (q), komponen angin barat-timur (u) dan komponen angin utara-selatan (v) mulai dari level ketinggian 1000 mb - 500 mb.

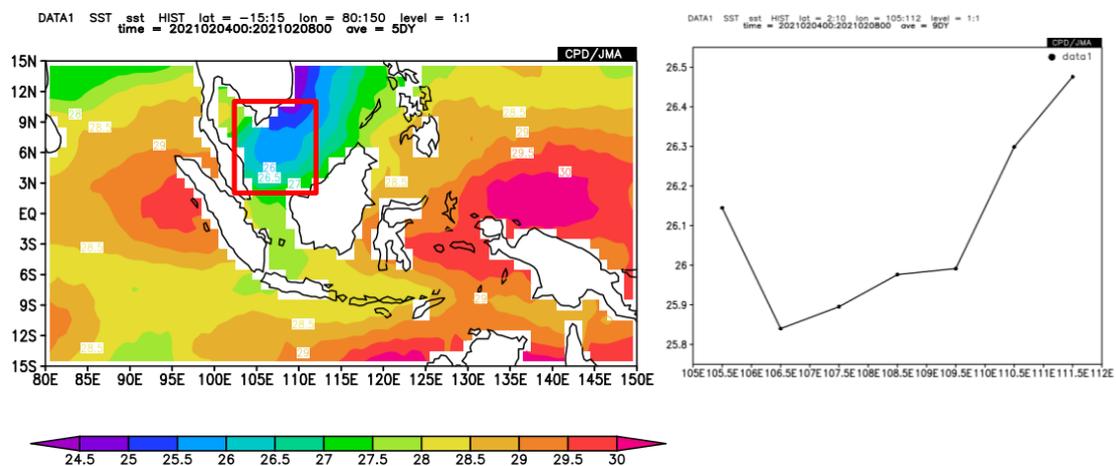
Untuk analisa sebaran curah hujan secara spasial digunakan dua data yaitu dari pos hujan kerjasama dan pemanfaatan teknologi penginderaan jauh yaitu data hujan GsMAP (*Global satellite Mapping of Precipitation*) yaitu data curah hujan dari tim riset *Japan Science and Technology Agency* (JST) dan *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA) [14]. Curah hujan per jam pada dini hari tanggal 6 Februari 2021 di antara jam 01.00 – 06.00 WIB dilakukan analisa curah hujan perjam dari AWS (*Automatic Weather Station*) di sekitar Kota Semarang saat kejadian dan hujan maksimum yang terjadi pada bulan Februari selama periode 2008 – 2020 dengan maksud untuk mengetahui pengaruhnya dengan jelas terhadap potensi resiko banjir, dibantu dengan data sejarah banjir dari BPBD Jawa Tengah. Hasil akhir dari penelitian ini adalah untuk mengantisipasi potensi banjir dimasa akan datang saat puncak musim hujan dan waktu kejadian potensi hujan saat dini hari.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisa CENS-CT dan CS. Berdasarkan gambar 1 (a) dan 1 (b) angin pada level ketinggian 925 mb daily (harian) tanggal 4 – 8 Februari 2021 pada area 105 ° E - 115 ° E, 5 ° S - EQ [4] didapatkan indeks CENS yang diolah menggunakan tools ITACS 5 didapatkan hasil kecepatan angin meridional pada bujur 105 ° E - 112 ° E bernilai - 8.5 - (-1) yang berarti aliran angin permukaan yang melintas ekuator sangat kuat. CENS tersebut tampak mengalami lonjakan aliran angin permukaan yang kuat dari Laut Cina Selatan, kemudian mengalami penetrasi kuat hingga mencapai pesisir utara Jawa.



Gambar 1. (a) Angin rata-rata level 925 mb tanggal 4 – 8 februari 2021 (b) nilai indeks CENS ≤ 5 m/s (CPD/JMA, ITACS)

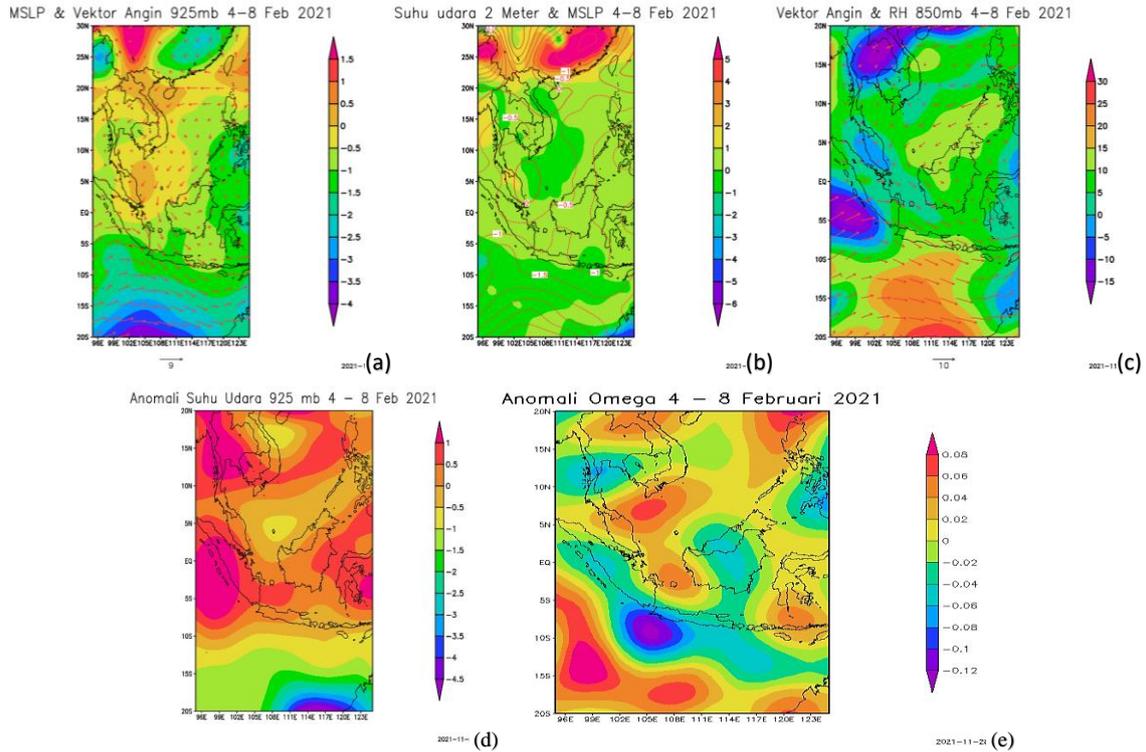


Gambar 2. (a) SST rata-rata level tanggal 4 – 8 februari 2021 (b) Cold Tongue (CT) indeks ≤ 26.4 ° C (CPD/JMA, ITACS)

