Megasains, Vol. 12, No. 1, 1-7 p-ISSN 2086-5589, e-ISSN 2723-2239 https://megasains.gawbkt.id ©GAW BKT, 2021



KOREKSI INSTRUMEN PADA SEISMOMETER BROADBAND TRILIUM-120P DAN SHORT-PERIOD DS-04A CO-LOCATED DI STASIUN GEOFISIKA DENPASAR (STUDI KASUS: GEMPABUMI LOMBOK 31 MARET 2016)

INSTRUMENT CORRECTION ON CO-LOCATED TRILIUM-120P BROADBAND SEISMOMETER AND DS-04A SHORT-PERIOD SEISMOMETER AT DENPASAR GEOPHYSICS STATION (CASE STUDY: LOMBOK EARTHQUAKE MARCH 31^{TH} 2016)

I Putu Dedy Pratama^{1*}, Pande Komang Gede Arta Negara², Dwi Karyadi Priyanto¹

¹Stasiun Geofisika Denpasar

²Stasiun Geofisika Mataram

*E-mail: checkmate_mail@yahoo.co.id

Naskah masuk: 01 Juli 2020 Naskah diperbaiki: 09 Maret 2021 Naskah diterima: 16 Maret 2021

ABSTRAK

Dalam penjalarannya sinyal seismik yang terekam oleh alat merupakan konvolusi dari sumber, penjalaran, efek lokal, dan yang menjadi pengaruh terbesar adalah respon instrumen. Oleh karena itu, sangat penting untuk menghilangkan respon instrumen pada rekaman seismogram mendapatkan getaran tanah sesungguhnya. Penulis menggunakan rekaman gempabumi Lombok pada 31 Maret 2016 pukul 09:34:43 UTC magnitude 4,7 koordinat 8.480 LS dan 116.020 BT dengan kedalaman 10 km yang terekam oleh seismometer Broadband Trilium-120P dan Short-period DS-04A yang terpasang co-located di Stasiun Geofisika Denpasar. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan nilai korelasi kedua sinyal dari alat yang berbeda sehingga dapat menginterpretasikan getaran tanah sesungguhnya. Untuk memperoleh nilai getaran tanah yang sesungguhnya diperlukan informasi poles dan zeros guna mendapatkan nilai fungsi transfer yang selanjutnya didekonvolusi dengan sinyal seismogram. Hasil penghilangan pengaruh respon instrumen menunjukan kemiripan antara sinyal Broadband Short-period secara kualitatif peningkatan nilai normalisasi korelasi sinyal secara kuantitatif. Perubahan spektrum frekuensi pada sinyal setelah dekonvolusi menunjukan hasil kemiripan antara sinyal setelah koreksi instrumen dibandingkan dengan sebelum koreksi instrumen. Kata kunci: respon instrumen, poles, zeros, Broadband, Short-period.

ABSTRACT

In propagation of seismic signals which recorder by instrument are convolution from source, path, and site effects, the one we know most precisely is the instrument filter. Therefore, it is very important to remove the instrument response to a recorded seismogram to gain true ground motions. The authors use a recording of Lombok earthquake on March 31th, 2016 at 09:34:43 UTC 4.7 magnitude coordinate 8,480 LS and 116,020 BT with a depth of 10 km which recorded on seismometers Broadband TSA-100S and Shortperiod DS-04A attached co-located in Geophysics Station Denpasar. This study aims to increase the correlation value of the two signals from different sensors so that they can interpret real ground motions to obtain the value of true ground motions which are required information poles and zeros to get the value of the transfer functions which further deconvoluted to the seismogram signal. The result of the removal of the influence of the instrument response shows the similarity between the Broadband signal and Short-period qualitatively and an increase in the value of correlation signal quantitatively. normalized Changes in the signal frequency spectrum after deconvolution results show similarities between the signals after the correction instrument than the signals before the correction instrument.

Keywords: instrument response, poles, zeros, Broadband, Short-period

DOI: 10.46824/megasains.v12i1.12

1. Pendahuluan

Para ahli seismologi mencoba untuk mendapatkan informasi tentang proses fisik dalam bumi dengan merekam dan menganalisis getaran seismik. Dalam proses penjalarannya, gelombang seismik yang melewati batuan akan mengalami fenomena fisik seperti refleksi, refraksi, transmisi, difraksi, interferensi, dll.

Geofisika Denpasar mengoperasikan Stasiun secara co-located sensor seismometer Broadband Trilium-120P dan Short-period DS-04A. Seismometer Broadband dan accelerometer telah beroperasi sejak tahun 2005, sedangkan seismometer Short-period telah diinstalasi bulan Desember 2015.

Saat terjadi gempabumi, sinyal yang terekam oleh seismometer Broadband dan Short-period tersebut, menghasilkan output sinyal yang berbeda. Data mentah sinyal yang diperoleh dari seismometer bukan merupakan getaran tanah yang sesungguhnya melainkan hasil konvolusi dari proses sumber, penjalaran, dan respon instrumen [1, 2, 3]. Jika hal ini diterapkan pada sensor co-located, maka efek dari sumber dan penjalaran adalah sama, sehingga satu-satunya hal yang mempengaruhi perbedaan output dari seismometer tersebut adalah respon instrumen.

Penelitian sebelumnya [4] melakukan koreksi respon instrumen pada seismometer Short-period (Mark Products L4) dan Broadband (Guralp CMG-6TD) co-located pada jaringan AVO (Alaska Volcano Observatory). Perhitungan fungsi transfer masing-masing seismometer tersebut dilakukan dalam domain frekuensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sinyal seismik yang semula berbeda pada masing-masing seismometer, setelah dilakukan koreksi respon instrumen menghasilkan bentuk sinyal yang hampir sama.

Penelitian yang serupa [5] dengan menggunakan seismometer Short-period (Mark Product L4C3D) dan Broadband (STS-2) terhadap gempabumi Jepang 5 September 2004. Hasil penelitian menunjukkan bahwa data sinyal gempabumi setelah dikoreksi dengan respon instrumen mengalami perubahan dari dikoreksi untuk masing-masing seismometer. Setelah dibandingakan data untuk seismometer Short-period dan Broadband yang telah dikoreksi, menunjukkan sinyal yang hampir sama.

Pengukuran akurat dari pergerakan medium batuan ketika dilewati oleh gelombang gempabumi dalam satuan seperti

perpindahan (m), kecepatan (m/s)dan percepatan (m/s2), sangat penting dilakukan untuk analisis lebih lanjut.

Penelitian ini diharapkan meningkatkan nilai korelasi kedua sinyal dari alat yang berbeda sehingga dapat menginterpretasikan getaran tanah sesungguhnya yang direpresentasikan oleh sinyal gelombang gempabumi, sehingga dapat memperjelas bentuk sinyal gempabumi yang ditiniau.

2. Metodologi

Sinyal seismik mengalami penyimpangan akibat fungsi transfer dari instrumen seismometer, sehingga dibutuhkan metode untuk menghilangkan pengaruh instrumen. dan getaran memperoleh respon tanah yang sesungguhnya. Poles and zeros digunakan untuk mendapatkan nilai dari fungsi transfer yang selanjutnya didekonvolusi dengan sinyal seismogram.

Sinyal seismik yang terekam pada seismogram berbeda dengan sinyal sesungguhnya akibat fungsi transfer dari instrumen seismometer. Poles and zeros digunakan untuk memperoleh nilai fungsi transfer seismometer yang selanjutnya transfer tersebut digunakan mengoreksi sinyal mentah seismogram. Poles merupakan akar-akar polinomial dari penyebut F(s) pada fungsi transfer T(s) yang menyebabkan fungsi transfer T(s) bernilai tak terhingga. Zeros merupakan akar-akar polinomial dari pembilang G(s) yang menyebabkan fungsi transfer T(s) bernilai nol.

Prinsip dasar dari sistem linear mengasumsikan sebuah sinyal input dari instrumen x(t) memiliki output sinyal y(t). Ketika input sinyal diperbesar (x(t) dikalikan dengan suatu konstanta) maka output sinyal v(t) akan mengalami perbesaran sama dengan konstanta pengali. Fungsi respon frekuensi dinyatakan sebagai rasio dari transformasi Fourier dari y(t) dan x(t) yang dinyatakan sebagai [3]:

$$T(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)}$$
 (1)

$$T(j\omega) = \frac{1}{(1+j\omega RC)}$$
 (2)

= fungsi respon frekuensi T(jω)

X(jw) = input sinyal dari transformasi Fourier

Y(jw) = output sinyal transformasi Fourier

= bilangan imajiner

= frekuensi sudut (rad/detik) 60

Megasains 12 (1): 1-7, 2021 e-ISSN: 2723-2239 Persamaan (2) dapat dinyatakan dalam bentuk polinomial sebagai [4]:

$$T(j\omega) = \frac{(a_0 + a_1(j\omega) + a_2(j\omega)^2 + \cdots)}{(b_0 + b_1(j\omega) + b_2(j\omega)^2 + \cdots)}$$
(3)

Dalam bentuk *poles* and *zeros* persamaan (3) dapat dinyatakan dalam bentuk [3]:

$$T_{cl}(j\omega) = c\frac{(j\omega-z_1)(j\omega-z_2)}{(j\omega-p_1)(j\omega-p_2)} \tag{4}$$

Dengan,

= konstanta normalisasi

Amplitudo dan fase dari masing-masing frekuensi dihitung dengan persamaan nilai fungsi kompleks dari T_a:

$$\begin{split} A(\omega) &= \sqrt{\text{Re}\big(T_{d}(\omega)\big)^{2} + \text{Im}\big(T_{d}(\omega)\big)^{2}} \ (5) \\ \phi(\omega) &= \tan^{-1}\frac{\text{Im}\big(T_{d}(\omega)\big)}{\text{Re}\big(T_{d}(\omega)\big)} \ (6) \end{split}$$

Respon kecepatan $T_{\nu}(\omega)$ dihitung dengan persamaan:

$$T_{v}(\omega) = \frac{T_{d}(\omega)}{\omega} \tag{7}$$

Output dari suatu seismograf dalam domain frekuensi merupakan gabungan dari getaran tanah pada lokasi sensor $\mathbb{U}(\omega)$ dan kombinasi efek dari seismograf $\mathbb{A}_{\mathbf{d}}(\omega)$ (poles, zeros, dan sensitivitas) yang dinyatakan dalam persamaan:

$$Z(\omega) = U(\omega).A_d(\omega)$$
 (8)

Dalam tulisan ini menggunakan sinyal gempabumi lokal (kurang dari 10 derajat) yang tercatat di kedua seismometer Broadband Trilium-120P dan Short-period DS-04A di Stasiun Geofisika Denpasar, Gempabumi berhasil tercatat adalah gempabumi magnitudo 4,7 yang mengguncang wilayah Lombok pada 31 Maret 2016 pada pukul 09:34:43 UTC yang berlokasi 13 km barat laut kota Mataram Nusa Tenggara Barat tepatnya pada koordinat 8.480 LS dan 116.020 BT. Lokasi gempabumi yang sangat dekat dengan ibu kota NTB dan beberapa tempat wisata di Lombok tersebut dirasakan hingga Denpasar. Guncangan gempabumi dirasakan III-IV MMI di Mataram dan Lombok Utara, untuk wilayah Kuta, Denpasar, dan Senggigi dirasakan II-III MMI. Ketika sinyal gempabumi terekam oleh seismometer, akan menghasilkan output yang dipengaruhi oleh respon instrumen seismometer tersebut yang diberikan oleh fungsi transfer. Untuk seismometer pendulum sederhana maupun Broadband yang memenuhi syarat sistem linier time invariant yaitu sistem yang memenuhi prinsip superposisi dan

karakteristik input-output nya tidak berubah terhadap waktu, secara umum memiliki fungsi transfer T(s) sebagai berikut:

$$G(s) = T(s).F(s)$$
 (9)

dengan **F(s)** dan **G(s)** merepresentasikan transformasi Laplace dari input dan output sistem. Fungsi transfer **T(s)** dalam *poles* dan *zeros* adalah

$$T(s) = G \times C \times \frac{\prod_{j=1}^{L} (s-z_{j})}{\prod_{k=1}^{N} (s-p_{k})} (10)$$

Dengan G adalah gain dalam satuan counts/m/s, c merupakan konstanta normalisasi, z_j menunjukkan sejumlah L zeros, dan p_k menunjukkan sejumlah № poles [4]. Nilai poles dan zeros dari seismometer Broadband Trilium-120P sebagai berikut:

Zeros:

0.0

-106 -158

Poles:

-0.03859 + 0.03649i

-0.03859 - 0.03649i

-190

-158 - 193i

-158 - 193i

-639 + 1418i

-639 - 1418i

Dan nilai *poles and zeros* dari seismometer Short-periodDS-04A sebagai berikut:

Zeros:

0 0

Poles:

-4.396 + 4.485i

-4.396 - 4.485i

-251.2

-320

Dalam penentuan kemiripan sinyal digunakan fungsi normalisasi korelasi silang [6]:

$$\rho(l) = \frac{r_{xy}(l)}{\sqrt{r_{xx}(q)r_{yy}(q)}}$$
 (11)

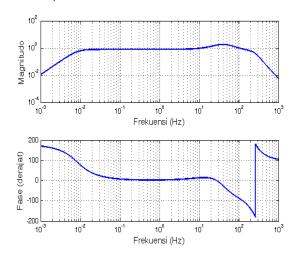
Dimana $\rho(l)$ merupakan nilai normalisasi korelasi silang dengan rentang 0 sampai 1, $r_{XY}(l)$ korelasi silang antara dua sinyal dalam fungsi x dan y, $r_{XX}(0)$ dan $r_{YX}(0)$ adalah korelasi diri pada l=0

yang memiliki nilai sama dengan akumulasi kuadrat sinyal.

Perhitungan menggunakan perangkat lunak Matlab 7.11 (R2010b). Untuk dapat menghitung nilai fungsi transfer masing-masing seismometer, maka diperlukan informasi mengenai parameter masing-masing seismometer seperti *poles, zeros*, konstanta generator dan *gain* ADC, sehingga diperoleh fungsi koreksi instrumen. Hasil koreksi instrumen kedua sinyal, dibandingkan secara kualitatif maupun kuantitatif. Secara kualitatif dilakukan perbandingan secara visual dan kuantitatif dengan menggunakan nilai normalisasi korelasi silang sinyal. Selain itu, penulis juga membandingkan frekuensi sinyal setelah koreksi instrumen dengan frekuensi sinyal sebelum koreksi instrumen.

3. Hasil dan Pembahasan

Sejak pemasangan seismometer *Short-period* DS-04A dalam satu ruangan dengan seismometer Broadband Trilium-120P bulan Desember 2015 telah berhasil mencatat gempabumi lokal dangkal yang terjadi pada 31 Maret 2016 pukul 09:34:43 UTC magnitude 4,7 koordinat 8.480 LS dan 116.020 BT dengan kedalaman 10 km. Gempabumi tersebut tercatat baik di kedua seismometer Broadband Trilium-120P dan *Short-period* DS-04A pada komponen vertikal pada 09:34:59,3 UTC.

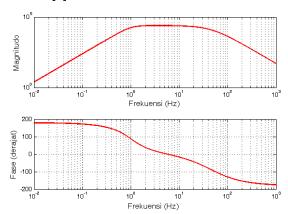


Gambar 1. Fungsi respon frekuensi seismometer Broadband Trilium-120P dalam bentuk magnitudo dan fase.

Selanjutnya sinyal seismik yang telah tercatat di kedua seismometer tersebut telah mengalami penyimpangan akibat fungsi transfer dari instrumen seismometer. Jadi, dibutuhkan metode untuk menghilangkan pengaruh yang tidak diinginkan untuk mendapatkan respon getaran tanah yang sesungguhnya. Maka digunakanlah

poles dan zeros untuk mendapatkan nilai dari fungsi transfer yang selanjutnya didekonvolusi dengan sinyal seismogram.

Penelitian koreksi respon instrumen dalam domain frekuensi telah dilakukan oleh Haney dkk. [4], Kusuma dan Suryanto [5], Gunawan [7] sedangkan yang melakukan koreksi respon instrumen dalam domain waktu adalah Anderson dan Lees [8].



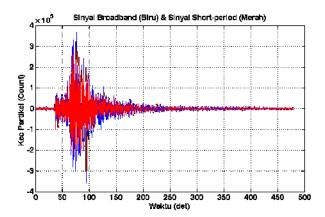
Gambar 2. Fungsi respon frekuensi seismometer Short-period DS-04A dalam bentuk magnitudo dan fase.

Berdasarkan nilai poles dan zeros dari masingmasing komponen seismometer Broadband Trilium-120P dan Short-periodDS-04A penulis membuat grafik fungsi respon frekuensi seismometer (Gambar 1 dan Gambar 2). Grafik ini merupakan acuan untuk koreksi instrumen sehingga dapat mendekonvolusi pengaruh respon instrumen dari catatan seismogram agar memperoleh getaran tanah yang sesungguhnya.

Analisis Sebelum Koreksi Instrumen. Data sinyal dimulai dari waktu *origin time* gempabumi Lombok 09:34:43 UTC. Gelombang P tiba di Stasiun Geofisika Denpasar pada pukul 09:34:59,3 UTC, 16 detik waktu dalam proses penjalarannya.

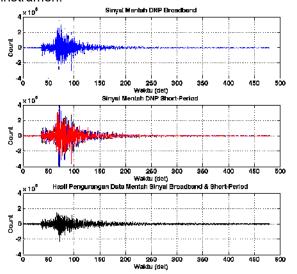
Pada Gambar 3 menunjukan perbandingan tampilan antara sinyal rekaman asli dari *Broadband* Trilium-120P (biru) dengan sinyal Short-period DS-04A (merah). Perbandingan kedua sinyal secara kualitatif visual menunjukan adanya perbedaan yang ditunjukan pada Gambar 4 dengan selisih antara kedua sinyal cukup besar. Berdasarkan Gambar 2 nilai maksimum dari selisih antara sinyal *Broadband* dan *Short-period* mencapai 1.0314e+5 count.

Megasains 12 (1): 1-7, 2021



Gambar 3. Perbandingan tampilan sinyal sebelum koreksi instrumen pada seismogram Broadband Trilium-120P (biru) dan Short-period DS-04A (merah)

Rekaman sinyal Broadband Trilium-120P mempunyai sampling 40 Hz sedangkan rekaman Short-period DS-04A mempunyai sampling yang lebih besar yaitu 100 Hz. Untuk mengkorelasikan kedua sinyal ini dilakukan resampling pada sinyal Short-period menjadi 40 Hz. Perbedaan respon instrumen pada kedua alat mengakibatkan sinyal yang diterima berbeda walaupun sumber, medium yang dilewati selama penjalaran dan efek tapak lokal menunjukan kesamaan. Untuk menunjukan nilai korelasi secara kuantitatif digunakan normalisasi korelasi sinyal. Dari hasil normalisasi korelasi sinyal pada sinyal sebelum dilakukan koreksi diperoleh hasil yang nilai normalisasi korelasi 0,9011. Dua buah sinyal dikatakan sama apabila memiliki nilai normalisasi korelasi sebesar 1. Jadi, masih terdapat perbedaan sebesar 0.0989 akibat adanya pengaruh respon instrumen.



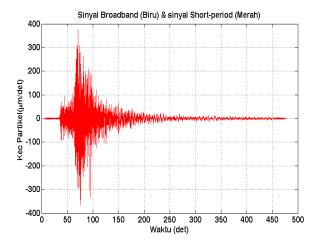
Gambar 4. Hasil pengurangan antara sinyal mentah seismogram Broadband Trilium-120P (biru) dan Shortperiod DS-04A (merah)

Megasains 12 (1): 1-7, 2021

Sinyal seismik yang dipancarkan oleh sumber dan mengalami penyimpangan dilemahkan akibat penyebaran geometris dan faktor redaman dan karena refleksi, difraksi, konversi dan gangguan lainnya selama propagasi melalui media bumi [9]. Sinyal seismik memiliki penyimpangan yang dihasilkan dari fungsi transfer dari seismometer. Oleh karena itu, diperlukan dekonvolusi pengaruh instrumen untuk mendapatkan getaran tanah yang sesungguhnya. Faktor penting yang menjadi kunci dalam koreksi respon instrumen adalah poles mengetahui parameter dan zeros seismometer [5].

Analisis Setelah Koreksi Instrumen. Sinval mentah hasil rekaman seismometer (Gambar 3) didekonvolusi dengan fungsi respon frekuensi untuk tiap masing-masing sensor (Gambar 1 dan Gambar 2). Dekonvolusi ini bertujuan untuk menghilangkan pengaruh respon instrumen pada rekaman sinyal seismik sehingga diharapkan getaran tanah yang sesungguhnya yang tiba di Stasiun Geofisika Denpasar akibat gempa bumi Lombok 31 Maret 2016 dapat terlihat.

Perbedaan jenis seismograf pencatat gempabumi menimbulkan perbedaan hasil rekaman dalam sumber yang sama. Seismometer Broadband dapat mencakup keseluruhan sinyal hingga frekuensi rendah. Namun, seismometer Shortperiod lebih baik dalam pengukuran gelombang frekuensi tinggi.



Gambar 5. Perbandingan tampilan sinyal koreksi instrumen pada seismogram Broadband Trilium-120P (biru) dan Short-period DS-04A (merah)

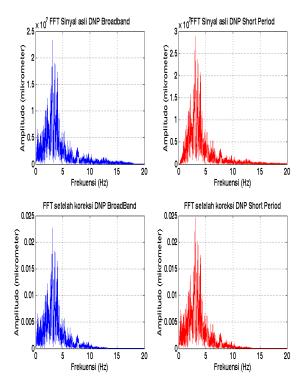
Secara visual Gambar 5 menunjukan kemiripan sinyal satu sama lain. Dari hasil perhitungan normalisasi korelasi sinyal setelah dilakukan koreksi instrumen berupa penghilangan respon instrumen pada sinyal dengan dekonvolusi sesuai dengan fungsi respon frekuensi diperoleh hasil berupa peningkatan nilai korelasi sebesar 0.9985.

e-ISSN: 2723-2239

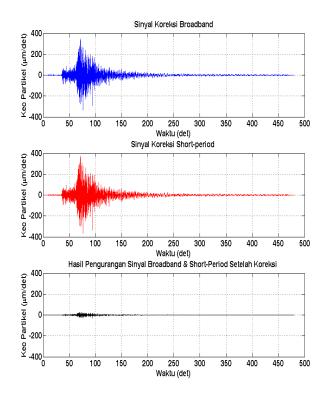
Nilai korelasi mendekati satu (selisih 0.0015) menunjukan bahwa hasil dari koreksi instrumen menunjukan kemiripan yang sangat tinggi. Berdasarkan Gambar 5 nilai maksimum dari selisih antara sinyal Broadband dan Short-period setelah koreksi instrumen mencapai 25,112 mikrometer per detik.

