statististikaunugo@gmail.com 1

Spatial – Temporal Analysis of River Water Quality Using K – Means in Gorontalo During 2022 – 2024

Library - No Repository 28

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::2945:337104169

Fecha de entrega
13 dic 2025, 17:24 GMT+8

Fecha de descarga
13 dic 2025, 17:26 GMT+8

Nombre del archivo
Spatial – Temporal Analysis of River Water Quality Using K – Means in Gorontalo During 2022 – ....docx

Tamaño del archivo
613.3 KB

9 páginas

4230 palabras

26.490 caracteres

12% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía

Fuentes principales

9%	Fuentes de Internet
3%	Publicaciones
10%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

9% Fuentes de Internet
3% Publicaciones
10% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1 Trabajos del estudiante
Universitas Diponegoro on 2022-02-11 2%

2 Internet
eprints.unmas.ac.id 1%

3 Internet
ejournal.undip.ac.id 1%

4 Internet
soaljawab.live <1%

5 Trabajos del estudiante
Tarumanagara University on 2024-12-13 <1%

6 Trabajos del estudiante
Universitas Negeri Semarang on 2022-05-31 <1%

7 Trabajos del estudiante
Institut Pertanian Bogor on 2025-08-01 <1%

8 Trabajos del estudiante
Universitas Andalas on 2025-07-11 <1%

9 Internet
www.researchgate.net <1%

10 Trabajos del estudiante
Universitas Negeri Yogyakarta on 2025-09-23 <1%

11 Internet
repository.its.ac.id <1%

12 Trabajos del estudiante
Universitas Jember on 2021-12-10 <1%

13 Trabajos del estudiante
Tarumanagara University on 2024-12-13 <1%

14 Internet
frieyadie.web.id <1%

15 Trabajos del estudiante
Sriwijaya University on 2023-06-23 <1%

16 Internet
www.scielo.br <1%

17 Trabajos del estudiante
Sriwijaya University on 2021-12-15 <1%

18 Trabajos del estudiante
Universitas Diponegoro on 2025-07-21 <1%

19 Publicación
Wiwien Mardianto. "PENGOLAHAN LIMBAH CAIR RUMAH MAKAN MENGGUNAKA... <1%

20 Internet
conference.trunojoyo.ac.id <1%

21 Internet
doi.ub.kg.ac.rs <1%

22 Publicación
Safril Ahmadi Sanmas, Rahma Nurmalita, Dwi Sulistiyani, M. Al Haris. "Pengelom... <1%

23 Trabajos del estudiante
Universitas Islam Indonesia on 2025-11-25 <1%

24 Publicación
Vivi Maulida, Neni Mulyani, Mustika Fitri Larasati Sibuea. "Sistem Klasifikasi Strat... <1%

25 Internet
www.duo.uio.no <1%

26 Publicación

Heri Supriyanto, Mohammad Al Hafidz, Ari Cahaya Puspitaningrum, Rayhan Abdil... <1%

27 Publicación

Joang Ipmawati, Ilham Unggara. "Analisis Status Gizi Anak Menggunakan Metod... <1%

28 Trabajos del estudiante

Universitas Negeri Jakarta on 2025-06-12 <1%

29 Trabajos del estudiante

Universitas Pendidikan Indonesia on 2021-04-14 <1%

© xxx Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

JURNAL ILMU LINGKUNGAN
Volume xx Issue x (xxxx) : xx-xxxx *ISSN 1829-8907*

Analisis Spasial – Temporal Kualitas Air Sungai Menggunakan Metode K – Means di Provinsi Gorontalo Tahun 2022 -2024

A. Fahmi Indrayani[1], Risti Ristianingsing Badu[2*], Aprianti S Ano[3], Frans Mitran Ajami[4], Ismail Djakaria[5],

[1]Department of Statistics, University of Lambung Mangkurat;
[2]Department of Environmental Engineering, Nahdlatul Ulama University Gorontalo;
e-mail: rristianingsih.badu@gmail.com
[3]Department of Statistics, Nahdlatul Ulama University Gorontalo;
[4]Department of Architecture, Nahdlatul Ulama University Gorontalo;
[5]Department of Statistics, State University of Gorontalo

ABSTRAK

Kualitas air sungai di Provinsi Gorontalo menunjukkan dinamika yang dipengaruhi aktivitas pemukiman, pertanian, dan industri. Pemantauan berbasis analisis data diperlukan untuk mendeteksi pola perubahan kualitas air secara spasial dan temporal. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi pola *Cluster* kualitas air pada tahun 2022 – 2024 berdasarkan 20 pos pengamatan air menggunakan algoritma K- Means berdasarkan lima parameter (DO, pH, Suhu, DHL, dan TSS) dan mengevaluasi perubahan *Cluster* selama tiga tahun pengamatan. Hasil Menunjukkan terbentuknya tiga *Cluster* utama. *Cluster* satu (baik) dicirikan DO relatif tinggi (≥ 7 mg/L) dengan stabitas pH dan Suhu sedang, banyak dijumpai pada lokasi hulu seperti sungai Bone Tualobo dan Bolango Longalo. *Cluster* 2 (sedang) menunjukkan fluktuasi suhu meningkat (sehingga 33 – 34˚C dan DHL Tinggi (300 – 460 µS/cm). *Cluster* 3 (terdegradasi) ditandai DO rendah hingga 3,87 mg/L, TSS tinggi (≤ 400 mg/L), dan ditemukan pada titik-titik seperti Sungai Tamalate Moodu dan Danau Limboto. Secara keseluruhan, analisis menunjukkan beberapa lokasi mengalami penurunan kualitas air, khususnya titik yang pada tahun 2022 masuk *Cluster* 1 tetapi bergeser ke *Cluster* 2 atau 3 pada tahun 2024. Temuan ini menegaskan efektifitas analiisis *Clustering* untuk mendeteksi degradasi kualitas air serta perannya sebagai dasar perencanaan pengelolaan DAS yang adaptif dan berbasis