Dari gambar 2 (a), suhu muka air laut rata-rata pada wilayah CT pada periode tanggal 4 - 8 Februari 2021 terpantau dibawah nilai CT indeks [4] (≤ 26.4 ° C) yaitu pada kisaran 25.8 ° C - 26.4 ° C pada wilayah 105.5 ° E - 110.5 ° E (gambar 2 (b)), hal ini menunjukkan penjarangan suhu dingin muka air laut yang berkaitan dengan penjarangan CENS. Pengaruh CENS dapat diperkuat dengan fenomena CT yaitu aliran massa air dingin dari Laut China Selatan di dekat pantai barat Vietnam dan menyebar ke Laut Jawa seiring dengan dinginnnya suhu permukaan laut, jadi CT yang terjadi bersamaan dengan CENS dapat memperburuk kejadian hujan ekstrem saat fajar.

Analisis sinoptik untuk angin pada 925 mb dan MSLP dari NOAA/PSL gambar 3 (a) menunjukkan aliran angin dari daratan Asia selatan dan Laut Cina Selatan dan didukung aliran kuat dari Samudera Hindia menuju Pulau Jawa didukung oleh anomali dingin suhu udara ketinggian 2 meter. Chang [5] merancang indeks gelombang dingin untuk

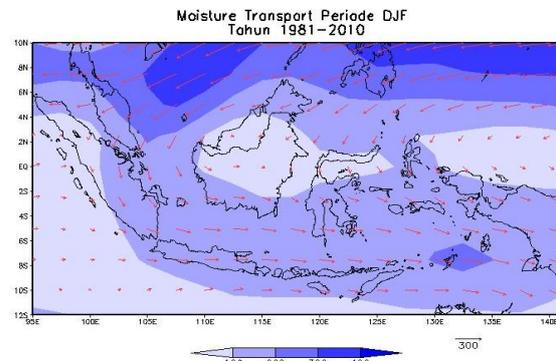
menentukan terjadinya gelombang dingin di wilayah sekitar Laut Cina Selatan menggunakan angin meridional rata-rata 925 hPa antara 110° BT dan $117,5^{\circ}$ BT sepanjang 15° LU. Peristiwa cold surge terjadi ketika indeks ini melebihi 8 m/s [8], dari gambar 3 (a) kecepatan angin telah mencapai 9 m/s. gambar 3 (b) di wilayah Laut Cina Selatan yang mirip lidah dan Samudera Hindia Selatan Pulau Jawa hal ini kemungkinan terkait sirkulasi gelombang dingin timur laut yang cukup kuat yang memberikan gradien suhu lintas khatulistiwa dan komponen barat yang berasal dari Samudera Hindia yang begitu kuat membawa massa udara basah menuju Pulau Jawa. Pertemuan dua massa udara basah dari Asia dan Samudera Hindia di wilayah Pulau Jawa menyebabkan pempunan angin yang dapat membangkitkan awan konvektif potensi hujan. Gelombang dingin timur laut seperti itu telah didokumentasikan dalam peristiwa curah hujan ekstrem sebelumnya [15], [16],[17].



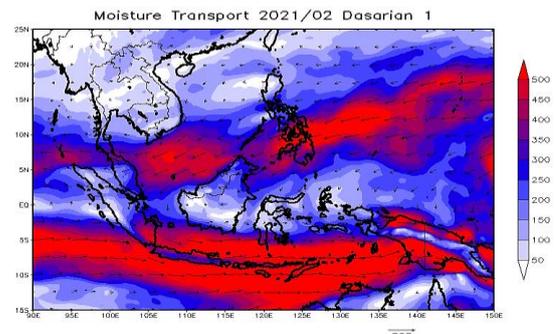
Gambar 3. Dinamika atmosfer rata-rata tanggal 4 – 8 Februari 2021 (a) Anomali angin ketinggian 925 mb [vektor] dan mean sea level pressure [shaded] (b) Anomali mean sea level pressure [kontur] dan suhu udara ketinggian 2 meter [shaded] (c) Anomali angin 850 mb dalam m/s [vector] dan kelembaban relatif dalam persen [shaded] (d) Anomali suhu udara 925 mb dalam Kelvin (e) Anomali omega dalam Pa/s

Sirkulasi yang tidak normal ini mendorong udara dengan kelembaban relatif yang sangat tinggi ke pulau-pulau ini [18]. Namun pada gambar 3 (c) Kelembaban yang tidak normal, hingga > 25 % lebih tinggi dari klimatologi, memicu konveksi kuat yang ditunjukkan oleh gerakan vertikal (minimal omega pada 850 mb) di daerah Samudera Hindia Selatan Pulau Jawa, Sepanjang Pesisir Selatan Pulau Sumatera dan Sebagian besar wilayah Pulau Kalimantan (Gambar 3 (e)). Komponen angin dari timur yang kuat di Samudera Hindia selatan Jawa membawa udara basah dan hangat dari Samudera Hindia Barat Daya dari Pulau Sumatera. Massa udara ini dominan mengalir ke wilayah Pulau Jawa dengan cukup tambahan massa udara dari Laut Cina Selatan. Namun, untuk setiap kejadian curah hujan ekstrem, situasi cuaca lokal yang berbeda mungkin terletak pada asalnya meskipun konfigurasi atmosfer skala besar yang dominan [18].

