

Fluktuasi *Chromophoric Dissolved Organic Matter* di Air Baku Instalasi Pengolahan Air Minum BLUD Air Minum Kota Cimahi

Muhammad Harish Darussalam, Geovania Alves Belo*, M. Rangga Sururi

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Bandung

*Koresponden email: geovania.alves@mhs.itenas.ac.id

Diterima: 4 Februari 2026

Disetujui: 10 Februari 2026

Abstract

The fluctuation of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) concentration in raw water poses a significant challenge for drinking water treatment plants due to its potential to form harmful disinfection by-products. This study aims to analyze the daily fluctuation patterns of CDOM and identify critical hours to optimize operational strategies at the Cimahi City Water Supply Utility Treatment Plant. Intensive monitoring was conducted over 5 days (05:00–19:00 WIB) by measuring UV absorbance at wavelengths of 254 nm, 298 nm, 355 nm, and 410 nm. Statistical analysis using histograms and boxplots showed that the absorbance data had a non-normal distribution with positive skewness and the presence of extreme outliers, indicating the dominance of event-driven shock loading due to anthropogenic disturbances rather than natural variability. Critical frequency analysis revealed a bimodal diurnal fluctuation pattern, with the highest organic load risks identified between 10.00–11.00 WIB and 15.00–16.00 WIB. These findings confirm that static coagulant dosing is ineffective in handling extreme pollutant load variability. Therefore, this study recommends a time-based dynamic dosing strategy, where treatment intensity is anticipatorily increased during critical time windows to prevent system failure, while the period of 05.00–07.00 WIB is identified as the optimal time for raw water intake.

Keywords: *raw water, diurnal fluctuation, critical hours, dosing management*

Abstrak

Fluktuasi konsentrasi *Chromophoric Dissolved Organic Matter* (CDOM) dalam air baku menjadi tantangan signifikan bagi instalasi pengolahan air minum karena potensinya dalam membentuk *Disinfection by-products* (DBPs) yang berbahaya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola fluktuasi harian CDOM dan mengidentifikasi jam-jam kritis guna mengoptimalkan strategi operasional di IPAM BLUD Air Minum Kota Cimahi. Pemantauan dilakukan secara intensif selama 5 hari (pukul 05.00–19.00 WIB) dengan mengukur parameter absorbansi UV pada panjang gelombang 254 nm, 298 nm, 355 nm, dan 410 nm. Analisis statistik menggunakan histogram dan *boxplot* menunjukkan bahwa data absorbansi memiliki distribusi tidak normal dengan kemencengan positif (*positive skewness*) serta keberadaan pencilan ekstrem (*outliers*) akibat gangguan antropogenik dibandingkan variabilitas alami. Analisis frekuensi jam kritis mengungkapkan pola fluktuasi diurnal tipe bimodal, dengan risiko beban organik tertinggi teridentifikasi pada pukul 10.00–11.00 WIB dan 15.00–16.00 WIB. Hal ini menegaskan bahwa penerapan dosis koagulan statis tidak efektif untuk menangani fluktuasi beban pencemar yang ekstrem. Oleh karena itu, penelitian ini merekomendasikan strategi manajemen dosis dinamis berbasis waktu, di mana intensitas pengolahan ditingkatkan secara antisipatif pada saat jam kritis agar air minum tetap aman, sementara periode pukul 05.00–07.00 WIB diidentifikasi sebagai waktu paling optimal untuk pengambilan air baku karena konsentrasi CDOM berada di saat terendah.

Kata Kunci: *air baku, fluktuasi diurnal, jam kritis, manajemen dosis*

1. Pendahuluan

Istilah *Chromophoric Dissolved Organic Matter* (CDOM) merujuk pada kelompok kompleks senyawa organik yang terlarut dalam air alami. Senyawa ini terdapat di semua badan air alami dan menyerap cahaya dalam rentang panjang gelombang tampak dan ultraviolet (UV) yang luas. Sumber CDOM dapat berupa masukan dari luar badan air (*allochthonous*) atau dari dalam badan air itu sendiri (*autochthonous*) [1]. Sumber masukan dari luar badan air bisa berasal dari pelapukan tanaman, limbah industri, air limpasan, atau limbah domestik, sedangkan sumber CDOM dari dalam badan air adalah ekskresi dari pengolahan materi organik dari mikroorganisme dalam air tersebut [2].

