



TechLINK

Jurnal Ilmiah Lingkungan

P-ISSN: 2581-2319

E-ISSN: 2987-7369

Volume 9 Edisi 1 April 2025

Efektivitas Model Pembelajaran Kooperatif Dalam Meningkatkan Kesadaran Lingkungan

Andi Saputra Mandopa, Alwendi, Lela Budiarti, Nurkhasanah Rina Puspita

The Correlation Between Environmental Determinants and Employee Health Protocol Behavior with Symptoms of Covid-19 Exposure in Laboratory Companies

Dede Nurhidayanto, Yusriani Sapta Dewi

Pemodelan Sistem Informasi Berbasis IOT untuk Optimasi Pengelolaan Sampah Perkotaan (Studi kasus: Pemantauan level tempat sampah pintar)

Prionggo Hendradi, Agus Wahyono

Evaluasi Kualitas Air Limbah Domestik Sekolah Internasional dan Fasilitasnya di Tangerang Selatan

Muhammad Salman Alfarisie

Analisis Konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂) dan Sulfur Dioksida (SO₂) dan Hubungannya dengan Faktor Kelembaban Udara dan Kecepatan Angin

Nurhayati, Andi Yulianti Ramli

**Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik
Universitas Satya Negara Indonesia**

DAFTAR ISI

Efektivitas Model Pembelajaran Kooperatif Dalam Meningkatkan Kesadaran Lingkungan

Andi Saputra Mandopa, Alwendi, Lela Budiarti, Nurkhasanah Rina Puspita

Halaman 01-06

The Correlation Between Environmental Determinants and Employee Health Protocol Behavior with Symptoms of Covid-19 Exposure in Laboratory Companies

Dede Nurhidayanto, Yusriani Sapta Dewi

Halaman 07-15

Pemodelan Sistem Informasi Berbasis IOT untuk Optimasi Pengelolaan Sampah Perkotaan (Studi kasus: Pemantauan level tempat sampah pintar)

Prionggo Hendradi, Agus Wahyono

Halaman 16-30

Evaluasi Kualitas Air Limbah Domestik Sekolah Internasional dan Fasilitasnya di Tangerang Selatan

Muhammad Salman Alfarisie

Halaman 31-36

Analisis Konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂) dan Sulfur Dioksida (SO₂) dan Hubungannya dengan Faktor Kelembaban Udara dan Kecepatan Angin

Nurhayati, Andi Yulianti Ramli

Halaman 37-44

EFEKTIVITAS MODEL PEMBELAJARAN KOOPERATIF DALAM MENINGKATKAN KESADARAN LINGKUNGAN

Andi Saputra Mandopa^{*}, Alwendi^{**}, Lela Budiarti^{***}, Nurkhasanah Rina Puspita^{****}

^{*}Dosen Pend. Matematika, FKIP, Universitas Graha Nusantara

^{**}Dosen ilmu Komputer; Fakultas Teknik Universitas Graha Nusantara

^{***}Dosen Program Studi Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Tapanuli Selatan

^{****}Dosen Manajemen Rekayasa Konstruksi Gedung, Politeknik Negeri Medan

coresspondent author : ^{*}andimandopa100@gmail.com , ^{**}alwendi60@gmail.com ,

^{***}lelabudiarti1@gmail.com , ^{****}nurkhasanahrinapuspita09@gmail.com

Diterima : 28-04-2025	Revisi : 08-06-2025	Disetujui : 31-07-2025	Diterbitkan: 1-08-2025
--------------------------	------------------------	---------------------------	---------------------------

Abstract

The purpose of this study was to determine the effectiveness of the cooperative learning model in increasing students' environmental awareness. The subjects of the study consisted of two classes at the junior high school level that were selected purposively. One class as the experimental group was given treatment with the cooperative learning model, while the other class as the control group followed conventional learning. The research instruments were in the form of an environmental awareness questionnaire and a learning activity observation sheet. Data analysis was carried out using statistical tests to compare the pretest and posttest results of the two groups. This study used a quantitative method with a pretest-posttest control group design in two classes at a junior high school. One class as the experimental group used cooperative learning, while the control class followed conventional learning. The results showed that the experimental group experienced a significant increase in environmental awareness. These findings indicate that cooperative learning can improve students' understanding, attitudes, and behaviors towards environmental issues.

Keywords: *environmental awareness, cooperative learning, students.*

PENDAHULUAN

Permasalahan lingkungan hidup semakin hari menjadi isu global yang mendesak untuk segera ditangani. Berbagai permasalahan seperti pencemaran, perubahan iklim, kerusakan hutan, dan krisis air bersih menuntut adanya kesadaran kolektif dari seluruh lapisan masyarakat, termasuk generasi muda. Oleh karena itu, pendidikan memiliki peran penting dalam menanamkan nilai-nilai kepedulian dan tanggung jawab terhadap lingkungan sejak dini. Di lingkungan sekolah, upaya peningkatan kesadaran lingkungan dapat diintegrasikan melalui berbagai pendekatan pembelajaran. Salah satu pendekatan yang diyakini efektif dalam membentuk sikap dan kesadaran siswa adalah model pembelajaran kooperatif. Model ini menekankan pada kerja sama antar siswa dalam kelompok kecil untuk mencapai tujuan belajar bersama. Melalui interaksi yang aktif dan saling berbagi pengetahuan, siswa tidak hanya memperoleh pemahaman kognitif, tetapi juga mengembangkan sikap sosial dan peduli terhadap lingkungan sekitar. Namun, dalam praktiknya, pembelajaran di sekolah masih banyak didominasi oleh pendekatan konvensional yang berpusat pada guru. Hal ini menyebabkan kurangnya keterlibatan aktif siswa dalam proses pembelajaran, termasuk dalam memahami isu-isu lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai efektivitas model pembelajaran kooperatif dalam meningkatkan kesadaran lingkungan siswa. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana model pembelajaran kooperatif dapat meningkatkan kesadaran lingkungan peserta didik. Diharapkan, hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan strategi pembelajaran yang lebih partisipatif dan kontekstual dalam pendidikan lingkungan di sekolah.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah apakah model pembelajaran kooperatif efektif dalam meningkatkan kesadaran lingkungan siswa. Selain itu, penelitian ini juga ingin mengetahui sejauh mana perbedaan peningkatan kesadaran lingkungan antara siswa yang belajar menggunakan model pembelajaran kooperatif dengan siswa yang belajar menggunakan model pembelajaran konvensional.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas model pembelajaran kooperatif dalam meningkatkan kesadaran lingkungan siswa. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis perbedaan tingkat kesadaran lingkungan antara siswa yang mengikuti pembelajaran dengan model kooperatif dan siswa yang mengikuti pembelajaran dengan model konvensional.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat. Secara teoritis, penelitian ini dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan teori pembelajaran kooperatif dalam konteks pendidikan lingkungan, khususnya dalam upaya menumbuhkan kesadaran siswa terhadap isu-isu lingkungan. Secara praktis, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi atau alternatif strategi pembelajaran yang dapat diterapkan oleh guru untuk meningkatkan kesadaran lingkungan siswa secara lebih efektif dan partisipatif. Secara sosial, penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam mendorong terbentuknya generasi yang peduli terhadap lingkungan dan memiliki sikap bertanggung jawab dalam menjaga kelestarian alam.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Model Pembelajaran Kooperatif

Model pembelajaran kooperatif adalah pendekatan pembelajaran yang menekankan kerja sama antar siswa dalam kelompok kecil untuk mencapai tujuan pembelajaran bersama (Slavin, 1995). Dalam model ini, siswa saling membantu, bertukar ide, dan bertanggung jawab atas keberhasilan diri sendiri maupun kelompoknya. Beberapa model kooperatif yang sering digunakan meliputi Jigsaw, Student Teams Achievement Division (STAD), Think-Pair-Share, dan Group Investigation. Menurut Lie, pembelajaran kooperatif tidak hanya meningkatkan prestasi akademik, tetapi juga keterampilan sosial siswa, seperti komunikasi, kepemimpinan, dan kemampuan memecahkan masalah. Prinsip dasar pembelajaran kooperatif mencakup interaksi tatap muka, pertanggungjawaban individu, keterampilan sosial, dan evaluasi kelompok.