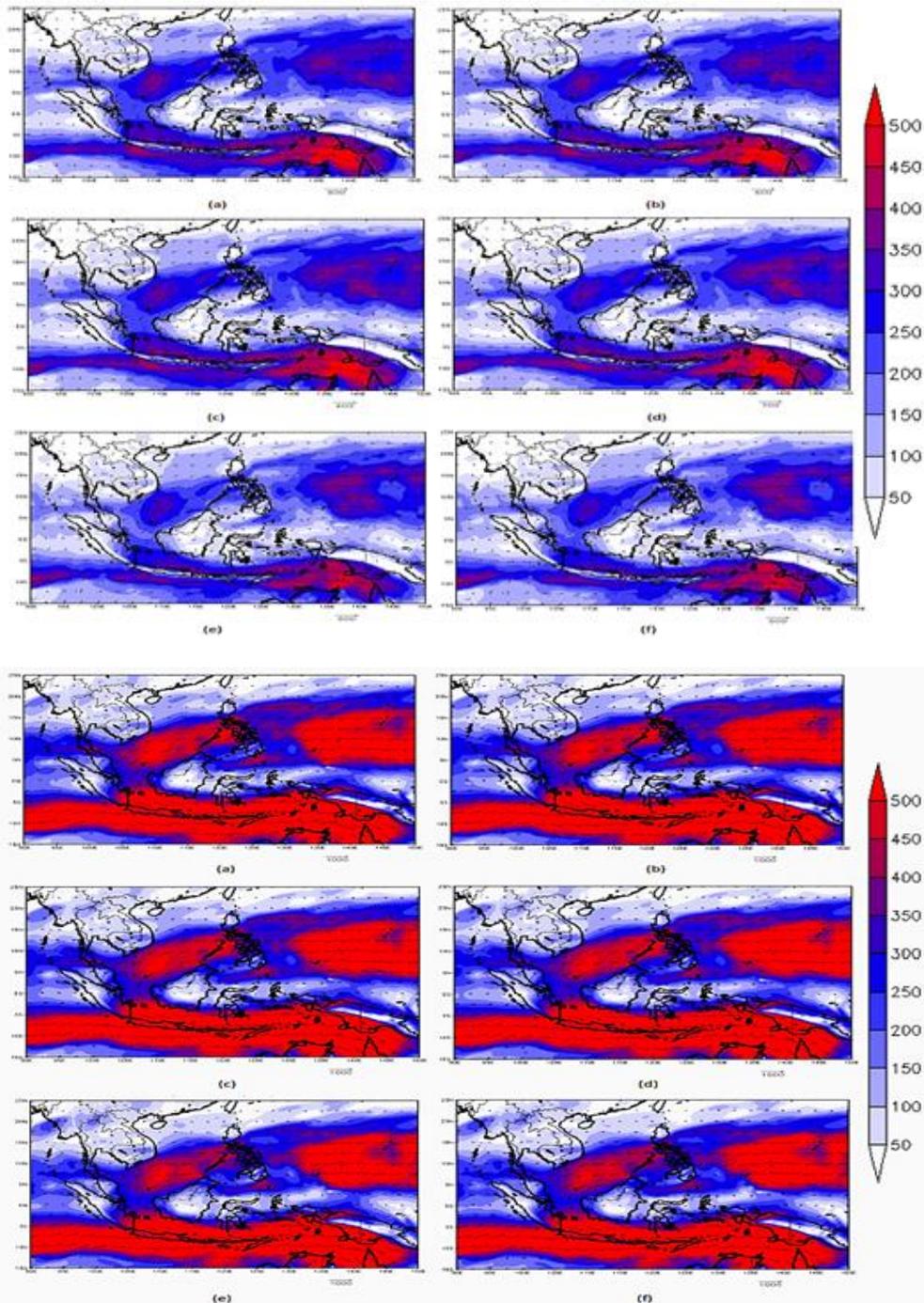
Analisa Transpor Uap Air. Ketersediaan uap air merupakan salah satu komponen utama dalam pembentukan awan-awan konvektif untuk menghasilkan hujan. Pada gambar 4, transpor uap air rata-rata 1981 - 2010 pada periode DJF (Desember-Januari-Februari) adalah 200 - 300 Kg/ms⁻¹, bersamaan dengan musim hujan berlangsung (monsun asia). Pasokan uap air berasal dari Samudera Pasifik Barat dan Laut Cina Selatan.



Gambar 4. Moisture transport rata-rata 1981 - 2010 periode DJF



Gambar 5. Moisture transport level 1000 - 500 mb dasarian ke-1 bulan Februari 2021.



Gambar 6. Low level Moisture transport 1000 - 850 mb tanggal 5 Februari 2021: (a) jam 18.00 UTC (b) jam 19.00 UTC (c) jam 20.00 UTC (d) jam 21.00 UTC (e) jam 22.00 UTC (f) jam 23.00 UTC

Gambar 5, pada dasarian ke-1 bulan Februari 2021 transpor uap air yang tinggi berasal dari Samudera Pasifik Barat, Laut Cina Selatan dan Samudera Hindia sebelah Selatan Pulau Sumatera dengan kandungan uap air $500 - 800 \text{ Kg/ms}^{-1}$. Sehingga pada dasarian ke-1 bulan Februari 2021 dua sistem transpor uap air yang berperan besar terhadap suplai uap air di wilayah Jawa Tengah yaitu dari utara yaitu Samudera Pasifik Barat dan Laut Cina Selatan kemudian melewati Laut Jawa dan lebih banyak dari Barat berasal dari Samudera Hindia sebelah Selatan Pulau Sumatera dan Jawa. Pada analisis transpor uap air per-

jam difokuskan pada saat kejadian hujan yang mengakibatkan banjir di Kota Semarang tanggal 6 Februari 2021 pada low level moisture transport level 1000 - 850 mb dan perbandingannya adalah moisture transport level 1000 - 500 mb agar diketahui perbedaan jumlah kandungan uap airnya. Pemilihan waktu kejadian dengan berdasarkan data curah hujan dari AWS dan informasi dari BPBD Jawa Tengah. Hujan dengan intensitas tinggi terjadi mulai jam 01.00 - 06.00 WIB tanggal 6 Februari 2021 (18.00 - 23 UTC tanggal 5 Februari 2021).

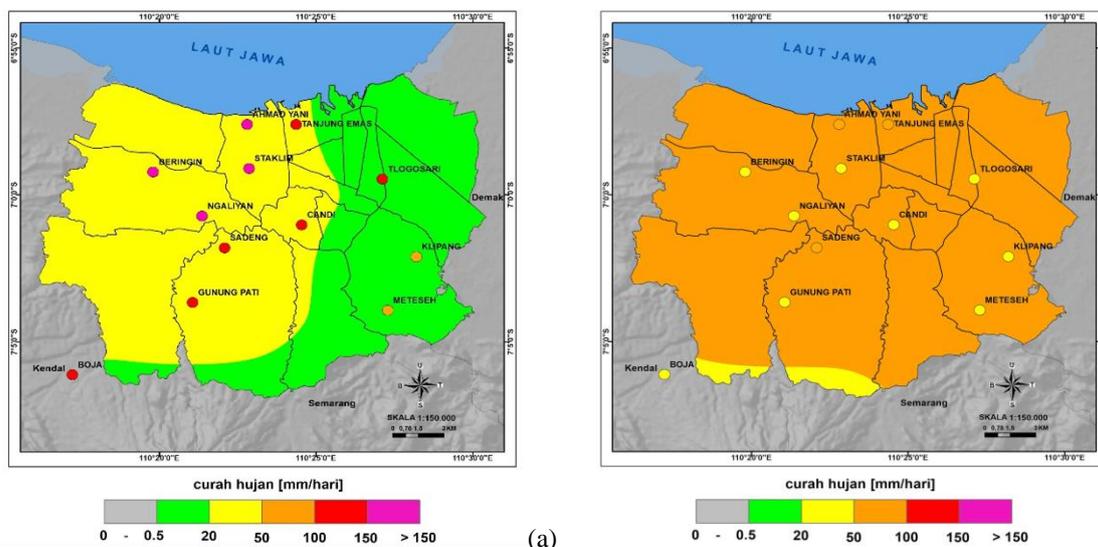
Pada Gambar 6 dapat dijelaskan pada low level moisture transport 1000 - 850 mb kandungan uap air 450 - > 500 Kg/ms⁻¹ (waktu dalam WIB adalah tanggal 6 Februari 2021, waktu dalam UTC adalah tanggal 5 Februari 2021) mulai meningkat di wilayah sebelah utara sekitar Pulau Jawa mulai jam 18.00 UTC (01.00 WIB) dan mencapai puncaknya sekitar pukul 20.00 - 21.00 UTC (03.00 - 04.00 WIB), kemudian berangsur menurun dengan kandungan uap air 350 - 450 Kg/ms⁻¹ pada jam 22.00 - 23.00 UTC (05.00 - 06.00 WIB). Secara umum transport uap air berasal dari Samudera Hindia dan Laut Cina Selatan.

