

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Air merupakan komponen paling vital bagi seluruh bentuk kehidupan dan kebutuhan dasar manusia untuk berbagai aktivitas seperti konsumsi, sanitasi, dan kebutuhan industri [1],[2]. Namun, seiring dengan pertumbuhan populasi global, urbanisasi yang cepat, dan aktivitas industrialisasi, kualitas sumber daya air terus mengalami degradasi [3],[4]. Perubahan tata guna lahan menjadi kawasan permukiman dan industri telah meningkatkan volume air limbah, baik domestik maupun non-domestik, yang dalam banyak kasus dibuang langsung ke badan air tanpa melalui proses pengolahan yang memadai [5]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kebutuhan air bersih untuk penggunaan domestik jauh lebih tinggi daripada standar minimum 20 hingga 25 liter per orang per hari yang sering dipakai sebagai acuan awal dalam konteks keterbatasan sumber daya. Berdasarkan studi empiris, konsumsi air untuk kebutuhan sehari-hari seperti mandi, kebersihan pribadi, pencucian, dan aktivitas rumah tangga lain mencapai rata-rata sekitar 75 liter per kapita per hari dalam observasi rumah tangga dan dapat diperkirakan berada pada kisaran 90 hingga 175 liter per kapita per hari tergantung gaya hidup, fasilitas, dan karakteristik rumah tangga [6].

Di Indonesia, penyediaan air bersih terus menjadi fokus pembangunan, dengan tingkat akses terhadap air minum layak secara nasional mencapai sekitar

90 sampai dengan 93% pada awal dekade 2020. Meskipun demikian, masih terdapat sekitar 7 sampai dengan 10% penduduk yang belum memperoleh layanan air bersih secara optimal. Kondisi ini menunjukkan bahwa upaya pemenuhan akses air bersih secara menyeluruh masih menghadapi tantangan, terutama dalam mencapai target 100% akses air bersih pada tahun 2030 sebagaimana ditetapkan dalam Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*) [7].

Pulau Jawa merupakan wilayah dengan tekanan kebutuhan air bersih tertinggi di Indonesia akibat tingginya kepadatan penduduk, urbanisasi yang cepat, serta aktivitas industri dan domestik yang intensif. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa sungai-sungai utama di Pulau Jawa, seperti Sungai Citarum dan Sungai Brantas, mengalami penurunan kualitas air akibat pencemaran, yang berdampak pada berkurangnya ketersediaan air baku yang layak bagi kebutuhan masyarakat dan pengolahan air minum [8],[9],[10].

Metode pemantauan kualitas air konvensional yang masih banyak diterapkan, khususnya pada instalasi pengolahan air seperti Perumda Air Minum, umumnya berpusat pada pengujian laboratorium yang bersifat periodik dan belum terintegrasi menjadi sebuah sistem pemantauan yang kontinu [11],[12]. Metode ini memiliki beberapa keterbatasan utama, antara lain memakan waktu yang lama (biasanya 1 sampai 2 jam atau lebih), biaya operasional dan pengujian yang tinggi, serta tidak dapat memberikan data secara langsung (*real-time*) [13]. Keterlambatan dalam memperoleh data ini menghambat respons cepat terhadap

perubahan kondisi air yang mendadak, yang dapat membahayakan kesehatan masyarakat dan merusak ekosistem akuatik.

Peningkatan kualitas pelayanan menjadi salah satu prioritas utama dalam pengelolaan air minum, khususnya dalam aspek monitoring kualitas air secara berkelanjutan di Perumda Air Minum Tirta Bahari Kota Tegal. Pemantauan yang efektif diperlukan untuk memastikan bahwa air yang diproduksi dari hulu hingga hilir, termasuk pada tahap distribusi kepada pelanggan, tetap memenuhi standar kelayakan dan aman untuk dikonsumsi. Dengan sistem monitoring yang terintegrasi dan akurat, potensi penurunan kualitas air dapat dideteksi lebih dini sehingga tindakan korektif dapat segera dilakukan. Upaya ini tidak hanya mendukung pemenuhan regulasi dan standar kesehatan yang berlaku, tetapi juga meningkatkan kepercayaan masyarakat Kota Tegal terhadap kualitas layanan air minum yang diberikan.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, diperlukan pengembangan sistem klasifikasi cerdas melalui pemanfaatan *machine learning* yang dapat diterapkan pada data monitoring kualitas air. Implementasi *machine learning* memungkinkan proses klasifikasi dilakukan secara otomatis dan presisi berdasarkan parameter kualitas air yang tersedia, sehingga mampu mempercepat proses analisis data historis serta mendukung pengambilan keputusan yang objektif dan berbasis data (*data-driven*) [14],[15].

Parameter kunci yang menjadi tolak ukur kualitas air meliputi pH (derajat keasaman), TDS (*Total Dissolved Solids*), dan *Turbidity* (kekeruhan). Nilai pH air yang dianggap normal dan layak untuk kebutuhan domestik serta sanitasi berkisar antara 6,5 hingga 8,5 [16]. Nilai pH yang tidak normal dapat mengindikasikan adanya pencemaran kimia atau dekomposisi organik, TDS menunjukkan konsentrasi partikel terlarut seperti mineral dan logam. Berdasarkan Permenkes No. 2 Tahun 2023, kadar TDS untuk keperluan higiene sanitasi harus kurang dari 300 mg/L [17]. Batas maksimal yang sering digunakan sebagai ambang batas air bersih adalah 500 ppm [18]. Untuk air higiene sanitasi secara umum, nilai TDS tidak boleh melebihi 1000 ppm, Jika nilai TDS berada di atas ambang ini, air diklasifikasikan sebagai "Tidak Layak" atau kotor [19]. Sedangkan kekeruhan mencerminkan keberadaan partikel tersuspensi yang dapat menghambat penetrasi cahaya dan mengganggu kehidupan biotik [20]. Berdasarkan regulasi terbaru (Permenkes No. 2 Tahun 2023), batas kekeruhan untuk air sanitasi adalah kurang dari 3 NTU, batas maksimal kekeruhan air minum yang ditetapkan oleh otoritas kesehatan adalah 5 NTU [21]. Dalam beberapa model eksperimen, air masih dikategorikan "bersih" jika nilai kekeruhannya berada di bawah 25 NTU, dan dinyatakan "kotor" jika melebihi nilai tersebut [22].

Dalam pengembangan model *machine learning* untuk klasifikasi kualitas air, ketersediaan data yang beragam menjadi salah satu tantangan utama. Oleh karena itu, proses data *fusion* memegang peran penting dalam penelitian ini.

Melalui pendekatan tersebut, beberapa dataset kualitas air publik digabungkan menjadi satu kumpulan data yang lebih komprehensif, beragam, dan representatif. Penggabungan data ini bertujuan meningkatkan variasi karakteristik data pelatihan sehingga model mampu mempelajari hubungan antarparameter kualitas air dengan lebih baik dan menghasilkan performa klasifikasi yang lebih akurat serta memiliki kemampuan generalisasi yang lebih tinggi [23].

Penerapan *machine learning* pada sistem monitoring kualitas air menjadi penting seiring meningkatnya volume data hasil pengukuran sensor yang dihasilkan secara kontinu. Pengolahan data tersebut diperlukan untuk mengekstraksi pola dan hubungan antarparameter kualitas air sehingga sistem dapat melakukan klasifikasi maupun prediksi kondisi kualitas air secara otomatis dan efisien. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa integrasi *machine learning* dengan *Internet of Things* (IoT) mampu meningkatkan analisis tren, deteksi anomali, serta prediksi kualitas air secara otomatis berdasarkan data historis sensor. Pendekatan ini memungkinkan pemantauan kualitas air yang lebih cepat, akurat, dan adaptif dibandingkan metode konvensional [24],[25].

Meskipun *machine learning* telah menunjukkan performa yang baik dalam klasifikasi kualitas air, kualitas dataset yang digunakan masih menjadi salah satu tantangan utama dalam pengembangan model. Perbedaan distribusi data, keberadaan *noise*, *missing value*, dan ketidakseimbangan kelas dapat menurunkan performa model apabila tidak disertai pra-pemrosesan data yang

memadai, terutama pada sistem dengan jumlah data berlabel yang terbatas [26]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan penggunaan model *Deep Neural Network* (DNN). Berbeda dengan teknik *machine learning* konvensional, DNN dipilih karena memiliki kemampuan untuk mengekstraksi dan mempelajari representasi fitur secara otomatis dari data masukan, sehingga mengurangi ketergantungan terhadap proses ekstraksi fitur yang dilakukan secara manual. Selanjutnya, algoritma ini digunakan untuk membangun model klasifikasi multivariat guna menentukan tingkat kelayakan air secara akurat. Pendekatan ini dinilai sangat sesuai karena komposisi arsitektur DNN memungkinkan sistem untuk mempelajari fungsi-fungsi yang sangat kompleks secara otomatis dari data yang ada [27].

Berdasarkan permasalahan dan kebutuhan yang telah diuraikan, penelitian ini mengembangkan model klasifikasi kualitas air berbasis DNN menggunakan pendekatan *data fusion* berdasarkan parameter pH, TDS, dan *Turbidity*. Model yang dihasilkan kemudian dikonversi ke format *Edge AI* sehingga dapat diimplementasikan pada perangkat IoT untuk mendukung sistem monitoring kualitas air yang lebih efisien, adaptif, dan berbasis data di Perumda Air Minum Tirta Bahari Kota Tegal.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka dapat diambil rumusan masalah yaitu:

- a. Bagaimana merancang sistem monitoring kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu melakukan pemantauan secara otomatis, kontinu, dan *real-time*?
- b. Bagaimana sistem monitoring kualitas air dapat mengukur dan menyajikan parameter pH, TDS (*Total Dissolved Solids*), dan *Turbidity* secara akurat?
- c. Bagaimana melakukan pengolahan data kualitas air melalui tahap *preprocessing* untuk meningkatkan kualitas *dataset* yang digunakan dalam pelatihan model *machine learning*?
- d. Bagaimana penerapan metode *Deep Neural Network* (DNN) dalam melakukan klasifikasi kualitas air berdasarkan parameter pH, *Total Dissolved Solids* (TDS), dan *Turbidity*?
- e. Bagaimana performa model *Deep Neural Network* (DNN) yang dihasilkan berdasarkan hasil evaluasi menggunakan *accuracy*, *precision*, *recall*, *F1-score*, dan *Confusion Matrix*?

1.3. Batasan Masalah

Untuk membatasi masalah agar tidak terlalu luas, diperlukan ruang lingkup permasalahan. Oleh karena itu, penelitian ini akan difokuskan pada hal-hal berikut:

- a. Penelitian ini dibatasi pada pemantauan kualitas air, tanpa membahas aspek kuantitas air seperti debit, tekanan air, atau ketinggian air.
- b. Parameter kualitas air yang digunakan dalam sistem monitoring ini hanya meliputi pH, *Total Dissolved Solids* (TDS), dan *Turbidity* (kekeruhan).
- c. Metode *machine learning* yang digunakan dibatasi pada model *machine learning Deep Neural Network* (DNN), sehingga algoritma lain seperti LSTM dan RNN tidak menjadi fokus penelitian.
- d. *Dataset* yang digunakan berasal dari beberapa sumber *dataset* publik kualitas air yang kemudian digabungkan menjadi satu *dataset* utama untuk proses pelatihan model.
- e. Tahap *preprocessing* data pada penelitian ini meliputi penggabungan *dataset*, pembersihan data, analisis distribusi label, pembagian data *training* dan *testing*, normalisasi menggunakan *StandardScaler*, serta penyeimbangan data menggunakan SMOTE.
- f. Penelitian ini hanya berfokus pada klasifikasi kualitas air menjadi kategori layak dan tidak layak berdasarkan parameter yang digunakan.
- g. Evaluasi model dilakukan menggunakan *accuracy*, *precision*, *recall*, *F1-score*, dan *Confusion Matrix*.

1.4. Tujuan Dan Manfaat

1.4.1. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun model *machine learning* menggunakan metode *Deep Neural Network* (DNN) untuk melakukan klasifikasi kualitas air berdasarkan parameter pH, *Total Dissolved Solids* (TDS), dan *Turbidity*. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk melakukan *preprocessing* data melalui penggabungan *dataset*, pembersihan data, serta normalisasi data agar kualitas *dataset* yang digunakan dalam proses pelatihan menjadi lebih baik. Selanjutnya dilakukan proses pelatihan dan evaluasi model menggunakan parameter *accuracy*, *precision*, *recall*, *F1-score*, dan *Confusion Matrix* sehingga menghasilkan model DNN yang dievaluasi dan dioptimasi menggunakan *pruning* dan *quantization* sehingga diperoleh model yang lebih efisien untuk implementasi pada perangkat dengan sumber daya terbatas.

1.4.2. Manfaat

Pembuatan Implementasi *Deep Neural Network* (DNN) Untuk Klasifikasi Kualitas Air Berdasarkan Parameter pH, *Total Dissolved Solids* (TDS), dan *Turbidity* memiliki beberapa manfaat, antara lain:

1. Bagi Mahasiswa
 - a. Memperoleh pengalaman praktis dalam penerapan *machine learning* khususnya metode *Deep Neural Network* (DNN).

- b. Meningkatkan kemampuan dalam pengolahan data, *preprocessing dataset*, pelatihan model, dan evaluasi performa model *machine learning*.
 - c. Meningkatkan kemampuan analisis data serta pemecahan masalah yang diterapkan pada sistem monitoring kualitas air.
 - d. Mengaplikasikan teori yang diperoleh selama perkuliahan ke dalam implementasi nyata pada bidang *machine learning* dan kecerdasan buatan.
2. Bagi Universitas Harkat Negeri
- a. Meningkatkan kualitas penelitian dan pengembangan teknologi khususnya pada bidang *machine learning* dan *Internet of Things*.
 - b. Dapat digunakan sebagai bahan pembelajaran, penelitian lanjutan, maupun pengembangan kurikulum.
 - c. Meningkatkan reputasi universitas dalam bidang penelitian teknologi dan inovasi.
3. Bagi Instansi Perumda Air Minum Tirta Bahari
- a. Membantu proses analisis kualitas air secara lebih cepat berdasarkan data yang diperoleh.
 - b. Menyediakan model *machine learning* yang dapat digunakan sebagai pendukung pengambilan keputusan terkait kualitas air.
 - c. Menjadi dasar pengembangan sistem monitoring kualitas air yang lebih cerdas dan otomatis di masa mendatang.

1.5. Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memberikan gambaran secara menyeluruh mengenai kerangka dan isi laporan. Adapun sistematika penulisannya terbagi menjadi enam bab utama sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang masalah yang mendasari pentingnya pemantauan kualitas air, perumusan masalah, batasan masalah agar ruang lingkup penelitian lebih terarah pada parameter spesifik dan algoritma yang digunakan, tujuan yang ingin dicapai, manfaat penelitian bagi berbagai pihak, serta sistematika laporan yang memberikan gambaran umum isi dari setiap bab.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan pustaka dari penelitian-penelitian terdahulu yang relevan sebagai bahan komparasi, serta landasan teori yang mendukung pengembangan model pemantauan. Teori yang dibahas meliputi konsep kualitas air, parameter pH, *Total Dissolved Solids* (TDS), dan *Turbidity*, tahapan *preprocessing* data, dasar-dasar *machine learning* dan *deep learning*, arsitektur *Deep Neural Network* (DNN), serta berbagai *library* Python yang digunakan dalam penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan tahapan pelaksanaan atau prosedur penelitian secara sistematis, mulai dari pengumpulan *dataset* kualitas air, *preprocessing* data,

pembagian *dataset*, pelatihan model DNN, hingga evaluasi performanya. Selain itu, dibahas pula metode pengumpulan data yang dilakukan melalui kegiatan observasi dan wawancara di Perumda Air Minum Tirta Bahari Kota Tegal, serta studi literatur pendukung.

BAB IV ANALISA DAN PERANCANGAN SISTEM

Bab ini membahas analisis permasalahan teknis dan analisis kebutuhan penelitian yang berfokus pada *dataset*. Selanjutnya, bab ini menjabarkan perancangan *machine learning* secara detail, yang meliputi perancangan alur *preprocessing* data, perancangan arsitektur *Deep Neural Network* (DNN), hingga skenario pelatihan dan evaluasi model.

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan implementasi keseluruhan sistem berbasis *machine learning* yang telah dibangun, mulai dari implementasi pemuatan *dataset* utama, *preprocessing* yang didalamnya memuat teknik *Synthetic Minority Over-Sampling* (SMOTE), hingga implementasi pelatihan model DNN menggunakan arsitektur yang telah dirancang. Bab ini juga memuat hasil analisis metrik pengujian (*internal* maupun eksternal) serta pembahasan mengenai pengaruh tahapan *preprocessing* terhadap kinerja akhir model.

BAB VI SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan bagian penutup yang menyajikan kesimpulan akhir dari hasil evaluasi implementasi model *Deep Neural Network* (DNN) dalam mengklasifikasikan kelayakan air. Selain itu, bab ini juga memberikan saran-

saran konstruktif untuk pengembangan penelitian selanjutnya, seperti integrasi model secara langsung pada perangkat keras *Internet of Things* (IoT) maupun penambahan kemampuan memprediksi (*forecasting*) kualitas air di masa depan.