2. Kesadaran Lingkungan

Kesadaran lingkungan adalah sikap dan pemahaman seseorang terhadap pentingnya menjaga dan melestarikan lingkungan hidup. Menurut Suryanto (2014), kesadaran lingkungan mencakup dimensi kognitif (pengetahuan), afektif (sikap), dan konatif (tindakan nyata). Pendidikan berperan penting dalam menumbuhkan kesadaran lingkungan melalui proses internalisasi nilai-nilai lingkungan ke dalam perilaku sehari-hari siswa. Indikator kesadaran lingkungan dapat dilihat dari pengetahuan siswa tentang isu lingkungan, kepekaan terhadap permasalahan lingkungan di sekitarnya, serta keterlibatan dalam tindakan nyata seperti daur ulang, penghematan energi, dan pelestarian alam. Penanaman kesadaran ini harus dilakukan secara sistematis dan terintegrasi ke dalam proses pembelajaran di sekolah agar menghasilkan dampak jangka panjang terhadap perilaku siswa.

3. Hasil Belajar Siswa

Hasil belajar siswa merupakan perubahan perilaku atau penguasaan pengetahuan, keterampilan, sikap, dan nilai yang terjadi setelah proses pembelajaran (Bloom, 1956). Indikator hasil belajar dapat dilihat melalui nilai akademik, keterampilan praktis, dan sikap siswa terhadap pembelajaran.

Gagne (1985) menyebutkan bahwa hasil belajar meliputi lima kategori, yaitu informasi verbal,

keterampilan intelektual, strategi kognitif, keterampilan motorik, dan sikap. Oleh karena itu, untuk meningkatkan hasil belajar, metode pembelajaran harus mampu mengakomodasi berbagai gaya belajar siswa.

4. Efektivitas Model Pembelajaran Kooperatif

Efektivitas pembelajaran kooperatif dalam meningkatkan hasil belajar siswa telah banyak dibuktikan melalui berbagai penelitian. Slavin (1995) menunjukkan bahwa pembelajaran kooperatif secara signifikan lebih efektif dibandingkan dengan pembelajaran tradisional dalam meningkatkan prestasi akademik. Hal ini disebabkan karena pembelajaran kooperatif mendorong siswa untuk lebih aktif, menguatkan pemahaman melalui diskusi, serta meningkatkan motivasi belajar. Penelitian oleh Johnson & Johnson (1999) juga menemukan bahwa pembelajaran kooperatif meningkatkan hubungan interpersonal di antara siswa, meningkatkan harga diri akademik, dan mengembangkan sikap positif terhadap mata pelajaran.

5. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Keberhasilan Pembelajaran Kooperatif

Menurut Arends (2008), keberhasilan model pembelajaran kooperatif dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

- a. Pembentukan kelompok heterogen: Keberagaman dalam kelompok (berdasarkan kemampuan, gender, dan latar belakang) memperkaya diskusi dan pembelajaran.
- b. Keterampilan sosial siswa: Efektivitas interaksi antar siswa sangat bergantung pada keterampilan sosial yang dimiliki.
- c. Peran guru: Guru perlu bertindak sebagai fasilitator yang mengarahkan interaksi dan memastikan semua anggota kelompok berkontribusi.
- d. Penilaian: Sistem penilaian harus mencakup kinerja individu dan kelompok untuk mendorong tanggung jawab bersama.

6. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa model pembelajaran kooperatif memberikan dampak positif terhadap pembentukan karakter dan nilai-nilai sosial siswa. Misalnya, penelitian oleh Nugroho (2020) menyimpulkan bahwa penggunaan model Jigsaw dalam pembelajaran IPA mampu meningkatkan kepedulian siswa terhadap lingkungan sekitar. Penelitian lainnya oleh Lestari dan Wahyuni (2019) menunjukkan bahwa pendekatan pembelajaran kooperatif dapat meningkatkan partisipasi siswa dalam kegiatan berbasis lingkungan seperti program Adiwiyata. Temuan-temuan ini menunjukkan bahwa model pembelajaran kooperatif tidak hanya berdampak pada aspek kognitif, tetapi juga berkontribusi dalam membentuk sikap dan perilaku siswa terhadap lingkungan secara positif.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah penelitian tindakan kelas (Classroom Action Research). Menurut (Arikunto, 2008 : 3) bahwa penelitian tindakan kelas (PTK) merupakan suatu pencerminan terhadap kegiatan belajar berupa sebuah tindakan, yang sengaja dimunculkan dan terjadi dalam sebuah kelas secara bersama. Tindakan tersebut diberikan oleh guru atau dengan arahan dari guru yang dilakukan oleh siswa. Subjek penelitian ini adalah siswa kelas VII B SMP Negeri 9 Padangsidempuan. Sedangkan objek penelitian ini adalah penggunaan model pembelajaran kooperatif tipe jigsaw untuk meningkatkan

hasil belajar siswa pada materi himpunan di kelas VII B SMP Negeri 9 Padangsidimpuan.

Tahapan awal yang dilakukan peneliti sebelum melaksanakan penelitian memberikan tes awal kepada siswa yang menjadi subjek penelitian untuk mengetahui kesulitan siswa dalam menyelesaikan masalah himpunan. Sesuai dengan refleksi awal tersebut maka dilaksanakan tindakan kelas, sesuai dengan pendapat Arikunto (2013;17) menjelaskan bahwa satu siklus PTK terdiri dari empat langkah yaitu: (1) perencanaan, (2) pelaksanaan, (3) pengamatan dan (4) refleksi.

Variabel dalam penelitian ini adalah penerapan model pembelajaran kooperatif. Model yang digunakan adalah STAD (Student Teams Achievement Division) yang diukur melalui tes hasil belajar (pre-test dan post-test) yang mencakup aspek kognitif seperti pemahaman konsep, pengetahuan, dan kemampuan memecahkan masalah dalam mata pelajaran Matematika.

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah tes dengan lembar observasi. Setelah tes diberikan kepada siswa selanjutnya diperoleh informasi dari hasil tes tersebut kemudian peneliti menganalisis hasil penelitian. Dimana hasil belajar siswa sesuai dalam petunjuk pelaksanaan proses belajar mengajar. Menurut Trianto, 2009 : 241 “Setiap siswa dikatakan tuntas belajarnya (ketuntasan individu) jika proporsi jawaban benar siswa $\geq 65\%$, dan suatu kelas dikatakan tuntas belajarnya (ketuntasan klasikal) jika dalam kelas tersebut terdapat $\geq 85\%$ siswa yang telah tuntas belajarnya.”

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian diperoleh peningkatan antara pemberian tes awal, dengan penerapan siklus I dan penerapan model pembelajaran jigsaw pada siklus II dapat dilihat dari tabel dibawah ini:

Tabel 1. Perbandingan Antara Hasil Belajar Tes Awal, Siklus I Dan Siklus II.

No	INDIKATOR	RATA-RATA
1.	Tes Awal	69
2.	Siklus I	76,47
3.	Siklus II	89,33

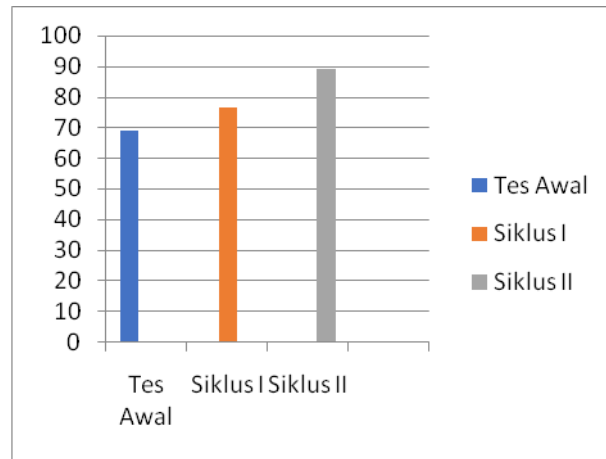
Berdasarkan hasil pengumpulan data yang dilakukan, diperoleh rata-rata nilai hasil belajar siswa sebagai berikut:

1. Pada tes awal sebelum penerapan model pembelajaran kooperatif, rata-rata nilai siswa adalah 69, yang menunjukkan tingkat penguasaan materi siswa masih tergolong cukup, namun belum memenuhi kriteria ketuntasan belajar yang diharapkan.
2. Setelah penerapan model pembelajaran kooperatif pada Siklus I, rata-rata nilai siswa meningkat menjadi 76,47. Ini menunjukkan adanya peningkatan pemahaman dan keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran, meskipun masih terdapat beberapa siswa yang belum mencapai standar ketuntasan maksimal.
3. Pada Siklus II, setelah dilakukan perbaikan dalam pelaksanaan pembelajaran kooperatif, rata-rata nilai siswa meningkat lebih signifikan menjadi 89,33. Hal ini menandakan bahwa sebagian besar siswa telah berhasil mencapai bahkan melampaui target ketuntasan belajar yang diharapkan.