Dari gambar 7, moisture transport 1000 - 500 mb kandungan uap air 500 - 1000 Kg/ms⁻¹ (waktu dalam WIB adalah tanggal 6 Februari 2021, waktu dalam UTC adalah tanggal 5 Februari 2021) merata di wilayah sebelah utara dan selatan sekitar Pulau Jawa mulai jam 18.00 UTC (01.00 WIB) hingga 23.00 UTC (06.00 WIB), demikian juga untuk disekitar wilayah Laut Cina Selatan. Secara umum transport uap air berasal dari Samudera Hindia dan Laut Cina Selatan.

Analisa Curah Hujan. Berikut adalah peta spasial perbandingan curah hujan pengamatan/observasi dari beberapa pos hujan kerjasama di Kota Semarang dengan peta spasial luaran citra satelit GsMAP pada tanggal 5 dan 6 Februari 2021: Gambar 8 (a) distribusi curah hujan berdasarkan pengamatan/observasi dari pos hujan kerjasama (plot dalam bentuk poin) di wilayah Kota Semarang diukur mulai tanggal 5 february 2021 pukul 07.00 LT - 6 Februari 2021 pukul 07.00 LT, Kota Semarang terukur curah hujan dengan intensitas lebat hingga ekstrim, dengan kriteria curah hujan ekstrim (> 150 mm/hari) meliputi wilayah Kecamatan Tugu; sebagian besar wilayah Kecamatan Ngaliyan dan Semarang Barat; sebagian kecil wilayah

Kecamatan Mijen dan Semarang Selatan. Sedangkan kriteria curah hujan sangat lebat (100 - 150 mm/hari) meliputi wilayah Kecamatan Semarang Utara, Semarang Tengah, Semarang Timur, Gayamsari, Genuk, Candisari dan Gajahmungkur; Sebagian besar wilayah Kecamatan Semarang Selatan, Mijen dan Gunungpati; Sebagian wilayah Kecamatan Pedurungan; Sebagian kecil wilayah Kecamatan Semarang Barat, Banyumanik, dan Tembalang. Curah hujan dengan kriteria lebat (50 - 100 mm/hari) meliputi sebagian besar wilayah Kecamatan Banyumanik dan Tembalang; Sebagian wilayah Kecamatan Pedurungan; sebagian kecil wilayah Kecamatan Gunungpati.

Pada overlay Distribusi curah hujan berdasarkan citra satelit GsMAP (plot dalam bentuk spasial) data harian diambil tanggal 5 Februari 2021 pukul 00.00 - 23.00 UTC, sudah menunjukkan perbedaan *underestimate* dengan distribusi curah hujan pengamatan/observasi di wilayah Kota Semarang, dengan kriteria curah hujan sedang hingga ringan. Kriteria curah hujan sedang (20 - 50 mm/hari) meliputi wilayah Kecamatan Tugu, Gajah Mungkur, Ngaliyan dan Semarang Barat; Sebagian besar wilayah Kecamatan Mijen dan Gunungpati; Sebagian wilayah Kecamatan Semarang Utara, Semarang Tengah, Semarang selatan dan Candisari; Sebagian kecil wilayah Kecamatan Banyumanik. Curah hujan dengan kriteria ringan (0.5 - 20 mm/hari) meliputi wilayah Kecamatan Tembalang, Pedurungan, Genuk, Gayamsari dan Semarang Timur; Sebagian besar wilayah Kecamatan Banyumanik; Sebagian wilayah Kecamatan Candisari, Semarang Selatan, Semarang Tengah dan Semarang Utara; Sebagian kecil wilayah Kecamatan Gunungpati dan Mijen.



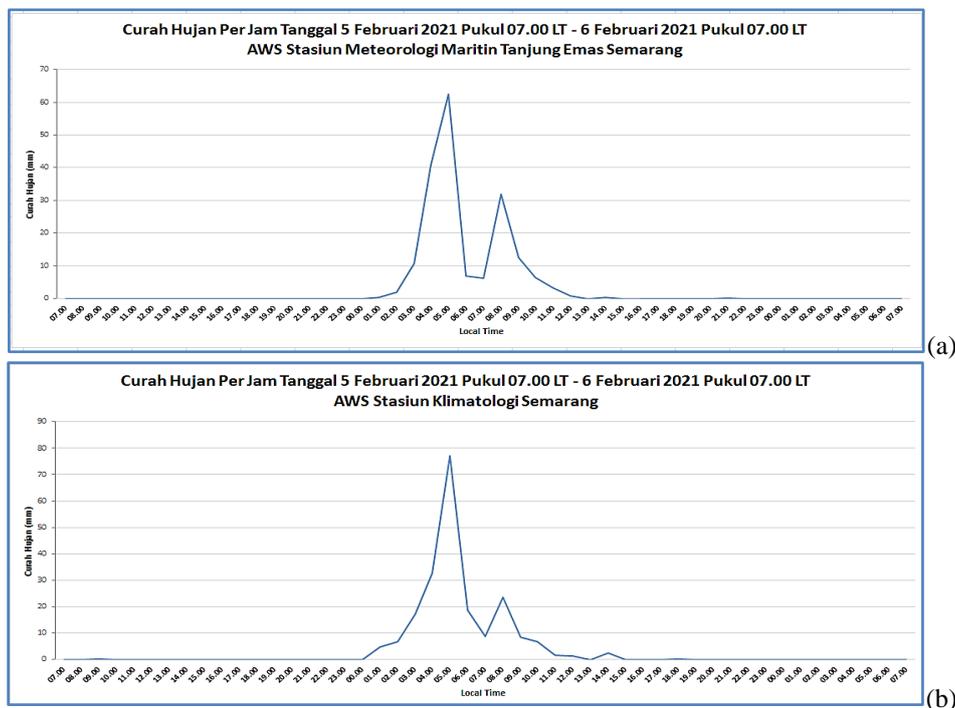
Gambar 8. Distribusi curah hujan observasi [poin] overlay dengan GsMAP [spasial] (a) Overlay observasi dan GsMAP tanggal 5 Februari 2021 (d) Overlay observasi dan GsMAP tanggal 6 Februari 2021.

