

DETEKSI PERUBAHAN ZONA AGROKLIMAT SCHMIDT-FERGUSON MENGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DI KABUPATEN GORONTALO

Viky Vendy Moontuno¹, Sri Maryati², Syahrizal Koem^{3*}

¹Program Studi Pendidikan Geografi, Universitas Negeri Gorontalo, vikymoontuno@gmail.com

²Program Studi Pendidikan Geografi, Universitas Negeri Gorontalo, sri.maryati@ung.ac.id

^{3*}Program Studi Pendidikan Geografi, Universitas Negeri Gorontalo, s.koem@ung.ac.id

ABSTRAK

Abstrak: Penelitian ini menggunakan SIG untuk menganalisis pergeseran zona agroklimat berdasarkan Klasifikasi Schmidt-Ferguson di Kabupaten Gorontalo. Klasifikasi iklim Schmidt-Ferguson diestimasi menggunakan data curah hujan bulanan. Untuk setiap stasiun hujan dari tahun 1981 sampai 2020 dihitung jumlah Bulan Basah (BB), Bulan Kering (BK), dan Bulan Lembab (BL) selama 10, 20, dan 40 tahun. Kabupaten Gorontalo terdeteksi memiliki lima tipe iklim, yaitu: B, C, D, E, dan F. Tipe C mendominasi di stasiun pengamatan selama periode pengamatan 10 dan 20 tahun. Ada kecenderungan luas tipe C menurun sedangkan luas tipe D bertambah, dan iklim kering tipe E dan F berpotensi meningkat. Pemetaan zonasi iklim mempengaruhi sosial ekonomi masyarakat dalam perencanaan pertanian, khususnya pengelolaan lahan dan jenis tanaman. Hasil zonasi iklim yang terdeteksi perlu diverifikasi dengan teknologi penginderaan jauh menggunakan data citra satelit. Hal ini diperlukan karena kelemahan mendasar klasifikasi iklim adalah batas tipe iklim tidak sesuai dengan batas lanskap.

Kata Kunci: *Klasifikasi Schmidt-Ferguson; Curah Hujan; Zona Agroklimat*

Abstract: *This study uses GIS to analyze shifts in agro-climatic zones based on the Schmidt-Ferguson Classification in Gorontalo District. The Schmidt-Ferguson climate classification is estimated using monthly rainfall data. For each rain station from 1981 to 2020, the number of wet months (BB), dry months (BK), and humid months (BL) is calculated for 10, 20, and 40 years. Gorontalo District was detected to have five climate types, namely: B, C, D, E, and F. Type C dominated at observation stations during the 10 and 20-year observation period. There is a tendency for the area of type C to decrease while the area of type D increases, and the dry climate types E and F have the potential to increase. Climate zoning mapping affects the socio-economic community in agricultural planning, especially land management and plant types. The detected climate zoning results need to be verified with remote sensing technology using satellite imagery data. This is necessary because the fundamental weakness of climate classification is that the climate-type boundaries do not match the landscape boundaries.*

Keywords: *Schmidt-Ferguson Classification; Rainfall; Agroclimate Zone*

Article History:

Received: 15-06-2023

Revised : 21-07-2023

Accepted: 24-07-2023

Online : 11-09-2023



*This is an open access article under the
CC-BY-SA license*

A. LATAR BELAKANG

Perubahan zona iklim sebagai akibat dari pemanasan global telah terbukti memiliki efek luas pada sistem ekologi, salah satu pemicunya adalah antropogenik (Cui et al., 2021). Wilayah Indonesia yang memiliki tingkat risiko iklim sangat tinggi salah satunya adalah Kabupaten Gorontalo (DNPI, 2011), kondisi tersebut akan berdampak pada penurunan kualitas ekologi dimasa mendatang. Selain itu, Kabupaten Gorontalo berpotensi terkena dampak perubahan iklim seperti terganggunya ketersediaan air, penurunan produksi pangan, penyebaran hama dan penyakit tanaman. Perubahan iklim pasti akan memiliki dampak yang begitu besar sehingga akan lebih besar daripada potensi mitigasi mengadopsi teknik pertanian konservasi tanah (Borrelli et al., 2020).

Menurut As-syakur et al., (2011) iklim merupakan fitur lahan yang sangat sulit untuk dimitigasi, sehingga menjadi faktor pembatas yang signifikan dalam perencanaan pertanian di Indonesia. Fluktuasi alami iklim dapat meningkatkan tren kenaikan suhu jangka panjang dan berkontribusi pada ketidakpastian dalam proyeksi iklim, terutama pada skala regional (Hawkins, 2011). Oleh karena itu, perubahan iklim dapat menimbulkan kekhawatiran terhadap pertumbuhan dan menurunnya produksi tanaman. Menurut (King et al., 2018) daerah pertanian terancam oleh perubahan iklim dan permintaan pangan yang meningkat dapat menyebabkan perluasan lahan pertanian. Selain itu, iklim adalah elemen pembatas utama, di samping tuntutan sosial ekonomi dan kondisi edafis.

