



E-ISSN 2723-2239
P-ISSN 2086-5589



megasains
buletin meteorologi, klimatologi, kualitas udara, geofisika, dan lingkungan

VOL 11 | NO.2 | AGUSTUS 2020

ANALISIS INDEKS KERAPATAN VEGETASI UNTUK IDENTIFIKASI KEJADIAN DAN POTENSI PUTING BELIUNG DI WILAYAH KABUPATEN KLATEN
Zauyik Nana Ruslana dan Sulistiyowati

PEMETAAN KARAKTERISTIK PERIODE ULANG CURAH HUJAN MAKSIMUM DI KOTA MANADO
Muhammad Tahmid, Yosevina Nugrahenny Nugroho dan Farida Indriani

PROFIL TINGKAT KENYAMANAN UDARA DAN HUBUNGANNYA DENGAN HARI HUJAN DI BUKIT KOTOTABANG TAHUN 2010-2018
Andi Sulistiyono, Rendi Septa Davi dan Ikhsan Buyung Arifin

PERBANDINGAN DAMPAK EL NINO KUAT 2015/16 DAN 1997/98 TERHADAP CURAH HUJAN DI PROVINSI BALI - INDONESIA
I Wayan Andi Yuda, Rakhmat Prasetya, Nursa'idah dan Made Dwi Wiratmaja

ANALISIS TINGKAT KENYAMANAN DI KOTA MANADO DAN WILAYAH PENYANGGANYA BERDASARKAN INDEKS THI (TEMPERATURE HUMIDITY INDEX)
Wenas Ganda Kumila dan Sofian Widiyanto

DIURNAL RAINFALL ON TROPICAL CYCLONE CEMPAKA AND DAHLIA AS OBSERVED BY TRMM
Reza Bayu Perdana, Mutiara Halida dan Setyo Aji Pramono

MEGASAINS

VOLUME 11

NOMOR 2

HALAMAN
1 - 45

BKT
AGUSTUS 2020

E-ISSN 2723-2239
P-ISSN 2086-5589

BADAN METEOROLOGI, KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA

STASIUN PEMANTAU ATMOSFER GLOBAL (GAW) BUKIT KOTOTABANG

MEGASAINS © 2020
STASIUN PEMANTAU ATMOSFER GLOBAL (GAW) BUKIT KOTOTABANG
Telp. (0752) 7446089 / Fax. (0752) 7446449
E-mail: stagaw.kototabang@bmkg.go.id
<https://megasains.gawbkt.id>

E-ISSN 2723 2239



9 772723 223905

P-ISSN 2086 5589



9 772086 558904



Vol. 11, No. 2 - Agustus 2020

Diterbitkan Oleh
Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit Kototabang
Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika
Jl.Raya Bukittinggi-Medan Km.17 Palupuh, Sumatera Barat

SUSUNAN REDAKSI

PENANGGUNG JAWAB

Wandayantolis, M.Si

MITRA BESTARI

Dra. Noerhayati, M.Sc

Drs. Nasrullah

Dr. Erwin Makmur, M.Si

Supari, S.Si, M.Sc, P.hD

Sugeng Nugroho, M.Si

REDAKTUR

Darmadi

Ir. Manat Panggabean

Reza Mahdi, ST

EDITOR

Andi Sulistiyono, S.Si

Dodi Saputra, S.Si

Tanti Tritama Okaem, S.Si

DESAIN GRAFIS DAN FOTOGRAFER

Harika Utri, S.Kom

Rinaldi, A.Md

Ikhsan B Arifin, S.Tr

Fajri Zulgino, S.T

SEKRETARIAT REDAKSI

Diko Revano Umbara, SE

Rendi Septa Davi, S.Tr

Dwiky Pujo Pratama, S.Tr

Quartha Rivaldo, S.Tr

Soni Miftah Pratama, S.Tr

Ibrahim

MEGASAINS

MEGASAINS merupakan buletin yang diterbitkan oleh Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit kototabang sebagai media penguatan Karya Tulis Ilmiah (KTI) yang bersumber dari kegiatan penelitian berdasarkan ilmu Meteorologi, Klimatologi, Kualitas udara, dan Geofisika (MKKuG), serta Lingkungan.

Dewan Redaksi membuka kesempatan dari para pakar ataupun praktisi untuk dapat mengirimkan naskah KTI, terutama yang berkaitan dengan fokus utama dari Buletin MEGASAINS.

Naskah KTI yang dikirimkan hendaknya asli dan belum pernah dipublikasikan. Naskah diketik dengan menggunakan aplikasi *Microsoft Word* dengan ketentuan panjang naskah maksimal 12 halaman pada kertas ukuran A4; dengan margin atas, bawah, kiri, dan kanan 2.5 cm; dua kolom; font Arial. Judul ditulis menggunakan font 14 pts, rata kiri, spasi tunggal, huruf kapital dan cetak tebal, isi ditulis menggunakan font 10 pts, rata kiri-kanan dan spasi tunggal, tulisan disertai dengan abstrak sepanjang satu alinea, dicetak dengan font 10 pts, spasi tunggal dan disertai dengan 2-5 kata kunci.

Dewan Redaksi berhak mengubah isi naskah sepanjang tidak mengubah substansinya. Isi naskah adalah sepenuhnya tanggung jawab penulis. Pemilihan naskah yang laik cetak adalah sepenuhnya hak Dewan Redaksi.

Informasi lebih lanjut dan pengiriman naskah tulisan dapat mengunjungi portal:
<https://megasains.gawbkt.id>

-halaman ini sengaja dikosongkan-

Pengantar Redaksi

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Puji syukur kami ucapkan ke Hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena dengan izin-Nya jualah Jurnal Megasains Volume 11 No. 2 tahun 2020 ini dapat terbit sebagaimana yang diharapkan.

Jurnal Megasains didedikasikan oleh Stasiun Pemantau Atmosfer Global (Global Atmosphere Watch) Bukit Kototabang sebagai sarana penerbitan karya ilmiah yang bersumber dari kegiatan penelitian berbasis ilmu-ilmu Meteorologi, Klimatologi, Kualitas udara dan Geofisika (MKKuG), serta Lingkungan. Jurnal ini diterbitkan setahun dua kali guna memberikan kesempatan bagi penulis-penulis berbakat untuk berkontribusi.

Mulai Volume 10 No 2 tahun 2019 kami sudah menerapkan sistem jurnal online yang memudahkan para penulis untuk mengirim naskahnya, kemudian memantau progres *review* hingga kemudian mendapat notifikasi diterima atau harus diperbaiki. Dari sisi Redaksi dan Mitra Bestari selaku tim *review* dapat memberi notifikasi semua proses penerimaan naskah hingga kemudian terbit.

Akhir kata, semoga jurnal ini dapat memberikan manfaat kepada khalayak ramai dalam bagian usaha bersama untuk mencerdaskan bangsa. Kami ucapkan terima kasih kepada para penulis. Tim Mitra Bestari dan Tim Redaksi yang telah bekerja keras demi terbitnya Volume 11 No. 2 tahun 2020 ini.

Sekian, wassalamu'alaikum Wr. Wb

Bukit Kototabang, Agustus 2020

Daftar KTI

	Halaman
Analisis Indeks Kerapatan Vegetasi Untuk Identifikasi Kejadian dan Potensi Puting Beliung di Wilayah Kabupaten Klaten <i>Zauyik Nana Ruslana dan Sulistiyowati</i>	1-12
Pemetaan Karakteristik Periode Ulang Curah Hujan Maksimum di Kota Manado <i>Muhammad Tahmid, Yosevina Nugrahenny Nugroho dan Farida Indriani</i>	13-19
Profil Tingkat Kenyamanan Udara dan Hubungannya dengan Hari Hujan di Bukit Kototabang Tahun 2010-2018 <i>Andi Sulistiyono, Rendi Septa Davi dan Ikhsan Buyung Arifin</i>	20-27
Perbandingan Dampak El Nino Kuat 2015/16 dan 1997/98 Terhadap Curah Hujan di Provinsi Bali – Indonesia <i>I Wayan Andi Yuda, Rakhmat Prasetya, Nursa'idah dan Made Dwi Wiratmaja</i>	28-35
Analisis Tingkat Kenyamanan di Kota Manado dan Wilayah Penyangganya Berdasarkan Indeks THI (Temperature Humidity Index) <i>Wenas Ganda Kurnia dan Sofian Widiyanto</i>	36-41
Diurnal Rainfall on Tropical Cyclone Cempaka and Dahlia As Observed by TRMM <i>Reza Bayu Perdana, Mutiara Halida dan Setyo Aji Pramono</i>	42-45

ANALISIS INDEKS KERAPATAN VEGETASI UNTUK IDENTIFIKASI KEJADIAN DAN POTENSI PUTING BELIUNG DI WILAYAH KABUPATEN KLATEN

ANALYSIS OF VEGETATION RATE INDEX FOR IDENTIFICATION OF THE EVENT AND POTENTIAL OF PUTING BELIUNG IN THE REGION OF KLATEN DISTRICT

Zauyik Nana Ruslana ^{1*} dan Sulistiyowati ²

^{1, 2} Stasiun Klimatologi Klas I Semarang

*E-mail: aziexzazak@gmail.com

Naskah masuk: 4 Juni 2020, Naskah diperbaiki: 17 Juli 2020, Naskah diterima: 20 Juli 2020

ABSTRAK

Dengan melakukan analisa citra landsat 8 yaitu Citra Satelit Landsat 8 OLI/TIRS yaitu berupa citra yang diperoleh dari USGS (*United State Geological Survey*) dengan pengolahan pertama dengan software ENVI untuk meningkatkan ketajaman dan kejelasan citra satelit, kemudian dilakukan pengolahan dengan ArcGIS 10.4 untuk menghasilkan peta NDVI dengan dua klasifikasi yaitu klasifikasi kerapatan dan vegetasi serta titik kejadian puting beliung di wilayah Kabupaten Klaten sesuai hasil pengolahan citra satelit Landsat 8 menjadi peta NDVI didapat bahwa di hampir seluruh wilayah Kabupaten Klaten lebih sedikit vegetasi dengan kerapatan tinggi, yang lebih banyak adalah lahan terbuka seperti sawah/ladang dan pemukiman penduduk. Kejadian puting beliung di wilayah Kabupaten Klaten berdasarkan data tahun 2018–2019 terjadi pada bulan Desember–April. Dengan semakin sedikitnya vegetasi yang kerapatannya tinggi dan semakin meningkatnya pemukiman penduduk dan lahan terbuka, maka potensi puting beliung akan semakin meningkat selain karena faktor lain seperti suhu udara, tekanan udara dan awan kumulonimbus. Manfaat yang diperoleh adalah dapat sebagai pertimbangan dalam membangun dan penataan infrastruktur yang lebih hijau dan berkesinambungan, serta sebagai mitigasi dan adaptasi terhadap wilayah yang paling rawan terdampak puting beliung di Kabupaten Klaten.

Kata kunci: wind shear, vortex, NDVI, Puting Beliung, Landsat 8

ABSTRACT

By analyzing Landsat 8 imagery, Landsat 8 OLI /TIRS satellite imagery in the form of images obtained from the USGS (United State Geological Survey) with the first processing with ENVI software to improve the sharpness and clarity of satellite imagery, then processing with ArcGIS 10.4 to produce maps NDVI with two classifications, namely density and vegetation classification, and the point of occurrence of puting beliung in the Klaten Regency. According to the Landsat 8 satellite image processing being an NDVI map, it is found that in almost all regions of Klaten Regency there is less vegetation with high density, which is more open land such as rice fields/fields and residential areas. The occurrence of a puting beliung in the Klaten Regency region based on data from 2018-2019 occurred in December-April. With the lack of vegetation with high density and increasing population of settlements and open land, the potential for puting beliung will increase in addition to other factors such as air temperature, air pressure and Cumulonimbus Clouds. The benefits gained can be taken into consideration in building and structuring a greener and more sustainable infrastructure, as well as mitigating and adapting to areas most vulnerable to tornadoes in Klaten Regency.

Keywords: ENVI, OLI/TIRS, NDVI, Puting Beliung, Landsat 8

1. Pendahuluan

Secara topografi Kabupaten Klaten terletak di antara Gunung Merapi dan Pegunungan Seribu Dengan ketinggian antara 75 hingga 160 meter Di Atas Permukaan Laut yang terbagi menjadi wilayah Lereng Gunung Merapi di bagian utara areal miring, wilayah datar dan berbukit di bagian selatan. Dari ketinggiannya, Kabupaten Klaten terdiri dari dataran dan pegunungan yang berada pada ketinggian bervariasi, yaitu 9,72 persen terletak di ketinggian 0–100 meter dari permukaan air laut. 77,52 persen terletak di ketinggian 100–500 meter dari permukaan air laut dan 12,76 persen terletak di ketinggian 500–1.000 meter dari permukaan air laut. Sebagian besar wilayah kabupaten ini adalah dataran rendah dan tanah bergelombang. Secara geografis Kabupaten Klaten terletak antara $110^{\circ} 26' 14''$ – $110^{\circ} 47' 51''$ BT dan $7^{\circ} 32' 19''$ – $7^{\circ} 48' 33''$ LS. Kabupaten Klaten secara umum berbatasan dengan beberapa wilayah kabupaten yaitu Sebelah Utara: Kabupaten Boyolali, Sebelah Timur: Kabupaten Sukoharjo, Sebelah Selatan: Kabupaten Gunung Kidul (DIY), Sebelah Barat: Kabupaten Sleman (DIY) [1]. Secara klimatologis, Kabupaten Klaten terpengaruh Monsun Asia dan Australia sehingga memiliki dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau, dengan normal curah hujan (1981–2010) tahunan berkisar antara 1438–1945 mm.

Salah satu kejadian cuaca ekstrem adalah puting beliung yang memberikan dampak yang merusak seperti kerusakan bangunan, merobohkan pohon, hingga dapat menimbulkan korban jiwa dan harta. Bila dibandingkan dengan banjir, puting beliung lebih murni disebabkan oleh faktor alam [7]. Salah satu wilayah di Provinsi Jawa Tengah dengan tingkat kejadian puting beliung yang cukup tinggi adalah Kabupaten Klaten, dimana sebagian besar wilayahnya adalah dataran rendah sangat berpengaruh terhadap potensi puting beliung. Dampak perubahan lingkungan seperti vegetasi, perubahan penggunaan lahan, bertambahnya jumlah penduduk ikut berpengaruh dalam proses terbentuknya puting beliung yang berasal dari awan konvektif.

Puting beliung adalah sebutan masyarakat terhadap fenomena angin kencang yang berputar (*vortex*), dan umumnya terjadi bersamaan dengan curah hujan dengan intensitas tinggi [12]. Puting Beliung datang secara tiba-tiba, dalam beberapa menit, puting beliung terbentuk dan mulai menyebabkan kehancurannya [8]. Angin puting beliung mempunyai kecepatan rata-rata 30–40 knots

berasal dari awan *kumulonimbus* (Cb) yaitu awan yang bergumpal, berwarna abu-abu gelap dan menjulang tinggi [9]. Fenomena ini bersifat lokal, mencakup area antara 5–10 kilometer. Periode hidupnya sangat singkat, yaitu sekitar 3-5 menit, mulai dari tumbuh hingga punahnya. Jenis angin ini di Indonesia kadang dikenal juga dengan istilah angin Puyuh, Lesus (Jawa), Sirit Batara (Sunda). Mengukur kekuatan dan dampak puting beliung dapat menggunakan skala Fujita [10], skala tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Skala Fujita [10].

Kategori	Kecepatan Angin	Tingkat Kerusakan
F0 (Lemah)	64-116 Km/Jam 40-72 mph	Kerusakan pada atap rumah
F1 (Sedang)	117-181 Km/Jam 73-112 mph	Atap rumah terangkat
F2 (Kuat)	182-253 Km/Jam 113-157 mph	Atap rumah terangkat dengan semua kuda-kudanya
F3 (Sangat Kuat)	254-332 Km/Jam 158-206 mph	Atap dan dinding rumah hancur, pecah dan lepas dari rangka dasarnya
F4 (Dahsyat)	333-419 Km/Jam 207-260 mph	Rumah beton rata tanah, bangunan berpondasi kurang kuat terlempar jauh
F5 (Luar Biasa)	420-512 Km/Jam 263-318 mph	Pondasi paling kuat sekalipun terangkat dan bergeser

Vegetasi sebagai penyusun lahan mempunyai jenis yang sangat beranekaragam. Kumpulan dari berbagai vegetasi yang beraneka ragam ini akan menghasilkan tingkat kerapatan vegetasi yang berbeda-beda pada tiap penggunaan lahan di suatu daerah.

Adapun tujuan penelitian yang dilakukan dari penelitian ini adalah Untuk mendapatkan nilai indeks vegetasi area pemukiman di wilayah Kabupaten Klaten dengan menggunakan metode NDVI, serta potensinya terhadap kejadian puting beliung terhadap perubahan vegetasi dan kerapatannya. Manfaat yang diperoleh :

1. Dapat sebagai pertimbangan dalam pembangunan infrastruktur yang lebih hijau dalam penataan lingkungan perumahan, hutan lindung, pertanian, perkebunan, perkotaan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.
2. Mitigasi pra dan pasca bencana angin kencang dan puting beliung.

3. Pembelajaran bagi masyarakat tentang dampak, mengatasi dan adaptasi terhadap potensi puting beliung.

2. Metode Penelitian

Tingkat kerapatan vegetasi dapat dikaji melalui penggunaan teknologi yang saat ini terus berkembang. Vegetasi memiliki ciri khas spektral yang unik sehingga dapat dianalisis dengan berbagai cara untuk mendapatkan indeks yang mewakili kondisi dari vegetasi. Teknologi tersebut adalah teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*) dan sistem informasi geografis (SIG). Metode pengukuran vegetasi menggunakan citra satelit memanfaatkan reflektansi dari fitur lanskap [2]. Tinggi rendahnya suatu kerapatan vegetasi dapat diketahui dengan menggunakan NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), yang merupakan sebuah transformasi citra penajaman spektral untuk menganalisa hal-hal yang berkaitan dengan vegetasi [3].

Identifikasi objek dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh dilaksanakan dengan beberapa pendekatan antara lain; karakteristik spektral citra, visualisasi, floristik, geografi dan phsygonomik [4]. Khususnya pada sistem satelit (citra satelit) lebih banyak didasarkan atas karakteristik spektral. Objek yang berbeda akan memberikan pantulan spektral yang berbeda pula, bahkan obyek yang sama dengan kondisi dan kerapatan yang berbeda akan memberikan nilai spektral yang berbeda.

Indeks vegetasi merupakan suatu algoritma yang diterapkan terhadap citra satelit, untuk menonjolkan aspek kerapatan vegetasi ataupun aspek lain yang berkaitan dengan kerapatan, misalnya biomassa, *Leaf Area Index* (LAI), konsentrasi klorofil. Atau lebih praktis, indeks vegetasi adalah merupakan suatu transformasi matematis yang melibatkan beberapa saluran sekaligus untuk menghasilkan citra baru yang lebih representatif dalam menyajikan aspek-aspek yang berkaitan dengan vegetasi [5]. Selanjutnya dikatakan [6] bahwa 3 metode indeks vegetasi ada beberapa macam antara lain; NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), GI (*Green Indeks*) dan WI (*Wetness Index*). Dalam analisa ini hanya menggunakan metode NDVI. Informasi data kerapatan vegetasi, luas lahan, dan keadaan di lapangan dapat dideteksi dengan penginderaan jauh yaitu menggunakan citra satelit. Perubahan kerapatan vegetasi ini dapat dipantau menggunakan citra satelit. Dalam melakukannya digunakan citra

satelit, yaitu Landsat 8 OLI/TIRS. Dalam sejarahnya teknologi satelit penginderaan jauh dipelopori oleh NASA Amerika Serikat dengan diluncurkannya satelit sumber daya alam yang pertama, yang disebut ERTS-1 (*Earth Resources Technology Satellite*) pada tanggal 23 Juli 1972, menyusul ERTS-2 pada tahun 1975, satelit ini membawa sensor RBV (*Retore Beam Vidcin*) dan MSS (Scanner System) yang mempunyai resolusi pasial 80 x 80 m. Satelit ERTS1, ERTS-2 yang kemudian setelah diluncurkan berganti nama menjadi Landsat 1, Landsat 2, diteruskan dengan seri-seri berikutnya, yaitu Landsat 3, 4, 5, 6,7 dan terakhir adalah Landsat 8 [11].

Indeks vegetasi adalah besaran nilai kehijauan vegetasi yang diperoleh dari pengolahan sinyal digital data nilai kecerahan (*brightness*) beberapa kanal data sensor satelit. Untuk pemantauan vegetasi, dilakukan proses perbandingan antara tingkat kecerahan kanal cahaya merah (*red*) panjang cahaya inframerah dekat (*near infrared*). Fenomena penyerapan cahaya merah oleh klorofil dan pemantulan cahaya inframerah dekat oleh jaringan mesofil yang terdapat pada daun akan membuat nilai kecerahan yang diterima sensor satelit pada kanal-kanal tersebut akan jauh berbeda. Pada daratan non-vegetasi, termasuk diantaranya wilayah perairan, pemukiman penduduk, tanah kosong terbuka, dan wilayah dengan kondisi vegetasi yang rusak, tidak akan menunjukkan nilai rasio yang tinggi (minimum). Sebaliknya pada wilayah bervegetasi sangat rapat, dengan kondisi sehat, perbandingan kedua kanal tersebut akan sangat tinggi (maksimum). Nilai perbandingan kecerahan kanal cahaya merah dengan cahaya inframerah dekat atau NIR/RED, adalah nilai suatu indeks vegetasi (yang sering disebut "*simple ratio*") yang sudah tidak dipakai lagi. Hal ini disebabkan karena nilai dari rasio NIR/RED akan memberikan nilai yang sangat besar untuk tumbuhan yang sehat. Oleh karena itu, dikembangkanlah suatu algoritma indeks vegetasi yang baru dengan normalisasi, yaitu NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). NDVI adalah perbedaan nilai reflektansi merah dekat dan inframerah yang dinormalisasi karena pantulan.

Secara khusus adalah :

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Keterangan:

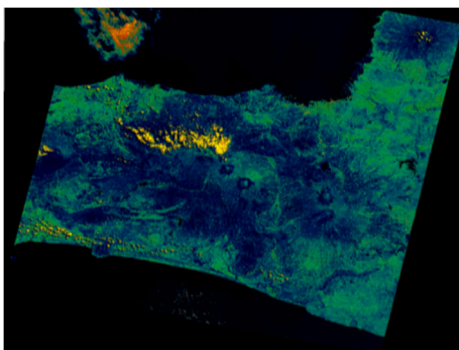
NIR = Band yang memiliki panjang gelombang inframerah dekat (band 5)
RED = Pantulan pada band merah (band 4) yang terlihat

Persamaan tersebut akan menghasilkan rentang nilai -1 hingga 1. Nilai -1 menunjukkan objek awan, salju, air, non-vegetasi. Sedangkan, nilai 1 menunjukkan objek vegetasi. Adapun klasifikasinya yaitu tersaji dalam tabel 1, yang menunjukkan nilai range index NDVI untuk klasifikasi kerapatan dan klasifikasi vegetasi.

