

Pengujian Total Coliform Air Limbah Inlet IPAL di Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup Sumatera Barat Menggunakan Metode Most Probable Number (MPN)

Total Coliform Testing of Inlet IPAL Wastewater at the Laboratory of West Sumatra Environmental Agency Using the Most Probable Number (MPN) Method

Shella Anggraeni¹⁾, Irdawati²⁾

¹⁾ Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang

²⁾ Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang

Jl. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Barat, Kecamatan Padang Utara, Kota Padang

Email: shellaanggraeni10@gmail.com

ABSTRAK

Pencemaran lingkungan akibat pembuangan air limbah yang belum memenuhi standar baku mutu merupakan salah satu isu penting dalam pengelolaan kualitas lingkungan. Air limbah yang tidak diolah dengan baik dapat mengandung mikroorganisme patogen, salah satunya adalah kelompok bakteri Total Coliform yang umum digunakan sebagai indikator pencemaran biologis. Kegiatan magang ini bertujuan untuk mempelajari metode pengujian Total Coliform pada air limbah menggunakan pendekatan *Most Probable Number* (MPN), serta menganalisis hasil uji dua sampel air limbah dari saluran inlet Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) laboratorium. Magang dilaksanakan di UPTD Laboratorium Lingkungan, Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Sumatera Barat. Metode MPN dipilih karena mampu mengestimasi jumlah bakteri berdasarkan reaksi fermentasi laktosa yang disertai pembentukan gas, serta cocok digunakan untuk sampel air yang tidak jernih. Hasil pengujian menunjukkan bahwa jumlah Total Coliform pada sampel pertama (20 Januari 2025) adalah 110.000 MPN/100 mL, sementara pada sampel kedua (10 Februari 2025) menurun menjadi 930 MPN/100 mL. Meskipun terjadi penurunan yang signifikan, kedua nilai tersebut masih melebihi ambang batas baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri LHK No. P.68 Tahun 2016 sebesar 3.000 MPN/100 mL. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa proses pengolahan limbah telah menunjukkan peningkatan, namun masih memerlukan optimalisasi, terutama pada tahap desinfeksi akhir. Kegiatan ini memberikan pemahaman langsung tentang teknik pengujian mikrobiologi air limbah serta pentingnya peran laboratorium lingkungan dalam pengawasan kualitas air secara berkelanjutan.

Kata kunci: Total Coliform, air limbah, metode MPN, baku mutu, uji laboratorium, IPAL

PENDAHULUAN

Air limbah merupakan salah satu produk samping dari berbagai aktivitas manusia, baik domestik, industri, maupun laboratorium. Kandungan dalam air limbah sangat beragam, mulai dari zat organik, senyawa kimia, hingga mikroorganisme patogen. Apabila tidak diolah dengan baik, air limbah dapat mencemari lingkungan, merusak ekosistem, serta mengancam kesehatan manusia. Salah satu parameter penting

yang umum digunakan dalam pengujian kualitas mikrobiologis air limbah adalah keberadaan *Total Coliform*, yaitu kelompok bakteri indikator yang mencerminkan adanya pencemaran oleh limbah fekal atau bahan organik lainnya (Kurniawan et al., 2023).

Total Coliform tidak selalu bersifat patogen, namun kehadirannya menandakan potensi adanya mikroba patogen di lingkungan air. Pengawasan kualitas air limbah memerlukan integrasi antara parameter fisika, kimia, dan biologi (Harahap & Lubis, 2021). Oleh karena itu, parameter ini menjadi salah satu indikator penting dalam evaluasi kualitas air limbah sebelum dibuang ke badan air penerima. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen LHK) No. P.68/MENLHK/SETJEN/KUM.1/8/2016 menetapkan bahwa ambang batas *Total Coliform* dalam air limbah maksimum adalah 3.000 MPN/100 mL. Melebihi batas tersebut berarti air limbah tidak layak untuk dibuang tanpa perlakuan tambahan. Keberadaan IPAL menjadi strategi penting dalam mengolah limbah agar sesuai standar tersebut. Namun, efektivitas IPAL seringkali dipengaruhi oleh fluktuasi beban limbah dan pemeliharaan teknis (Mayangsari et al., 2022; Supriyanto et al., 2023). Hal ini sejalan dengan temuan Putri, Rahayu, & Gunawan (2022) yang menekankan pentingnya pemantauan berkala untuk efektivitas pengolahan.