***Kata kunci*:** Kualitas Air, K- Means, *Clustering*, Pencemaran Air, Hidrologi DAS

ABSTRACT

Spatial and temporal variations in river water quality in Gorontalo Province have been influenced by settlement, agricultural, and industrial activities. Data-driven monitoring approaches are therefore required to detect patterns of water quality change across watersheds. This study was conducted to identify annual Clustering patterns of river water quality from 2022 to 2024 using measurements from 20 monitoring stations. The K-Means algorithm was applied to five physicochemical parameters—dissolved oxygen (DO), pH, temperature, electrical conductivity (DHL), and total dissolved solids (TSS)—and Cluster shifts over the three-year period were evaluated. Three principal Clusters were produced. Cluster 1 (good quality) was characterized by relatively high DO (≥ 7 mg/L) with moderate stability in pH and temperature, predominantly occurring in upstream areas such as Bone Tualobo and Bolango Longalo. Cluster 2 (moderate quality) was defined by elevated temperature fluctuations (up to 33–34 °C) and high conductivity levels (300–460 µS/cm). Cluster 3 (degraded quality) was marked by low DO (reaching 3.87 mg/L) and elevated TSS (≥ 400 mg/L), mainly identified at locations such as Tamalate Moodu and Lake Limboto. Overall, several sites were observed to experience declining water quality, as indicated by transitions from Cluster 1 in 2022 to Cluster 2 or 3 in 2024. These findings demonstrate the effectiveness of Clustering analysis for detecting water quality degradation and underscore its value as an evidence-based tool for adaptive watershed management.

***Keywords*:** *Water Quality, K-Means, Clustering, River Pollution, Watershed Hydrology*

Citation: Pertama, S., Kedua, P., dan Akhir, P. (Tahun). Judul. Jurnal Ilmu Lingkungan, xx(x), xx-xx, doi:10.14710/jil.xx.x.xxx-xx

turnitin Página 7 de 14 - Engrega de integridad Identificador de la entrega trn:oid:::2945:337104169
Aini, A., Sriasih, M, dan Kisworo, D. (2017). Studi Pendahuluan Cemaran Air Limbah Rumah Potong Hewan di Kota Mataram. Jurnal Ilmu Lingkungan, 15(1), 42-48, doi:10.14710/jil.15.1.42-48

1. PENDAHULUAN

Sungai merupakan sumber daya air yang vital bagi kehidupan masyarakat, pertanian, dan industri. Di Provinsi Gorontalo, wilayah sungai strategis seperti WS Limboto-Bolango-Bone ((LBB), WS Randangan, dan Sungai Paguyaman berperan penting dalam penyediaan air bersih bagi masyarakat, namun mengalami tekanan akibat pertumbuhan populasi dan aktivitas manusia. Kegiatan pemukiman, pertanian, serta limbah industri berpotensi menurunkan kualitas air, yang berdampak pada kesehatan dan kelestarian lingkungan (Bassi, 2023; Gallego-villalobos & Castillo-aguilar, 2020; R. Wang et al., 2024). Oleh karena itu, pengelolaan wilayah Sungai secara efektif diperlukan untuk menjaga keseimbangan antara kebutuhan manusia dan keberlanjutan ekosistem air (Briciu et al., 2020; Harrison et al., 2016; R. Wang et al., 2024).

Analisis kualitas air Sungai melalui pengelompokan (*Clustering*) dapat menjadi strategi penting dalam pengidentifikasi Tingkat pencemaran dan Lokasi prioritas pengeloalaan. Salah satu metode umum digunakan adalah K-means *Clustering*, yang dapat mengelompokkan Lokasi berdasarkan kemiripan karakteristik kualitas air (Novianta et al., 2023). Penelitian sebelumnya menunjukkan efektifitas metode ini Novianta et al. (2023) mengelompokkan 56 sungai di Yogyakarta berdasarkan parameter TSS, BOD, COD, Fostat, dan koliom; (Abadi et al., 2025) membandingkan K-Means dengan Fuzzy C-Means untuk klasifikasi kualitas air Sungai; sedangkan (Susila et al., 2023) mengintegrasikan K-Means dengan system monitoring IoT untuk pemetaan kualitas air secara real time. Penelitian ini juga menunjukkan aplikasi K-Means untuk manajemen banjir, zonasi lingkungan dan pemetaan risiko Pencemaran(Nuringtyas et al., 2023; Steffelbauer et al., 2021).

Meski demikian, penelitian yang memfokuskan pengelompokan kualitas air Sungai di Provinsi Gorontalo masih sangat terbatas. Beberapa kekurangan pada studi sebelumnya antara lain : belum memanfaatkan data lokal dari Balai Wilayah Sungai (BWS) Gorontalo, belum mempertimbangkan karakteristik pencemar spesifik wilayah ini, dan belum menghasilkan informasi yang dapat langsung mendukung kebijakan pengelolaan Sungai (Christiana et al., 2020; Subehi et al., 2016). Oleh karena itu, penelitian ini hadir untuk menutup gap tersebut dengan menerapkan K-Means *Clustering* padadata kualitas air Sungai Gorontalo, sehingga dapat memetakan Lokasi berdasarkan Tingkat pencemaran dan memberikan rekomendasi berbasis *Cluster* untuk pengelompokan wilayah Sungai.

Penelitian ini memiliki kebaharuan berupa pemanfaatan data sekunder dari (1) pemanfaatan data sekunder dari BWS Provinsi Gorontalo untuk pengelompokan sungai secara spasial; (2) identifikasi *Cluster* pencemaran dengan fokus pada faktor lokal yang spesifik; dan (3) penyajian hasil yang dapat langsung digunakan sebagai dasar kebijakan dan kesadaran masyarakat dalam menjaga kualitas air (Steffelbauer et al., 2021; Wu et al., 2021)

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengelompokkan lokasi-lokasi sampel di wilayah Sungai provinsi Gorontalo berdasarkan parameter kualitas air menggunakan metode K-Means *Clustering* (Lin et al., 2025), hingga dapat memetakan Tingkat pencemaran secara spasial (Lee et al., 2020). Penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifkasi karakteristik setiap *cluster* serta faktor dominan yang membedakan Tingkat pencemaran antar lokasi, sehingga informasi yang diperoleh dapat digunakan untuk perumusan kebijakan pengelolaan Sungai yang lebih tepat dan berbasis data (Harrison et al., 2016). Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat menyediakan peta *Cluster* pencemaran Sungai sebagai alat bantu bagi pemerintah dan Masyarakat dalam meningkatkan kesadaran akan pentingnya menjaga kualitas air, serta memberikan rekomendasi tindakan mitigasi yang sesuai untuk konservasi ekosistem Sungai di Provinsi Gorontalo.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif untuk pengelompokan lokasi pengamatan sungai berdasarkan kualitas air. Analisis difokuskan pada lima parameter kualitas air, yaitu DO (*Dissolved Oxigen*), pH, Suhu, TSS (*Total Suspended Solids*), dan DHL (*Daya Hantar Listrik*) pada Periode 2022 – 2024 pada 20 Lokasi Pengamatan di Provinsi Gorontalo, Dengan Uraian pada tabel 1.

