

KETIMPANGAN INFRASTRUKTUR AIR DAN KERENTANAN KEKERINGAN DESA DI PROVINSI GORONTALO

Sitti Mutiah Rahman¹, Iswan Dunggio^{2,*}, and Sukirman Rahim³

¹²³Program Studi Kependudukan dan Lingkungan Hidup, Pascasarjana, Universitas Negeri Gorontalo
Jalan Jenderal Sudirman No. 6, 96128, Kota Gorontalo

*Correspondance author: iswan@ung.ac.id

ABSTRACT

Gorontalo Province is one of the main food barns in eastern Indonesia but has recently faced increasing drought risk. This study descriptively analyses the paradox of recurrent drought in an area that is physically rich in surface water resources by examining the distribution of water infrastructure and village-level drought exposure. A quantitative descriptive design was applied using secondary data from 732 villages/urban wards. Descriptive statistics (frequencies, percentages, and ratios) were used to map the distribution of water infrastructure and drought-affected villages. Two composite indices were constructed, namely the Water Vulnerability Index (Indeks Kerentanan Air/IKA) and the Infrastructure Gap Index (Indeks Kesenjangan Infrastruktur/IKI), to summarise structural deficits and infrastructure inequality. The results show that 195 villages (26.64%) experienced drought in 2023 early 2024, while 79.78% of villages have rivers and 78.28% depend on surface water. However, only 34.02% of villages are served by irrigation networks and 9.15% have water reservoirs (embung), indicating a sharp spatial inequality in man-made water infrastructure. The average IKI value of 61.09% reflects a high infrastructure gap, whereas the IKA value of -88.84 indicates a serious structural deficit in meeting water needs in drought affected villages. These descriptive findings confirm the existence of a “drought trap amid water abundance” in Gorontalo high surface-water potential has not been translated into water security without more equitable development of irrigation and storage infrastructure. The study recommends spatially targeted investments in small-scale irrigation and reservoirs in clusters of villages with very negative IKA and high IKI values. In addition, IKA and IKI can be used as operational indicators for local governments to plan and monitor village-level water security policies.

Keywords: Water Security, Drought, Water Infrastructure, Spatial Inequality, Gorontalo

ABSTRAK

Provinsi Gorontalo merupakan salah satu lumbung pangan di kawasan Indonesia timur, namun dalam beberapa tahun terakhir menghadapi peningkatan risiko kekeringan. Penelitian ini bertujuan mengkaji paradoks kekeringan berulang di wilayah yang secara biofisik kaya sumber daya air permukaan dengan menggunakan analisis statistik deskriptif terhadap ketimpangan infrastruktur air dan kerentanan desa. Desain penelitian yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan memanfaatkan data sekunder 732 desa/kelurahan. Statistik deskriptif berupa frekuensi, persentase, dan rasio digunakan untuk memetakan sebaran infrastruktur air dan desa terdampak kekeringan. Selanjutnya disusun dua indeks komposit, yaitu Indeks Kerentanan Air (IKA) dan Indeks Kesenjangan Infrastruktur (IKI), untuk merangkum kondisi defisit struktural dan ketimpangan infrastruktur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 195 desa (26,64%) mengalami kekeringan pada periode 2023 hingga awal 2024, sementara 79,78% desa memiliki sungai dan 78,28% desa bergantung pada air permukaan. Namun demikian, hanya 34,02% desa yang dilayani jaringan irigasi dan 9,15% yang memiliki embung, sehingga tampak ketimpangan spasial infrastruktur air buatan. Rata-rata nilai IKI sebesar 61,09% menggambarkan kesenjangan infrastruktur yang tinggi, sedangkan nilai IKA sebesar -88,84 menunjukkan defisit struktural yang serius dalam pemenuhan kebutuhan air desa terdampak kekeringan. Temuan ini menegaskan adanya “perangkap kekeringan di tengah kelimpahan air” di Provinsi Gorontalo potensi air permukaan yang melimpah belum terkonversi menjadi ketahanan air tanpa pengembangan infrastruktur irigasi dan tampungan yang lebih merata. Penelitian ini merekomendasikan investasi infrastruktur air yang terarah secara spasial, khususnya irigasi dan embung skala kecil pada klaster desa dengan IKA yang sangat negatif dan IKI yang tinggi, serta pemanfaatan IKA dan IKI sebagai indikator operasional dalam perencanaan ketahanan air di tingkat desa.