Konsentrasi CDOM yang berlebihan dalam air baku yang digunakan untuk pasokan air minum merupakan masalah yang cukup besar dalam pengolahan air minum di Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM). Ketika diolah dengan praktik klorinasi yang paling umum, peningkatan kadar CDOM dalam air baku dapat menghasilkan *Disinfection by-products* (DBPs) yang berbahaya seperti *Trihalomethanes* (THMs) [3]. THMs memiliki sifat genotoksik dan karsinogenik yang mampu merusak DNA seluler secara langsung, paparan terhadap THMs juga dapat menyebabkan nekrosis (kematian jaringan) pada hati dan ginjal [4].

2. Metode Penelitian

Pengambilan sampel untuk pengujian kualitas air baku mengacu pada SNI 7828:2004 tentang Pengambilan Contoh Uji Air dari Sistem Penyediaan Air Minum, sedangkan pengujian CDOM dilakukan dengan cara merujuk pada *Standard Methods 5910B* tentang Absorbansi UV Konstituen Organik. Waktu Pengambilan contoh uji dan titik lokasi sampling dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Waktu Pengambilan contoh uji, titik lokasi sampling, dan kondisi cuaca titik sampling

Hari dan Tanggal	Pukul	Lokasi
Senin, 07 Juli 2025	05.00 - 19.00	Outlet Sedimentasi IPAM BLUD Air Minum Kota Cimahi
Jumat, 11 Juli 2025	05.00 - 19.00	Outlet Sedimentasi IPAM BLUD Air Minum Kota Cimahi
Selasa, 15 Juli 2025	05.00 - 19.00	Outlet Sedimentasi IPAM BLUD Air Minum Kota Cimahi
Rabu, 16 Juli 2025	05.00 - 19.00	Outlet Sedimentasi IPAM BLUD Air Minum Kota Cimahi
Kamis, 17 Juli 2025	05.00 - 19.00	Outlet Sedimentasi IPAM BLUD Air Minum Kota Cimahi

Parameter CDOM diukur sebagai absorbansi UV pada panjang gelombang 254 nm (A₂₅₄) dan 355 nm (A₃₅₅). A₂₅₄ mewakili senyawa humik dan aromatik dalam air, sedangkan A₃₅₅ dikaitkan dengan CDOM terestrial. A₂₉₈ nm berhubungan dengan senyawa mirip triptofan dalam sampel air limbah domestik yang diolah di lahan basah buatan atau lahan basah sintesis. Dalam penelitian ini, A₄₁₀ nm diukur untuk mengidentifikasi kontaminasi dari aktivitas penggunaan lahan seperti pembuangan feses dan limbah ternak.

Pengujian selama 5 hari dilakukan untuk mendapatkan data yang representatif mengenai pola konsentrasi CDOM, pola ini penting diketahui untuk melakukan penentuan jam kritis. Jam kritis adalah saat di mana air mengandung konsentrasi organik yang lebih tinggi di banding rerata konsentrasi organik pada hari itu sehingga operator IPAM BLUD Air Minum Kota Cimahi dapat melakukan tindakan agar konsentrasi organik yang tinggi itu dapat tersisihkan dengan lebih optimal.