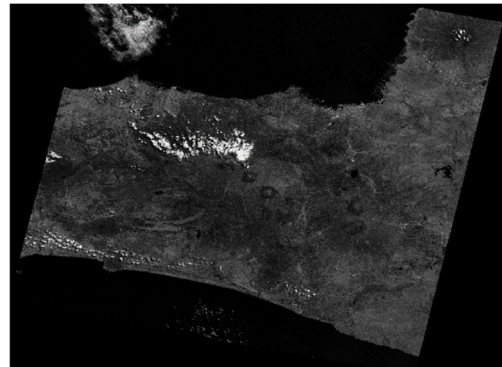
Tabel 1. Klasifikasi NDVI [13]

Rentang Klasifikasi	Kerapatan	Vegetasi
-1 – 0	Awan, Badan Air, Nonvegetasi	-
0 – 0,25	Vegetasi Jarang	Pemukiman, Lahan Kosong
0,25– 0,55	Cukup Rapat	Sawah, Tegalan
0,55– 0,78	Rapat	Sawah, Semak Belukar
0,78 – 1	Sangat Rapat	Hutan

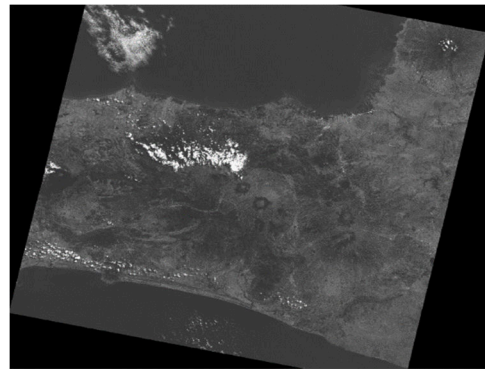
Dalam penelitian ini data yang digunakan yaitu Citra Satelit Landsat 8 OLI/TIRS yaitu berupa citra yang diperoleh dari USGS (*United State Geological Survey*) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) yang terletak di Path 120 Row 65, Kabupaten Klaten berada pada wilayah citra satelit tersebut. Data citra satelit yang dipilih adalah yang bebas gangguan seperti awan, *noise* dari bulan Januari–Desember 2018. Citra satelit landsat 8 yang dipilih adalah bulan September 2018 dengan tingkat gangguan awan dan *noise* yang rendah. Berikut adalah proses layer stacking dan penajaman citra landsat-8 :



Gambar 1. Citra Jawa Tengah hasil dari *layer Stacking* satelit Landsat 8 (warna)

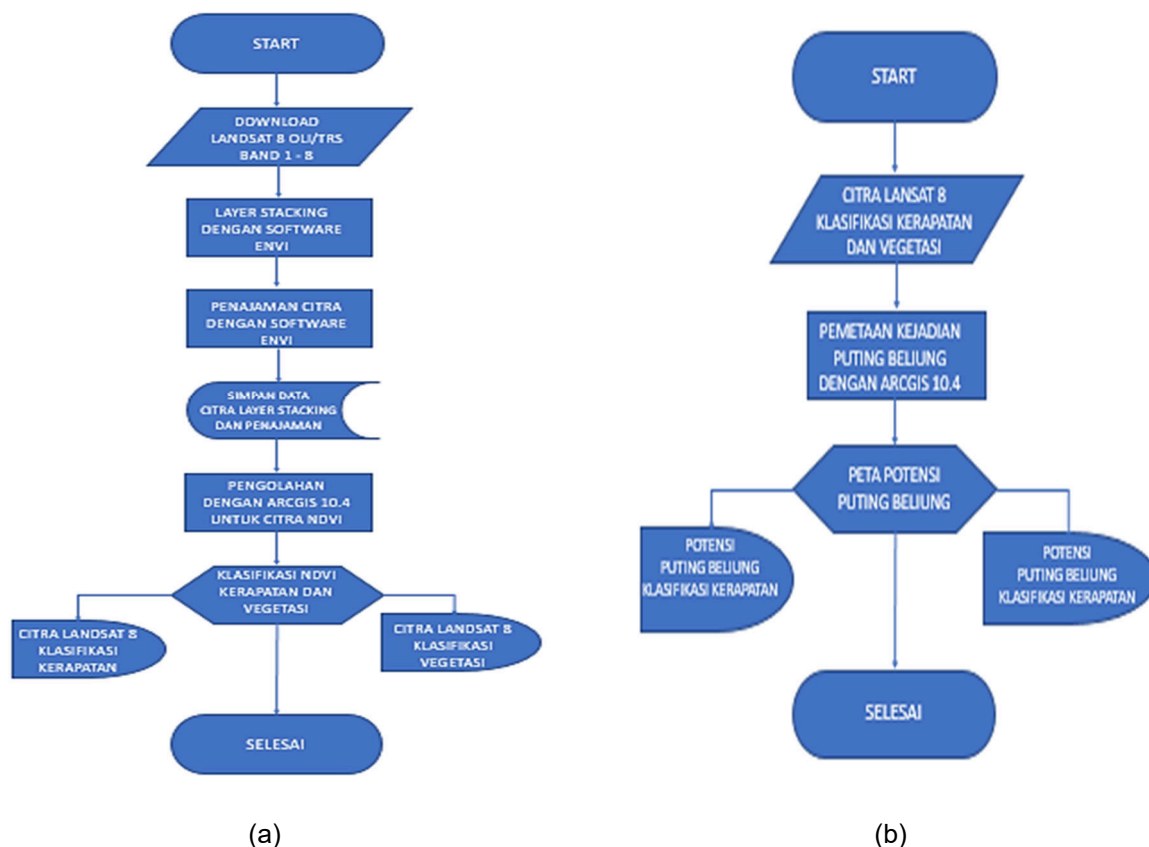


Gambar2. Citra Jawa Tengah hasil dari *layer Stacking* satelit Landsat 8 (*grayscale*)



Gambar3. Citra Jawa Tengah hasil penajaman satelit Landsat 8 (*grayscale*)

Pada gambar 1–2 merupakan hasil *layer stacking* dari citra satelit Landsat 8 pada band 1–8. Sedangkan pada gambar 3 adalah citra satelit Landsat 8 hasil penajaman dengan software ENVI. Setelah melakukan *layer stacking* dan penajaman citra satelit Landsat 8 adalah dengan menghitung indeks NDVI di Arcgis 10.4 untuk menghasilkan perbedaan gradasi warna yang berbeda sesuai dengan klasifikasi NDVI. Kemudian dipetakan titik-titik kejadian puting beliung di wilayah Kabupaten Klaten, sehingga akan menghasilkan potensi kejadian puting beliung berdasarkan tingkat kerapatan dan vegetasi. Alur kerja umum dalam pengolahan Landsat 8 untuk menjadi citra klasifikasi NDVI ditunjukkan pada gambar 4 (a).



Gambar 4. (a) Alur kerja/flowchart umum pengolahan Landsat 8 dalam klasifikasi NDVI, (b) Alur kerja/flowchart umum pengolahan Landsat 8 klasifikasi NDVI untuk kerapatan dan vegetasi dengan titik kejadian puting beliung.

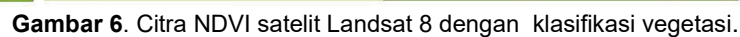
Pada gambar 4 (b), merupakan alur kerja umum pengolahan Landsat 8 yang sudah menjadi peta NDVI berdasarkan klasifikasi kerapatan dan vegetasi dengan titik-titik kejadian puting beliung di wilayah Kabupaten Klaten berdasarkan data kejadian tahun 2018.

3. Hasil dan Pembahasan

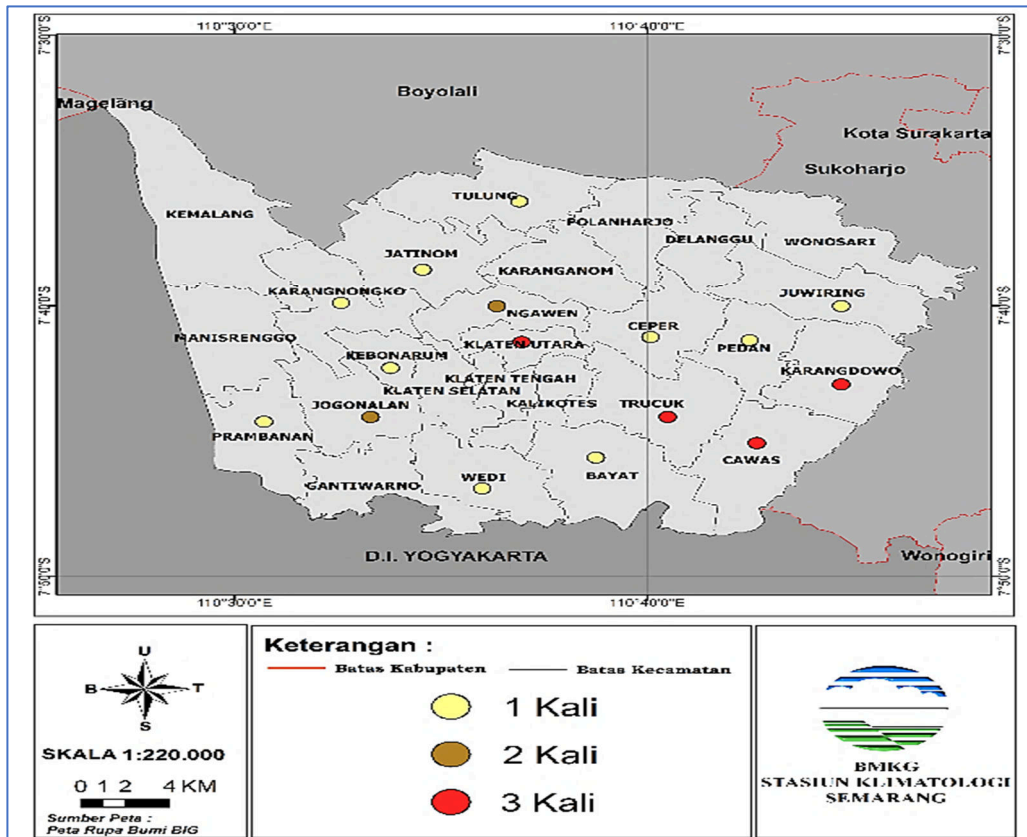
Dari beberapa penelitian masih sedikit yang menghubungkan tentang analisis indeks kerapatan vegetasi dengan potensi puting beliung, seperti pada tulisan [15] hanya menyatakan Berdasarkan peta distribusi bencana angin ribut, angin ribut banyak terjadi di beberapa provinsi yang ada di Pulau Jawa yaitu Provinsi Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur. Dan hanya melakukan penelitian tentang kajian bencana angin ribut dan mitigasi bencananya. Pada penelitian lain [16] membahas upaya untuk mengidentifikasi kondisi awal kejadian puting beliung atau

kejadian seperti tornado yang terjadi di kota Pangkalpinang pada 9 Januari 2008. Dan hanya dengan pengamatan permukaan dan Analisa dari citra satelit dengan SATAID.

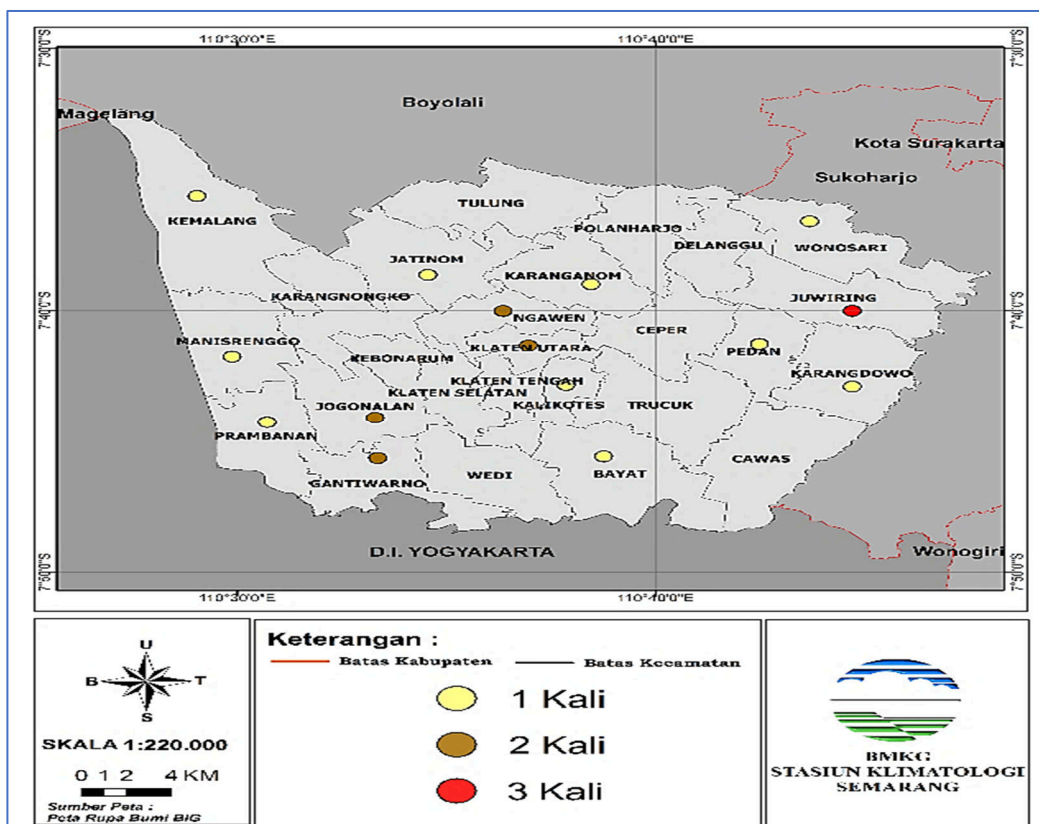
Penelitian-penelitian lain indeks vegetasi lebih banyak hanya membahas tentang perapatan dan pemetaan kondisi wilayah dan vegetasi. Maka dari itu penulis berusaha untuk melakukan penelitian dengan pembahasan dengan dilakukan pengolahan citra satelit Landsat 8 OLI/TIRS dengan menggunakan Arcgis 10.4 maka akan menghasilkan 2 jenis peta klasifikasi NDVI yaitu klasifikasi kerapatan dan klasifikasi vegetasi. Yaitu pada gambar 5 dan 6. Pada gambar 5 klasifikasi kerapatan untuk wilayah Kabupaten Klaten lebih dominan pada vegetasi jarang pada rentang klasifikasi 0–0,20 dan cukup rapat di rentang klasifikasi 0,25–0,55.



penggunaannya. Hal ini berpengaruh pada keseringan jumlah kejadian puting beliung, yang berhubungan dengan luasnya lahan terbuka. Sebagai gambaran, berikut peta kejadian puting beliung di beberapa wilayah Kecamatan di Kabupaten Klaten pada tahun 2018 pada gambar 7 dan 8 serta tahun 2019 pada gambar 9 dan 10.



Gambar 7. Peta titik kejadian puting beliung di Kabupaten Klaten Tahun 2018.



Gambar 8. Peta titik kejadian puting beliung di Kabupaten Klaten Tahun 2019.

Dapat dijelaskan bahwa kejadian puting beliung pada tahun 2018 dan 2019 di wilayah Kabupaten Klaten hampir merata. Untuk rincian detail kejadian untuk tahun 2018 adalah kejadian puting beliung 3 kali meliputi Kecamatan Trucuk, Klaten Utara, Cawas dan Karangdowo, kejadian puting beliung 2 kali meliputi wilayah Kecamatan Ngawen dan Jogonalan, kejadian puting beliung 1 kali meliputi Wilayah Kecamatan Tulung, Prambanan, Kebonarum, Karangnongko, Ceper, Pedan, Wedi, Bayat, Juwiring dan Jatinom, dapat dilihat pada tabel 3. Kejadian puting beliung pada Tahun 2018 di Kabupaten Klaten lebih sering terjadi pada periode musim

hujan yaitu Desember–April, sedangkan saat musim kemarau tidak ada.

Untuk rincian detail kejadian untuk tahun 2019 adalah kejadian puting beliung 3 kali meliputi Kecamatan Juwiring, kejadian puting beliung 2 kali meliputi wilayah Kecamatan Klaten Utara, Jogonalan, Ngawen dan Gantiwarno, kejadian puting beliung 1 kali meliputi Wilayah Kecamatan Prambanan, Karangdowo, Pedan, Bayat, Jatinom, Karanganom, Kalikotes, Manisrenggo, Wonosari dan Pemalang dapat di lihat pada tabel 4. Kejadian puting beliung Tahun 2019 di Kabupaten Klaten untuk periode musim kejadiannya sama denga Tahun 2018 yaitu pada musim hujan.

Tabel 3. Kejadian puting beliung tahun 2018 [14]

KEC	BLN						JML
	JAN	FEB	MAR	APR	MEI - NOV	DES	
TRUCUK	1	1		1			3
TULUNG			1				1
KLATEN UTARA	2			1			3
PRAMBANAN	1						1
CAWAS	2			1			3
NGAWEN	1					1	2
KEBONARUM	1						1
KARNGNONGKO	1				NIL		1
JOGONALAN	1					1	2
CEPER		1					1
KARANGDOWO		1		1		1	3
PEDAN				1			1
WEDI				1			1
BAYAT				1			1
JUWIRING						1	1
JATINOM						1	1

Tabel 4. Kejadian puting beliung tahun 2019 [14]

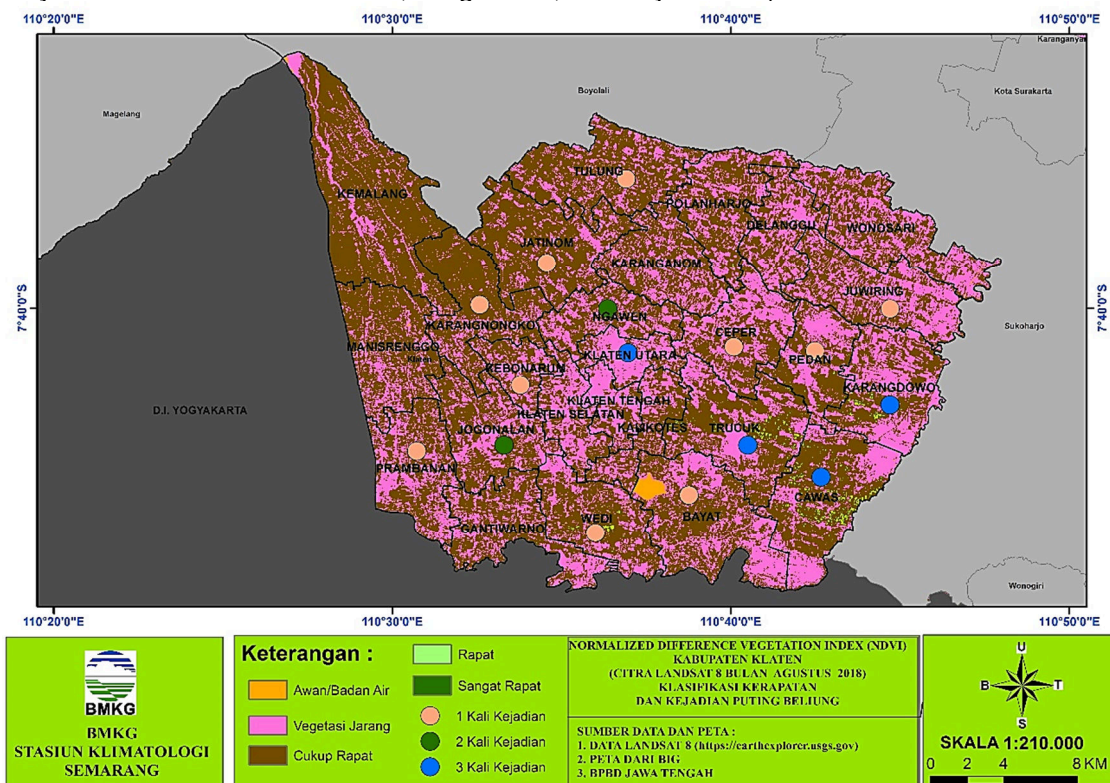
NO	KEC	BLN								JML
		JAN	FEB	MAR	APR	MEI - SEP	OKT	NOV	DES	
1	KLATEN UTARA	1		1						2
2	PRAMBANAN			1						1
3	JOGONALAN			1					1	2
4	KARANGDOWO	1								1
5	PEDAN	1								1
6	BAYAT			1						1
7	JUWIRING		1	1					1	3
8	JATINOM					NIL		NIL	1	1
9	NGAWEN	1							1	2
10	KARANGANOM	1								1
11	GANTIWARNO	1		1						2
12	KALIKOTES		1							1
13	MANISRENGGO			1						1
14	WONOSARI				1					1
15	KEMALANG						1			1

Dari tabel 3 dan 4 tersebut hanya terjadi satu kali puting beliung bukan di periode Desember–April di tahun 2019 yaitu wilayah Kecamatan Kemalang di bulan Oktober, saat musim peralihan Musim Kemarau ke Musim Hujan. Secara keseluruhan kejadian puting beliung di wilayah Kabupaten Klaten sebarannya hamper merata.

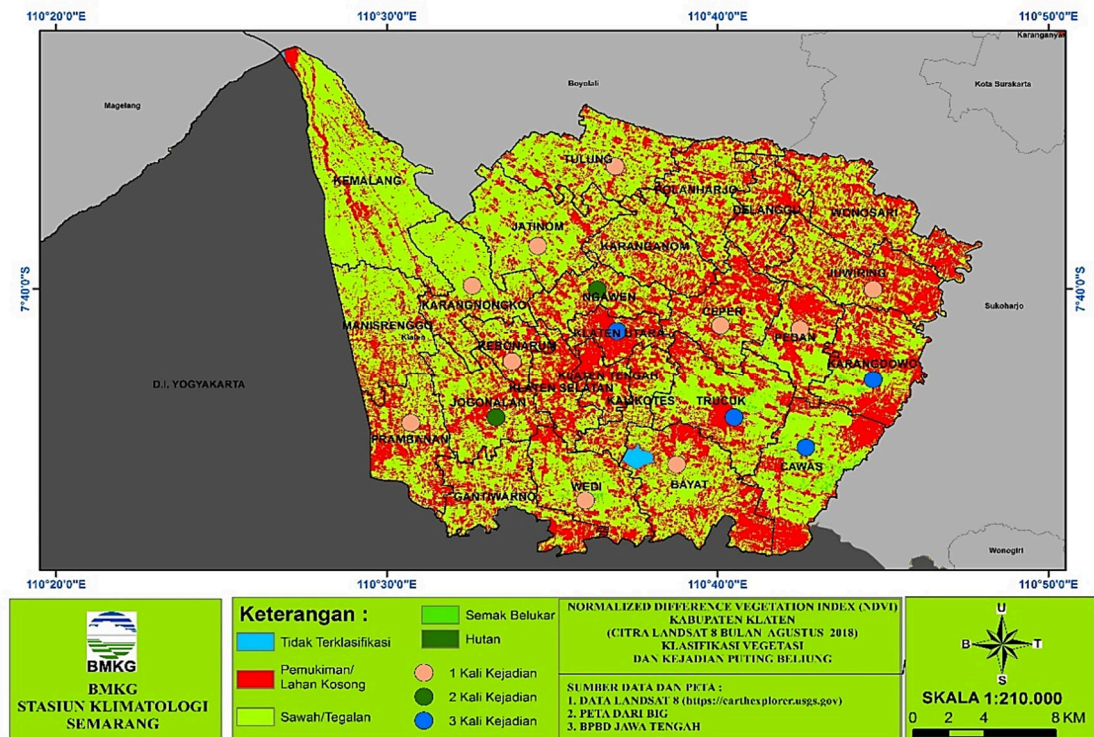
Untuk lebih jelas kejadian dan potensi puting beliung dengan membandingkan dengan tingkat kerapatan dan vegetasi dari citra Landsat 8 yaitu pada gambar 9 untuk tahun 2018 pada klasifikasi kerapatan vegetasinya sebaran titik-titik kejadian puting beliung 3 kali kejadian (warna titik biru) di wilayah Kecamatan Klaten Utara dan Trucuk dengan tingkat kerapatan vegetasi jarang (warna pink) sedangkan untuk Kecamatan Cawas dan Karangdowo dengan tingkat kerapatan vegetasinya cukup rapat (warna coklat tua). Kejadian puting beliung 2 kali kejadian (warna titik hijau) di wilayah Kecamatan Jogonalan dan Ngawen dengan tingkat kerapatan vegetasi jarang (warna pink). Sedangkan untuk 1 kali kejadian (warna titik pink coklat muda) di wilayah Kecamatan Prambanan, Jogonalan,

wedi, Bayat, Ceper, Pedan dan Juwiring dengan tingkat kerapatan vegetasi jarang (warna pink), sedangkan Kecamatan Tulung, Jatinom dan Karangnongko dengan tingkat kerapatan cukup rapat (warna coklat tua).

Pada gambar 10 untuk kejadian puting beliung tahun 2018 dengan peta layer klasifikasi vegetasi dengan sebaran titik kejadian puting beliung 3 kali (warna biru) meliputi wilayah Kecamatan Trucuk dengan tingkat vegetasi banyak pemukiman/lahan kosong (warna merah), sedangkan di Kecamatan Cawas dan Karangdowo dengan tingkat vegetasi banyak sawah/tegalan (warna hijau muda). Untuk kejadian puting beliung 2 kali (warna titik hijau) meliputi wilayah Kecamatan Jogonalan dan Ngawen dengan tingkat vegetasi banyak pemukiman/lahan kosong (warna merah). Kejadian puting beliung 1 kali meliputi Kecamatan Juwiring, Pedan, Ceper, Kebonarum, Prambanan dan Wedi dengan tingkat vegetasi banyak pemukiman/lahan kosong (warna merah). Sedangkan Wilayah Kecamatan Karangnongko dan Jatinom dengan tingkat vegetasi banyak sawah/tegalan (warna hijau muda)



Gambar 9. Peta titik kejadian puting beliung layer dengan klasifikasi kerapatan di Kabupaten Klaten Tahun 2018.



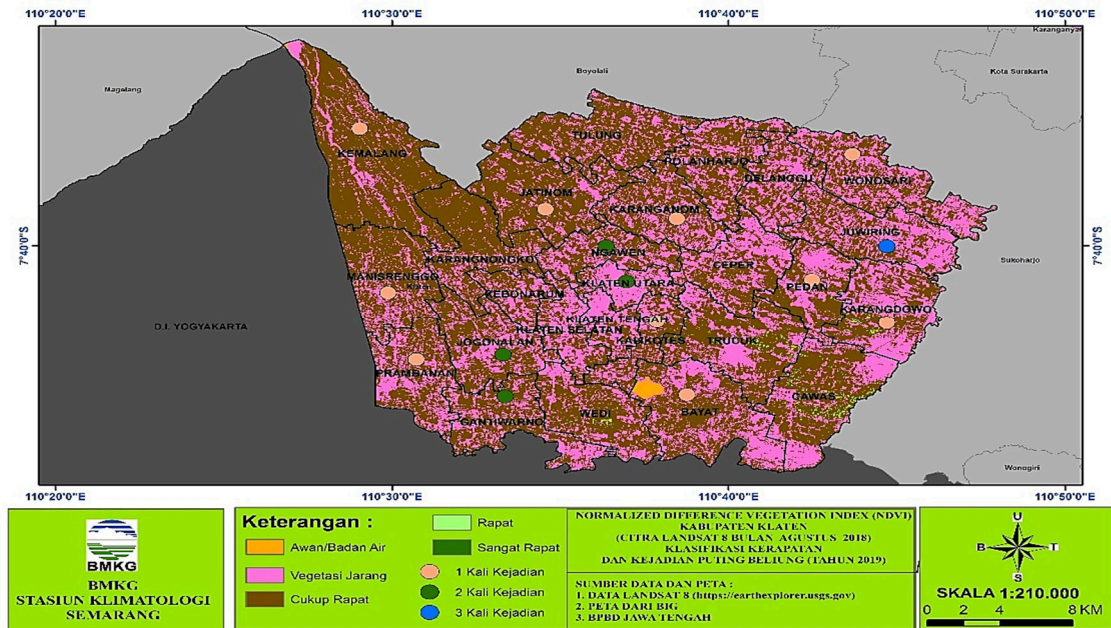
Gambar 10. Peta titik kejadian puting beliung layer dengan klasifikasi vegetasi di Kabupaten Klaten Tahun 2018.