Pengelolaan air limbah memerlukan sarana seperti Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang bertugas mengurangi kandungan bahan pencemar hingga di bawah ambang batas yang ditentukan. Di sisi lain, efektivitas IPAL harus selalu dimonitor secara berkala. Salah satu metode yang umum digunakan dalam pengujian *Total Coliform* adalah metode *Most Probable Number* (MPN), yaitu metode statistik kuantitatif berbasis pengamatan produksi gas dari hasil fermentasi laktosa oleh bakteri indikator pada media cair. MPN digunakan secara luas karena efisien untuk air limbah yang keruh dan sulit diuji dengan metode filtrasi membran (Setiawan & Handayani, 2020).

UPTD Laboratorium Lingkungan, Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Sumatera Barat, merupakan salah satu laboratorium terakreditasi (Komite Akreditasi Nasional, 2022), yang menjalankan fungsi pemantauan kualitas lingkungan, termasuk pengujian parameter mikrobiologis air limbah. Sistem manajemen mutu laboratorium ini mengikuti pedoman SNI ISO/IEC 17025:2017 (BSN, 2017). Evaluasi penerapan manajemen laboratorium berdasarkan prinsip risiko juga penting dalam menjamin kualitas hasil uji (Lestari & Nugroho, 2023). Laboratorium ini melayani berbagai permintaan uji dari instansi pemerintah maupun swasta, serta menjadi tempat pelaksanaan kegiatan magang profesi bagi mahasiswa program studi Biologi. Dalam konteks ini, laboratorium tidak hanya menjalankan fungsi pengujian teknis, tetapi juga sebagai pusat pembelajaran dan penelitian terapan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kandungan *Total Coliform* pada air limbah inlet IPAL melalui metode MPN. Metode MPN digunakan secara luas di laboratorium lingkungan karena cocok untuk sampel keruh dan tidak memerlukan isolasi koloni murni (Setiawan & Handayani, 2020; Mutiara & Irdawati, 2023). Studi serupa oleh Munfarida et al. (2024) juga menekankan pentingnya parameter ini dalam pemantauan kualitas air sungai yang menerima limpasan limbah domestik. Penelitian dilakukan dengan dua kali pengambilan sampel pada waktu yang berbeda, untuk mengamati potensi variasi kontaminasi dan efektivitas pengolahan air limbah pada periode tersebut. Selain itu, melalui penelitian ini diharapkan dapat diperoleh pemahaman mendalam mengenai prosedur kerja laboratorium lingkungan, mulai dari tahap pengambilan sampel, inokulasi media, inkubasi, hingga analisis data berbasis tabel statistik MPN.

Dengan keterlibatan langsung dalam proses pengujian dan analisis, penelitian ini juga berfungsi sebagai media penguatan kompetensi mahasiswa dalam penerapan metode mikrobiologi lingkungan. Implikasi hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan kepada pihak laboratorium maupun instansi terkait mengenai efektivitas sistem IPAL saat ini, serta pentingnya pemantauan parameter mikrobiologis secara rutin. Ke depannya, upaya peningkatan efisiensi sistem pengolahan limbah harus terus dilakukan guna menjaga keberlanjutan kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di UPTD Laboratorium Lingkungan, Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Sumatera Barat, Jl. Khatib Sulaiman, Kota Padang yang telah memiliki sertifikat akreditasi laboratorium uji (Komite Akreditasi Nasional, 2022). Pengambilan sampel air limbah inlet IPAL dilakukan langsung di saluran masuk Instalasi Pengolahan Air Limbah pada dua periode berbeda, yaitu 20 Januari dan 10 Februari 2025. Untuk menjaga integritas mikrobiologis sampel, semua botol sampling steril disimpan dalam cool box pada suhu $\approx 4^{\circ}\text{C}$ dan diolah dalam laboratorium paling lambat 24 jam setelah pengambilan.

Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian menggunakan botol sampling steril 500 mL untuk pengumpulan sampel, tabung reaksi 10 mL dengan tabung Durham untuk mendeteksi produksi gas, pipet ukur dan pipet mikro untuk proses pengenceran, serta rak tabung reaksi untuk penyusunan ulangan. Sterilisasi alat dan media dilakukan di autoklaf (121°C , 15 menit). Inokulasi berlangsung di dalam laminar air flow cabinet untuk mencegah kontaminasi

silang. Inkubasi sampel dilakukan pada inkubator mikrobiologi (35 ± 2 °C, 24–48 jam). Neraca analitik, timer digital, dan termometer laboratorium digunakan untuk memastikan akurasi pengukuran. Bahan yang dipakai meliputi sampel air limbah inlet IPAL, media *Lactose Broth* (LB) untuk uji pendugaan, *Brilliant Green Lactose Bile Broth* (BGLB) untuk uji penegasan, dan *Buffered Peptone Water* (BPW) sebagai media pengencer awal. Aquadest steril digunakan untuk pelarutan dan pembersihan alat. Semua media diperoleh dari Oxoid™ dan disiapkan sesuai *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017).

Metode Penelitian

Metode penelitian mengikuti protokol MPN versi APHA (2017) dengan beberapa modifikasi minor untuk kondisi lokal. Sampel diencerkan seri dari 10^{-1} hingga 10^{-5} menggunakan BPW; setiap pengenceran diinokulasi ke dalam lima tabung LB (uji pendugaan). Setelah inkubasi (35 °C, 24–48 jam), tabung positif yang menunjukkan gas dipindahkan ke lima tabung BGLB (uji penegasan) dan diinkubasi ulang. Jumlah tabung positif pada setiap tingkat pengenceran dicatat, lalu dihitung estimasi MPN/100 mL menggunakan tabel statistik standar. Semua langkah inokulasi dilakukan dalam kondisi aseptik; catatan waktu inkubasi dan suhu diambil secara berkala. Perhitungan nilai MPN berdasarkan tabel statistik. Seluruh tahapan dilakukan dengan prosedur aseptik dan pemantauan suhu serta waktu inkubasi secara ketat. Manajemen risiko laboratorium diperhatikan untuk mencegah kontaminasi silang (Lestari & Nugroho, 2023). Evaluasi implementasi keselamatan kerja juga diterapkan untuk mendukung integritas pengujian (Purwanto et al., 2021).

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain eksperimental deskriptif kuantitatif dengan dua titik waktu sampling untuk mengevaluasi perubahan kandungan *Total Coliform*. Setiap sampel diuji pada tiga tingkat pengenceran (10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5}) dengan lima ulangan per tingkat ($n = 5$). Peta konsep eksperimen (Diagram 1) menggambarkan alur kerja: pengambilan sampel → pengenceran → uji pendugaan → uji penegasan → analisis MPN. Semua pembuatan larutan dan media merujuk APHA (2017) sebagai sumber acuan. Validitas pengujian dijaga dengan mengikuti prinsip-prinsip manajemen mutu laboratorium (Purwanto et al., 2021).

Analisis Data

Data hasil pengujian *Total Coliform* dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan mengacu pada jumlah tabung positif dari masing-masing tingkat pengenceran. Nilai estimasi *Total Coliform* per 100 mL ditentukan menggunakan tabel statistik Most Probable Number (MPN) berdasarkan pedoman dari *Standard Methods for the*

Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017). Hasil dari dua kali pengambilan sampel disusun dalam bentuk tabel dan dibandingkan secara kuantitatif berdasarkan perbedaan nilai MPN antarwaktu.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian *Total Coliform* pada air limbah inlet Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dilakukan dua kali pengambilan sampel, yaitu pada tanggal 20 Januari dan 10 Februari 2025. Pengujian dilakukan menggunakan metode *Most Probable Number* (MPN) yang mengestimasi jumlah bakteri *coliform* berdasarkan hasil positif pembentukan gas pada tabung Durham di media cair. Data hasil uji tersebut ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian total *coliform* air limbah inlet IPAL menggunakan metode MPN

No	Tanggal	Jenis Sampel	Jumlah LB ±			Jumlah BGLB ±			Nilai Pembacaan Tabel MPN	Jumlah Bakteri (MPN/100 ml)
			10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵		
1.	20 Januari 2025	Air Limbah (Inlet IPAL)	5	5	5	3	1	0	11	110.000
2.	10 Februari 2025	Air Limbah (Inlet IPAL)	5	5	5	2	2	0	9,3	930

Berdasarkan hasil pada Tabel 1, sampel air limbah pertama yang diambil pada tanggal 20 Januari 2025 menunjukkan nilai MPN sebesar 110.000 MPN/100 mL. Nilai ini berada jauh di atas ambang batas baku mutu air limbah menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68 Tahun 2016, yaitu sebesar 3.000 MPN/100 mL. Jumlah ini menunjukkan bahwa air limbah pada saat itu mengandung populasi bakteri *coliform* dalam jumlah yang sangat tinggi, yang dapat menandakan masuknya limbah fekal atau limbah organik dengan beban tinggi tanpa pengolahan yang efektif. Hal ini menjadi indikasi bahwa proses pengolahan yang berlangsung pada IPAL saat itu belum mampu menekan jumlah bakteri hingga pada tingkat aman sesuai standar lingkungan.

Sampel kedua yang diambil pada tanggal 10 Februari 2025 menunjukkan nilai MPN sebesar 930 MPN/100 mL. Meskipun nilai ini juga masih melebihi ambang batas baku mutu, namun terjadi penurunan yang signifikan dibandingkan dengan sampel pertama. Penurunan ini menunjukkan adanya perbaikan dalam sistem pengolahan air limbah atau variasi operasional IPAL pada periode tersebut. Penurunan jumlah *Total Coliform* dapat terjadi karena berbagai faktor, di antaranya adalah stabilitas beban limbah yang masuk, kondisi teknis dari instalasi pengolahan, serta efektivitas proses desinfeksi atau filtrasi akhir. Dengan demikian, meskipun belum sepenuhnya efektif, kinerja IPAL pada pengambilan sampel kedua menunjukkan tanda-tanda perbaikan dalam pengendalian kontaminasi mikrobiologis.

Metode MPN yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode statistik klasik yang masih banyak dipakai di berbagai laboratorium lingkungan. Metode ini memberikan estimasi kuantitatif jumlah *coliform* berdasarkan hasil fermentasi laktosa oleh bakteri yang ditandai dengan pembentukan gas pada tabung Durham. Metode ini cocok digunakan untuk sampel yang keruh dan mengandung banyak partikel tersuspensi, seperti halnya karakteristik air limbah inlet IPAL. Selain itu, metode ini tidak memerlukan isolasi koloni bakteri secara murni, sehingga efisien dalam hal waktu dan biaya (Setiawan & Handayani, 2020). Hasil ini sejalan dengan studi Putri et al. (2022) dan Rohmah et al. (2023), yang menunjukkan fluktuasi performa IPAL di laboratorium pendidikan. Evaluasi kualitas air limbah berbasis parameter mikrobiologis perlu dilakukan secara rutin (Rohmah et al., 2023). Analisis serupa juga dilakukan oleh Putri & Prasetyo (2022) yang menegaskan pentingnya kesesuaian antara kualitas limbah dan standar baku mutu lingkungan. Studi Munfarida et al. (2024) memperlihatkan pentingnya keterlibatan laboratorium dalam sistem pemantauan dan pelaporan kualitas lingkungan. Dalam mendukung hal tersebut, pelatihan K3 terbukti meningkatkan kesadaran risiko kerja dan kepatuhan prosedur (Sari et al., 2022). Aspek K3 ini menjadi salah satu indikator dalam keberhasilan implementasi sistem mutu laboratorium (Purwanto et al., 2021).

