

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dinamika kualitas air pada empat Daerah Aliran Sungai di Provinsi Sumatra Barat, yaitu Batang Agam, Batang Anai, Batang Lembang, dan Batang Ombilin selama periode 2022-2025, diperoleh kesimpulan yang disusun sesuai dengan keempat tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Analisis Deskriptif Karakteristik Temporal

Secara umum, keempat DAS menunjukkan karakteristik pencemaran yang berbeda sesuai dengan tekanan antropogenik dominan di masing-masing wilayah:

- a. DAS Batang Agam mengalami tekanan pencemaran organik dan biologis paling berat. BOD melampaui baku mutu pada tujuh dari delapan periode dan COD pada lima dari delapan periode. TSS melonjak hingga 136,36 mg/L pada 2024_I, DO paling tidak stabil di antara keempat DAS, dan total fosfat melampaui baku mutu pada 2023_II serta 2025_II (0,27 mg/L);
- b. DAS Batang Anai relatif paling baik pada parameter fisik dan kimia dengan TSS hanya 3,08-34,19 mg/L dan DO stabil di kisaran 7 mg/L, namun mencatat pencemaran mikrobiologis tertinggi di antara seluruh DAS pada 2025_I sebesar 27.910 MPN/100 mL;
- c. Batang Lembang lebih dipengaruhi limpasan pertanian dan permukiman, dengan BOD dan COD berfluktuasi mendekati baku mutu serta pH terendah 5,79 pada 2023_II yang tidak memenuhi baku mutu;
- d. Batang Ombilin menunjukkan tekanan khas pertambangan dan pertanian, dengan TSS tertinggi di antara keempat DAS sebesar 345,70 mg/L pada 2024_I, fluktuasi pH yang lebar (6,32-8,06), serta total fosfat tertinggi sebesar 0,46 mg/L pada 2023_II.

2. Analisis Temporal Perbedaan Antarperiode Sampling

Uji *Friedman* menunjukkan seluruh 32 kombinasi parameter dan DAS berbeda signifikan antarperiode sampling dengan nilai *p* kurang dari 0,05 dan nilai *Chi-Square* berkisar 22,28 sampai 63,52. Uji lanjut *Wilcoxon Signed-Rank* dengan koreksi *Benjamini-Hochberg* menunjukkan 449 dari 896 pasangan periode atau

50,1% tetap berbeda signifikan. Urutan dinamika temporal antar-DAS setelah koreksi adalah sebagai berikut:

- a. Batang Agam memiliki 106 dari 224 pasangan atau 47,3% yang tetap berbeda signifikan setelah koreksi, terendah kedua di antara keempat DAS. Nilai *Chi-Square* tertinggi terdapat pada nitrat sebesar 55,568 dan *fecal coliform* sebesar 54,838, sedangkan DO merupakan parameter dengan nilai χ^2 *Friedman* terendah pada DAS ini, yang berarti perbedaan antarperiodenya paling kecil, meskipun sebaran nilainya antarlokasi tercatat paling lebar dibandingkan tiga DAS lainnya;
- b. Batang Anai memiliki 104 dari 224 pasangan atau 46,4% tetap berbeda signifikan, yang merupakan dinamika temporal terendah di antara keempat DAS. Nilai *Chi-Square* tertinggi terdapat pada *Fecal coliform* sebesar 54,093 dan COD sebesar 50,467, sedangkan total fosfat merupakan parameter paling stabil dalam penelitian dengan nilai *Chi-Square* 22,430;
- c. Batang Lembang memiliki 117 dari 224 pasangan atau 52,2% tetap berbeda signifikan. Nilai *Chi-Square* tertinggi terdapat pada pH sebesar 60,080 dan nitrat sebesar 51,953, sedangkan TSS tidak menunjukkan satu pun pasangan periode yang berbeda signifikan setelah koreksi;
- d. Batang Ombilin memiliki temuan paling kokoh terhadap koreksi pengujian berganda dengan 122 dari 224 pasangan atau 54,5% tetap berbeda signifikan. Nilai *Chi-Square* tertinggi dalam penelitian terdapat pada *Fecal coliform* sebesar 63,519 dan pH sebesar 63,417.

3. Analisis Prediksi Kualitas Air 2026–2027

Prediksi kualitas air periode 2026–2027 dilakukan menggunakan tiga model, yaitu ARIMA(1,0,0), *Grey model* GM(1,1), dan Holt-DES, dengan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebagai kriteria evaluasi terhadap dua periode data uji. Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut:

- a. Model yang memenuhi kriteria kelayakan dengan MAPE tidak melebihi 50% diperoleh pada 18 dari 32 kombinasi. Akurasi tertinggi dicapai DO Batang Ombilin dengan MAPE 2,09%, disusul pH Batang Agam 3,51%, pH Batang Anai 4,85%, dan COD Batang Agam 6,05%;

- b. Model tidak memenuhi kriteria kelayakan pada 14 kombinasi, terutama TSS, total fosfat, dan *fecal coliform*. Ketidaklayakan tersebut disebabkan lonjakan episodik yang tidak berulang, rentang data yang sangat lebar, nilai aktual yang sangat kecil sehingga MAPE membengkak, serta jumlah observasi yang hanya delapan periode. Pada nitrat DAS Batang Lembang dan DAS Batang Ombilin, ketiga model gagal memenuhi kriteria kelayakan sehingga proyeksi kuantitatif tidak dilanjutkan;
- c. *Fecal coliform* diproyeksikan tetap melampaui baku mutu pada keempat DAS hingga 2027. Model terbaik yang memenuhi kriteria kelayakan hanya diperoleh pada Batang Agam dengan MAPE 48,48%, yaitu pada kisaran 8.128–8.859 MPN/100 mL atau sekitar delapan kali baku mutu. Angka tersebut pun berada tepat pada batas kelayakan sehingga hanya dapat dibaca sebagai indikasi orde besaran dan bukan sebagai nilai titik. Pada Batang Anai, Batang Lembang, dan Batang Ombilin, MAPE model terbaik berturut-turut 151,41%, 1.619,34%, dan 4.671,94%, sehingga besaran proyeksinya tidak dapat dijadikan acuan sama sekali. Yang konsisten di antara keempat DAS dan ketiga model adalah arah proyeksinya, yaitu tetap berada di atas baku mutu 1.000 MPN/100 mL;
- d. DO Batang Agam diproyeksikan menurun dari 5,20 mg/L pada 2026_I menjadi 2,82 mg/L pada 2027_II sehingga tidak memenuhi baku mutu minimum 4 mg/L mulai periode 2027_I. BOD dan COD Batang Agam juga diproyeksikan tetap melampaui baku mutu;
- e. TSS Batang Ombilin diproyeksikan tetap melampaui baku mutu pada kisaran 73,458-95,403 mg/L akibat sedimentasi dari aktivitas pertambangan.

4. Analisis Parameter Dominan

Principal Component Analysis mengidentifikasi struktur parameter dominan yang berbeda pada tiap DAS dan mencerminkan sumber pencemaran yang spesifik terhadap konteks masing-masing wilayah:

- a. Batang Agam dengan nilai KMO 0,590 dan *Bartlett* χ^2 sebesar 231,13 membentuk tiga komponen utama yang menjelaskan 72,71% variasi. Komponen pertama menyumbang 32,77% dan didominasi BOD, COD, serta DO. Komponen kedua menyumbang 25,78% dan didominasi *fecal coliform*,

nitrat dan TSS. Sedangkan komponen ketiga didominasi pH yang lebih mencerminkan variasi alami perairan daripada tekanan antropogenik;

- b. Batang Anai dengan nilai KMO 0,539 dan *Bartlett* χ^2 sebesar 153,72 membentuk tiga komponen utama yang menjelaskan 66,28% variasi. Komponen pertama menyumbang 28,18% dan didominasi BOD, *fecal coliform*, serta COD, sedangkan komponen kedua menyumbang 22,61% dan didominasi nitrat, TSS, serta DO;
- c. Batang Lembang dengan nilai KMO 0,594 dan *Bartlett* χ^2 sebesar 125,51 membentuk empat komponen utama yang menjelaskan 76,32% variasi, tertinggi di antara keempat DAS. Komponen pertama menyumbang 29,60% dan didominasi BOD, pH, serta nitrat, sedangkan komponen kedua menyumbang 18,69% dan didominasi *fecal coliform*, TSS, serta pH;
- d. Batang Ombilin memiliki nilai KMO 0,372 yang berada di bawah ambang kelayakan 0,5, sehingga struktur komponen utama tidak terbentuk secara stabil dan parameter dominan pada DAS ini tidak dapat ditentukan. Rendahnya nilai KMO menunjukkan korelasi antarparameter belum cukup kuat untuk membentuk komponen utama. Kondisi ini diduga berkaitan dengan pola pencemaran yang bersifat episodik akibat aktivitas pertambangan, namun dugaan tersebut belum dapat dibuktikan dalam penelitian ini dan memerlukan pengujian lebih lanjut.

5.2 Saran

1. Pengendalian pencemaran mikrobiologis perlu ditetapkan sebagai prioritas utama pengelolaan kualitas air sungai di Provinsi Sumatra Barat, disertai intervensi spesifik berupa pengurangan beban bahan organik di DAS Batang Agam, pengendalian sedimentasi dan air asam tambang di DAS Batang Ombilin, serta pengendalian limpasan pupuk di DAS Batang Lembang;
2. Frekuensi pemantauan perlu ditingkatkan dari dua kali menjadi minimal empat kali dalam setahun, disertai pengambilan sampel tambahan setelah kejadian hujan lebat, agar perubahan kualitas air yang berlangsung dalam waktu singkat dapat terekam. Jumlah titik pemantauan juga perlu ditambah, khususnya pada

DAS Batang Ombilin yang nilai KMO-nya masih berada di bawah ambang kelayakan sehingga struktur parameter dominannya belum dapat ditentukan;

3. Parameter yang tidak dapat dimodelkan secara akurat, yaitu TSS, total fosfat, dan *fecal coliform*, sebaiknya dikelola melalui penguatan pemantauan berbasis kejadian daripada melalui pemodelan deret waktu, mengingat karakter pencemarannya yang episodik;
4. Penelitian lanjutan perlu mengembangkan model peramalan hibrida untuk parameter dengan MAPE tinggi, menggunakan metrik evaluasi selain MAPE yang lebih tahan terhadap nilai aktual yang mendekati nol, serta mengintegrasikan variabel curah hujan, debit sungai, dan tata guna lahan ke dalam model untuk memperkuat interpretasi sebab akibat.