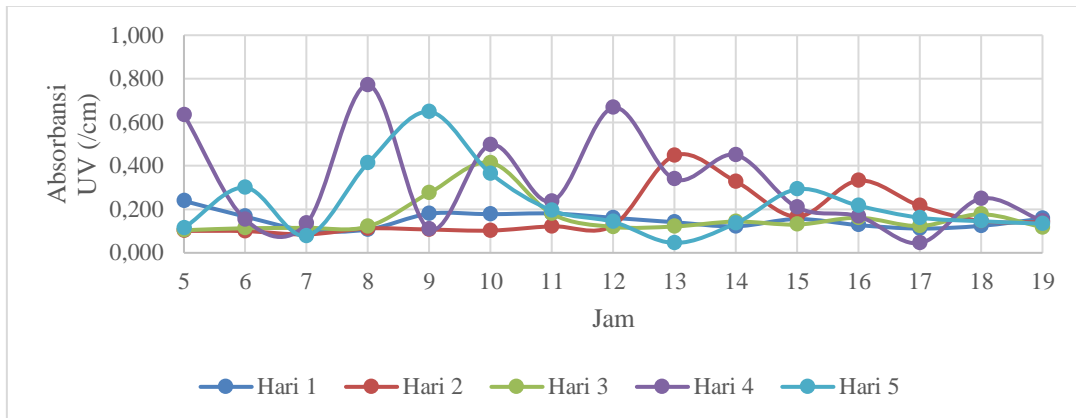
Data yang didapat kemudian direpresentasikan menggunakan grafik histogram, grafik ini adalah alat fundamental untuk memvisualisasikan bentuk data sebelum analisis lebih lanjut dilakukan. Grafik ini memungkinkan peneliti melihat apakah data terkonsentrasi di tengah (*normal*), miring ke satu sisi (*skewed*), atau memiliki banyak puncak (*multimodal*) [5]. Grafik histogram ini diperlukan untuk menentukan titik kritis suatu data, jika grafik histogram menunjukkan data terdistribusi normal maka titik kritis ditentukan menggunakan nilai mean atau rerata, sebaliknya jika data *skewed* atau tidak terdistribusi normal maka titik kritis data akan ditentukan berdasarkan median atau nilai tengahnya. Titik kritis adalah banyaknya konsentrasi CDOM yang biasanya berada dalam air sehingga jika konsentrasi CDOM lebih banyak dari titik kritisnya maka diperlukan perhatian lebih agar IPAM BLUD Air Minum Kota Cimahi tetap menyediakan air minum yang aman.

Jika grafik histogram menentukan apakah data tersebut terdistribusi normal atau tidak maka grafik *boxplot* digunakan untuk menentukan batas data wajar, *boxplot* menggunakan metode *Interquartile Range* (IQR) sehingga data yang keluar dari nilai batas kumis atau *whiskers* akan dianggap sebagai *outlier*. *Outlier* adalah data dalam kondisi ekstrem yang biasanya terdapat penyebab kenapa data tersebut berada di luar batas normal [6].

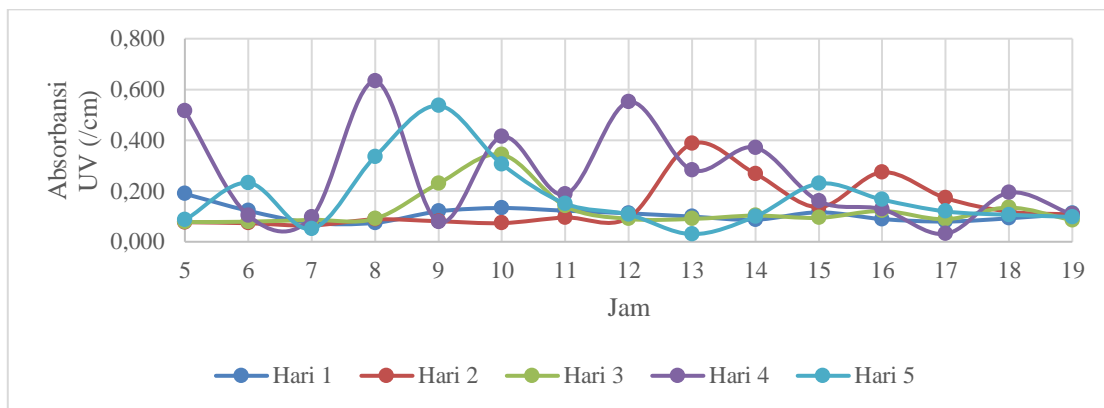
Nilai titik kritis sudah didapatkan kemudian data *outlier* juga sudah didapatkan maka langkah terakhir yang diperlukan adalah menentukan waktu kapan terjadinya konsentrasi CDOM melebihi titik kritis agar operator IPAM BLUD Air Minum Kota Cimahi dapat memprediksi kenaikan CDOM, Jika CDOM nilainya lebih tinggi pada waktu tersebut, operator dapat menyisihkan konsentrasi CDOM yang lebih tinggi dengan cara menaikkan dosis koagulan yang digunakan [7].