Kata Kunci: Ketahanan Air, Kekeringan, Infrastruktur Air, Ketimpangan Spasial, Gorontalo



ARTICLE INFO

Submission received: 1 June 2025

Accepted: 15 August 2025

Revised: 2 July 2025

Published: 30 August 2025

Available on: <https://doi.org/10.32493/sm.v7i3.54884>

StatMat: Jurnal Statistika dan Matematika is licenced under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

1. PENDAHULUAN

Provinsi Gorontalo dikenal sebagai salah satu lumbung pangan di kawasan Indonesia timur. Struktur ekonomi daerah ini didominasi oleh sektor-sektor yang sangat bergantung pada ketersediaan air, seperti pertanian, perkebunan, dan perikanan. Data statistik menunjukkan bahwa sebagian besar desa/kelurahan di Gorontalo menggantungkan mata pencaharian utama pada sektor-sektor berbasis sumber daya air.

Pada saat yang sama, perubahan iklim telah meningkatkan frekuensi dan intensitas bencana hidrometeorologi, terutama kekeringan. Dalam periode 2023 hingga awal 2024, tercatat 195 desa (26,64% dari total 732 desa/kelurahan) mengalami kejadian kekeringan. Angka ini menunjukkan bahwa lebih dari seperempat desa di Provinsi Gorontalo berada dalam kondisi rentan terhadap kekurangan air setidaknya pada satu musim tanam.

Paradoks muncul ketika kondisi tersebut dikaitkan dengan potensi air permukaan di Gorontalo. Sebanyak 79,78% desa memiliki sungai di wilayah administratifnya, dan 78,28% desa bergantung pada air permukaan sebagai sumber air utama. Dengan demikian, secara biofisik air hadir di lanskap, tetapi tidak selalu tersedia secara fungsional bagi rumah tangga dan sektor pertanian pada saat paling dibutuhkan. Fenomena ini dalam artikel ini dirujuk sebagai “perangkap kekeringan di tengah kelimpahan air”.

Salah satu penjelasan penting dari paradoks tersebut adalah ketimpangan pembangunan infrastruktur air. Sungai dan badan air permukaan memang tersebar luas, tetapi infrastruktur buatan untuk menyimpan dan menyalurkan air, seperti jaringan irigasi dan embung, relatif terbatas dan tidak merata. Hanya sekitar sepertiga desa (34,02%) yang dilayani jaringan irigasi, dan kurang dari satu dari sepuluh desa (9,15%) yang memiliki embung. Ketimpangan ini memunculkan kerentanan ganda, yakni risiko produksi akibat suplai air irigasi yang tidak memadai dan tidak pasti, serta risiko sosial-ekonomi akibat ketergantungan tinggi pada sektor-sektor yang peka terhadap iklim (Mulyono & Suryanto, 2020; Suharyanto & Nugroho, 2019).

Di tingkat nasional dan global, berbagai studi menegaskan bahwa pertanian sangat rentan terhadap variabilitas iklim dan kekeringan, serta menempatkan infrastruktur irigasi sebagai faktor kunci ketahanan pangan dan ketahanan air (*water security*) (Keil et al., 2008; Pahl-Wostl, 2009; Van Noordwijk et al., 2016; World Bank Group, 2020). Namun demikian, kajian empiris yang secara kuantitatif dan deskriptif memetakan ketidakseimbangan antara ketergantungan pada sektor pertanian, ketersediaan air permukaan, dan infrastruktur air buatan pada tingkat desa di Gorontalo masih terbatas.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini memfokuskan pada pemetaan statistik deskriptif terhadap infrastruktur air dan kerentanan kekeringan desa. Rumusan masalah disusun secara sederhana sebagai berikut:

1. Bagaimana gambaran sebaran desa terdampak kekeringan dan desa yang memiliki infrastruktur air di Provinsi Gorontalo?
2. Seberapa besar ketimpangan antara ketersediaan sumber air alami dan

infrastruktur air buatan pada tingkat desa?

3. Bagaimana gambaran kerentanan air desa dan kesenjangan infrastruktur air berdasarkan Indeks Kerentanan Air (IKA) dan Indeks Kesenjangan Infrastruktur (IKI)?

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi statistik yang mudah dipahami dan relevan bagi perumus kebijakan dalam pengembangan infrastruktur air dan penguatan ketahanan air di Provinsi Gorontalo.