Untuk Tahun 2019 pada gambar 11, perbandingan kejadian puting beliung dengan tingkat kerapatan, sebaran titik-titik kejadian puting beliung belung 3 kali kejadian (warna titik biru) di wilayah Kecamatan Juwiring dengan tingkat kerapatan jarang (warna pink). Kejadian puting beliung 2 kali kejadian (warna titik hijau) di wilayah Kecamatan Jogonolan dan Klaten Utara dengan tingkat kerapatan vegetasi jarang (warna pink), untuk wilayah Kecamatan Ngawen dan Gantiwarno dengan tingkat kerapatan cukup rapat (warna coklat tua). Sedangkan untuk 1 kali kejadian (warna titik pink coklat muda) di wilayah Kecamatan Wonosari, Pedan, Manisrenggo, Prambanan, Karanganom, Klaten Tengah dan Bayat dengan tingkat kerapatan vegetasi jarang (warna pink), sedangkan Kecamatan Jatinom dan Kemalang dengan tingkat kerapatan cukup rapat (warna coklat tua).

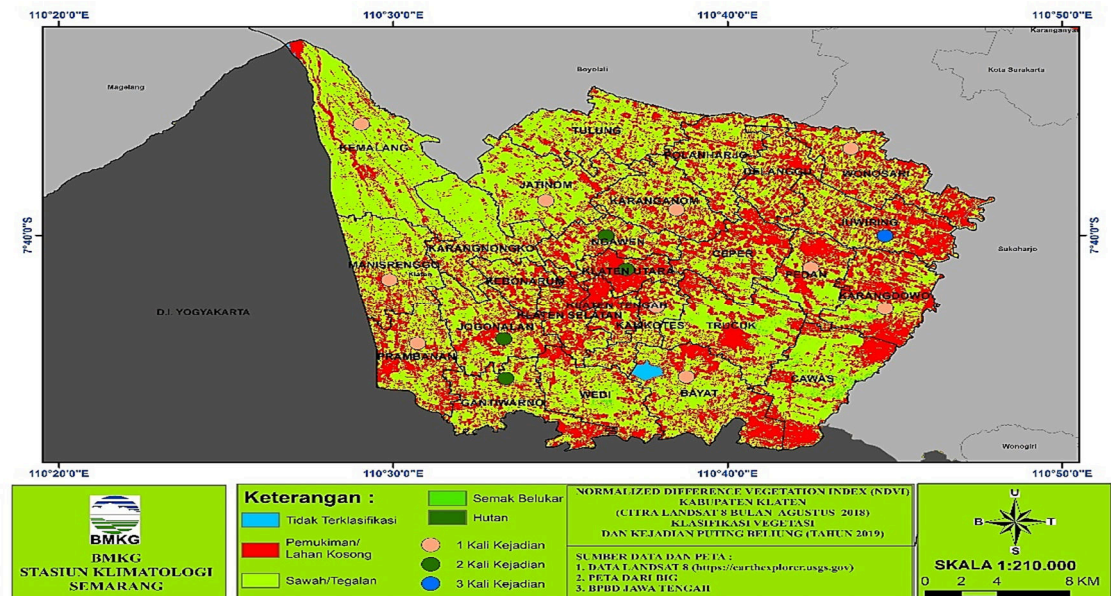
Pada gambar 12 untuk kejadian puting beliung tahun 2019 dengan peta layer klasifikasi vegetasi dengan sebaran titik kejadian puting beliung 3 kali (warna biru) meliputi wilayah Kecamatan Juwiring dengan tingkat vegetasi banyak pemukiman/lahan kosong (warna merah). Untuk kejadian puting beliung 2 kali

(warna titik hijau) meliputi wilayah Kecamatan Klaten Utara, Jogonolan dan Ngawen dengan tingkat vegetasi banyak pemukiman/lahan kosong (warna merah), sedangkan untuk wilayah Kecamatan Gantiwarno dengan tingkat vegetasi cukup rapat (warna coklat tua). Kejadian puting beliung 1 kali meliputi Kecamatan Pedan, Karangdowo, Wonosari, Karanganom, Klaten Tengah, Bayat, Prambanan dan Manisrenggo dengan tingkat vegetasi banyak pemukiman/lahan kosong (warna merah). Sedangkan Wilayah Kecamatan Kemalang dan Jatinom dengan tingkat vegetasi banyak sawah/tegalan (warna hijau muda).

Sebaran titik kejadian puting beliung di Kabupaten Klaten tahun 2018–2019 setelah di buat layer dengan klasifikasi kerapatan dan vegetasi secara umum berada pada wilayah yang tingkat kerapatan dan vegetasinya yang rendah, kepadatan pemukiman penduduk juga berpengaruh, sehingga semakin banyak wilayah terbuka dan kurang vegetasi merupakan salah satu faktor yang berpotensi untuk terjadi angin puting beliung, selain faktor suhu tinggi, tekanan udara dan awan kumulonimbus.



Gambar 11. Peta titik kejadian puting beliung layer dengan klasifikasi kerapatan di Kabupaten Klaten Tahun 2019.



Gambar 12. Peta titik kejadian puting beliung layer dengan klasifikasi vegetasi di Kabupaten Klaten Tahun 2019.

4. Kesimpulan

- A. Dengan melakukan analisa citra landsat 8 dengan klasifikasi kerapatan dan vegetasi serta titik kejadian puting beliung di wilayah Kabupaten Klaten didapat 3 kesimpulan yaitu :
 1. Wilayah Kabupaten Klaten sesuai citra Landsat 8 tahun 2018 lebih sedikit vegetasi dengan kerapatan tinggi, yang lebih banyak adalah lahan terbuka seperti sawah/tegal dan pemukiman penduduk.
 2. Kejadian puting beliung di wilayah Kabupaten Klaten berdasarkan data

tahun 2018–2019 terjadi pada bulan Desember–April.

3. Dengan semakin sedikitnya vegetasi yang kerapatannya tinggi dan semakin meningkatnya pemukiman penduduk dan lahan terbuka, maka potensi puting beliung akan semakin meningkat selain karena faktor lain.
- B. Dalam Penelitian ini hanya fokus pada deskripsi hubungan antara indeks kerapatan tanaman/vegetasi dengan potensinya puting beliung berdasarkan dari data BPBD Jawa Tengah.

Saran

1. Perlu ditingkatkan penelitian lebih lanjut dengan melibatkan unsur cuaca/iklim seperti suhu udara, tekanan udara dan lain-lain.
2. Perlu dilakukan penelitian dengan metode numerik tentang hubungan antara indeks kerapatan tanaman/vegetasi dengan potensi puting beliung.

Daftar Pustaka

- [1] Geografi dan Topografi Kabupaten Klaten. (2020, Juni 6). From <https://klatenkab.go.id/geografi-dan-topografi-kabupaten-klaten/>.
- [2] Lufilah, Siti Novianti., dkk. (2017). Pemanfaatan Citra Landsat 8 Untuk Analisis Indeks Vegetasi di DKI Jakarta, *Jurnal Lanskap Indonesia*, 9 (1). Retrieved from <https://journal.ipb.ac.id>.
- [3] Putra H, Erwin (2010). *Penginderaan Jauh dengan Er Mapper*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [4] Hartono. (1998). *Pengolahan Sampah Organik*. Erlangga. Jakarta.
- [5] Danoedoro, Projo. (1996). *Pengolahan Citra digital Teori dan Aplikasinya dalam Bidang Penginderaan Jauh*, Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- [6] Jensen JR.I.(1986). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. New Jersey: Prentice Hall Englewood Cliffs.
- [7] Harsa, Hastuadi, dkk. (2011). Pemanfaatan SataID Untuk Analisa Banjir dan Angin Puting Beliung: Studi Kasus Jakarta dan Yogyakarta. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 12(2):195-205
- [8] Kambhampaty, Viswanath et all. (2014). A Short Term Tornado Prediction Model Using Satellite Imagery. *First International Conference on Systems Informatics, Modelling and Simulation*. IEEE Computer Society.
- [9] Nurlambang, T., dkk. (2013, Oktober) *Penanggulangan Bencana Cuaca Ekstrem di Indonesia*. Prosiding Seminar Riset Kebencanaan. Retrieved from https://ppgt.ui.ac.id/wp-content/uploads/62/2016/09/Triarko-dll-Penanggulangan-Bencana_Cuaca-Ektrim.pdf
- [10] Putra, Kusuma Prayoga Basuki. (2015). *Analisis Kerentanan Bangunan Terhadap Bencana Angin Puting Beliung di Kecamatan Tanon Kabupaten Sragen*. Skripsi, Fakultas Geografi, Surakarta, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [11] Amliana, Dit., dkk. (2016). Analisis Perbandingan Nilai NDVI Landsat 7 dan Landsat 8 Pada Kelas Tutupan Lahan (Studi Kasus: Kota Semarang, Jawa Tengah). *Jurnal Geodesi UNDIP Semarang*, 5 (1).
- [12] Puslitbang BMKG. (2009). *Kajian Cuaca Ekstrem di Wilayah Indonesia*. Laporan Penelitian, Pusat Penelitian dan Pengembangan, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta.
- [13] Huda, Diki Nurul. (2018, Februari). Analisis Kerapatan Vegetasi Untuk Area Permukiman Menggunakan Citra Satelit Landsat di Kota Tasikmalaya, <https://www.researchgate.net/publication/323346324>.
- [14] PPID BPBD Provinsi Jawa Tengah. Laporan Bencana Puting Beliung Retrieved from <http://bpbd.jatengprov.go.id/category/laporan-bencana/>.
- [15] Nurjani, Emilya., dkk. (2013, November). Kajian Bencana Angin Ribut di Indonesia Periode 1990-2011: Upaya Mitigasi Bencana, 11 (2) Retrived from <https://journal.uny.ac.id/index.php/geomedia/article/view/3451/2932>.
- [16] Siswanto and Supari. (2012). Identifikasi Kondisi Awal Peristiwa Puting Beliung di Pangkal Pinang. *Jurnal Widyariset*, 15 (3): 599-610.

PEMETAAN KARAKTERISTIK PERIODE ULANG CURAH HUJAN MAKSIMUM DI KOTA MANADO

MAPPING OF THE CHARACTERISTICS OF MAXIMUM RAINFALL RETURN PERIOD IN MANADO CITY

Muhammad Tahmid¹, Yosevina Nugrahenny Nugroho², Farida Indriani³

^{1,2,3}Stasiun Klimatologi Minahasa Utara

*E-mail: mtahmid751@gmail.com

Naskah masuk: 17 Juni 2020, Naskah diperbaiki: 7 Juli 2020, Naskah diterima: 16 Juli 2020

ABSTRAK

Curah hujan dengan intensitas yang tinggi atau ekstrem mempunyai banyak dampak pada berbagai sektor. Salah satu dampak yang disebabkan oleh curah hujan tersebut adalah ancaman potensi banjir yang bisa mengganggu kehidupan masyarakat hingga menimbulkan korban jiwa. Penelitian ini menggunakan data curah hujan harian maksimum tahunan dari stasiun BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) dan pos hujan yang berada di Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sebaran potensi kejadian curah hujan maksimum tahunan yang terjadi pada setiap periode ulang 10, 20, 30, 40, dan 50 tahun di Kota Manado yang diharapkan bisa digunakan untuk referensi kajian awal penanggulangan bencana alam yang terjadi akibat intensitas curah hujan yang tinggi. Hasil dari pengolahan curah hujan harian maksimum tahunan dengan metode Iwai Kadoya menunjukkan bahwa pada umumnya nilai curah hujan di Kota Manado menunjukkan kenaikan pada setiap periode ulang 10, 20, 30, 40, dan 50 tahun dengan rentang nilai curah hujan 240 mm/hari hingga 520 mm/hari. Curah hujan terendah terjadi pada periode ulang 10 tahunan dengan kisaran 240 mm/hari pada wilayah Kota Manado bagian Tengah, sedangkan curah hujan tertinggi terjadi pada periode ulang 50 tahunan dengan kisaran 520 mm/hari pada wilayah Kota Manado bagian Selatan.

Kata kunci: curah hujan maksimum, Iwai Kadoya, periode ulang

ABSTRACT

Rainfall with high or extreme intensity has many impacts on any sector. One of the impacts caused by the rainfall is the potential threat of flooding that can disrupt people's lives and cause casualties. This study uses annual maximum daily rainfall data from the BMKG (Meteorological, Climatological, and Geophysical Agency) Stations and rainfall posts located in Manado City, North Sulawesi Province. The purpose of this study is to discover the distribution of potential annual maximum rainfall events that occur in each return period of 10, 20, 30, 40, and 50 years in Manado City which is expected to be used as a reference for the initial study of natural disaster management that occurs due to high rainfall intensity. The results of the processing of annual maximum daily rainfall using the Iwai Kadoya's Method shows that in general, the rainfall intensity in Manado City shows an increase in each return period of 10, 20, 30, 40, and 50 year, its surroundings is 240 mm/day until 520 mm/day. The minimum rainfall intensity occur in the return period of 10 year with a range of 240 mm/day in the Central part of Manado City area, while the maximum rainfall intensity occur in the return period of 50 year with a range of 520 mm/day in the southern part of the Manado City area.

Keywords: maximum rainfall, Iwai Kadoya, return period.

1. Pendahuluan

Kepulauan maritim Indonesia yang berada di wilayah memiliki curah hujan tahunan yang tinggi, curah hujan semakin tinggi di daerah pegunungan. Curah hujan yang tinggi di wilayah tropis pada umumnya dihasilkan dari proses konveksi, pengaruh angin zonal dan meridional, serta pembentukan awan hujan panas. Kondisi tidak stabil terjadi jika udara yang naik lembab dan *lapse rate* udara lingkungannya berada antara *lapse rate adiabatic* kering dan *lapse rate adiabatic* jenuh. Jadi kestabilan udara ditentukan oleh kondisi kelembaban. Karena itu jumlah hujan tahunan, intensitas, durasi, frekuensi dan distribusinya terhadap ruang dan waktu sangat bervariasi [7,9]. Faktor topografi memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap variasi hujan secara spasial, dengan adanya gunung yang berhadapan dengan sumber uap air seperti lautan juga akan meningkatkan curah hujan di wilayah pegunungan tersebut terutama pada bagian depan yang menghadap arah angin, karena pada wilayah tersebut uap air akan terangkat naik karena adanya gunung dan membentuk awan [1].

Kota Manado dengan luas wilayah tercatat 157,26 Km² dialiri oleh sungai Tondano dengan panjang 39,9 Km dimana bagian hilirnya sepanjang ± 7 Km melewati Kota Manado bersama anak sungainya yakni sungai Tikala dengan panjang 23,6 km. Hal ini menyebabkan Kota Manado menjadi wilayah yang potensial diterjang bencana banjir ketika terjadi peristiwa cuaca ekstrem yang didukung dengan intensitas curah hujan lebat s.d. sangat lebat hingga mendukung adanya luapan air di sepanjang aliran sungai-sungai tersebut [2,8,11].

Penanganan masalah banjir tidak terlepas dari tersedianya infrastruktur pengendali banjir seperti bendungan, bendung, jaringan irigasi, saluran drainase dan lain-lain. Dalam mendesain bangunan air pengendali banjir tersebut dibutuhkan informasi curah hujan maksimum dengan periode ulang tertentu. Besarnya curah hujan maksimum untuk setiap rancangan bangunan air tergantung pada usia penggunaan dan kapasitas tampung, sebagai contoh untuk bangunan waduk yang besar dibutuhkan informasi hujan maksimum dengan periode ulang yang besar dengan periode ulang 50, 100 tahunan. Sedangkan untuk saluran irigasi membutuhkan informasi curah hujan maksimum dengan periode ulang yang pendek dengan periode ulang antara 2, 5, 10 tahunan [1].

Curah hujan maksimum akan mengalami peningkatan dalam jangka waktu tertentu. Namun jika kondisi tersebut dilihat langsung dari data curah hujan maksimum, nilai peningkatannya tidak terlihat secara signifikan. Maka dari itu, diperlukan perhitungan periode ulang curah hujan untuk mengetahui besarnya nilai peningkatan curah hujan maksimum, selain itu hasil periode ulang curah hujan dapat digunakan untuk mengetahui rentang waktu pengulangan curah hujan dengan nilai maksimum di suatu daerah akan terjadi kembali [3,4,6,11].

Periode ulang adalah laju suatu hidrologi dalam hal ini adalah data curah hujan mencapai harga tertentu. Beberapa metode untuk menghitung nilai periode ulang memang sering digunakan, salah satunya adalah penggunaan metode Iway Kadoya [1,4,10]. Dalam metode ini data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan maksimum setiap bulannya yang diambil dari data pengukuran curah hujan setiap hari. Dalam penelitian ini terdapat variabel bebas dan terikat. Variabel bebas dari penelitian ini adalah curah hujan maksimum setiap bulan, sedangkan variabel terikatnya adalah periode ulang curah hujan [4].

Posisi geografis stasiun pengamatan atau pos hujan yang berdekatan tidak menjamin daerah-daerah tersebut mendapatkan dampak yang sama dari suatu fenomena [5]. Maka dari itu, pada penelitian ini menggunakan beberapa data yang mempunyai rentang data pengamatan relatif panjang dari beberapa titik stasiun BMKG maupun pos hujan, yang nantinya hasil yang diperoleh diharapkan mampu merepresentasikan kondisi di wilayah Kota Manado secara umum.

Kondisi Kota Manado yang telah dilanda bencana hidrometeorologi dalam kurun waktu beberapa tahun terakhir menjadi dasar penelitian ini perlu dilakukan. Hal ini berkaitan untuk memperoleh informasi peluang terjadinya curah hujan maksimum hingga ekstrem di wilayah Kota Manado yang tidak terdapat data pos hujan yang mewakili karakteristik masing-masing wilayah melalui hasil dari pemetaan periode ulang curah hujan maksimum yang telah diinterpolasi.

Dengan melakukan analisis dan pemetaan periode ulang curah hujan maksimum di beberapa stasiun dan pos hujan yang mewakili karakteristik Kota Manado diharapkan dapat memperoleh hasil yang nantinya tidak hanya digunakan sebagai investasi pengetahuan bagi praktisi prakirawan, informasi bagi masyarakat,

para akademisi, namun bisa digunakan juga sebagai salah satu bahan untuk menyusun kajian awal strategi mitigasi terkait penanggulangan bencana di wilayah Kota Manado dan sekitarnya.

2. Metodologi Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan harian maksimum tahunan yang diperoleh dari data observasi stasiun BMKG dan pos hujan di wilayah penelitian yaitu Kota Manado. Jumlah ketersediaan data dari Stasiun Meteorologi Sam Ratulangi diperoleh dari tahun 1981-2019 (39 tahun), Stasiun Geofisika Winangun 1986-2019 (33 tahun), Stasiun Klimatologi Minahasa Utara 1973-2019 (45 tahun), pos hujan KP Pandu 1986-2019 (31 tahun, terjadi kekosongan data 2 tahun). Untuk penentuan besarnya curah hujan dengan periode ulang T tahun dihitung menggunakan metode Iwai Kadoya dengan menggunakan persamaan:

$$\zeta = c \log \frac{x+b}{x_0+b} \quad (1)$$

ζ merupakan faktor frekuensi, c adalah faktor iwai kadoya, $\log (x_0 + b)$ adalah harga rata-rata dari $\log (x_i + b)$ dengan ($i = 1, \dots, n$) dan dinyatakan dengan (X_0 ; b, c dan x_0) menggunakan pendekatan persamaan berikut ini:

a. Pendekatan Nilai (x_0)

$$\log x_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log x_i \quad (2)$$

X_i merupakan nilai curah hujan maksimum rata-rata. Nilai b adalah konstanta pada metode ini dengan menggunakan nilai b_i yang diperoleh dengan pendekatan berikut:

b. Pendekatan Nilai (b)

$$\left. \begin{aligned} b &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m b_i, m \geq n/10 \\ b_i &= \frac{(x_s \cdot x_t - x_0^2)}{2x_0 - (x_s + x_t)} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

c. Pendekatan Nilai (x_0)

Nilai x_0 merupakan nilai dari jumlah curah hujan maksimum ditambah dengan konstanta b yang diperoleh melalui pendekatan:

$$X_0 = \log (x_0 + b)$$

$$= 1/n \log (x_i + b) \quad (4)$$

d. Pendekatan Nilai (c)

Nilai c adalah faktor metode iwai kadoya yang diperoleh melalui pendekatan:

$$\begin{aligned} 1/c &= \sqrt{\frac{2}{n} - 1} \sum_{i=1}^n n \left(\log \frac{x_i + b}{x_0 + b} \right) \\ &= \sqrt{\frac{2n}{n-1}} \cdot \sqrt{\bar{X}^2 - x_0^2} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\bar{X}^2 = 1/n \sum_{i=1}^n \{\log(x_i + b)\}^2 \quad (6)$$

Keterangan:

x_s = nilai curah hujan harian dengan nomor urut m dari data yang terbesar

x_t = nilai curah hujan harian dengan nomor urut m dari data yang terkecil

n = banyaknya data

x_i = harga curah hujan maksimum harian pada tahun ke i dimana $i = 1, 2, 3, \dots$ dst.

Untuk $m \sim n/10$

Jika konstanta dari persamaan-persamaan di atas telah diketahui, maka curah hujan yang mungkin (*probable rainfall*) yang sesuai dengan kemungkinan lebih sembarang (*arbitrary excess probably*) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \log (x + b) &= \log (x_0 + b) + (1/c) \xi \\ &= X_0 + 1/c \xi \end{aligned} \quad (7)$$

Setelah memperoleh nilai dari setiap masing-masing periode ulang curah hujan yang diinginkan, maka data akan diolah kembali melalui perangkat lunak sistem informasi geografis untuk mendapatkan hasil pemetaan sebaran curah hujan maksimum di Kota Manado pada setiap periode ulang.

3. Hasil dan Pembahasan

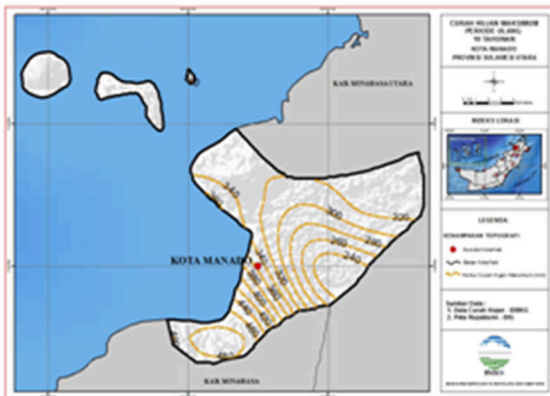
Berdasarkan pengolahan data curah hujan harian maksimum tahunan dari 3 stasiun BMKG dan 1 pos hujan diperoleh informasi frekuensi kejadian curah hujan maksimum dan pemetaan curah hujan maksimum untuk periode ulang 10, 20, 30, 40, dan 50 tahun yang telah tersaji pada tabel dan gambar berikut:

Tabel 1. Frekuensi Kejadian Curah Hujan Maksimum di Setiap Stasiun/Pos Hujan

Stasiun/Pos Hujan	Bulan	Frekuensi
KP Pandu	Jan	10
Stageof Winangun	Des/Jan	8
Staklim Minahasa Utara	Des/Jan	12
Stamet Sam Ratulangi	Jan	12

Pada umumnya sesuai dengan Tabel 1 di atas, Kota Manado mengalami curah hujan maksimum terbanyak pada bulan Desember dan Januari. Frekuensi kejadian tertinggi terjadi selama 12 kali pada Bulan Desember dan Januari yang diperoleh dari data curah hujan di dua lokasi, yaitu Stasiun Klimatologi Minahasa Utara dengan panjang data 45 tahun dimulai dari tahun 1973 hingga 2019. Lokasi kedua yang juga mempunyai frekuensi kejadian tertinggi sebanyak 12 kali pada Bulan Januari yaitu Stasiun Meteorologi Sam Ratulangi, dengan panjang data 39 tahun dimulai dari tahun 1981 hingga 2019. Sedangkan frekuensi kejadian terendah sebanyak 8 kali pada Bulan Desember dan Januari yaitu Stasiun Geofisika Winangun, dengan panjang data 33 tahun dimulai dari tahun 1986 hingga 2019.

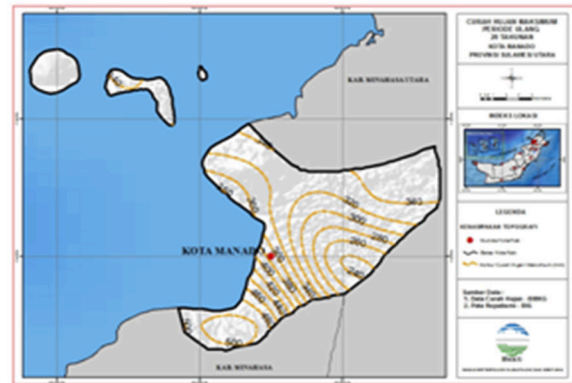
Kondisi tersebut sesuai dengan tipe hujan monsunial di kota manado, artinya terdapat 1 puncak curah hujan yang terjadi antara bulan Desember dan Januari pada sebaran curah hujan bulanan yang terjadi sepanjang tahun.