2.1. Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari Balai Wilayah Sungai (BWS) Provinsi Gorontalo, mencakup lima parameter utama tiap lokasi pengamatan selama tiga tahun terakhir (2022 – 2024).

Kriteria Pemilhan lokasi pengamatan :

1. Representativitas geografis, mencakup hulu, tengah, dan hilir sungai strategis Gorontalo (WS Limboto – Bolango – Bone, WS Randangan, dan Sungai Peguyaman).
2. Potensi pencemaran, termasuk wilayah pemukiman, pertanian, dan industri di sekitar sungai.
3. Ketersediaan data lengkap untuk semua parameter selama periode pengamatan.

2.2. Analisis Data

Analisis dilakukan penggunaan K-means *Clustering* untuk mengelompokkan lokasi pengamatan berdasarkan lima parameter kualitas air. Tahapan analisis meliputi

1. Pra- pemrosesan Data
   Data dinormalisasi agar semua parameter berada pada skala yang sama agar variabel dengan skala besar tidak mendominasi hasil *clustering,* dengan rumus Z-score sebagai berikut ;

$$Z = \frac{X-\mu}{\sigma} \qquad (1)$$

© 2017, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP
turnitin Página 7 de 14 - Engrega de integridad Identificador de la entrega trn:oid:::2945:337104169

turnitin Página 8 de 14 - Engrega de integridad Identificador de la entrega trn:oid:::2945:337104169

dengan,
X : nilai asli (*raw* data)
μ : mean (rata-rata) dari variabel
σ : standar deviasi dari variabel

2. Penentuan Jumlah *Cluster* Optimal
Jumlah *Cluster* (k) ditentukan dengan dua metode :

Metode elbow

Metode Elbow menggunakan nilai *Within-Cluster Sum of Squares* (WCSS) untuk setiap jumlah *cluster* k, yang dihitung menggunakan rumus berikut (Scitovski et al., 2021) ;

$$WCSS = \sum_{i=1}^{k} \sum_{x \in C_i} \|x - \mu_i\|^2 \quad (2)$$

dengan,
k : jumlah *Cluster*
C_i : *Cluster* ke – i,
x : titik data dalam *cluster*
μ_i : centroid *cluster*
$\|x - \mu_i\|^2$: jarak Eulidean kuadrat antara data dan centroid

Silhouette Coefficient

Silhouette Coefficient digunakan mengevaluasi seberapa baik tiap titik data sesuai dengan *cluster*nya untuk setiap data *I:*

Hitung rata-rata jarak ke anggota *cluster* sendiri (a)

$$a(i) = \frac{1}{|C_i|-1} \sum_{j \in C_i, j \neq i} d(i,j) \quad (3)$$

Hitung rata-rata jarak ke *cluster* tetangga terdekat (b)

$$b(i) = \min_{k \neq C_i} \left(\frac{1}{|C_k|} \sum_{j \in C_k} d(i,j) \right) (4)$$

Maka, rumus Sihouette untuk data i adalah

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}} \quad (5)$$

dengan,
k : jumlah *Cluster*
C_i : *Cluster* ke – i,
$a(i)$: jarak rata-rata titik i ke semua titik dalam *cluster* yang sama,
$b(i)$: jarak rata-rata ke titik pada *cluster* terdekat berikutnya.

Nilai $s(i)$ mendekati 1 menunjukkan klater yang baik (Scitovski et al., 2021).

Jarak Euclidean

Jarak Eulidean digunakan pada algoritma K-means untuk mengukur kedekatan antar data atau antara data dan centroid, yang dihitung dengan rumus;

$$d(x, u_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (x_j - \mu_{ij})^2} \quad (6)$$

dengan,
μ_i : centroid *cluster*
x : titik data dalam *cluster*
n : jumlah titik

Visualisasi dan Analisis Spatial - Temporal

Analisis spasial temporal hasil *Clustering* di visualisasikan menggunakan Software Geoda dan software ArcGIS 10.6, serta Analisis spasial tambahan dilakukan dengan GeoDa untuk mengidentifikasi distribusi *Cluster*, *autocorrelation* lokal, dan pola pencemaran spasial (Anselin, 2001; Ikotun et al., 2023; Scitovski et al., 2021). Metode ini memungkinkan peneliti memahami pola spasial dan temporal pencemaran Sungai, menentukan lokasi prioritas pengelolaan, dan memberikan rekomendasi mitigasi berbasis data.