Perbandingan Spektrum Frekuensi. Untuk mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi menggunakan Fast Fourier Transform (FFT). Dari hasil FFT sinyal Broadband dan Shortperiod diperoleh hasil berupa spektrum frekuensi.

Penulis membandingkan hasil spektrum frekuensi sebelum dan sesudah koreksi instrumen (Gambar 6). Berdasarkan hasil tersebut secara visual dapat dilihat bahwa terjadi perubahan sinyal yang cukup signifikan pada seismometer Short-period. Pada sinyal Broadband sebelum koreksi instrumen terjadi pergeseran ke frekuensi rendah sedangkan pada sinyal Short-period menunjukan penurunan sinyal frekuensi tinggi dan munculnya sinyal frekuensi rendah dari 0,01-0,20 Hz.



Perbandingan spektrum 6. seismogram sebelum (hitam) dan sesudah (merah) dari Broadband Trilium-120P dan Short-period DS-04A.



Gambar 7. Hasil pengurangan antara sinyal setelah koreksi seismogram Broadband Trilium-120P (biru) dan Short-period DS-04A (merah)

Sensor Short-period memiliki rentang frekuensi tinggi (0.5 - 100 hz) sangat baik dalam mencatat sinyal gempa bumi lokal, sedangkan sensor BB memiliki rentang frekuensi yang lebih lebar (0.0028 - 100 hz) sehingga dapat mencatat gempabumi lokal maupun teleseismik. Hasil korelasi tinggi dari 2 sinyal seismogram ini membuktikan bahwa kedua instrumen mencatat rekaman sinyal dengan baik. Lokasi Stasiun Geofisika Denpasar berada di tengah kota yang menyebabkan sulit mendeteksi sinyal gempabumi mikro dengan amplitudo rendah karena Dengan adanya sensor co-located membuat fase gelombang P sulit terlihat karena bercampur noise. Untuk itu, diperlukan sensor short period yang mencatat gempabumi mikro lebih baik. Hasil pick time gelombang P pada Short-period dapat dijadikan acuan untuk pick time pada seiscomp sensor DNP.

4. Kesimpulan

Berdasarkan korelasi sinyal rekaman gempabumi Lombok 31 Maret 2016 pada dua seismometer co-located Broadband Trilium-120P dan Shortperiod DS-04A yang terpasang di Stasiun Geofisika Denpasar diperoleh perbedaan hasil sebelum dan setelah dilakukan koreksi instrumen. Dari hasil normalisasi korelasi sinyal pada sinyal sebelum dilakukan koreksi diperoleh hasil yang nilai normalisasi korelasi 0,9011. Kemudian setelah dilakukan koreksi instrumen terjadi peningkatan nilai korelasi sebesar 0.9985. Jadi, masih terdapat perbedaan sebesar 0,0989 akibat adanya pengaruh respon instrumen. Hasil setelah koreksi instrumen dari kedua sinyal menunjukan adanya kemiripan bentuk dan frekuensi sinyal setelah dikoreksi baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Pada spektrum frekuensi sinyal Broadband sebelum koreksi instrumen terjadi pergeseran ke frekuensi rendah sedangkan pada sinyal *Short-period* menunjukan penurunan sinyal frekuensi tinggi dan munculnya sinyal frekuensi rendah dari 0,01-0,20 Hz.

Daftar Pustaka

- [1] Havskov, J. dan Ottemöller, L., Routine Data Processing in Earthquake Seismology, Springer, New York, 2010.
- [2] Stein, S. dan Wysession, M., An Introduction to Seismology, Earthquake, andEarth Structure, Blackwell Publishing Ltd, USA, 2003.
- [3] Scherbaum, F., *Of Poles and Zeros*, Kluwer Academic Publisher, Netherlands, 2001.
- [4] Haney, M. M., Power, J., West, M. dan Michaels, P., Causal Instrument Corrections for Short-period and Broadbannd Seismometers, Seismological Research Letters, no. doi:10.1785/0220120031, Vol. 83, p. 834-845, 2012
- [5] Kusuma, E., dan Suryanto, W., Instrument Corrections for Broadband and Short-period Seismometers (Case Study: Japan's Earthquake September 5th 2004), The Third Basic Science International Conference, p. P14-1 – P14-3, 2013.
- [6] Proakis, J. G. dan Manolakis, D. G., Digital Signal Processing, Principles, Algorithms, and Application, Third Edition. Prentice-hall International, INC, New Jersey. Climate, 26, 110-132, doi:10.1175/JCLI-D-12-00100.1., 1996
- [7] Gunawan, H., Analisis Data Geofisika Monitoring Gunungapi Berdasarkan Analitik dan Diskrit (Bagian II): Contoh Kasus Koreksi Instrumen dalam Penentuan Amplitudo Seismogram Digital, Bulletin Vulkanologi dan Bencana Geologi, Vol. 3 p. 13–16, 2008.
- [8] Anderson, J. F. dan Lees, J. M., Instrument Corrections by Time-Domain Deconvolution, Seismological Research Letters, no. doi:10.1785/0220130062, Vol. 85, p. 197-201, 2014.
- [9] Borman, P., New Manual of Seismological Observatory Practice-NMSOP, GFZ, Postdam (versi elektronik), 2009.

Megasains, Vol. 12, No. 1, 8-16 p-ISSN 2086-5589, e-ISSN 2723-2239 https://megasains.gawbkt.id ©GAW BKT, 2021



Perubahan Tingkat Kenyamanan berdasarkan Indeks Panas (Humidex) di Kalimantan Barat

THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON COMFORT LEVELS (HUMIDEX) IN WEST KALIMANTAN

Fanni Aditya^{1*}, Jauharotul Khasanah²

^{1,2}Stasiun Klimatologi Mempawah

*Email: faud77@gmail.com

Naskah masuk: 14 Oktober 2020 Naskah diperbaiki: 10 Maret 2021 Naskah diterima: 22 Maret 2021

ABSTRAK

Tingkat kenyamanan merupakan interaksi antara manusia dengan lingkungan yang berkaitan dengan cuaca dan iklim. Hal ini cukup mempengaruhi kegiatan manusia baik di dalam maupun di luar ruangan. Kenaikan suhu yang diakibatkan oleh perubahan iklim berpotensi menyebabkan perubahan tingkat kenyamanan yang dirasakan oleh manusia. Hubungan antara unsur cuaca terhadap kenyamanan dapat diidentifikasi dengan Humidex. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji dampak perubahan iklim terhadap tren suhu udara dan tingkat kenyamanan termis pada periode 1990-2019 pada 6 lokasi stasiun BMKG di wilayah Kalimantan Barat. Analisis perubahan suhu udara dilakukan dengan uji One-way ANOVA dan Uji Tukey. Selanjutnya Nilai indeks kenyamanan dihitung Humidex. Hasil menggunakan menunjukkan suhu di Kalimantan Barat mengalami peningkatan selama periode 1990-2019. Humidex di wilayah Kalimantan Barat menunjukkan rata-rata humidex bulanan berkisar antara 37.5°C hingga 39.2°C. Nilai ini menunjukkan bahwa kondisi tidak nyaman akibat panas sangat umum dirasakan di Kalimantan Barat. Humidex mengalami tren peningkatan pada periode 1990-2019. Tren humidex menunjukkan peningkatan pada frekuensi bulan dengan kategori 40-45°C. Tren peningkatan suhu dan humidex menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan iklim di Kalimantan Barat.

Kata kunci: Humidex, indeks kenyamanan, kenyamanan termis, perubahan iklim.

ABSTRACT

The level of comfort is the interaction between human and environment related to weather and climate. This is sufficient to influence human activities both indoors and outdoors. Rising temperature caused by global warming potentially causes changes in the level of comfort. The relationship between the elements of weather and comfort can be identified with Humidex. The impact of climate change on trends in air temperature and thermal comfort levels in the period 1990-2019 at 6 BMKG stations in West Kalimantan. Analysis of changes in air temperature was carried out using One-way ANOVA test and Tukey test. Furthermore, the comfort index value is calculated using Humidex. The results of the analysis show that the temperature in West Kalimantan has increased during the period 1990-2019. Humidex in the West Kalimantan region shows an average monthly humidex ranging from 37.5 °C to 39.2 °C. This value indicates that uncomfortable conditions due to heat are very common in West Kalimantan. Humidex experienced an increasing trend in the period 1990-2019. Humidex trends show an increase in the frequency of months within 40-45°C category. The trend of increasing temperature and humidex indicates that there has been climate change in West Kalimantan.

Keywords: Humidex, comfort index, thermal comfort, climate change.

DOI: 10.46824/megasains.v12i1.47

1. Pendahuluan

Kegiatan masyarakat Kalimantan Barat sangat dipengaruhi oleh kondisi kualitas lingkungan hidupnya. Salah satu aspek mempengaruhi kegiatan masyarakat adalah kondisi udara lingkungan sekitar [1]. Interaksi dengan antara masyarakat lingkungan khususnya parameter cuaca dan iklim sering disebut sebagai tingkat kenyamanan [2]. Kenyamanan baik di dalam dan luar ruangan sangat dipengaruhi oleh suhu udara. Suhu di atas nilai ambang batas menvebabkan ketidaknyamanan dan sangat mempengaruhi fisiologis manusia. Data digunakan adalah data suhu dan kelembaban rata-rata bulanan selama 30 tahun di enam stasiun, yaitu Stasiun Klimatologi Mempawah, Meteorologi Supadio, Stasiun Stasiun Meteorologi Meteorologi Sambas, Melawi, Stasiun Meteorologi Sintang, dan Stasiun Meteorologi Ketapang.

Beberapa standar internasional menentukan dampak suhu pada kenyamanan termal [3]. Dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-1733-2004 mengatur kondisi berdasarkan empat jenis kenyamanan (ruang, visual, audio, dan termal) kondisi penghuninya Kenyamanan termal tercapai ketika sensasi termal netral, tidak dingin atau hangat [5]. Kenaikan suhu yang diakibatkan oleh pemanasan global menyebabkan perubahan tingkat kenyamanan yang dirasakan manusia [6]. Kondisi kenyamanan yang dirasakan manusia sangat bervariasi dan memiliki subjektifitas yang tinggi. Kondisi ini berkaitan dengan jenis kenyamanan fisiologis manusia terhadap lingkungan sekitarnya [7].

merupakan salah satu kenyamanan yang dapat dirasakan pada saat beraktifitas baik di dalam maupun diluar ruangan. Indikator ini disertai dengan kondisi kelembaban udara dapat digunakan untuk mengukur tingkat kenyamanan manusia [8] wilayah pemukiman terutama di perkantoran [9]. Pada Wilayah Kalimantan Barat yang masuk dalam iklim tropis, kondisi suhu tubuh manusia secara umum akan selalu berada di atas suhu lingkungan sekitarnya. Untuk menjaga keseimbangan panas pada suhu 37 °C tubuh manusia akan melakukan metabolisme [10].

Hubungan faktor cuaca dan iklim terhadap kondisi kesehatan dan kenyamanan manusia diidentifikasi dengan indeks biometeorologi. Salah satu indeks tingkat kenyamanan yang bisa digunakan dalam menggambarkan pengaruh suhu dan kelembaban udara terhadap manusia adalah Humidex. Indeks ini pada mulanya digunakan oleh ahli meteorologi Kanada dengan menggabungkan efek panas dan kelembaban udara untuk menggambarkan seberapa panas suhu terasa bagi manusia [11].

Metode Humidex memiliki kelebihan pada prakteknya yang mudah digunakan serta dapat diasosiasikan langsung dengan suhu yang dirasakan oleh manusia [2][10][18]. Pada penelitian yang dilakukan oleh [2] dan [7] menggunakan metode Humidex yang memiliki basis kenyamanan fisiologis menunjukkan bahwa kondisi kenyamanan termis pada kedua lokasi secara umum masuk dalam kategori tidak nyaman yang dirasakan oleh 50 % populasi hingga seluruh populasi. Penelitian humidex telah dilakukan oleh [12] untuk mengetahui tingkat ketidaknyamanan akibat adanya perubahan iklim. Menurut Rana et al. [13] Humidex merupakan ukuran yang baik untuk analisis untuk kajian kenyamanan di dalam ruangan dengan kelembapan tinggi. Wilayah Kalimantan Barat mengalami peningkatan pembangunan yang signifikan [14]. Selain itu, lokasinya yang berada di wilayah khatulistiwa memperoleh radiasi matahari yang tinggi. Dari latar belakang tersebut maka tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tren perubahan suhu dan perubahan tingkat kenyamanan termis akibat perubahan iklim dengan menggunakan humidex di wilayah Kalimantan Barat

2. Metode Penelitian

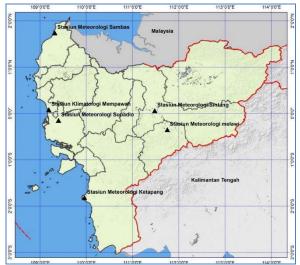
Data yang digunakan untuk dalam analisis perubahan suhu dan menghitung humidex dalam penelitian ini adalah data suhu dan kelembaban rata-rata bulanan selama 30 tahun enam stasiun, yaitu Stasiun di Klimatologi Mempawah, Stasiun Meteorologi Supadio, Stasiun Meteorologi Sambas, Stasiun Meteorologi Melawi. Stasiun Meteorologi Sintang, dan Stasiun Meteorologi Ketapang. Letak geografis dan posisi stasiun terdapat pada tabel 1 dan Gambar 1 berikut:

Tabel 1. Letak geografis stasiun penelitian.

| No | Nama Stasiun | Lintang | Bujur | Elevasi (M) |
|----|-----------------------------------|------------------------|----------------------------|----------------|
| 1 | Stasiun Meteorologi Supadio | 00° 09' 00.0" LS | 109° 24' 00.0" BT | 3 |

Megasains 12 (1): 8-16, 2021

| 2 | Stasiun Klimatologi Mempawah | 00° 04' 30.2" LU | 109° 11' 24.0" BT | 2 |
|---|------------------------------------|------------------------|----------------------------|----|
| 3 | Stasiun Meteorologi Sambas | 01° 44' 24.0" LU | 109° 19' 12.0" BT | 15 |
| 4 | Stasiun Meteorologi Melawi | 00° 21' 00.0" LS | 111° 45' 00.0" BT | 37 |
| 5 | Stasiun Meteorologi Sintang | 00° 03' 36.0" LU | 111° 28' 48.0" BT | 29 |
| 6 | Stasiun Meteorologi Ketapang | 01° 49' 12.0" LS | 109° 57' 36.0" BT | 9 |



Gambar 1. Lokasi penelitian di Provinsi Kalimantan Barat.

Data suhu di lokasi penelitian dikelompokkan kedalam tiga periode waktu yaitu periode pertama (I) tahun 1990-1999, periode kedua (II) tahun 2000-2009, dan periode ketiga (III) 2010-2019. Kemudian dianalisis dengan statistik deskriptif dan uji sidik ragam searah (one-way ANOVA; α : 0,05) dan dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur (Tukey HSD) dengan tingkat kepercayaan 95% (α = 0.05) jika terdapat perbedaan yang signifikan dengan hipotesis sebagai berikut:

H0 : Tidak ada perbedaan rata-rata antar periode waktu.

H1 : Ada perbedaan rata-rata antar periode waktu.

Uji Tukey menunjukkan signifikansi dari perbedaan rata-rata yang diujicobakan. Nilai rata-rata yang memiliki huruf (A, B, C) berbeda maka memiliki perbedaan yang signifikan, sebaliknya, nilai rata-rata yang memiliki huruf yang sama tidak memiliki perbedaan yang signifikan.

Humidex yang dikenal sebagai indeks panas merupakan ukuran dari ketidaknyamanan termal yang mampu mempengaruhi kenyamanan manusia [15]. Menurut [11], Humidex menghubungkan ketidaknyamanan termis di luar ruangan dengan menggunakan dua parameter utama meteorologi, yaitu suhu udara dan kelembapan relatif yang dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$humidex = T + \frac{5}{9} (e - 10) \tag{1}$$

$$e = 6.112 \times 10^{(\frac{7.5T}{287.7+T})} \times \frac{RH}{100}$$
 (2)

Dengan:

Humidex = Indeks panas (°C)

T = Suhu udara rata-rata (°C)

RH = Kelembaban relatif rata-rata (%)

Nilai humidex dapat diinterpretasikan dengan sensasi panas berdasarkan klasifikasi dari [16] pada tabel 2. Sensasi panas yang diperoleh dari perhitungan Humidex adalah untuk luar ruangan (outdoor) karena data suhu dan kelembaban yang digunakan merupakan data hasil pengukuran di luar ruangan.

Tabel 2. Interpretasi Humidex dengan sensasi panas [16]

| Kategori Interpretasi | Indeks Humidex |
|---|-------------------|
| Nyaman | ≤ 29 °c |
| Perasaan sedikit tidak nyaman | 30 - 34 °c |
| Perasaan tidak nyaman | 35 - 39 °c |
| Perasaan sangat tidak nyaman akibat panas hingga menimbulkan rasa tersengat akibat panas | 40 - 45 °c |
| Perasaan sangat tidak nyaman dan hampir dapat menyebabkan penyakit akibat serangan panas | 46 - 53 °c |
| Kematian akibat panas | ≥ 54 °c |

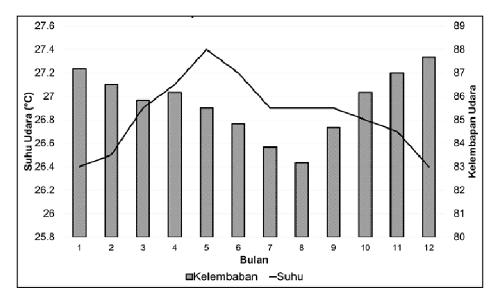
Perhitungan frekuensi Humidex sepanjang periode 1990-2019 dilakukan berdasarkan kategori interpretasi Humidex sesuai dengan Tabel 2 dengan menggunakan metode histogram. Analisis trend dalam penelitian ini dilakukan terhadap nilai Humidex rata-rata tahunan dengan menggunakan tren. Analisis tren digunakan untuk melihat pergerakan data yang menunjukkan arah perkembangan menuju ke satu titik (cenderung naik/turun) untuk periode lebih dari sepuluh tahun.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan analisis suhu rata-rata tahun 1990 - 2019 di Kalimantan Barat sebesar 26.8°C dengan nilai rata-rata tertinggi pada bulan Mei sebesar 27.4°C, nilai rata-rata terendah pada bulan desember dan januari sebesar 26.4 °C. Kelembaban udara rata-rata tahun 1990 - 2019 sebesar 85.7% dengan nilai rata-rata tertinggi pada bulan desember sebesar 87.7% dan rata-rata terendah pada bulan agustus sebesar 83.2%. Suhu Rata-rata yang tinggi pada bulan Mei karena posisi geografis lokasi penelitian di Kalimantan Barat yang sebagian besar berada di wilayah khatulistiwa. Akibat gerak semu tahunan matahari dan kemiringan sumbu bumi, bulan mei menjadi bulan dengan rata-rata suhu tertinggi selama 30 tahun. Sebaliknya. Kelembaban rata-rata tertinggi ada di bulan Desember, hal ini berasosiasi dengan curah hujan yang tinggi di bulan tersebut sehingga kelembaban juga menjadi tinggi.

Parameter cuaca lainnya seperti radiasi matahari juga berperan penting dalam mempengaruhi tingkat ketidaknyamanan termal (Humidex). Menurut [17] peningkatan radiasi matahari akan mengakibatkan peningkatan suhu udara dan penurunan kelembaban udara (RH), begitupun sebaliknya. Berdasarkan pernyataan tersebut pengaruh radiasi matahari terhadap humidex dapat direpresentasikan oleh suhu udara. Sedangkan untuk parameter kecepatan angin, menurut [18] kecepatan angin tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai humidex.

Dari hasil analisis One-way ANOVA dan Uji Tukey selama tiga dekade (1990-2019) suhu di Kalimantan Barat mengalami peningkatan yang nyata dengan nilai p-value seluruhnya dibawah 95% (α = 0.05). Pada lokasi Kubu Raya dan Sambas uji Tukey menunjukkan walaupun ada perbedaan rata-rata yang nyata antara periode pertama dan kedua namun tidak signifikan sehingga masuk dalam kategori yang sama. Periode ketiga pada lokasi lainnya memiliki perbedaan rata-rata yang nyata dan signifikan yang ditunjukkan dengan huruf yang berbeda dengan periode sebelumnya. Pada lokasi Ketapang, Melawi, Mempawah dan Sintang Hasil uji Tukey menunjukkan ada perbedaan signifikan di ketiga periode waktu dan peningkatan suhu yang makin tinggi dari periode pertama hingga periode ketiga. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [19] yang menunjukkan adanya peningkatan suhu yang konsisten di daerah Mempawah pada periode 30 tahun.



Gambar 2. Rata-rata suhu dan kelembaban di Kalimantan Barat periode 1990-2019.

Tabel 3. Hasil One-way ANOVA dan Uji Tukey suhu udara rata-rata.

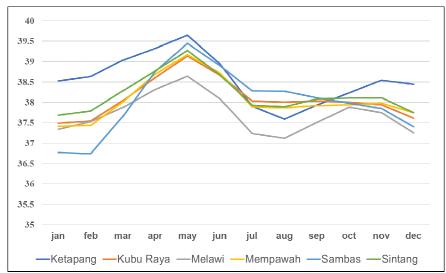
| | | P | eriode (Tahu | n) | P-Value |
|-----------|-----------|-------|--------------|-------|---------|
| Lokasi | Ket | 1990- | 2000- | 2010- | (Anova) |
| | | 1999 | 2009 | 2019 | |
| Kubu Raya | Rata-rata | 26,77 | 26,79 | 26,97 | 0.001 |
| Rubu Raya | Uji Tukey | В | В | Α | 0.001 |
| Ketapang | Rata-rata | 26,80 | 27,13 | 27,55 | 0.000 |
| Relapang | Uji Tukey | С | В | Α | 0.000 |
| Melawi | Rata-rata | 26,54 | 26,72 | 26,99 | 0.000 |
| iviciawi | Uji Tukey | С | В | Α | 0.000 |
| Mempawah | Rata-rata | 26,57 | 26,83 | 27,20 | 0.000 |
| Mempawan | Uji Tukey | С | В | Α | 0.000 |
| Sambas | Rata-rata | 26,65 | 26,49 | 26,98 | 0.000 |
| | Uji Tukey | В | В | Α | 0.000 |
| Sintang | Rata-rata | 26,68 | 26,88 | 27,04 | 0.000 |
| | Uji Tukey | С | В | Α | 0.000 |

Hasil perhitungan humidex pada gambar 3 di wilayah Kalimantan Barat menunjukkan ratarata humidex bulanan berkisar antara 37.5°C hingga 39.2°C. Berdasarkan tabel 2, nilai ini menunjukkan bahwa kondisi tidak nyaman akibat panas sangat umum dirasakan di Kalimantan Barat. Pola humidex cenderung mirip pola suhu bulanan dengan nilai tertinggi terjadi pada bulan Mei dan nilai terendah pada bulan Agustus. Lokasi Ketapang memiliki ratarata bulanan tertinggi sebesar 38,56°C dan Melawi memiliki rata-rata bulanan terendah sebesar 37,12°C. Grafik nilai humidex adanya perbedaan antara menunjukkan wilayah yang relatif lebih dekat ekuator (Kubu Raya, Melawi, Mempawah, dan Sintang) dengan wilayah yang relatif lebih jauh dari ekuator (ketapang dan Sambas).