Gambar 1. Peta Curah Hujan Maksimum Periode Ulang 10 Tahunan di Kota Manado.

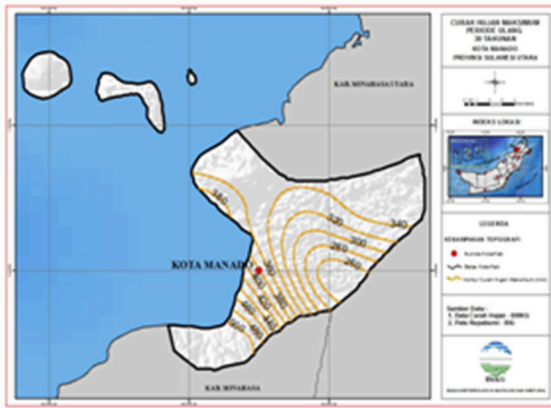
Hasil pemetaan curah hujan maksimum tahunan untuk periode ulang 10 tahunan menunjukkan bahwa secara umum di Kota Manado berpotensi terjadi curah hujan maksimum dengan intensitas lebih dari 200

mm/hari. Sesuai dengan hasil pemetaan yang tersaji pada Gambar 1, wilayah Kota Manado bagian Tenggara mempunyai potensi curah hujan maksimum tahunan senilai 240 mm/hari dengan diikuti kenaikan nilai curah hujan ke sekitar wilayah Kota Manado. Pada wilayah Kota Manado bagian Utara, potensi kejadian curah hujan maksimum mencapai 300 hingga 340 mm/hari, sedangkan pada wilayah Kota Manado bagian Barat Daya mempunyai nilai tertinggi untuk potensi kejadian curah hujan maksimum sebesar 480 mm/hari. Hal ini turut memberikan informasi bahwa tidak hanya wilayah Barat Daya Kota Manado saja yang diharapkan waspada karena memiliki potensi nilai tertinggi curah hujan maksimum tahunan, tetapi seluruh wilayah dengan potensi curah hujan >100 mm/hari yang masuk dalam kriteria hujan sangat lebat.



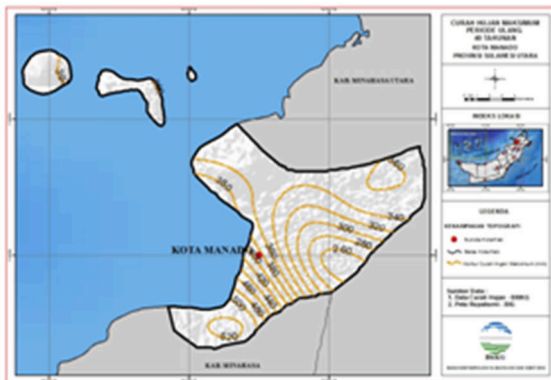
Gambar 2. Peta Curah Hujan Maksimum Periode Ulang 20 Tahunan di Kota Manado.

Hasil pemetaan curah hujan maksimum tahunan untuk periode ulang 20 tahunan menunjukkan bahwa secara umum di Kota Manado berpotensi terjadi curah hujan maksimum dengan intensitas lebih dari 200 mm/hari. Sesuai dengan hasil pemetaan yang tersaji pada Gambar 2, wilayah Kota Manado bagian tenggara mempunyai potensi curah hujan maksimum tahunan senilai 240 mm/hari dengan diikuti kenaikan nilai curah hujan ke sekitar wilayah Kota Manado. Pada wilayah Kota Manado bagian Utara, potensi kejadian curah hujan maksimum mencapai 300 hingga 380 mm/hari, sedangkan pada wilayah Kota Manado bagian Barat Daya mempunyai nilai tertinggi untuk potensi kejadian curah hujan maksimum sebesar 500 mm/hari. Pada umumnya nilai curah hujan maksimum pada periode ulang 20 tahunan mempunyai nilai lebih tinggi dari periode ulang sebelumnya atau pada periode ulang 10 tahunan.



Gambar 3. Peta Curah Hujan Maksimum Periode Ulang 30 Tahunan di Kota Manado.

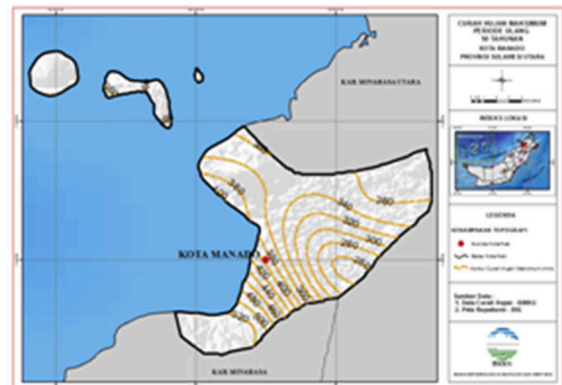
Sesuai dengan hasil pemetaan yang tersaji pada Gambar 3, curah hujan maksimum tahunan untuk periode ulang 30 tahunan menunjukkan bahwa secara umum di Kota Manado berpotensi terjadi curah hujan maksimum dengan intensitas lebih dari 200 mm/hari. Wilayah Kota Manado bagian Tenggara mempunyai potensi curah hujan maksimum tahunan senilai 260 mm/hari dengan diikuti kenaikan nilai curah hujan ke sekitar wilayah Kota Manado. Pada wilayah Kota Manado bagian Utara, potensi kejadian curah hujan maksimum mencapai 300 hingga 340 mm/hari, sedangkan pada wilayah Kota Manado bagian Barat Daya mempunyai nilai tertinggi untuk potensi kejadian curah hujan maksimum sebesar 500 mm/hari. Pada umumnya nilai curah hujan maksimum pada periode ulang 30 tahunan mempunyai nilai lebih tinggi dari periode ulang sebelumnya atau pada periode ulang 10 dan 20 tahunan.



Gambar 4. Peta Curah Hujan Maksimum Periode Ulang 40 Tahunan di Kota Manado.

Berdasarkan hasil pemetaan yang tersaji pada Gambar 4, curah hujan maksimum tahunan untuk periode ulang 40 tahunan menunjukkan bahwa secara umum di Kota Manado berpotensi terjadi curah hujan maksimum dengan intensitas lebih dari 200 mm/hari. Wilayah Kota Manado bagian Tenggara

mempunyai potensi curah hujan maksimum tahunan senilai 260 mm/hari dengan diikuti kenaikan nilai curah hujan ke sekitar wilayah Kota Manado. Pada wilayah Kota Manado bagian Utara, potensi kejadian curah hujan maksimum mencapai 300 hingga 380 mm/hari, sedangkan pada wilayah Kota Manado bagian Barat Daya mempunyai nilai tertinggi untuk potensi kejadian curah hujan maksimum sebesar 520 mm/hari. Pada umumnya nilai curah hujan maksimum pada periode ulang 40 tahunan mempunyai nilai lebih tinggi dari periode ulang sebelumnya atau pada periode ulang 10, 20, dan 30 tahunan.



Gambar 5. Peta Curah Hujan Maksimum Periode Ulang 50 Tahunan di Kota Manado.

Hasil pemetaan curah hujan maksimum tahunan untuk periode ulang 50 tahunan menunjukkan bahwa secara umum di Kota Manado berpotensi terjadi curah hujan maksimum dengan intensitas lebih dari 200 mm/hari. Sesuai dengan hasil pemetaan yang tersaji pada Gambar 1, wilayah Kota Manado bagian Tenggara mempunyai potensi curah hujan maksimum tahunan senilai 260 mm/hari dengan diikuti kenaikan nilai curah hujan sekitar wilayah Kota Manado. Pada wilayah Kota Manado bagian Utara, potensi kejadian curah hujan maksimum mencapai 300 hingga 400 mm/hari, sedangkan pada wilayah Kota Manado bagian Barat Daya mempunyai nilai tertinggi untuk potensi kejadian curah hujan maksimum sebesar 520 mm/hari. Pada umumnya nilai curah hujan maksimum pada periode ulang 50 tahunan mempunyai nilai lebih tinggi dari periode ulang sebelumnya atau pada periode ulang 10, 20, 30, dan 40 tahunan.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari analisis dan pemetaan periode ulang maksimum di Kota Manado, secara umum peluang peningkatan intensitas curah hujan maksimum terjadi pada setiap penambahan perulangan dari 10 tahunan hingga 50 tahunan [1,4]. Peningkatan intensitas tersebut terjadi tidak hanya pada satu titik

wilayah saja, namun hampir di seluruh wilayah di Kota Manado. Hasil penghitungan periode ulang dengan metode Iway Kadoya mempunyai konsistensi dengan penelitian terkait sebelumnya, yang mana semakin bertambah periode ulang tahunannya maka diikuti dengan peningkatan peluang intensitas curah hujan yang akan terjadi.

Hasil dari pemetaan yang telah diinterpolasi pada wilayah Manado bagian Selatan dan Timur terdapat beberapa fakta yang menarik untuk dikaji lebih lanjut. Hal ini terkait adanya perbedaan sebaran intensitas curah hujan yang berasal dari titik lokasi pengambilan data curah hujan yang mempunyai jarak yang relatif berdekatan dibandingkan dengan yang lainnya, namun ternyata mempunyai karakteristik yang berbeda. Tidak hanya dipengaruhi oleh perbedaan topografi wilayah, tetapi juga didukung dengan kondisi dinamika atmosfer yang begitu dinamis dan fluktuatif [5]. Berbagai faktor yang berpengaruh diantaranya yaitu kondisi topografi, wilayah dataran tinggi mempunyai intensitas curah hujan yang relatif lebih tinggi dikarenakan adanya pengaruh angin lembah, angin gunung, dan variasi hujan orografis yang berperan dalam mendukung hal tersebut. Arah dan kecepatan angin juga diyakini membawa dampak bagi pergerakan awan hujan yang terdapat di atas wilayah Kota Manado. Sehingga wilayah yang mempunyai banyak tutupan awan di atasnya berpotensi lebih besar dalam proses terjadinya hujan. Tidak hanya itu, aktivitas angin darat dan angin laut juga turut berpengaruh dalam adanya perbedaan intensitas curah hujan maksimum yang terjadi diantara wilayah pesisir, dataran tinggi, dan dataran rendah.

Historis kejadian bencana alam banjir yang pernah melanda wilayah Kota Manado terjadi ketika curah hujan mencapai nilai maksimum atau ekstrem dibandingkan dengan normal bulanannya [11]. Pada hasil yang telah tersaji pada ulasan sebelumnya, potensi kejadian curah hujan maksimum terjadi saat memasuki bulan Desember dan Januari ketika mencapai puncak hujan pada tipe hujan monsun. Namun perlu disadari bahwa tidak menutup kemungkinan bahwa nilai curah hujan maksimum akan terjadi di luar bulan-bulan tersebut. Seiring dengan kondisi dinamika atmosfer yang begitu dinamis dan fluktuatif, sehingga bisa saja menyebabkan terjadinya hujan ekstrem di kemudian hari.

4. Kesimpulan

Sesuai dengan hasil pengolahan dan pemetaan yang telah dijelaskan pada ulasan sebelumnya, secara umum potensi curah hujan maksimum tahunan pada setiap periode ulang 10, 20, 30, 40, dan 50 tahunan di Kota Manado mempunyai nilai >200 mm/hari. Wilayah Manado bagian Tenggara pada periode ulang 10 tahunan mempunyai nilai terendah curah hujan maksimum sebesar 200 mm/hari, sedangkan nilai tertinggi terjadi ketika masuk dalam periode ulang 50 tahunan di wilayah Manado bagian Barat Daya sebesar 520 mm/hari. Berdasarkan analisis frekuensi kejadian intensitas curah hujan maksimum dan tipe hujan di Kota Manado, secara umum terjadi pada bulan Desember dan Januari yang merupakan puncak hujan pada wilayah yang mempunyai karakteristik tipe hujan monsun.

Daftar Pustaka

- [1] Basuki., Winarsih, I., & Adhyani, N. L. (2009). Analisis Periode Ulang Hujan Maksimum Dengan Berbagai Metode. *Agromet*, 23(2), 76-92. <https://doi.org/10.29244/j.agromet.23.2.76-92>
- [2] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2010). KEP.009 Tahun 2010 Tentang Prosedur Standar Operasional Pelaksanaan Peringatan Dini, Pelaporan dan Diseminasi Informasi Cuaca Ekstrem.
- [3] Fauzi, M., Rinaldi., & Handayani, F. Y. (2012). Pemilihan distribusi frekuensi hujan harian maksimum tahunan pada wilayah sungai akuaman provinsi sumatera barat, 11(1), 18–24.
- [4] Gara, M. N. I., Dwiridal, L., Nugroho, S. (2019). Analisis karakteristik periode ulang curah hujan dengan metode iway kadoya untuk wilayah sumatera barat, *Pillar of Physics*, 12, 47–52.
- [5] Gustari, I. (2007). Analisis Curah Hujan Pantai Barat Sumatera Bagian Utara Periode 1994-2007. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 29–38.
- [6] Nugroho, S. P. (2002). Evaluasi dan analisis curah hujan sebagai faktor penyebab bencana banjir jakarta. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*.

- [7] Pabalik, I., Ihsan, N., & Arsyad, M. (2015). Analisis Fenomena Perubahan Iklim dan Karakteristik Curah Hujan Ekstrem di Kota Makassar. *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika*, 11(1), 88–92.
- [8] Sagita, N., & Prasetya, R. (2013). Analisis Citra Satelit MTSAT dan TRMM menggunakan Software ER MAPPER, SATAID dan PANOPLY saat Kejadian Curah Hujan Ekstrem di Wilayah Manado, 16 Februari 2013. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 9(2), 66.
- [9] Sartika, L., Asrul, & Nugroho, S. (2016). Analisis Hubungan Angin Zonal Dan Angin Meridional Lapisan 850 Milibar Terhadap Curah Hujan Di Sumatera Barat. *Pillar of Physics*, 49–56.
- [10] Soehardi, F., & Dinata, M. (2018). Recent analysis of maximum rain period. *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*.
- [11] Sudamara, Y., Sompie, B., & Mandagi, R. (2012). Optimasi Penanggulangan Bencana Banjir Di Kota Manado Dengan Metode Ahp (Analytical Hierarchy Process). *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 2(4)

PROFIL TINGKAT KENYAMANAN UDARA DAN HUBUNGANNYA DENGAN HARI HUJAN DI BUKIT KOTOTABANG TAHUN 2010-2018

PROFILE OF AIR COMFORT LEVELS AND THE RELATIONSHIP WITH THE RAIN DAYS IN BUKIT KOTOTABANG DURING 2010-2018

Andi Sulistiyono^{1*}, Rendi Septa Davi² dan Ikhsan Buyung Arifin³

¹⁻³Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang

*Email: sulist_klim@yahoo.com

Naskah masuk: 24 Mei 2020,

Naskah diperbaiki: 15 Juli 2020,

Naskah diterima: 25 Juli 2020

ABSTRAK

Adanya perubahan lingkungan sekitar stasiun GAW Bukit Kototabang disinyalir menyebabkan perubahan parameter cuaca yang berpengaruh terhadap tingkat kenyamanan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kenyamanan di stasiun GAW Bukit Kototabang serta hubungannya dengan hari hujan. Studi tingkat kenyamanan ini menggunakan indeks *Humidex* yang dihasilkan dari data AAWS dan F.klim di stasiun GAW Bukit Kototabang dari tahun 2010 hingga 2018 yang dibagi dalam beberapa periode waktu. Selanjutnya hubungan antara hari hujan dengan tingkat kenyamanan menggunakan metode korelasi. Dari hasil tersebut didapatkan bahwa tidak terjadi kondisi "Tidak Nyaman" selama periode tahun 2010-2018. Kondisi nyaman terjadi pada periode waktu pagi dan malam hari sedangkan pada periode waktu siang hari pada kondisi "Kurang Nyaman". Persentase jumlah hari "Nyaman" terbesar terjadi pada bulan Juli dan Januari. Periode tahun 2013-2015 merupakan persentase jumlah hari "Nyaman" paling sedikit jika dibandingkan dengan tahun sebelum (2010-2013) dan tahun sesudahnya (2016-2018). Tidak adanya penurunan persentase "Nyaman" pada tahun 2017-2018 terhadap tahun-tahun sebelumnya maka disinyalir belum ada pengaruh tingkat kenyamanan tahun 2017-2018 terhadap perubahan di lingkungan sekitar stasiun. Hubungan antara jumlah hari "Nyaman" terhadap jumlah hari hujan bulanan di Stasiun GAW Bukit Kototabang memiliki korelasi positif yang kuat.

Kata kunci: *Humidex, hari hujan, tingkat kenyamanan, GAW Bukit Kototabang*

ABSTRACT

The change of the environment around the station of Global Atmospheric Watch Bukit Kototabang allegedly causing change in the weather factors that affect the level of discomfort. This study aims to determine the level of comfort at Bukit Kototabang GAW station and its relationship to rainy days. Study of discomfort level using calculation of Humidex was conducted using diurnal AAWS data and F.klim data resulted that does not occur "Uncomfortable" conditions for the period 2010-2018. The conditions are "Comfortable" in the morning and evening periods while in the afternoon the conditions are "Less Comfortable". The largest percentage of "Comfortable" days occur in July and January. The percentage of "Comfortable" days for 2013-2015 is lower compared to the year before (2010-2013) and the year after (2016-2018). There is no decrease in the percentage of "Comfortable" in 2017-2018 against previous years, then it is considered that there is no effect of comfort levels for 2017-2018 on changes in the environment around the station. The correlation of "Comfortable" days to monthly rainy days during study period is 0.69, but the number of monthly rainy days (rain events) is less appreciative of the number of days of "Comfortable" conditions at GAW Bukit Kototabang Station.

Keywords: *Humidex, rainy days, air comfort level, GAW Bukit Kototabang*

1. Pendahuluan

Stasiun Global Atmosfer Watch (GAW) dibangun dan dipilih lokasi berdasarkan tujuan dan fungsinya. Terletak di Sumatera Barat ($0^{\circ} 12' 07''$ LS – $100^{\circ} 19' 05''$ BT) berada pada area terpencil pada ketinggian 864,5 m di atas permukaan laut dan 40 km dari garis pantai bagian Barat Sumatera. Wilayah dengan vegetasi yang sebagian besar berupa hutan tropis dan berada pada topografi perbukitan menjadikan keadaan lingkungan senantiasa segar dan sejuk.

Prakirakan percepatan perubahan lingkungan sekitar stasiun adalah lambat, merupakan alasan bahwa stasiun GAW Bukit Kototabang mempunyai tugas dan fungsi untuk mengadakan pengukuran kualitas udara dan sekaligus sebagai stasiun referensi udara bersih. Sehingga daripada itu maka Stasiun GAW Bukit Kototabang merupakan salah satu stasiun di daerah ekuatorial yang penting dalam program pengamatan atmosfer secara global untuk pengukuran kondisi atmosfer dan kualitas udara.

Seiring dengan berjalannya waktu, perubahan juga terjadi pada kondisi lingkungan sekitar wilayah stasiun GAW Bukit Kototabang. Perubahan lebih dikarenakan kegiatan masyarakat sekitar yang memanfaatkan hutan untuk diambil kayunya serta aktifitas berkebun. Adanya aktifitas dari masyarakat menjadikan vegetasi alami di sekitar bukit kototabang berkurang.

Adanya perubahan terhadap lingkungan, baik secara langsung maupun tidak langsung akan turut menyebabkan perubahan terhadap keadaan atmosfer dalam hal ini kondisi udara yang dirasakan. Hal ini karena atmosfer merupakan manifestasi dari parameter dan unsur-unsur penyusunnya. Perubahan unsur iklim dapat terjadi pada: suhu udara, penerimaan radiasi matahari, kecepatan angin, dan perawanan [1]. Dari unsur-unsur tersebut, yang dapat dirasakan secara langsung perubahannya adalah suhu udara dan kelembaban udara.

Kenyamanan termis sangat dibutuhkan tubuh agar manusia dapat beraktifitas dengan baik [2]. Dalam kenyamanan termis, manusia merasakan sensasi panas atau dingin sebagai wujud respon dari sensor perasa yang terdapat pada permukaan kulit terhadap perubahan suhu udara [3]. Ilmu kenyamanan termis hanya membatasi pada kondisi udara tidak ekstrem (*moderate thermal environment*) dimana

manusia masih dapat mengantisipasi dirinya terhadap perubahan suhu udara di sekitarnya [4].

Pengaruh faktor cuaca terhadap kenyamanan yang dirasakan dapat diidentifikasi dengan penghitungan suatu indeks kenyamanan. Beberapa rumusan dan penelitian ilmiah tentang indeks kenyamanan telah digunakan diberbagai tempat untuk mengkaji keadaan tingkat kenyamanan berdasarkan pengaruh keadaan parameter cuaca masing-masing wilayah di Indonesia, diantaranya Indeks Panas Humidex di Kota Tanjung Pinang dengan hasil penelitian menunjukkan rata-rata Humidex bulanan di wilayah Kota Tanjung Pinang berkisar antara $32.6-34.0^{\circ}\text{C}$. Artinya tren indeks kenyamanannya mengalami peningkatan. Tren peningkatan nilai indeks panas di wilayah Kota Tanjung Pinang disebabkan akibat semakin meningkatnya perubahan penggunaan lahan menjadi lahan terbangun, galaknya program urbanisasi, dan maraknya penggunaan kendaraan bermotor. [4]

Selanjutnya ada penelitian Indeks Panas Humidex di DKI Jakarta Hasil menunjukkan rata-rata Humidex bulanan di wilayah DKI Jakarta berkisar antara $36,1$ s.d. $39,5^{\circ}\text{C}$ dan hubungan antara kecepatan angin dengan Humidex adalah menurunkan nilai Humidex yang berdampak pada peningkatan rasa nyaman termis. Sedangkan jumlah kendaraan bermotor menunjukkan kecenderungan peningkatan secara eksponensial dan berpengaruh terhadap semakin menurunnya tingkat kenyamanan termis [5]

Penelitian Indeks Panas THI di DKI Jakarta dengan kesimpulan yaitu tingkat kenyamanan menunjukkan semakin ke tengah kota semakin besar persentase tidak nyaman. Selama periode tersebut terjadi kecenderungan peningkatan indeks THI dengan signifikansi $> 50\%$ menunjukkan tingkat kenyamanan di DKI Jakarta cenderung semakin tidak nyaman. [6]. Dari ketiga penelitian diatas masing-masing persamaan indeks kenyamanan tersebut memiliki batas kenyamanan yang berbeda-beda.

Pola hujan equatorial [15] dengan topografi stasiun yang berbukit beserta adanya aktifitas manusia ditengarai telah terjadi perubahan kondisi lingkungan di sekitar stasiun. Hal ini menarik perhatian bagi penulis untuk mengetahui tingkat perubahan lingkungan dengan penghitungan suatu metode tingkat kenyamanan udara berdasar periode waktu.

Adanya hujan akan berpengaruh terhadap parameter cuaca dalam hal ini suhu dan kelembaban udara. Oleh karena itu hujan dalam hal ini jumlah hari hujan akan dianalisis pengaruh (hubungan) terhadap tingkat kenyamanan yang terjadi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana tingkat kenyamanan di Stasiun GAW Bukit Kototabang serta hubungan hari hujan dengan tingkat kenyamanan tersebut. Analisis tingkat kenyamanan tahunan diharapkan dapat memberikan informasi tentang adanya dugaan perubahan lingkungan yang mempengaruhi parameter cuaca di stasiun GAW Bukit Kototabang.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan untuk mengetahui tingkat kenyamanan pada penelitian ini adalah Metode Humidex Index. Humidex didefinisikan sebagai suhu pada udara yang relatif kering (tekanan uap kurang dari 10 hPa) yang memiliki pengaruh kenyamanan pada manusia yang sama dengan udara dengan suhu dan kelembaban yang diukur secara aktual maupun yang diramalkan [7].

Perhitungan *Humidex* menggunakan rumus Lally and Watson (1960) [8]; Masterson and Richardson (1979) [9] sebagai berikut:

$$\text{Humidex} = T + \frac{5}{9} (e - 10) \quad (1)$$

$$e = 6,112 \times 10^{\left(\frac{7.5T}{237.7+T}\right)} \times \frac{RH}{100} \quad (2)$$

dengan:

Humidex : Indeks panas ($^{\circ}\text{C}$)

T : Suhu udara rata-rata ($^{\circ}\text{C}$)

RH : Kelembaban relatif rata-rata (%)

Data unsur cuaca yang digunakan untuk penghitungan indeks kenyamanan Humidex adalah data rata-rata harian yang bersumber dari laporan F.Klim71 dan data diurnal (tiap jam) dari hasil pengukuran AAWS yang ada di taman alat stasiun GAW Bukit Kototabang. Untuk mengetahui tingkat kenyamanan bulanan dan tahunan digunakan data klimatologi (F. Klim-71) Stasiun GAW Bukit Kototabang tahun 2010–2018. Karena ketersediaan data unsur cuaca diurnal (tiap jam) untuk instrumen AWS maka data tingkat kenyamanan periode diurnal (tiap jam) digunakan data tahun 2017–2018.