3. Hasil dan Pembahasan

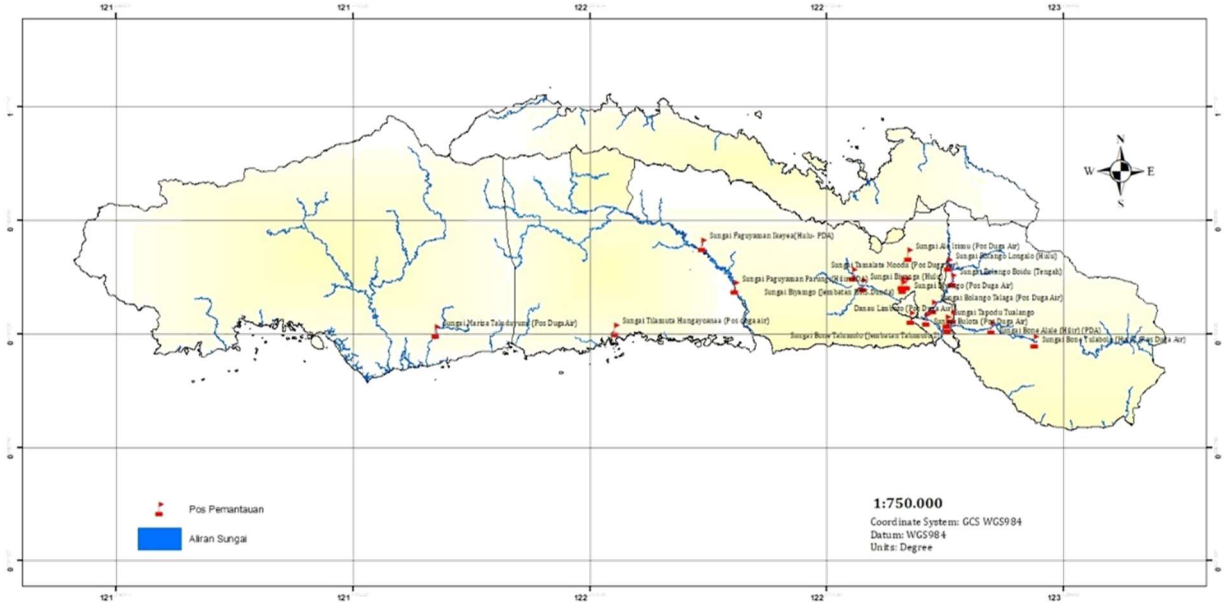
Sebaran 20 pos pemantauan kualitas air di Provinsi Gorontalo yang digunakan dalam penelitin ini di sajikan pada Gambar 1. Pos-pos tersebut tersebar pada wilayah hulu, tengah, an hilir di tiga wilayah sungai utama yaitu, Limboto - Bolango - Bone (LBB), Randangan, dan Paguyaman, yang merepresentasikan variasi kondisi hidrologis dan tingkat tekanan antropogenik. Penyebaran lokasi pemantauan yang merata memungkinkan analisis spasial yang komprehensif terhadap dinamika kualitas air sungai selama periode 2022- 2024, serta mendukung proses *Clustering* K-means dalam mengidenfitikasi pola degradasi dan stabilitas kualitas air di berbagai segmen sungai.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Paremeter	Pengertian	Hubungan dengan Kualitas air	Satuan
DO	Konsistensi oksigen terlarut yang sangat penting bagi kelangsungan hidup organisme di air	Semakin tinggi jumlah DO maka kualitas air semakin baik	Mg/l
pH	Derajar keasaman air, berpengaruh pada aktivitas biologis dan kimia dalam air	Berada pada rentang 6 – 9	-
Suhu	Suhu air lebih rendah dibandingkan dengan suhu lingkungan. Karena itulah air akan terasa dingin saat disentuh.	Jika dalam kondisi nornal suhu air akan terus berubah, dapat dipastikan air tersebut sudah tercemar.	°C
DHL	Kemampuan air dalam menghantarkan arus Listrik setiap sentimeter.	Semakin tinggi DHL, kualitas air cenderung semakin menurun.	µS/cm
TSS	Partikel -partikel yang tidak dapat disaring dengan kertas berpori 0,45 µm	Semakin tinggi jumlah TSS maka kualitas air semakin buruk.	mg/L

© 2017, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP
turnitin Página 8 de 14 - Engrega de integridad Identificador de la entrega trn:oid:::2945:337104169

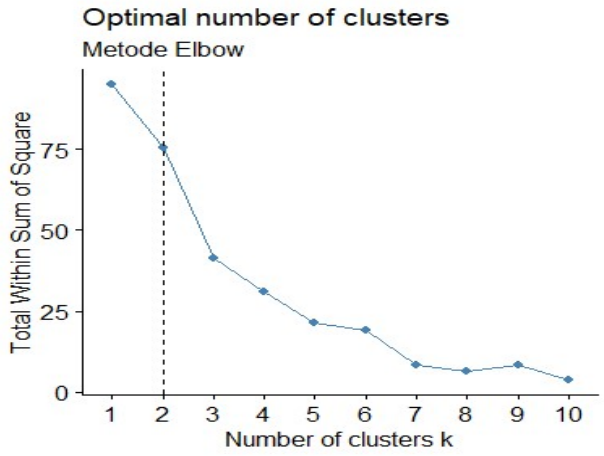
turnitin Página 9 de 14 - Engrega de integridad Identificador de la entrega trn:oid:::2945:337104169



Gambar 1. Peta Sebaran 20 Pos Pemantauan Kualitas Air Provinsi Gorontalo

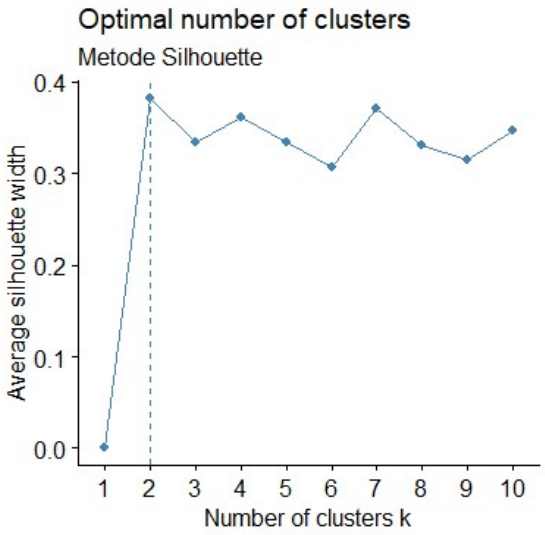
3.1. Pembentukan *Cluster*

Setelah dilakukan analisis statistika deskriptif data kemudian data distandardisasi menggunakan Z-score untuk menyeragamkan skala variabel DO, pH, suhu, DHL, dan TSS. Titik awal centroid ditentukan berdasarkan lokasi Sungai Bone Talumolo, dilanjutkan dengan perhitungan jarak Euclidean antar lokasi pengamatan. Penentuan jumlah *Cluster* optimal menggunakan metode Elbow dan validasi Silhouette. Metode Elbow menunjukkan titik "siku" pada k=2, namun penurunan masih cukup signifikan hingga k=3. sehingga 3 *Cluster* juga bisa dipertimbangkan. Metode Elbow menyarankan penggunaan 2 atau 3 *Cluster* untuk dataset ini. Bisa dilihat pada gambar 2 dibawah ini:



Gambar 2. Grafik Pembentukan *Cluster* dengan Metode Elbow

Untuk memvalidasi hasil metode *Elbow*, dilakukan analisis *Silhouette Score* untuk berbagai jumlah *Cluster*.