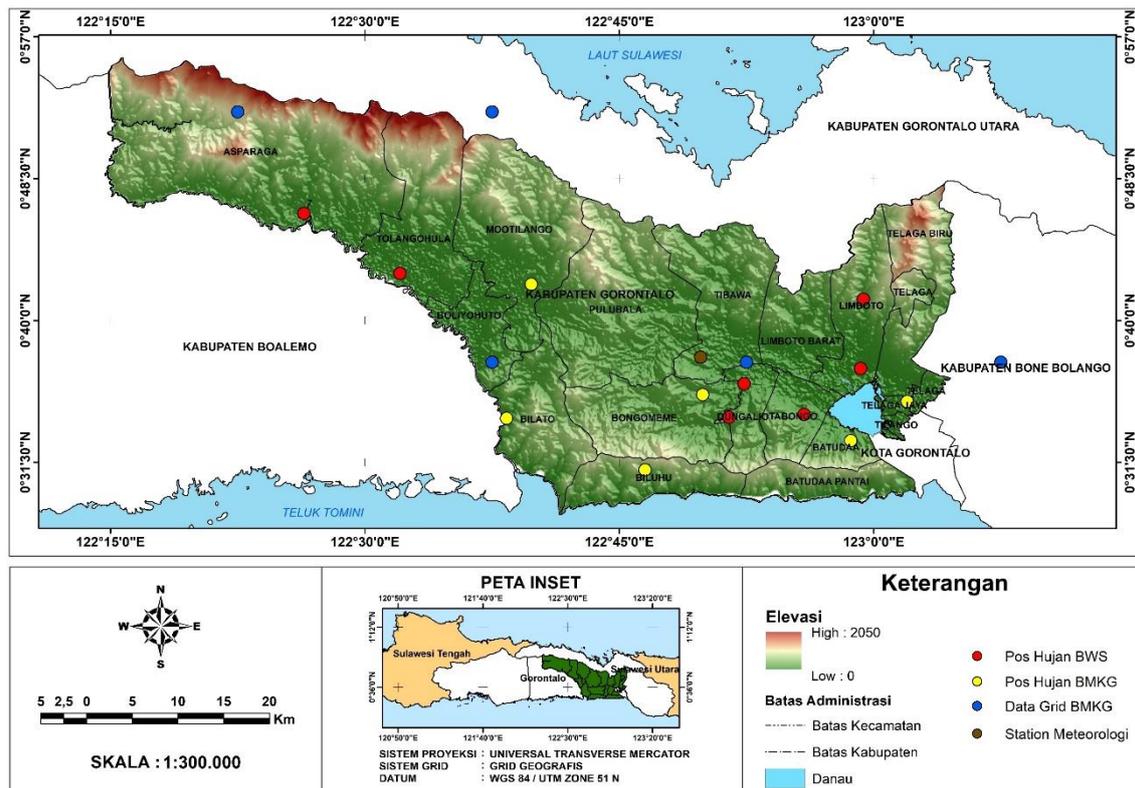
Untuk pertumbuhan dan produksi tanaman yang optimal serta persebarannya, beberapa peneliti menerapkan teknik regionalisasi iklim untuk memetakan variabilitas spasial tipe iklim Schmidt-Ferguson berdasarkan data curah hujan stasiun (Perdinan, Adi, et al., 2017; Saiya et al., 2020). Di Indonesia, pengelolaan sumberdaya alam hayati (pertanian, kehutanan, perkebunan, perikanan, dan peternakan) seringkali menggunakan zonasi iklim Schmidt-Fergusson sebagai landasannya (Wiyono & Sunarto, 2016). Penentuan klasifikasi iklim dan mendeteksi pergeserannya dapat dilakukan dengan mengolah data curah hujan. Perubahan pola curah hujan, sebagai dampak dari perubahan iklim dapat mempengaruhi perubahan tipe iklim pada sektor pertanian, sehingga berpotensi meningkatkan dan menurunkan hasil tanam (Licker et al., 2010).

Menurut sejumlah penelitian, pergeseran iklim dan perubahan zona iklim merupakan akibat dari perubahan iklim (Alfiandy et al., 2021; Beck et al., 2018; Jylhä et al., 2010). Maka salah satu upaya untuk mengurangi dampak perubahan iklim terhadap sektor pertanian adalah dengan merevisi zona iklim. Zonasi iklim klasifikasi Schmidt-Ferguson yang menerapkan Q-ratio jumlah bulan kering terhadap bulan basah, berdasarkan klasifikasi tersebut, bulan kering adalah saat curah hujan ≤ 60 mm dan basah saat ≥ 100 mm (Rahmawati & Lubczynski, 2018). Klasifikasi iklim Schmidt-Ferguson memiliki keunggulan karena sesuai untuk wilayah tropis dan pemrosesan data sederhana (Rahmanto et al., 2022). Tujuan penelitian ini adalah menganalisis perubahan zona agroklimat di Kabupaten Gorontalo berdasarkan Klasifikasi Schmidt-Ferguson.