Tabel 1. Indeks Interpretasi Humidex [10]

Indeks Humidex	Kategori Interpretasi
$\leq 29^{\circ}\text{C}$	Nyaman
$30 - 34^{\circ}\text{C}$	Perasaan sedikit tidak nyaman
$35 - 39^{\circ}\text{C}$	Perasaan tidak nyaman
$40 - 45^{\circ}\text{C}$	Perasaan sangat tidak nyaman akibat panas hingga menimbulkan rasa tersengat akibat panas
$46 - 53^{\circ}\text{C}$	Perasaan sangat tidak nyaman dan hampir dapat menyebabkan penyakit akibat serangan panas
$\geq 54^{\circ}\text{C}$	Kematian akibat panas

Selain data suhu dan kelembaban, akan digunakan juga data hari hujan untuk mengetahui hubungan (korelasi) antara indeks kenyamanan terhadap jumlah hari hujan. Pada kesempatan ini, hari hujan didefinisikan sebagai hujan yang tertakar lebih besar dari 1 mm [11].

Pada studi ini akan memberikan informasi tentang kenyamanan termal di Stasiun GAW Bukit Kototabang. Kenyamanan termal tersebut akan disajikan berdasarkan pembagian waktu periode diurnal (pagi-siang-malam), periode bulanan dan tahunan sehingga dari sini akan diketahui persentase jumlah terbesar keadaan kenyamanan pada suatu periode waktu tersebut.

Mula-mula setelah didapatkan nilai indeks kenyamanan secara diurnal dilakukan pembagian waktu periode diurnal yaitu pagi, siang dan malam. Pembagian waktu diurnal mengacu pada De Eka Sas [12] yang mengemukakan bahwa waktu pagi dimulai pukul 05.00 s/d 10.00 WIB, waktu siang berlangsung mulai pukul 10.00 s/d 15.00 WIB dan malam 19.00 s/d 00.00 WIB. Indeks kenyamanan periode waktu diurnal dihitung dari rata-rata indeks tiap jam menurut pembagian periode waktu diurnal pagi, siang dan malam.

$$x_{periode\ diurnal} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (3)$$

Dengan :

$X_{periode\ diurnal}$: rata-rata indeks kenyamanan pada periode diurnal
 X_1, X_2, \dots, X_n : data indeks kenyamanan tiap jam periode waktu diurnal
 n : jam periode waktu diurnal tiap bulan

Analisis kenyamanan bulanan didapatkan dari jumlah hari pada keadaan "Nyaman" dan "Kurang Nyaman" pada setiap bulan. Dari sini dilanjutkan penghitungan persentase kenyamanan bulanan setiap tahun.

$$U_{Mouthx} = \left(\frac{\sum_{k=1}^{k=n} U_c}{n} \right) \times 100\% \quad (4)$$

Dengan :

\bar{U}_{Mouthx} : Persentase "Nyaman" bulan x
 U_c : Indeks pada Kondisi "Nyaman"
 k : Tanggal
 n : jumlah hari sebulan

Analisis tahunan dilakukan dengan pengelompokan tingkat kenyamanan tahun 2010 – 2018 menjadi 3 kelompok tahun meliputi tahun 2010 s/d 2012, tahun 2013 s/d 2015 dan tahun 2016 s/d 2018. Selanjutnya dibuat persentase tingkat kenyamanan pada periode tahun untuk mengetahui pola dan informasi terkait dengan kondisi kenyamanan yang terjadi di stasiun GAW Bukit kototabang pada tahun tersebut.

Analisis secara deskriptif terhadap grafik tingkat kenyamanan periode diurnal, bulanan dan periode tahunan dilakukan untuk mengetahui pola dan informasi terkait dengan kondisi kenyamanan yang terjadi di stasiun GAW Bukit Kototabang.

Analisis tahunan dan bulanan untuk mengetahui kondisi umum keadaan kenyamanan udara seiring dengan perubahan keadaan lingkungan sekitar stasiun dengan memfokuskan perhatian pada tahun 2017 dan 2018 dengan dibandingkan dengan tahun yang lampau (2010-2012).

Selain data suhu dan kelembaban, akan digunakan juga data hari hujan untuk mengetahui hubungan (korelasi) antara indeks kenyamanan terhadap jumlah hari hujan. Pada kesempatan ini, hari hujan didefinisikan sebagai hujan yang tertakar lebih besar dari 1 mm [12].

Adanya hujan akan meningkatkan kelembaban dan suhu menjadi lebih rendah. Semakin banyak hari hujan maka suhu dan kelembaban akan mengalami perubahan yang akan mempengaruhi nilai tingkat kenyamanan.

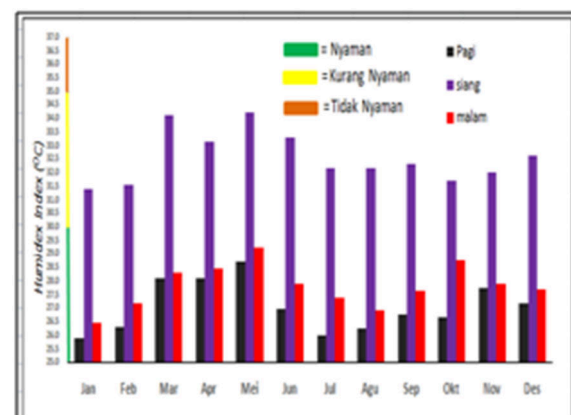
Uji koefisien korelasi yang digunakan adalah korelasi linier Pearson untuk mengetahui kuat/tidaknya hubungan antara indeks kenyamanan harian terhadap kejadian (hari) hujan. Kriteria nilai korelasi mengikuti tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Kriteria nilai korelasi [13]

Interval Hubungan	Tingkat Hubungan
0	Tidak ada korelasi antara dua variabel
>0 – 0,25	Korelasi sangat lemah
>0,25 – 0,5	Korelasi cukup
>0,5 – 0,75	Korelasi kuat
>0,75 – 0,99	Korelasi sangat kuat
1	Korelasi sempurna

3. Hasil dan Pembahasan

Distribusi tingkat kenyamanan periode waktu diurnal (pagi, siang dan malam). Penghitungan indeks kenyamanan Humidex pada periode tahun 2017-2018 data diurnal AAWS diketahui bahwa tidak terjadi kondisi "Tidak Nyaman" di stasiun GAW Bukit Kototabang.



Gambar 1. Grafik diurnal tingkat kenyamanan bulanan periode 2017-2018

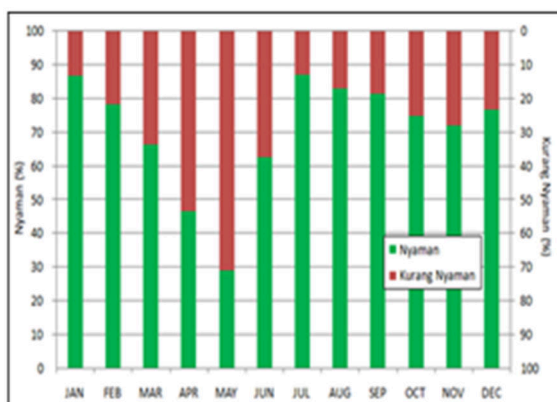
Tingkat kenyamanan Humidex seperti pada gambar 1 menunjukkan pada waktu pagi dan malam hari berada pada kondisi “Nyaman” sedangkan untuk siang hari secara umum pada kondisi “Kurang Nyaman”. Selisih suhu Humidex antara pagi hari dan malam hari berkisar antara 4 °C – 6 °C.

Keadaan “Nyaman” diurnal pada pagi dan malam hari periode bulanan membentuk 2 buah pola puncak. Kondisi nyaman terjadi Januari-Februari dan Juli-September (lihat gambar 1 pada periode waktu pagi dan malam), sedangkan pada indeks “Kurang Nyaman” membentuk 1 puncak yaitu bulan Mei (lihat gambar 1 pada periode waktu siang).

Perhitungan Humidex berdasarkan periode waktu siang-malam pernah dilakukan oleh Trinah Wati dan Riri Indriani Nasution [5] menunjukkan suhu Humidex di lokasi Jabodetabek pada malam hari lebih rendah lebih rendah dari siang hari dengan selisih antara 2 °C s/d 4 °C.

Baik pada Jabodetabek maupun di lingkungan stasiun GAW Bukit Kototabang suhu Humidex pada malam hari lebih rendah dari siang hari. Topografi stasiun GAW Bukit Kototabang yang berada di perbukitan menjadikan gradien suhu diurnal harian lebih tinggi dari wilayah perkotaan (Jabodetabek)

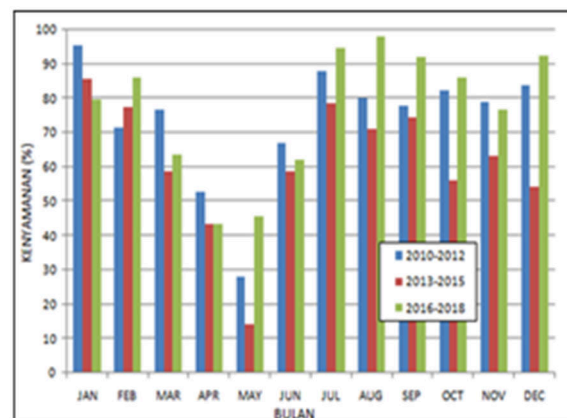
Persentase kenyamanan bulanan periode 2010-2018. Dengan menggunakan data Fklm 71 periode tahun 2010-2018 Stasiun GAW Bukit Kototabang didapatkan kondisi kenyamanan harian. Dari hasil penghitungan indeks kenyamanan Humidex, tidak terjadi kondisi “Tidak Nyaman” secara harian selama periode tahun 2010-2018.



Gambar 2. Grafik persentase kenyamanan bulanan periode 2010-2018

Pada gambar 2 menyajikan persentase jumlah hari kondisi “Nyaman” dan “Kurang Nyaman” bulanan periode 2010-2018. Pola umum persentase “Nyaman” membentuk lembah terjadi pada bulan Mei. Dari grafik di atas diketahui bahwa lebih dari 60% jumlah hari pada periode tahun 2010-2018 berada pada keadaan “Nyaman” kecuali pada bulan April dan Mei. Persentase tertinggi terjadi pada bulan Januari, Juli s/d September dan persentase terendah terjadi pada bulan Mei.

Pada tingkat kenyamanan bulanan periode 3 tahunan persentase jumlah hari “Nyaman” lebih rendah dari 50% berturut-turut terjadi pada bulan April-Mei kecuali bulan April periode tahun 2010-2012 (lihat gambar 3). Keadaan ini serupa dengan gambar 2 yang mana pada April-Mei merupakan persentase kondisi kenyamanan bulanan rendah.



Gambar 3. Grafik persentase tingkat kenyamanan bulanan 3 tahunan periode 2010-2018

Periode tahun 2013-2015 merupakan periode tingkat kenyamanan lebih rendah jika dibandingkan dengan tahun sebelum (2010-2013) dan tahun sesudahnya (2016-2018). Rendahnya indeks kenyamanan periode tahun 2013-2015 tidak lepas dari pengaruh terjadinya bencana kabut asap tahun 2014 dan 2015 seperti yang dikemukakan Sulistiyono dkk. [14] bahwa pada periode terjadi kabut asap tahun 2014 dan 2015 telah menyebabkan kenaikan suhu udara jika dibandingkan dengan suhu pada periode waktu tanpa kabut asap.

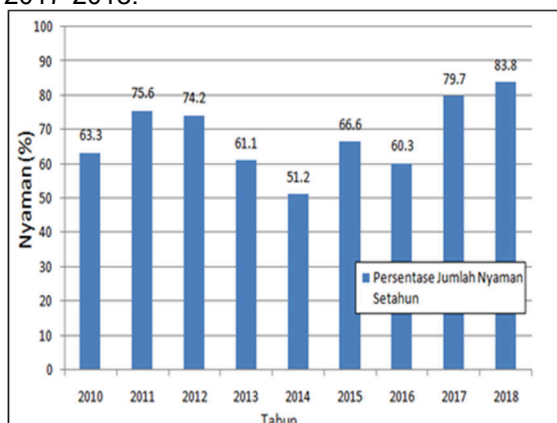
Hasil analisis iklim yang dilakukan oleh Panggabean .dkk [15] menjelaskan bahwa pada bulan April-Juni merupakan kondisi suhu rata-rata harian tertinggi di Stasiun GAW Bukit Kototabang dengan puncaknya terjadi pada bulan Mei. Sejalan dengan perhitungan Humidex oleh Trinah Wati dan Riri Indriani Nasution [5] bahwa untuk di wilayah DKI Jakarta pola (suhu) Humidex memiliki 2 puncak mengikuti pola suhu udara.

Dari analisis tersebut menjelaskan bahwa tingginya rata-rata suhu harian bulan April-Juni di Stasiun GAW Bukit Kototabang menyebabkan penghitungan indeks kenyamanan pada kondisi “Nyaman” bulan tersebut lebih rendah dibandingkan dengan bulan-bulan lainnya.

Persentase kondisi “Nyaman” Periode Tahun 2010-2018. Secara umum, persentase jumlah keadaan “Nyaman” dari periode tahun 2010 s/d 2018 masih berada pada kondisi yang baik ($> 60\%$). Adanya penurunan persentase “Nyaman” pada tahun 2013-2016 disebabkan adanya gangguan dinamika atmosfer seperti aktifnya dipole mode dan sirkulasi atmosfer regional serta adanya peristiwa kabut asap. Adanya gangguan dinamika atmosfer dan kabut asap ini berpengaruh terhadap kenaikan suhu rata-rata harian sehingga menjadikan indeks penghitungan kenyamanan menjadi tinggi.

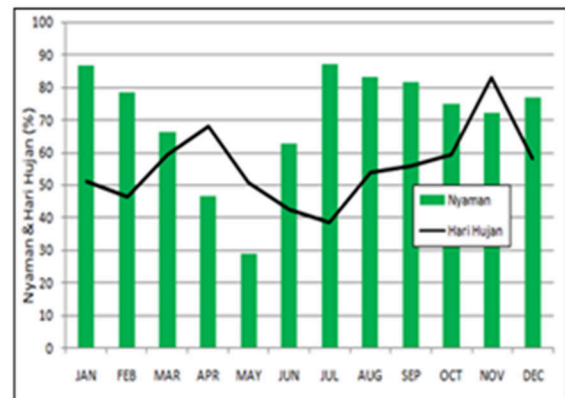
Tahun 2014 merupakan tingkat kenyamanan dengan persentase terendah selama periode tahun 2010-2018 (lihat gambar 4). Hal ini karena pada periode tahun tersebut telah terjadi bencana kabut asap sehingga mempengaruhi suhu udara dan keadaan atmosfer pada saat itu. Persentase tertinggi terjadi pada tahun 2017 dan 2018 dengan masing-masing nilainya sebesar 79.75 dan 83.8%.

Menggunakan dasar persentase indeks “Nyaman” tahun 2011 dan 2012 untuk menginterpretasikan keadaan tahun 2017 dan 2018 terkait dengan adanya perubahan kondisi lingkungan sekitar stasiun periode tahun 2010-2018, didapatkan bahwa belum ada pengaruh dalam hal ini penurunan persentase “Nyaman” dari penghitungan metode Humidex pada tahun 2017-2018.



Gambar 4. Grafik persentase kenyamanan periode tahun 2010-2018

Distribusi Persentase “Nyaman” terhadap Persentase Hari Hujan. Pola hujan equatorial dengan 2 puncak hujan (April dan November) terjadi pada grafik jumlah rata-rata hari hujan bulanan Stasiun GAW Bukit Kototabang (lihat gambar 5). Pola umum grafik persentase “Nyaman” bulanan periode tahun 2010-2018 sama dengan pola persentase kenyamanan bulanan periode 3 tahunan yaitu jumlah persentase kenyamanan terendah terjadi pada bulan April-Mei.



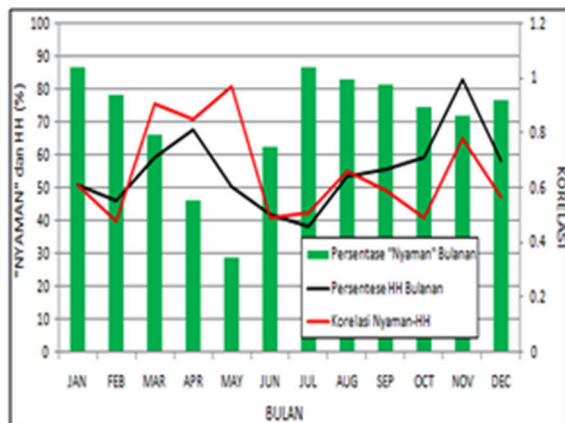
Gambar 5. Grafik Persentase “Nyaman” terhadap jumlah hari hujan periode 2010-2018

Keadaan umum kondisi “Nyaman” bulan April, Juni s/d Juli bertolak belakang dengan jumlah rata-rata hari hujan pada bulan tersebut. Pada bulan April yang merupakan puncak kejadian hujan tetapi jumlah persentase kondisi kenyamanan rendah, sedangkan pada bulan Juni-Juli dengan kondisi kenyamanan tinggi tetapi kejadian hujan pada bulan tersebut kecil. Selanjutnya berbeda halnya pada bulan Oktober-November peningkatan hari hujan bulan itu diimbangi dengan kenaikan persentase kondisi “Nyaman”. Hal ini mengindikasikan bahwa keadaan hujan dalam hal ini jumlah hari hujan tidak mempengaruhi secara linier terhadap tingkat kenyamanan di Stasiun GAW Bukit Kototabang.

Tabel 3.Korelasi Indeks Kenyamanan Humidex Terhadap Hari Hujan

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Nilai Korelasi	0.61	0.48	0.91	0.85	0.97	0.49	0.51	0.66	0.59	0.49	0.78	0.57
Sifat hubungan	Kuat	Cukup	Sangat Kuat	Sangat Kuat	Sangat Kuat	Cukup	Cukup	Kuat	Kuat	cukup	sangat kuat	kuat

Korelasi Indeks Kenyamanan Humidex terhadap Jumlah Hari Hujan. Penghitungan tingkat hubungan (korelasi) antara tingkat kenyamanan Humidex dengan jumlah hari hujan disajikan pada tabel 3. Pada penghitungan korelasi dipilih indeks pada kondisi “Nyaman” sebagai penghitungan tingkat hubungan terhadap jumlah hari hujan. Korelasi jumlah hari “Nyaman” tiap bulan terhadap jumlah hari hujan bulanan selama periode tahun 2010-2018 didapatkan nilai rata-rata korelasi tiap bulan sebesar 0.69 yang berarti mempunyai hubungan kuat.

**Gambar 6.** Grafik korelasi Nyaman- HH terhadap persentase “Nyaman” dan hari hujan

Nilai korelasi tertinggi (sangat kuat) terjadi pada bulan Maret-Mei dan bulan November. Hari hujan yang tinggi pada bulan April tidak membuat persentase “Nyaman” tinggi tetapi sebaliknya pada bulan November dengan tingginya hari hujan sejalan dengan tingginya persentase “Nyaman” saat itu dan bulan tersebut mempunyai korelasi yang sangat kuat. Dari tabel 3 dan gambar 6 menjelaskan bahwa tidak sepenuhnya keadaan hujan dalam hal ini jumlah hari hujan mempunyai hubungan kuat terhadap kondisi “Nyaman” bulanan di Stasiun GAW Bukit Kototabang walaupun secara umum nilai korelasi mengikuti pola jumlah hari hujan bulanan.

4. Kesimpulan

Selama periode tahun 2010-2018 penghitungan tingkat kenyamanan metode *Humidex* stasiun GAW Bukit Kototabang baik hitungan diurnal (periode waktu) maupun harian berada pada kisaran “Nyaman dan “Kurang Nyaman” dan tidak terjadi kondisi ‘Tidak Nyaman’.

Selama periode 2010-2018 jumlah persentase terendah kondisi ‘Nyaman’ terjadi pada tahun 2014 dan tertinggi pada tahun 2017-2018. Berdasarkan hal ini maka persentase “Nyaman” tahun 2017-2018 terhadap tahun 2011-2012 didapatkan bahwa tidak ada perubahan lingkungan yang mengarah pada penurunan tingkat kenyamanan tahun 2017-2018 di wilayah sekitar stasiun GAW Bukit Kototabang.

Korelasi kuat (0.69) antara jumlah kondisi “Nyaman” terhadap jumlah hari hujan bulanan selama periode tahun 2010-2018 tetapi tidak mengapresiasi secara linier terhadap besaran parameter keduanya.

Daftar Pustaka

- [1] Kalfuadi, Y. (2009). *Analisis Temperature Heat Index (THI) Dalam Hubungannya Dengan Ruang Terbuka Hijau*. IPB. Bogor.
- [2] Talarosha, B. (2005). Menciptakan Kenyamanan Termal Dalam Bangunan. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 6(3):148-158.
- [3] Karyono, T.H. (2001). Wujud Kota Tropis Di Indonesia: Suatu Pendekatan Iklim, Lingkungan dan Energi. *Jurnal Dimensi Teknik Arsitektur*, 44 (2):141-146.
- [4] Cahaya Siregar, Diana., Ardah, Vivi Putriama., dan Dara Ninggar, Regina. (2019). Identifikasi Kenyamanan Kota Tanjungpinang Berdasarkan Indeks Panas *Humidex*. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(2): 316-322.
- [5] Wati, Trinah dan Indriani Nasution, Riri. (2018). Analisis Kenyamanan Termis Klimatologi Di Wilayah DKI Jakarta Dengan Menggunakan Indeks Panas (*Humidex*). *Widyaiset*, 4 (1): 89-102.

- [6] Wati, Trinh dan Fatkhuroyan.(2017). Analisis Tingkat Kenyamanan Di DKI Jakarta Berdasarkan Indeks THI (Temperature Humidity Index). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 15 (1) : 57-63.
- [7] Claralampopoulos, Ioannis., dkk. (2013). Analysis of Thermal Bioclimate In Various Urban Configuration In Athens, Greece. *Urban Ecosystems*, 16 (2):217-33.
- [8] Laly, VE dan BF Watson. (1960). Humitare Revisited. *Weatherwise* , 13:254-256.
- [9] Masterson, J., and F. A. Richardson. (1979). *Humidex. A Method of Quantifying Human Discomfort due To Excessive and Humidity*. Environment Canada, Downsview, Ontario.
- [10] Spridonov, V., Curie, M., and Zafirovski, O. (2013). *Weather and Human Health*. COBISS M.K.
- [11] Peraturan Kepala BMKG. No 4. (2016). Tentang Pengamatan dan Pengelolaan Data Iklim di Lingkungan Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika.
- [12] Eka Sas, De. (2016). Batas Waktu Pagi, Siang, Sore Pada Jam. [https://wawasan85.blogspot.com/2016/11, diakses 15 Juli 2019](https://wawasan85.blogspot.com/2016/11/diakses%2015%20Juli%202019))
- [13] Jonathan, Sarwono. (2006). *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [14] Sulistiyono, Andi dan Andri, Yosfi. (2017). Respon Radiasi Global dan Suhu Udara pada Peristiwa Kabut Asap Di Stasiun Pemantau Atmosfer. Global Bukit Kototabang. *Suara Bukit Kototabang*, 9 : 18-25.
- [15] Panggabean, Manat et all. (2017). Analisis Iklim Stasiun GAW Bukit Kototabang. *Suara Bukit Kototabang*, 9 : 11-17.

PERBANDINGAN DAMPAK EL NINO KUAT 2015/16 DAN 1997/98 TERHADAP CURAH HUJAN DI PROVINSI BALI - INDONESIA

COMPARISON OF THE IMPACT OF 2015/16 AND 1997/98 STRONG EL NINO ON RAINFALL IN BALI PROVINCE - INDONESIA

I Wayan Andi Yuda^{1,2*}, Rakhmat Prasetya¹, Nursa'idah¹ dan Made Dwi Wiratmaja¹

¹Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Stasiun Klimatologi Jembrana

²Program Pascasarjana Ilmu lingkungan Universitas Udayana

*E-mail: andiyudaiwayan@gmail.com

Naskah masuk: 26 Januari 2020, Naskah diperbaiki: 18 Juni 2020, Naskah diterima: 23 Juni 2020

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan fenomena El Nino 2015/16 dan 1997/98 dari segi indeks dan dampak keduanya terhadap curah hujan di Provinsi Bali - Indonesia. Metode analisis yang digunakan berupa metode Korelasi Pearson dan statistik deskriptif terhadap data Indeks Nino 3.4 yang dikonversi menjadi *Oceanic Nino Index* (ONI) dan data curah hujan bulanan di 22 titik penakar hujan Provinsi Bali. Hasil penelitian menunjukkan El Nino 2015/16 (indeks tertinggi 2.37) sedikit lebih kuat daripada El Nino 1997/98 (indeks tertinggi 2.33). Berdasarkan siklus hidupnya, El Nino 2015/16 lebih lama bertahan dibandingkan dengan El Nino 1997/98. Hubungan antara El Nino dengan curah hujan Bali diketahui lebih kuat pada periode September-Oktober-November (SON) dibandingkan dengan periode Desember-Januari-Februari (DJF). Kemudian setelah dilakukan perbandingan antara kedua kejadian El Nino Kuat tersebut, ternyata dampak penurunan curah hujan di Provinsi Bali saat El Nino Kuat 2015/16 (-6% s/d -46%) tidak separah dampak penurunan curah hujan saat fenomena El Nino Kuat 1997/98 (-18% s/d -72%).