2. METODOLOGI

2.1. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan deskriptif kuantitatif berbasis data sekunder pada tingkat desa/kelurahan ($N = 732$) di Provinsi Gorontalo. Rancangan ini dipilih untuk:

1. memetakan secara deskriptif distribusi infrastruktur air dan desa terdampak kekeringan;
2. menghitung persentase dan rasio sederhana yang menggambarkan ketimpangan antara ketersediaan sumber air alami dan infrastruktur air buatan;
3. menyusun Indeks Kerentanan Air (IKA) dan Indeks Kesenjangan Infrastruktur (IKI) sebagai indikator ringkas kondisi kerentanan dan kesenjangan infrastruktur air.

Seluruh analisis menggunakan statistik deskriptif tanpa uji korelasi atau uji inferensial lainnya, sehingga fokus pada penyajian pola data dan interpretasi substantif (Creswell, 2014; Field, 2018; Pallant, 2020).

2.2. Sumber Data dan Variabel Penelitian

Data yang digunakan merupakan data sekunder skala desa/kelurahan yang diperoleh dari Statistik Potensi Desa Provinsi Gorontalo dan dokumen teknis instansi terkait (Badan Pusat Statistik, 2024; BNPB, 2023)

Tabel 1. Variabel Penelitian dan Sumber Data

Jenis Variabel	Nama Variabel	Satuan/Indikator	Sumber Data
Dependen (Y)	Desa terdampak kekeringan	Persentase desa mengalami kekeringan (%)	BNPB & Statistik Potensi Desa Provinsi Gorontalo
Utama (X1)	Desa memiliki jaringan irigasi	Persentase desa (%)	Statistik Potensi Desa Provinsi Gorontalo (BPS, 2024)
Utama (X2)	Desa memiliki embung	Persentase desa (%)	Statistik Potensi Desa Provinsi Gorontalo (BPS, 2024)
Utama (X3)	Desa memiliki sungai	Persentase desa (%)	Statistik Potensi Desa Provinsi Gorontalo (BPS, 2024)
Utama (X4)	Desa memiliki sumber air permukaan	Persentase desa (%)	Statistik Potensi Desa Provinsi Gorontalo (BPS, 2024)
Turunan (Z1)	Rasio Infrastruktur terhadap kekeringan	Rasio	Hasil Perhitungan Penulis
Indeks (IKA)	Indeks Kerentanan Air	Skala -100 s.d 100 (%)	Hasil Perhitungan Penulis
Indeks (IKI)	Indeks Kesenjangan Infrastruktur	Skala 0 – 100 (%)	Hasil Perhitungan Penulis

2.3. Teknis Analisis Data

Seluruh teknik analisis yang digunakan bersifat statistik deskriptif, yaitu persentase,

rasio, dan indeks komposit sederhana.

1. Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif berupa tabel frekuensi, persentase, dan grafik digunakan untuk menggambarkan distribusi infrastruktur air dan tingkat kekeringan.

$$P = \frac{f}{N} \times 100$$

di mana:

P = Persentase desa dengan indikator tertentu

f = Jumlah desa dengan indikator tertentu

N = Total desa (732)

2. Rasio Infrastruktur terhadap Kekeringan

Rasio infrastruktur terhadap kekeringan digunakan untuk menggambarkan sejauh mana cakupan infrastruktur secara agregat berpotensi “menutupi” desa-desa terdampak kekeringan:

$$R = \frac{P_{infrastruktur}}{P_{kekeringan}}$$

di mana:

R = Rasio infrastruktur terhadap kekeringan

P_{infrastruktur} = Persentase desa yang memiliki infrastruktur tertentu

P_{kekeringan} = Persentase desa terdampak kekeringan

Interpretasi:

- $R > 1 \rightarrow$ cakupan infrastruktur secara agregat relatif memadai dibandingkan proporsi desa terdampak;
- $R < 1 \rightarrow$ cakupan infrastruktur secara agregat relatif belum memadai.

3. Indeks Kerentanan Air (IKA)

IKA digunakan untuk menilai sejauh mana infrastruktur air mencukupi kebutuhan desa yang terdampak kekeringan

$$IKA = \left(\frac{C_{efektif} - C_{kekeringan}}{P_{kekeringan}} \right) \times 100$$

di mana:

IKA = Indeks Kerentanan Air (%)

C_{efektif} = Cakupan efektif infrastruktur air (persentase desa yang secara potensial dapat dilayani kombinasi irigasi dan embung)

D = Persentase desa terdampak kekeringan

Interpretasi:

- $IKA > 0$: Surplus kapasitas infrastruktur
- $IKA < 0$: Defisit kapasitas infrastruktur
- $IKA = 0$: Keseimbangan kapasitas infrastruktur

Nilai negatif menunjukkan defisit air struktural, artinya infrastruktur air yang tersedia belum mampu memenuhi kebutuhan desa yang terdampak kekeringan.