Humidex menunjukkan nilai suhu yang lebih tinggi dibandingkan suhu udara di lokasi penelitian. Hasil ini juga serupa dengan penelitian sebelumnya [2][20]. Penelitian oleh [21] menunjukkan adanya kaitan antara kelembaban tinggi yang terjadi menyebabkan terganggunya evaporasi dari tubuh manusia sehingga menyebabkan rasa tidak nyaman yang dirasakan oleh manusia. Rasa tidak

nyaman ini dapat menyebabkan peningkatan stress bagi manusia [22]. Humidex merupakan gambaran tingkat panas yang dirasakan oleh manusia akibat kondisi suhu dan kelembaban tertentu.

Berdasarkan nilai humidex bulanan, tren Humidex di lokasi penelitian menunjukkan peningkatan pada periode 1990 - 2019. Tren peningkatan terbesar terjadi di Ketapang sebesar 0.09°C. tren peningkatan di lokasi lain adalah 0.07°C di Melawi, 0.03°C di Kubu Raya, 0.08°C di Mempawah, 0.06°C di Sambas, dan 0.07°C di Sintang. Tren peningkatan selama 30 tahun tersebut tidak menunjukkan perubahan signifikan dari nilai humidex. Secara Klimatologis masyarakat di Kalimantan Barat merasakan kondisi panas tidak nyaman yang sama pada tahun 2019 maupun pada tahun 1990. Frekuensi kejadian sensasi panas bulanan di Kalimantan Barat berdasarkan nilai humidex tahun 1990-2019 menunjukkan 0.04% masuk dalam kategori "sedikit tidak nyaman", 82.47% masuk dalam kategori "tidak nyaman", dan 17.48% masuk dalam kategori "sangat tidak nyaman akibat panas hingga menimbulkan rasa tersengat akibat panas".

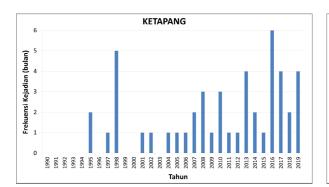


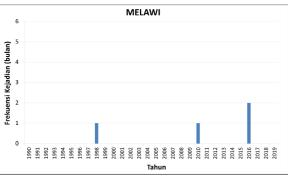
Gambar 3. Humidex rata-rata bulanan.

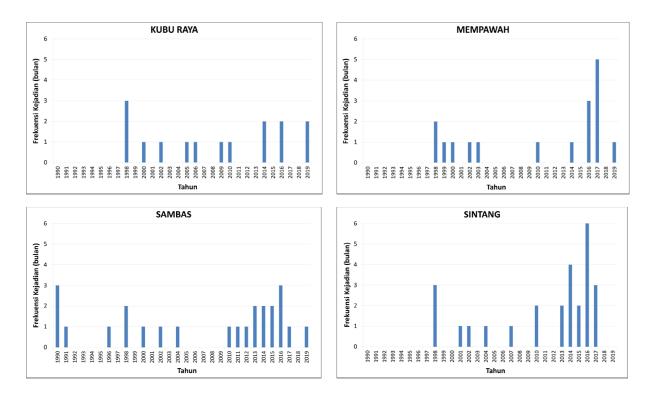
Tabel 4. Kategori humidex di lokasi penelitian.

| Lokasi | Kategori Humidex (%) | | | | | | | |
|-----------|----------------------|---------|---------|---------|---------|-------|--|--|
| LUKASI | ≤29 °c | 30-34°c | 35-39°c | 40-45°c | 46-53°c | ≥54°c | | |
| Ketapang | | | 68.89 | 31.11 | | | | |
| Kubu Raya | | | 85.56 | 14.44 | | | | |
| Melawi | | | 95.00 | 5.00 | | | | |
| Mempawah | | | 83.89 | 16.11 | | | | |
| Sambas | | | 81.76 | 18.33 | | | | |
| Sintang | | 0.28 | 79.72 | 20.00 | | | | |

Nilai interpretasi humidex bulanan pada rentang Perasaan sangat tidak nyaman akibat panas hingga menimbulkan rasa tersengat akibat panas di beberapa lokasi penelitian menunjukkan kecenderungan peningkatan pada tahun 2010-2019 dibandingkan periode tahun sebelumnya dan peningkatan terbesar terjadi di Ketapang, Sambas, dan Sintang. Nilai interpretasi pada rentang 40°C - 45°C tersebut sering terjadi pada bulan Mei dengan persentase sebesar 54% diikuti bulan April sebesar 14% dan Maret sebesar 10%.



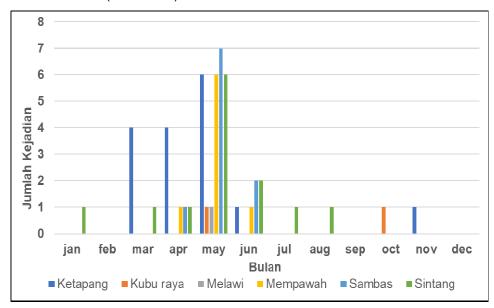




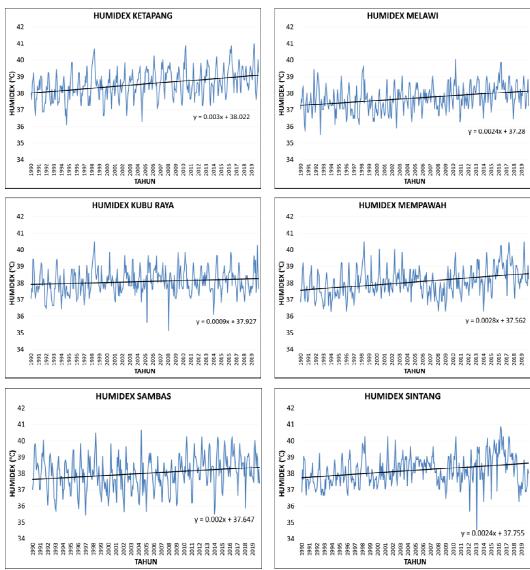
Gambar 4. Frekuensi humidex pada kategori 40-45°C.

Humidex pada kategori 40 - 45°C yaitu perasaan sangat tidak nyaman akibat panas hingga menimbulkan rasa tersengat akibat panas merupakan kategori tertinggi yang terdapat di 6 lokasi pengamatan. Berdasarkan grafik di atas, pada kurun waktu 30 tahun (1990-2019) secara umum terdapat peningkatan frekuensi kejadian. Peningkatan kejadian yang cukup signifikan terjadi pada 10 tahun terakhir (2010-2019).

Kategori interpretasi sensasi panas tersebut dibuat di wilayah beriklim sub-tropis yang berbeda dengan iklim tropis, sehingga persepsi mengenai sensasi panas yang dirasakan manusia di lingkungan tropis berdasarkan Humidex membutuhkan penelitian lebih lanjut.



Gambar 5. Interpretasi humidex pada kategori 40 - 45°C masing-masing bulan selama periode 1990-2019.



Gambar 6. Tren humidex di lokasi penelitian.

4. Kesimpulan

Suhu di Kalimantan Barat mengalami peningkatan selama periode 1990-2019. Peningkatan ini mengindikasikan telah terjadi perubahan iklim di Kalimantan Barat. Humidex juga mengalami tren peningkatan pada periode 1990-2019. Namun, tren peningkatan tersebut masih pada rentang kategori "perasaan tidak nyaman akibat panas" (35°C - 39°C). Hal ini menunjukkan sensasi panas Kalimantan Barat yang dirasakan pada tahun 2019 secara umum masih sama dengan yang

dirasakan pada tahun 1990. Namun, frekuensi bulan dengan kategori "Perasaan sangat tidak nyaman akibat panas hingga menimbulkan rasa tersengat akibat panas" (40°C - 45°C) mengalami peningkatan signifikan di Ketapang, Sambas, dan Sintang, di wilayah tersebut kecenderungan sensasi kenyamanan termis yang dirasakan semakin menurun.

Daftar Pustaka

- [1] Saputra, A., Avenzora, R., Darusman, D., & Hermawan, R. (2016). Orientasi Masyarakat Kota Bogor Terhadap Nilai Kenyamanan Udara. *Jurnal Penelitian Sosial Dan Ekonomi Kehutanan*, 13(3), 177–187. https://doi.org/10.20886/jsek.2016.13.3.177-187.
- [2] Wati, T., Informasi, P., Iklim, P., Pusat, J., Layanan, P., & Iklim, I. (2018). Analisis Kenyamanan Termis Klimatologis di Wilayah DKI Jakarta dengan Menggunakan Indeks Panas (Humidex). 4(1).
- [3] ASHRAE, S. (2013). Standard 55-2013. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, 12.
- [4] Badan Standar Nasional. (2004). Tata cara perencanaan lingkungan perumahan di perkotaan SNI 03-1733-2004.
- [5] Camuffo, D. (2019). Microclimate for Cultural Heritage: Measurement, Risk Assessment, Conservation, Restoration, and Maintenance of Indoor and Outdoor Monuments. Elsevier.
- [6] Kalvelage, K., Passe, U., Rabideau, S., & Takle, E. S. (2014). Changing climate: The effects on energy demand and human comfort. *Energy and Buildings*, 76, 373–380.
- [7] Siregar, D. C., Lubis, N. A.-Z., & Muhajir, M. (2020). Analisis Kenyamanan Termis Kota Banda Aceh Berdasarkan Temperature Humidity Index, Discomfort Index dan Humidex. Widyakala: Journal of Pembangunan Jaya University, 7(1), 48. https://doi.org/10.36262/widyakala.v7i1.296
- [8] Ropo, O. I., Perez, M. S., Werner, N., & Enoch, T. I. (2017). Climate variability and heat stress index have increasing potential ill-health and environmental impacts in the East London, South Africa. Int. J. Appl. Eng. Res, 12(17), 6910–6918.
- [9] Mehrotra, S., Bardhan, R., & Ramamritham, K. (2019). Outdoor thermal performance of heterogeneous urban environment: An indicatorbased approach for climate-sensitive planning. *Science of the Total Environment*, 669, 872–886.
- [10] Karyono, T. H. (2004). Penelitian Kenyamanan Termis di Jakarta sebagai Acuan Suhu Nyaman Manusia Indonesia. DIMENSI (Journal of Architecture and Built Environment), 29(1).
- [11] Masterton, J. M., & Fa, R. (1979). a Method of quantifying human Discomfort Due to excessive

- heat and humidity. cli 1-79: aes, environment canada. *Downsview, Ontario*.
- [12] Scoccimarro, E., Fogli, P. G., & Gualdi, S. (2017). The role of humidity in determining scenarios of perceived temperature extremes in Europe. Environmental Research Letters, 12(11), 114029.
- [13] Rana, R., Kusy, B., Jurdak, R., Wall, J., & Hu, W. (2013). Feasibility analysis of using humidex as an indoor thermal comfort predictor. Energy and Buildings, 64, 17–25.
- [14] Ardi, I. R., Lubis, M. S., & Fitrianingsih, Y. (2010). Analisis Urban Heat Island Dalam Kaitannya Terhadap Perubahan Penutupan Lahan Di Kota Pontianak. 1–10.
- [15] Charalampopoulos, I., Tsiros, I., Chronopoulou-Sereli, A., & Matzarakis, A. (2013). Analysis of thermal bioclimate in various urban configurations in Athens, Greece. *Urban Ecosystems*, 16(2), 217– 233. https://doi.org/10.1007/s11252-012-0252-5.
- [16] Spridonov, V., Curic, M., & Zafirovski, O. (2013). Weather and Human Health. *Macedonian: COBISS MK*.
- [17] Basyaruddin, Effendy S. 2007. Keterkaitan Cuaca di Indonesia dengan Fenomena Bintik Matahari (Sunspot). Jurnal Agromet Indonesia 21(1):36-46
- [18] Alfano, F. R. D., Riccio G., Palella, B. I. 2007. Humidex: can a biometeorological Index profitably lead to the Indoor Thermal Environment Assessment.
- [19] Afif, M., Anshari, G. Z., & Tangdililing, A. B. (2017). Persepsi Petani Terhadap Temperatur dan Hujan di Pontianak. 1–12.
- [20] Masitoh, F., & Rusydi, A. N. (2020). Climatological Human Comfort Using Heat and Humidity Index (Humidex) in Gadingkulon, Malang. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 412(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/412/1/012026.
- [21] Tsutsumi, H., Tanabe, S., Harigaya, J., Iguchi, Y., & Nakamura, G. (2007). Effect of humidity on human comfort and productivity after step changes from warm and humid environment. Building and Environment, 42, 4034–4042. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.037.
- [22] Amasuomo, T. T., & Amasuomo, J. O. (2016). Perceived thermal discomfort and stress behaviours affecting students' learning in lecture theatres in the humid tropics. *Buildings*, 6(2), 18.

Megasains, Vol. 12, No. 1, 17-25 p-ISSN 2086-5589, e-ISSN 2723-2239 https://megasains.gawbkt.id ©GAW BKT, 2021



RANCANG BANGUN APLIKASI METEOROLOGI DAN GEOFISIKA DENGAN MENGGUNAKAN BAHASA PEMROGRAMAN MATLAB DAN GMT

BUILDING DESIGN METEOROLOGICAL AND GEOPHYSICAL APPLICATION USING PROGRAMMING LANGUAGES MATLAB AND GMT

Nurul Hudayat

Stasiun Geofisika Kepahiang - Bengkulu *E-mail: nurul.hudayat@bmkg.go.id / dayatsaja4@gmail.com

Naskah masuk: 06 Januari 2021 Naskah diperbaiki: 10 Maret 2021 Naskah diterima: 23 Maret 2021

ABSTRAK

Stasiun Geofisika Kepahiang merupakan unit perwakilan BMKG yang berada di wilayah Kabupaten Kepahiang Bengkulu. menjalankan tugasnya diperlukan aplikasi pengolahan data meteorologi dan geofisika yang cepat, efektif dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan aplikasi pengolahan data meteorologi dan geofisika. Pengolahan ini terkait dengan parameter statistik data meteorologi dan geofisika yang ditampilkan dalam grafik. Aplikasi ini dapat menghasilkan keluaran berupa 13 grafik dan 2 peta. Grafik yang dihasilkan adalah grafik suhu rata-rata, suhu maksimum dan minimum, kelembaban, curah hujan, lamanya penyinaran matahari, gempa yang tercatat, gempa bumi berdasarkan magnitudo (diagram batang dan lingkaran), gempa berdasarkan kedalaman (diagram batang dan lingkaran), gempa dirasakan, gempa berbasis sumber, RMS gempa, peta seismisitas dan peta seismisitas beserta penampang melintangnya. Waktu pemrosesan sekitar 3 - 5 menit. Waktu proses aplikasi ini lebih cepat iika dibandingkan dengan software Microsoft Excel dan software ArcGis.

Kata kunci: GMT, MATLAB, Seismisitas

ABSTRACT

Station Geophysics of Kepahiang is a BMKG representative unit located in the Kepahiang province of Bengkulu. In carrying out its duties requires a fast, effective and efficient application of meteorological and geophysical data processing. This study aims to develop meteorological and geophysical processing applications. This processing is related to the statistical parameters of meteorological and geophysical data displayed in the graph. This application can produce output in the form of 13 charts and 2 maps. The resulting graphs are graphs of average temperature. maximum and temperature, humidity, precipitation, duration of solar radiation, detected earthquakes, earthquakes based on magnitude (bar chart and pie chart), earthquakes based on depth (bar chart and pie charts), earthquakes felt, earthquake based on source, earthquake RMS, seismicity maps and seismicity and cross-sectional maps. The processing time is around 3-5 minutes. Processing time with this application is faster when compared to processing with Microsoft Excel and ArcGis software.

Keywords: GMT, MATLAB, Seismicity

DOI: 10.46824/megasains.v12i1.38

1. Pendahuluan

Stasiun Geofisika Kepahiang merupakan unit perwakilan BMKG yang berada di wilayah Kepahiang Provinsi Bengkulu (Gambar Lokasinya berada di daerah pegunungan. Di sebelah utara berbatasan dengan Kabupaten Rejang Lebong, di sebelah selatan berbatasan dengan Kabupaten Seluma, di sebelah barat berbatasan dengan Kabupaten Bengkulu Tengah dan di sebelah timur berbatasan dengan Provinsi Sumatera Selatan. Stasiun ini dibangun tahun 1978. Saat itu hanya mengamati gempa. Kemudian setelah berkembangnya kebutuhan masyarakat akan data meteorologi dan geofisika, sehingga saat ini juga melakukan pengamatan meteorologi.

Tugas utama stasiun geofisika Kepahiang adalah mengamati gempa bumi, tsunami, petir, tanda waktu dan pengamatan meteorologi sinoptik. Pengamatan gempa, tsunami dan petir dilakukan selama 24 jam dan mencakup wilayah sekitar Provinsi Bengkulu. Pengamatan tanda waktu hanya dilakukan untuk melihat bulan baru atau bulan baru di akhir bulan hijriah. Pengamatan meteorologi sinoptik dilakukan setiap jam dan hanya dilakukan 13 jam dalam sehari, mulai pukul 07.00 WIB hingga 19.00 WIB. Serta melakukan survei kerusakan jika terjadi gempa merusak di Provinsi Bengkulu. Data dan informasi dari pengamatan ini lebih banyak digunakan untuk kebencanaan. Daerah Bengkulu merupakan daerah yang sering mengalami gempa bumi. Dari data historis sejak tahun 1770 hingga akhir tahun 2009 wilayah Bengkulu mengalami gempa yang cukup signifikan dan hingga saat ini aktivitas seismik masih sering terjadi [1].

Teknologi komputer saat ini telah berkembang pesat. Hampir semua aspek kehidupan teknologi komputer telah digunakan. Dengan menggunakan teknologi komputer maka pekerjaan akan lebih mudah, efektif dan efisien. Teknologi komputer mengacu pada penggunaan bahasa pemrograman untuk menyelesaikan suatu masalah. Beberapa penelitian terkait dengan perkembangan teknologi komputer di bidang gempa yaitu Setyonegoro [2] mengembangkan aplikasi prediksi gempa dengan perhitungan statistik numerik. Aplikasi ini menggunakan pemrograman Matlab. Selaniutnva Irwansyah dkk [3] mengembangkan aplikasi sistem informasi geografis untuk pemantauan gempa. Aplikasi ini berguna untuk menampilkan informasi gempa yang telah dan sedang terjadi dalam bentuk visual. Selain di bidang kegempaan dikembangkan penggunaan teknologi komputer di bidang meteorologi yaitu: Asynuzar [4] mengembangkan aplikasi pengolahan data cuaca di Stasiun Meteorologi Maritim Pontianak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi ini dapat secara otomatis menyandikan dan membuat laporan bulanan yang sesuai dengan kebutuhan stasiun. Khambali dkk [5] merancang aplikasi dengan bahasa pemrograman java dan mysql untuk memudahkan dalam pengolahan dan pelaporan data di stasiun meteorologi Tegal.

Pengolahan data di Stasiun Geofisika Kepahiang selama ini dikerjakan dengan menggunakan Aplikasi Microsoft Excel. Salah satu kelebihan dari aplikasi ini adalah lebih familiar dan lebih mudah digunakan. Namun akan memakan waktu lama jika data yang diolah banyak dan bervariasi. Selain Microsoft Excel, aplikasi ArcGis juga digunakan. Pengerjaan dengan ArcGis juga yaitu tergolong cukup lama rata-rata membutuhkan waktu proses sekitar 30 menit. Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan yang aplikasi dapat mempercepat suatu pengolahan data Stasiun Geofisika pada Kepahiang. Penelitian ini bertujuan untuk merancang aplikasi pengolahan data dengan menggunakan bahasa pemrograman Matlab dan GMT.



Gambar 1. Lokasi Stasiun Geofisika Kepahiang

2. Metode Penelitian

(Matrix Laboratory) adalah bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh Mathwork Inc. Umumnya digunakan dalam bidang sains dan teknik. Matlab adalah bahasa pemrograman tingkat tinggi, Integrasi antara komputasi, visualisasi, dan bahasa pemrograman. Matlab memiliki struktur data yang baik, memiliki editor alat debugging serta mendukuna pemrograman berbasis objek. Untuk alasan inilah Matlab sangat baik digunakan dalam penelitian dan pendidikan [6]. GMT (Generic Mapping Tools) adalah kumpulan sumber terbuka yang terdiri dari 80 baris perintah untuk manipulasi data geografis dan kartesian. Dari plot dua dimensi yang

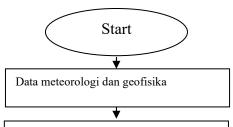
sederhana hingga perspektif tiga dimensi, GMT mendukung 30 jenis proyeksi pemetaan dan transformasi. Karena fleksibilitasnya dan pertimbangan yang tidak berbayar, maka komunitas ilmu kebumian di dunia banyak menggunakan GMT dalam pekerjaannya [7].

Dalam perancangan aplikasi, yang pertama dilakukan adalah mengidentifikasi permasalahan yang ada di Stasiun Geofisika Kepahiang. Permasalahan yang ada antara lain: pengolahan dengan Microsoft Excel membutuhkan waktu yang lama dan dibutuhkan ketelitian karena data yang diolah bervariasi. Data yang diolah terdiri dari suhu minimum harian, suhu maksimum harian, suhu rata-rata harian, kelembaban harian. curah hujan harian, durasi penyinaran matahari harian, dan data parameter gempa. Kemudian menghitung rata-rata, nilai maksimum, nilai minimum, standar deviasi dan membuat grafik berdasarkan tanggal masing-masing data. Untuk data gempa lebih kompleks karena harus mengklasifikasikan gempa dengan magnitudo M < 3, $3 \le M < 5$ dan $M \ge 5$, kemudian dihitung jumlah tiap kelompok magnitudo dalam satu hari selama satu bulan.