Peningkatan rata-rata hasil belajar dari tes awal ke Siklus II ini memberikan gambaran bahwa penerapan model pembelajaran kooperatif efektif dalam meningkatkan hasil belajar siswa. Dengan

kerja sama dalam kelompok, siswa menjadi lebih aktif, termotivasi, dan mampu memahami materi pelajaran dengan lebih baik.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari diagram berikut: Gambar 1. Perbandingan Tes Awal, I Dan Penerapan Model Pembelajaran Jigsaw Pada Siklus II



Gambar 1. Perbandingan Tes

Grafik di atas menunjukkan perkembangan rata-rata hasil belajar siswa pada tes awal, Siklus I, dan Siklus II setelah penerapan model pembelajaran kooperatif.

Pada tes awal, rata-rata nilai siswa berada pada angka 69. Ini menunjukkan bahwa sebelum penerapan model pembelajaran kooperatif, tingkat penguasaan materi siswa masih dalam kategori cukup dan belum optimal. Setelah penerapan model pembelajaran kooperatif pada Siklus I, terjadi peningkatan rata-rata nilai siswa menjadi 76,47.

Peningkatan ini menunjukkan bahwa penggunaan model pembelajaran kooperatif mulai memberikan dampak positif terhadap pemahaman materi oleh siswa, walaupun belum sepenuhnya maksimal. Pada Siklus II, setelah dilakukan perbaikan strategi pembelajaran berdasarkan evaluasi siklus sebelumnya, rata-rata hasil belajar siswa mengalami peningkatan yang lebih signifikan, yaitu mencapai 89,33.

Pencapaian ini menunjukkan bahwa mayoritas siswa telah berhasil memahami materi pelajaran dengan sangat baik dan memenuhi kriteria ketuntasan yang diharapkan. Secara keseluruhan, grafik tersebut memperlihatkan adanya tren kenaikan yang konsisten dari tes awal ke Siklus II. Hal ini membuktikan bahwa penerapan model pembelajaran kooperatif efektif dalam meningkatkan hasil belajar siswa, baik dari segi pemahaman konsep maupun keterlibatan aktif mereka dalam proses belajar.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, penerapan model pembelajaran kooperatif terbukti efektif dalam meningkatkan hasil belajar siswa. Pada tes awal, rata-rata nilai siswa adalah 69, yang menunjukkan tingkat penguasaan materi yang cukup namun belum mencapai ketuntasan belajar yang diharapkan. Setelah penerapan model pembelajaran kooperatif pada Siklus I, rata-rata nilai siswa meningkat menjadi 76,47, meskipun masih terdapat beberapa siswa yang belum mencapai standar ketuntasan maksimal. Pada Siklus II, setelah perbaikan dalam proses pembelajaran, rata-rata nilai siswa meningkat

lebih signifikan menjadi 89,33, Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, pembelajaran kooperatif merupakan pendekatan yang relevan untuk diintegrasikan dalam pendidikan lingkungan di sekolah.

Saran

Berdasarkan temuan tersebut, disarankan agar penelitian selanjutnya fokus pada peningkatan pengelolaan waktu dan keterampilan sosial siswa dalam kelompok, karena hal ini masih menjadi tantangan yang perlu diperbaiki. Selain itu, peneliti selanjutnya dapat mencoba berbagai variasi model pembelajaran kooperatif, seperti Jigsaw atau Think-Pair-Share, untuk melihat apakah terdapat perbedaan dalam efektivitasnya. Penelitian yang melibatkan sampel yang lebih luas dan beragam juga dapat memberikan hasil yang lebih representatif dan aplikatif di berbagai konteks. Evaluasi jangka panjang juga penting untuk mengetahui apakah peningkatan hasil belajar bersifat berkelanjutan. Terakhir, mengingat perkembangan teknologi pendidikan, penggunaan platform digital dalam pembelajaran kooperatif dapat menjadi alternatif yang efektif untuk memperluas kesempatan kolaborasi di antara siswa.

DAFTAR PUSTAKA

- Nourhasanah, F. Y., & Aslam, A. (2022). Efektivitas model pembelajaran kooperatif tipe Numbered Head Together (NHT) terhadap hasil belajar matematika siswa sekolah dasar. *Jurnal Basicedu*, 6(3), 5124-5129.
- Novera, E., Daharnis, D., Erita, Y., & Fauzan, A. (2021). Efektivitas model pembelajaran kooperatif tipe course review horay dalam peningkatan aktivitas dan hasil belajar matematika siswa sekolah dasar. *Jurnal basicedu*, 5(6), 6349-6356.
- Lestari, W. P., Ningsih, E. F., Sugianto, R., & Lestari, A. S. B. (2023). Efektivitas Model Pembelajaran Kooperatif Dengan Pendekatan Contextual Teaching and Learning (CTL) Terhadap Hasil Belajar Matematika. *Jurnal Penelitian Tindakan Kelas*, 1(1), 28-33.
- Ribut, O. (2021). Pengaruh Model Pembelajaran Kooperatif Think Pair Share (TPS) Pada Prestasi matematika Siswa Sekolah Menengah Pertama. *Jurnal Jendela Pendidikan*, 1(1), 1-6.
- Uki, N. M., & Liunokas, A. B. (2021). Pengaruh model pembelajaran kooperatif tipe Jigsaw dan Make A Match terhadap hasil belajar kognitif siswa. *Jurnal Basicedu*, 5(6), 5542-5547.
- Lokat, Y. T., Bano, V. O., & Enda, R. R. H. (2022). Pengaruh Model Pembelajaran Kooperatif Tipe Picture And Picture Terhadap Hasil Belajar Siswa. *Jurnal Binomial*, 5(2), 126-135.
- Wahyudi, A., Pahan, B. P., & Sulistyowati, R. (2023). Peningkatan Hasil Belajar Siswa Melalui Kooperatif Picture And Picture: Suatu Studi di SDN 5 Menteng. *Harati: Jurnal Pendidikan Kristen*, 3(2), 109-123.
- Fauzi, A., & Masrupah, S. (2024). Pengaruh Model Pembelajaran Kooperatif Tipe Team Games Tournament (TGT) Terhadap Hasil Belajar Siswa. *Ngaos: Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran*, 2(1), 10-20.

THE CORRELATION BETWEEN ENVIRONMENTAL DETERMINANTS AND EMPLOYEE HEALTH PROTOCOL BEHAVIOR WITH SYMPTOMS OF COVID-19 EXPOSURE IN LABORATORY COMPANIES

Dede Nurhidayanto*, Yusriani Sapta Dewi**

*PT. Unilab Perdana

**Universitas Satya Negara Indonesia

Correspondent author : *dedenur@gmail.com

**yusrianisaptadewi@usni.ac.id

Diterima : 19-07-2025	Revisi : 25-07-2025	Disetujui : 31-07-2025	Diterbitkan: 1-08-2025
--------------------------	------------------------	---------------------------	---------------------------

Abstract

This study aims to determine the correlation between environmental determinants and health protocol behavior with symptoms of Covid-19 exposure. The research method used was survey with a quantitative approach. The data were analyzed using correlation and multiple linear regression. The research was conducted at Laboratory Companies, South Jakarta, from November to January 2024. The sampling technique used was simple random sampling, and the sample size was 31 employees working at Laboratory Companies, in South Jakarta. The results of a regression analysis was the formula of $Y = 36.979 - 0.321X_1 - 0.181X_2$. The results of the significance and linearity test were $F_{count} 15.92 > F_{table} 4.04$ at $\alpha = 0.05$. The correlation coefficient between the physical office environment and employee health protocol behavior with symptoms of Covid-19 exposure (r_{yx}) was 0.729, $R = 0.53$, meaning that the relationship between $X_1 + X_2$ and Y is 53%. The results of the study showed that there was a negative and significant relationship between the physical office environment and employee health protocol behavior with symptoms of exposure to Covid-19.

Key Words: Covid-19; health protocol behavior; determinants protocol; office environment

INTRODUCTION

Corona viruses are a group of viruses that can cause disease in animals or humans. Several types of coronaviruses are known to cause respiratory tract infections in humans, from mild coughs and colds to more severe diseases, including Middle East Respiratory Syndrome (MERS), and Middle East Respiratory Syndrome (SARS). Covid-19 is an infectious disease caused by a new coronavirus. This disease was discovered for the first time in Wuhan, China, in December 2019 (Team 2020). Based on doctors' notes on the symptoms presented by Covid-19 patients, their symptoms of anosmia (loss of the sense of smell) and ageusia (loss of the sense of taste) (Koyama, Ueha, and Kondo 2021). According to World Health Organization's data (WHO, 2023), until the mid 2023 of the Indonesian government had reported 6,813,429 confirmed Covid-19 cases 161,918 deaths and 6,651,511 recovered patients from 514 districts in 34 provinces (World Health Organization 2023).