B. METODE PELAKSANAAN

1. Lokasi Penelitian

Wilayah Kabupaten Gorontalo berbatasan dengan sebagian besar kabupaten/kota di Provinsi Gorontalo. Wilayah ini terletak pada koordinat astronomi $121^{\circ}15'9''$ - $123^{\circ}32'$ Bujur Timur dan $0^{\circ}24''$ - $10^{\circ}02''$ Lintang Utara. Luas wilayah Kabupaten Gorontalo mencapai $2.125,47 \text{ km}^2$ dan dibatasi oleh Kabupaten Gorontalo Utara di sebelah utara dan berbatasan dengan Kabupaten Bone Bolango dan Kota Gorontalo di sebelah timur, Kabupaten Boalemo di sebelah barat, dan Teluk Tomini di sebelah selatan. Kabupaten Gorontalo merupakan salah satu penghasil komoditas pertanian di Provinsi Gorontalo, khususnya jagung.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2. Data Curah Hujan

Penelitian ini memanfaatkan data curah hujan bulanan dari tahun 1981 sampai 2020 di Kabupaten Gorontalo. Data curah hujan bulanan untuk 17 stasiun berada di dalam wilayah administrasi Kabupaten Gorontalo dan 2 stasiun di luar Kabupaten Gorontalo. Data diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi (BWS) II untuk 7 titik stasiun, 7 stasiun cuaca BMKG, dan data grid dengan resolusi $0,25^{\circ}$ untuk 5 titik yang diperoleh dari situs sacad.database.bmkg.go.id/grid/web/. Data grid diperlukan untuk mengisi data observasi yang hilang dan untuk menyediakan representasi distribusi lokasi yang akurat. Selain itu, stasiun yang tidak memiliki data curah hujan yang lengkap diestimasi dengan menggunakan metode *The Inverse Distance Weighting Interpolator* seperti penelitian yang dilakukan oleh (Koem & Rusiyah, 2017, 2018). Selain itu, untuk tambahan data curah diperoleh dari website iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/NOAA/.

3. Analisis Data Spasial

a. Pengolahan Klasifikasi iklim Schmidt-Ferguson

Pengolahan klasifikasi iklim Schmidt-Ferguson menggunakan perangkat Sistem Informasi Geografis (SIG). Klasifikasi Schmidt-Ferguson hanya menggunakan data curah hujan sebagai kriteria klasifikasi tahapan pengembangan klasifikasi iklim Schmidt-Ferguson. Data curah hujan bulanan dikumpulkan untuk periode 1981-2020 untuk setiap stasiun hujan di Kabupaten Gorontalo, kemudian ditentukan jumlah bulan basah (BB), bulan kering (BK) dan bulan basah bulan (BL) selama periode 10, 20, dan 40 tahun. Penentuan kriteria yang digunakan sebagai berikut (Koesmaryono & Handoko, 1994):

- Bulan kering (BK) : bulan dengan hujan < 60 mm
- Bulan lembab (BL) : bulan dengan hujan antara 60-100 mm,
- Bulan basah (BB) : bulan dengan hujan > 100 mm

Menentukan BK, BL, dan BB setiap tahun selama periode pengamatan (10, 20, dan 40 tahun), dengan menjumlahkan dan dihitung rata-ratanya. Nilai Q digunakan untuk menentukan tipe iklimnya, dengan rumus, $Q = BK/BB \times 100\%$. Berdasarkan nilai Q maka diperoleh delapan tipe iklim Schmidt-Ferguson (Tabel 1).

Tabel 1. Klasifikasi Iklim Schmidt-Ferguson

Tipe iklim	Karakteristik		Nilai Q (%)
	Daerah	Vegetasi	
A	Sangat basah	Hutan hujan tropika	$0 < Q < 14.3$
B	Basah	Hutan hujan tropika	$14.3 < Q < 33.3$
C	Agak basah	Hutan rimba	$33.3 < Q < 60$
D	Sedang	Hutan musim	$60 < Q < 100$
E	Agak kering	Hutan sabana	$100 < Q < 167$
F	Kering	Hutan sabana	$167 < Q < 300$
G	Sangat kering	Padang ilalang	$300 < Q < 700$
H	Ekstrim kering	Padang ilalang	$700 < Q$