Pengolahan selanjutnya adalah klasifikasi gempa berdasarkan kedalamannya yaitu kedalaman dangkal (0 - 60 km), sedang (60 - 300 km) dan dalam (> 300 km). Hitung jumlah kejadian tiap kelompok kedalaman gempa dalam satu hari selama satu bulan. Selain itu juga menghitung jumlah kejadian gempa yang terjadi di dalam wilayah Provinsi Bengkulu dan di luar wilayah Provinsi Bengkulu. Gempa terasa dan tidak terasa. Gempa berdasarkan sumbernya. Menurut sumbernya gempa bumi terbagi menjadi : gempa karena subduksi, sesar dan gempa background [1]. Serta pembuatan peta seismisitas dan penampang melintang (cross section) gempagempa di Bengkulu. Diagram alir pengolahan yang digunakan oleh aplikasi ini dapat dilihat pada Gambar 2.

Matlab digunakan untuk membuat GUI (Graphical User Interface) dan mengembangkan fungsi Fungsi buatan digunakan membantu dalam menghitung nilai rata-rata, nilai maksimum, nilai minimum, standar deviasi, mode dan median serta membuat grafik batang. Untuk data gempabumi juga dibuat fungsi buatan untuk mengklasifikasikan data gempabumi berdasarkan magnitudo dan kedalaman, gempa di dalam atau di luar provinsi Bengkulu, gempa terasa atau tidak terasa, gempa berdasarkan sumbernya, membuat peta seismisitas dan potongan melintang gempa. yang digunakan untuk topografi menggunakan data DEM (Digital Elevation Model) GEBCO 2014 [8]. Selain data DEM juga terdapat

data Sesar Mentawai [9], Sesar Sumatra dan trench [10]. Data garis pantai menggunakan data dari GSHHG (Global Self-consistent, Hierarchical, High resolution Geography Database) [11].



Perhitungan parameter statistik dan pembuatan grafik dan peta

- 1. Grafik suhu rata-rata
- 2. Grafik suhu maksimum dan minimum
- 3. Grafik kelembaban
- 4. Grafik curah hujan
- 5. Grafik durasi penyinaran matahari
- 6. Diagram lingkaran gempa tercatat
- 7. Diagram lingkaran gempa berdasarkan magnitudo
- 8. Diagram batang gempa berdasarkan magnitudo
- 9. Diagram lingkaran gempa berdasarkan kedalaman
- 10. Diagram batang gempa berdasarkan kedalaman
- 11. Diagram lingkaran gempa dirasakan
- 12. Diagram lingkaran gempa berdasarkan sumber
- 13. Diagram batang RMS penentuan hiposenter gempa
- 14. Peta Seismisitas
- 15. Peta Seismisitas dan potongan melintang gempa (*cross section*)



Gambar 2. Diagram alir aplikasi

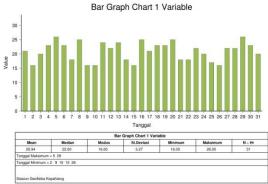
Grafik dan peta dibuat dengan GMT melalui fungsi Matlab. Beberapa fungsi buatan yang dikembangkan yaitu: grf2n, grf3n, grf4n, pie2, pie3, seismapn dan crossgempn. Fungsi grf2n digunakan untuk menggambarkan diagram batang misalnya untuk menggambarkan variasi suhu dalam satu bulan (hanya satu variabel). Ada tiga tipe tampilan warna diagram batang yang ditampilkan. Fungsi grf3n dan grf4n berfungsi untuk menampilkan diagram batang dengan 2 variabel dan 3 variabel serta tidak memiliki gradasi warna. Fungsi grf2, grf3 dan grf4 menghasilkan parameter statistik seperti mean, median, modus, standar deviasi. Fungsi pie2 dan pie3 dibuat untuk menampilkan diagram lingkaran

dari 2 variabel dan 3 variabel. Untuk data gempa dikembangkan fungsi seismapn dan crossgempn.

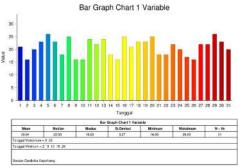
Fungsi seismapn digunakan untuk memetakan gempa bumi yang terjadi dalam satu bulan, disebut juga peta seismisitas bulanan. Fungsi crossgempn digunakan untuk melihat posisi gempa terhadap slab dan sesar pada penampang melintang dan untuk menampilkan jumlah kejadian gempa secara kedalaman. Secara umum untuk membuat grafik dan peta pada GMT kita membuat batch file. Kemudian harus menjalankannya. Dengan fungsi buatan ini batch file akan dihasilkan oleh matlab dan selaniutnya akan dijalankan oleh matlab. Karena GMT tidak mendukung format data .xls maka dengan matlab dapat mengatasi hal tersebut. Contoh grafik dan peta dari fungsi buatan tersebut dapat dilihat pada gambar 3a-3e.

3. Hasil dan Pembahasan

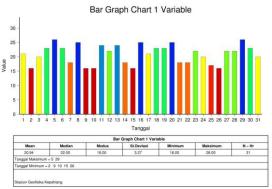
Aplikasi yang dikembangkan telah diujicobakan pada beberapa komputer di Stasiun Geofisika Kepahiang. Pada Gambar 4a merupakan contoh tampilan aplikasi GUI. Aplikasi ini mudah dijalankan. Hanya menyiapkan data meteorologi dan data parameter gempa (data geofisika).



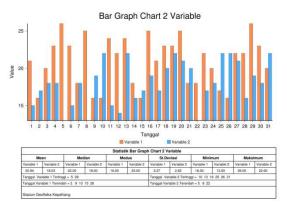
Gambar 3a. Grafik hasil dari fungsi grf2



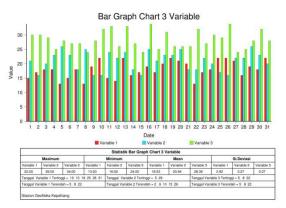
Gambar 3b. Grafik hasil dari fungsi grf2 (gradasi warna dalam sumbu x)



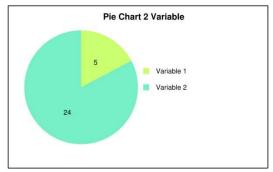
Gambar 3c. Grafik hasil dari fungsi grf2 (gradasi warna pada sumbu y)



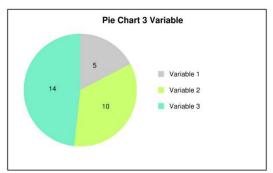
Gambar 3d. Grafik hasil dari fungsi grf3 (dua variabel)



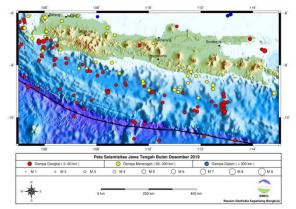
Gambar 3e. Grafik hasil dari fungsi grf4 (tiga variabel)



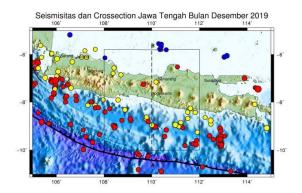
Gambar 3f. Grafik lingkaran 2 variabel

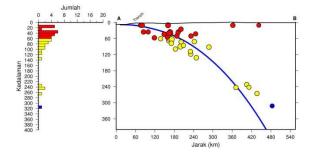


Gambar 3g. Grafik lingkaran 3 variabel



Gambar 3h. Peta Seismisitas dari fungsi seismapn





Gambar 3i. Peta Seismisitas dan potongan melintang dari fungsi crossgempn

Format data meteorologi dan gempa bumi dibuat dalam format excel. Format data meteorologi dan data gempa dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2. Data meteorologi memiliki 7 kolom sedangkan data gempa memiliki 8 kolom. Untuk data meteorologi urutan tanggal selalu berurutan dan

nilai curah hujan jika tidak ada hujan diisi -9999 sehingga tidak terbaca oleh aplikasi. Kemudian data gempa di isi sesuai urutan tanggal dan jika pada tanggal tertentu tidak ada kejadian gempa maka dapat diteruskan ke tanggal berikutnya. Gempa yang dirasakan akan diberi angka 1 sedangkan jika tidak dirasakan diberi angka 0 pada kolom ke-6.

Untuk kolom ke-7 disesuaikan dengan sumber gempanya yaitu; 1. Subduksi; 2. Fault; 3. Gempa background. Cara penggunaan aplikasi ini tinggal menyiapkan data meteorologi dan gempa kemudian masukan ke dalam aplikasi dan klik run. Hasilnya adalah grafik dan peta di direktori C: \ KSIStat. Contoh hasil grafik dapat dilihat pada 4b-4p. Aplikasi pengolahan data Gambar meteorologi dan geofisika dapat membuat 13 grafik dan 2 peta yang dapat diproses dalam waktu sekitar 3-5 menit. Grafik ini berisi informasi tentang statistik dari data, seperti rata-rata (mean), median, modus, standar deviasi, nilai minimum dan nilai maksimum. Seperti halnya informasi tentang posisi tanggal pada saat nilai datanya maksimal atau minimal, grafik yang ditampilkan ada dua jenis yaitu diagram batang dan diagram lingkaran.

Tabel 1. Format Data Meteorologi

| tgl | suhu rata- rata | suhu mini mum | suhu maksi mum | Kelemba ban | curah hujan | lamanya penyinaran matahari |
|-----|-----------------------|---------------------|----------------------|----------------|----------------|-----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

Table 2. Format data gempa

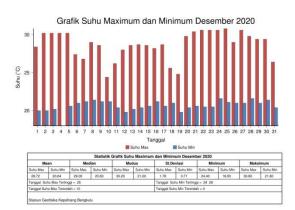
| tgl | bujur | lintang | Kedalaman | М | Dirasakan / tidak dirasakan | sumber gempa | RMS |
|-----|-------|---------|-----------|---|-----------------------------------|-----------------|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |



Gambar 4a. Tampilan GUI



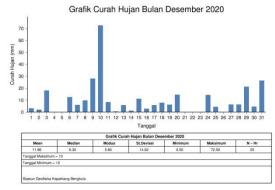
Gambar 4b. Grafik suhu rata-rata



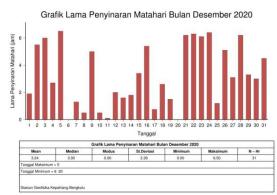
Gambar 4c. Grafik Suhu maksimum dan minimum



Gambar 4d. Grafik Kelembaban



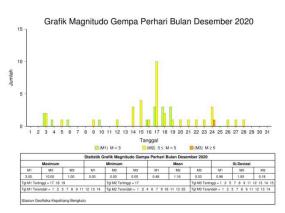
Grafik 4e. Grafik curah hujan



Gambar 4f. Grafik durasi lama penyinaran matahari



Gambar 4g. Diagram gempa yang tercatat



Gambar 4h. Grafik gempabumi per hari berdasarkan magnitudo



Gambar 4i. Grafik gempabumi per hari berdasarkan kedalaman



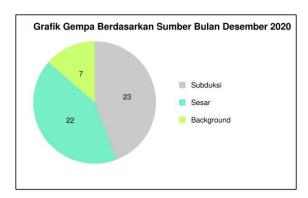
Gambar 4j. Diagram lingkaran gempabumi berdasarkan magnitude



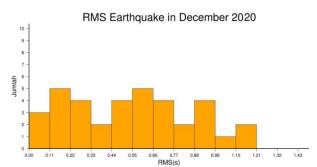
Gambar 4k. Diagram lingkaran gempabumi berdasarkan kedalaman



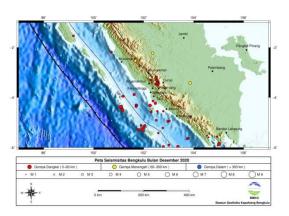
Gambar 4I. Diagram lingkaran gempabumi terasa dan tidak terasa



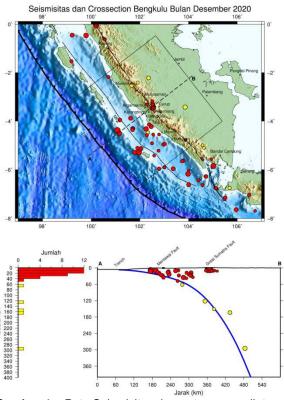
Gambar 4m. Diagram lingkaran gempabumi berdasarkan sumber pemicu



Gambar 4n. Grafik RMS penentuan hiposenter gempa



Gambar 4o. Peta Seismisitas Provinsi Bengkulu



Gambar 4p. Peta Seismisitas dan potongan melintang gempa di Provinsi Bengkulu

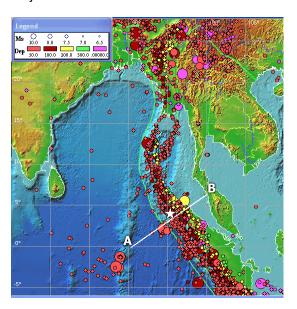
Untuk data meteorologi menggunakan diagram batang. Data yang ditampilkan adalah grafik suhu rata-rata, grafik suhu maksimum dan minimum, grafik kelembaban, grafik curah hujan dan grafik durasi matahari (Gambar 4b-4f). Untuk data meteorologi, diagram batang digunakan untuk mencari variasi data harian selama satu bulan. Sedangkan untuk data gempa penyajian datanya bisa dalam bentuk diagram batang, diagram lingkaran dan peta. Bagan batang digunakan untuk menampilkan variasi jumlah gempa bumi dan gempa harian. Variasi ini dapat dibedakan berdasarkan magnitudonya (Gambar 4h) atau kedalaman (Gambar 4i).

Selain diagram batang, ada juga diagram lingkaran. Diagram lingkaran digunakan untuk menentukan jumlah kejadian gempa selama satu gempa bulan berdasarkan lokasi, gempa berdasarkan magnitudo, gempa berdasarkan kedalaman, gempa terasa atau tidak, dan sumber pemicu gempa. Kemudian agar lebih memahami informasi spasial maka dibuat pula peta. Peta yang ditampilkan adalah peta seismisitas (Gambar 4o). Peta seismisitas menunjukkan sebaran posisi episenter yang terjadi di Provinsi Bengkulu selama satu bulan. Dengan melihat sebaran episentrum maka dapat diketahui wilayah mana saja yang rawan gempa. Dengan melihat peta seismisitas, kita juga bisa mengetahui besarnya variasi dan kedalaman gempa yang terjadi di Provinsi Bengkulu. Semakin besar besar ukuran lingkaran maka semakin besar magnitudo kekuatan gempa. Untuk kedalamannya terbagi menjadi tiga jenis. Kedalaman dangkal (0 – 60 km) ditandai dengan warna merah. Di kedalaman menengah (60 - 300 km) diberi warna kuning dan untuk kedalaman dalam (> 300 km) diberi warna biru. Batas wilayah Bengkulu dan luar Bengkulu dapat dilihat pada Gambar 4p. Gempa bumi yang berada di dalam persegi panjang yang diberi garis hitam merupakan aktivitas seismik yang masuk ke wilayah Provinsi Bengkulu sedangkan jika gempa berada di luar persegi panjang bergaris hitam itu adalah gempa bumi di luar Bengkulu.

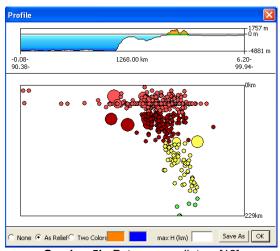
Untuk mengetahui sebaran gempa berdasarkan kedalaman dan sumber gempa maka dibuat penampang melintang. Di sini kita melihat posisi gempa berdasarkan sumbernya. Bisa jadi karena subduksi, patahan atau gempa background. Untuk menghindari kesalahan pengolahan data meteorologi, aplikasi tidak memproses jika jumlah data dengan jumlah hari dalam sebulan tidak sesuai, contoh: Data suhu rata-rata harian hanya diisi selama 10 hari, sedangkan pada bulan tersebut ada 30 hari, aplikasi tidak akan diproses. Data harus 30 hari sesuai dengan jumlah hari dalam sebulan. Kemudian untuk data gempa jika lokasi seluruh data tidak ada di wilayah Bengkulu maka aplikasi tidak akan mengolah data tersebut.

Tentu ini disesuaikan dengan settingan file yang ada di dalam file st.xls. Di dalam file ini dapat diatur wilayah mana yang mau dipetakan. Karena pengolahannya di daerah Bengkulu maka pengaturan di file setting ini di atur agar sesuai dengan lintang bujur provinsi Bengkulu.

Aplikasi ini jika dibandingkan dengan Microsoft Excel, waktu pengerjaannya lebih cepat dengan aplikasi ini. Karena untuk mengolah di excel butuh ketelitian. Yakni akurasi dalam memilih data untuk menghitung parameter statistik dan pembuatan grafik, serta pembuatan peta juga lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan software aplikasi pemetaan ArcGIS. Saat menggunakan ArcGIS, Anda harus memasukkan peta dasar, data gempa dan menyesuaikan layout peta sehingga waktu pengerjaannya cukup lama. Selain ArcGIS, perangkat lunak pemetaan yang membuat penampang adalah WinITDB. WinITDB adalah aplikasi untuk memvisualisasikan dan mengelola data gempa dan tsunami [12]. WinITDB cukup mudah digunakan untuk membuat penampang melintang beberapa kelemahan yakni mengetahui koordinat daerah yang akan dipetakan penampang sehingga pengolahan rutin memakan waktu yang cukup lama. Selain itu, basis data nama kota dan batas administrasi yang ditampilkan lebih sedikit jika dibandingkan dengan aplikasi yang dikembangkan. Input data gempa tidak dalam bentuk excel, sehingga input data yang diberikan lebih sulit. Salah satu contoh peta kegempaan dan penampang dapat dilihat pada Gambar 5a dan 5b. Selaniutnya iika dilihat pada Gambar 4p dan Gambar 5b. Terlihat bahwa pada penampang yang menampilkan hasil WinİTDB tidak terdapat ilustrasi slab dan jumlah kejadian gempa pada tiap kedalaman. Namun hasil WinITDB memberikan gambaran topografi yang lebih jelas antara darat dan laut.



Gambar 5a. Peta Seismisitas[12]



Gambar 5b. Potongan melintang[12]

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengembangan aplikasi pengolahan data meteorologi dan geofisika, aplikasi yang dikembangkan dapat memberikan hasil yang sesuai dengan kebutuhan Stasiun Geofisika Kepahiang yaitu grafik suhu rata-rata, suhu maksimum dan minimum, kelembaban, curah hujan, lama penyinaran matahari, gempa tercatat, gempa bumi berdasarkan yang dan diagram magnitudo (diagram batang lingkaran), gempa bumi berdasarkan kedalaman (diagram batang dan diagram lingkaran), gempa dirasakan, gempa bumi berdasarkan sumber, gempa bumi, peta kegempaan dan peta kegempaan dan penampang. Perbandingan dengan software sejenis menunjukkan bahwa aplikasi yang dikembangkan lebih unggul.

Daftar Pustaka

- [1] Pusgen. (2017). Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017. Bandung: KemenPUPR.
- [2] Setyonegoro, W. (2012). Tools Developing Based On Matlab Programing Through Anfis And Ipv.03 To Earthquake Analyze In South-East Asia Region. Buletin Meteorologi dan Geofisika. Vol.8(1). 39-52.
- Meteorologi dan Geofisika, Vol.8(1), 39-52.
 [3] Irwansyah, E., Saputra, T. B., Piu, L., dan Wirangga, K. (2012). Pengembangan Aplikasi Sistem Informasi Geografis untuk monitoring gempabumi. Jurnal Informatika, Vol. 11(1), 49-54.
- [4] Asynuzar, N. (2014). Pengembangan Aplikasi Pengolahan Data Cuaca pada Stasiun Meteorologi Maritim Pontianak. Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi (JustIN), 3(1),58-64.
- [5] Khambali, M., Rohayah, S., dan Somantri, Oman. (2017). Pembangunan Aplikasi Pengolahan Data Unsur Cuaca pada Stasiun Meteorologi Kota Tegal dengan Model Waterfall. Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT (JPIT), Vol. 2, (1), 37-41.
- [6] Houcque, D. (2005). Introduction to Matlab for engineering students. Boston: Northwestern University
- [7] Wessel, P. (2018, July 1). What is GMT?. Retrieved from http://gmt.soest.hawaii.edu/

- [8] Weatherall, P., Marks, K. M., Jakobsson, M., Schmitt, T., Tani, S., Arndt, J. E., Rovere, M., Chayes, D., Ferrini, V., dan Wigley, R. (2015). A new digital bathymetric model of the world's oceans, *Earth and Space Science*, Vol 2(8), 331–345, doi:10.1002/2015EA000107.
- [9] Sieh, K., dan Natawidjaja, D.(2000). Neotectonics of Sumatran Fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research*.Vol 105(B12).28295–28326.
- [10] Coffin, M. F., Gahagan, L. M., dan Lawver, L. A. (1998). Present-day Plate Boundary Digital Data Compilation. Austin, Texas: University of Texas Institute for Geophysics.
- [11] Wessel, P., dan Smith, W. H. F.(1998). New, improved version of Generic Mapping Tools released, *EOSTrans*. *AGU*, 79(47), 579-579. doi:10.1029/98EO00426.
- [12] WinITDB/WRL. (2007). Integrated Tsunami Database for the World Ocean. Novosibirsk, Rusia: Tsunami Laboratory ICMMG SD RAS.

Megasains, Vol. 12, No. 1, 26-33 p-ISSN 2086-5589, e-ISSN 2723-2239 https://megasains.gawbkt.id ©GAW BKT, 2021



KAJIAN HASIL PREDIKSI KONSENTRASI AEROSOL PM10 DARI DATA ECMWF DENGAN HASIL PENGUKURAN DI STASIUN PEMANTAU ATMOSFER GLOBAL BUKIT KOTOTABANG (AGAM) DAN KOTA PADANG

STUDY OF THE RESULTS AEROSOL PM10 CONCENTRATION PREDICTION FROM ECMWF DATA WITH MEASUREMENT RESULTS IN THE KOTOTABANG GLOBAL ATMOSPHERE WATCH STATION (AGAM) AND PADANG OF CITY

Sri Yanti Lisha^{1*}, Nofriya², Darmadi³

1-2Sekolah Tinggi Teknologi Industri (STTIND) Padang

Naskah masuk: 09 Maret 2021 Naskah diperbaiki: 20 Maret 2021 Naskah diterima: 24 Maret 2021

ABSTRAK

Emisi polutan udara yang bersumber dari kebakaran hutan dan lahan serta dari transportasi di wilayah perkotaan menjadi perhatian baik bagi pemangku kepentingan dan masyarakat. Salah satu jenis polutan udara yang sering menjadi indikator utama adalah particulate matter 10 micron (PM10). Sedikitnya titik lokasi pengukuran konsentrasi PM10 menyebabkan ketersediaan data dan informasi polutan udara ini terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan kajian terhadap penggunaan data dari model ECMWF sebagai prediksi untuk konsentrasi PM10 di dua lokasi, vaitu di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang dan Kota Padang. Metode penelitian yang digunakan mengacu pada analisis data secara kuantitatif menggunakan metode korelasi dan statistik deskriptif. Hasil dari penelitian ini menunjukkan konsentrasi PM10 dengan menggunakan data ECMWF terhadap data observasi di kota Padang menunjukkan nilai selisih 25% (H-1), 20% (H-2), dan 17% (H-3), dan nilai prediksi terbaik adalah untuk data ECMWF pada H-3. Sementara itu nilai prediksi konsentrasi PM10 dengan menggunakan data ECMWF terhadap observasi di Bukit data Kototabang menunjukan nilai 12% (H-1), 23% (H-2), dan 24% (H-3). Hasil nilai prediksi terbaik konsentrasi PM10 di Bukit Kototabang adalah untuk data ECMWF pada H-1. Secara umum, konsentrasi PM10 dan hasil observasi menunjukkan profil yang sama, meskipun hasil dari ECMWF memberikan nilai konsentrasi yang berbeda di dua lokasi penelitian.