Kata kunci: El Nino, Oceanic Nino Index, Curah hujan

ABSTRAK

This study aims to determine the comparison of the 2015/16 and 1997/98 El Nino phenomena in terms of the index and their impact on rainfall in Bali Province - Indonesia. The analytical method used is the Pearson Correlation method and descriptive statistics on the Nino 3.4 index data which is converted to Oceanic Nino Index (ONI) and monthly rainfall data at 22 rain gauges in Bali Province. The results showed the 2015/16 El Nino (highest index 2.37) was slightly stronger than El Nino 1997/98 (the highest index 2.33). Based on its life cycle, El Nino 2015/16 lasts longer than El Nino 1997/98. The relationship between El Nino and Bali rainfall is stronger in the September-October-November (SON) period compared to the December-January-February (DJF) period. Then after a comparison between the two strong El Nino events, it turns out that the impact of decreasing rainfall in Bali Province during Strong El Nino 2015/16 (-6% to -46%) was not as severe as the impact of decreasing rainfall during the 1997/98 El Niño phenomenon. (-18% to -72%).

Keywords: El Nino, Oceanic Nino Index, Rainfall

1. Pendahuluan

El Nino merupakan salah satu fenomena anomali laut yang diketahui sangat berpengaruh terhadap iklim global. Istilah El Nino awalnya digunakan oleh nelayan pantai barat Peru untuk menyatakan kemunculan fenomena tahunan berupa arus hangat laut yang bergerak ke arah selatan sepanjang pantai barat Peru pada periode Natal. Saat ini, istilah tersebut digunakan untuk menyatakan fenomena pemanasan laut yang terjadi di Samudera Pasifik Ekuator dengan interval kejadian sekitar 4 tahun sekali (dengan batas 2 hingga 7 tahun) [1]. Dampak El Nino terhadap curah hujan dan suhu telah banyak dianalisis dalam banyak studi ilmiah [2,3]. Di daerah tropis, kondisi lebih kering dan lebih hangat saat El Nino terjadi di Benua Amerika Selatan bagian utara dan timur laut, Asia Tenggara, Australia bagian utara, India bagian tengah dan utara, dan barat daya Benua Afrika. Sebaliknya, fenomena El Nino menyebabkan peningkatan curah hujan di beberapa wilayah seperti Benua Amerika Selatan bagian selatan, Benua Afrika ekuatorial bagian barat, India bagian selatan dan China bagian selatan [4].

Kejadian El Nino terkuat yang pernah tercatat adalah El Nino 1997/98 dengan nilai indeks tertinggi sejak 64 tahun sebelumnya. Oleh sebab itu El Nino 1997/98 dinyatakan juga sebagai '*climate event of the century*' [5]. Dampak dari fenomena El Nino 1997/98 secara global dirasakan diantaranya dalam bentuk musim kemarau panjang di Indonesia dan wilayah Amazon hingga memicu kebakaran hutan. Musim kemarau yang berkepanjangan pada periode tersebut dicirikan dengan rendahnya tutupan awan, curah hujan dan penguapan. Sebaliknya peningkatan aktivitas konveksi dan peningkatan curah hujan terjadi sepanjang Pasifik Tropis bagian timur hingga wilayah Peru yang memicu banjir, tanah longsor, dan curah hujan ekstrim [6].

Beranjak dari tahun 1997/98, fenomena El Nino Kuat ternyata kembali terjadi pada tahun 2015/16. Menurut laporan organisasi *World Food Programme* (WFP) pada Maret 2016, Fenomena El Nino yang mulai terjadi pada awal tahun 2015 ini merupakan salah satu El Nino terkuat yang pernah terjadi dan berdampak pada ketersediaan pangan dunia. Di Indonesia sendiri, El Niño 2015 menyebabkan curah hujan yang lebih rendah khususnya wilayah timur dan berdampak pada rendahnya tingkat penanaman padi hingga 80% lebih rendah dari normalnya [7].

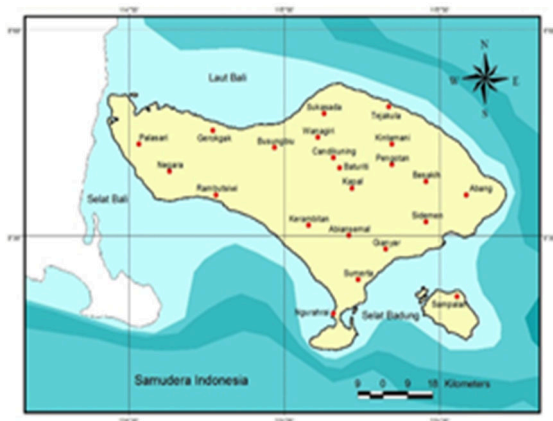
Dari kedua fenomena El Nino terkuat pada masanya (1997/98 dan 2015/16), ada kemungkinan terdapat persamaan dan perbedaan antara kedua El Nino Kuat tersebut sehingga menarik untuk membandingkan fase pertumbuhan, puncak, dan meluruh dari keduanya. Perbandingan perkembangan fenomena tersebut dapat dimonitor dengan memperhatikan *Oceanic Nino Index* (ONI). Menurut *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) Amerika [8], Indeks tersebut didefinisikan sebagai rata-rata tiga bulan dari anomali suhu permukaan laut (SPL) dari normalnya untuk wilayah Pasifik khatulistiwa (wilayah Nino3.4; 120 °BB-170 °BB, 5 °LU-5 °LS). Nilai ONI lebih besar atau sama dengan +0.5 mengindikasikan fenomena El Nino. Sedangkan nilai ONI lebih kecil atau sama dengan -0.5 mengindikasikan kondisi La Nina.

Selain diskusi mengenai kedua fenomena El Nino (1997/98 dan 2015/16) itu sendiri, pembahasan mengenai perbandingan dampak yang ditimbulkan oleh keduanya terhadap curah hujan di salah satu wilayah Indonesia juga akan disajikan dalam tulisan ini. Menarik untuk mengetahui apakah kedua fenomena ini memiliki dampak yang sama atau berbeda. Pengetahuan tentang dampak yang ditimbulkan oleh fenomena El Nino Kuat sangat penting untuk diketahui sebagai bahan antisipasi jika fenomena ini kembali terjadi pada waktu yang akan datang.

Wilayah penelitian yang dipilih dalam paper ini adalah wilayah Provinsi Bali yang terletak pada 8°3'40" LS - 8°50'48" LS dan 114°25'53"BT - 115°42'40" BT. Dari posisi geografis, Provinsi Bali masuk dalam zona angin monsoon dan memiliki pola hujan monsoon. Pemilihan lokasi dengan pola hujan monsun ini penting mengingat pengaruh El Nino berbeda pada setiap daerah dengan pola hujan yang berbeda. Menurut Aldrian dan Susanto[9], daerah dengan pola hujan monsun pengaruh fenomena iklim ini kuat. Hal tersebut didukung oleh penelitian Yuda dan Prasetya [10] yang menunjukkan secara umum fenomena El Nino konsisten mengakibatkan penurunan anomali curah hujan di beberapa titik pos hujan provinsi Bali pada bulan Januari dan September. Dengan demikian, Provinsi Bali dapat dinyatakan sebagai wilayah terdampak El Nino. Tulisan ini diharapkan dapat menggambarkan fenomena El Nino 2015/16 dan El Nino 1997/98 serta perbandingan dampak keduanya terhadap curah hujan di Provinsi Bali.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan dua jenis data yaitu data curah hujan dan data anomali suhu permukaan laut. Data curah hujan bulanan didapatkan dari Stasiun Klimatologi Jembrana Bali periode 1981–2016 di 22 lokasi penakar hujan di Provinsi Bali (Gambar 1). Selanjutnya data anomali suhu permukaan laut bulanan (normal 1981-2010) di wilayah Nino 3.4 (5°LU-5°LS dan 170-120°BB) periode 1981-2016 diunduh dari website Climate Prediction Center (CPC) [11]. Data tersebut selanjutnya disebut Indeks Nino 3.4.



Gambar 1. Lokasi Penakar Hujan di Provinsi Bali

Pengolahan dan analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- Pembuatan grafik indeks Nino 3.4 bulan Januari 1997 s/d Agustus 1998 dan Januari 2015 s/d Agustus 2016 beserta *moving average*-nya. *Moving average* 3 bulanan Indeks Nino 3.4 disebut dengan Oceanic Nino Index (ONI). Menurut *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) Amerika [12] dalam situsnya dituliskan bahwa awal kejadian El Nino ditentukan jika nilai ONI mencapai atau melebihi 0.5 dan kemudian bertahan minimal 5 periode 3 bulanan berturut-turut. Rumus *moving average*:

$$MA_{3\text{bulan}} = \frac{\sum_{i=1}^3 D_i}{3} \quad (1)$$

Keterangan: $MA_{3\text{bulan}}$ adalah Nilai *moving average* dari Indeks Nino 3.4 pada periode 3 bulan tertentu (ONI) dan D_i adalah nilai Indeks Nino 3.4 pada bulan i .

Selanjutnya dilakukan analisis terhadap grafik Nino 3.4 dan ONI untuk mengetahui perbandingan awal, puncak, dan

berakhirnya masing-masing El Nino. Dalam pembahasan, periode 3 bulanan disingkat menjadi 3 huruf depan dari nama bulan berurutan yang dirata-ratakan.

- Perhitungan koefisien korelasi ONI dengan rata-rata curah hujan Bali periode September Oktober Nopember (SON) dan Desember Januari Februari (DJF). Pemilihan periode SON dan DJF berdasarkan kondisi El Nino 1997/98 dan 2015/16 yang masuk kategori kuat (ONI >1.5) pada periode tersebut. Perhitungan koefisien korelasi dilakukan untuk mengetahui hubungan linear antara El Nino dan curah hujan di Provinsi Bali. Rumus Korelasi Pearson [13]:

$$r_{xy} = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (2)$$

Dengan r adalah koefisien korelasi antara x dan y . Nilai ONI diwakili oleh x sedangkan y adalah rata-rata 3 bulanan curah hujan observasi pada periode yang sama, dan n adalah banyaknya tahun yang digunakan dari 1997 hingga 2016.

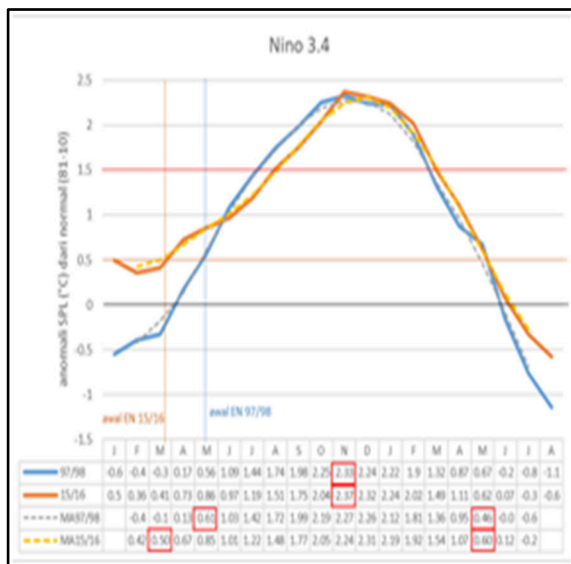
- Perhitungan persentase anomali curah hujan setiap titik pengamatan terhadap normalnya (rata-rata 1981-2010) pada periode SON-DJF 1997/98 dan 2015/16 untuk mengetahui penurunan atau peningkatan curah hujan Bali pada periode El Nino Kuat tersebut.
- Dilakukan perhitungan perbedaan curah hujan Provinsi Bali masing-masing bulan pada periode SONDJF tahun 1997/1998 dan 2015/2016. Perbedaan dihitung dengan mengurangi curah hujan pada suatu bulan di tahun 2015/2016 dengan curah hujan pada bulan yang sama di tahun 1997/1998. Nilai positif (+) menunjukkan curah hujan tahun 2015/2016 pada bulan yang dibandingkan lebih tinggi daripada tahun 1997/1998 sedangkan nilai negatif menunjukkan kondisi yang sebaliknya.

3. Hasil dan Pembahasan

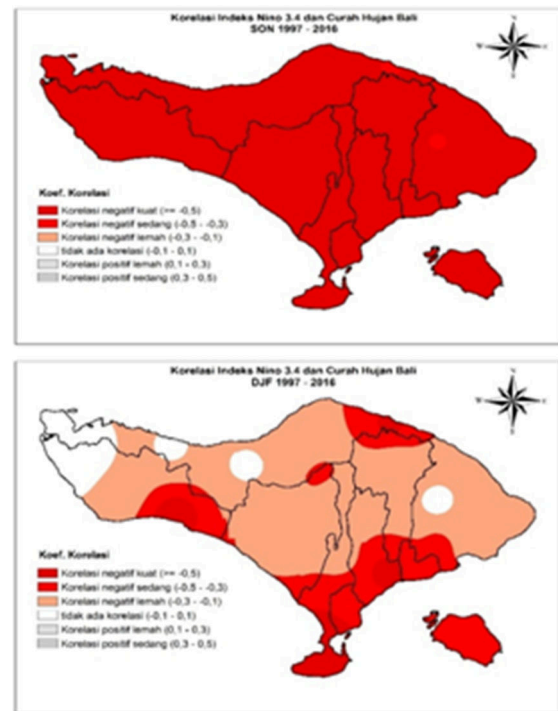
Analisis El Nino 1997/98 dan 2015/16 berdasarkan Index Nino 3.4. Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa El Nino 1997/98 dimulai pada periode AMJ sedangkan El Nino 2015/16 dimulai pada periode FMA atau lebih cepat 2 bulan dari El Nino 1997/98. El Nino 1997/98 mencapai kategori kuat (ONI >1.5) pada periode JAS dan bertahan hingga JFM. Sedangkan El Nino 2015/16 mencapai kategori kuat pada periode ASO hingga FMA. El Nino

2015/16 mencapai kategori kuat satu bulan lebih lambat dari El Nino 1997/98. Pola Indeks Nino 3.4 pada kedua kejadian El Nino tersebut mulai terlihat mirip pada bulan Juni hingga April dengan puncak indeks terkuat pada bulan November.

Jika dibandingkan dari segi Indeks Nino 3.4 maka El Nino 2015/16 (indeks tertinggi 2.37) sedikit lebih kuat daripada El Nino 1997/98 (indeks tertinggi 2.33). Bulan Nopember s/d Maret merupakan periode indeks Nino 3.4 tahun 2015/16 lebih kuat daripada Indeks Nino tahun 1997/98. Selanjutnya, berdasarkan waktu bertahannya, maka El Nino 2015/16 lebih lama dibandingkan dengan El Nino 1997/98. Kedua fenomena El Nino tersebut meluruh pada periode yang sama yaitu AMJ



Gambar 2. Grafik Indeks Nino 3.4 tahun 1997/1998 dan 2015/2016.



Gambar 3. Peta Korelasi antara Oceanic Nino Index (ONI) dan Curah hujan Bali periode SON (atas) dan DJF (bawah) periode 1997-2016

Hubungan Oceanic Nino Index (ONI) dan Curah Hujan Provinsi Bali. Nilai koefisien korelasi antara data ONI dan curah hujan untuk periode SON ditunjukkan oleh Gambar 3 (atas) berkisar antara -0.5 hingga -0.8. Hal ini menunjukkan hubungan linear negatif yg dominan kuat antara perubahan suhu permukaan laut di Pasifik Tengah dan curah hujan di Provinsi Bali. Sedangkan nilai koefisien korelasi antara data ONI dan curah hujan untuk periode DJF yang ditunjukkan oleh Gambar 3 (bawah) berkisar antara 0 hingga -0.8. Nilai koefisien korelasi dominan berkisar antara 0 hingga -0.3 menunjukkan hubungan linear negatif lemah antara ONI dan curah hujan di sebagian besar wilayah Bali pada periode DJF. Wilayah yang curah hujannya memiliki hubungan linear cukup kuat dengan ONI pada periode ini hanya terdapat di sebagian kecil Bali bagian selatan dan Bali bagian utara.

Berdasarkan analisis nilai koefisien korelasi yang ditampilkan dalam kedua gambar tersebut dapat diketahui bahwa El Nino yg direpresentasikan oleh ONI secara statistik berhubungan dengan curah hujan di Provinsi Bali dan secara lebih khusus dapat dinyatakan berasosiasi dengan kondisi pengurangan curah hujan di wilayah ini. Pengaruh El Nino terhadap curah hujan Provinsi Bali lebih dominan pada periode SON dibandingkan pada periode DJF. Hal ini bersesuaian dengan penelitian

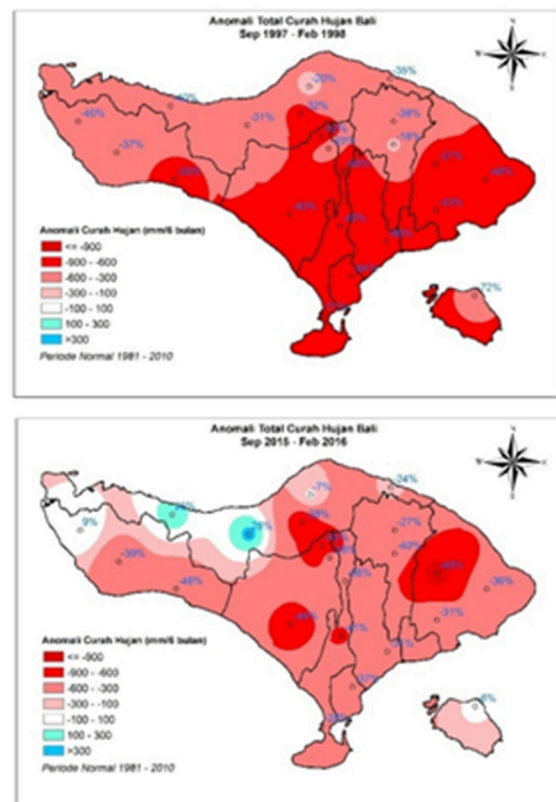
terdahulu [14,15] yang menyatakan curah hujan di Indonesia sangat dipengaruhi oleh ENSO pada musim kemarau (Juni-November) dan lemah dipengaruhi pada musim hujan (Desember-Mei). Menurut Aldrian [16], hal ini disebabkan karena pengaruh datangnya angin Baratan (angin Monsoon Asia) pada periode DJF yang membawa massa udara basah ke sebagian besar wilayah Indonesia.

Perbandingan Anomali Curah Hujan Musiman pada saat El Nino 1997/98 dengan 2015/16. Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui bahwa kondisi curah hujan musiman (September–Februari) lebih rendah dari normalnya (anomali negatif) terjadi di sebagian besar wilayah Provinsi Bali saat El Nino Kuat 1997/98 maupun saat El Nino Kuat 2015/16. Kondisi anomali negatif curah hujan saat El Nino Kuat 1997/98 (Gambar 4 atas) terlihat merata di seluruh wilayah Bali dengan persentase berkurangnya curah hujan terhadap normalnya berkisar antara -18% s/d -72%. Intensitas pengurangan curah hujan lebih dari 600 mm/enam bulan terjadi di wilayah Bali bagian tengah dan bagian selatan. Sedangkan kondisi anomali negatif curah hujan saat El Nino Kuat 2015/16 (Gambar 4 bawah) terlihat tidak menyeluruh dengan kisaran persentase berkurangnya curah hujan terhadap normalnya berkisar antara -6% s/d -46%. Intensitas pengurangan curah hujan lebih dari 600 mm/enam bulan hanya terjadi di sebagian kecil Bali bagian tengah dan bagian timur. Bahkan terdapat wilayah Bali bagian utara dan barat yang mengalami anomali curah hujan positif atau penambahan curah hujan dengan persentase hingga 26%.

Berdasarkan analisis terhadap kedua peta anomali tersebut maka dapat diketahui bahwa curah hujan selama periode September-Februari di Provinsi Bali saat El Nino 1997/98 lebih rendah dibandingkan curah hujan saat El Nino 2015/16. Berkurangnya curah hujan pada periode September 1997 hingga Februari 1998 terjadi menyeluruh di wilayah Bali. Sedangkan saat El Nino 2015/2016, disamping terjadi pengurangan curah hujan ternyata juga terjadi penambahan curah hujan di wilayah Bali bagian utara. Hal ini menunjukkan dampak El Nino 1997/98 lebih tegas dibandingkan dampak El Nino 2015/16 terhadap kondisi curah hujan di Provinsi Bali.

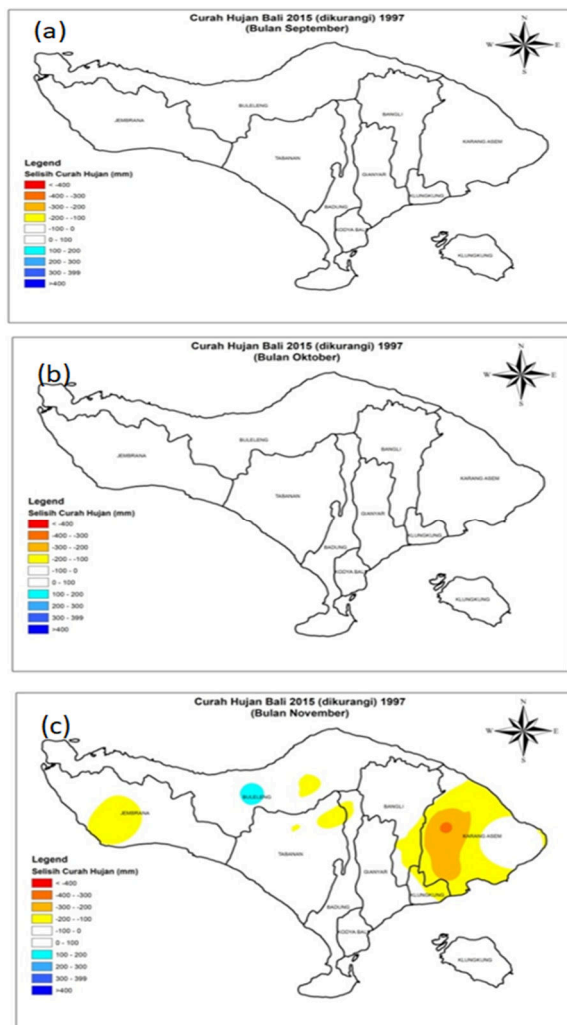
Pengaruh El Nino 2015/16 terhadap curah hujan di Provinsi Bali lebih lemah dibandingkan dengan pengaruh El Nino 1997/98 padahal kedua El nino tersebut berkategori kuat. Berdasarkan penelitian sebelumnya [17,18],

meskipun kedua El Nino tersebut sama-sama kuat secara indeks namun keduanya sangat berbeda dari segi dinamika atmosfer-laut yang mendasari. Mereka menemukan bahwa fenomena El Nino 1997/98 berevolusi dengan didominasi oleh dinamika klasik El Nino Pasifik Timur (*East Pacific El Nino* – EP El Nino) sedangkan evolusi El Nino 2015/16 menunjukkan fenomena campuran antara dinamika El Nino Pasifik Timur dan El Nino Pasifik Tengah (*Central Pasifik El Nino* – CP El Nino). Pengaruh yang kuat dari dinamika CP El Nino menyebabkan kondisi 2015/16 menyimpang dari fenomena 1997/98 terutama pada fase peluruhan (Desember–Maret). Perbedaan dampak ini juga mengakibatkan curah hujan ekstrim di Amerika Serikat tahun 2015/16 tidak separah tahun 1997/98. Khusus ini menunjukkan bahwa dampak dari El Nino terhadap curah hujan tidak bisa dilihat langsung dari tinggi rendahnya indeks El Nino itu sendiri namun perlu diperhatikan evolusi dinamika atmosfer-laut yang mendasari suatu Fenomena El Nino Kuat.



Gambar 4. Anomali total curah hujan musiman Provinsi Bali periode September 1997 s/d Februari 1998 (atas) dan periode September 2015 s/d Februari 2016 (bawah) dibandingkan kondisi normal 30 tahun (1981 – 2010)

Perbandingan Curah Hujan Bulanan saat El Nino 1997/98 dan 2015/16. Untuk melihat perbedaan kondisi curah hujan secara lebih mendetail maka dilakukan perbandingan curah hujan antara bulan yang sama untuk tahun 1997/98 dan 2015/16. Hasil perhitungan selisih curah hujan bulanan 1997/98 dan 2015/16 selama periode El Nino Kuat ditampilkan dalam Gambar 5 dan 6. Kondisi curah hujan pada bulan September-Oktober pada tahun 1997 dan 2015 cenderung sama. Hal ini ditunjukkan dengan kisaran selisih antara -100 s/d +100 mm/bulan yang dapat dilihat pada Gambar 5a dan 5b. Pada bulan November, kondisi curah hujan juga masih relatif sama antara tahun 2015 dan 1997 (gambar 5c). Terdapat variasi curah hujan November tahun 2015 lebih rendah dibandingkan tahun 1997 dengan kisaran selisih -200 mm s/d -400 mm di wilayah Bali bagian timur saat puncak El Nino pada bulan November (puncak indeks Nino 3.4 lihat gambar 2).



Gambar 5. Perbedaan Curah Hujan Bulanan tahun 2015 (dikurangi) 1997 untuk bulan (a) September, (b) Oktober, dan (c) Nopember

Selanjutnya pada bulan Desember, kondisi curah hujan tahun 2015 secara umum lebih tinggi dibandingkan tahun 1997 dengan kisaran selisih +100 mm s/d +300 mm untuk sebagian besar wilayah Bali (Gambar 6a). Sedangkan kondisi curah hujan Desember 2015 lebih rendah daripada 1997 terdapat di bagian kecil Bali bagian utara.