4. Indeks Kesenjangan Infrastruktur (IKI)

Indeks Kesenjangan Infrastruktur (IKI) digunakan untuk mengukur seberapa besar kesenjangan antara cakupan aktual suatu infrastruktur dengan cakupan target/ideal yang diharapkan.

$$IKI = \left(1 - \frac{C_j}{C_{target,j}} \right) \times 100$$

di mana:

IKI_j = Indeks Kesenjangan Infrastruktur untuk infrastruktur ke-j (%)

C_j = Cakupan aktual infrastruktur j (persentase desa yang memiliki irigasi embung)

$C_{target,j}$ = Cakupan target/ideal infrastruktur j (%)

Interpretasi:

a. $IKI = 0\% \rightarrow$ kesenjangan sangat kecil (cakupan mendekati target)

b. $30\% \leq IKI < 60\% \rightarrow$ kesenjangan sedang

c. $IKI \geq 60\% \rightarrow$ kesenjangan tinggi (cakupan jauh di bawah target)

Nilai negatif menunjukkan defisit air struktural, artinya infrastruktur air yang tersedia belum mampu memenuhi kebutuhan desa yang terdampak kekeringan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Gambaran Umum Infrastruktur Air dan Kekeringan di Gorontalo

Provinsi Gorontalo sebagai lumbung pangan di Kawasan Timur Indonesia menghadapi tantangan serius dalam hal ketahanan air. Berdasarkan analisis data dari 732 desa/kelurahan, teridentifikasi bahwa 195 desa (26,64%) mengalami kekeringan pada periode 2023–2024. Kondisi ini menunjukkan bahwa lebih dari seperempat wilayah Gorontalo rentan terhadap kekurangan air, meskipun secara alami memiliki potensi sumber daya air yang tinggi.

Tabel 2. Distribusi Infrastruktur Air dan Kerentanan Kekeringan

Komponen	Jumlah desa	Persentase (%)	Rasio terhadap kekeringan
Saluran irigasi	249	34,02	1,28
Embung	67	9,15	0,34
Sungai	584	79,78	2,99
Air permukaan	573	78,28	2,94

Tabel 2. menunjukkan bahwa infrastruktur air buatan (irigasi dan embung) tertinggal jauh dibandingkan ketersediaan sumber air alami (sungai dan air permukaan). Hanya sekitar sepertiga desa yang memiliki irigasi dan kurang dari 10% yang memiliki embung, sementara lebih dari tiga perempat desa memiliki sungai dan sumber air permukaan. Hal ini menggambarkan adanya kesenjangan antara potensi alam dan infrastruktur yang dapat memanfaatkan potensi tersebut.

3.2. Statistik Deskriptif Variabel Infrastruktur

Untuk melihat variasi antarjenis infrastruktur, statistic deskriptif ringkas disajikan sebagai berikut ($N = 4$ jenis infrastruktur):

Tabel 3. Statistik Deskriptif Variabel Infrastruktur

<i>Descriptive Statistics</i>					
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Jumlah_Desa	4	67.00	584.00	368.2500	253.93093
Persentase	4	9.15	79.78	50.3075	34.69059
Rasio	4	.34	2.99	1.8875	1.30219
Valid N (listwise)	4				

Simpangan baku yang tinggi pada persentase dan rasio menunjukkan variasi besar antarjenis infrastruktur. Embung menempati posisi paling rendah, sedangkan sungai dan air permukaan berada pada nilai tertinggi. Secara deskriptif, hal ini mengindikasikan bahwa pembangunan infrastruktur penyimpanan air tertinggal dibandingkan ketersediaan sumber

air alami.

3.3. Rasio Infrastruktur terhadap Kekeringan

Rasio infrastruktur terhadap kekeringan memberikan gambaran sederhana mengenai kemampuan relatif infrastruktur untuk "menutupi" desa terdampak kekeringan secara agregat.

1. Rasio Irigasi (1,28)

Secara rata-rata, cakupan desa yang memiliki irigasi sekitar 1,28 kali lebih besar daripada proporsi desa terdampak kekeringan. Namun, karena irigasi tidak tersebar di seluruh desa, kemungkinan terdapat desa yang mengalami kekeringan tetapi belum memiliki akses irigasi.

2. Rasio Embung (0,34)

Nilai ini menunjukkan bahwa cakupan embung jauh di bawah proporsi desa yang terdampak kekeringan. Secara deskriptif, embung sebagai infrastruktur penyangga air musim kemarau masih sangat terbatas.

3. Rasio Sungai (2,99) dan Air Permukaan (2,94)

Nilai rasio yang tinggi menggambarkan bahwa potensi air alami di Gorontalo melimpah. Namun demikian, ketersediaan potensi ini belum otomatis meningkatkan ketahanan air jika tidak didukung oleh sistem infrastruktur yang memadai untuk menyimpan dan mendistribusikan air.

Temuan ini sejalan dengan literatur yang menekankan pentingnya infrastruktur dalam menentukan bagaimana masyarakat mengalami kekeringan dan variabilitas iklim (Aguilar et al., 2022; McMartin et al., 2018; Marks, 2019).

3.4. Indeks Kerentanan Air (IKA) : Defisit Struktural

Berdasarkan perhitungan IKA dengan menggunakan cakupan efektif infrastruktur irigasi dan embung serta persentase desa terdampak kekeringan, diperoleh nilai IKA = -88,84.

Nilai IKA yang sangat negatif ini mengindikasikan adanya defisit struktural yang serius dalam kapasitas infrastruktur untuk memenuhi kebutuhan desa-desa yang mengalami kekeringan. Nilai mendekati -100 menunjukkan bahwa cakupan efektif infrastruktur hanya merupakan bagian kecil dari yang dibutuhkan untuk menyeimbangkan paparan kekeringan (26,64% desa).

3.5. Indeks Kesenjangan Infrastruktur (IKI) : Ketimpangan dan Ketidakadilan Spasial

Perhitungan IKI menunjukkan tingkat kesenjangan yang tinggi antara cakupan aktual dan target ideal infrastruktur air di Gorontalo. Secara ringkas:

- IKI irigasi = 56,54% → kesenjangan sedang-tinggi;
- IKI embung = 65,64% → kesenjangan tinggi;
- Rata-rata IKI = 61,09% → kesenjangan infrastruktur secara umum tergolong tinggi.

Rata-rata IKI di atas 60% menunjukkan bahwa cakupan irigasi dan embung masih jauh dari kondisi yang diharapkan untuk mendukung peran Gorontalo sebagai lumbung pangan. Kesenjangan terbesar terdapat pada embung, yang justru berperan penting sebagai penyangga air pada musim kemarau.

Secara deskriptif, implikasi dari tingginya IKI dapat dirangkum sebagai berikut:

- Desa dengan infrastruktur relatif baik memiliki peluang produksi yang lebih stabil dan kapasitas adaptif yang lebih terhadap kekeringan (Aguilar et al., 2022; Marks, 2019).
- Desa tanpa infrastruktur memadai tetap berada dalam kondisi kerentanan tinggi, sehingga kesenjangan infrastruktur berpotensi memperlebar kesenjangan sosial-ekonomi dan pembangunan antarwilayah.



3. Ketimpangan ini mencerminkan dimensi ketidakadilan spasial dalam akses terhadap layanan air esensial, yang berpengaruh pada ketahanan pangan dan kesejahteraan jangka panjang.

Dalam kerangka *adaptive water governance*, IKI dapat digunakan sebagai indikator untuk mengidentifikasi kelompok desa yang perlu diprioritaskan dalam intervensi infrastruktur air (Pahl-Wostl, 2009; Dewananda & Leniwati, 2023).

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa Provinsi Gorontalo, sebagai lumbung pangan yang secara biofisik kaya air permukaan, masih berada dalam kondisi “perangkap kekeringan” akibat keterbatasan dan ketimpangan infrastruktur air. Secara deskriptif, sekitar 26,64% desa tercatat mengalami kekeringan pada periode 2023 hingga awal 2024, sementara hampir 80% desa memiliki sungai dan sumber air permukaan. Namun, hanya 34,02% desa yang memiliki jaringan irigasi dan 9,15% yang memiliki embung, sehingga banyak desa terdampak kekeringan belum didukung infrastruktur yang memadai untuk memanfaatkan potensi air di sekitarnya.