Kata kunci: PM10, ECMWF, Bukit Kototabang, Kota Padang.

ABSTRACT

Air pollutant emissions originating from forest and land fires as well as from transportation in urban areas are of concern to both stakeholders and the general public. One type of air pollutants that is considered as the main indicator of air pollution is particulate matter 10 micron (PM10). The limited number of locations for measuring PM10 concentrations in the field causes the availability of data and information on air pollutants. This study aims to study the use of data from the ECMWF model as a prediction for PM10 concentration in two locations, namely the Bukit Kototabang Global Atmospheric Monitoring Station and the City of Padang. The research method used refers to quantitative data analysis using correlation methods and descriptive statistics. The results of this study indicate that the concentration of PM10 using ECMWF data on observational data in the city of Padang shows a difference of 25% (H-1), 20% (H-2), and 17% (H-3), and the best predictive value. is for ECMWF data on H-3. Meanwhile, the prediction value of PM10 concentration using ECMWF data on observation data at the Bukit Kototabang Station shows a value of 12% (H-1), 23% (H-2), and 24% (H-3). The best prediction value for PM10 concentration at the Bukit Kototabang Station is for ECMWF data on H-1. In general, the PM10 concentration and the observed results show the same profile even though on average the results the *ECMWF* provide different concentration values in the two study locations. Keywords: PM10, ECMWF, Bukit Kototabang, Padang City.

³Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang

1. Pendahuluan

Dalam beberapa dekade terakhir, Indonesia sering kali dihadapkan dengan masalah yang berhubungan dengan terbakarnya hutan dan lahan (karhutla), khususnya untuk daerah yang memiliki tutupan vegetasi yang luas dan/atau didominasi oleh lahan gambut, seperti Sumatera dan Kalimantan. Diperkirakan hampir 9,75 juta hektar hutan dan lahan di wilayah Indonesia terdampak oleh peristiwa ini, terutama akibat kejadian karhutla tahun 1997 dan 2015 [1][2].

Menurut [3], kejadian karhutla yang terjadi di Indonesia tahun 1997/1998 adalah salah satu bencana lingkungan yang paling dahsyat pada abad kedua puluh, berdasarkan biaya yang berhubungan dengan kerusakan, serta jumlah karbon dan polusi yang dipancarkan dari Karhutla memainkan peran pembakaran. penting dalam perubahan senyawa kimia yang ada di atmosfer dan reaksi-reaksi kimia yang menyebabkan pembentukan polutan udara [4]. Data dari World Health Organization (WHO) atau Organisasi Kesehatan Dunia, 9 dari 10 orang di dunia menghirup udara yang tingkat polusinya melampaui ambang batas yang dianjurkan untuk kesehatan [5].

Tingkat konsentrasi polutan di suatu tempat/daerah tidak hanya disebabkan oleh banyaknya sumber emisi seperti yang terjadi pada kejadian karhutla, tetapi juga dipengaruhi oleh laiu perubahan fisik dan kimia dari pencemar itu sendiri serta distribusi dan penyebaran polutan tersebut di udara. Ini terutama sering dijumpai di kawasan perkotaan dengan tingkat kepadatan penduduk dan frekuensi kendaraan bermotor yang tinggi. Oleh karena itu, untuk mengetahui sampai mana emisi dari suatu sumber dapat dikatakan membahayakan atau dapat menimbulkan gangguan, perlu lebih jauh pemahaman mengenai karakteristik atmosfer yang sangat erat hubungannya dengan kondisi meteorologi setempat [6]; [7].

Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kotabang merupakan salah satu tempat untuk mengukur referensi udara bersih dunia. Stasiun ini terletak pada koordinat 100,32° Bujur Timur, 0,20° Lintang Selatan di ketinggian 864,5 m di atas muka laut. Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang dipilih sebagai tempat untuk mengukur referensi udara bersih, karena bukit ini berada jauh dari sumber-sumber pencemaran udara antropogenik seperti industri, jalan raya dan pemukiman. Jalan raya dan pemukiman salah satu

sumber pencemaran udara antropogenik berada di kaki bukit dengan jarak sekitar 3 km dari Bukit Kototabang, sehingga tempat ini diharapkan ideal untuk mengukur referensi udara bersih. Meskipun secara asumsi tempat ini cocok untuk pengamatan udara bersih, namun udara bukanlah sistem yang dapat diisolasi, sehingga polutan dari luar masih mungkin masuk ke kawasan udara Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang [8].

Kota Padang adalah kota terbesar di pantai barat Pulau Sumatera dan ibu kota provinsi Sumatera Barat. Kota ini merupakan pintu gerbang barat Indonesia dari Samudra Hindia. Menurut Perda No. 10 Tahun 2005 tentang luas Kota Padang mempunyai luas wilayah 1.414,96 Km² Secara geografis wilayah Kota Padang berada antara 00°44'00" - 01°08'35"LS dan 100°05'05" - 100°34'09" BT, dengan Batas Utara: Kabupaten Padang Pariaman, Batas Selatan: Kabupaten Pesisir Selatan, Batas Timur: Kabupaten Solok, Batas Barat: Samudra Hindia.

Kondisi Kota Padang yang berada di pesisir pantai Sumatera dan tingginya frekuensi kendaraan bermotor dan banyaknya kawasan industri menyebabkan wilayah ini rentan terhadap peningkatan konsentrasi polutan udara. [9] melakukan kajian terhadap faktor meteorologi da karakteristik lalu lintas terhadap dispersi konsentrasi PM10 di Kota Padang dan menemukan bahwa penurunan kualitas udara sebesar 15% yang dirasakan di kawasan yang berada di pinggiran jalan raya. Penelitian senada sebelumnya juga dilakukan oleh [10] yang menganalisis peningkatan konsentrasi PM10 sebesar 43% di kawasan sekitar jalan utama Kota Padang. Sementara itu, [11] melakukan kajian mengenai pengaruh arah angin terhadap dispersi konsentrasi PM10 di area pinggiran jalan di Kota Padang dan mendapatkan bahwa wilayah ini sangat dipengaruhi oleh tingginya aktivitas kendaraan bermotor. Dampak terhadap peningkatan konsentrasi PM10 di Kota Padang ini dirasakan oleh masyarakat, terutama pedagang kaki lima [11] dan pengguna jalan [12]; [13].

Kondisi yang kontras dapat diamati di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, oleh karena keberadaannya yang minim dipengaruhi oleh sumber emisi, Stasiun ini dijadikan sebagai stasiun referensi udara bersih di Indonesia [14]. Stasiun ini telah melakukan pengukuran konsentrasi PM10 sejak tahun 2004 dan telah memberikan informasi kondisi kualitas udara kepada publik. Kejadian karhutla

yang terjadi di Pulau Sumatera sering kali dapat di Bukit Kototabang terpantau terindikasinya peningkatan konsentrasi PM10 yang terukur.

Beberapa penelitian dan gambaran umum di atas mengemukakan pentingnya informasi mengenai konsentrasi PM10 di Kota Padang. Namun demikian, informasi yang diberikan baru sebatas hasil kajian yang dilakukan terbatas pada periode pengukuran dalam kegiatan penelitian. Merujuk dari rekomendasi dari penelitian-penelitian tersebut. informasi mengenai peningkatan konsentrasi PM10 memberikan dampak buruk bagi kesehatan [12]; [15]; [16]. Oleh karena itu, prediksi terhadap konsentrasi PM10 yang diakibatkan oleh peningkatan emisinya di udara sangat vital untuk memformulasi strategi yang dapat dilakukan guna mengurangi tingkat pencemaran PM10 di Kota Padang.

Informasi prediksi konsentrasi PM10 diperoleh dari hasil pemodelan komputasi. Salah satu sumber informasi yang sering digunakan adalah data yang bersumber dari European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). ECMWF memberikan informasi prediksi konsentrasi polutan udara, termasuk PM10 secara harian dalam jangka waktu 5 hari ke depan [19], menjadikan informasi yang diberikan sangat bermanfaat untuk digunakan sebagai dasar analisis kondisi kualitas udara dalam jangka waktu beberapa hari ke depan. Keunggulan lain dari data ECMWF adalah simulasinya yang komprehensif dengan melibatkan kondisi meteorologi dan komposisi kimia atmosfer termutakhir dalam proses pemodelannya [17].

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis hasil prediksi konsentrasi PM10 yang dihasilkan oleh European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF) dan bagaimana kondisi kualitas udara berdasarkan konsentrasi PM10, dan mengevaluasi hasil prediksi PM10 ECMWF dengan hasil pengukuran yang dilakukan di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang Kabupaten Agam dan Padang.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis prediksi konsentrasi PM10 berdasarkan hasil simulasi ECMWF dengan konsentrasi PM10 yang terukur di lapangan. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif karena menggunakan data dalam bentuk angka dan analisis statistik untuk menjawab permasalahan penelitian yang dirumuskan. Jenis penelitian kuantitatif adalah metode korelasi karena membandingkan data dari berbagai sumber dengan menggunakan pendekatan korelasi statistik [18].

Analisis statistik yang digunakan dalam penelitian ini adalah Statistik Deskriptif, yang mana menurut [19], Statistik Deskriptif adalah data yang dikumpulkan dalam sampel yang dapat memberikan gambaran atau deskripsi karakteristik melalui nilai rata-rata, nilai maksimum dan minimum, serta standar deviasi. Mean menunjukkan nilai rata-rata sampel, sedangkan nilai minimum, nilai maksimum, dan standar deviasi menunjukkan penyebaran data dari data penelitian yang digunakan.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder, yang didapatkan dari hasil pengamatan di lapangan yaitu di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang Kabupaten Agam dan Kota Padang serta data prediksi hasil ECMWF pada Februari s/d April 2020, dan mencakup data koordinat untuk penentuan lokasi serta mempelajari literatur yang berhubungan dengan penelitian ini yang berisi tentang petunjuk dan semua informasi yang berguna dalam pelaksanaan penelitian ini. Data-data tersebut antara lain:

- 1. Hasil prediksi PM10 dengan resolusi data per jam yang dikeluarkan oleh ECMWF. data diunduh dari laman: ini ftp://dissemination.ecmwf.int.
- 2. Hasil pengukuran konsentrasi PM10 di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang dengan resolusi data per jam. Pengukuran PM10 ini dengan menggunakan instrumen MetOne BAM 1020. Alat ini dioperasikan secara kontinyu dan data yang dihasilkan telah terekam secara otomatis pada database.
- 3. Hasil pengukuran PM10 di Kota Padang dengan menggunakan alat Air Quality Monitoring System (AQMS), dengan resolusi data per jam.

Analisis Data Bias (RMSE)

RMSE (Root Mean Square Error) merupakan mengestimasi metode untuk besarnva kesalahan pengukuran, dan menurut [20] merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi nilai hasil pengamatan terhadap nilai sebenarnya, dihitung dengan formula berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=n}^{n}(y_1 - y_2)^2}$$

Megasains 12 (1): 26-33, 2021 e-ISSN: 2723-2239

Dimana:

y₁ = Data observasi

 y_2 = Data prakiraan

n = Jumlah data

RMSE didapatkan dari kuadrat selisih data observasi dan prakiraan dibagi dengan jumlah data yang diakarkan. Metode estimasi yang mempunyai RMSE lebih kecil dikatakan lebih akurat daripada metode estimasi yang mempunyai RMSE lebih besar [21].

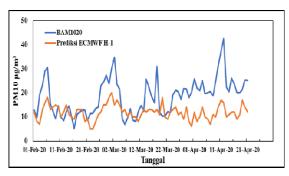
Analisis Data

Data PM10 dari ECMWF yang telah diolah akan dibandingkan dengan data pengukuran yang berada dalam rentang waktu yang sama yaitu bulan Februari s/d April 2020. PM10 yang digunakan penelitian ini adalah untuk prediksi tiga hari kedepan. Hasil prediksi dalam empat rentang waktu: H-3, H-2, H-1, dan H-0, akan digunakan sebagai acuan untuk melakukan verifikasi prediksi PM10. H disini adalah waktu dilakukannya di pengukuran lapangan, sementara angka menyertainya yang merupakan rentang waktu berapa hari ke depan nilai PM10 diprediksi. Misalnya H-3 dapat diartikan sebagai hasil prediksi PM10 yang dilakukan tiga hari sebelumnya, atau untuk prediksi PM10 tiga hari ke depan dan seterusnya. Dalam hal ini, variasi rentang waktu digunakan untuk melihat keakuratan prediksi ECMWF terhadap yang terukur di lapangan.

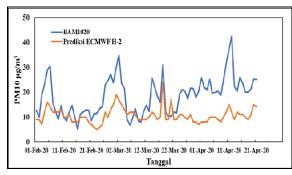
3. Hasil dan Pembahasan

Prediksi PM10 ECMWF dengan Data Observasi BAM 1020

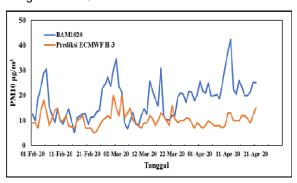
Data perbandingan hasil prediksi ECMWF dan observasi BAM 1020 sebanyak 87% dikarenakan ada beberapa data yang tidak tersedia. Gambar perbandingan konsentrasi PM10 berdasarkan hasil observasi BAM1020 dan prediksi ECMWF H-1, H-2, H-3 dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.



Gambar 1. Gambar perbandingan PM10 BAM1020 dengan data ECMWF H-1



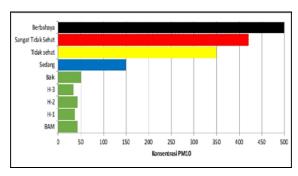
Gambar 2. Gambar perbandingan PM10 BAM1020 dengan data ECMWF H-2



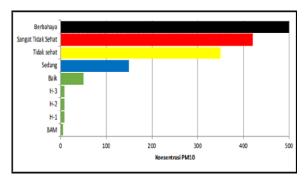
Gambar 3. Gambar perbandingan PM10 BAM1020 dengan data ECMWF H-3

Berdasarkan hasil analisis prediksi PM10 ECMWF terhadap data observasi BAM 1020 pada tabel 1, tabel 2 dan tabel 3, secara ratarata data prediksi ECMWF memberikan hasil di bawah atau lebih kecil dari data observasi BAM 1020, hal ini memiliki kesesuaian jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa pada kondisi normal tanpa adanya fenomena yang signifikan terhadap penyebab meningkatnya konsentrasi PM10 di udara ambien, maka model memberikan prediksi di bawah nilai yang teramati di observasi [22].

Konsentrasi maksimum dan minimum PM10 hasil observasi BAM 1020 dan prediksi ECMWF berdasarkan kategori, dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.



Gambar 4. Konsentrasi Maksimum PM10 BAM1020 Berdasarkan Kategori

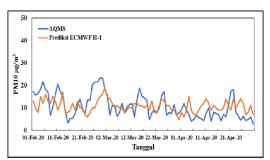


Gambar 5. Konsentrasi Minimum PM10 BAM1020 Berdasarkan Kategori

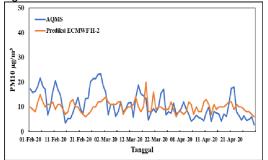
Pada Gambar 4, dan Gambar 5, konsentrasi maksimum dan minimum PM10 hasil prediksi ECMWF pada H-1, H-2 dan H-3 berada pada kategori baik begitu juga konsentrasi maksimum dan minimum hasil observasi BAM 1020 juga pada kategori baik, semua hasil observasi dan hasil prediksi ini masih berada dibawah Baku Mutu Udara Ambien Nasional, sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999, tentang Pengendalian Pencemaran Udara [23].

Prediksi PM10 ECMWF dengan Data Observasi AQMS

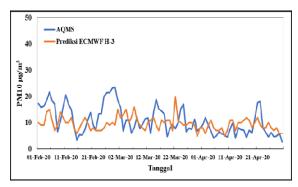
Data perbandingan hasil prediksi ECMWF dan hasil observasi di Kota Padang dengan menggunakan peralatan AQMS sebanyak 100%. Gambar perbandingan konsentrasi PM10 berdasarkan hasil observasi AQMS dan prediksi ECMWF H-1, H-2, H-3 dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.



Gambar 6. Gambar perbandingan PM10 AQMS dengan data ECMWF H-1



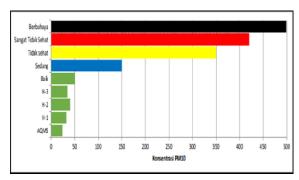
Gambar 7. Gambar perbandingan PM10 AQMS dengan data ECMWF H-2



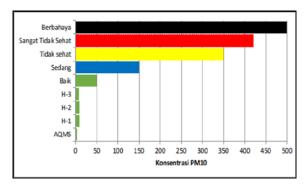
Gambar 8. Gambar perbandingan PM10 AQMS dengan data ECMWF H-3

Berdasarkan hasil analisis prediksi PM10 ECMWF terhadap data observasi AQMS pada tabel 6, tabel 7 dan tabel 8, secara rata-rata data prediksi ECMWF memberikan hasil di atas atau lebih besar dari data observasi AQMS, secara berurutan nilai rata-rata prediksi ECMWF H-3 memiliki selisih lebih besar 17%, nilai prediksi ECMWF H-2 lebih besar 20% dan nilai prediksi ECMWF H-1 lebih besar 25% dari data observasi AQMS. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini berbeda dengan hasil yang didapatkan dari penelitian sebelumnya, hal ini disebabkan banyak faktor yang mempengaruhi, antara lain, masa umur pakai peralatan observasi, faktor lingkungan yang sangat mempengaruhi dimana peralatan observasi tersebut dipasang, seperti gedung/bangunan tinggi, tumbuhan dan pohon tinggi yang menghalangi inlet dari peralatan observasi tersebut, yang mana menurut persyaratan SNI 19-7119.6-2005 butir 3.6.1 tentang ketentuan lokasi stasiun pemantau yang relatif dekat dengan bangunan atau pohon tertinggi [24]

Konsentrasi maksimum dan minimum PM10 hasil observasi AQMS dan prediksi ECMWF berdasarkan kategori, dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.



Gambar 9. Konsentrasi Maksimum PM10 AQMS Berdasarkan Kategori



Gambar 10. Konsentrasi Minimum PM10 AQMS Berdasarkan Kategori

Pada Gambar 9, dan Gambar 10, konsentrasi maksimum dan minimum PM10 hasil prediksi ECMWF pada H-1, H-2 dan H-3 berada pada kategori baik begitu juga konsentrasi maksimum dan minimum hasil observasi AQMS juga pada kategori baik, semua hasil observasi dan hasil prediksi ini masih berada dibawah Baku Mutu Udara Ambien Nasional, sesuai Peraturan Pemerintah Republik dengan Indonesia Nomor 41 Tahun 1999, tentang Pencemaran Pengendalian Udara Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan tentang Pedoman Teknis Perhitungan dan Pelaporan serta Informasi Indeks Standar Pencemar Udara Nomor: KEP-107/KABAPEDAL/11/1997 Tahun 1997 [25].

Analisis Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif merupakan analisis statistik yang memberikan gambaran secara umum mengenai karakteristik dari masing-masing data penelitian yang dilihat dari nilai rata-rata (mean), nilai maksimum dan minimum, serta standar deviasi. Mean menunjukkan nilai ratarata data penelitian, sedangkan nilai minimum, maksimum, dan standar deviasi menunjukkan penyebaran data dari data penelitian yang digunakan [26]. Dalam penelitian ini, analisis statistik deskriptif dilakukan untuk observasi BAM 1020, data observasi AQMS dan data prediksi PM10 ECMWF H-1, H-2 dan H-3, data tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Berdasarkan tabel 1, hasil rata-rata analisis statistik deskriptif konsentrasi PM10 BAM 1020 dan prediksi ECMWF, pada hari kesatu lebih kecil dari hari kedua dan ketiga dengan nilai persentase secara berturut-turut 12%, 23% dan 24%, hal ini memiliki kesesuaian jika dibandingkan dengan penelitian [22], yang mana pada kondisi normal tanpa adanya fenomena yang signifikan terhadap penyebab meningkatnya konsentrasi PM10 di udara ambien, maka model memberikan prediksi di

bawah nilai yang teramati di observasi. Sedangkan hasil rata-rata analisis statistik deskriptif konsentrasi PM10 AQMS dan prediksi ECMWF berdasarkan tabel 2, pada hari kesatu lebih besar dari hari kedua dan hari ketiga, hal ini dikarenakan lokasi pengamatan di kota Padang berada di daerah urban/perkotaan sehingga banyak faktor yang mempengaruhi konsentrasi PM10 tersebut.