Sumber: (Koesmaryono & Handoko, 1994)

b. Distribusi Spasial Schmidt-Ferguson

Distribusi spasial zona agroklimatologi Schmidt-Ferguson menggunakan teknik *Inverse Distance Weighted* (IDW). Metode IDW banyak digunakan khususnya untuk menginterpolasi hasil ekstrak dari data curah hujan dan dapat memberikan hasil yang baik dibandingkan dengan metode lain (Chen & Liu, 2012; Lu & Wong, 2008). Metode IDW dipakai karena selain memiliki nilai RMSE yang paling rendah. Ini juga mengasumsikan bahwa permukaan dipengaruhi oleh perubahan lingkungan. Sebaran stasiun penakar hujan yang digunakan dalam penelitian ini cukup seragam. IDW cocok digunakan untuk interpolasi data yang jarang pada grid atau sampel dengan jarak yang tidak teratur (Li & Heap, 2014). Hasil klasifikasi zona agroklimat Schmidt-Ferguson dari IDW, selanjutnya dihitung nilai persentase zona agroklimat berdasarkan luas wilayah penelitian.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kondisi Iklim Wilayah Kajian

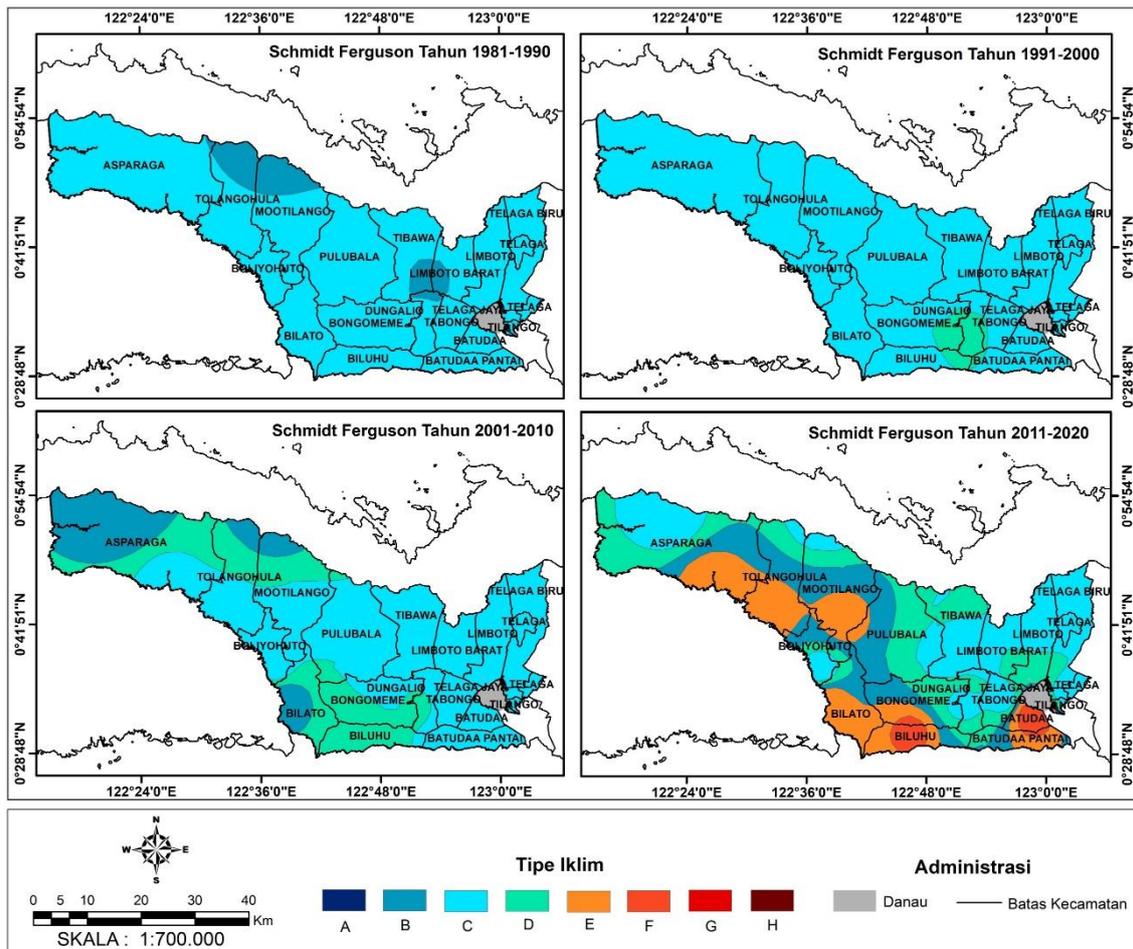
Secara klimatologis Kabupaten Gorontalo merupakan wilayah yang tidak mempunyai batas yang jelas antara musim hujan dan kemarau. Oleh karena itu Kabupaten Gorontalo digolongkan sebagai wilayah Non-ZOM 51, dengan curah hujan kumulatif Maret-Agustus berkisar antara 501-1000 mm dan sifat hujan kumulatif dalam kategori 'Normal' (BMKG, 2022). Diseluruh stasiun pengamatan curah hujan, menunjukkan puncak curah hujan terjadi pada bulan Mei dan curah hujan terendah terjadi pada bulan September, sedangkan jumlah hari hujan di Kabupaten Gorontalo berkisar antara 15-17 hari per bulan (Koem & Rusiyah, 2017, 2018). Suhu minimum rata-rata yaitu 23°C dan suhu maksimum rata-rata yaitu 32°C (Koem et al., 2022).