Minister of Health Decree No. 1405/2002 concerning Health Requirements for Office and Industrial Work Environment states that the condition of the work/industrial environment must be carefully considered, which should help prevent environmental pollution as well as health problems. According to the decree, some points that must be considered include room and building, availability of clean water, air quality, and lighting (Kepmenkes 2002)(Scheuer, Keoleian, and Reppe 2003).

Behavior can be defined as the result of all kinds of human experiences and interactions with the environment, which manifest in the form of knowledge, attitudes, and actions. Behavior is the response/reaction of an individual to stimuli originating from external or internal sources (Kelder, Hoelscher, and Perry 2015).

A person's behavior is a series of actions carried out by him/her in response to a stimulus/stimuli, which then develop into habits due to the values he/she adheres to. Behavior is basically actions or activities carried out by people, either when interacting with their environment or not. The interaction is reflected in his/her knowledge, attitudes and actions. Behavior can be described

more objectively as a reaction of creatures or individuals towards changes outside them. The reaction is framed in two types of structure: separate structures (reactions occurring inside a person that cannot be seen directly by others) and dynamic structures (the point when a person's behavior can be directly observed by others) (Hemsworth et al. 2002).

Impact the Corona Virus Disease (Covid-19) pandemic has reduced the stability of the world economy. One of the most common phenomena is the decline in employee performance during the COVID-19 pandemic (Febriani, Gamayuni, and Syaipudin 2023). Social interaction, including interaction in the workplace, affects person-to-person Covid-19 transmission (Maheshwari and Albert 2020). Due to the number of workers working and the interactions between them, business owners play an important role in cutting the transmission chain (Aladejebi 2020). The risk factor that must be considered is the physical environment of offices as the place of interaction. If a workplace environment becomes unhealthy due to contaminations of disease agents, when combined with unhealthy habits of people, disease transmission can easily occur there (Dewi 2021). The Indonesian government officially implemented the Covid-19 safety protocol on May 20, 2020, by passing Ministry of Health Decree number HK.01.07/MEINKEIS/328/2020 regarding guidelines for preventing and controlling Covid-19 in office and industrial workplaces (Kemenkes 2020). The ultimate goal of the regulation was to reduce the transmission of Covid-19 in workplaces. Industrial offices and workplaces have to adjust their policies to ensure the continuity of their business activities and adapt to the pandemic (Hou et al. 2021).

When employees do not implement the Covid-19 protocol, it will increase their risk of contracting the disease (Belingeri, Paladino, and Riva 2020). It is really important to keep up with health trends to slow down the spread of Covid. Some of the tips that must be carried out by all groups include social distancing, using masks, and washing hands (Cheng, Lam, and Leung 2022). Even though the government has issued new policies to control and prevent Covid-19 transmission, there are still many employees who did not follow the Covid-19 prevention protocol. This is caused by a number of things, including predisposing factors like knowledge, attitudes, and beliefs, values of environmental determinants, including physical environments and the presence of healthcare facilities, as well as other factors, including attitudes and actions of health workers (Cirrincione et al. 2020). This explains the Covid-19 situation in Indonesia, where 60% of patients were exposed to the virus due to low awareness of Covid-19 prevention (Sulistyawati et al. 2021). According to the research carried out by Herman and Handayani (2016), Indonesia's health facilities and infrastructure are still not yet capable of carrying out efforts to prevent and treat diseases such as Covid-19 (Aminullah and Erman 2021).

Another research revealed that the majority of respondents (97.7%) who did not receive support from health workers did not comply with the efforts to control and prevent Covid-19 (Tripathi et al. 2020). In efforts to prevent Covid-19, showed that 95.7% of people used masks, frequently washed their hands, and maintained physical and social distance from other people (Fakhira et al. 2021). Only 4.2% of people fall into the "good culture" category, but it was still a good figure considering the very fast spread of Covid-19 (Raevskikh, Khalid, and Benghozi 2022). The hypothesis in this research is 1) There is a relationship between physical environmental determinants and symptoms of exposure to Covid-19; 2) There is a relationship between health protocol behavior and symptoms of exposure to Covid-19.

METHOD

This research used a survey with a quantitative approach. Interviews are carried out by asking questions to the resource person regarding the topic to be studied and the data were collected using questionnaires. Observations are carried out by directly observing the object being studied and being interviewed, to obtain an overview of the primary data needed. Quantitative data analysis is carried out as the final process to systematically compile data obtained from interviews, observations and other sources, so that it can be easily understood and the findings can be informed to others. In analytical observational studies, researchers try to establish an association between exposure(s) and outcome(s). Depending on the direction of enquiry, these studies can be directed forwards (cohort studies) or backwards (case-control studies). In this article, we examine the key features of these two types of studies (Ranganathan and Aggarwal 2019).

SAMPLING PROCEDURES

The population in this study was 80 employees at the Laboratorium Companies office, consisting of 51 male employees and 39 female employees. The sample in this study was 31 employees of the Laboratorium Companies, with sampling using a simple random sampling technique (simple random sampling). Samples are taken randomly without selecting the individuals sampled.

MATERIALS AND APPARATUS

The data used in this research is primary data obtained from interviews using a questionnaire. Apart from that, data from observations during the observation was carried out. Secondary data was obtained from health records and morbidity rates due to Covid 19 as well as sick leave certificates

PROCEDURES

The initial step is to conduct research trials to significantly improve user research results by identifying problems early in pilot trials, providing insight into participant behavior and attitudes, and increasing the reliability and validity of research findings. Research trials of 20 employees at a similar environmental laboratory company. Symptoms of Covid-19 are the activity of spreading the infectious virus between one employee and another which can be measured using the Covid-19 symptom assessment scale with a score of 1 if fever, high which can last for 5-7 days, unstable level of consciousness and body aches; scoring 2 if coughing, scoring 3 if shortness of breath, and loss of sense of smell; scoring 4 if diarrhea, vomiting and nausea occur, changes in skin color on the body; and scoring 5 if self-isolation for 14 days and treatment at hospital. Instrument testing on the symptom variable of exposure to Covid 19 was 0.413 at α 0.05 and a confidence level of 85.90%.

For the physical office environment, direct observation was carried out, including observing 1) Warning Signs, including through publicity via billboards and announcements everywhere; 2) Room conditions including temperature, air ventilation, humidity, and light entering the room, as well as clean water quality. 3) Prevention of Covid-19 through employee rapid test regulations, routine cleaning of each room, and a special area for initial handling of Covid-19; 4) Working hours by controlling office hours if a pandemic occurs; 5) Accessibility of clinical gadgets, easy accessibility of masks, hand sanitizers, special waste disposal for all office facilities to tackle Coronavirus.

Employee health protocol behavior is a pattern of actions carried out by employees directly or indirectly to prevent the spread of Covid 19, aspects: 1) Preventive Behavior, with indicators of always cleaning oneself and changing clothes regularly, using masks and hand sanitizer to avoid exposure to Covid-19; 2) Handling Covid-19, with indicators that if you feel unfit and ongoing, immediately see a doctor; 3) Comply with health protocol regulations, with the indicator of always following the regulations that have been made by the government and offices to avoid Covid-19; 4) Maintaining health, with indicators (a) Maintaining the physical condition of the body, (b) regularly consuming vitamins. Scoring , if the employee answers always, scoring 2, if the employee answers sometimes, and scoring 3, if the employee answers no. Instrument testing on the Employee health protocol behavior 0.463 at α 0.05 and a confidence level of 89.30%.

Design and Data Analysis

The dependent variable in this study is symptoms Covid 19 expore (Y). The independent variables in this research are the physical office environment (X_1) and Employee health protocol behavior (X_2). The data analysis technique is to use simple and multiple regression and correlation tests.