Tabel 1. Statistik Deskriptif Konsentrasi PM10 BAM1020 dan Prediksi ECMWF

| Statistik Deskriptif | BAM 1020 | H-1 | Selisih | H-2 | Selisih | H-3 | Selisih |
|-------------------------|-------------|------|---------|------|---------|------|---------|
| Minimum | 5,2 | 8,5 | 39% | 8,5 | 39% | 8,5 | 39% |
| Kuartil 1 | 12,1 | 14,1 | 14% | 13,0 | 7% | 12,5 | 3% |
| Median | 19,4 | 16,5 | 18% | 14,0 | 39% | 14,0 | 39% |
| Kuartil 3 | 23,4 | 18,5 | 27% | 16,6 | 41% | 17,0 | 38% |
| Max | 42,4 | 36,5 | 16% | 43,0 | 1% | 33,5 | 27% |
| Mean | 18,6 | 16,6 | 12% | 15,2 | 23% | 15,0 | 24% |
| Std Deviasi | 7,6 | 4 | ,1 | 4 | 1,6 | 4 | 1,1 |

Tabel 2. Statistik Deskriptif Konsentrasi PM10 AQMS dan Prediksi ECMWF

| Statistik Deskriptif | AQMS | H-1 | Selisih | H-2 | Selisih | Н-3 | Selisih |
|-------------------------|------|------|----------|------|---------|------|---------|
| Minimum | 2,9 | 9,0 | - 68% | 9,0 | -68% | 8,0 | -64% |
| Kuartil 1 | 6,7 | 12,5 | - 47% | 11,6 | -43% | 11,0 | -39% |
| Median | 9,2 | 13,8 | 33% | 13,0 | -30% | 12,5 | -27% |
| Kuartil 3 | 14,6 | 16,5 | - 12% | 14,5 | 1% | 14,5 | 1% |
| Max | 23,5 | 32,0 | - 27% | 40,0 | -41% | 34,5 | -32% |
| Mean | 10,8 | 14,5 | - 25% | 13,5 | -20% | 13,1 | -17% |
| Std Devias | 5,4 | 3 | ,4 | 3 | 3,7 | 3 | 3,5 |

Jika dibandingkan rata-rata keseluruhan data berdasarkan tabel 1 dan tabel 2, data observasi BAM 1020, yang merupakan data observasi daerah remote/background, berada diatas atau lebih tinggi dari data observasi AQMS di Kota Padang yang merupakan data observasi daerah urban/perkotaan, jika dikaitkan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa nilai konsentrasi PM10 untuk daerah urban/perkotaan lebih tinggi dari konsentrasi untuk PM10 daerah remote/background [27], sedangkan hasil yang didapatkan dari penelitian ini berbeda dengan yang didapatkan dari penelitian sebelumnya, hal ini disebabkan banyak faktor vang mempengaruhi, antara lain, masa umur pakai peralatan observasi, faktor lingkungan yang sangat mempengaruhi dimana peralatan

observasi tersebut dipasang, seperti adanya gedung/bangunan tinggi, tumbuhan dan pohon tinggi yang menghalangi inlet dari peralatan observasi tersebut, sebagaimana yang persyaratkan menurut SNI 19-7119.6-2005.

Analisis Data Bias (RMSE)

Metode estimasi yang mempunyai RMSE lebih kecil dikatakan lebih akurat daripada metode estimasi yang mempunyai RMSE lebih besar [20]. Analisis Data Bias (RMSE) data observasi BAM1020 dan data observasi AQMS terhadap data prediksi PM10 ECMWF H-1, H-2 dan H-3, dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. Analisis Data Bias (RMSE) Data Observasi BAM 1020 Terhadap Data Prediksi ECMWF

| Data BAM 1020 Terhadap Data Prediksi ECMWF | Nilai RMSE |
|---|------------|
| H-1 | 7,43 |
| H-2 | 8,19 |
| H-3 | 8,16 |

Tabel 4. Analisis Data Bias (RMSE) Data Observasi AQMS Terhadap Data Prediksi ECMWF

| Data AQMS Terhadap Data Prediksi ECMWF | Nilai RMSE |
|---|------------|
| H-1 | 6,37 |
| H-2 | 6,50 |
| H-3 | 6,35 |

Dari hasil tabel 3 yang mana analisis data bias (RMSE), memberikan hasil dari H-1, H-2 dan H-3 secara berturut-turut dengan nilai 7,43, 8,19 dan 8,16, dan dapat diartikan data prediksi ECMWF H-1 lebih akurat daripada H-2 dan H-3, terhadap data observasi, data ini seiring dengan data statistik deskriptif konsentrasi PM10 BAM 1020 dan prediksi ECMWF pada tabel 1, sedangkan pada tabel 4 diketahui nilai analisis data bias (RMSE) H-1 lebih besar daripada H-2 dan H-3, secara berturut-turut memberikan nilai 6,37, 6,50 dan 6,35 dan dapat diartikan data prediksi ECMWF H-1 lebih kurang akurat daripada H-2 dan H-3, terhadap data observasi, data ini seiring dengan data statistik deskriptif konsentrasi AQMS dan prediksi ECMWF pada tabel 2.

4. Kesimpulan

Profil konsentrasi PM10 di Kota Padang menunjukkan variasi konsentrasi PM10 pada periode Februari sampai dengan April 2020, dengan rata-rata konsentrasi sebesar 10,8 $\mu g/m^3$, nilai maksimum 23,5 $\mu g/m^3$, dan

minimum sebesar 2,9 μ g/m³. Sementara itu konsentrasi PM10 di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang menunjukkan variasi konsentrasi dalam periode yang sama, dengan rata-rata konsentrasi PM10 sebesar 18,6 μ g/m³, nilai maksimum 42,4 μ g/m³, dan minimum sebesar 5,2 μ g/m³, hal ini berbanding terbalik dengan hasil penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya.

Prediksi konsentrasi PM10 dengan menggunakan data ECMWF terhadap data observasi di kota Padang menunjukkan nilai selisih 25% (H-1), 20% (H-2), dan 17% (H-3), dan nilai prediksi terbaik adalah untuk data prediksi ECMWF pada H-3. Sementara itu nilai konsentrasi PM10 prediksi menggunakan data ECMWF terhadap data observasi di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang menunjukan nilai 12% (H-1), 23% (H-2), dan 24% (H-3) . Hasil nilai prediksi terbaik konsentrasi PM10 di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang adalah untuk data prediksi ECMWF pada H-1.

Daftar Pustaka

- [1] Annisa, D., 2016. Analisis Hubungan Konsentrasi Particulate Matter 10 µm (PM10) di Udara Ambien Roadside Dengan Karakteristik Lalu Lintas Jaringan Jalan Primer Kota Padang. Disertasi Doktoral. Universitas Andalas.
- [2] Chai, T. dan Draxler, R, R. 2014. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? Arguments against avoiding RMSE in the literature. Geoscientific Model Development. 7: 1247-1250
- [3] Dhilla, L., 2019. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pajanan PM10 Pada Pedagang Di Jalan Perintis Kemerdekaan Kota Padang Tahun 2018. Disertasi Doktoral, Universitas Andalas.
- [4] Ghozali, Imam. 2018. Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS 25. Badan Penerbit Universitas Diponegoro: Semarang
- [5] Ghozali, Imam. (2009). Aplikasi Analisis Multivariate Dengan Program SPSS. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- [6] Giovanni, L., Ferrero, E., Karl, T., Rotach, M.W., Staquet, C., Trini Castelli, S. and Zardi, D., 2020. Atmospheric pollutant dispersion over complex terrain: Challenges and needs for improving air quality measurements and modeling. Atmosphere, 11(6), p. 646
- [7] Goembira, F., Farnas, Z., Ihsan, T. and Djafri, D., 2020. Evaluation of PM 10 Concentrations in West Sumatra during Rainy Season. E&ES, 448(1), p.012025.
- [8] Gunawan, H., Ruslinda, Y., Bachtiar, V.S. and Dwinta, A., 2018. Model Hubungan Konsentrasi Particulate Matter 10 μm (PM10) di Udara Ambien Dengan Karakteristik Lalu Lintas Di Jaringan Jalan Primer Kota Padang. Prosiding Semnastek.
- [9] Gusti, A., Arlesia, A. and Anshari, L.H., 2018. Penurunan Derajat Kesehatan Pedagang Akibat Pajanan Debu PM10 di Kawasan Pasar Siteba Kota Padang. *Media Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 14(3), pp.233-240.
- [10] Ibrahim, M.H, Leh, F.C, Adnan, M, Isa, N.K.M, 2016, Pencemaran habuk di Malaysia: Mengesan taburan konsentrasi PM10 di pusat bandar, sub bandar dan

Megasains 12 (1): 26-33, 2021

- pinggir bandar di Ipoh, Perak, Malaysian Journal of
- Society and Space 12 issue 5 (104 114).
 [11] Iqbal, M., 2017. Pengaruh Arah Angin terhadap Dispersi Konsentrasi Particulate Matter 10 (PM10) pada Udara Roadside di Kota Padang. Disertasi Doktoral. Universitas Andalas. Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak
- Lingkungan Nomor: KEP-107/KABAPEDAL/11/1997 Tahun 1997, tentang Pedoman Teknis Perhitungan dan Pelaporan serta Informasi Indeks Standar Pencemar Udara
- Kurniawan, A., 2017. Pengukuran Parameter Kualitas Udara (CO, NO2, SO2, O3 dan PM10) Di Bukit Kototabang Berbasis Ispu. Jurnal Teknosains, 7(1), pp.1-13.
- Kuwata, M., Neelam-Naganathan, G.G., Miyakawa, T., Khan, M.F., Kozan, O., Kawasaki, M., Sumin, S. and Latif, M.T., 2018. Constraining the emission of particulate matter from Indonesian peatland burning using continuous observation data. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 123(17), pp.9828-9842.
- [15] Lamarque, J. F., et al. (2010), Historical (1850–2000) gridded anthropogenic and biomass burning emissions of reactive gases and aerosols: Methodology and application, Atmos. Chem. Phys., 10(15), 7017-7039, doi:10.5194/acp-10-7017-2010.
- Nurkholis, A., Rahma, A.D., Widyaningsih, Y., Maretya, D.A., Wangge, G.A., Widiastuti, A.S., Suci, A. and Abdillah, A., 2018. Analisis Temporal Kebakaran Hutan dan Lahan di Indonesia Tahun 1997 dan 2015 (Studi Kasus Provinsi Riau).
- PP RI Nomor 41 Tahun (1999), tentang Pengendalian Pencemaran Udara. Kementrian Lingkungan Hidup: Jakarta.
- Putra, I.K., Saharjo, B.H. and Wasis, B., 2019. Tantangan kelembagaan pengendalian kebakaran hutan dan lahan pada tingkat tapak. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia, 24(2), pp.151-159.
- Randa, A., 2017. Validasi konsentrasi polutan PM10, CO, NO2 dan SO2 akibat pengaruh arah angin pada udara roadside di kota padang. Disertasi Doktoral. Universitas Andalas.
- Robinson, T.P., G. Metternicht., 2006, Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties, Computer and Electronics in Agriculture 50.
- Roland R. Draxler, Dale A. Gillette, Jeffrey S. Kirkpatrick, Jack Heller. (2001). Estimating PM₁₀ air concentration from dust storms in Iraq, Kuwait and Saudi Arabia. Atmospheric Environment Vol.35/Hal. 4315-4330. Elsevier Science Ltd.
- [22] Seinfeld, J.H. and Pandis, S.N., 2016. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. John Wiley & Sons.Shaw, G. E., 1988. Aerosol-size temperature relationship, Geophys. Res. Lett., 15, 133-135.
- [23] Standar Nasional Indonesia. 2005. SNI Nomor SNI 19-7119.6-2005 tentang Udara ambien - Bagian 6: Penentuan lokasi pengambilan contoh pemantauan kualitas udara ambien. Ba Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Stirnberg, R., Cermak, J., Fuchs, J. and Andersen, H., 2019, January. Understanding driving factors of ground PM10 concentrations using satellite AOD and a machine learning approach. In Geophysical Research Abstracts (Vol. 21).
- Suci, M.Y., 2018. Pengaruh Faktor Meteorologi dan Karakteristik Lalu Lintas Terhadap Konsentrasi Particulate Matter 10 (PM10) Pada Udara Roadside Malam Hari di Kota Padang. Disertasi Doktoral, Universitas Andalas.
- Thalia, H.G., 2019. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pajanan PM 10 Terhadap Pedagang Kaki

- Lima di Pasar Kota Payakumbuh Tahun 2018. Disertasi Doktoral, Universitas Andalas.
- [27] Wahidmurni. (2017). Pemaparan Metode Penelitian Kualitatif. UIN Maulana Malik Ibrahim Malang, (6),
- World Health Organization (WHO) 2016. Health and [28] the environment: draft road map for an enhanced global response to the adverse health effects of air pollution: report by the Secretariat, WHO. Geneva.

Megasains, Vol. 12, No. 1, 34-39 p-ISSN 2086-5589, e-ISSN 2723-2239 https://megasains.gawbkt.id ©GAW BKT, 2021



ANALISIS DINAMIKA ATMOSFER DAN DISTRIBUSI AWAN KONVEKTIF MENGGUNAKAN TEKNIK *RED GREEN BLUE* (RGB) PADA CITRA SATELIT HIMAWARI-8 (STUDI KASUS: BANJIR JAKARTA 31 DESEMBER 2019 – 1 JANUARI 2020)

ATMOSPHERE DYNAMICS ANALYSIS AND CONVECTIVE CLOUD DISTRIBUTION USING RED GREEN BLUE (RGB) TECHNIQUES IN HIMAWARI-8 SATELLITE IMAGE: CASE STUDY OF THE JAKARTA FLOOD 31 DECEMBER 2019 – 1 JANUARY 2020

Fryska Mazayyah J. Abay^{1*}, Yosafat Donni Haryanto²

¹Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl. Perhubungan I No.5, Komplek BMKG Pondok Betung Bintaro, Pondok Aren, Tangerang Selatan, Banten, 15221 *E-mail: fryska.mazayyah.j.abay@stmkg.ac.id

Naskah masuk: 25 Januari 2021 Naskah diperbaiki:28 Maret 2021 Naskah diterima: 29 Maret 2021

ABSTRAK

Hujan ekstrem yang mengguyur Jakarta sejak 31 Desember 2019 hingga 1 Januari 2020 menyebabkan sejumlah wilayah di Jakarta terendam banjir. Berdasarkan pengukuran curah hujan kumulatif pada 1 Januari 2020, curah hujan tertinggi terukur sebesar 377 mm/hari di Pangkalan TNI AU Halim Perdana Kusuma. Analisis dinamika atmosfer diperlukan untuk mengetahui kondisi penyebab pertumbuhan awan hujan. Selain itu pemanfaatan citra satelit juga berfungsi dalam mengetahui pola distribusi awan. Penelitian kali ini menggunakan Teknik RGB (Red Green Blue) pada citra satelit Himawari-8. Terdapat beberapa skema RGB yang mendukung ini yaitu, skema 24-Hours Microphysics, Air Mass dan Day Convective Storms. Dari hasil analisis dinamika atmosfer diketahui bahwa pemicu pertumbuhan awan hujan adalah aktifnya monsoon Asia, adanya shearline di atas Pulau Jawa dan sirkulasi siklonik di Samudra Hindia selatan Jawa. Hasil analisis time series suhu puncak awan menunjukkan pertumbuhan awan penyebab hujan ekstrem dimulai pada pukul 08.00 JLT dan hujan mulai melanda wilayah Jakarta sekitar pukul 09.15 JLT. Dari skema RGB diketahui terdapat massa udara hangat di wilayah Jakarta yang merupakan pemicu pertumbuhan awan Cumulonimbus.

Kata kunci: Banjir, *Himawari-8*, Hujan Ekstrem, RGB

ABSTRACT

The extreme rains hit Jakarta from December 31, 2019, to January 1, 2020, causing several areas in Jakarta to be flooded. Based on daily rainfall measurements on January 1, 2020, the highest rainfall was measured at 377 mm/day at Halim Perdana Kusuma Air Force Base. Atmospheric dynamics analysis is needed to determine the conditions that cause the growth of rain clouds. Besides, the use of satellite imagery also functions to determine cloud distribution patterns. This research, using RGB (Red Green Blue) technique on Himawari-8 satellite imagery. Several RGB schemes support this research, namely the 24-Hours Microphysics, Air Mass, and Day Convective Storms schemes. From the analysis of atmospheric dynamics, it is known that the triggers for the growth of rain clouds are the active Asian monsoons, the presence of shearlines over Java Island, and cyclonic circulation in the Indian Ocean south of Java. The results of time series analysis show cloud growth that causes extreme rain to start at 08.00 JLT and rain starts to hit the Jakarta area at around 09.15 JLT. From the RGB scheme, it is known that there is a warm air mass in the Jakarta area which triggers the growth of Cumulonimbus clouds.

Keywords: Flood, Himawarai-8, Extreme Rain, RGB

DOI: 10.46824/megasains.v12i1.42

1. Pendahuluan

Banjir didefinisikan sebagai tergenangnya suatu tempat akibat meluapnya air yang melebihi kapasitas pembuangan air di suatu wilayah dan menimbulkan kerugian fisik, sosial dan ekonomi [1]. Banjir adalah fenomena yang terjadi pada waktu dan tempat tertentu. Faktor penyebab banjir dapat terjadi berdasarkan alam maupun karena ulah manusia. Di daerah tropis khususnva Indonesia. huian monsun mempunyai kontribusi yang besar pada banjir. Banjir dapat terjadi akibat curah hujan dengan intensitas vand tinaai. perubahan suhu, jebolnya tanggul/bendungan, pencairan salju, dan terhambatnya aliran air di tempat lain [2].

Pada tanggal 31 Desember 2019 sore hari terjadi hujan ekstrem yang mengguyur wilayah Jakarta hingga keesokan harinya tanggal 1 Januari 2020. Kejadian banjir dilaporkan mulai menggenang di beberapa titik di Jakarta Timur dan Jakarta Barat pada 1 Januari 2020 pukul 02.45 JLT. Dan semakin bertambah hingga ke Jakarta Pusat pada pukul 05.00 JLT. Hasil pengukuran curah hujan kumulatif pada 1 Januari 2020 pukul 07.00 JLT menunjukkan curah hujan tertinggi terukur pada Pangkalan TNI Angkatan Udara Halim Perdana Kusuma sebesar 377 mm. Curah hujan tersebut menurut BMKG dikategorikan sebagai hujan ekstrem.

Menurut laporan Kompas.com, hujan ekstrem yang mengguyur wilayah Jakarta menyebabkan sejumlah wilayah di kota Jakarta terendam banjir sejak Rabu, 1 Januari 2020. Akibat dari banjir ini tercatat sebanyak 31.323 warga yang berasal dari 158 kelurahan, mengungsi karena rumahnya terendam banjir. Tidak hanya pemukiman, banjir juga merendam jalan – jalan protokol Jakarta. Sejumlah transportasi umum transjakarta, KRL mulai dari hingga penerbangan di bandara Halim Perdana Kusuma terpaksa dibatalkan akibat rendaman banjir. 724 wilayah di Jakarta yang terendam banjir mengalami pemadaman listrik oleh PLN. Selain itu, berdasarkan catatan BNPB ada 16 korban meninggal dunia hingga Kamis, 2 Januari 2020.

Kerugian akibat banjir dapat diminimalisir dengan mengetahui secara spesifik faktor penyebab banjir, salah satunya ialah curah hujan dengan intensitas tinggi. Oleh karena itu, dibutuhkan analisis dinamika atmosfer sebelum kejadian hujan ekstrem di wilayah Jakarta. Serta analisis citra satelit untuk mengetahui persebaran awan hujan. Hal ini bertujuan dalam upaya mitigasi dan manajemen risiko yang

ditimbulkan dari bencana hidrometeorologi, khususnya banjir.

2. Metode Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

- a. Data satelit Himawari kanal 3 (0.64 μ m), kanal 5 (1.6 μ m), kanal 7 (3.9 μ m), kanal 8 (6.2 μ m), kanal 10 (7.3 μ m), kanal 11 (8.6 μ m), kanal 12 (9.6 μ m), kanal 13 (10.4 μ m), dan kanal 15 (12.3 μ m) untuk tanggal 31 Desember 2019 dan 1 Januari 2020 dalam format sataid (.z) yang diperoleh dari ftp://202.90.199.64;
- b. Data angin zonal dan meridional lapisan 850 mb tanggal 31 Desember 2019 yang diperoleh dari https://psl.noaa.gov/
- c. Data Indeks Nino 3.4 dan *Dipole Mode Index* (DMI) bulan Desember 2019 yang diperoleh dari http://www.bom.gov.au/

Penelitian dilakukan di wilayah Jakarta yang secara astronomis terletak pada koordinat 5° 9' 12" – 6° 23' 54" LS dan 106° 22' 42" - 106° 58' 18" BT.



Gambar 1. Lokasi penelitian. (sumber: bit.ly/3fgZnAC)

Metode yang digunakan terdiri dari dua tahap utama, yaitu analisis dinamika atmosfer dan analisis citra satelit. Analisis dinamika atmosfer dilakukan untuk mengetahui kondisi penyebab terjadinya pertumbuhan awan penghasil hujan lebat. Dalam mengolah data citra satelit digunakan perangkat lunak SATAID (Satellite Animation and Interactive Diagnosis) agar bisa menghasilkan citra RGB (Red Green Blue). SATAID adalah perangkat lunak buatan JMA (Japan Meteorological Agency) yang berfungsi untuk menampilkan data biner dari citra satelit. Himawari-8 menjadi suatu citra atau gambar. RGB (Red Green Blue) adalah elati modifikasi citra satelit yang semulanya berwarna hitam putih menjadi berwarna. Dalam pengolahan data citra satelit, elati RGB dilakukan dengan kanal dengan menggabungkan beberapa elativ gelombang berbeda agar mendapatkan

suatu produk citra dengan informasi yang lebih baik dari citra yang hanya terdiri dari satu kanal [3].Teknik RGB terdiri dari beberapa skema. Namun pada penelitian ini hanya akan digunakan skema yang mendukung penelitian, yaitu skema 24-Hours Microphysics, Air Mass dan Day Convective Storms. Skema tersebut digunakan untuk menganalisis jenis awan dan persebarannya

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis Dinamika Atmosfer



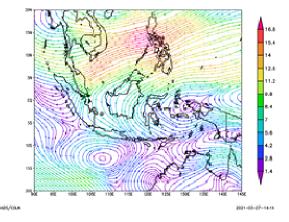
Gambar 2. Index ENSO (Nino 3.4) (sumber: data diolah)

El Niño Southern Oscillation (ENSO) adalah sebuah fenomena interaksi laut atmosfer yang berpusat di wilayah ekuatorial Samudra Pasifik [4]. ENSO sendiri terdiri dari dua fenomena yaitu El Niño dan La Niña. El Niño/La Niña adalah fenomena elativ panas/dingin di Samudera Pasifik Ekuatorial Tengah dan Timur [5]. Indeks ENSO pada bulan Desember 2019 sebesar +0.6 menunjukkan kondisi El Nino dengan intensitas lemah. Kondisi tersebut cenderung tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap menurunnya curah hujan di wilayah Indonesia pada umumnya [5].

Indian Ocean Dipole (IOD) adalah gejala penyimpangan iklim yang dihasilkan oleh interaksi laut dan atmosfer di Samudera Hindia di sekitar khatulistiwa [6]. Jika dilihat dari Dipole Mode Index pada bulan Desember 2019, IOD sedang dalam fase positif. Hal ini menunjukkan adanya pengurangan aktivitas konvektif di Indonesia. Namun pada penelitian kali ini, IOD tidak terlalu berpengaruh terhadap penurunan curah hujan di wilayah penelitian.