3. Hasil dan Pembahasan

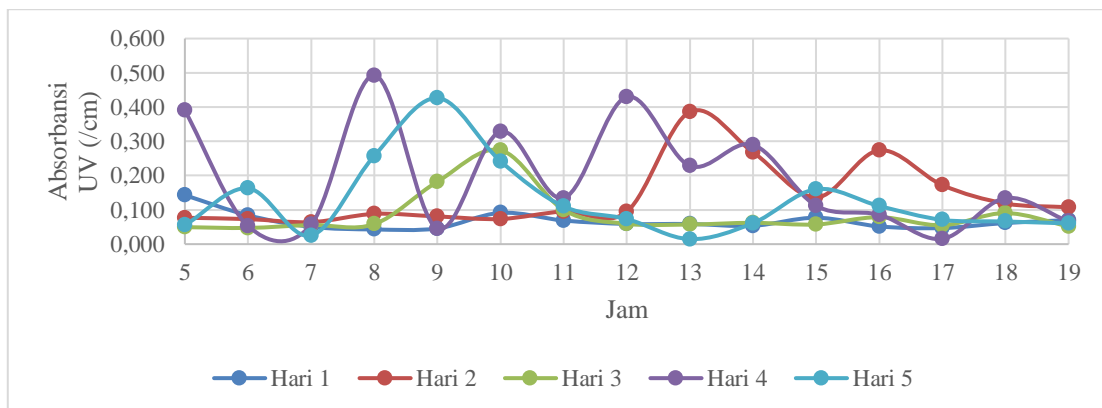
Fluktuasi CDOM di air baku IPAM BLUD Air Minum Kota Cimahi dapat dilihat pada **Gambar 1**, **Gambar 2**, **Gambar 3** dan **Gambar 4**.