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 \tag{1}$$

$$r = \sqrt{r^2} = \sqrt{\frac{(b_1 \sum x_1y) + \sqrt{b_2 \sum x_2y}}{\sum y^2}} \tag{2}$$

Y = Independent variable a = constanta
 X₁, X₂ = dependent variables b₁, b₂ = regression coefficient

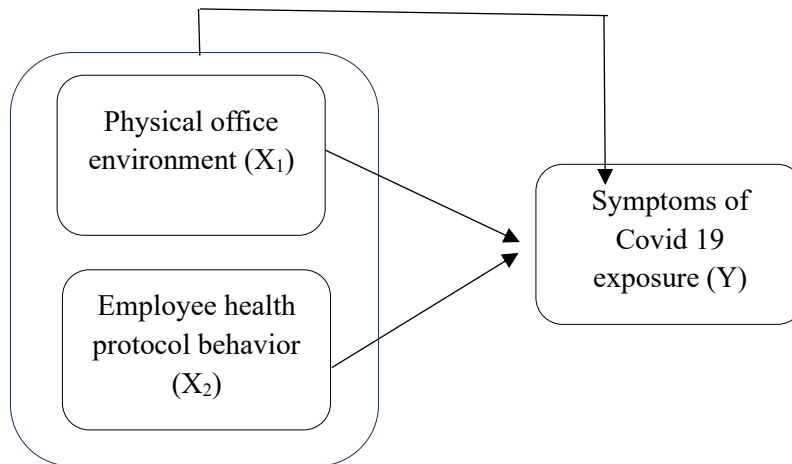


Figure 1. Research Structure

RESULT AND DISCUSSION

The relationship between office physical environment scores and symptoms of exposure to Covid-19 was carried out using simple regression. The linear regression between the physical environment and symptoms of Covid-19 exposure shown by the regression formula of $\hat{Y} = 31.317 - 0.419X_1$ was negative linear, meaning the better the office in implementing health protocols, the smaller the exposure to Covid 19. The result are shown in Table 1.

Table 1. Linear regression of ANAVA Y on X₁; $\hat{Y} = 31.317 - 0.419X_1$

Source of Variants	Degree of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F _{count}	F _{table, α 0.05}
Total	30	407,419	13,581.63		
Regression	1	180,173	180,173	22.99	4.04
Residual	29	227,246	7,836.07		

The results show that the **F_{count} 22.99 > F_{table} 4.04** at $\alpha = 0.05$. The figures indicated significant correlation between the physical environment at the office and symptoms of exposure to Covid-19. The correlation coefficient between the physical environment of the office and symptoms of Covid-19 exposure (**r_{yx}**) was 0.665. $R = r^2_{xy} = 0.44$ meant that the correlation between X₁ and Y was 44%. This condition means that the influence of the physical office environment on exposure to Covid 19 symptoms is 44%, if other factors are ignored. A study in 2020 found that the relationship between interior office space and health are threefold; with open-plan offices, shared rooms, and higher

background noise being the characteristics most likely to have a negative impact on well-being (Colenberg, Jylhä, and Arkesteijn 2020).

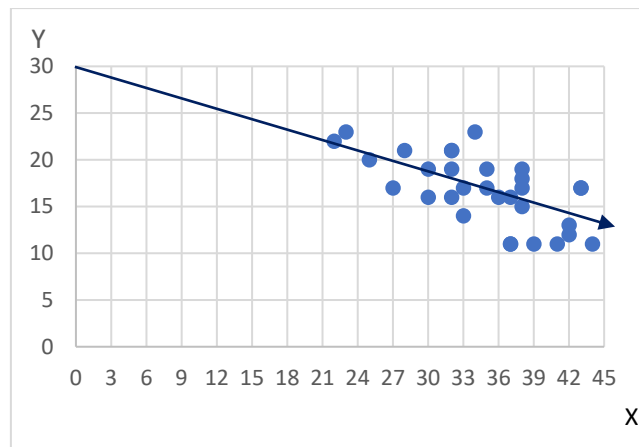


Figure 2. Linear graph of the correlation between physical office environment and symptoms of Covid-19 exposure

The relationship between employee’ health protocol behavior and symptoms of exposure to Covid-19 was carried out using simple regression. The linear regression between employee’ health protocol behavior and symptoms of Covid-19 exposure shown by the regression formula of $\hat{Y} = 32.152 - 0.306X_2$ was negative linear, meaning the better employee health protocols behavior, the smaller the exposure to Covid 19.

Table 2. Linear regression of ANAVA Y on X_1 ; $\hat{Y} = 32.152 - 0.306X_2$

Source of Variants	Degree of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F_{count}	$F_{table, \alpha 0.05}$
Total	30	407,419	13,581.63		
Regression	1	133,618	133,618	14.15	4.04
Residual	29	273,801	9,441.413		

The results show that the $F_{count} 14.15 > F_{table} 4.04$ at $\alpha = 0.05$. The figures indicated significant correlation between the employees’ health protocol behavior and the symptoms of Covid-19 exposure.

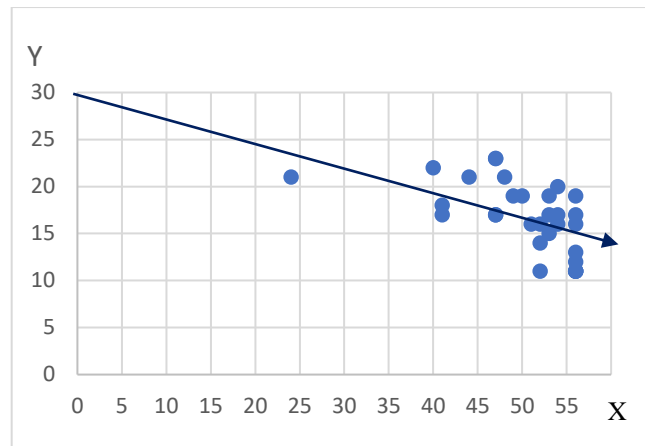


Figure 3. Linear graph of the correlation between employees' health protocol behavior and symptoms of Covid-19 exposure

The correlation coefficient between the employees' health protocol behavior and symptoms of Covid-19 exposure (r_{yx}) was 0.573. $R = r^2_{xy} = 0.33$ meant that the correlation between X_2 and Y was 33%. This condition means that the influence of the health protocol implemented by employees on exposure to Covid 19 symptoms is 33%, if other factors are ignored.

This is in line of opinion that asymptomatic and mildly symptomatic individuals and heterogeneous symptom presentation, show that commonly used symptoms may not be sufficient criteria for evaluating COVID-19 infection. But, found that exposure both outside and within the household is a major risk factor for users testing positive and build a predictive model to identify likely COVID-positive users. Finally, found that even at the height of lockdowns throughout the United States, the majority of users were leaving their homes, and a large fraction were not engaging in social distancing or face protection (Allen et al. 2020).

The simultaneous correlation between the physical environment of the office and health protocol behavior with the symptoms of Covid-19 exposure. was shown with the formula of $\hat{Y} = 36.979 - 0.321X_1 + 0.181X_2$. The result are shown in Table 3.

Table 3. The results of ANAVA test on $\hat{Y} = 36.979 - 0.321X_1 - 0.181X_2$ multiple regression model

Source of Variants	Degree of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F_{count}	$F_{table, \alpha 0.05}$
Total	30	407,419	13,581.63		
Regression	2	216,762	108,381	15.92	4.04
Residual	28	190,657	6,809		

The results show that the $F_{count} 15.92 > F_{table} 4.04$ at $\alpha = 0.05$. The figures indicated significant correlation between the physical environment of the office and health protocol behavior (simultaneous) with the symptoms of Covid-19 exposure. The multiple regression between the physical environment of the office and health protocol behavior (simultaneous) with symptoms of Covid-19 exposure shown by the formula $\hat{Y} = 36.979 - 0.321X_1 - 0.181X_2$ was negative linear, meaning that the bigger X_1 and X_2 , the smaller Y is. The correlation coefficient between the physical environment of the office and the employees' health protocol behavior (simultaneous) with symptoms of Covid-19 exposure (r_{yx}) was 0.729. The value of determinant $R = 0.53$ means that the correlation between $X_1 + X_2$ (simultaneous) and Y was 53%, while the remaining 47 % was influenced by other variables.

The research, it was found too that the determinant factor most related to the formation of compliance to COVID-19 preventive measures. based on the results of a systematic review, is preventive measures by the company, followed by employment status, psychological condition, effectiveness of preventive measures by the government, level of education, knowledge, perceived risk, and individual preventive measures. It can be concluded that the company (workplace) and employment status are the most dominant determinant in the formation of compliance to COVID-19 prevention measures. Therefore, companies play an important role in maintaining and increasing consistent compliance with health protocols, so it is necessary to prepare health promotion programs and monitor employee compliance to COVID-19 prevention measures (Wirasati and Kurniawidjaja 2022).