2. Zona Agroklimat Schmidt-Ferguson Per 10 Tahun

Deteksi perubahan zona agroklimat dilakukan setiap 10 tahunan masing-masing 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010, dan 2011-2020. Berdasarkan hasil pemetaan di peroleh bahwa, tahun 1981-1990 wilayah Kabupaten Gorontalo memiliki dua tipe iklim yaitu B dan C. Luas tipe C mendominasi hingga mencapai 92% dari luas wilayah, sedangkan luas tipe B hanya mencapai 8% dari luas wilayah yaitu disebagian Kecamatan Toalangohula, Mootilango, Tibawa dan Limboto Barat. Pada tahun 1991-2000 tipe C masih mendominasi dengan luas mencapai 96%, sedangkan disebagian Kecamatan Bongomeme, Dungalio, da Biluhu terdeteksi memiliki tipe iklim D dengan luas mencapai 4% (Gambar 2). Jika dibandingkan dengan periode sebelumnya (1981-1990), tidak mengalami perubahan tipe iklim yang signifikan, karena masih didominasi oleh satu tipe iklim yaitu C. Hal ini dapat disebabkan oleh pola curah hujan tahunan pada periode-periode tersebut hampir sama (Avia, 2019), meskipun tahun 1981-1990 merupakan periode terendah peningkatan curah hujan akibat dari aktivitas El Nino (Irwandi et al., 2019). Selain itu, kondisi El Nino pada periode 1981-1990 tidak menunjukkan pengaruh perubahan tipe iklim, karena penentuan tipe iklim didasarkan pada perhitungan jumlah bulan basah dan bulan kering.

Tahun 2001-2010 terdapat tiga tipe zona iklim yaitu B, C dan D yang tampak lebih jelas. Dimana tipe zona iklim C mencapai 61% dari luas wilayah yang tersebar dari wilayah tengah sampai timur Kabupaten Gorontalo. Luas tipe B mencapai 15% dari luas wilayah yang tersebar disebagian kecil Kecamatan Asparaga, Tolangohula, Mootilango dan Bilato. Tipe iklim D mencapai 24% dari luas wilayah (Gambar 2). Tahun 2001-2010 menunjukkan pergeseran yang jelas jika dibandingkan dengan dua periode sebelumnya, dimana terjadi peningkatan luas pada tipe B dan D, dan penurunan luas pada tipe C. Hasil klasifikasi Schmidt-Ferguson menunjukan tipe iklim yang lebih bervariasi pada tahun 2011-2020, dimana tipe C memiliki persentase lebih tinggi, yaitu sebesar 29% dari luas wilayah, sedangkan untuk tipe B, D, E, dan F lebih kecil masing-masing 21, 27, 20, dan 3% dari luas wilayah. Berdasarkan hasil analisis diperoleh bahwa, terdapat kecenderungan peningkatan jumlah bulan kering, akibat dari terdeteksinya tipe iklim E (agak kering) dan F (kering) atau terjadi kecenderungan perubahan tipe

mendekati kering. Hal tersebut di dukung oleh penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa, terjadi peningkatan luas pada tipe iklim kering dan terjadi penurunan pada tipe iklim basah berdasarkan proyeksi perubahan iklim mendatang (Azizah, 2020). Selain itu, hasil analisis untuk nilai Q rata-rata periode 1981-1990, 1991-2000, dan 2001-2010, masing-masing 38, 50, dan 44% dengan demikian pada tiga periode tersebut menunjukkan tipe iklim C (agak basah) dengan karakteristik vegetasi berupa hutan rimba, sedangkan periode 2011-2020 diperoleh nilai Q rata-rata sebesar 62% menunjukkan tipe iklim D (sedang) dengan karakteristik vegetasi berupa hutan musim.