Gambar 3. Dipole Mode Index (DMI) (sumber: data diolah)



Gambar 4. Peta Streamline 850 mb tanggal 31 Desember 2019 (sumber: data diolah)

Pada periode Desember s.d. Februari siklus Monsun Asia sedang berlangsung. Kecepatan angin di Indonesia berkisar dari 1.4-9.8 knot. Sedangkan di wilayah Jakarta berkisar dari 5.6-7 knot. Pada peta streamline 850 mb, terlihat bahwa pergerakan massa udara berasal dari Samudra Pasifik Utara. Dalam perjalanannya menuju ke BBS, terdapat daerah belokan angin (shearline) di sekitar wilayah Pulau Jawa. Shearline berkaitan dengan daerah berkumpulnya massa udara [7], massa udara dari Samudra Pasifik yang relatif hangat dan lembab akan memicu pertumbuhan awan penyebab hujan. Selain itu, pemicu terjadinya peningkatan curah hujan di wilayah Jakarta karena adanya sirkulasi siklonik di Samudra Hindia selatan Jawa.

Analisis Citra Satelit

Awan Cumulonimbus (Cb) adalah jenis awan konvektif yang menjulang tinggi dengan bentuk bergumpal seperti bunga kol. Keberadaan awan ini mengindikasikan adanya akitivitas konvektif yang dapat menyebabkan terjadinya hujan dan badai petir. Tahap perkembangan diidentifikasi awan Cumulonimbus dapat

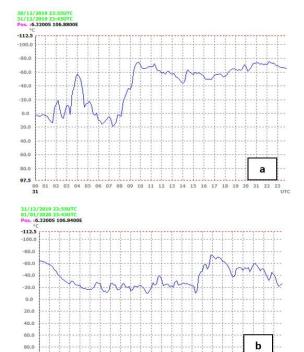
p-ISSN: 2086-5589 Megasains 12 (1): 34-39, 2021

e-ISSN: 2723-2239

berdasarkan nilai suhu puncuk awan pada kanal *infrared* (IR) citra satelit Himawari-8 [8].

Tahap tumbuh (*Cumulus Stage*) ditandai dengan nilai suhu puncak awan berkisar dari - 30°C s.d -50°C, tahap matang/dewasa (*Mature Stage*) ditandai dengan nilai suhu puncak awan antara -60°C s.d -80°C, dan tahap punah (*Dissipating Stage*) ditandai dengan nilai suhu puncak awan sekitar -50°C s.d -55°C [8].

Time Series Suhu Puncak Awan 31 Desember 2019 - 1 Januari 2020



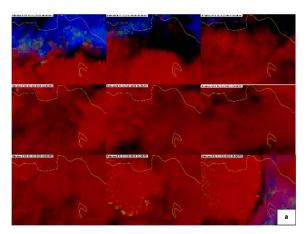
Gambar 5. Grafik *time series* suhu puncak awan tanggal (a) 31 Desember 2019 dan (b) 1 Januari 2020 (sumber: data diolah)

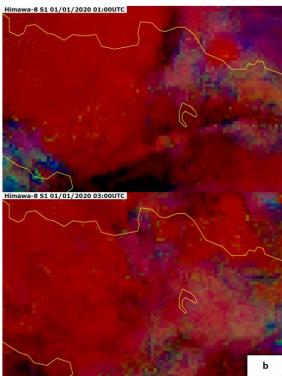
Berdasarkan grafik *time series* suhu puncak awan pada tanggal 31 Desember 2019, terlihat bahwa tahap tumbuh awan Cumulonimbus (Cb) dimulai pada pukul 08 UTC, kemudian memasuki tahap matang sekitar pukul 09.15 UTC atau pukul 16.15 JLT dengan suhu puncak awan sebesar -60°C. Pada saat itu hujan lebat mulai melanda Jakarta dan berlangsung hingga keesokan hari, Rabu 1 Januari 2020. Sedangkan pada grafik *time series* tanggal 1 Januari 2020, memperlihatkan bahwa awan – awan Cb mulai meluruh (memasuki tahap punah) pada pukul 01 UTC (08 JLT).

24-Hours Microphysics

24-Hours Microphysics adalah salah satu skema RGB yang dapat menganalisis awan baik pada siang maupun malam hari. Skema ini

digunakan untuk mendeteksi fog, awan rendah, awan Cirrus, dan juga debu. Pola warna dari skema ini dihasilkan dari citra dengan pengaturan kanal *Red* (B13 – B15), *Green* (B11- B13) dan *Blue* (B13).



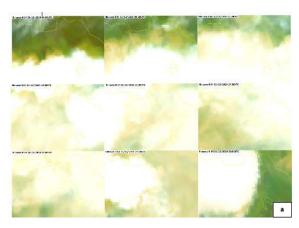


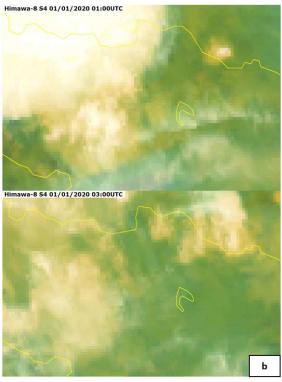
Gambar 6. Skema *24-Hours Microphysics* tanggal (a) 31 Desember 2019 pukul 08.00, 09.20, 11.00, 13.00, 15.00, 17.00, 19.00, 21.00 dan 23.00 UTC; (b) 1 Januari 2020 pukul 01.00 dan 03.00 UTC (sumber: data diolah)

Berdasarkan skema 24-Hours Microphysics tanggal 31 Desember 2019, terlihat bahwa wilayah Jakarta didominasi oleh warna merah. Dimana warna merah merepresentasikan awan dengan puncak yang tinaai pukul UTC, (Cumulonimbus). Pada 08 keberadaan awan masih berada di selatan Jakarta, kemudian saat pukul 09.20 UTC hampir menutupi seluruh Jakarta. Selanjutnya awan Cb telah menutupi seluruh wilayah Jakarta pada pukul 11 UTC. Warna hitam pada citra menunjukkan awan Cirrus tipis. Walaupun warna merah masih mendominasi citra pada tanggal 1 Januari 2020, tetapi tidak sepekat seperti pada citra 31 Desember 2019, hal ini karena awan penyebab hujan lebat di wilayah Jakarta mulai meluruh (tahap punah).

Air Mass

Skema *Air Mass* dihasilkan dari citra dengan pengaturan *Red* (B10 – B08), *Green* (B13 – B12), dan *Blue* (B08). Skema ini digunakan untuk mengidentifikasi massa udara dan menganalisis proses dinamika atmosfer.



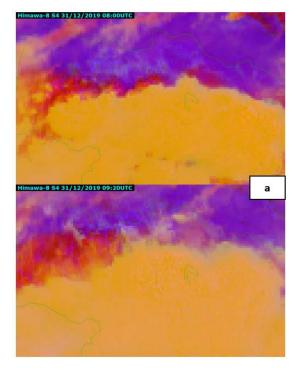


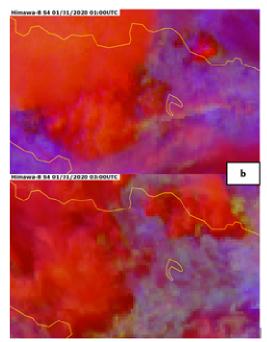
Gambar 7. Skema *Air Mass* tanggal (a) 31 Desember 2019 pukul 08.00, 09.20, 11.00, 13.00, 15.00, 17.00, 19.00, 21.00 dan 23.00 UTC; (b) 1 Januari 2020 pukul 01.00 dan 03.00 UTC (sumber: data diolah)

Warna cerah seperti putih dan cream pada citra merepresentasikan awan tinggi dan awan menengah. Pada pukul 08 UTC tanggal 31 Desember 2019, terlihat bahwa, awan masih berada di selatan Jakarta dan dikelilingi dengan massa udara hangat dengan kandungan uap air rendah (hijau lumut). Sedangkan di bagian utara wilayah Jakarta, dipenuhi oleh massa udara hangat dengan kandungan uap air tinggi (hijau tua). Massa udara hangat dengan kandungan uap air tinggi adalah pemicu utama dari pertumbuhan awan di wilayah Jakarta. Akibatnya awan yang tadi berada di bagian selatan Jakarta terus bertumbuh menuju ke bagian utara Jakarta hingga menutupi seluruh wilayah Jakarta pada pukul 11 UTC. Pada citra 1 Januari 2020 terlihat bahwa awan di wilayah Jakarta mulai menghilang (tahap punah) namun masih dipenuhi oleh massa udara hangat.

Day Convective Storms

Untuk memperkuat analisis dari skema RGB sebelumnya, maka digunakan skema *Day Convective Storms*. Skema ini digunakan untuk mengidentifikasi proses konveksi dengan *updraft* yang kuat yang mengindikasikan badai guntur dan hanya bisa menganalisis awan pada siang hari. Pola warna dari skema *Day Convective Storms* didapat dari pengaturan kanal B8 – B10 untuk *Red*, kanal B7 – B13 untuk *Green* dan kanal B5 – B3 untuk *Blue*.





Gambar 8. Skema *Day Convective Storms* tanggal (a) 31 Desember 2019 pukul 08.00 dan 09.20 UTC; (b) 1 Januari 2020 pukul 01.00 dan 03.00 UTC. (sumber: data diolah)

Pada skema sebelumnya, untuk citra tanggal 31 Desember 2020 pada pukul 08 UTC diketahui bahwa bagian selatan Jakarta telah tertutupi oleh awan Cumulonimbus. Berdasarkan skema Day Convective Storms, awan Cumulonimbus tersebut mengalami proses konveksi dengan updraft yang kuat, yang ditandai dengan warna kuning cerah. Warna merah pada citra tanggal 1 Januari 2020 mengindikasikan aktivitas konvektif lemah. Hal ini berarti di dalam awan Cumulonimbus tidak ada proses updraft yang kuat melainkan hanya terdapat aktivitas downdraft. Keadaan ini biasa dikenal dengan tahap punah (dissipating stage).

4. Kesimpulan

Banjir yang melanda Jakarta pada 1 Januari dini hari, diketahui disebabkan oleh guyuran hujan ekstrem sejak tanggal 31 Desember Curah hujan tertinggi terukur di Pangkalan TNI Angkatan Udara Halim Perdana Kusuma (Jakarta Timur) sebesar 377 mm, merupakan curah hujan paling tinggi jika banjir dibandingkan dengan Jakarta sebelumnya. Berdasarkan analisis dinamika atmosfer diketahui bahwa fenomena skala global seperti ENSO dan IOD tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pembentukan awan hujan di wilayah Jakarta. Namun perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait fenomena tersebut. Pertumbuhan awan hujan di Jakarta disebabkan oleh aktifnya

monsoon Asia. Massa udara yang relatif hangat dan lembab dari Samudra Pasifik akan menuju ke pusat tekanan rendah di Australia. Dalam perjalanannya, massa udara tersebut akan memasuki wilayah penelitian yang mana pada saat itu juga terdapat *shearline*. *Shearline* berkaitan dengan perkumpulan massa udara. Akibatnya memicu pertumbuhan awan penyebab cuaca buruk. Sirkulasi siklonik di Samudra Hindia selatan Jawa juga menjadi salah satu pemicu terjadinya peningkatan curah hujan di Jakarta.

Pada analisis time series suhu puncak awan, pertumbuhan awan penyebab hujan dimulai pada tanggal 31 Desember 2019 pukul 08.00 JLT. Hujan mulai melanda wilayah Jakarta sekitar pukul 09.15 JLT dan meluruh pada pukul 01.00 JLT tanggal 01 Januari 2020. Beberapa skema pada Teknik RGB seperti 24-Hours Microphysics, dan Day Convective Storms menunjukkan jenis awan yang menutupi wilayah Jakarta adalah awan konvektif yaitu awan Cumulonimbus dengan updraft yang kuat dan menyebabkan cuaca buruk, sedangkan pada skema Air Mass diketahui bahwa pemicu pertumbuhan awan Cumulonimbus adalah massa udara hangat yang berada di wilayah Jakarta.

Daftar Pustaka

- [1] Rahayu, H. P. (2009). Banjir dan Upaya Penanggulanganya. In PROMISE Indonesia (Program for Hydro-Meteorological Risk Mitigation Secondary Cities in Asia).
- [2] Sebastian, L. (2008). Pendekatan Pencegahan dan Penanggulangan Banjir. Jurnal Dinamika Teknik Sipil. 8(2), 162–169.
- [3] Paski, J. A. I., Sepriando, A., & Pertiwi, D. A. S. (2019). Pemanfaatan Teknik RGB pada Citra Satelit Himawari-8 Untuk Analisis Dinamika Atmosfer Kejadian Banjir Lampung 20 21 Februari 2017.
 Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika, 4(3), 8–15. https://doi.org/10.36754/jmkg.v4i3.48
- [4] Aldrian, Ė. (2008). *Meteorologi Laut Indonesia* (Issue June 2008).
- [5] Hamid, A., Habib, A., Firdaus, P., & Bandang, B. (2020). Analisis Kondisi Fisis Atmosfer Ketika Banjir Bandang dan Prediksi Banjir Menggunakan Model Rainfall Runoff Inundation di Wilayah Jabodetabek. Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Geografi Uhamka Tahun 2020, May, 72–82.
- [6] Fadholi, A. (2013). Studi Dampak El Nino dan Indian Ocean Dipole (IOD) terhadap Curah Hujan di Pangkalpinang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 12(2), 43. https://doi.org/10.14710/jil.11.1.43-50
- [7] Fitriyawita, M., Jumarang, M. I., Apriansyah, A., Sulistya, W., & Saepudin, M. (2020). Hubungan Pola Garis Arus Angin (Streamline) denganDistribusi Hujan di Kalimantan Barat. *Prisma Fisika*, 8(2), 135. https://doi.org/10.26418/pf.v8i2.42573
- [8] Utara, S., Model, M., Citra, W., Saragih, I. J. A., Kristianto, A., Silitonga, A. K., & Paski, J. A. I. (2017). Kajian Dinamika Atmosfer saat Kejadian Hujan Lebat di Wilayah Pesisir Timur Sumatera Utara Menggunakan Model WRF-ARW dan Citra Satelit Himawari-8. *Unnes Physics Journal*, 6(1), 25–30.

Megasains, Vol. 12, No. 1, 40-47 p-ISSN 2086-5589, e-ISSN 2723-2239 https://megasains.gawbkt.id ©GAW BKT, 2021



Pengukuran dan Analisa Data Radiasi Matahari di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi

The Measurement and Analysis of Solar Radiation Data at the Muaro Jambi Climatology Station

Yesi Sianturi^{1*}, Chinthya M Simbolon²

- ¹ Pusat Layanan Informasi Iklim Terapan, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Jakarta
- ² Stasiun Klimatologi Muaro Jambi, Jl. Tembesi-Jambi, Kota Jambi

Naskah masuk: 08 November 2020 Naskah diperbaiki: 15 Maret 2021 Naskah diterima: 31 Maret 2021

ABSTRAK

Radiasi matahari merupakan salah satu besaran paling penting dalam penelitian di bidang klimatologi, karena berperan sebagai penggerak dalam sebagian besar proses dinamis di atmosfer. Pengukuran beberapa parameter radiasi matahari di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi dilakukan menggunakan satu set instrumen automatic solar radiation station (ASRS) sejak tahun 2017. Dalam tulisan ini, metode pengukuran, kontrol kualitas data, dan hasil analisa variabilitas dari tiga jenis radiasi matahari radiasi langsung, radiasi baur, dan radiasi global - dalam periode 2018 - 2019, telah dijabarkan. Hasil kontrol kualitas menunjukkan bahwa secara umum ketiga parameter radiasi tersebut memiliki rentang nilai yang baik. Selama tahun 2018 - 2019, ketiga parameter radiasi tersebut mencapai puncak pada pukul 13.00 LT dan nilai rata rata akumulasi radiasi global dalam sehari mencapai 4.4 ± 1.0 kWh/m² day⁻¹. Puncak insolasi di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi terjadi pada bulan Maret dan September, yang bertepatan dengan waktu terjadinya equinox. Kuatnya pertumbuhan awan di wilayah Jambi turut mempengaruhi pola radiasi yang mencapai permukaan bumi.

Kata kunci: radiasi matahari, *automatic solar radiation station*, energi surya

ABSTRACT

Solar radiation is one of the most important quantities in research in the field of climatology, as it acts as a driving force in most of the dynamic processes in the atmosphere. Measurement of several solar radiation parameters at the Jambi Climatology Station has been carried out using a set of instruments called the automatic solar radiation station (ASRS) since 2017. In this paper, the measurement method, data quality control, and analysis of variability of the three types of solar radiation – direct radiation, diffuse radiation, and global radiation - in the period of 2018 - 2019, have been described. The results of data quality control indicate that in general, the three radiation parameters have good spread of values. In the 2018 - 2019 period, the three parameters reached their peak at 13.00 LT and the daily average global radiation reached 4.4 \pm 1.0 kWh/m² day⁻¹. The peak of insolation at the Jambi Climatology Station occurred in March and September. which coincided with the equinox events. The significant cloud growth in the Jambi region affects the radiation pattern that reaches the earth surface.

Keywords: solar radiation, automatic solar radiation station, solar energy

DOI: 10.46824/megasains.v12i1.45

^{*}E-mail: yculina@gmail.com

1. Pendahuluan

Radiasi matahari merupakan salah satu parameter cuaca yang paling berpengaruh dalam sistem iklim, dimana seluruh fenomena cuaca dan iklim pada mulanya disebabkan oleh variasi distribusi penerimaan radiasi matahari. Fluktuasi intensitas radiasi matahari yang diterima di permukaan bumi membentuk pola iklim dalam berbagai skala waktu [1]. Tidak hanya mempengaruhi sistem cuaca dan iklim, pola radiasi matahari juga memberikan informasi penting dalam berbagai sektor, seperti pertanian, sumber daya air, dan energi. Meskipun demikian, radiasi merupakan salah satu parameter cuaca yang belum banyak ditinjau dalam kajian iklim di Indonesia, mengingat sedikitnya jaringan pengamatan radiasi matahari di wilayah Indonesia.

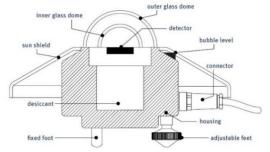
merupakan Radiasi matahari gelombang elektromagnetik yang dibangkitkan dari proses fusi nuklir di inti matahari. Pada kondisi cuaca cerah, energi yang sampai ke permukaan terluar atmosfer bumi rata-rata sebesar 1367 W/m², dalam bentuk gelombang pendek (± 4,0 um), meskipun yang sampai ke permukaan daratan dan lautan hanya sebagian dari nilai tersebut. Radiasi yang memasuki atmosfer bumi mengalami beberapa jenis proses sebagian dari radiasi tersebut dibaurkan oleh partikel partikel yang ada di atmosfer, sebagian diserap oleh partikel partikel tersebut, sebagian diserap oleh permukaan bumi [2]. Total dari radiasi gelombang pendek yang mencapai permukaan bumi (horizontal) biasa disebut sebagai radiasi global atau global horizontal radiation. Radiasi global ini terdiri dari dua jenis komponen, yakni komponen radiasi langsung (direct radiation) dan komponen radiasi baur (diffuse radiation).

Studi terkait profil radiasi matahari di wilayah Indonesia telah dilakukan dalam beberapa kesempatan. terutama untuk mendukung analisa potensi energi surya di Indonesia. Potensi energi matahari biasanya dihitung menggunakan persamaan empiris dengan masukan parameter meteorologi lain, dimana parameter yang paling umum digunakan adalah lama penyinaran matahari [3 - 4]. Rumbayan [5] menggunakan metode jaringan syaraf tiruan dengan menggunakan masukan beberapa parameter meteorologi untuk memetakan potensi energi matahari untuk seluruh wilayah Indonesia. Dalam beberapa studi tersebut, ditemukan bahwa radiasi matahari di wilayah Indonesia bagian timur cenderung memiliki nilai yang lebih tinggi dan pola seasonal yang lebih jelas dibandingkan wilayah barat Indonesia [5-6]. Radiasi di beberapa wilayah di Indonesia juga terlihat dipengaruhi oleh gerak semi tahunan dan kondisi kejernihan atmosfer [3-4].

Pengamatan radiasi matahari di wilayah Indonesia terdiri dari pengamatan lama penyinaran matahari dan pengamatan intensitas radiasi matahari. Salah satu instrumen pengamatan radiasi matahari yang mengukur kedua kuantitas tersebut adalah automatic solar radiation station (ASRS). Setiap unit ASRS terdiri dari 3 pyranometer dan 1 pyrheliometer, dimana ketiga pyranometer tersebut dipasang secara terpisah untuk mengukur komponen radiasi matahari yang berbeda. Data radiasi dari beberapa instrumen ASRS juga telah digunakan dalam studi validasi data reanalisis [7]. Di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi, satu unit ASRS dipasang pada tahun 2017 dan menyediakan data radiasi matahari dengan resolusi temporal yang tinggi (10 menit). Analisa dari data radiasi matahari ini dapat memberikan informasi awal mengenai pola radiasi matahari yang dibutuhkan dalam berbagai sektor terapan.

2. Metode Penelitian

Instrumen pengukuran. Pengukuran radiasi matahari di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi dilakukan dengan menggunakan dua jenis sensor, yakni pyranometer dan pyrheliometer, dilengkapi dengan photo-sensitive material atau termokopel untuk menangkap radiasi matahari. Pengukuran radiasi matahari diklasifikasikan sesuai dengan jenis radiasi diukur, respon spektral, serta kegunaannya. Pyranometer yang terdapat di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi digunakan untuk mengukur radiasi global (global horizontal irradiance/ GHI), radiasi baur (diffuse horizontal irradiance/ DHI), dan radiasi matahari reflektif/pantulan (reflective irradiance), dimana ketiga instrumen tersebut ditempatkan secara horizontal. Di sisi lain, pyrheliometer digunakan untuk mengukur besaran radiasi matahari langsung (direct normal irradiance/ DNI).



Gambar 1. Struktur pyranometer. (Sumber: manual handbook ASRS [8])

(1) Sight

(2) Quartz

Window

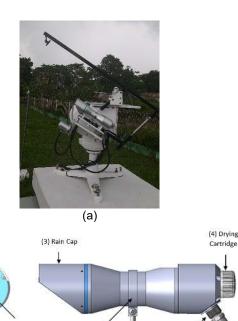




Gambar 2. Pyranometer yang mengukur (a) radiasi global dan radiasi pantul, serta b) radiasi baur. (Sumber: dokumentasi penulis)

Pyranometer yang dipasang secara horizontal dan seutuhnya menghadap langit tanpa penghalang digunakan untuk mengukur radiasi global matahari (GHI). Untuk mendapatkan nilai radiasi baur, salah satu pyranometer dilengkapi oleh komponen berbentuk 'lengan' (sun tracker) yang secara konstan menutupi lensa pyranometer dari cahaya matahari langsung. Radiasi pantulan diukur menggunakan pyranometer yang ditempatkan berlawanan arah (180°) dengan pyranometer global (menghadap permukaan bumi), dimana radiasi yang diukur merupakan radiasi yang dipantulkan dari permukaan tanah.