As in the research carried out Popa, the COVID-19 pandemic has resulted in the imposition of certain changes in the management of organizations and in the behavior and actions of employees. The pandemic effects felt by employees did not directly affect their mental and physical well-being. On the other hand, the COVID-19 pandemic effects felt by employees affected their general work performance. The findings of the study may provide a useful perspective for organizations and their employees in order to adopt the most effective measures to minimize the effects generated by the pandemic. That the COVID-19 pandemic imposes certain changes in the management of organizations. The impact of the pandemic on employees' well-being, as well as on their working performance, has become a key topic during this period. In such emergency situations as the COVID-19 pandemic, employees can react in different ways to stress. In this regard, it is also interesting to study whether health- and work-related stress factors can mediate the relationship between the effects of the pandemic on employees' health and mental well-being and on their working performance (Popa et al. 2022).

CONCLUSION

The hypothesis in this research is proven that there is a relationship between physical environmental determinants and symptoms of exposure to Covid-19; and there is a relationship between health protocol behavior and symptoms of Covid-19 exposure. The results showed significant correlation between the physical office environment and health protocol behavior with symptoms of Covid-19 exposure. The better the office environment and the better the health protocol behavior, the smaller the Covid-19 exposure. With these findings, it can be concluded that to minimize exposure to Covid-19, it is necessary to improve the physical office environment and health protocol behavior. The company (office work environment) is the most dominant determining factor in the formation of compliance behavior with COVID-19 prevention measures. Companies play an important role in maintaining and increasing consistent compliance with health protocols, so it is necessary to prepare health promotion programs and monitor compliance with established COVID-19 prevention measures. Further research is needed on other variables that might help reduce the symptoms of Covid-19 exposure, including concerns for protecting the environment, concerns for encouraging everyone to wear masks and so on.

REFERENCES

- Aladejebi, Olufemi. 2020. "Managing Small Businesses in Nigeria during Covid-19 Crisis: Impact and Survival Strategies." *IOSR Journal of Business and Management* 22(8):24–34.
- Allen, William E., Han Altae-Tran, James Briggs, Xin Jin, Glen McGee, Andy Shi, Rumya Raghavan, Mireille Kamariza, Nicole Nova, Albert Pereta, and others. 2020. "Population-Scale Longitudinal Mapping of COVID-19 Symptoms, Behaviour and Testing." *Nature Human Behaviour* 4(9):972–82.
- Aminullah, Erman, and Erwiza Erman. 2021. "Policy Innovation and Emergence of Innovative Health Technology: The System Dynamics Modelling of Early COVID-19 Handling in Indonesia." *Technology in Society* 66:101682.
- Belingheri, Michael, Maria Emilia Paladino, and Michele Augusto Riva. 2020. "COVID-19: Health Prevention and Control in Non-Healthcare Settings." *Occupational Medicine* 70(2):82–83.
- Cheng, Kar Keung, Tai Hing Lam, and Chi Chiu Leung. 2022. "Wearing Face Masks in the Community during the COVID-19 Pandemic: Altruism and Solidarity." *The Lancet*

- Team, Epidemiology. 2020. "The Epidemiological Characteristics of an Outbreak of 2019 Novel Coronavirus Diseases (COVID-19)—China, 2020." *China CDC Weekly* 2(8):113.
- Tripathi, Rina, Saad S. Alqahtani, Ahmed A. Albarraq, Abdulkarim M. Meraya, Pankaj Tripathi, David Banji, Saeed Alshahrani, Waquar Ahsan, and Fatimah M. Alnakhli. 2020. "Awareness and Preparedness of COVID-19 Outbreak among Healthcare Workers and Other Residents of South-West Saudi Arabia: A Cross-Sectional Survey." *Frontiers in Public Health* 8:482.
- Wirasati, Alfita Ayu, and L. Meily Kurniawidjaja. 2022. "Analisa Perilaku Kepatuhan Tindakan Pencegahan COVID-19 Pada Pekerja Non Kesehatan: A Systematic Review." *PREPOTIF: Jurnal Kesehatan Masyarakat* 6(2):1199–1211.
- World Health Organization. 2023. "WHO Corona Virus (Covid 19) Report." *Report*. Retrieved (<http://covid19.who.int>).

PEMODELAN SISTEM INFORMASI BERBASIS IOT UNTUK OPTIMASI PENGELOLAAN SAMPAH PERKOTAAN (STUDI KASUS: PEMANTAUAN LEVEL TEMPAT SAMPAH PINTAR)

Prionggo Hendradi* dan Agus Wahyono**

*Fakultas Teknik Universitas Satya Negara Indonesia, **Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Satya Negara Indonesia

Correspondent author : * prionggo.hendradi@gmail.com

** agoeswahyono9@gmail.com

Diterima : 20-07-2025	Revisi : 25-07-2025	Disetujui : 31-07-2025	Diterbitkan: 1-08-2025
--------------------------	------------------------	---------------------------	---------------------------

Abstract

This study proposes a conceptual modeling of an Internet of Things (IoT)-based waste level monitoring system to address the inefficiencies of traditional waste management. The system is designed to facilitate better decision-making and optimize waste collection routes. The research methodology includes in-depth problem identification related to conventional waste management, analysis of current business processes, and design of the proposed system. The developed system model includes a conceptual technological framework that integrates ultrasonic sensors for real-time data acquisition, ESP32/ESP8266 microcontrollers as edge devices, the MQTT communication protocol, and an IoT cloud platform and time-series database as backend storage. The collected data will be visualized through a user dashboard that displays trash bin fullness on a map, automatic notifications, and historical trends. The results of this study present Level 0 and Level 1 Data Flow Diagrams (DFDs) detailing the system's interactions with external entities and its internal sub-processes. Additionally, a conceptual Entity-Relationship Diagram (ERD) is also developed to illustrate the system's data structure. The dashboard mockup design demonstrates an intuitive interface for waste management. Thus, this research provides a strong theoretical and architectural foundation for the development of a more efficient, responsive, and data-driven waste management system, contributing to improved environmental cleanliness.

Keywords: Waste Monitoring System, IoT, Ultrasonic Sensor, MQTT, DFD, ERD, Dashboard, Smart Waste Management.

PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah perkotaan menjadi salah satu tantangan krusial bagi pemerintah kota di seluruh dunia, termasuk di Indonesia. Pertumbuhan populasi dan peningkatan aktivitas ekonomi berkontribusi pada volume sampah yang terus meningkat, seringkali melebihi kapasitas sistem pengelolaan yang ada. Metode pengumpulan sampah konvensional, yang umumnya berbasis jadwal tetap, seringkali tidak efisien. Truk pengangkut sampah mungkin beroperasi dengan kapasitas tidak penuh, atau justru terlambat mengosongkan tempat sampah yang sudah meluap, menyebabkan penumpukan, bau tidak sedap, dan potensi masalah kesehatan lingkungan (Zurbrugg, 2003), (Waste, n.d.). Inefisiensi ini tidak hanya menimbulkan kerugian finansial dari segi bahan bakar dan sumber daya manusia, tetapi juga berdampak negatif pada estetika kota dan kualitas hidup masyarakat (Aja & Al-Kayiem, 2014).

Seiring dengan perkembangan pesat teknologi informasi dan komunikasi, konsep *Smart City* hadir sebagai solusi inovatif untuk berbagai permasalahan perkotaan, termasuk pengelolaan sampah. Salah satu pilar utama dalam pengembangan *Smart City* adalah pemanfaatan *Internet of Things (IoT)*, yang memungkinkan objek fisik untuk mengumpulkan dan bertukar data secara *real-time* (Hoornweg & Bhada-Tata, 2012). Dalam konteks pengelolaan sampah, implementasi *IoT* menawarkan potensi besar untuk mengubah pendekatan tradisional menjadi sistem yang lebih cerdas, responsif, dan efisien (Sharma et al., 2024). Berbagai penelitian telah menunjukkan efektivitas penggunaan sensor dan jaringan nirkabel dalam memantau kondisi tempat sampah, yang dapat secara signifikan mengurangi biaya operasional dan meningkatkan kualitas layanan (Paturi et al., 2021), (Dogra et al., 2022).

Pemanfaatan sistem informasi berbasis *web* juga telah terbukti mendukung pengelolaan sampah, seperti pada implementasi aplikasi bank sampah untuk mempermudah pencatatan dan transaksi di tingkat komunitas, yang mendorong partisipasi aktif masyarakat (Hendradi et al., 2025).