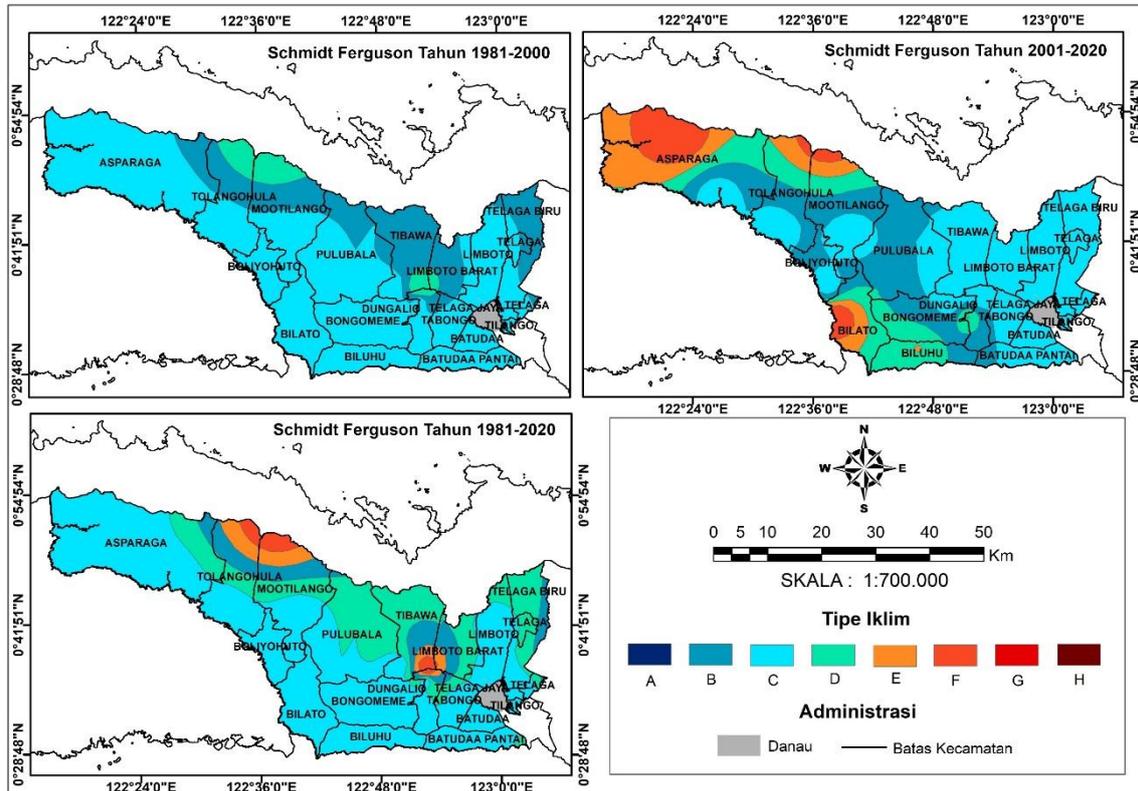


Gambar 2. Zona Agroklimat klasifikasi Schmidt-Ferguson Tahun 1981-2020

3. Zona Agroklimat Schmidt-Ferguson Per 20 dan 40 Tahun

Hasil analisis yang dilakukan menggunakan klasifikasi Schmidt-Ferguson pada tahun 1981-2000 memiliki tiga tipe iklim yaitu B, C dan D. Tipe C merupakan tipe yang mendominasi dengan persentase mencapai 72% dari luas wilayah. Tipe ini tersebar dari bagian barat, tengah, hingga bagian selatan selatan Kabupaten Gorontalo. Tipe B menjadi yang terbesar ke dua dengan persentase mencapai 23% dari luas wilayah, sedangkan untuk tipe iklim D sebesar 5% yang tersebar di bagian utara dan timur Kabupaten Gorontalo (Gambar 3). Tahun 2001-2020 terdeteksi lima tipe iklim yaitu tipe B, C, D, E, dan F, dengan persentase masing-masing 25, 42, 15, 11, dan 7% dari luas wilayah. Berdasarkan hasil perhitungan periode 1981-2000 dan 2001-2020 diperoleh nilai Q rata-rata masing-masing 44 dan 53% dengan tipe C (agak basah) dengan karakteristik vegetasi hutan rimba.

Perubahan atau pergeseran zona iklim yang terjadi didorong oleh perubahan iklim, yang secara langsung memengaruhi pola curah hujan, suhu, dan evapotranspirasi yang berimplikasi pada pertumbuhan tanaman. Perubahan zona agroklimat pada periode 10 dan 20 tahunan dipengaruhi oleh variasi curah hujan sebagai input utama. Disisi lain, faktor perubahan iklim berkontribusi dalam variasi temporal curah hujan, sehingga berdampak signifikan pada produksi pertanian (Shortridge, 2019). Sebagai contoh, variasi musiman dan bulanan curah hujan mempengaruhi neraca air lahan, sehingga penting untuk melakukan penyesuaian jenis tanaman (King et al., 2018).



Gambar 3. Zona Agroklimat Schmidt-Ferguson 20 dan 40 Tahun

Hasil analisis menggunakan klasifikasi Schmidt-Ferguson periode 1981-2020 (40 tahun) terdeteksi lima tipe iklim, yaitu B, C, D, E dan F. Pada periode ini tipe C masih mendominasi sebesar 63% dari luas wilayah, sedangkan untuk tipe B, D, E, dan F masing-masing sebesar 8, 24, 3, dan 2% dari luas wilayah (Gambar 3). Selain itu, diperoleh nilai Q rata-rata sebesar 48%, yang menguatkan bahwa wilayah Kabupaten Gorontalo memiliki tipe iklim C dengan karakteristik vegetasi hutan rimba. Pemetaan zonasi iklim ini sangat penting dalam menyusun perencanaan dalam bidang pertanian khususnya pengelolaan lahan dan jenis tanaman, agar berdampak pada sosial-ekonomi masyarakat. Namun, pemanfaatan kawasan hutan di wilayah tropis perlu melakukan sinergi agar hutan tetap lestari dan meningkatkan nilai manfaatnya bagi masyarakat (Njurumana et al., 2020).

D. SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan klasifikasi iklim Schmidt-Ferguson, Kabupaten Gorontalo terdeteksi memiliki lima tipe iklim yaitu, B, C, D, E, dan F. Selain itu, secara rata-rata pada stasiun pengamatan, tipe C merupakan tipe yang dominan di Kabupaten Gorontalo. Namun, hasil analisis menunjukkan terjadi penurunan luas untuk tipe C dan terjadi peningkatan luas pada tipe D pada periode pengamatan 10 dan 20 tahunan. Potensi peningkatan juga terjadi pada tipe E dan F yang merupakan tipe iklim kering. Kondisi ini mendorong untuk melakukan perencanaan dalam menentukan pola tanam berdasarkan kondisi iklim secara spasial, serta mengatur alokasi air irigasi (Yasa et al., 2022). Selain itu, variabilitas curah hujan akibat perubahan iklim perlu dipertimbangkan memetakan zona iklim. Ini penting karena membantu dalam merencanakan adaptasi untuk ketahanan pangan dalam menghadapi perubahan iklim (Perdinan, Atmaja, et al., 2017).

Studi mengenai analisis perubahan tipe iklim dengan pendekatan geospasial perlu dilakukan dengan mengkombinasikan berbagai data dan metode agar hasil yang diperoleh lebih akurat. Sebagai contoh, mempertimbangkan faktor perubahan iklim, serta hubungan fisiologis antara suhu dan pertumbuhan tanaman, untuk menilai pergeseran zona iklim pertanian (King et al., 2018). Selain itu, hasil zonasi iklim yang teridentifikasi juga harus diverifikasi dengan teknologi penginderaan jauh, yaitu melalui penggunaan data citra satelit. Hal ini perlu dilakukan mengingat kelemahan utama klasifikasi iklim terletak pada batas-batas tipe iklim tertentu yang tidak sesuai dengan batas bentang alam yang diamati (de Castro et al., 2007).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dari tim penulis kepada badan klimatologi (BMKG) dan Balai Wilayah Sungai (BWS) Sulawesi II yang telah memberikan data curah hujan bulanan sehingga dapat menyelesaikan artikel ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Alfiandy, S., Hadid, A., & Syakur, A. (2021). Pergeseran Zonasi Agroklimat di Wilayah Banggai Provinsi Sulawesi Tengah Akibat Perubahan Iklim. *Buletin GAW Bariri*, 2(1). <https://doi.org/10.31172/bgb.v2i1.47>
- As-syakur, A. R., Suarna, I. W., Rusna, I. W., & Dibia, I. N. (2011). Pemetaan Kesesuaian Iklim Tanaman Pakan serta kerentanannya terhadap Perubahan Iklim dengan Sistem Informasi Geografi (SIG) di Provinsi Bali. *Pastura*, 1(1).
- Avia, L. Q. (2019). Change in rainfall per-decades over Java Island, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 374(1), 012037. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/374/1/012037>
- Azizah, S. N. (2020). *Proyeksi Klasifikasi Iklim Oldeman Pulau Jawa Berdasarkan Skenario Perubahan Iklim* [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor.
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5(1), 180214. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- BMKG. (2022). Prakiraan Musim Kemarau 2022 di Indonesia. *Badan Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika*, 1-44.
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J. E., Alewell, C., Wuepper, D., Montanarella, L., & Ballabio, C. (2020). Land use and climate change impacts on

- global soil erosion by water (2015-2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(36). <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>
- Chen, F.-W., & Liu, C.-W. (2012). Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan. *Paddy and Water Environment*, 10(3), 209–222. <https://doi.org/10.1007/s10333-012-0319-1>
- Cui, D., Liang, S., & Wang, D. (2021). Observed and projected changes in global climate zones based on Köppen climate classification. *WIREs Climate Change*, 12(3). <https://doi.org/10.1002/wcc.701>
- de Castro, M., Gallardo, C., Jylha, K., & Tuomenvirta, H. (2007). The use of a climate-type classification for assessing climate change effects in Europe from an ensemble of nine regional climate models. *Climatic Change*, 81(S1), 329–341. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9224-1>
- DNPI. (2011). Pemetaan Kerentanan Di Daerah Provinsi Serta Inventarisasi Kebijakan Dan Kelembagaan Dalam Rangka Antisipasi Dampak Perubahan Iklim. *Dewan Nasional Perubahan Iklim. Kementerian BUMN*, 1–38.
- Hawkins, E. (2011). Our evolving climate: Communicating the effects of climate variability. *Weather*, 66(7). <https://doi.org/10.1002/wea.761>
- Irwandi, H., Syamsu Rosid, M., & Mart, T. (2019). Identification of the El Niño Effect on Lake Toba's Water Level Variation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 406(1), 012022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/406/1/012022>
- Jylhä, K., Tuomenvirta, H., Ruosteenoja, K., Niemi-Hugaerts, H., Keisu, K., & Karhu, J. A. (2010). Observed and projected future shifts of climatic zones in Europe and their use to visualize climate change information. *Weather, Climate, and Society*, 2(2). <https://doi.org/10.1175/2010WCAS1010.1>
- King, M., Altdorff, D., Li, P., Galagedara, L., Holden, J., & Unc, A. (2018). Northward shift of the agricultural climate zone under 21st-century global climate change. *Scientific Reports*, 8(1), 7904. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26321-8>
- Koem, S., Lahay, R. J., & Nasib, S. K. (2022). The sensitivity of meteorological drought index towards El Nino-Southern Oscillation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1089(1), 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1089/1/012005>
- Koem, S., & Rusiyah. (2017). Monitoring of Drought Events in Gorontalo Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 98, 012053. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/98/1/012053>
- Koem, S., & Rusiyah. (2018). Karakteristik Spasiotemporal Kekeringan Meteorologi Di Kabupaten Gorontalo Tahun 1981-2016. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 8(3), 355–364. <https://doi.org/10.29244/jpsl.8.3.355-364>
- Koesmaryono, Y., & Handoko. (1994). Klasifikasi Iklim. In Handoko (Ed.), *Klimatologi Dasar: Landasan Pemahaman Fisika Atmosfer dan Unsur-Unsur Iklim* (Edisi Kedua, pp. 1–192). Pustaka Jaya.
- Li, J., & Heap, A. D. (2014). Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environmental Modelling & Software*, 53, 173–189. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.12.008>
- Licker, R., Johnston, M., Foley, J. A., Barford, C., Kucharik, C. J., Monfreda, C., & Ramankutty, N. (2010). Mind the gap: How do climate and agricultural management explain the “yield gap” of croplands around the world? *Global Ecology and Biogeography*, 19(6). <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00563.x>
- Lu, G. Y., & Wong, D. W. (2008). An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Computers and Geosciences*, 34(9). <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.07.010>
- Njurumana, G. N., Ginoga, K., & Octavia, D. (2020). Sustaining farmers livelihoods through community forestry in Sikka, East Nusa Tenggara, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 21(8). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210846>
- Perdinan, Adi, R. F., Sugiarto, Y., Arifah, A., Arini, E. Y., & Atmaja, T. (2017). Climate regionalization for main production areas of Indonesia: Case study of West Java. *IOP*

- Conference Series: Earth and Environmental Science*, 54(1), 012031.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/54/1/012031>
- Perdinan, Atmaja, T., Sehabuddin, U., Sugiarto, Y., Febrianti, L., & Adi, R. F. (2017). Deriving vulnerability indicators for crop production regions in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 54, 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/54/1/012005>
- Rahmanto, E., Rahmabudhi, S., & Kustia, T. (2022). Kajian Analisis Spasial Penentuan Tipe Iklim Menurut Klasifikasi Schmidt – Ferguson Menggunakan Metode Thiessen – Polygon di Provinsi Riau. *Buletin GAW Bariri*, 3(1), 35–42. <https://doi.org/10.31172/bgb.v3i1.66>
- Rahmawati, N., & Lubczynski, M. W. (2018). Validation of satellite daily rainfall estimates in complex terrain of Bali Island, Indonesia. *Theoretical and Applied Climatology*, 134(1–2). <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2290-7>
- Saiya, H. G., Hiariej, A., Pesik, A., Kaya, E., Hehanussa, M. L., & Puturuhu, F. (2020). Dispersion of tongka langit banana in buru and seram, maluku province, indonesia, based on topographic and climate factors. *Biodiversitas*, 21(5). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210529>
- Shortridge, J. (2019). Observed trends in daily rainfall variability result in more severe climate change impacts to agriculture. *Climatic Change*, 157(3–4), 429–444. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02555-x>
- Wiyono, J., & Sunarto. (2016). Regional Resource Management Based on Landscape Ecology in Northern Muria Peninsula, Central Java. *Indonesian Journal of Geography*, 48(1), 54. <https://doi.org/10.22146/ijg.12467>
- Yasa, I. W., Sulistiyono, H., Saadi, Y., & Hartana, H. (2022). Spatial Climate Forecasting for Climatology Disaster Mitigation. *Environment and Ecology Research*, 10(6), 786–796. <https://doi.org/10.13189/eer.2022.100613>