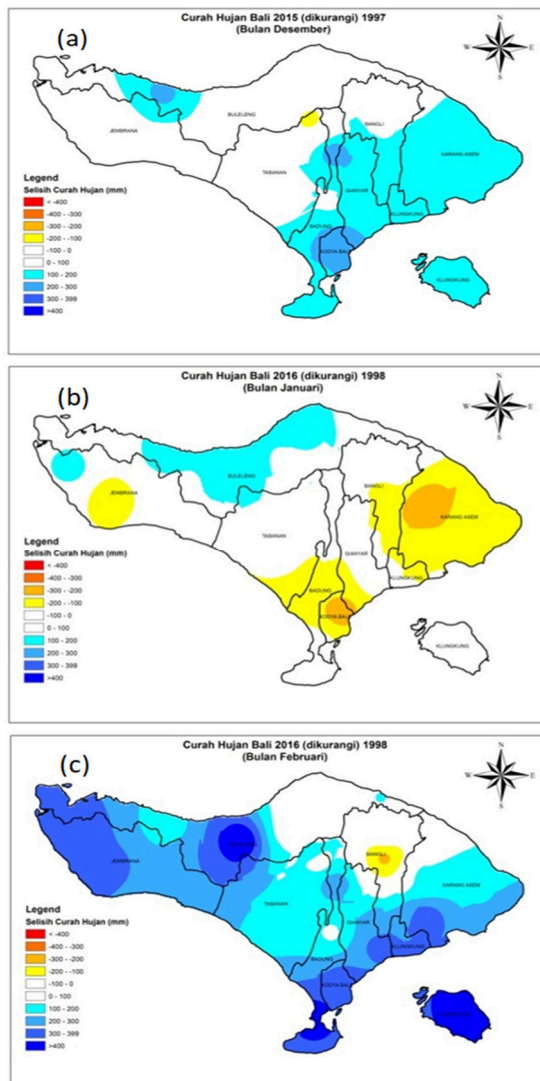
Berdasarkan Gambar 6b kondisi curah hujan bulan Januari tahun 2016 lebih tinggi dibandingkan bulan yang sama pada tahun 1998 di wilayah Bali bagian utara. Selisihnya mencapai kisaran +100 mm s/d +200 mm. Sedangkan untuk wilayah Bali bagian selatan kondisi curah hujan tahun 2016 lebih rendah daripada tahun 1998 dengan selisih mencapai -200 mm. Kemudian untuk bulan Februari, kondisi curah hujan tahun 2016 secara umum lebih tinggi dibandingkan tahun 1998 dengan kisaran selisih +100 mm s/d lebih dari +400 mm/bulan untuk sebagian besar wilayah Bali (Gambar 6c).

Berdasarkan analisis bulanan tersebut, maka dapat diketahui kondisi curah hujan Bali saat El Nino Kuat 1997/98 dan El Nino Kuat 2015/16 hampir sama pada bulan September dan Oktober yang merupakan masa pertumbuhan El Nino Kuat. Sedangkan pada bulan November, kondisi curah hujan Bali tahun 2015 sedikit lebih kering daripada 1997. Kondisi ini berbarengan dengan kondisi puncak El Nino yang terjadi pada bulan November dengan nilai anomali Nino 3.4 lebih tinggi pada tahun 2015 dibanding 1997. Dengan kata lain, saat puncak El nino (bulan November) kondisi bulan November tahun 2015 sedikit lebih kering daripada November 1997 di Provinsi Bali.

Namun memasuki bulan Desember kondisi curah hujan Bali saat El Nino 2015/16 justru lebih tinggi dibanding El Nino 1997/98 dan berlanjut hingga bulan Februari. Kondisi ini mengindikasikan bahwa fenomena El Nino 2015/16 dalam periode Desember, Januari, Februari 2015/2016 memiliki dampak lebih lemah terhadap pengurangan curah hujan di Provinsi Bali jika dibandingkan dampak yang ditimbulkan El Nino 1997/98 pada periode yang sama. Dengan kata lain, pada fase peluruhan, El Nino 2015/16 tidak memiliki dampak separah dampak yang dihasilkan El Nino 1997/98.

Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun *Oceanic Nino Index* antara kedua El Nino cenderung sama namun dampak yang dihasilkan terhadap penurunan curah hujan di Provinsi Bali memiliki perbedaan yang cukup dominan terutama pada

periode DJF. Dampak penurunan curah hujan pada fase peluruhan El Nino 2015/16 tidak signifikan dampak penurunan curah hujan saat fase peluruhan El Nino 1997/98. Hasil ini bersesuaian dengan penelitian sebelumnya [18] terkait perbedaan kondisi dinamika atmosfer-laut yang melatari El Nino 2015/16 dan El Nino 1997/98 terutama pada fase peluruhan (Desember–Maret) sehingga dampak pada curah hujan pada periode tersebut menjadi berbeda.



Gambar 6. Perbedaan Curah Hujan Bulanan tahun 2015/2016 (dikurangi) 1997/1998 untuk bulan (a) Desember, (b) Januari, dan (c) Februari

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa El Nino 2015/16 dan El Nino 1997/98 memiliki pola puncak dan peluruhan yang serupa. Kekuatan indeks El Nino 2015/16 saat kondisi puncak sedikit lebih tinggi dibandingkan El Nino 1997/98. Disamping itu kejadian El Nino 2015/16 memiliki siklus hidup lebih lama daripada El Nino 1997/98 dikarenakan fase awal pertumbuhannya lebih awal sekitar 2 bulan. Namun meskipun demikian, dampak berkurangnya curah hujan bulan September-Februari di Provinsi Bali saat El Nino Kuat 2015/16 hanya berkisar -6% s/d -46% tidak separah dampak pengurangan curah hujan yang ditimbulkan El Nino Kuat 1997/98 yang mencapai -18% s/d -72% dari normalnya. Perbedaan dampak penurunan curah hujan di antara kedua fenomena El Nino ini sangat jelas terlihat saat fase El Nino mulai meluruh (DJF). Kondisi ini dikarenakan adanya perbedaan kondisi evolusi dinamika atmosfer-laut pembentuk kedua fenomena El Nino tersebut. El Nino 1997/98 didominasi oleh dinamika klasik El Nino Pasifik Timur (*East Pacific El Nino*) sedangkan evolusi El Nino 2015/16 menunjukkan fenomena campuran antara dinamika El Nino Pasifik Timur dan El Nino Pasifik Tengah (*Central Pasifik El Nino*) yang mengakibatkan perbedaan dampak terhadap curah hujan terutama pada fase peluruhan El Nino [18]. Dengan demikian, untuk memprakirakan dampak dari El Nino Kuat terhadap curah hujan di Provinsi Bali diperlukan pertimbangan evolusi dinamika atmosfer-laut yang mendasari suatu fenomena El Nino selain itu sendiri.

Saran

Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan menambahkan fenomena iklim lain yang terjadi bersamaan dengan fenomena El Nino untuk mendapatkan gambaran yang lebih komprehensif.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tim Observasi dan Analisa Stasiun Klimatologi Klas II Jembrana atas bantuan data dan dukungan yang diberikan. Terima kasih juga kepada *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) atas data Indeks Nino 3.4 yang disediakan.

Daftar Pustaka

- [1] Cane, M. A. (2004). The evolution of El Niño, past and future. *Earth and Planetary Science Letters*, 164, 1-10.
- [2] Halpert, M. S., and Ropelewski, C. J. (1992). Surface temperature patterns associated with the Southern Oscillation. *J. Climate*, 5, 577-593.
- [3] Bell, G.D., and Halpert, M.S. (1998). Climate assessment for 1997. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79 (5). S1-S49
- [4] Gutman, G., Csiszar, I., dan Romanov, P. (2000). Using NOAA/AVHRR Products to Monitor El Niño Impacts: Focus on Indonesia in 1997-98. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81 (6). 1189 – 1205.
- [5] FAO. (2014, December 7). Understanding the drought impact of El Niño on the global agricultural areas: An assessment using FAO's Agricultural Stress Index (ASI). Roma. Hal. 11. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i4251e.pdf>
- [6] Bell, G. D., Halpert, M. S., Ropelewski, C.F., Kousky, V.E., Douglas A.V., Schnell R.C., dan Gelman, M.E. (1999). *Climate Assessment for 1998. Bulletin of the American Meteorological Society*, 80 (5). S16-S17.
- [7] FAO. (2016, December 12). *2015-2016 El Niño Early action and response for agriculture, food security and nutrition*. Retrieved from http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/emergencies/docs/FAO%20Early%20Action%20and%20Response%2020152016%20El%20Nino%20Report_Fifth%20Update%200202.pdf
- [8] NOAA. (2016, December 12). *Understanding El Niño*. Retrieved from <http://www.noaa.gov/understanding-el-nino>
- [9] Aldrian, E., dan Susanto, R. D. (2003). Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *Intl. J. Climatol*, 23, 1435-1452.
- [10] Yuda, I.W.A, dan Prasetya, R. (2014). *Analisis Dampak El Nino dan La Nina Terhadap Anomali Curah Hujan di Provinsi Bali Menggunakan Grafik ENSO Impact*. Prosiding Seminar Nasional dan Rapat Tahunan Bidang MIPA 2014, 495 – 503
- [11] Climate Prediction Center Internet Team. (2016 December 12). *Monthly Atmospheric and SST Indices*. Retrieved from <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/ersst4.nino.mth.81-10.ascii>
- [12] NOAA. (2016, December 12). *Understanding El Niño*. Retrieved from <http://www.noaa.gov/understanding-el-nino>
- [13] Riduwan. (2005). *Rumus dan Data Dalam Analisis Statistika*. Penerbit Alfabeta, Bandung.
- [14] Haylock, M., McBride, J. (2001). Spatial Coherence and Predictability of Indonesian Wet Season Rainfall. *J. Climate*, 14 (18): 3882-3887.
- [15] Athoillah, I., Sibarani R.M, Doloksaribu, D.E. (2017). Analisis Spasial Pengaruh Kejadian El Nino Kuat Tahun 2015 dan La Nina Lemah Tahun 2016 Terhadap Kelembaban, Angin, dan Curah Hujan di Indonesia. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 18 (1): 33 – 41
- [16] Aldrian, E. (2003). Spatial Pattern of ENSO Impact on Indonesia Rainfall. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 3 (1): 5-15
- [17] Lian, T., Chen, D.K., Tang, Y.M. (2017). Genesis of the 2014-2016 El Niño events. *Science China Earth Sciences*, 60: 1589-1600, doi: 10.1007/s11430-016-8315-5
- [18] Paek, H., Yu J.-Y., dan Qian, C. (2017). Why were the 2015/2016 and 1997/1998 extreme El Niños different? *Geophys. Res. Lett.* 44, 1848-1856. doi:10.1002/2016GL071515

ANALISIS TINGKAT KENYAMANAN DI KOTA MANADO DAN WILAYAH PENYANGGANYA BERDASARKAN INDEKS THI (TEMPERATURE HUMIDITY INDEX)

ANALYSIS OF COMFORT LEVEL IN MANADO CITY AND THE TERRITORY AREA BASED ON THI (TEMPERATURE HUMIDITY INDEX)

Wenas Ganda Kurnia¹ dan Sofian Widiyanto^{2*}

¹Stasiun Pemantau Atmosfer Global Lore Lindu Bariri

²Stasiun Klimatologi Minahasa Utara

*Email: widiyantosofian@gmail.com

Naskah masuk: 12 Juni 2020, Naskah diperbaiki: 15 Juli 2020, Naskah diterima: 20 Juli 2020

ABSTRAK

Sebagai salah satu Provinsi yang menjadi pusat perekonomian di Kawasan Indonesia Timur, Sulawesi Utara menjadi tujuan bagi para perantau. Tumbuh pesatnya perkembangan pembangunan diberbagai sektor mengakibatkan semakin berkurangnya ruang terbuka hijau dan juga dapat menyebabkan terjadinya masalah sosial dan masalah lingkungan sehingga dapat menyebabkan ketidaknyamanan suatu wilayah. Tujuan dari penyusunan indeks kenyamanan ini adalah untuk mengetahui seberapa besar tingkat kenyamanan di Kota Manado sebagai pusat perekonomian Sulawesi Utara dan kabupaten/kota penyangganya menggunakan metode *Temperature Humidity Index* (THI). Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data suhu udara dan kelembaban udara harian tahun 2008–2017 dari Stasiun BMKG di Sulawesi Utara. Indeks THI umumnya hanya sebagian populasi (28.15%) perkotaan merasakan Nyaman dan pada kategori Sebagian Nyaman dengan rata-rata sebesar 59.97%. dan kategori Tidak Nyaman terjadi sebesar 11.87%. Tingkat kenyamanan yang paling rendah dirasakan oleh penduduk Kota Bitung sedangkan perasaan nyaman di ruangan terbuka dirasakan oleh penduduk Kabupaten Minahasa. Kecenderungan peningkatan indeks THI terjadi hampir di semua kota kecuali Kota Bitung dengan laju terbesar dialami oleh kota Manado.

Kata kunci: Tingkat Kenyamanan Termal, Temperature Humidity Index, Sulawesi Utara

ABSTRACT

As one of the provinces that is the center of the economy in Eastern Indonesia, North Sulawesi is a destination for migrants. The rapid growth of development in various sectors cause a reduction in green open space and can also cause social problems and environmental problems that can cause inconvenience of an area. The preparation of this comfort index was made to find out how much the comfort level was in several districts/cities in North Sulawesi using the Temperature Humidity Index (THI) method. The data used in this study are daily air temperature and humidity data for 2008–2017 from BMKG station in North Sulawesi. The THI index is generally only a portion of the population (28.15%) of cities felt comfortable and in the category of Most Comfortable with an average of 59.97%. and the Uncomfortable category occurred at 11.87%. The lowest level of comfort felt by residents of the City of Bitung while feeling comfortable in the open space felt by residents of Minahasa Regency. The increasing trend of the THI index occurs in almost all cities except Bitung City with the largest rate experienced by the city of Manado.

Keywords: Thermal Comfort Level, Temperature Humidity Index, North Sulawesi

1. Pendahuluan

Sulawesi Selatan dan Sulawesi Utara sebagai dua provinsi di wilayah Indonesia timur yang memiliki daya saing tertinggi [1]. Ekonomi Sulawesi Utara tahun 2019 tumbuh 5,66%. Dari sisi produksi, pertumbuhan didorong oleh hampir seluruh lapangan usaha, dengan pertumbuhan tertinggi dicapai lapangan usaha jasa lainnya yang tumbuh 15,75% [2]. Provinsi Sulawesi Utara mempunyai 15 kabupaten/kota yakni Kabupaten Bolaang Mongondow, Kabupaten Bolaang Mongondow Selatan, Kabupaten Bolaang Mongondow Timur, Kabupaten Bolaang Mongondow Utara, Kabupaten Kepulauan Sangihe, Kabupaten Kepulauan Siau Tagulandang Biaro, Kabupaten Kepulauan Talaud, Kabupaten Minahasa, Kabupaten Minahasa Selatan, Kabupaten Minahasa Tenggara, Kabupaten Minahasa Utara, Kota Bitung, Kota Kotamobagu, Kota Manado dan Kota Tomohon [3].

Kota Manado sebagai ibu kota provinsi dan pusat perekonomian menjadikan kota terbesar kedua di Sulawesi setelah Makassar [2]. Sebagai pusat perekonomian di Sulawesi Utara, tentunya Manado menjadi tujuan bagi para perantau, dengan banyaknya para perantau yang datang dari tahun ketahun tak khayal menjadikan wilayah Manado semakin sesak dan berimbas ke kabupaten/kota di sekitarnya terutama dalam kasus alih fungsi lahan pertanian menjadi pemukiman [3]. Tumbuh pesatnya perkembangan pembangunan di berbagai sektor yang dapat mengakibatkan semakin berkurangnya ruang terbuka hijau (RTH) dan juga dapat menyebabkan terjadinya masalah sosial dan masalah lingkungan [4]. Masalah lingkungan yang terjadi yaitu perubahan lingkungan yang dapat membawa dampak terhadap perubahan unsur iklim. Perubahan unsur iklim yang terjadi adalah suhu, penerimaan radiasi matahari, kecepatan angin, dan kelembaban. Diantara unsur-unsur tersebut yang dapat dirasakan langsung perubahannya adalah suhu udara [5]. Perubahan suhu udara yang terjadi ini semakin meningkat dari hari ke hari dan akhirnya akan mempengaruhi kenyamanan manusia [6].

Temperature Heat Index (Indeks Kenyamanan) merupakan suatu metode yang dapat digunakan untuk mengkaji tingkat kenyamanan di suatu daerah. Dari metode ini dihasilkan suatu indeks untuk menetapkan efek dari kondisi panas pada kenyamanan manusia yang mengkombinasikan antara unsur suhu dan kelembaban [5]. Fenomena meningkatnya suhu rata-rata di suatu daerah yang tinggi biasanya

disebut dengan pulau panas (heat island). Panas yang dihasilkan biasanya berasal dari proses pembakaran, sisa pembuangan gas kendaraan bermotor, aktivitas manusia maupun jenis bahan bangunan tertentu [5]. Peningkatan suhu udara yang mengakibatkan berkurangnya rasa kenyamanan pada suatu daerah, kondisi seperti ini kurang menguntungkan bagi manusia dalam melakukan aktifitasnya sebab produktifitas kerja manusia cenderung menurun atau rendah pada kondisi udara yang tidak nyaman seperti halnya terlalu dingin atau terlalu panas. Produktifitas kerja manusia meningkat pada kondisi suhu yang nyaman [7]. Indeks kenyamanan THI dapat dibedakan menjadi dalam tiga kondisi yaitu, kondisi nyaman berada pada kisaran nilai THI 19-23, kondisi sedang berada pada kisaran nilai THI 23-27 dan untuk kisaran nilai THI di atas 27 dinyatakan sebagai kondisi yang tidak nyaman [8]. Selain indeks kenyamanan berdasar Temperature Heat Index, ada juga yang dinamakan dengan Indeks Suhu Basah dan Bola (ISBB), ISBB adalah pengukuran temperatur lingkungan dilakukan dengan mengukur komponen temperatur yang terdiri dari suhu kering, suhu basah alami, dan suhu radiant. Selain itu juga perlu dilakukan pengukuran terhadap kelembaban udara relatif dan kecepatan angin [9].

Dalam penelitian ini objek wilayah penelitian bukan hanya kota-kota besar seperti penelitian yang terdahulu namun kabupaten/kota penyangga ibu kota juga dijadikan objek penelitian. Fokus dan tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat kenyamanan di Kota Manado, Kota Bitung, Kabupaten Minahasa Utara dan Kabupaten Minahasa secara bulanan dan kecenderungan tingkat kenyamanan dari tahun ke tahun menggunakan indeks kenyamanan THI dengan batas kenyamanan [10,11] seperti apa yang telah dimodifikasi untuk iklim tropis [4].

2. Metode Penelitian

Lokasi Penelitian.

Penelitian ini dilakukan wilayah Provinsi Sulawesi Utara, tepatnya di Kota Manado, Kota Bitung, Kabupaten Minahasa Utara dan Kabupaten Minahasa dimana Kota Manado sebagai pusat perekonomian di Sulawesi Utara serta Kota Bitung, Kabupaten Minahasa Utara dan Kabupaten Minahasa sebagai daerah penyangga ibu kota. Lokasi penelitian dan letak geografis terlihat dalam Gambar 1 dan Tabel 1



Gambar 1. Lokasi penelitian.

Tabel 1. Letak geografis lokasi penelitian.

Nama Stasiun	Lintang	Bujur	Elevasi (m)
Stasiun Meteorologi Manado	1.545	124.925	80
Stasiun Meteorologi Bitung	1.443	125.18	3.5
Stasiun Klimatologi Minahasa Utara	1.498	124.898	85
Pos Geofisika Tondano Minahasa	1.295	124.925	704

Data. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data suhu udara dan kelembaban udara harian tahun 2008–2017 di Stasiun Meteorologi Sam Ratulangi Manado, Stasiun Meteorologi Bitung, Stasiun Klimatologi Minahasa Utara dan Pos Geofisika Tondano Minahasa.

Metode. Analisa tingkat kenyamanan dinyatakan dalam indeks kenyamanan yaitu *Temperature Humidity Indeks* (THI) merupakan suatu indeks dengan satuan derajat celcius sebagai besaran yang dapat dikaitkan dengan tingkat kenyamanan yang dirasakan populasi manusia di wilayah perkotaan. Indeks kenyamanan dihitung dengan menggunakan rumus [10] sebagai berikut;

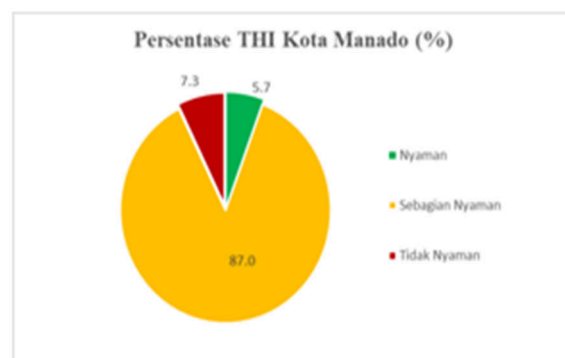
$$THI = 0.8 T + \{(RH \times T)/500\} \quad (1)$$

T : suhu udara (°C),
 RH : kelembapan relatif
 THI : indeks kenyamanan (°C)

Batas kenyamanan menggunakan selang kenyamanan yang dimodifikasi untuk iklim tropis [4,10,11] pada nilai THI antara 21-24 °C terdapat 100% populasi menyatakan nyaman, THI antara 25-27 °C hanya 50% populasi merasa nyaman, serta pada THI > 27 °C sebanyak 100% populasi merasa tidak nyaman. Analisis tren THI dalam penelitian ini menggunakan tren linier. Analisis tren digunakan untuk melihat pergerakan data yang menunjukkan arah perkembangan menuju ke satu titik (cenderung naik/turun).

3. Hasil dan Pembahasan

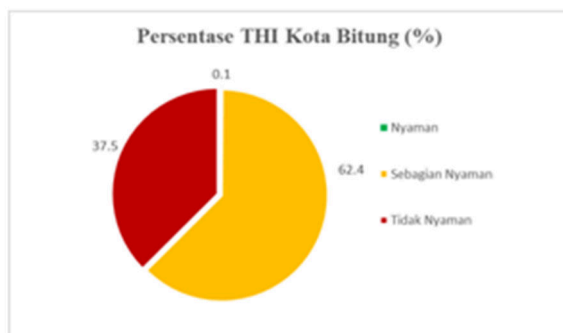
Analisis tingkat kenyamanan di Sulawesi Utara menggunakan data suhu dan kelembaban relatif rata-rata bulanan di empat titik wilayah di Sulawesi Utara berdasarkan perhitungan diperoleh persentase frekuensi kejadian tingkat kenyamanan yang dikategorikan pada tiga tingkat kenyamanan yaitu Nyaman, Sebagian Nyaman dan Tidak Nyaman [10]. Seperti yang terlihat pada Gambar 2. Tingkat kenyamanan di Kota Manado yang diwakili oleh titik pengamatan di Stasiun Meteorologi Sam Ratulangi Manado menunjukkan Kota Manado periode 2008-2017 hari Nyaman 5,7% (209 hari), Sebagian Nyaman 87% (3177 hari) dan Tidak Nyaman 7,3% (267 hari) serta analisis pertahun Nyaman 21 hari/tahun, Sebagian Nyaman 318 hari/tahun, Tidak Nyaman 27 hari/tahun



Gambar 2. Tingkat kenyamanan di Manado.

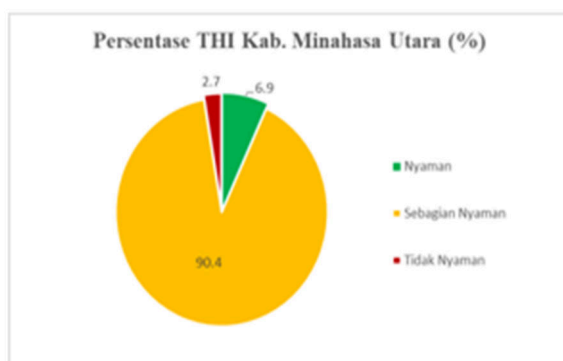
Tingkat kenyamanan di Kota Bitung yang diwakili oleh titik pengamatan di Stasiun Meteorologi Bitung seperti yang terlihat pada Gambar 3. Menunjukkan Kota Bitung periode 2008-2017 hari Nyaman 0,1% (4 hari), Sebagian Nyaman 62,4% (2280 hari) dan Tidak

Nyaman 37,5% (1368 hari) serta analisis pertahun Nyaman 0 hari/tahun, Sebagian Nyaman 228 hari/tahun, Tidak Nyaman 137 hari/tahun. Jika dilihat berdasarkan faktanya, letak Stasiun Meteorologi Bitung berada di dekat pantai dan Kota Bitung sendiri adalah sebagai kota pelabuhan terbesar di Sulawesi Utara.



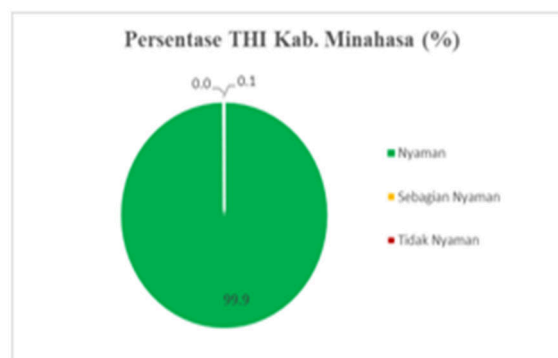
Gambar 3. Tingkat kenyamanan di Bitung.