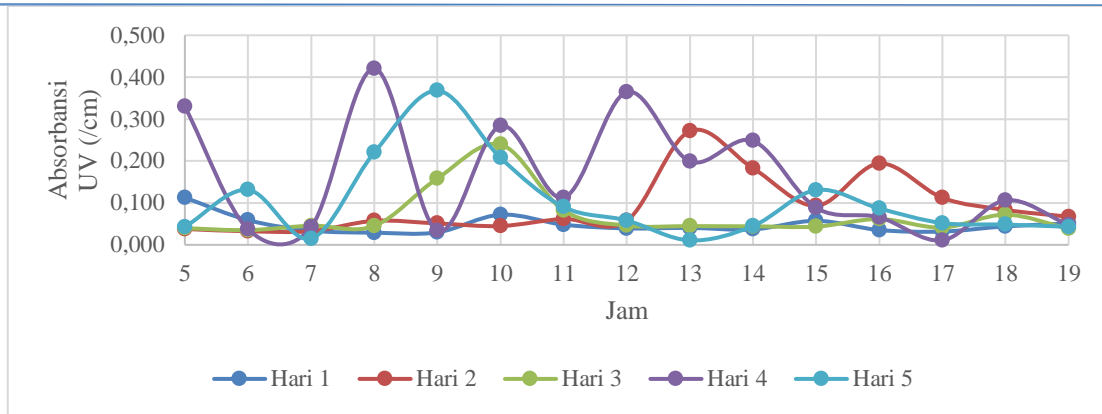
Gambar 1. Fluktuasi A254



Gambar 2. Fluktuasi A298

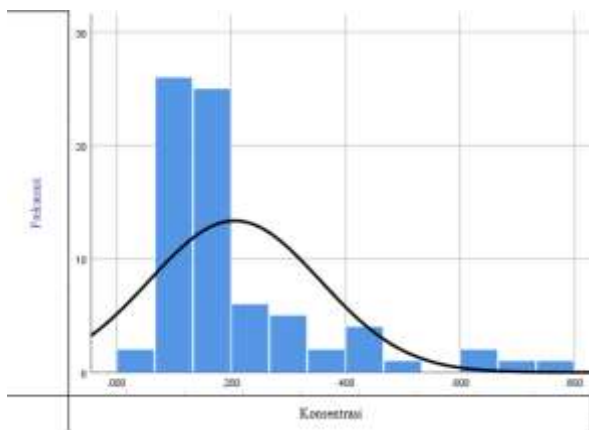


Gambar 3. Fluktuasi A355

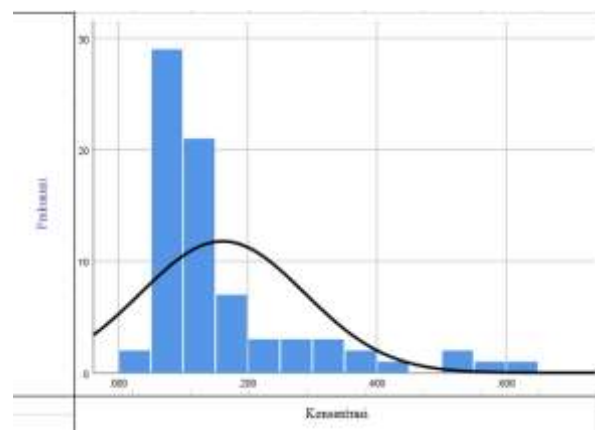


Gambar 4. Fluktuasi A410

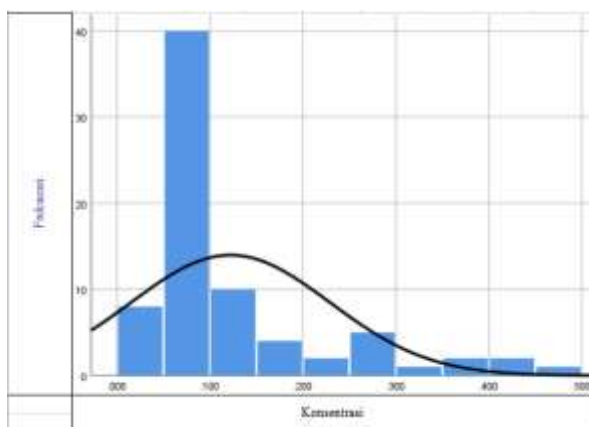
Berdasarkan Gambar 1 - 4, konsentrasi A254 memiliki puncak konsentrasi tertinggi di nilai $0,8 \text{ cm}^{-1}$ sedangkan konsentrasi terendah dimiliki oleh A410, dengan puncak konsentrasi tertinggi di nilai $0,45 \text{ cm}^{-1}$. Hal ini dapat terjadi karena semakin panjang gelombang yang digunakan ia akan memiliki sifat penurunan eksponensial, ini merupakan karakteristik tipikal dari CDOM [8]. Jam 8 – 14 menunjukkan kenaikan konsentrasi CDOM hal ini bisa terjadi akibat dari aktivitas antropogenik sekitar Sungai Cimahi [9]. Grafik histogram dapat dilihat pada Gambar 5.



