

BAB I

PENDAHULUAN

Pada penelitian ini digunakan model adveksi-difusi sebagai model distribusi partikel dalam suatu perairan kolam. Pada Bab ini diberikan beberapa sub-bab, diantaranya yaitu latar belakang, rumusan masalah, pembatasan masalah tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

1.1 Latar Belakang

Pencemaran lingkungan di pemukiman padat penduduk merupakan hal yang perlu diperhatikan (Clausi et al., 2023). Semakin padat suatu pemukiman maka pencemaran lingkungan semakin meningkat terutama limbah rumah tangga atau limbah cair domestik. Air merupakan aspek terpenting dalam kehidupan (Azizullah et al., 2011). Tiga persen dari air yang ada di Bumi adalah air tawar, namun hanya sekitar (0,01%) dari air murni ini yang dapat digunakan oleh manusia (Hinrichsen & Tacio, 2002). Hal ini memaksa manusia untuk mengolah air yang tercemar dan menggunakannya kembali untuk memenuhi kebutuhan (Sayed et al., 2023). Oleh karena itu, pengolahan air limbah dapat digunakan sebagai salah satu cara untuk mengurangi kelangkaan air (Al-Hazmi et al., 2023; Areguamen et al., 2023; Ding, 2023; Yu et al., 2022). Salah satu contoh penerapan olahan air limbah kota adalah irigasi pertanian (Yu et al., 2022). Petani dapat menggunakan sumber air yang berasal dari limbah yang telah diolah seluruhnya ataupun sebagian (Qadir et al., 2010). Metode pengolahan air limbah yang tidak tepat dapat berbahaya bagi tanaman, tanah, dan kesehatan petani serta konsumen (Becerra-Castro et al., 2015; Christou et al., 2017).

Air limbah yang tidak diolah dengan baik jika dialirkan secara terus-menerus ke dalam tanah mengakibatkan perubahan kualitas tanah karena pencemaran bakteri, bahan organik, dan polusi mineral serta degradasi struktural (Bauder et al., 2011; Jaramillo & Restrepo, 2017). Selain itu, jumlah garam, klorin, dan nitrat dalam air tanah meningkat sebagai akibat dari irigasi jangka panjang dengan limbah yang tidak diolah atau diolah dengan buruk (Emongor & Ramolemana, 2004).

Dalam meningkatkan kualitas air diperlukan prosedur pengolahan air limbah yang tepat sehingga air tersebut dapat digunakan untuk pertanian (Chen et al., 2013; Karimi-Maleh et al., 2023). Hal ini penting untuk mencegah kemungkinan terjadi pencemaran lingkungan dan melindungi kesehatan masyarakat dari bahaya terkait (Abdollahiyan et al., 2021; Almuktar et al., 2018; H. Liu et al., 2023). Salah satu cara untuk mengendalikan pencemaran air adalah dengan membuat kolam air limbah yang berguna untuk mengolah air limbah domestik (Gonzalo Ibrahim et al., 2023; M. Liu et al., 2023; Sunarsih & Sutrisno, 2021). Di Indonesia, terdapat beberapa kota yang telah menyediakan kolam limbah, seperti Yogyakarta yang terletak di Sewon, Bantul. Sistem pengolahan air limbah ini disebut dengan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) yang dibangun untuk mengolah air limbah domestik dengan memanfaatkan jaringan pipa (Sunarsih et al., 2021).

Air limbah domestik yang mengalir setiap hari menuju IPAL dimungkinkan mengandung polutan berbahaya bagi lingkungan. Oleh sebab itu penelitian mengenai pergerakan polutan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) pada kolam perlu dilakukan. BOD merupakan parameter penting dalam menilai kualitas air. Parameter BOD digunakan untuk memahami dan mengetahui pengaruh kondisi air limbah terhadap proses degradasi bahan organik (Ooi et al., 2021).

Berbagai penelitian telah dilakukan berkaitan dengan kolam stabilisasi limbah, diantaranya yaitu penelitian oleh (Ooi et al., 2021) yang melakukan pemantauan kualitas air dengan mengukur konsentrasi BOD menggunakan metode machine learning seperti random forest (RF), support vector regression (SVR), dan multilayer perceptron (MLP) untuk mendapatkan model terbaik dalam memprediksi polutan BOD. (Luo et al., 2017) meneliti suatu sistem baru dengan mengintegrasikan *microbial fuel cells* (MFCs) dengan alga untuk degradasi bahan organik, pembuangan nutrien, dan produksi bioenergi secara bersamaan. Penelitian ini juga memanfaatkan model matematika untuk simulasi terkait kinerja sistem yang diajukan. (Bakiri & Nacef, 2022) menyajikan analisis penjernihan sekunder Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) melalui lumpur aktif dengan tujuan untuk mengetahui kecepatan pengendapan dan menggambarkan hubungan antara faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan pengendapan. Penelitian ini mengembangkan

dan memprediksi model satu dimensi (model 1-D) berdasarkan studi eksperimental lengkap yang dilakukan pada IPAL. (Putri et al., 2018) menyajikan simulasi numerik mekanisme adveksi-difusi konsentrasi BOD yang digunakan sebagai indikator limbah hanya pada satu arah aliran kolam stabilisasi limbah (1 dimensi (1-D)). Model ini direpresentasikan dalam persamaan diferensial parsial orde 2. Metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan model ini adalah metode beda hingga dengan skema Forward Time Central Space. Penelitian mengenai pengolahan air limbah dengan bantuan bakteri telah dilakukan oleh (Shen et al., 2024). Pada penelitian ini dilakukan pengembangan pada pengolahan air IPAL yaitu dengan sistem resapan cepat yang melalui tiga tahap. Model matematis sistem resapan cepat dikembangkan dan dikalibrasi dengan menggabungkan model biokinetik sehingga mampu memprediksi perubahan kualitas air.

Perubahan kualitas air dapat dinilai dari sebaran polutan BOD. Pada penelitian (Sunarsih et al., 2021) model sebaran polutan BOD digambarkan sebagai mekanisme adveksi-difusi yang merepresentasikan persamaan diferensial parsial. Penelitian ini menggunakan metode beda hingga untuk menyelesaikan model 1 dimensi hingga 3 dimensi. Penelitian yang dilakukan oleh (Hasadsri & Maleewong, 2012) menggunakan model matematika untuk mengamati interaksi antara *Dissolved Oxygen* (DO) dengan BOD pada aliran terbuka. Model yang diajukan direpresentasikan oleh persamaan diferensial parsial yang diselesaikan dengan metode volume hingga. Pada tahun 2013, (Maleewong & Hasadsri, 2013) melakukan penelitian mengenai transport polutan BOD pada aliran terbuka yang direpresentasikan dengan model adveksi-dispersi 1 dimensi. Penyelesaian numerik pada penelitian ini menggunakan metode volume hingga. Serupa dengan penelitian Hasadsri, penelitian (Guaca & Poletti, 2022) menyajikan model matematika terkait dengan pencemaran air oleh bahan organik, DO, dan BOD yang merupakan indikator penting dalam memantau kualitas air. Penelitian ini menyajikan model matematika dua dimensi melalui sistem persamaan diferensial non linier dengan reaksi kinetik *Holling* tipe III antara DO dan BOD yang diselesaikan dengan metode beda hingga pusat untuk diskritisasi ruang dan metode *Crank-Nicolson* untuk diskritisasi waktu.

Beberapa model telah diajukan untuk merepresentasikan sebaran partikel. Model adveksi digunakan untuk menggambarkan pergerakan partikel polutan sedimen dari satu tempat ke tempat yang lain (Martínez et al., 2014). (M. Gholizadeh, A. Melesse, 2018) menunjukkan bahwa model adveksi digunakan untuk menggambarkan perpindahan partikel polutan pada sedimen. (Hairsine & Rose, 1991) meneliti mengenai pengangkutan partikel pada tanah yang ditunjukkan dengan suatu model adveksi yang dipengaruhi oleh intensitas curah hujan. Dalam model ini pengangkutan partikel pada tanah digambarkan sebagai erosi tanah yang tidak dipengaruhi oleh pergerakan aliran apapun selain tetesan air hujan. Sebuah penelitian tentang erosi tanah yang menggambarkan pengangkutan partikel tanah di suatu lereng bukit dilakukan oleh (Hairsine et al., 1999). Penelitian ini menggunakan model adveksi dengan pengaruh pergerakan aliran di suatu lereng dengan yang mempertimbangkan gaya gravitasi. Model sebaran partikel *Chemical Oxygen Demand* (COD) digambarkan sebagai mekanisme adveksi-difusi yang merepresentasikan persamaan diferensial parsial (Sasongko, 2017).