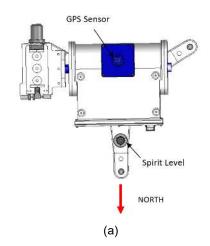
Pyrheliometer digunakan untuk mengukur berkas sinar matahari langsung yang dipasang beriringan dengan sun tracker mengarahkan sensor ke arah sudut datang matahari (rasio aspek tabung Pyrheliometer didesain untuk mengikuti sudut normal matahari, berbeda dengan pyranometer yang dipasang secara horizontal. Perangkat pendukung sun tracker yang dipasang untuk membantu kerja dari pyrheliometer antara lain adalah kaki sun tracker, Global Position System (GPS), sun sensor, dan microcomputer. Kaki dari sun tracker berfungsi sebagai penopang untuk memastikan sun tracker pada posisi lurus; GPS dipasang untuk memperhitungkan koordinat dan waktu pengamatan, dimana perhitungan tersebut didasarkan pada lokasi penempatan sensor dan posisi relatif matahari. Sun sensor digunakan untuk mengarahkan lengan ke posisi matahari secara tepat dan microcomputer digunakan untuk menghitung posisi matahari dan memberi komando arah pada sun tracker.



Gambar 3. Pyrheliometer: a) Bentuk fisik b) Struktur alat. (Sumber: dokumentasi penulis dan *manual handbook* ASRS [9])

(6) Fixing Ring

(5) Plug-in





Gambar 4. Bagian pendukung pyrheliometer, (a) hardware dan (b) software. (Sumber: Manual handbook ASRS [8] dan dokumentasi penulis)

Megasains 12 (1): 40-47, 2021

Semua besaran radiasi matahari tersebut diukur dalam interval waktu 10 menit, dimana nilai yang tercatat merupakan nilai sesaat (instantaneous value), atau disebut sebagai solar irradiance dan memiliki satuan W/m^2 . Dalam beberapa konteks, radiasi matahari juga biasa dinyatakan sebagai nilai akumulasi dalam jangka waktu tertentu dan memiliki satuan J/m^2 (Ws/m^2) atau dalam keperluan perhitungan potensi energi surya, sering dituliskan dalam Wh/m2 dan disebut sebagai solar radiation [10]. Dalam tulisan ini, data 2018 hingga Desember digunakan dalam analisa dari tiga jenis parameter radiasi, yakni radiasi global, radiasi baur, dan radiasi langsung, untuk melihat variabilitas harian dan bulanan dari ketiga parameter tersebut.

Kontrol Kualitas Data Radiasi Matahari. Sebelum melakukan analisis terhadap data radiasi matahari di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi, proses kontrol kualitas data dilakukan terhadap hasil pengukuran. Metode kontrol kualitas data yang dilakukan adalah eliminasi nilai yang melewati batas yang memungkinkan secara fisis (physically possible limit) dan batas nilai ekstrim (extremely rare limits) untuk menghilangkan data yang disebabkan oleh kesalahan pengukuran dan outlier. Kontrol kualitas data dilakukan pada ketiga jenis radiasi yang diukur di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi, yakni radiasi global (GHI), radiasi baur (DHI), dan radiasi langsung (DNI). Batas nilai yang memungkinkan secara fisis dan batas nilai ekstrim dapat dituliskan sebagai berikut [11]:

Tabel 1. Batas nilai yang memungkinkan secara fisis

| | 11515. | | |
|---|-----------|---------------------|---|
| | Parameter | Batas | Batas atas |
| | | bawah | |
| Ī | GHI | -4 W/m ² | $1.5 S_a(\mu_o)^{1.2} + 100 W/m^2$ $0.95 S_a(\mu_o)^{1.2} + 100 W/m^2$ |
| | DHI | -4 W/m ² | $0.95 S_a(\mu_a)^{1/2} + 100 W/m^2$ |
| | DNI | -4 W/m ² | S_{α} |

Tabel 2. Batas nilai ekstrim.

| Parameter | Batas | Batas atas |
|-----------|---------------------|------------------------------------|
| | bawah | |
| GHI | -2 W/m ² | $1.2 S_a(\mu_o)^{1.2} + 50 W/m^2$ |
| DHI | -2 W/m ² | $0.75 S_a(\mu_a)^{1.2} + 30 W/m^2$ |
| DNI | -2 W/m ² | $0.95 S_a(\mu_o)^{0.2} + 10 W/m^2$ |

Dimana:

 $\mu_o = \cos(5ZA)$

SZA = solar zenith angle

 $S_a = S_o/AU^2$

 $S_o = solar \ constant$ pada jarak rata rata bumi – matahari (1367 W/m^2)

AU = jarak bumi dan matahari (dalam astronomical unit/ AU)

Perhitungan *AU* yang digunakan dalam perhitungan *solar zenith angle* merujuk pada [12]:

$$AU = 1.00014 - 0.01671 * cos(g)$$

-0.00014 * cos(2g) (1)

$$g = 357.528 + 0.9856003 * n \tag{2}$$

$$n = JD - 2452545 \tag{3}$$

$$JD = 2432917.5 + delta * 365 + leap + day + \frac{hour}{24}$$
(4)

Dimana:

ID = Julian Date

delta = tahun - 1949

leap = bagian integer dari (delta/4)

day = hari dalam setahun (1 Jan = 1, 1 Feb = 32, dst)

hour = jam dalam sehari

Untuk melihat pengaruh awan terhadap pola perhitungan radiasi matahari, indeks kebeningan atmosfer harian (daily clearness index), $k_{\rm E}$, pada periode 2018 – 2019 dilakukan untuk mengetahui kondisi perawanan di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi. Indeks kebeningan atmosfer merupakan parameter yang digunakan untuk menandakan kondisi kecerahan atmosfer dan dapat digunakan sebagai indikator tutupan awan di suatu wilayah. Indeks kebeningan atmosfer memiliki rentang nilai 0 - 1, dengan nilai 1 mengindikasikan kondisi atmosfer sepenuhnya cerah tanpa tutupan awan sama sekali. Nilai indeks kebeningan harian diperoleh membandingkan dengan jumlah matahari yang mencapai permukaan bumi dengan radiasi yang diterima di puncak atmosfer, dan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{split} k_t &= \frac{s}{s_n} \qquad (5) \\ S_o &= \frac{24}{\pi} I_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{s \cos \sigma}{365} \right) \qquad (6) \\ &\left(\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi \omega_s}{360} \sin \varphi \sin \delta \right) \\ \omega_s &= \cos^{-1} (-\tan \varphi \tan \delta) \qquad (7) \\ \delta &= 23.45 \left(360 \frac{284 + D}{365} \right) \qquad (8) \end{split}$$

Dimana:

 $k_{\rm r}$ = indeks kebeningan harian

S = radiasi matahari harian (Wh/m²)

 S_a = radiasi matahari harian di puncak atmosfer (Wh/m²)

 I_{sc} = konstanta matahari (1367 W/m²)

D = urutan hari dalam setahun (Jan 1 = 1, Jan

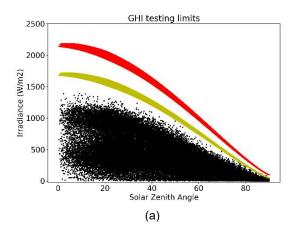
2 = 2, Feb 1 = 32, dst)

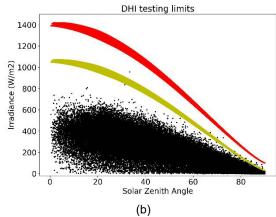
φ = lintang

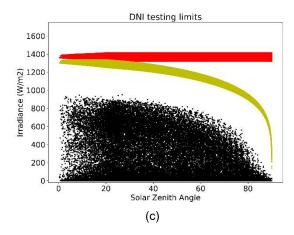
= sudut deklinasi matahari

ω_s = sudut jam lokal (*local hour angle*)

3. Hasil dan Pembahasan



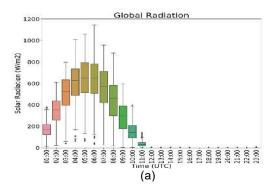


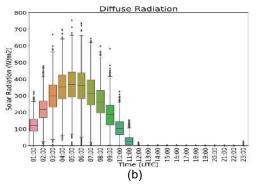


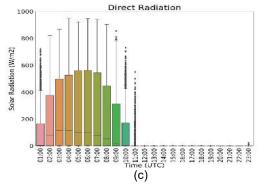
Gambar 5. Visualisasi dari proses kontrol kualitas data untuk (a) radiasi global, (b) radiasi baur, dan (c) radiasi langsung. Garis merah menandakan batas nilai yang memungkinkan secara fisis, garis kuning menandakan batas nilai ekstrim, titik hitam menandakan hasil pengukuran. (Sumber: pengolahan data)

Hasil Kontrol Kualitas Data. Hasil kontrol kualitas data yang dilakukan pada data radiasi matahari menunjukkan kualitas pengukuran data radiasi matahari di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi. Secara umum, hasil pengukuran ketiga jenis radiasi menunjukkan rentang data

yang baik selama periode 2018 – 2019. Namun demikian, beberapa nilai radiasi baur tercatat masih melampaui batas nilai ekstrim, terutama saat nilai SZA tinggi (Gambar 5.b). Hal ini dapat menandakan beberapa hal – kesalahan pengukuran lebih mungkin terjadi saat pagi dan sore hari (saat elevasi matahari rendah), atau intensitas radiasi baur yang memang cukup tinggi pada pagi dan sore hari. Setelah proses kontrol kualitas data, nilai yang melewati batas batas nilai yang ditentukan dieliminasi dan tidak digunakan dalam analisa selanjutnya.







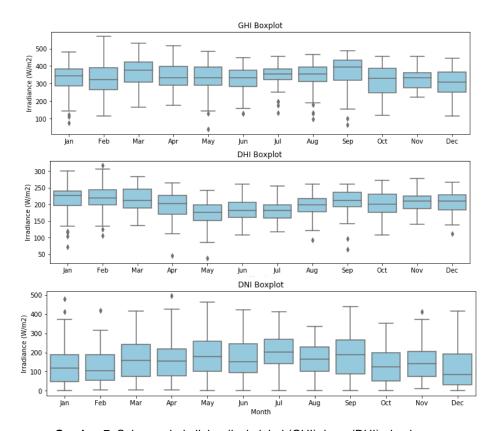
Gambar 6. Variasi diurnal (a) radiasi global, (b) radiasi baur, dan (c) radiasi langsung di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi tahun 2018 – 2019. (Sumber: pengolahan data)

Variasi Diurnal. Ketiga grafik di atas (Gambar 6) menunjukkan pola diurnal rata rata dari ketiga jenis radiasi di wilayah Stasiun Klimatologi Muaro Jambi selama tahun 2018 - 2019. Radiasi matahari di wilayah Jambi umumnya mulai tercatat sejak pukul 23.00 -

00.00 UTC (06.00 - 07.00 LT) hingga pukul 11.00 UTC (18.00 LT). Puncak insolasi sepanjang tahun terjadi sekitar pukul 06.00 UTC (13.00 LT), dimana tidak ada perbedaan yang signifikan terkait waktu puncak insolasi dari bulan ke bulan mengingat wilayah Jambi yang berdekatan dengan garis ekuatorial. Nilai maksimum radiasi global di wilayah Jambi pada tengah hari dapat mencapai 1200 W/m² dan nilai radiasi baur dapat mencapai 600 W/m² saat tengah hari.

Sebaran nilai (standar deviasi) radiasi langsung (167.9 W/m²) lebih besar dibandingkan radiasi baur (147.8 W/m²), mengingat nilai dari radiasi langsung sangat dipengaruhi oleh variabilitas tutupan awan. Radiasi langsung diukur dari dengan demikian satu arah. satu obiek penghalang (awan) dapat sepenuhnya menghalangi komponen radiasi tersebut, sehingga memungkinkan bila nilai dari radiasi langsung berubah secara signifikan dalam rentang waktu yang tidak terlalu jauh. Sebaliknya, radiasi baur diperoleh dari segala arah sehingga memiliki nilai yang cenderung lebih konstan dan tidak sepenuhnya sensitif terhadap tutupan awan dibandingkan dengan radiasi langsung.

Variasi Bulanan. Berdasarkan pola rata rata bulanan, radiasi global di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi mencapai puncak pada bulan Maret dan September (Gambar 7 – 8). Secara umum, variabilitas radiasi matahari yang diterima di permukaan bumi dipengaruhi oleh dua faktor, yakni faktor astronomis atau geografi (lintang), serta faktor atmosferik [13]. Matahari berada tegak lurus di atas wilayah ekuator dua kali dalam setahun, yakni bertepatan dengan kejadian equinox (20 Maret dan 23 September). Stasiun Klimatologi Muaro Jambi berada dekat dengan garis ekuatorial (1.6° LS), sehingga pada bulan Maret - April dan September - Oktober, posisi matahari relatif lebih tinggi bagi pengamat di wilayah tersebut, yang berarti panjang atmosfer yang harus dilalui radiasi matahari untuk mencapai permukaan bumi di wilayah tersebut relatif lebih pendek. Hal ini menyebabkan penguatan intensitas radiasi matahari yang diterima di permukaan bumi pada bulan bulan tersebut, terutama saat tengah hari.



Gambar 7. Sebaran dari nilai radiasi global (GHI), baur (DHI), dan langsung (DNI) setiap bulan pada periode 2018 – 2019. (Sumber: pengolahan data)

Megasains 12 (1): 40-47, 2021

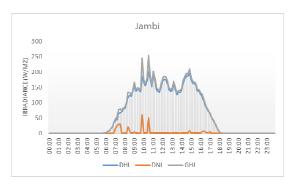


Gambar 8. Nilai rata rata radiasi global (GHI), baur (DHI), dan langsung (DNI) pada periode 2018 – 2019

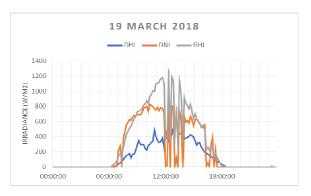
Nilai rata rata akumulasi harian radiasi global di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi pada tahun 2018 - 2019 mencapai 4.4 ± 1.0 kWh/m² day⁻¹. Nilai tersebut setara dengan nilai radiasi matahari harian di wilayah Indonesia yang ditemukan dalam beberapa penelitian terdahulu [14 - 16]. Nilai ini juga menandakan jumlah potensi energi surya harian yang bisa diperoleh di wilayah Jambi. Standar deviasi dari nilai radiasi harian terlihat paling besar pada musim basah (DJF) (0.97 - 1.2 kWh/m²) dan relatif lebih kecil pada bulan kering (JJA) (0.8 – 0.84 kWh/m²), yang menunjukkan bahwa kejadian hujan dan tutupan awan dapat menjadi masalah untuk memperoleh input radiasi matahari yang stabil. Untuk wilayah dengan tutupan awan yang cukup signifikan, ini dapat menjadi masalah dalam kegiatan produksi energi surya. Di beberapa wilayah di Indonesia, jumlah radiasi maksimum juga secara umum tercapai saat musim kering, terutama jika bertepatan dengan posisi matahari yang tinggi [3 - 4].

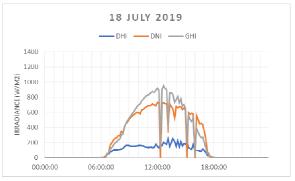
Radiasi Matahari dan **Tutupan** Awan. Sebagaimana disebutkan dalam bagian sebelumnya, selain faktor astronomis seperti gerak semi-tahunan matahari, keberadaan konstituen atmosfer lain juga menentukan besaran radiasi matahari yang mencapai bumi. Wilayah Indonesia didominasi dengan pertumbuhan awan yang kuat, sehingga berpotensi menghalangi radiasi yang mencapai bumi. Pengaruh permukaan perawanan terhadap radiasi matahari dapat terlihat dari profil radiasi matahari pada saat hari cerah (clear sky) dan hari berawan (overcast) (Gambar 9 – 10). Untuk menentukan hari cerah dan hari berawan, indeks kebeningan harian (daily clearness index) di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi untuk tahun 2018 – 2019 dihitung, dimana semakin besar nilai indeks kebeningan menandakan kondisi perawanan minimum. Dalam periode 2018 - 2019, nilai indeks kebeningan harian di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi berkisar antara 0.05 – 0.67.

kondisi Pada hari dengan perawanan (clearness maksimum index<0.2), terlihat bahwa radiasi global sepenuhnya dipengaruhi oleh komponen radiasi baur, dan hampir tidak ada komponen radiasi langsung sepanjang hari (Gambar 9). Pada hari dengan nilai clearness index paling tinggi selama periode 24 bulan tersebut, terlihat bahwa pengaruh dari awan masih cukup dominan terhadap sinar matahari yang mencapai permukaan bumi (Gambar 10). Ini menandakan kuatnya pertumbuhan awan di wilayah Jambi, dimana tidak terdapat satupun hari dengan kondisi langit sepenuhnya cerah.



Gambar 9. Profil rata rata radiasi matahari di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi pada hari berawan (*clearness index*<0.2). (Sumber: pengolahan data)





Gambar 10. Profil radiasi matahari pada beberapa hari paling 'cerah' di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi. (Sumber: pengolahan data)

Megasains 12 (1): 40-47, 2021

Di wilayah tropis, radiasi baur cenderung memiliki proporsi yang lebih besar dibandingkan dengan radiasi baur di wilayah lintang tinggi, dikarenakan kondisi perawanan dan kelembapan yang lebih signifikan [17 - 19]. Tiga proses yang dapat melemahkan intensitas radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi mencakup pembauran oleh molekul gas, penyerapan oleh molekul gas di atmosfer, dan pembauran oleh partikel padat dan gas (cloud terkondensasi droplet) [11]. Dibandingkan dengan atenuasi yang diakibatkan oleh molekul gas dan partikel padat (kering), pembauran yang dihasilkan oleh awan (uap air) memiliki pengaruh yang lebih besar pada profil radiasi matahari. Atenuasi radiasi matahari yang disebabkan oleh awan bahkan dapat menunjukkan pengaruh fenomena iklim skala besar seperti El Niño terhadap intensitas radiasi matahari di beberapa terdampak [19 - 20].

4. Kesimpulan

Pengukuran data radiasi matahari di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi telah dilakukan sejak tahun 2017 dengan resolusi temporal yang tinggi dan memiliki kualitas yang baik. Nilai dari ketiga parameter radiasi mencapai puncak pada pukul 06.0 UTC, dan radiasi langsung secara umum memiliki sebaran yang lebih besar dibandingkan radiasi baur. Pola musiman radiasi matahari dipengaruhi oleh gerak semi tahunan matahari, dimana nilai maksimum dari radiasi global terjadi pada bulan Maret dan September, atau saat periode equinox. Tutupan awan yang signifikan di wilayah Jambi sepanjang tahun mempengaruhi sebaran jumlah radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi.

Daftar Pustaka

- Kopp, G. (2014). An assessment of the solar irradiance record for climate studies. *Journal of Space Weather* and Space Climate, 4, A14, doi:10.1051/swsc/2014012.
- [2] Kafka, J., and M. Miller. (2019). A climatology of solar irradiance and its controls across the United States: Implications for solar panel orientation. *Renewable Energy*, 135, 897-907, doi:10.1016/j.renene. 2018.12.057.
- [3] Octavianti, A., Muliadi, Apriansyah. (2018). Estimasi Intensitas Radiasi Matahari di Wilayah Kota Makassar. *Prisma Fisika*. 6(3), 152 – 159.
- [4] Utomo, Y.S. (2017). Prediksi radiasi surya global bulanan kota bandung menggunakan data LPM (lama penyinaran matahari). Jurnal Material dan Energi Indonesia. 7(2), 21 – 27.
- [5] Rumbayan, M., Abudureyimu, A. and Nagasaka, K. (2012). Mapping of solar energy potential in Indonesia using artificial neural network and geographical information system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16(3), 1437-1449.

- [6] Morrison, G. and Sudjito. (1992). Solar Radiation Data for Indonesia. *Solar Energy*. 49(1), 65 76.
- [7] Sianturi, Y., Marjuki, Sartika, K. (2020). Evaluation of ERA5 and MERRA2 reanalyses to estimate solar irradiance using ground observations over Indonesia region. In: Astechnova International Energy Conference.
- [8] Anonim.(2012).Sun Tracker STR-21G/22G/32G Instruction Manual Ver.7.Japan
- [9] Anonim.(2016). Manual Book of MS-57 Pyrheliometer Ver.3.Japan.
- [10] Duffie, J., and W. Beckman. (2013). Solar engineering of thermal processes. Wiley, Hoboken, N.J.,.
- [11] Long, C. N., and E. G. Dutton. (2002). BSRN Global Network recommended QC tests, V2.0. BSRN Technical Report.
- [12] (2018) Guide to meteorological instruments and methods of observation. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- [13] Kimball, H. (1932). Solar Radiation as a Meteorological Factor. Reviews of Modern Physics, 4, 259-277, doi:10.1103/revmodphys.4.259.
- [14] Septiadi D., Nanlogy P., Souissa M., Rumlawang F.Y. (2009). Proyeksi potensi energi surya sebagai energi terbarukan (studi wilayah Ambon dan sekitarnya). Jurnal Meteorologi dan Geofisika. 10(1), 22 – 28.
- [15] Sianturi Y. (2020). Estimating the solar energy potential over Indonesia region using daily sunshine duration. *International Journal of Science and Research*. 9(5), 1069 – 1073.
- [16] Handayani N.A., Ariyanti D. (2012). Potency of solar energy application in Indonesia. *International Journal of Renewable Energy Development*. 1(2), 33 – 38.
- [17] Okogbue, E., J. Adedokun, and B. Holmgren. (2009). Hourly and daily clearness index and diffuse fraction at a tropical station, Ile-Ife, Nigeria. *International Journal* of Climatology, 29, 1035-1047, doi:10.1002/joc.1849.
- [18] Arthur, Y., F. Oduro, and W. Obeng-Denteh. (2016). Statistical Analysis of Hourly Solar Radiation in Kumasi – Ghana: Bayesian Approach. *Journal of Scientific Research and Reports*, 10, 1-23, doi:10.9734/jsrr/2016/12030.
- [19] Gu, L., J. Fuentes, M. Garstang, J. Silva, R. Heitz, J. Sigler, and H. Shugart. (2001). Cloud modulation Of surface solar irradiance at a pasture site in southern Brazil. Agricultural and Forest Meteorology, 106, 117-129, doi:10.1016/s0168-1923(00)00209-4.
- [20] Díaz-Torres, J. et al. (2017). Assessment of the modulation effect of rainfall on solar radiation availability at the Earth's surface. *Meteorological Applications*, 24, 180-190, doi:10.1002/met.1616.

Megasains 12 (1): 40-47, 2021