Gambar 8 (b) distribusi curah hujan berdasarkan pengamatan/observasi dari pos hujan kerjasama di wilayah Kota Semarang diukur mulai tanggal 6 Februari 2021 pukul 07.00 LT - 7 Februari 2021 pukul 07.00 LT, Kota Semarang terukur curah hujan dengan intensitas sedang hingga lebat, untuk curah hujan dengan kriteria lebat (50 - 100 mm/hari) meliputi wilayah Kecamatan Semarang Utara; Sebagian wilayah Kecamatan Semarang Barat, Semarang Tengah dan Semarang Timur; Sebagian kecil wilayah Kecamatan Tugu, Gayamsari, Genuk, Mijen, Ngaliyan dan Gunungpati. Kriteria curah hujan sedang (20 - 50 mm/hari) meliputi wilayah Kecamatan Mijen, Banyumanik, Tembalang, Pedurungan, Candisari, Gajahmungkur dan Semarang Selatan; Sebagian besar wilayah Kecamatan Gunungpati, Ngaliyan, Tugu, Genuk, Semarang timur dan Gayamsari; Sebagian wilayah Kecamatan Semarang Tengah.

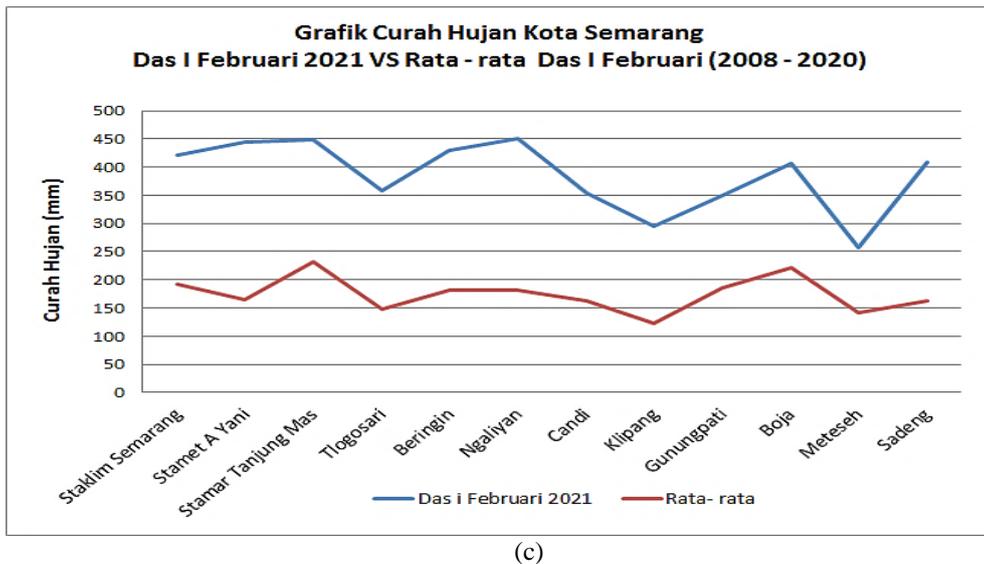
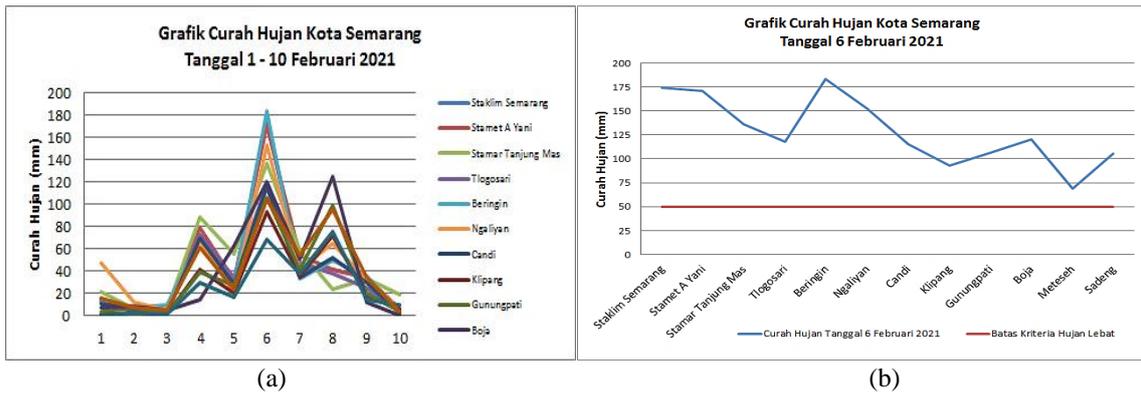
Distribusi curah hujan berdasarkan citra satelit GsMAP data harian diambil tanggal 6 Februari 2021 pukul 00.00 - 23.00 UTC, sudah menunjukkan perbedaan *overestimate* dengan distribusi curah hujan pengamatan/observasi di wilayah Kota Semarang, dengan kriteria curah hujan lebat meliputi hampir seluruh wilayah Kota Semarang. Kriteria curah hujan lebat (50 - 100 mm/hari) meliputi wilayah Kecamatan Tugu, Semarang Barat, Semarang Utara, Genuk, Semarang Timur, Semarang Tengah, Gayamsari,

Semarang Selatan, Pedurungan, Gajah Mungkur, Candisari, Tembalang dan Ngaliyan; Sebagian besar wilayah Kecamatan Mijen dan Gunungpati. Curah hujan dengan kriteria sedang (20 - 50 mm/hari) meliputi sebagian kecil wilayah Kecamatan Mijen dan Gunungpati.