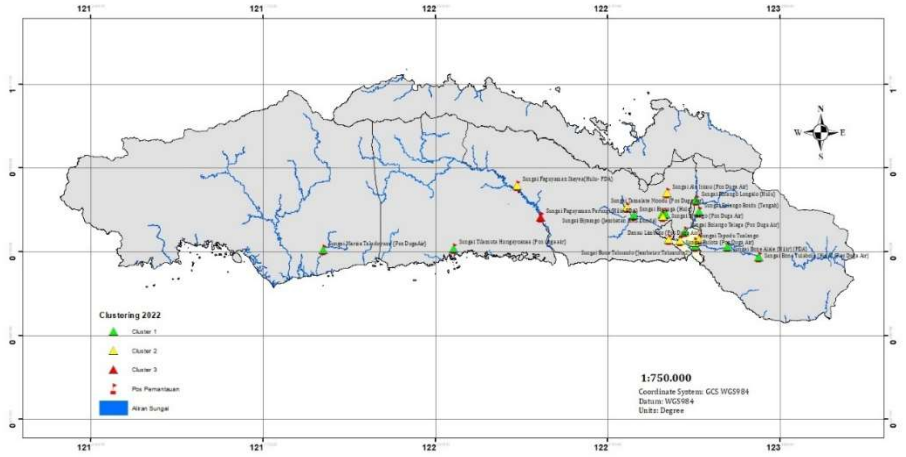
Gambar 3. Hasil Validasi Pembentukan *Cluster* dengan Silhouette Score

Meskipun nilai silhouette tertinggi pada k = 2, pemilihan 3 *Cluster* lebih tepat secara metodologis dan ekologis untuk menggambarkan heterogenitas kualitas air di Provinsi Gorontalo. Pertama, hasil metode elbow menunjukkan bahwa penurunan total within sum of square (TWSS) dar k = 2 dan k = 3 masih sangat signifikan, menandakan bahwa pembagian menjadi tiga kelompok memberikan peningkatan pemisahan antar- *Cluster* yang subtansial. Kedua, penggunaan k = 2 cenderung menghasilakn pengelompokan yang terlalu kasar, hanya memisakan

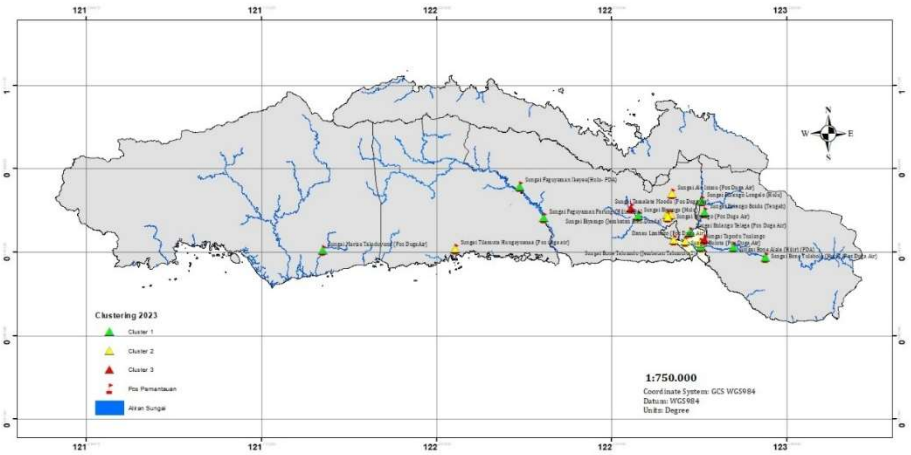
© 2017, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP
turnitin Página 9 de 14 - Engrega de integridad Identificador de la entrega trn:oid:::2945:337104169

Jurnal Ilmu Lingkungan (2017), 15 (1): 42-48, ISSN 1829-8907

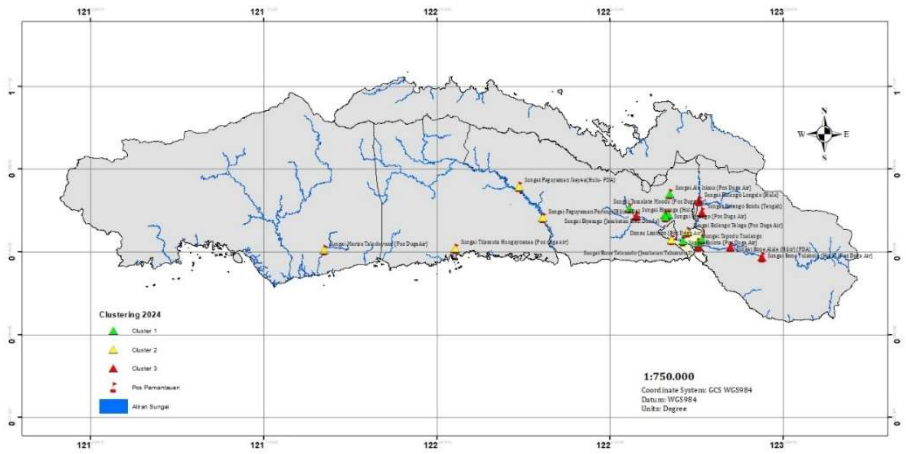
lokasi menjadi "baik" dan "teregradasi," sehingga variasi kualitas air kategori sedang yang cukup penting dalam konteks pengelolaan DAS tidak teridentifikasi (Briciu et al., 2020). Ketiga, secara ekologis, karakteristik lima parameter (DO, pH, Suhu, DHL dan TSS) menunjukkan gradien kualitas yang tidak bersifat biner, melainkan membentuk tiga pola utama : (1) lokasi hulu dengan kualitas baik, (2) lokasi Tengah dengan tekanan moderat, dan (3) lokasi hilir atau danau dengan degradasi lebih tinggi. Dengan demikian, 3 *Cluster* memberikan representasi yang lebih realisti, informatif, dan mendukung penyusunan rekomendasi pengelolaan kualitas air yang lebih terarah dibandingkan hanya 2 *Cluster*.



Gambar 4. *Clustering* K- means Kualitas Air Provinsi Gorontalo Tahun 2022



Gambar 5. *Clustering* K- means Kualitas Air Provinsi Gorontalo Tahun 2023



Gambar 6. *Clustering* K- means Kualitas Air Provinsi Gorontalo Tahun 2024

© 2017, *Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP*

turnitin Página 11 de 14 - Engrega de integridad Identificador de la entrega trn:oid:::2945:337104169

3.2. Hasil Clustering

Hasil analisis K-Means terhadap 20 titik pengamatan di Provinsi Gorontalo selama periode 2022 – 2024 menunjukkan adanya dinamika spasial-temporal kualitas air Sungai yang cukup signifikan. Pada tahun 2022, mayoritas lokasi pada *Cluster* 1 (baik), ditandi oleh nilai DO tinggi (≥ 7,5 mg/L) dan DHL rendah (118 – 200 µS/cm), terutama pada sungai-sungai hulu seperti Bone Tualobolo, Bolango Longalo, Bone Alale, dan Biyonga Hulu. Kondisi ini mencerminkan karakteristik wilayah hulu yang masih relative minim tekanan antropogenik. Sementra itu, beberapa lokasi hilir seperti Tamalate Moodu (RSAS dan PDA) dan Danau Limboto sudah masuk *Cluster* 2 (sedang) akibat DHL lebih tinggi (300 – 330 µS/cm) dan suhu lebih hangat (29-30˚C).