Rata-rata Indeks Kesenjangan Infrastruktur (IKI) sebesar 61,09% mengindikasikan kesenjangan yang masih tinggi antara cakupan aktual dan kondisi ideal infrastruktur irigasi serta embung, sedangkan nilai Indeks Kerentanan Air (IKA) sebesar –88,84 mencerminkan defisit struktural kapasitas infrastruktur dalam menyeimbangkan paparan kekeringan. Temuan ini menegaskan bahwa persoalan utama bukan ketiadaan sumber air, melainkan keterbatasan dan ketidakmerataan pembangunan infrastruktur air yang mampu menyimpan dan menyalurkan air secara adil ke desa-desa rentan.

Oleh karena itu, penanganan kekeringan di Gorontalo memerlukan kebijakan yang berfokus pada strategi penutupan kesenjangan infrastruktur, melalui pembangunan irigasi dan embung skala kecil yang lebih merata serta pemanfaatan IKA dan IKI sebagai indikator operasional dalam penentuan prioritas dan evaluasi program.

Secara keseluruhan, penggunaan statistik deskriptif dalam penelitian ini terbukti mampu memberikan gambaran yang jelas dan komunikatif mengenai ketimpangan infrastruktur air dan kerentanan kekeringan, sekaligus membuka ruang bagi penelitian lanjutan berbasis analisis spasial dan pemodelan skenario penguatan ketahanan air di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguilar, F. X., Hendrawan, D., Cai, Z., & Roshetko, J. M. (2022). Smallholder farmer resilience to water scarcity. *Environment, Development and Sustainability*, 24(10), 12793–12811.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2023). *Data dan informasi kejadian bencana Indonesia tahun 2023*. BNPB.
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Statistik lingkungan hidup Indonesia 2024* (Vol. 43). Badan Pusat Statistik.
- Barney, J. B. (2001). Resource-based theories of competitive advantage: A ten-year retrospective on the resource-based view. *Journal of Management*, 27(6), 643–650.
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). SAGE Publications.
- Dewananda, W., & Leniwati, D. (2023). Analysis of SDGs research: The relationship between climate change, poverty, inequality, and food security in Indonesia. *Jurnal Ilmiah UMM Repository*, 8(2), 45–60.



- Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Provinsi Gorontalo. (2023). *Laporan infrastruktur air tahun 2023*. Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Provinsi Gorontalo.
- Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5th ed.). Sage Publications.
- Keil, A., Zeller, M., Wida, A., Sanim, B., & Birner, R. (2008). What determines farmers' resilience towards ENSO-related drought? An empirical assessment in Central Sulawesi, Indonesia. *Climatic Change*, 86(1–2), 291–307.
- Kurniawan, T. A., Goh, K. C., Goh, H. H., & Zhang, D. (2024). Strengthening climate resilience: Urban water technologies for heat-resilient physical infrastructure in Southeast Asia cities amidst extreme temperature events. *ACS ES&T Water*, 4(3), 789–802.
- Marks, D. (2019). Water access and resilience to climate-induced droughts in the Thai secondary city of Khon Kaen: Unequal and unjust vulnerability. In *Climate change and urban resilience* (pp. 55–75). Springer.
- McMartin, D. W., Merino, B. H., & Bonsal, B. (2018). Limitations of water resources infrastructure for reducing community vulnerabilities to extremes and uncertainty of flood and drought. *Environmental Management*, 61(6), 951–967.
- Mulyono, D., & Suryanto, R. (2020). Climate variability and agricultural vulnerability in Indonesia: Challenges for sustainable irrigation management. *Journal of Environmental Policy and Management*, 23(4), 405–420.
- Pahl-Wostl, C. (2009). A conceptual framework for analysing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. *Global Environmental Change*, 19(3), 354–365.
- Pallant, J. (2020). *SPSS survival manual: A step by step guide to data analysis using IBM SPSS* (7th ed.). Routledge.
- Suar, H. P. N., Sari, I. R., & Ramadhan, M. F. (2025). Addressing water inequality in rural Indonesia: A community-based approach with clean water intervention mechanism. In *Atlantis Highlights in Social Sciences, Education and Humanities Research* (Vol. 5, pp. 112–125).
- Sugiyono. (2017). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Suharyanto, S., & Nugroho, B. D. (2019). Ketahanan pangan nasional: Peran infrastruktur irigasi dalam mendukung swasembada pangan. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 15(2), 89–102.
- Van Noordwijk, M., Kim, Y. S., Leimona, B., & Hairiah, K. (2016). Metrics of water security, adaptive capacity, and agroforestry in Indonesia. *Environmental Science & Policy*, 61, 61–69.
- World Bank Group. (2020). *Indonesia water security outlook: A national assessment of water resources and their management*. World Bank.