Pada gambar 9 (a) pada AWS Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Emas Semarang peningkatan hujan mulai jam 01.00 LT terukur 0.4 mm/jam (kategori hujan ringan), kemudian meningkat dan mencapai puncaknya pada pukul 05.00 LT terukur 62.6 mm/jam (kategori hujan sangat lebat) dan meningkat kembali pada pukul 08.00 LT terukur 32 mm/jam (kategori hujan sangat lebat), kemudian menurun secara gradual hingga pukul 12.00 LT terukur 0.8 mm/jam (kategori hujan ringan). Gambar 9 (b) pada AWS Stasiun Klimatologi Semarang peningkatan hujan mulai jam 01.00 LT terukur 4.8 mm/jam (kategori hujan ringan), kemudian meningkat dan mencapai puncaknya pada pukul 05.00 LT terukur 77 mm/jam (kategori hujan sangat lebat) dan meningkat kembali pada pukul 08.00 LT terukur 23.6 mm/jam (kategori hujan sangat lebat), kemudian menurun secara gradual hingga pukul 12.00 LT terukur 1.4 mm/jam (kategori hujan ringan). Dari penjelasan data curah hujan dari 2 (dua) AWS tersebut diatas, terdapat kemiripan waktu mulai hujan, puncak hujannya dan penurunan curah hujannya dalam waktu yang sama.



Gambar 9. Perbandingan curah hujan per jam tanggal 5 Februari 2021 pukul 07.00 LT – 6 Februari 2021 pukul 07.00 LT (a) Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Emas Semarang (b) Stasiun Klimatologi Semarang.

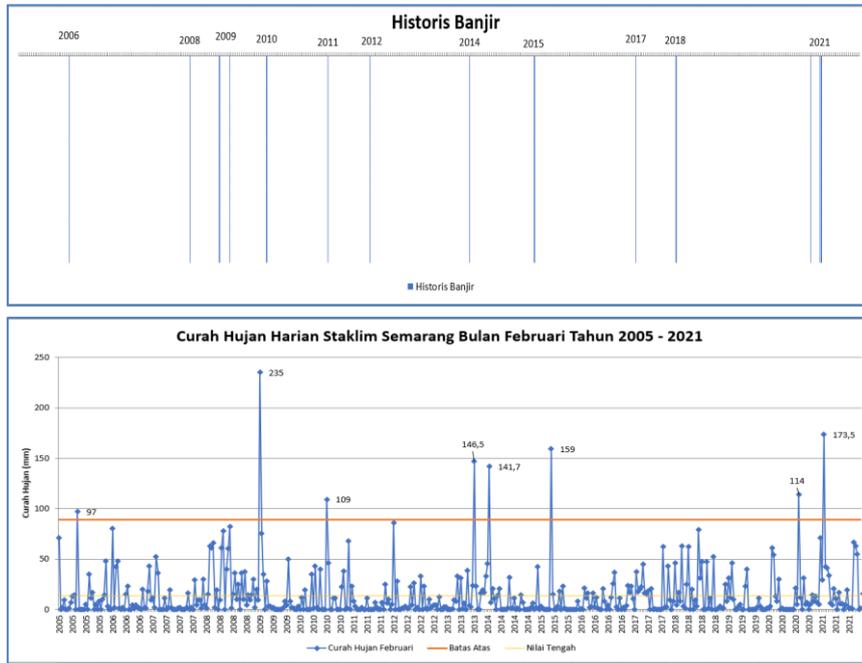


Gambar 10. (a) Grafik Curah Hujan periode Tanggal 1 - 10 Februari 2021 wilayah Kota Semarang (b) Grafik Curah Hujan Tanggal 6 Februari 2021 wilayah Kota Semarang (c) Grafik Perbandingan Curah Hujan Dasarian I Februari 2021 dengan Curah Hujan Rata - rata Dasarian I Februari (Tahun 2008 - 2020) wilayah Kota Semarang

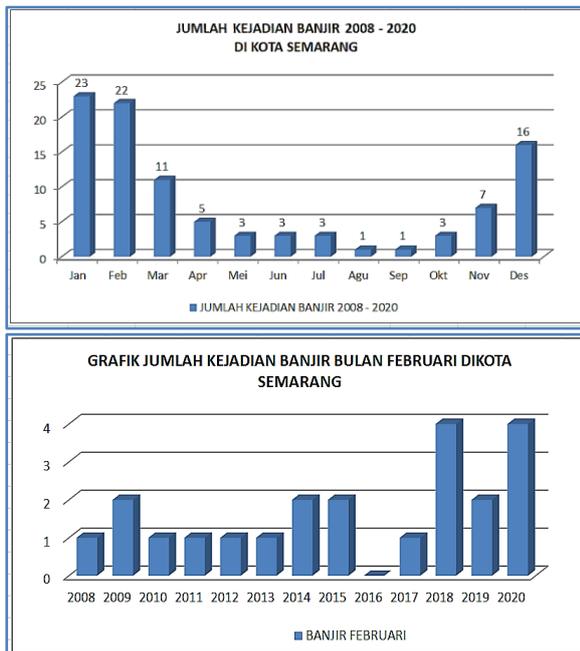
Curah hujan pada Dasarian 1 Februari 2021 pada Gambar 10.(a) menunjukkan pada umumnya di wilayah Kota Semarang kejadian hujan lebat hingga ekstrim terjadi pada tanggal 4, 6 dan 8. Secara khusus hujan ekstrim pada tanggal 6 Februari terjadi di wilayah Stasiun Klimatologi Semarang terukur 173.5 mm/hari (kategori hujan ekstrim) dan Beringin terukur 183 mm/hari (kategori hujan ekstrim), secara umum seluruh pos hujan di kota Semarang untuk pengukuran pada tanggal 6 Februari 2021 lebih tinggi curah hujannya bila dibandingkan dengan curah hujan yang diukur pada tanggal 4 dan 8 Februari. Gambar 10.(b) diseluruh pos hujan di kota Semarang berdasarkan pengukuran tanggal 6 Februari 2021 juga menunjukkan lebih tinggi curah hujannya dibandingkan dengan batas kriteria hujan lebat per

hari yaitu 50 mm/hari. Pada Gambar 10.(c) Jika dibandingkan dengan rata-rata Dasarian 1 Februari (2008-2020) curah hujan Dasarian 1 Februari 2021 lebih besar 150 - 300 mm dari reratanya.

Berdasarkan Gambar 11 kejadian banjir bulan Februari yaitu tanggal 2 dan 8 Februari 2009, 1 Februari 2010, 3 Februari 2014, 12 Februari 2015 dan 6 – 7 Februari 2021 terdapat kaitannya dengan curah hujan tinggi harian yang melewati batas atas 89 mm/hari. Tertinggi saat banjir pada tahun 2009 tercatat curah hujan di Staklim Semarang 235 mm/hari, sedangkan banjir pada 6 Februari 2021 sebesar 173.5 mm/hari.