Pada tahun 2023, terjadi pergeseran kualitas air yang cukup jelas. Lima lokasi mengalami penurunan dari *Cluster* 1 ke *Cluster* 2, seperti Sungai Biyango (RS Dunda) dan Paguyaman Ikeyea, ditandai penurunan DO hingga 6,7 mg/L dan Kenaikan suhu mencapai 33˚C. Dua lokasi mengalami penurunan lebih drastis ke *Cluster* 3 (terdegradasi), yaitu Tamalate Moodu (RSAS & PDA) , yang menunjukkan penurunan DO ekstrem (4,31 – 5,78 mg/L) dan peningkatan DHL hingga 389 – 360 µS/cm. Kondisi ini selaras dengan karakter sungai perkotaan yang terpapar aktivitas domestic intensif.

Pada tahun 2024, kualitas air menunjukkan pola campuran. Sejumlah lokasi membaik dari *Cluster* 3 ke *Cluster*, seperti Tamalate Moodu (RSAS & PDA), seiring meningkatan DO hingga 7,49 mg/L dan 3,87 mg/L (kategori rendah namun naik signifikan), tetapi lokasi lain justru mengalami penururnan lanjutan. Sungai di wilayah hulu seperti Bone Talumolo, Bone Alale, Bolango Boidu, yang sebelumya stabil, berpindah ke *Cluster* 3 akibat penurunan DO menjadi 6,86 – 7 mg/L serta kenaikan TSS mencapai 232 – 262 mg/L. Selain itu, beberapa wilayah hilir seperti Paguyaman Parungi dan Tilamuta Hungayoanaa menunjukkan pola fluktuatif yang menghasilkan kategori “tidak stabil,” mencerminkan takanan penggunaan lahan yang tinggi. Danau Limboto tetap berada *Cluster* 2 selama tiga tahun, mengidentifikasi kondisi perairan yang kronis stabil pada Tingkat sedang.

Hasil analisis *Clustering* k-means terhadap 20 lokasi pemantauan kualitas air sungai di Provinsi Gorontalo selama periode 2022 hingga 2024 menunjukkan bahwa parameter DO, pH, Suhu, DHL dan TSS, membantuk pola pengelompokan yang konsisten antar-tahun. Jika ditinjau berdasarkan distribusi spasial, klaterisasi tampak berkaitan erat dengan struktur dan fungsi daerah aliran sungai (DAS) tempat lokasi pemantauan berada.

Analisis perubahan cluter kualitas air pada 20 titik pengamatan di Provinsi Gorontalo selama periode 2022 – 2024 menunjukkan adanya dinamika kondisi ekosistem sungai yang di pengaruhi oleh tekanan lingkungan aktivitas antropogenik di sepanjang daerah aliran sungai (DAS) . berdasarkan jumlah pergeseran *Cluster* dari tahun ke tahun, lokasi-lokasi pengamatan dapat dikategorikan ke dalam tiga kelas stabilitas : Stabil, Moderat dan Tidak stabil.

Tabel 2. Stabilitas Perubahan *Cluster* Kualitas Air Sungai Tahun 2022–2024

Lokasi	2022	2023	2024	Jumlah Perubahan	Kategori Stabilitas
Sungai Bone Talumolo	1	1	3	1	Moderat
Sungai Bone Tualobolo	1	1	3	1	Moderat
Sungai Bone Alale	1	1	3	1	Moderat
Sungai Bolango Longalo	1	1	3	1	Moderat
Sungai Bolango Boidu	1	1	3	1	Moderat
Sungai Bolango Telaga	1	1	2	1	Moderat
Sungai Tapodu Tualango	2	2	1	1	Moderat
Sungai Tamalate Moodu (RSAS)	2	3	1	2	Tidak Stabil
Sungai Tamalate Moodu (PDA)	2	3	1	2	Tidak Stabil
Sungai Biyonga Hulu	1	1	3	1	Moderat
Sungai Biyango (PDA)	1	2	1	2	Tidak Stabil
Sungai Biyango (RS Dunda)	1	2	1	2	Tidak Stabil
Sungai Alo Isimu	2	2	1	1	Moderat
Sungai Alophou Limehu	2	2	1	1	Moderat
Sungai Bulota	2	2	1	1	Moderat
Danau Limboto	2	2	2	0	Stabil
Sungai Paguyaman Ikeyea	2	1	2	2	Tidak Stabil
Sungai Paguyaman Parungi	3	1	2	2	Tidak Stabil
Sungai Tilamuta Hungayoanaa	1	2	2	1	Moderat
Sungai Marisa Taluduyunu	1	1	2	1	Moderat

Satu-satunya titik yang berada pada kategori stabil adalah Danau Limboto, karena cluter tahunannya tetap berada pada kategori yang sama (*Cluster* 2) selama tiga tahun berturut-turut. Stabilitas ini tidak serta-merta menunjukkan kualitas yang baik, namun lebih menggambarkan kondisi yang konsisten tertekan atau tidak mengalami perubahan signifikan.

© 2017, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP
turnitin Página 11 de 14 - Engrega de integridad Identificador de la entrega trn:oid:::2945:337104169

turnitin Página 12 de 14 - Engrega de integridad Identificador de la entrega trn:oid:::2945:337104169

Danau Limboto sendiri telah lama dilaporkan mengalamai degradasi ekologis akibat sedimentasi tinggi, eutrofikasi, dan masukknya limbah domestik yang relatif stabil dari waktu ke waktu (Lee et al., 2020; Subehi et al., 2016). Oleh karena itu, konsistensi cluter pada lokasi ini cenderung menggambarkan kondisi ekosistem yang stagnan dan belum mengalami perbailan kualitas air yang berarti (Ren et al., 2021).