Temuan nilai yang masih di atas baku mutu meskipun telah terjadi penurunan menunjukkan bahwa sistem pengolahan air limbah yang diterapkan di IPAL belum mencapai efisiensi optimal. Hal ini bisa dipengaruhi oleh kapasitas IPAL yang tidak sesuai dengan beban limbah yang masuk, kurangnya pemeliharaan pada unit-unit pengolahan, serta fluktuasi operasional harian. Dalam studi serupa, Mayangsari et al. (2022) juga melaporkan bahwa sistem IPAL di beberapa rumah sakit dan laboratorium pendidikan memiliki fluktuasi performa yang tinggi terutama pada parameter mikrobiologis, sehingga memerlukan sistem monitoring yang lebih intensif.

Kualitas mikrobiologis air limbah sangat penting untuk dijaga karena dapat berdampak langsung pada kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat. Bakteri *coliform* dapat bertindak sebagai indikator keberadaan patogen lain yang lebih

berbahaya seperti *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, dan *Shigella spp.*. Oleh karena itu, keberadaan *Total Coliform* dalam air limbah perlu dikendalikan dengan sistem pengolahan yang optimal serta dipantau secara berkala oleh laboratorium lingkungan yang berkompeten dan terakreditasi.

Penelitian ini juga memberikan gambaran nyata tentang pentingnya keterlibatan laboratorium lingkungan dalam proses pemantauan kualitas limbah secara periodik. Keberadaan laboratorium tidak hanya berfungsi untuk menguji sampel, tetapi juga sebagai pusat analisis dan pengambilan data ilmiah yang dapat mendukung perumusan kebijakan lingkungan daerah. Dengan melakukan pengujian langsung menggunakan metode standar, laboratorium dapat memberikan data valid yang dapat menjadi dasar evaluasi dan perbaikan teknis pada sistem IPAL.

Secara umum, hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa meskipun terdapat penurunan nilai MPN pada sampel kedua, kualitas air limbah yang diuji belum memenuhi standar baku mutu yang berlaku. Oleh karena itu, diperlukan optimalisasi lebih lanjut dalam sistem pengolahan IPAL dan pengawasan berkala untuk memastikan bahwa air limbah yang dibuang ke lingkungan tidak menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan dan ekosistem.

PENUTUP

Penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan *Total Coliform* pada air limbah inlet IPAL masih melebihi ambang batas baku mutu yang ditetapkan oleh peraturan lingkungan, meskipun terjadi penurunan signifikan antara dua waktu pengambilan sampel. Nilai MPN sebesar 110.000 MPN/100 mL pada sampel pertama dan 930 MPN/100 mL pada sampel kedua menandakan bahwa sistem pengolahan limbah telah mengalami perbaikan, namun belum cukup untuk mencapai efektivitas maksimal. Penggunaan metode *Most Probable Number* (MPN) terbukti mampu memberikan estimasi kuantitatif yang andal terhadap keberadaan *Total Coliform* dalam kondisi air limbah yang keruh. Hasil penelitian ini menegaskan pentingnya pemantauan mikrobiologis secara rutin dan peran strategis laboratorium lingkungan dalam menjaga kualitas air limbah. Optimalisasi lebih lanjut terhadap sistem IPAL serta evaluasi berkala diperlukan agar air limbah yang dihasilkan memenuhi standar lingkungan dan tidak menimbulkan risiko bagi kesehatan masyarakat maupun ekosistem.

REFERENSI

American Public Health Association. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (22nd ed.). APHA.

- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI ISO/IEC 17025:2017 – Persyaratan umum kompetensi laboratorium pengujian dan kalibrasi*. BSN.
- Harahap, S., & Lubis, R. (2021). Pengawasan air limbah pada instansi pemerintah berdasarkan integrasi parameter fisika, kimia, dan biologi. *Jurnal Lingkungan Tropis*, 5(2), 105–113.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2016). *Peraturan Menteri LHK No. P.68/MENLHK/SETJEN/KUM.1/8/2016 tentang baku mutu air limbah*. KLHK.
- Komite Akreditasi Nasional. (2022). *Sertifikat akreditasi laboratorium pengujian LP-1721-IDN: UPTD Laboratorium Lingkungan DLH Provinsi Sumatera Barat*. KAN.
- Kurniawan, A., Suryani, R., & Hadi, S. (2023). Evaluasi kualitas air limbah domestik berdasarkan parameter mikrobiologis. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 24(1), 33–41.
- Lestari, I., & Nugroho, S. (2023). Analisis manajemen limbah laboratorium berbasis risiko. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(1), 50–58.
- Mayangsari, A., Pratiwi, Y., & Lestari, M. (2022). Efektivitas pengolahan IPAL terhadap penurunan total coliform di rumah sakit. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 18(3), 142–150.
- Munfarida, D., Yustiani, Y., & Nuraeni, L. (2024). Kajian kualitas air sungai berdasarkan kandungan total dan fecal coliform di Kabupaten Garut. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 23(1), 45–53.
- Mutiara, Z. P., & Irdawati, D. (2023). Analisis kandungan total coliform pada sampel air limbah menggunakan metode CFU dan MPN. *Jurnal Biologi Tropis*, 21(2), 77–84.
- Purwanto, A., Widodo, S., & Anggraini, D. (2021). Evaluasi implementasi K3 di laboratorium pengujian. *Jurnal Keselamatan dan Kesehatan Kerja*, 10(2), 45–52.
- Putri, D. A., Rahayu, N., & Gunawan, R. (2022). Evaluasi sistem IPAL laboratorium pendidikan terhadap parameter BOD, COD, dan mikroba. *Jurnal Ilmu Kesehatan Lingkungan*, 19(1), 58–65.
- Putri, L. N., & Prasetyo, B. (2022). Kajian kualitas air limbah laboratorium pendidikan berdasarkan parameter baku mutu. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 21(2), 105–112.
- Rohmah, A. N., Sari, F. D., & Pramudito, A. (2023). Evaluasi kualitas air limbah laboratorium berdasarkan parameter mikrobiologis. *Jurnal Ilmu Lingkungan Tropis*, 10(2), 91–100.
- Sari, F., Puspitasari, T., & Hidayat, A. (2022). Efektivitas pelatihan K3 terhadap peningkatan kesadaran risiko kerja di laboratorium pendidikan. *Jurnal Pendidikan Sains*, 8(4), 245–251.

- Setiawan, A., & Handayani, R. (2020). Penggunaan metode Most Probable Number dalam analisis total coliform air limbah. *Jurnal Sains Lingkungan*, 16(4), 213–220.
- Supriyanto, A., Dwi, R., & Maulana, Y. (2023). Evaluasi efektivitas IPAL domestik terhadap pemenuhan baku mutu limbah cair. *Jurnal Lingkungan dan Pembangunan*, 15(1), 55–63.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu Elsa Yolarita, S.P., M.I.L. selaku pembimbing lapangan di UPTD Laboratorium Lingkungan, Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Sumatera Barat atas bimbingan, izin penelitian, serta fasilitas yang diberikan selama proses magang dan pengambilan data berlangsung. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Ibu Dr. Irdawati, M.Si selaku dosen pembimbing magang dari Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang atas arahan dan dukungan ilmiah yang sangat berarti. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada seluruh staf UPTD Laboratorium Lingkungan DLH Provinsi Sumatera Barat yang telah membantu dalam proses pengujian sampel dan penyusunan peta lokasi penelitian. Terima kasih khusus ditujukan kepada orang tua dan keluarga penulis atas doa, dukungan moral, dan finansial selama pelaksanaan penelitian ini.