Penelitian ini mengusulkan pemodelan sistem informasi berbasis *IoT* yang dirancang khusus untuk optimasi pengelolaan sampah perkotaan, dengan fokus pada pemantauan level tempat sampah pintar. Sistem ini akan memanfaatkan sensor *IoT* yang terpasang pada tempat sampah untuk mendeteksi tingkat kepenuhan secara akurat dan mengirimkan data tersebut ke *platform* pusat. Data *real-time* ini kemudian akan diolah menjadi informasi yang berharga, memungkinkan pengelola sampah untuk mengambil keputusan yang lebih tepat. Pemodelan sistem informasi ini bertujuan untuk mengatasi inefisiensi pengumpulan sampah dengan memvisualisasikan kondisi tempat sampah secara langsung, sehingga rute pengumpulan dapat dioptimalkan berdasarkan kebutuhan aktual, bukan lagi jadwal statis. Diharapkan, penerapan model sistem ini dapat berkontribusi pada pengelolaan sampah yang lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan, menuju terciptanya lingkungan perkotaan yang lebih bersih dan sehat.

1. Konsep Pengelolaan Sampah

Pengelolaan sampah merupakan serangkaian kegiatan yang mencakup pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, hingga pembuangan akhir sampah dengan tujuan menjaga kesehatan masyarakat dan kelestarian lingkungan (Zurbrugg, 2003). Di wilayah perkotaan, volume sampah cenderung meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan aktivitas ekonomi, menimbulkan tekanan signifikan pada infrastruktur dan sistem pengelolaan yang ada (Waste, n.d.). Metode konvensional seringkali melibatkan jadwal pengumpulan yang statis, tanpa mempertimbangkan tingkat kepenuhan tempat sampah secara *real-time*. Pendekatan ini dapat menyebabkan inefisiensi operasional, seperti pengangkutan sampah dengan kapasitas tidak penuh yang memboroskan bahan bakar dan tenaga kerja, atau sebaliknya, keterlambatan pengosongan tempat sampah yang meluap, mengakibatkan masalah lingkungan seperti bau tidak sedap, penumpukan sampah visual, dan potensi penyebaran penyakit (Aja & Al-Kayiem, 2014).

Efisiensi dalam pengelolaan sampah tidak hanya berdampak pada aspek kebersihan dan kesehatan lingkungan, tetapi juga memiliki implikasi ekonomi yang signifikan. Peningkatan biaya operasional akibat rute yang tidak efisien, konsumsi bahan bakar yang tinggi, dan jam kerja yang tidak optimal menuntut inovasi dalam sistem pengelolaan sampah (Hoorweg & Bhada-Tata, 2012). Oleh karena itu, diperlukan transformasi dari model pengelolaan sampah tradisional menjadi sistem yang lebih cerdas dan responsif, yang mampu mengoptimalkan sumber daya dan meningkatkan kualitas layanan.

2. Konsep *Smart City*

Smart City adalah konsep pengembangan perkotaan yang memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) untuk meningkatkan kualitas hidup penduduk, mengoptimalkan kinerja dan efisiensi layanan kota, serta mengurangi dampak lingkungan (Sharma et al., 2024). Konsep ini didukung oleh berbagai pilar utama, termasuk infrastruktur cerdas, transportasi cerdas, pemerintahan cerdas, ekonomi cerdas, dan lingkungan cerdas (Paturi et al., 2021). Dalam konteks lingkungan cerdas, implementasi teknologi bertujuan untuk memantau, menganalisis, dan mengelola sumber daya serta limbah secara lebih efisien dan berkelanjutan.

Pemanfaatan teknologi dalam *Smart City* berfokus pada pengumpulan data dari berbagai sumber, termasuk sensor, perangkat seluler, dan sistem informasi yang ada, untuk menghasilkan wawasan yang dapat digunakan dalam pengambilan keputusan. Integrasi data ini memungkinkan kota untuk menjadi lebih adaptif, efisien, dan responsif terhadap kebutuhan warganya (Dogra et al., 2022). Pengelolaan sampah merupakan salah satu area kunci di mana prinsip *Smart City* dapat diterapkan secara efektif untuk mencapai tujuan keberlanjutan dan peningkatan kualitas hidup.

3. Konsep *Internet of Things (IoT)*

Internet of Things (IoT) merujuk pada jaringan objek fisik yang dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak, dan teknologi lain untuk tujuan terhubung dan bertukar data dengan perangkat dan sistem lain melalui internet (Hendradi et al., 2025). Arsitektur dasar *IoT* umumnya terdiri dari beberapa lapisan: 1) Lapisan Perangkat/Sensor, yang mencakup sensor dan aktuator untuk mengumpulkan data dari lingkungan atau melakukan tindakan; 2) Lapisan Jaringan/Konektivitas, yang bertanggung jawab untuk transmisi data melalui berbagai protokol seperti *Wi-Fi*, *Bluetooth*, *LoRaWAN*, atau *MQTT*; 3) Lapisan *Cloud Computing/Platform*, tempat data disimpan, diproses, dan dianalisis; dan 4) Lapisan Aplikasi, yang menyediakan antarmuka bagi pengguna untuk berinteraksi dengan sistem dan mendapatkan informasi (Gubbi et al., 2013), (Atzori et al., 2010).

Dalam konteks pengelolaan lingkungan, *IoT* memungkinkan pemantauan *real-time* kondisi fisik seperti kualitas udara, kualitas air, dan tingkat kepenuhan tempat sampah (Kurfess et al., 2020). Kemampuan *IoT* untuk menyediakan data secara otomatis dan berkelanjutan membuka peluang besar untuk efisiensi operasional dan pengambilan keputusan yang didukung data. Protokol komunikasi seperti *MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)* sangat cocok untuk aplikasi *IoT* karena karakteristiknya yang ringan, efisien, dan dirancang untuk perangkat dengan sumber daya terbatas (Atzori et al., 2010).

4. Konsep Sistem Informasi (SI) dan Pemodelan SI

Sistem Informasi (SI) adalah seperangkat komponen yang saling terkait yang mengumpulkan, memproses, menyimpan, dan mendistribusikan informasi untuk mendukung pengambilan keputusan dan kontrol dalam suatu organisasi (Laudon & Laudon, 2004). SI berperan penting dalam mengubah data mentah menjadi informasi yang bermakna dan dapat digunakan, yang kemudian mendukung berbagai fungsi bisnis dan operasional (Agustin et al., 2019). Dalam konteks pengelolaan sampah, SI dapat berfungsi sebagai pusat koordinasi untuk data dari berbagai sumber, mulai dari sensor hingga input manual, yang kemudian disajikan dalam format yang mudah dipahami bagi pengambil keputusan. Pemodelan Sistem Informasi merupakan proses abstraksi dan representasi sistem yang akan dikembangkan, menggunakan notasi grafis atau tekstual untuk menggambarkan struktur, perilaku, dan interaksi komponen sistem (Valacich et al., 2022). Tujuan utama pemodelan adalah untuk memahami kompleksitas sistem, mengidentifikasi kebutuhan pengguna, merancang arsitektur yang optimal, dan memfasilitasi komunikasi antar pemangku kepentingan. Berbagai teknik pemodelan seperti Diagram Arus Data (*DFD*), Diagram Entitas-Relasi (*ERD*), dan *Unified Modeling Language (UML)* sering digunakan untuk merepresentasikan aspek-aspek berbeda dari suatu sistem informasi, mulai dari aliran data hingga interaksi antar komponen (Dennis et al., 2015). Pemodelan yang baik merupakan tahap krusial dalam pengembangan sistem yang efektif dan efisien, membantu mengidentifikasi potensi masalah di awal siklus pengembangan.

5. Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian telah dilakukan terkait penerapan teknologi untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah. Studi-studi awal berfokus pada optimasi rute pengumpulan sampah menggunakan algoritma matematis dan data statis (Nowakowski, 2017). Dengan kemajuan teknologi, fokus bergeser ke arah pemanfaatan sensor dan teknologi nirkabel. Sebagai contoh, Arebey et al. (2016) mengembangkan sistem manajemen sampah cerdas berbasis *IoT* dan *smart bin* untuk memantau level sampah dan mengoptimalkan rute pengumpulan (Paturi et al., 2021). Demikian pula, Gudevi (2023) merancang dan mengimplementasikan sistem manajemen sampah cerdas berbasis *IoT* yang menunjukkan potensi peningkatan efisiensi (Gusdevi et al., 2023). Mahajan et al. (2024) juga melakukan survei komprehensif mengenai berbagai sistem manajemen sampah cerdas berbasis *IoT*, menunjukkan beragam pendekatan yang telah dieksplorasi (Sharma et al., 2024).