Gambar 11. (atas) Peristiwa banjir di Kota Semarang pada bulan Februari selama 2005–2021. Data historis dari tahun 2005–2021 dikumpulkan dari DIBI BNPB. (bawah) Curah hujan harian dari Stasiun Klimatologi Semarang untuk bulan Februari periode tahun 2005 – 2021, symbol (*) menunjukkan batas atas adalah 89 mm dan (***) menunjukkan nilai tengah adalah 14 mm.



Gambar 12. Perbandingan kejadian banjir tahun 2008 – 2020 di Kota Semarang (a) Jumlah kejadian banjir perbulan (b) Kejadian banjir di bulan Februari (BPBD Kota Semarang dan BNPB)

Hujan Ekstrem Pemicu Banjir dalam konteks historis. Pada Gambar 12.a merupakan jumlah kejadian banjir yang terjadi di kota semarang selama

periode tahun 2008 - 2020 dengan jumlah banjir sebagai berikut pada bulan Januari jumlah banjir yang terjadi adalah 23 kali, bulan Februari sebanyak 22 kali, bulan Maret sebanyak 11 kali, bulan April sebanyak 5 kali, bulan Mei - Juli sebanyak 3 kali, bulan Agustus - September sebanyak 1 kali. bulan Oktober sebanyak 3 kali, Bulan November sebanyak 7 kali sedangkan di bulan Desember sebanyak 16 kali kejadian banjir. Dilihat dari jumlah kejadian selama periode tahun 2008 - 2020 tertinggi adalah bulan Januari sebanyak 23 kali kejadian, sedangkan bulan Februari sejumlah 22 kejadian banjir jadi di Kota Semarang kejadian banjir paling sering terjadi adalah pada bulan Januari dan Februari atau saat puncak musim hujan. Gambar 12. b. menunjukkan bahwa dalam periode tahun 2008 - 2020 jumlah kejadian banjir di Kota Semarang pada bulan Februari adalah cenderung meningkat signifikan.

Tabel 1 menunjukkan bahwa setiap kejadian banjir di Kota Semarang ada hubungannya dengan kejadian hujan lebat - sangat lebat, di samping itu juga kejadian banjir di suatu wilayah di Kota Semarang disebabkan karena adanya aliran debit air dari wilayah lain. Hasil *Pearson's correlation coefficient* (r) curah hujan ekstrim (>150 mm) dan CENS sebesar 0.264 menunjukkan korelasi lemah berkisar antara 0.2 sampai 0.4, sedangkan *Pearson's correlation coefficient* (r) curah hujan ekstrim (>150 mm) dan CT sebesar 0.180 menunjukkan korelasi sangat lemah yakni antara 0 sampai 0.2 (Tabel 2).

Tabel 1. Sinkronisasi Data curah hujan dengan kejadian banjir pada bulan Februari dalam periode waktu tahun 2012 - 2020

No	Tahun	Tanggal Kejadian	Wilayah Kejadian (Kecamatan)	Pos Hujan												
				Bandara A.Yani	Tanjung Mas	Tlogosari	Semarang Barat	Beringin	Ngaliyan	Candi	Klipang	Gunung Pati	Boja Mijen	Meteseh	Dargo (Sadeng)	
1	2012	3	Pedurungan	86	96	140	87									
	2012		Semarang Timur													
2	2012	19	Ngaliyan					105	123							
	2012		Tugu													
3	2013	22	Gunung Pati	170,4	135	132	146,5	156,6	142	84,5	89,9	170,5				
	2013		Gajah Mungkur													
	2013	23	Genuk													
	2013		Candisari													
	2013		Tugu													
2013		Gayamsari														
4	2014	3	Ngaliyan	112	87,7	82,5	141,7	179,4	120	141	80	155	210			
	2015	12	Gayamsari	145,7	119,4	111,8	159	113,2	109	157	124	161	180	83		
2015		Semarang Timur														
2015		Genuk														
2015		Pedurungan														
2015		Semarang Barat														
6	2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	2017	6	Tugu						45		23,5	81				89
	2017		Ngaliyan													
8	2018	15	Mangkang		138		79					103	121	86	88	
9	2019	7	Semarang Utara	53	93		46	52				40		49	102	
	2019		Gunung Pati													
10	2020	20	Pedurungan	121	84	109	114	129	135	123	59	124	152	71	127	
	2020		Gayamsari													

Tabel 2. Pearson's correlation coefficient (r) curah hujan ekstrim (>150 mm) terhadap CENS dan CT

	Korelasi	P value
CH ekstrim-CENS	0.264	0.492
CH ekstrim-CT	0.180	0.643

4. Kesimpulan

Pada awal bulan Februari 2021, CENS (*Cross Equatorial Northerly Surge*) mengalami lonjakan aliran permukaan dari LCS (*Laut Cina Selatan*) hingga mencapai pesisir utara Pulau Jawa sehingga memicu aktivitas konveksi yang berpotensi hujan. Analisa dari wilayah CT (*Cold Tongue*) menunjukkan penjaralan suhu dingin dari LCS bersamaan dengan CENS hingga Laut Jawa yang berpotensi meningkatkan potensi hujan lebat. *Pearson's correlation coefficient (r)* curah hujan ekstrim (>150 mm) dan CENS sebesar 0.264 menunjukkan korelasi lemah (0.2 - 0.4), sedangkan *Pearson's correlation coefficient (r)* curah hujan ekstrim (>150 mm) dan CT sebesar 0.180 menunjukkan korelasi sangat lemah (0 - 0.2). Hal ini mengindikasikan bahwa kemungkinan ada faktor lain selain CENS dan CT yang mempengaruhi curah hujan ekstrim di Kota Semarang.

Disisi lain faktor aktifitas aliran massa udara basah dari Samudera Hindia sebelah Barat Pulau Jawa yang paling dominan untuk menambah potensi hujan hingga ekstrim dibuktikan dari Analisa transport uap air dan omega dan kemungkinan adanya cuaca lokal yang ikut mempengaruhi kondisi cuaca hujan lebat hingga ekstrim tersebut.