Sebagian besar titik pengamatan (13 lokasi) masuk ke dalam katergori moderat, yaitu mengalami satu kali perubahan *Cluster* dalam tiga tahun. Contohnya adalah Sungai Bone Talumolo, Bone Tualobolo, Bone Alale, Bolango Longalo, Biyonga Hulu, hingga Tilamuta dan Marisa. Lokasi-lokasi yang termasuk kelas moderat umumnya berada di wilayah hulu Tengah atau transisi DAS, sehingga tekanan antropogenik biasanya tidak sekuat di kawassan hilir (Ji et al., 2021). Perubahan satu kali dalam periode tiga tahun mencerminkan fluktuasi kualitas air yang dipengaruhi perubahan musiman, curah hujan, dan aktivitas pertanian bersifat siklik, misalnya penggunaan pupuk dan pestisida (Nuringtyas et al., 2023). Pola ini umum ditemukan pada Sungai-sungai dalam pengelolaan DAS tropis, di mana faktor hidrometeorologi menjadi penentu utama fluktuasi kualitas air (Abadi et al., 2025; Tung & Yaseen, 2020).

Beberapa lokasi seperti Bolango Longalo dan Bone Tualobolo yang awalnya berada pada *Cluster* 1 (baik) kemudian bergeser ke *Cluster* 3 (terdegradasi) menunjukkan adanya peningkatan tekanan antropogenik baru, seperti ekspansi permukiman atau intensifikasi pertanian di bagian hulu, pergeseran dari *Cluster* baik ke terdegradasi merupakan sinyal kuat bahwa kapasitas asimilasi Sungai mulai menurun (Wu et al., 2021).

Sebayak 6 titik lokasi termasuk kategori tidak stabil, yaitu mengalami dua kalo perubahan *Cluster*. Titik-titik ini didominasi oleh Sungai Tamalate Moodu (RSAS dan PDA), Sungai Biyango (PDA dan RS Dunda), dan Sungai Paguyaman (Ikeyae dan Parungi). Karakteristik utama titik tidak stabil adala flutusasi kualitas air yang tajam, umumnya terjadi di daerah hilir, Kawasan urban, atau dekat fasilitas public seperti rumah sakit, pasar, dan Kawasan padat penduduk. Fluktuasi yang kuat ini merupakan indikasi adanya, tekanan antropogenik yang sangat dinamis, misalnya peningkatan debit limbah domestik atau industri kecil,banjir musiman yang menjadi sedimen atau polutan dari hulu ke hilir (Nuringtyas et al., 2023), variabilitas beban pencemaran rumah sakit, seperti limbah farmasi yang dapat mempengaruhi DO dan TSS, kurangnya sistem pengelolaan air limbah domestic, yang umum terjadi di wilayah perkotaan berkembang.

Perubahan *cluster* yang lebih dari satu kali menunjukkan bahwa kondisi kualitas air dengan rentan terhadap tekanan jangka pendek. Secara ekologis, Sungai dengan Tingkat ketidakstabilan tinggi cenderung berada pada kondisi stress ekologis kronis (Pratama & Constantine, 2023).

3.3. Implikasi Ekologis dan Pengelolaan DAS

Temuan ini memperlihatkan bahwa , area hulu cenderung stabil, namun beberapa mulai tergredasi sehingga membutuhkan tindakan pencengahan jangka Panjang. Area Tengah-hilir menunjukkan kerentanan tinggi, teruntama yang berdekatan dengan aktivitas manusia. Pendekatan *Clustering* terbukti efektif untuk mengidentifikasi dinamika spasial-temporal kualitas air, sejalan dengan studi sebelumnya(R. Wang et al., 2024; X. Wang et al., 2023). Secara keseluruhan, ketidakstabilan kualitas air pada beberapa titik menegaskan perlunya :

1. Identifikasi sumber pencemaran dominan per lokasi, baik pertanian, permukiman maupun rumah sakit
2. Strategi pengelolaan DAS berbasis spasial-temporal, dengan prioritas pada titik tidak stabil
3. Pemantauan kualitas air berkelanjutan berbasis data, yang didukung teknologi seperti GIS dan analisis machine learning (X. Wang et al., 2023).

Secara keseluruhan, dinamika *Cluster* memperlihatkan bahwa hulu cenderung mengalami degradasi bertahap, sedangkankan wilayah perkotaan menunjukkan perbaikan fluktuatif, dan wilayah danau tetap berada pada status stabil namun tertekan. Perubahan yang paling menentukan perpindahan *Cluster* adalah penurunan DO (hingga 3,87 mg/L) dan kenaikan DGL/TSS (hingga 549 µS/cm dan 508 mg/L), yang menjadi indicator kuat terjadi peningkatan beban antropogenik. Temuan ini menegaskan pemantauan berkelanjutan serta intervensi prioritas pada segmen sungai yang menunjukkan pola degradasi berulang.

4. Kesimpulan

Penerapan analisis spasial-temporal berbasis K-means berhasil memberikan gambaran yang menjelaskan mengenai dinamika kualitas air sungai di Provinsi Gorontalo selama 2022 -2024, sekaligus memenuhi tujuan untuk mengidentifikasi pola perubahan dan tingkat stabilitas antar-lokasi. Pergeseran *Cluster* pada beberapa sungai menandai adanya tekanan lingkungan yang fluktuatif, sedangkan titik-titik yang tetap stabul mencerminkan kondisi fisik-kimia perariran yang relatif terjaga. Penelitan ini berhasil memenuhi tujuan untuk mengidentifikasi pola spsial-temporal kualitas air sungai di Provinsi Gorontalo dan mengevaluasi pergeseran *Cluster* selama periode 2022-2024. Penerapan algoritma K-means secara konsisten mengelompokkan kondisi kualitas air ke dalam tiga kategori yang mencerminkan gradien kondisi ekologis, serta mengungkap terjadinya pergeseran kelas pada sejumlah titik pengamatan yang menunjukkan kecenderungan penurunan kualitas. Hasil ini menegaskan bahwa analisis berbasis machine learning dapat meningkatkan ketepatan interpretasi dinamika kualitas air dibandingkan metode konvensional. Selain itu, temuan penelitian memberikan kontribuso pada penguatan metodologi pemantauan kualitas air serta

© 2017, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP
turnitin Página 12 de 14 - Engrega de integridad Identificador de la entrega trn:oid:::2945:337104169

Aini, A., Sriasih, M, dan Kisworo, D. (2017). Studi Pendahuluan Cemaran Air Limbah Rumah Potong Hewan di Kota Mataram. Jurnal Ilmu Lingkungan, 15(1), 42-48, doi:10.14710/jil.15.1.42-48

menawarkan dasar ilmuah bagi pemerintah daerah dalam mengembangkan kebijakan pengelolaan DAS yang lebih adaptif, berbasis bukti, dan berorientasi pada pencegahan degradasi lingkungan