Jika dilihat dari Gambar 4. Tingkat kenyamanan di Kabupaten Minahasa Utara yang diwakili oleh titik pengamatan di Stasiun Klimatologi Minahasa Utara menunjukkan Kabupaten Minahasa Utara periode 2008-2017 hari Nyaman 6,9% (252 hari), Sebagian Nyaman 90,4% (3304 hari) dan Tidak Nyaman 2,7% (98 hari) serta analisis pertahun Nyaman 25 hari/tahun, Sebagian Nyaman 330 hari/tahun, Tidak Nyaman 10 hari/tahun.



Gambar 4. Tingkat kenyamanan di Minahasa Utara.

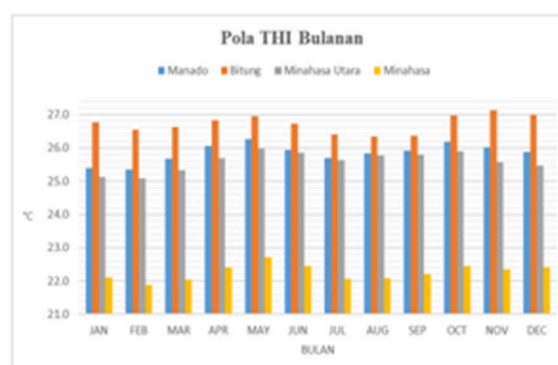
Tingkat kenyamanan di Kabupaten Minahasa yang diwakili oleh titik pengamatan di Pos Geofisika Tondano Minahasa seperti yang terlihat pada Gambar 5. Menunjukkan Kabupaten Minahasa periode 2008-2017 hari Nyaman 99,9% (3510 hari) dan Sebagian Nyaman 0,1% (5 hari) serta analisis pertahun Nyaman 351 hari/tahun dan Sebagian Nyaman 1 hari/tahun.



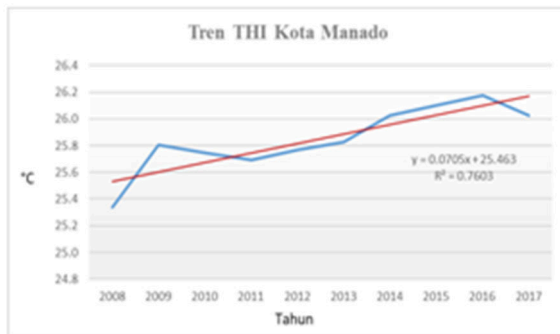
Gambar 5. Tingkat kenyamanan di Minahasa.

THI bulanan secara klimatologis pada Gambar 6. menunjukkan pola yang bimodal dengan puncak terjadi pada bulan Mei dan Oktober dan THI terendah terjadi pada bulan Juli dan Agustus. Hal ini sesuai dengan pola yang ditunjukkan oleh suhu udara di masing-masing kabupaten/kota. Kota Bitung memiliki THI bulanan yang tertinggi dibandingkan kota lainnya dengan rata-rata berkisar 26,7 °C dan terendah terjadi di kabupaten Minahasa dengan rata-rata berkisar 22,3 °C. Hal ini sejalan dengan sifat klimatologis dari suhu udara dan kelembapan relatif di kedua kabupaten/kota tersebut.

Berdasarkan Gambar 7, 8, 9, 10. Nilai THI tahunan cenderung meningkat dari tahun ke tahun selama periode 2008-2017 hampir di semua kota/kabupaten di wilayah penelitian kecuali Kota Bitung yang menunjukkan penurunan nilai THI. Peningkatan nilai THI terbesar setiap tahunnya terjadi di Kota Manado sebesar 0,07 °C/tahun atau 0,7 °C/10 tahun dan diikuti oleh Kabupaten Minahasa Utara sebesar 0.025 °C/tahun atau 0,25 °C/10 tahun. Selanjutnya, nilai THI meningkat sebesar 0,01 °C/tahun atau 0,1 °C/10 tahun terjadi di Kabupaten Minahasa. Sedangkan THI cenderung menurun di Kota Bitung dengan nilai yang kecil yaitu berkisar 0,018 °C/tahun atau 0,18 °C/10 tahun.



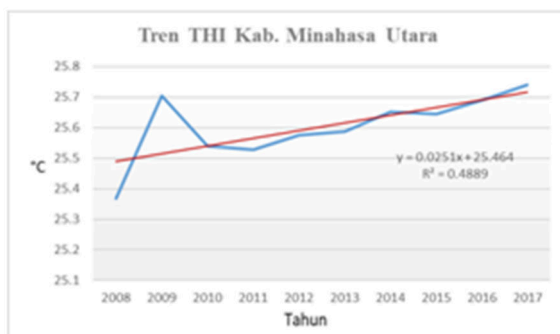
Gambar 6. Pola bulanan THI Sulawesi Utara.



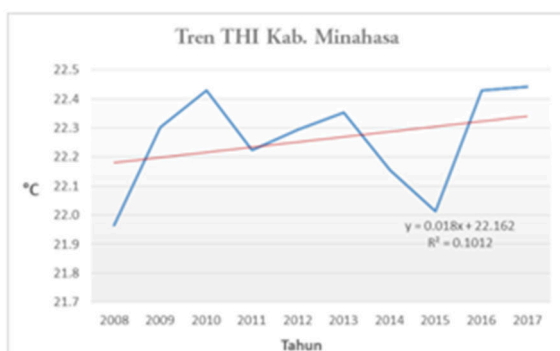
Gambar 7. Tren THI Manado.



Gambar 8. Tren THI Bitung.



Gambar 9. Tren THI Minahasa Utara.



Gambar 10. Tren THI Minahasa.

Terjadinya kecenderungan peningkatan nilai THI salah satunya disebabkan oleh semakin tingginya laju perkembangan urbanisasi di wilayah perkotaan. Perubahan penggunaan lahan umumnya dipengaruhi oleh baik faktor alam seperti karakteristik geografis dan tanah dan faktor sosial ekonomi seperti pertumbuhan penduduk, perencanaan

pembangunan, pengaturan penggunaan lahan, penzanaan dan peraturan lainnya yang terkait [11, 12]. Perubahan penutupan lahan akan mengubah sifat-sifat fisis permukaan seperti albedo, emisivitas, dan kekasapan permukaan yang berakibat mengubah panas yang diterima pada permukaan tersebut. Implikasinya adalah apabila suatu penutup lahan terkonversi dari lahan bervegetasi dan badan air menjadi menjadi daerah non vegetasi seperti pemukiman akan menyebabkan semakin meluasnya daerah panas dan kering. Apabila kondisi ini berlanjut akan menyebabkan tingkat kenyamanan akan berkurang menjadi tidak nyaman [5].

4. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis, secara klimatologis, rata-rata persentase tingkat kenyamanan termal harian menggunakan indeks THI di Manado, Bitung, Minahasa Utara dan Minahasa umumnya hanya sebagian populasi (28,15%) perkotaan merasakan Nyaman dan pada kategori Sebagian Nyaman dengan rata-rata sebesar 59,97%. dan kategori Tidak Nyaman terjadi sebesar 11,87%. Tingkat kenyamanan yang paling rendah dirasakan oleh penduduk Kota Bitung sedangkan perasaan nyaman di ruangan terbuka dirasakan oleh penduduk Kabupaten Minahasa. Kecenderungan peningkatan indeks THI terjadi hampir di semua kota kecuali Kota Bitung dengan laju terbesar dialami oleh kota Manado. Taraf signifikansi > 50% terjadi di Kota Manado. Bitung dan Kabupaten Minahasa Utara sehingga tingkat kenyamanan dari tahun ke tahun semakin tidak nyaman di ketiga kota tersebut.

Saran

Bagi penulis lain yang ingin melanjutkan penelitian ini, atau membuat penelitian yang sama di tempat lain agar mencari data yang lebih panjang agar hasil semakin representatif. Analisis THI di Manado dan kota/kabupaten penyangganya ini dapat dimanfaatkan sebagai pertimbangan penambahan Ruang Terbuka Hijau (RTH) di wilayah tersebut. Selain itu dapat digunakan juga sebagai pertimbangan dalam perancangan dan desain bangunan perkotaan yang menyesuaikan dengan kenyamanan manusia yang bermukim.

Daftar Pustaka

- [1] K. H. Tan, N. Merdikawati, M. Amri, K. Y. Tan. (2016). *Analisis Daya Saing Provinsi Dan Wilayah Menjaga Momentum Pertumbuhan*. World Scientific.
- [2] Badan Pusat Statistik. (2020, Juni 11). *Provinsi Sulawesi Utara Pertumbuhan Ekonomi 2019*. Retrived from <https://sulut.bps.go.id/pressrelease/2020/02/05/698/pertumbuhan-ekonomi-sulawesi-utara-2019-.html>.
- [3] Badan Pusat Statistik. (2020, Juni 11) . *Provinsi Sulawesi Utara Sulawesi Utara Dalam Angka 2019*. Retrived from <https://sulut.bps.go.id/publication/2019/08/16/bbc7a944cf4fece77fc29a86/provinsi-sulawesi-utara-dalam-angka-2019.html>.
- [4] S. Effendy. (2007). *Keterkaitan Ruang Terbuka Hijau dengan Urban Heat Island Wilayah Jabodetabek*. Disertasi, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [5] Y. Kalfuadi, (2009). *Analisis temperature heat index dalam hubungannya dengan ruang terbuka hijau Studi Kasus Kabupaten Bungo - Provinsi Jambi*. Skripsi, FMIPA. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [6] T. Honjo. (2009). Thermal comfort in outdoor environment. *Global environmental research*, 13, 43-47.
- [7] F. Idealistina. (1991). *Model Termoregulasi Tubuh untuk Penentuan Besaran Kesan Thermal Terbaik dalam kaitannya dengan Kinerja Manusia*. Tesis, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [8] M. Wirasmita., dkk. (2003). *Aplikasi Iklim Terhadap Perkembangan Urban*. Metropolitan.
- [9] A. Alam, Purwitasari, D. N. Widhawati, R. Fardiansyah, A. R. Tualeka. (2014). Factors Related to Subjective Complaint of Heat Pressures in Employees Basement Mtc Karebosi Makassar. *International Refereed Journal of Engineering and Science*, Volume 3, Issue 12. PP.49-54.
- [10] Nieuwol, S. (1977). *Tropical climatology*. London: Wiley.
- [11] Emmanuel, R. (2004). Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: The Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka. *J Build Environm.* 40:1591-1601.
- [12] E. Rustiadi, D. O. Pribadi, A. E. Pravitasari, G. S. Indraprahasta, and L. S. Iman. (2014). *Urban Development Challenges, Risks and Resilience in Asian Mega Cities*. Springer.

DIURNAL RAINFALL ON TROPICAL CYCLONE CEMPAKA AND DAHLIA AS OBSERVED BY TRMM

PENGAMATAN CURAH HUJAN HARIAN PADA SIKLON TROPIS CEMPAKA DAN DAHLIA OLEH DATA TRMM

Reza Bayu Perdana^{1*}, Mutiara Halida², Setyo Aji Pramono³

^{1,3}Pusat Database BMKG

²Stasiun Klimatologi Tangerang Selatan

*Email: reza.perdana@bmkg.go.id

Naskah masuk: 20 Desember 2019, Naskah diperbaiki: 25 Juni 2020, Naskah diterima: 27 Juli 2020

ABSTRACT

Two tropical cyclones (TC) were observed at the southern part of Indonesia's ocean at the end 2017, and were the first and second cyclones that were under Indonesia Tropical Cyclone Warning Centre's (TCWC) responsibility after TC Bakung in 2010. TC Cempaka formed in the southern part of Central Java Province's ocean and caused high rainfall over the south part of Java island while TC Dahlia formed in the southern part of Banten Province's ocean with lesser impact to rainfall due to its further distance from Java island than TC Cempaka storms. This research aims to understand and to compare both diurnal cycles of precipitation in the ocean where the two TCs occurred and in the land area that were impacted by the TCs. Data used in this research are three hourly averaged rainfall data from Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM) and Automatic Rain Gauge (ARG). Data from TRMM, especially the 3B42RT are used to determine the diurnal rainfall of precipitation in the ocean, while data from ARG are used to determine the diurnal rainfall of precipitation in the land area. The method used in this research is time series analysis of rainfall intensity during the active phase of TCs from the phase of tropical disturbance to extinction phase. The result reveal that the rainfall intensity in the ocean where the TC occurred reaches peak at night and early morning, then weaken in the morning until afternoon. Different cycles are found on land area with rainfall intensity reaches peak during the day and night and weaken in the afternoon and early morning.

Keywords: storm, rainfall, cycle

ABSTRAK

Dua siklon tropis teramati di perairan bagian selatan Indonesia pada akhir 2017, menjadi siklon tropis pertama dan kedua yang terjadi di wilayah tanggung jawab Indonesia setelah siklon tropis Bakung pada 2010. Siklon tropis Cempaka terbentuk di perairan sebelah selatan Provinsi Jawa Tengah dan menyebabkan curah hujan tinggi di wilayah selatan pulau Jawa. Siklon tropis Dahlia terbentuk di sebelah selatan Provinsi Banten dengan pengaruh yang lebih kecil terhadap curah hujan di daratan disebabkan jarak yang lebih jauh. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui siklus harian curah hujan yang terjadi pada kedua siklon tropis tersebut, serta siklus harian yang terjadi pada wilayah terdampak saat terjadi siklon tropis. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah curah hujan rata-rata per tiga jam dari Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM), khususnya data 3B42RT. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis time series. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa ketika terjadi siklon tropis, curah hujan mencapai puncak pada malam sampai dini hari, kemudian melemah pada pagi sampai sore hari. Pada daerah terdampak di daratan, puncak hujan terjadi pada siang dan malam hari, dan melemah pada sore dan dini hari.

Kata kunci: badai, curah hujan, siklus

1. Introduction

At the last of 2017, there were two tropical cyclones that appear in the southern ocean of Indonesia, precisely in the southern part of Java. The cyclones are TC Cempaka on November 27-30 and TC Dahlia from November 28 to December 2. These two cyclones are the first in the waters of southern Indonesia, as well as the third and fourth since Anggrek in 2008 and Bakung in 2010.

TC Cempaka appeared in southern Java on November 27, 2017, tend to move eastward and extinct on 30 November 2017. Based on maximum wind speed in the storm area, TC Cempaka was categorized as tropical depressions. The highest observed wind speed was 35 knots while the lowest recorded pressure was 998 mb. This category belongs to the lowest category of tropical cyclones. Although it was categorized as the weakest category for tropical cyclone, TC Cempaka gave a great impact to the land area in the south of Java island. This is due to the location of TC Cempaka which is closer to Java than any other tropical cyclone in Indonesian waters.

TC Dahlia appeared on 29 November 2017 in the western part of the island of Sumatra or southern part of Banten Province and moved to the southeast and began extinction on December 2, 2017. The maximum wind speed and pressure at the center of Dahlia storm categorized as tropical storm. The highest observed wind speed was 35 knots while the lowest recorded pressure was 998 mb. Whereas it was categorized higher than the Cempaka storm, the impact caused by Dahlia storms is smaller, due to the stormy location of Dahlia from the mainland. The track of TC Cempaka and TC Dahlia stored in the fig 1 and fig 2 as follows.

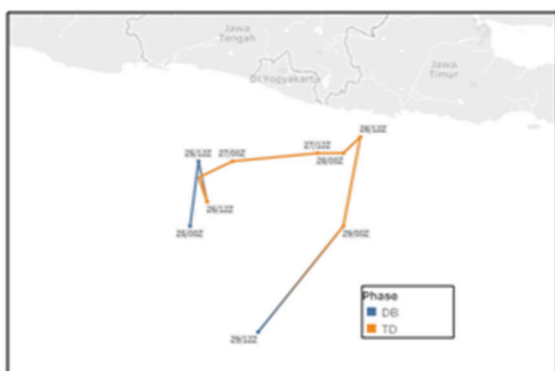


Figure 1. Track of Tropical Cyclone Cempaka

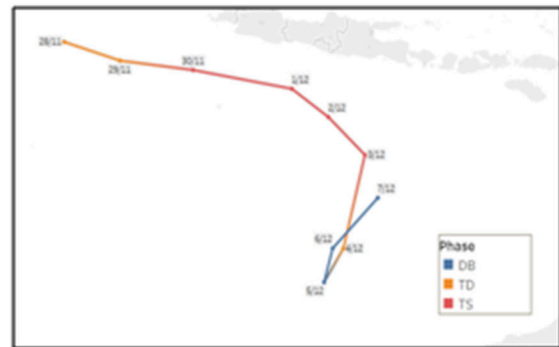


Figure 2. Track of Tropical Cyclone Dahlia

One of the weather conditions caused by tropical storms is precipitation, in the case of Cempaka and Dahlia storms that form in the tropics, it forms as rainfall. The purpose of the authors in this study is to observe the diurnal rainfall of rainfall that occurs in Cempaka and Dahlia storms.

Research on the diurnal cycle of rainfall in previous tropical storm conditions has been done by several studies, including Bowman, et al^[1], Wu^[7] and Leppert and Cecil^[5]. Bowman^[1] studied the tropical cyclone diurnal cycle in the Pacific Ocean climatologically using TRMM data. The result of this research is the recognition of rainfall patterns that reach the peak at night until early morning in the ocean area, and rainfall patterns that peak in the afternoon on the mainland. Wu et al (2014) examined rainfall patterns on the inner and outer circles of tropical cyclones using satellite data for a 15-year period, while Leppert and Cecil^[5] used TRMM and radar data to examine diurnal cycles in tropical cyclone more detail, conclude that the peak of rain intensity occurred in the early morning.

2. Methods

Data used in this research are three-hourly averaged rainfall intensity data from Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), especially from 3B42RT data. TRMM data has a spatial resolution of 0.25 x 0.25 degrees with map coverage reaching 50 degrees north latitude as well as southern latitude. The data taken are 3-hour series data during the storm (since grew to extinction). Data taken in the span of November 26, 2017 at 22:30 UTC to December 7, 2017 at 22:30 UTC. It is a time series data that already represents 2 cyclone phenomena where cempaka cyclone occurred on 27-30 November 2017, and dahlia cyclone occurred on 29 November 2017 - 2 December 2017. Retrieval of initial and final data was longer than the date of the phenomenon of cyclone events in order

to compare the cycle differences on prior, onset, and after cyclones.

Location data taken on the TRMM website was focused within -19.875 S to -0.125 S and 90.125 E to 119.875 E. This area included two cyclone phenomena.

The locations of the storm coordinate were taken from NASA where the web shows the movement of storms every 6 hours complete with storm coordinates location data.

This research uses the method of diurnal analysis of average rainfall intensity per hour obtained from TRMM 3B42RT data. This study does not distinguish between inner and outer circumference of storms due to storm diameters ranging from 100-150 km. Data series then plotted based on time stamp.

Subsidiary data used in this paper is rainfall intensity data from Geophysics Station of Yogyakarta. Diurnal rainfall analysis was performed for this location as a comparison of cyclone's, especially Cempaka. This location was chosen because it was the closest station to the Cempaka cyclone which records hourly rainfall.

3. Results and Discussion

Results of plot series TRMM rainfall intensity data for Cempaka and Dahlia storms were stored at fig 3 and fig 4 as follows. Red lines indicate the pre and post phase of the storm, while blue lines show the storm onset.

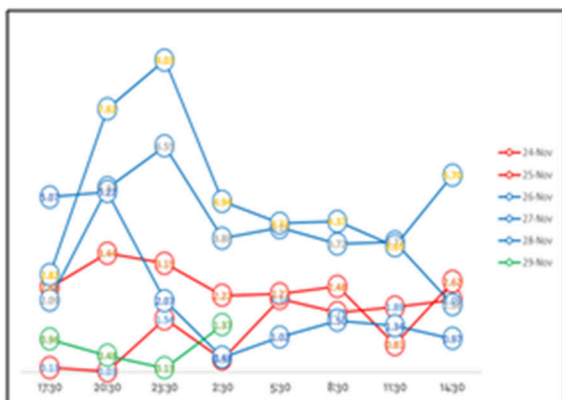


Figure 3. Three-hourly averaged rainfall intensity of TC Cempaka (mm/hr)

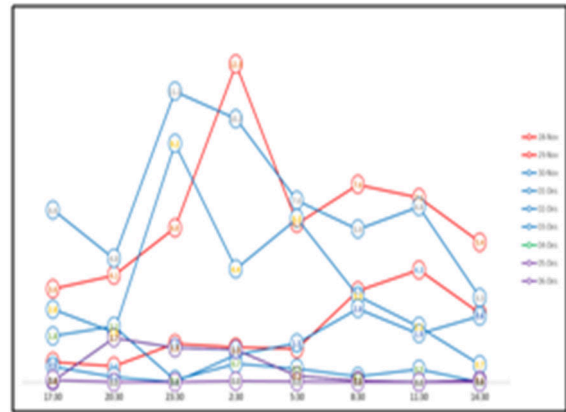


Figure 4. Three-hourly averaged rainfall intensity of TC Dahlia (mm/hr)

Graphs show clear diurnal variations in Cempaka storms, with peaks of rain intensity occurring at night and early morning, then storms subside in the morning until noon. Whereas in Dahlia storms there is variability in diurnal variations that change when the storm changes phase. At the time of the tropical depression phase, the peak rain intensity occurs during the day and decays at night until the early hours of the morning. This condition changes when the Dahlia storm enters the tropical cyclone phase, which is marked by the pressure drop at the center of the storm and the rising wind speed in the storm area. At the time of the tropical cyclone phase, an increase in rainfall intensity reaches 300% compared to the phase of tropical depression, and the intensity of rain reaches its peak at night until early morning and decays in the morning until noon. The variability occurring in this tropical cyclone phase is similar to the daily variations observed in Cempaka. This condition changes when Dahlia storms weaken into a tropical depression, the peak of rain intensity re-occurs in the morning until noon, just like the early tropical depressive phase before the tropical cyclone phase.

From the description of the rainfall charts presented in the above paragraph, it can be seen that in the case of Cempaka and Dahlia storms there is a similar pattern of daily rainfall during tropical storms reaching the peak phase of each storm, i.e. high rainfall intensity at night until early day, and weaker rain intensity in the morning until noon. This is possible because of the slow convection process due to cloud cover around the storm.

The variability in both storms, especially the Cempaka storm, also affects rainfall patterns on the affected land. From the rainfall charts in Yogyakarta Geophysical Station as showed in

Fig 5, it can be observed that the daily rain pattern in Yogyakarta Geophysical Station becomes high during the day and night, and weakens in the early hours and evenings. This happens when Cempaka is active. While on another day of the same month, the daily rainfall pattern of Yogyakarta Geophysical Station is higher rainfall during the day until night and lower in the early hours until the morning, such as the pattern of mainland rainfall in general due to the convective process.

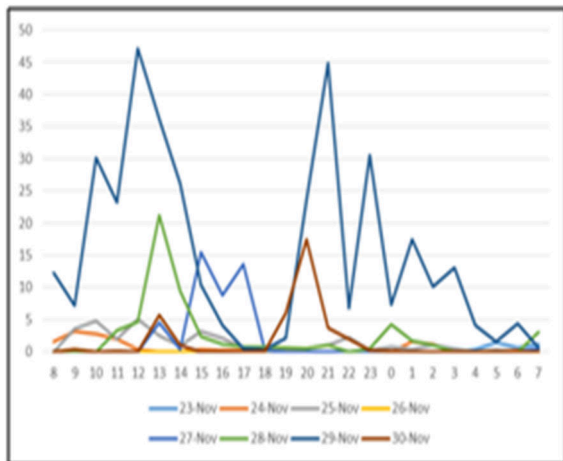


Figure 5. Rainfall intensity per hour in Geophysical Station of Yogyakarta. The X-axis shows local time.

4. Conclusion

The diurnal rainfall was clearly observed at the peak phase of TC Cempaka and TC Dahlia that formed in the southern seas of Indonesia, the rainfall graphs show the rainfall peak at night and early morning and weakening in the daylight until afternoon. While on land, the peak of rain occurs during the daylight and night, and weakens in the afternoon and early morning.

References

- [1] Bowman, K. P., J. C. Collier, G. R. North, Q. Wu, E. Ha., and J. Hardin.(2005). Diurnal cycle of tropical precipitation in Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite and ocean buoy rain gauge data, *J. Geophys. Res.*, 110, D21104, doi:10.1029/2005JD005763.
- [2] Bowman, K. Pand M. D. Fowler. (2015). The diurnal cycle of precipitation in tropical cyclones. *J. Climate*, 28, 5325–5334, doi:https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00804.1.
- [3] Cecil, D. Jand M. Wingo. (2009). Comparison of TRMM rain-rate retrievals in tropical cyclones. *J. Meteor. Soc. Japan*, 87A, 369–380, doi:https://doi.org/10.2151/jmsj.87A.369.
- [4] Gray, W. M., and R. W. Jacobson Jr. (1977). Diurnal variation of deep cumulus convection. *Mon. Wea. Rev.*, 105, 1171–1188, doi:https://doi.org/10.1175/1520-0493(1977)105<1171:DVODCC>2.0.CO;2
- [5] Leppert, D. K., and Cecil, D. J .(2016). Tropical Cyclone Diurnal Cycle as Observed by TRMM, *Monthly Weather Rev.*, 144, doi: 10.1175/MWR-D-15-0358.1
- [6] Simpson, J., Adler, R. F., and North, G. R. (1988). A Proposed Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Satellite. *Bulletin American Met. Soc.*, Vol 69.
- [7] Wu, Q., Z. Ruan, D. Chen, and T. Lian. (2015). Diurnal variations of tropicalcyclone precipitation in the inner andouter rainbands, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, 1–11, doi:10.1002/2014JD022190