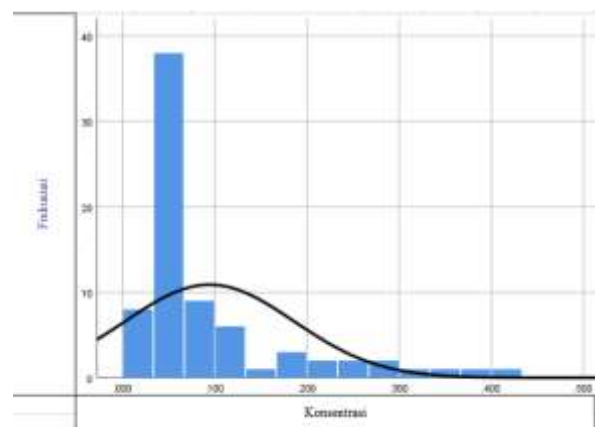
(a) A254



(b) A298



(c) A355



(d) A410

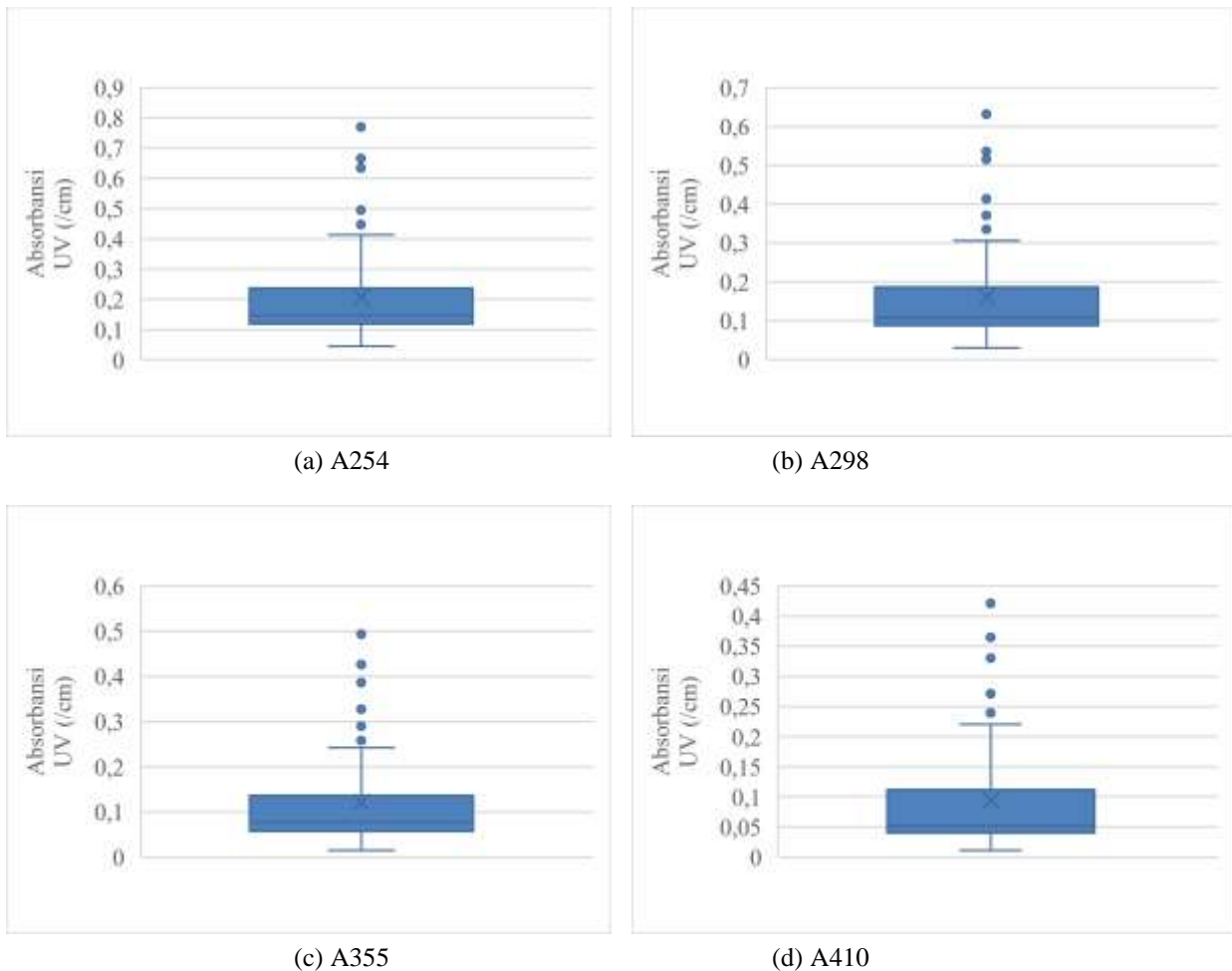
Gambar 5. Grafik Histogram

Berdasarkan Gambar 5 data absorbansi CDOM pada semua panjang gelombang menunjukkan distribusi yang tidak normal dengan pola kemencengan positif. Puncak frekuensi terkonsentrasi pada nilai absorbansi rendah yang mengindikasikan bahwa kondisi basis air baku umumnya memiliki beban organik rendah [10].

Namun, adanya data yang menceng ke arah kanan menunjukkan keberadaan pencemar ekstrem sesaat yang memiliki nilai absorbansi jauh di atas rata-rata. Secara statistik, distribusi tipe ini menegaskan bahwa IPAM menghadapi fluktuasi kualitas air yang tinggi, di mana parameter desain tidak boleh hanya mengandalkan nilai rerata, melainkan harus mempertimbangkan nilai persentil atas untuk mengantisipasi kegagalan pengolahan saat terjadi lonjakan beban organik akibat gangguan antropogenik atau hidrologis [11].