DAFTAR PUSTAKA

Abadi, A. M., Fauzan, M., Caturiyati, C., Mahardika, B. W., Yazid, M. F., & Septianto, Y. (2025). Determining River Water Quality in the Special Region of Yogyakarta Using K-Means and Fuzzy C-Means *Clustering*. *TEM Journal*, *14*(2), 1695–1706. https://doi.org/10.18421/TEM142

Anselin, L. (2001). Spatial effects in econometric practice in environmental and resource economics. *American Journal of Agricultural Economics*, *83*(3), 705–710. https://doi.org/10.1111/0002-9092.00194

Bassi, N. (2023). Use of water accounts based indicators for water management in India. *River Published*, *July*, 307–325. https://doi.org/10.1002/rvr2.53

Briciu, A. E., Graur, A., & Oprea, D. I. (2020). Water Quality Index of Suceava River in Suceava City Metropolitan Area. *MDPI Journal*, *12*. https://doi.org/10.3390/w12082111

Christiana, R., Anggraini, I. M., & Syahwanti, H. (2020). *Analisis Kualitas Air dan Status Mutu Serta Beban Pencemaran Sungai Mahap di Kabupaten Sekadau Kalimantan Barat*. *V*(2), 941–950.

Gallego-villalobos, J., & Castillo-aguilar, M. A. (2020). *Water Quality of El Santuario Stream (Tausa-Cundinamarca) from Aquatic Macro Invertebrates and Physicochemical Parameters*. *13*(March), 1116–1123. https://doi.org/10.17485/ijst/2020/v13i10/146318

Harrison, I. A. N. J., Green, P. A., Farrell, T. A., & Juffe-bignoli, D. (2016). *Protected areas and freshwater provisioning : a global assessment of freshwater provision , threats and management strategies to support human water security*. *26*(February), 103–120. https://doi.org/10.1002/aqc.2652

Ikotun, A. M., Ezugwu, A. E., Abualigah, L., & Abuhaija, B. (2023). K-means *Clustering* algorithms : A comprehensive review , variants analysis , and advances in the era of big data. *Information Sciences*, *622*, 178–210. https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.11.139

Ji, L., Li, Y., Zhang, G., & Bi, Y. (2021). Anthropogenic Disturbances Have Contributed to Degradation of River Water Quality in Arid Areas. *MDPI Journal*, *13*(3305). https://doi.org/10.3390/w13223305

Lee, S., Kim, J., Hwang, J., Lee, E., Lee, K., Oh, J., Park, J., & Heo, T. (2020). *Clustering* of Time Series Water Quality Data Using Dynamic Time Warping : A Case Study from the Bukhan River Water Quality Monitoring Network. *MDPI Journal*, *12*(2411).

Lin, Z., Fariha, N. U. R., Zulkepli, S., Shareduwan, M., & Mohd, B. I. N. (2025). A Topological-Indicators-Based k -Means *Clustering* Algorithm and Its Application in Time Series Data : A Case Study on Sea Level Variability in Peninsular Malaysia. *IEEE Access*, *13*(January), 46514–46533. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3548558

Novianta, M. A., Syafrudin, S., & Warsito, B. (2023). K-Means *Clustering* for Grouping Rivers in DIY based on Water Quality Parameters. *JUITA: Jurnal Informatika*, *11*(1), 155–163.

Nuringtyas, S. B., Harini, R., & Widayani, P. (2023). Study of water degradation due to community activities in The Lake Batur ecosystem , Bangli District , Bali. *ICST UGM 2023*. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346803008

Pratama, M. A., & Constantine, D. M. (2023). A Spatiotemporal Analysis of Organic Pollutants Contamination in Ciliwung River, Indonesia. *CSID Journal of Infrastructure Development Volume*, *6*(2), 198–210. https://doi.org/10.7454/jid.v6.i2.1119

Ren, J. Y., Liu, H. M., Ding, S. Y., & Cao, Z. H. (2021). Spatio-Temporal Variation Characteristics of Water Quality and Its Response to Climate : A Case Study in Yihe River Basin. *Journal of Environmental Informatics Letters*, *6*(1), 10–22. https://doi.org/10.3808/jeil.202100070.nerable

Scitovski, R., Martínez-álvarez, F., Sabo, K., & Ungar, S. (2021). *Cluster Analysis and Applications*. Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74552-3

Steffelbauer, D. ., Blokker, M., Buchberger, S. G., Knobbe, A., & Abraham, E. (2021). Dynamic Time Warping *Clustering* to Discover Socioeconomic Characteristics in Smart Water Meter Data. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *6*(147). https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001360

Subehi, L., Wibowo, H., & Jung, K. (2016). *Characteristics of Rainfall-Discharge and Water Quality at Limboto Lake , Gorontalo , Indonesia*.

© 2017, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

48(3), 288–300. https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2016.48.3.4

Susila, M. T. A., Firdaus, I. N., Chuzairi, M. F., & Rahmawati, D. (2023). Flood Early Warning System Prototype Based on Ultrasonic Sensor and Internet of Things. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, *19*(3), 100–106. https://doi.org/10.17529/jre.v19i3.33147

Tung, T. M., & Yaseen, Z. M. (2020). Review papers A survey on river water quality modelling using artificial intelligence models : 2000 – 2020. *Journal of Hydrology*, *585*(February), 124670. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124670

Wang, R., Liu, L., Tao, Z., Wan, B., Wang, Y., Tang, X., Li, Y., & Li, X. (2024). Effect of urbanization and urban forests on water quality improvement in the Yangtze River Delta : A case study in Hangzhou , China. *Journal of Environmental Management*, *351*(January), 119980. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119980

Wang, X., Li, Y., Qiao, Q., Tavares, A., & Liang, Y. (2023). Water Quality Prediction Based on Machine Learning and Comprehensive Weighting Methods. *MDPI Journal*, 1–20. https://doi.org/10.3390/e25081186

Wu, J., Zeng, S., Yang, L., Ren, Y., & Xia, J. (2021). Spatiotemporal Characteristics of the Water Quality and Its Multiscale Relationship with Land Use in the Yangtze River Basin. *MDPI Journal*. https://doi.org/10.3390/rs13163309

© 2017, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP