

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Sampah menjadi salah satu masalah serius yang dihadapi oleh berbagai negara, baik negara berkembang maupun negara maju. Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) mencatat bahwa pada tahun 2022 timbulan sampah di Indonesia mencapai sekitar 36 juta ton per tahun, dengan 37,38% di antaranya tidak terkelola dan komposisinya didominasi oleh limbah rumah tangga sebesar 38,4% [1]. Limbah rumah tangga mencakup limbah padat, cair, dan gas yang berasal dari aktivitas dapur, cucian, kamar mandi, industri rumah tangga, serta kotoran manusia [2]. Laporan Statistik Lingkungan Hidup Indonesia Tahun 2020 menyebutkan bahwa sebanyak 57,42% rumah tangga di Indonesia membuang air limbah ke sungai, got, atau selokan [3]. Pembuangan limbah cair secara langsung ke lingkungan tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu menyebabkan pencemaran perairan. Oleh karena itu, penanganan yang serius terhadap limbah cair menjadi sangat diperlukan.

Salah satu cara pengolahan air limbah yaitu dengan membuat kolam stabilisasi limbah. Kolam stabilisasi limbah atau IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) merupakan tempat penampungan limbah sementara yang dibuat untuk memperbaiki kualitas air limbah sebelum diteruskan ke badan air penerima [4]. BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), TSS (*Total Suspended Solid*), pH, amoniak, total coliform, debit, minyak serta lemak merupakan parameter yang diperhatikan dalam Instalasi pengolahan air limbah. TSS didefinisikan sebagai partikel padat yang tidak dapat mengendap yang ditemukan di dalam air [5]. TSS merupakan parameter pencemaran air yang dipengaruhi oleh faktor hidrologi perairan seperti pasang surut, suhu, salinitas, pH, arus, dan kecerahan [6]. Informasi mengenai kandungan TSS dalam perairan dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas air dan menghitung efisiensi unit pengolahan limbah [7]. Dampak adanya TSS dalam air bagi lingkungan antara lain yaitu menyebabkan penetrasi cahaya berkurang, sehingga dapat menurunkan aktivitas fotosintesis yang selanjutnya dapat menyebabkan penurunan kadar DO

(*Dissolved Oxygen*) [8], dapat menyebabkan eutrofikasi karena partikel padat dapat mengandung nutrisi yang mendorong pertumbuhan alga [9], dan dapat meningkatkan potensi pendangkalan perairan karena sedimentasi [10]. Adanya TSS dalam air juga berdampak dan berisiko bagi kesehatan manusia antara lain yaitu penyakit yang ditularkan lewat air dan gangguan pencernaan. Penggunaan air yang terkontaminasi dapat menyebarkan penyakit seperti diare, muntaber, dan penyakit kulit [11].

Instalasi pengolahan air limbah hanya dapat memberikan informasi terkini atau masa lalu terkait dengan parameter kualitas air. Hal ini tidak cukup bagi pengelola untuk mencegah risiko pencemaran air. Oleh karena itu diperlukan peramalan terhadap nilai dari parameter kualitas air tersebut. Peramalan kualitas air dapat memberikan informasi yang berguna pada saat kondisi ekstrim, sehingga pengelola dapat mengenali pencemaran badan air lebih awal dan mengambil tindakan yang tepat [12]. Penelitian tentang model peramalan kualitas air telah banyak dikembangkan. Model peramalan berdasarkan model matematika statistik antara lain *moving average* (MA), *exponential smoothing*, regresi, dan ARIMA. ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*) memiliki kelebihan dalam pemodelan dan prediksi yang cepat, serta digunakan secara luas dalam prediksi data deret waktu [13]. Model ini juga dikenal memiliki kemampuan yang baik untuk peramalan jangka pendek [14]. Namun, perkembangan ilmu pengetahuan mendorong munculnya berbagai perluasan pada model ARIMA. Saat melakukan peramalan diduga terdapat variabel lain yang dapat mempengaruhi model, sehingga diperlukan model khusus yaitu dengan menambahkan variabel eksogen yang dianggap memiliki pengaruh yang signifikan terhadap data dan disebut sebagai model ARIMAX (*Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous Variable*) [15]. Beberapa penelitian menerapkan metode ARIMAX dalam peramalan kualitas air. Salah satu penelitian menunjukkan bahwa ARIMAX menghasilkan akurasi prediksi BOD yang lebih baik dibandingkan *Multiple Linear Regression* (MLR) [16]. Penelitian lain menggunakan ARIMAX untuk memprediksi volume air Sungai Tarim dalam kaitannya dengan perubahan iklim [17]. Penelitian berikutnya menerapkan ARIMAX untuk memprediksi suhu air

pada kolam induk ikan nila [18]. Secara umum, hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode ARIMAX memberikan kinerja peramalan yang baik.

Selain model statistik, model pembelajaran mesin (*machine learning*) telah diterapkan secara luas pada peramalan kualitas air karena dianggap sebagai teknik pemodelan yang efektif dan memiliki kemampuan beradaptasi [19]. *Deep learning* merupakan salah satu metode pembelajaran mesin, di mana dalam banyak kasus model *deep learning* mengungguli model pembelajaran mesin dan pendekatan analisis data tradisional [20]. Salah satu model *deep learning* yaitu LSTM (*Long Short-Term Memory*). LSTM memungkinkan mengingat informasi untuk jangka waktu yang lama seraya mengatasi masalah gradien menghilang yang merupakan masalah dari RNN (*Recurrent Neural Network*) [21]. Pada model LSTM node biasa pada *hidden layer* diganti dengan sel memori yang memiliki struktur *internal gate* kompleks [22]. LSTM memiliki *forget gate* yang berfungsi untuk menentukan informasi mana yang akan dibuang atau disimpan pada model [23]. Beberapa penelitian menerapkan metode LSTM dalam pemodelan sistem perairan dan air limbah. Salah satu penelitian menggunakan LSTM untuk meramalkan konsentrasi DO pada danau-danau di wilayah Amerika [24]. Penelitian lain menerapkan LSTM untuk memperkirakan aliran air limbah pada jam berikutnya guna mencegah luapan dengan mengombinasikannya dengan model hidrolik tradisional dan hasil perbandingan menunjukkan bahwa LSTM memiliki akurasi terbaik dibandingkan *Support Vector Regression* (SVR) dan *Feedforward Neural Network* (FFNN) [25]. Penelitian selanjutnya mengembangkan model LSTM untuk memantau instalasi pengolahan air limbah dalam mendeteksi kesalahan selama proses oksidasi dan nitrifikasi [26].

Pada beberapa kasus, model pembelajaran mesin tunggal tidak dapat memberikan akurasi peramalan yang memuaskan untuk peramalan parameter kualitas air dengan kompleksitas tinggi [27]. Model linier dan nonlinier telah digunakan untuk pemodelan deret waktu, namun sulit untuk mendiagnosis korelasi linieritas atau nonlinieritas [28]. Model statistik linier seperti ARIMA mungkin tidak bagus dalam memodelkan hubungan nonlinier dalam deret waktu, tetapi cukup untuk memodelkan komponen linier, sementara itu model pembelajaran mesin (non parametrik) dapat memodelkan komponen nonlinier apa pun, oleh

karena itu, penggabungan teknik pembelajaran mesin dengan model statistik dapat diusulkan untuk meningkatkan akurasi peramalan dalam bidang pengelolaan sumber daya air [23]. Pada pemodelan hybrid, *overfitting* dapat terjadi ketika melakukan proses pelatihan yang ditandai dengan nilai kesalahan yang kecil pada saat pelatihan dan nilai kesalahan besar saat validasi model. Oleh karena itu, untuk mengurangi risiko *overfitting* selama proses pelatihan digunakan *optimizer*. *Optimizer* merupakan algoritma dalam kecerdasan buatan yang berperan untuk menemukan bobot dan bias yang optimal selama pelatihan dengan tujuan meminimalkan fungsi kerugian [29]. Beberapa contoh algoritma optimasi yaitu SGD (*Stochastic Gradient Descent*), RMSprop (*Root-Mean-Square Propagation*), dan Adam (*Adaptive Moment Estimation*). AdamW merupakan perluasan dari algoritma optimasi Adam dengan penambahan pendekatan regulasi peluruhan bobot [30]. Peluruhan bobot berfungsi sebagai metode untuk mengurangi *overfitting* dengan menerapkan penalti pada bobot yang substansial.

Berdasarkan uraian literatur sebelumnya, penelitian ini berfokus pada peramalan konsentrasi TSS pada inlet dan outlet IPAL menggunakan model hybrid ARIMA–LSTM dengan algoritma optimasi AdamW. Pada tahap awal pemodelan, pengaruh variabel eksogen berupa suhu dan pH turut dipertimbangkan untuk mengevaluasi kontribusinya terhadap peningkatan akurasi peramalan. Peramalan konsentrasi TSS pada inlet IPAL dilakukan untuk mendukung perencanaan dan pengelolaan limbah yang lebih baik, sedangkan peramalan TSS pada outlet IPAL bertujuan untuk menilai kinerja operasional IPAL agar tetap berjalan secara efektif dan efisien.

## 1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang diselesaikan dalam Tesis ini adalah

1. Bagaimana mengkaji model hybrid ARIMA-LTSM dengan algoritma optimasi AdamW untuk meramalkan TSS pada kolam stabilisasi limbah?
2. Bagaimana analisis keakuratan model hybrid ARIMA-LTSM dengan algoritma optimasi AdamW dalam meramalkan TSS pada kolam stabilisasi limbah?

### 1.3. Pembatasan Masalah

Permasalahan yang dibahas hanya untuk meramalkan konsentrasi TSS (*Total Suspended Solid*) pada kolam stabilisasi limbah IPAL Sewon, Bantul, Yogyakarta. Data yang digunakan yaitu data sekunder yang diperoleh dari IPAL Sewon. Perhitungan dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python.

### 1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penulisan tesis ini adalah sebagai berikut

1. Mengkonstruksi model hybrid ARIMA-LTSM dengan algoritma optimasi AdamW untuk meramalkan TSS pada kolam stabilisasi limbah sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam pengelolaan kolam.
2. Menganalisis keakuratan model hybrid ARIMA-LTSM dengan algoritma optimasi AdamW untuk meramalkan TSS pada kolam stabilisasi limbah yang dapat menunjukkan kesesuaian model dengan kasus nyata.

### 1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memiliki manfaat sebagai berikut

1. Bagi Mahasiswa  
Menambah pengetahuan dan menjadi pedoman untuk mahasiswa dalam mengembangkan ilmu matematika terapan.
2. Bagi Institusi Pendidikan  
Menambah khazanah kepustakaan, khususnya dalam penggunaan alat atau metode matematika sebagai penyelesaian suatu masalah.
3. Bagi Masyarakat  
Memberikan pengetahuan tentang penerapan ilmu matematika di dunia nyata serta membantu pengelola IPAL untuk meramalkan kualitas air limbah sehingga dapat menjadi pedoman dalam pengoptimalan pengelolaan limbah.