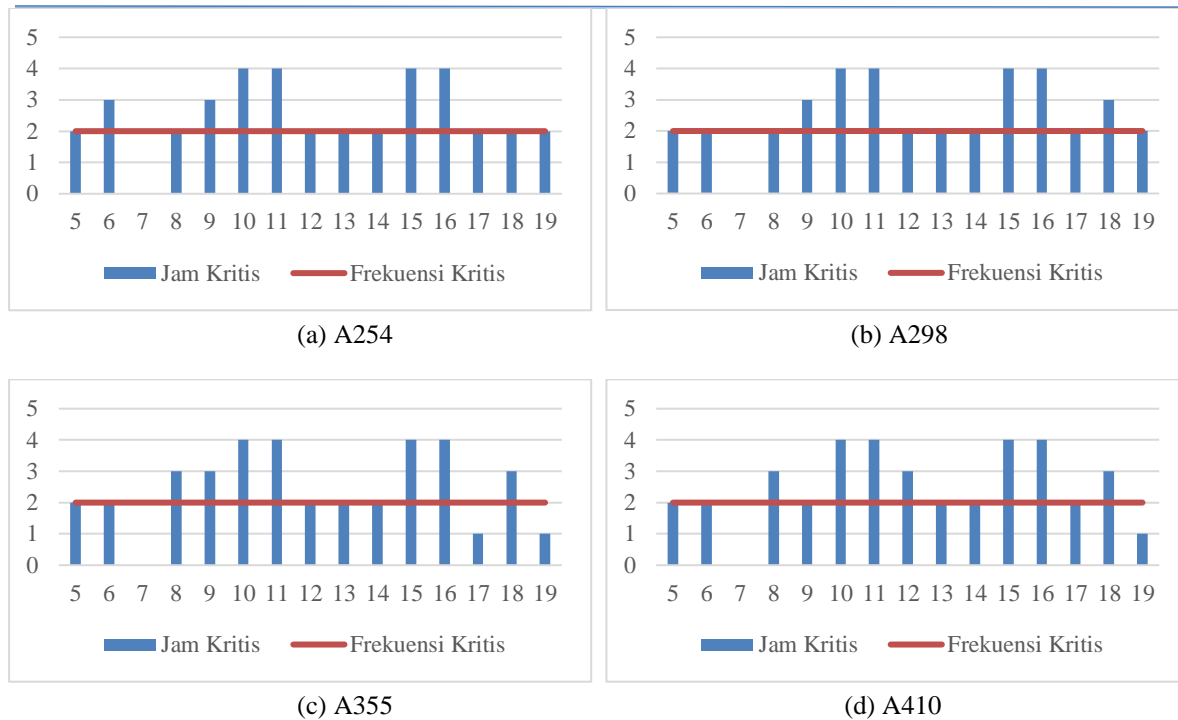
Grafik *boxplot* dapat dilihat pada **Gambar 6** dimana visualisasi data menggunakan *boxplot* mempertegas adanya fluktuasi ekstrem pada kualitas air baku. Teridentifikasi sejumlah besar pencilan atas di luar jangkauan interkuartil mengindikasikan bahwa dinamika CDOM di badan air sangat dipengaruhi oleh kejadian sesaat, seperti limpasan permukaan atau gangguan antropogenik, yang menyimpang signifikan dari kondisi dasar (*baseflow*).

Secara statistik, posisi nilai rerata (tanda X) yang secara konsisten berada di atas nilai median (garis horizontal dalam kotak) pada semua panjang gelombang men[12]konfirmasi distribusi data yang menceng ke kanan (*positively skewed*). Ketidaksimetrisan ini adalah karakteristik tipikal dari sistem perairan yang menerima beban organik secara episodik, di mana mean bukanlah representator pusat data yang robust. Implikasi operasionalnya, desain kapasitas unit pengolahan IPAM tidak boleh hanya didasarkan pada nilai rerata konsentrasi, melainkan harus memperhitungkan nilai pencilan ekstrem ini untuk menjamin ketahanan sistem saat terjadi lonjakan beban pencemar [12].



Gambar 6. Grafik Boxplot

Berdasarkan **Gambar 7** teridentifikasi pola fluktuasi diurnal yang bersifat bimodal, dengan frekuensi data yang melewati frekuensi kritis tertinggi terjadi pada pukul 10.00 – 11.00 WIB dan 15.00 – 16.00 WIB. Konsentrasi kejadian kritis pada jam-jam tersebut mengindikasikan adanya pengaruh kuat aktivitas antropogenik yang terhubung dengan siklus pembuangan limbah domestik dari sumber pencemar ke intake IPAM [13].



Gambar 7. Jam Kritis CDOM

Berdasarkan hal itu maka penggunaan dosis bahan kimia yang statis (konstan) sepanjang hari tidak akan efektif. Sebaiknya penerapan variasi dosis koagulan berbasis waktu perlu dilakukan, di mana operator meningkatkan dosis koagulan secara antisipatif pada jam yang berisiko tinggi. Sebaliknya, pada pukul 5 – 7, yang menunjukkan frekuensi kritis terendah dapat dimanfaatkan sebagai waktu optimal untuk memaksimalkan debit pengambilan air baku karena konsentrasi CDOM berada di saat terendah [14, 15].

4. Kesimpulan

Fluktuasi CDOM di air baku IPAM BLUD Air Minum Kota Cimahi memiliki distribusi data yang tidak normal (menceng kanan) akibat aktivitas antropogenik. Analisis penentuan jam kritis mengidentifikasi pola bimodal dengan risiko beban organik tertinggi terjadi pada pukul 10.00 – 11.00 WIB dan 15.00 – 16.00 WIB, sementara periode teraman berada pada pukul 05.00–07.00 WIB. Oleh karena itu, penerapan dosis koagulan statis dinilai tidak efektif dan direkomendasikan untuk diganti dengan strategi dosis dinamis berbasis waktu, di mana intensitas pengolahan ditingkatkan secara antisipatif pada jam-jam kritis tersebut agar air yang diterima oleh masyarakat tetap aman sepanjang waktu.

5. Referensi

1. Nima, C., et al., *CDOM absorption properties of natural water bodies along extreme environmental gradients*. Water, 2019. **11**(10): p. 1988.
2. Zhang, Y., et al., *A study of absorption characteristics of chromophoric dissolved organic matter and particles in Lake Taihu, China*. Hydrobiologia, 2007. **592**(1): p. 105-120.
3. Franklin, H.M., et al., *Terrestrial dissolved organic matter source affects disinfection by-product formation during water treatment and subsequent toxicity*. Environmental Pollution, 2021. **283**: p. 117232.
4. Richardson, S.D., et al., *Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water: a review and roadmap for research*. Mutation Research/Reviews in Mutation Research, 2007. **636**(1-3): p. 178-242.
5. Subhaktiyasa, P.G., et al., *Uji korelasi dalam penelitian kuantitatif: Kajian konseptual, asumsi statistik, dan implikasi praktis*. Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan, 2025. **10**(4).
6. Fitrianto, A., et al., *Comparing outlier detection methods using boxplot generalized extreme studentized deviate and sequential fences*. Aceh International Journal of Science and Technology, 2022. **11**(1): p. 38-45.
7. Sillanpää, M. and Y. Park, *Natural Organic Matter in Water: Characterization, Treatment Methods, and Climate Change Impact*. 2022: Butterworth-Heinemann.

8. Helms, J.R., et al., *Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter*. *Limnology and oceanography*, 2008. **53**(3): p. 955-969.
9. Spencer, R.G., et al., *Diurnal variability in riverine dissolved organic matter composition determined by in situ optical measurement in the San Joaquin River (California, USA)*. *Hydrological Processes: An International Journal*, 2007. **21**(23): p. 3181-3189.
10. Blaen, P.J., et al., *High-frequency monitoring of catchment nutrient exports reveals highly variable storm event responses and dynamic source zone activation*. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 2017. **122**(9): p. 2265-2281.
11. Noori, R., et al., *Assessment of input variables determination on the SVM model performance using PCA, Gamma test, and forward selection techniques for monthly stream flow prediction*. *Journal of hydrology*, 2011. **401**(3-4): p. 177-189.
12. Ogwueleka, T.C., *Use of multivariate statistical techniques for the evaluation of temporal and spatial variations in water quality of the Kaduna River, Nigeria*. *Environmental monitoring and assessment*, 2015. **187**(3): p. 137.
13. Wen, Y., et al., *Seasonal variations of dissolved organic matter in urban rivers of Northern China*. *Land*, 2023. **12**(2): p. 273.
14. Chang, F.-J., et al., *Modeling water quality in an urban river using hydrological factors—Data driven approaches*. *Journal of environmental management*, 2015. **151**: p. 87-96.
15. Honda, R., et al., *Transition of antimicrobial resistome in wastewater treatment plants: impact of process configuration, geographical location and season*. *npj Clean Water*, 2023. **6**(1): p. 46.