Penyelesaian secara eksak untuk persamaan diferensial parsial sulit dilakukan, sehingga metode numerik digunakan untuk menyelesaikan persamaan tersebut (Pei & Imin, 2023). Pada penelitian (Fang et al., 2024; Tian et al., 2024) metode numerik seperti metode elemen hingga digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial parsial. Penelitian (Pei & Imin, 2023) menggunakan hidrodinamika partikel halus dan metode beda hingga satu dimensi untuk memodelkan distribusi polutan kimia. Metode diskritisasi waktu orde tinggi untuk menyelesaikan persamaan diferensial parsial stokastik diteliti oleh (Li et al., 2024). Penyelesaian persamaan difusi aliran air tanah menggunakan metode beda hingga tengah yang dimodifikasi dengan beda hingga mundur dilakukan oleh (Song et al., 2024). Penelitian mengenai distribusi polutan berdasarkan persamaan adveksi-difusi menggunakan metode beda hingga *forward time central space* (FTCS) dilakukan oleh (Sunarsih et al., 2021). (Gao & Sun, 2015) menggunakan skema *alternating direction implicit* (ADI) untuk menyelesaikan persamaan difusi fraksional dua dimensi.

Metode Implisit memiliki kelebihan yaitu menghasilkan solusi yang stabil dan konvergen, hal ini digunakan untuk mengatasi kelemahan dari metode eksplisit

yang memiliki syarat pada kestabilannya (Burden & Faires, 2010). Pemecahan solusi persamaan diferensial dengan skema implisit pada ruang dua dimensi membutuhkan waktu yang cukup lama. Salah satu cara untuk mengatasi kekurangan tersebut adalah dengan menggunakan metode pemecah. Metode ini dikenal dengan metode ADI. Metode ADI merupakan salah satu metode implisit yang dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial parsial yang berbentuk parabolik, hiperbolik, dan eliptik. Dengan menggunakan metode ADI, persamaan diferensial akan dipecah menjadi struktur yang lebih sederhana sehingga dapat diselesaikan secara efisien dengan algoritma matriks tridiagonal.

Berdasarkan kualitas air limbah yang dipengaruhi oleh konsentrasi BOD, maka akan dilakukan penelitian mengenai distribusi partikel BOD di kolam stabilisasi limbah. Partikel diwakili oleh konsentrasi BOD yang diukur secara horizontal dan vertikal dengan memperhatikan perubahan terhadap waktu dan ruang. Perubahan konsentrasi BOD terhadap waktu dan ruang dapat direpresentasikan dengan persamaan diferensial parsial. Model yang diajukan mempertimbangkan proses adveksi-difusi dua dimensi yang akan diselesaikan dengan menggunakan metode *Crank Nicolson-Alternating Direction Implicit* (CN-ADI). Penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan fenomena distribusi partikel BOD pada kolam stabilisasi limbah.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah

1. Bagaimana modifikasi model distribusi konsentrasi partikel BOD pada kolam stabilisasi limbah?
2. Bagaimana solusi numerik dari model distribusi konsentrasi BOD pada kolam stabilisasi limbah dan interpretasinya?
3. Bagaimana analisis konsistensi, kestabilan dan kekonvergenan dari model matematika distribusi konsentrasi BOD pada kolam stabilisasi limbah menggunakan metode CN-ADI
4. Bagaimana implementasi model distribusi konsentrasi partikel BOD pada kolam stabilisasi limbah di IPAL?

1.3 Pembatasan Masalah

Penulisan tesis ini berfokus pada model matematika yang dikembangkan dari model adveksi-difusi untuk distribusi konsentrasi BOD pada kolam stabilisasi limbah. Pada kolam ini digunakan sistem aerasi dengan pencampuran sempurna (*completely mixed aerator*), sehingga kadungan BOD diasumsikan terdistribusi merata di dalam reactor.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut

1. Modifikasi model adveksi-difusi distribusi konsentrasi BOD pada kolam stabilisasi limbah dengan metode CN-ADI.
2. Memperoleh hasil solusi numerik dan interpretasinya dari model adveksi-difusi distribusi konsentrasi BOD pada kolam stabilisasi limbah dengan metode CN-ADI.
3. Menganalisis konsistensi, kestabilan dan kekonvergenan dari model adveksi-difusi distribusi konsentrasi BOD pada kolam stabilisasi limbah dengan metode CN-ADI.
4. Memperoleh hasil simulasi numerik implementasi model adveksi-difusi distribusi konsentrasi BOD pada kolam stabilisasi limbah pada data IPAL.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Memberikan kontribusi ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang pemodelan matematika dan penerapannya pada permasalahan nyata.
2. Menambah referensi baru mengenai implementasi pemodelan matematika di bidang lingkungan dengan menggunakan metode Crank Nicolson-ADI untuk penelitian lanjutan dari permasalahan terkait.
3. Memberi informasi mengenai distribusi partikel BOD di kolam stabilisasi limbah bagi pengelola IPAL yang dapat digunakan sebagai rujukan pengelolaan kolam stabilisasi atau IPAL.