Daftar Pustaka

- [1] Bappeda Kota Semarang. "Kondisi Umum Daerah". Internet: https://bappeda.semarangkota.go.id/uploaded/publikasi/BA_B_II.pdf, diakses tanggal 25 maret 2021
- [2] Kompas.com. "Update: Ini Wilayah di Semarang yang Terendam Banjir dan Tanah Longsor." Internet: <https://www.kompas.com/tren/read/2021/02/06/191008865/update-ini-wilayah-di-semarang-yang-terendam-banjir-dan-tanah-longsor?page=all>, diakses tanggal 27 Maret 2021
- [3] Abdul Hamid et al. 2020. Identifikasi Pola Curah Hujan Diurnal Menggunakan Citra Satelit GsMAP (Global Satellite Mapping of Precipitation) di Wilayah Jabodetabek. Prosiding Seminar Nasional Geografi III (UGM) 2020 (Peran Geografi Dalam Agenda Pembangunan Nasional 2019 – 2024), Juli 2020. Internet: https://www.researchgate.net/publication/342700876_Identifikasi_Pola_Curah_Hujan_Diurnal_Menggunakan_Citra_Satelit_GSMAP_Global_Satellite_Mapping_of_Precipitation_d_i_Wilayah_Jabodetabek, diakses tanggal 12 Juni 2021.
- [4] Taryono, Fatkhuroyan, 2020, Dampak Seruak Dingin Monsun Dingin Asia Terhadap Variabilitas Hujan di Jawa, Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya) 2020, E-ISSN:2548-8325/P-ISSN: 2548-8317.

- [5] Chang, C.P., Harr, P.A., dan Chen, H.J. (2005). Synoptic Disturbance over the Equatorial South China Sea and Western Maritime Continent during Boreal Winter. *Monthly Weather Review*. Vol. 133.489-503
- [6] E Yulihastin et al 2019, Diurnal Rainfall Propagation Relate to Cold Surge-Cold Tongue Interaction over The Northern Coast of West Java, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 303 (2019) 012007, doi:10.1088/1755-1315/303/1/012007
- [7] Hattori et al 2011, The Cross-Equatorial Northerly Surge over the Maritime Continent and Its Relationship to Precipitation Patterns, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol. 89A, pp. 27--47, 2011, DOI:10.2151/jmsj.2011-A02
- [8] Eumetrain.org. "Meteorological Physical Background." Internet: <http://www.eumetrain.org/satmanu/CM4SH/InNCS/navmenu.php?page=2.0.0>, diakses tanggal 25 Maret 2021
- [9] Tempo.co. "Peneliti Lapan Temukan Faktor Penyebab Banjir Besar Jakarta." Internet: <https://tekno.tempo.co/read/1355684/peneliti-lapan-temukan-faktor-penyebab-banjir-besar-jakarta/full&view=ok>,
- [10] Liu Q, Jiang X, Xie S-P and Liu W T 2004 A Gap in the Indo-Pacific Warm Pool over the South China Sea in Boreal Winter: Seasonal Development and Interannual Variability *J. Geoph. Res.* 109 1-10
- [11] Varikoden H, Samah A A and Babu C A 2009 The Cold Tongue in South China Sea during Boreal Winter and Its Interaction with the Atmosphere *Advan. In Atm. Sci.* 27 265-273
- [12] Koseki S, Koh T-Y and Teo C-K 2012 Effects of the Cold Tongue in the South China Sea on the Monsoon, Diurnal Cycle and Rainfall in the Maritime Continent *Quart. J. of the Royal Met. Soc.* doi: 10.1002/qj.2052
- [13] Thompson B, Tkalic P, Malanotte-Rizzoli P, Fricot B and Mas J 2015 Dynamical and Thermodynamical Analysis of the South China Sea Winter Cold Tongue *Clim. Dyn.* 47 1629-1646
- [14] Ferdian et al. 2017. Penggunaan Data Hujan Satelit Terkoreksi untuk Analisis Kejadian Banjir di DAS Rokan. *RACIC Jurnal Teknik Sipil Universitas Abdurrah.* Volume 2, No 2, Desember 2017. ISSN. 2527-7073. Internet: <http://download.garuda.ristekdikti.go.id/article.php?article=660436&val=10451&title=%20PENGGUNAAN%20DATA%20HUJAN%20SATELIT%20TERKOREKSI%20UNTUK%20ANALISIS%20KEJADIAN%20BANJIR%20DI%20DAS%20ROKAN>, diakses tanggal 12 Juni 2021.
- [15] Aldrian, E., 2008. Dominant factors of Jakarta's three largest floods. *J. Hidrosfir Indonesia*. 3, 107–114.
- [16] Tangang, F.T., Juneng, L., Salimun, E., Vinayachandran, P.N., Seng, Y.K., Reason, C.J.C., Behera, S.K., Yasunari, T., 2008. On the roles of the northeast cold surge, the Borneo vortex, the Madden-Julian Oscillation, and the Indian Ocean dipole during the extreme 2006/2007 flood in southern Peninsular Malaysia. *Geophys. Res. Lett.* 35, L14S07. <http://dx.doi.org/10.1029/2008GL033429>.
- [17] Koseki, S., Koh, T.-Y., Teo, C.-K., 2014. Borneo vortex and mesoscale convective rainfall. *Atmos. Chem. Phys.* 14,4539–4562. <http://dx.doi.org/10.5194/acp-14-4539-2014>.
- [18] Siswanto et al., 2017. A Very Anusual Precipitation Event Assosiated With the 2015 Floods in Jakarta: an Analysis of the Meteorological Factors, *Weather and Climate Extremes* 16 (2017) 23-28. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2017.03.003>.
- [19] Batubara, M, P, N, 2017 The Impact of Meridional Wind to The Moisture Transport and Weather Formation In West Indonesia On Februari 2014, *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)* 2017. Volume VI, Oktober 2017, DOI: doi.org/10.21009/03.SNF2017.02.EPA.06. p-ISSN: 2339-0654, e-ISSN: 2476-9398.
- [20] Ardianto, R., 2014, *Transpor Uap Air Pada Borneo Vortex Serta Pengaruhnya Terhadap Curah Hujan, Skripsi, Program Sarjana Sains Terapan, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Tangerang.*
- [21] Fasullo, J dan Webster, P, J, 2003, A Hydrological Definition of Indian Monsoon Onset and Withdrawal, *Journal of Climate* Volume 16, American Meteorological Society, 1 Oktober 2003, [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016%3C3200a:AHDOIM%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016%3C3200a:AHDOIM%3E2.0.CO;2)
- [22] Syahidah, Muhshonati, 2012, *Keterkaitan Borneo Vortex Terhadap Curah Hujan di Wilayah Indonesia Bagian Barat dan Tengah*, Institut Teknologi Bandung, (<https://studylibid.com/doc/300287/keterkaitan-borneo-vortex-dengan-curah-hujan-di>) (diakses tanggal 24 Mei 2021)
- [23] Copernicus, Implemented by ECMWF. "ERA5 Hourly Data on Pressure Levels From 1979 to Present" <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=overview>, diakses tanggal 2 Mei 2021.