Selain pemantauan fisik menggunakan *IoT*, sistem informasi berbasis *web* juga telah terbukti berkontribusi dalam pengelolaan sampah, khususnya dalam memfasilitasi partisipasi masyarakat. Hendradi et al. (2025) melaporkan keberhasilan pelatihan aplikasi bank sampah berbasis *web* pada Bank Sampah Berkah Sejahtera, yang mempermudah pencatatan dan transaksi, serta mendorong keterlibatan aktif masyarakat dalam daur ulang sampah [8]. Hal ini menunjukkan bahwa solusi pengelolaan sampah

yang komprehensif tidak hanya meneliti teknologi keras (seperti sensor *IoT*), tetapi juga memerlukan sistem informasi yang *user-friendly* untuk manajemen data dan interaksi dengan pengguna akhir atau komunitas.

Meskipun demikian, masih terdapat kesenjangan dalam literatur terkait integrasi yang komprehensif antara pemodelan sistem informasi yang detail dengan implementasi *IoT* untuk pemantauan level sampah secara *real-time* dan *feedback* langsung untuk optimasi rute. Banyak penelitian berfokus pada implementasi teknologi atau algoritma optimasi secara terpisah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menjembatani kesenjangan tersebut dengan menyajikan pemodelan sistem informasi yang sistematis dan terintegrasi untuk solusi pengelolaan sampah berbasis *IoT*.

METODOLOGI PENELITIAN

1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan Penelitian Pengembangan (*Development Research*). Peneliti berfokus pada perancangan dan pemodelan sistem informasi baru yang inovatif, yaitu sistem pemantauan level tempat sampah pintar berbasis *IoT*. Pendekatan ini relevan karena tujuan utama adalah menghasilkan model konseptual dan arsitektur sistem yang dapat menjadi panduan untuk implementasi di kemudian hari. Meskipun tidak melibatkan implementasi fisik skala penuh atau analisis data kuantitatif dari kinerja sistem yang sudah berjalan, penelitian pengembangan memungkinkan peneliti untuk menciptakan kerangka solusi yang terstruktur dan terukur.

2. Pendekatan Pemodelan Sistem

Dalam perancangan sistem informasi ini, peneliti mengadopsi Model Prototipe (*Prototyping Model*) dalam fase desain dan pemodelan. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk mengembangkan model sistem secara iteratif, yang dapat direview dan disempurnakan berdasarkan umpan balik konseptual atau kebutuhan yang teridentifikasi selama proses pemodelan. Model prototipe akan difokuskan pada representasi visual dan fungsional dari aliran data dan interaksi komponen, bukan pada pembangunan sistem operasional penuh. Ini membantu memvalidasi konsep dan arsitektur sebelum potensi implementasi riil.

3. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan utama, yang saling terkait dan berurutan:

a. Tahap Perencanaan:

1) Identifikasi Masalah

- (a) Inefisiensi Operasional Pengumpulan Sampah dimana sistem pengumpulan sampah yang berbasis jadwal tetap menyebabkan pemborosan sumber daya, seperti : Truk pengangkut sering beroperasi tidak penuh yang mana petugas saat mengelilingi rute dan menemukan tempat sampah yang masih kosong atau hanya terisi sedikit, sehingga memboroskan bahan bakar, waktu, dan tenaga kerja; Keterlambatan pengosongan tempat sampah yang meluap, dimana tempat sampah bisa meluap sebelum jadwal pengumpulan berikutnya tiba, menyebabkan penumpukan, bau tak sedap, dan ketidaknyamanan.
- (b) Kurangnya Data dan Informasi *Real-time*, dimana tidak ada visibilitas langsung terhadap kondisi tempat sampah dimana pengelola sampah tidak tahu secara pasti tempat sampah mana yang sudah penuh dan mana yang masih kosong tanpa harus melakukan pengecekan manual; Kesulitan dalam Perencanaan Rute Optimal. Tanpa data *real-time*, sulit untuk merencanakan rute pengumpulan yang paling efisien, yang hanya mengumpulkan tempat sampah yang sudah penuh.
- (c) Dampak Lingkungan dan Sosial, dimana pencemaran lingkungan dimana sampah yang meluap dapat menyebabkan pencemaran tanah, air, dan udara; Penurunan estetika kota dimana tumpukan sampah yang tidak terkelola mengurangi keindahan lingkungan; Potensi masalah kesehatan dimana sampah yang menumpuk dapat menjadi sarang penyakit.

- (d) Biaya Pengelolaan yang Tinggi yang mana kesemuanya itu berdampak inefisiensi operasional dengan peningkatan biaya pengelolaan sampah secara keseluruhan.
- 2) Identifikasi Kebutuhan
Selanjutnya adalah merumuskan kebutuhan akan solusi yang dapat mengatasi masalah-masalah tersebut.
- (a) Kebutuhan Informasi *Real-time* tentang Level Sampah, dimana dibutuhkannya informasi akurat dan terkini mengenai tingkat kepenuhan setiap tempat sampah yang menyangkut lokasi tempat sampah dan waktu terakhir data diperbarui.
- (b) Kebutuhan Sistem Notifikasi Otomatis, dimana sistem nantinya memberikan peringatan atau notifikasi otomatis kepada pengelola ketika suatu tempat sampah mencapai ambang batas kepenuhan tertentu.
- (c) Kebutuhan *Dashboard* Pemantauan yang Informatif, dimana pengelola memperoleh antarmuka visual (*dashboard*) yang menampilkan semua informasi level sampah secara terpusat, mudah dibaca, dan *real-time*; *Dashboard* harus mampu menunjukkan lokasi tempat sampah di peta dan status kepełuhannya (misalnya, dengan kode warna).
- (d) Kebutuhan Data Historis untuk Analisis dan Perencanaan, dimana sistem harus dapat menyimpan data level sampah secara historis untuk analisis tren, identifikasi pola produksi sampah, dan perencanaan jangka panjang.
- (e) Kebutuhan Peningkatan Efisiensi Rute Pengumpulan, dimana sistem nantinya mendukung pengambilan keputusan untuk optimasi rute pengumpulan, sehingga petugas hanya mengumpulkan sampah dari tempat sampah yang benar-benar membutuhkan.
- (f) Kebutuhan Integrasi Teknologi *IoT*, dimana sistem nantinya membutuhkan penggunaan sensor pada tempat sampah dan *platform IoT* untuk pengumpulan dan pengiriman data otomatis.
- 3) Penentuan Tujuan dan Lingkup Sistem:
Penentuan tujuan dan lingkup sistem merupakan langkah krusial dalam fase perencanaan. Ini membantu memastikan bahwa pengembangan sistem terfokus dan selaras dengan kebutuhan yang telah diidentifikasi.
- a) Tujuan Sistem
Tujuan utama dari pemodelan sistem informasi berbasis *IoT* ini adalah mengoptimalkan pengelolaan sampah perkotaan di Desa Rawa Panjang, Bojong gede, Bogor melalui pemantauan level tempat sampah secara *real-time*. Secara spesifik, sistem ini bertujuan untuk:
- (1) Memantau Level Sampah *Real-time*: Sistem harus mampu secara otomatis mendeteksi dan mengirimkan data tingkat kepenuhan setiap tempat sampah yang dilengkapi sensor ke *platform* pusat secara terus-menerus.
 - (2) Menyediakan Informasi Akurat untuk Pengambilan Keputusan: Memberikan dashboard yang informatif dan mudah diakses bagi pengelola sampah, menampilkan data level sampah terkini, lokasi, dan status, sehingga memungkinkan pengambilan keputusan yang didukung data.
 - (3) Memfasilitasi Optimasi Rute Pengumpulan: Sistem ini bertujuan untuk menyediakan informasi yang dibutuhkan pengelola agar dapat merencanakan dan menyesuaikan rute pengumpulan sampah secara dinamis, sehingga hanya tempat sampah yang mendekati atau sudah penuh yang dikunjungi.
 - (4) Meningkatkan Efisiensi Operasional: Dengan memungkinkan optimasi rute, sistem ini bertujuan untuk mengurangi biaya operasional terkait bahan bakar, waktu kerja, dan sumber daya manusia dalam proses pengumpulan sampah.
 - (5) Mencegah Penumpukan Sampah: Melalui notifikasi dini dan pemantauan aktif, sistem diharapkan dapat meminimalkan insiden tempat sampah meluap, sehingga meningkatkan kebersihan dan estetika lingkungan.
- b) Lingkup Sistem

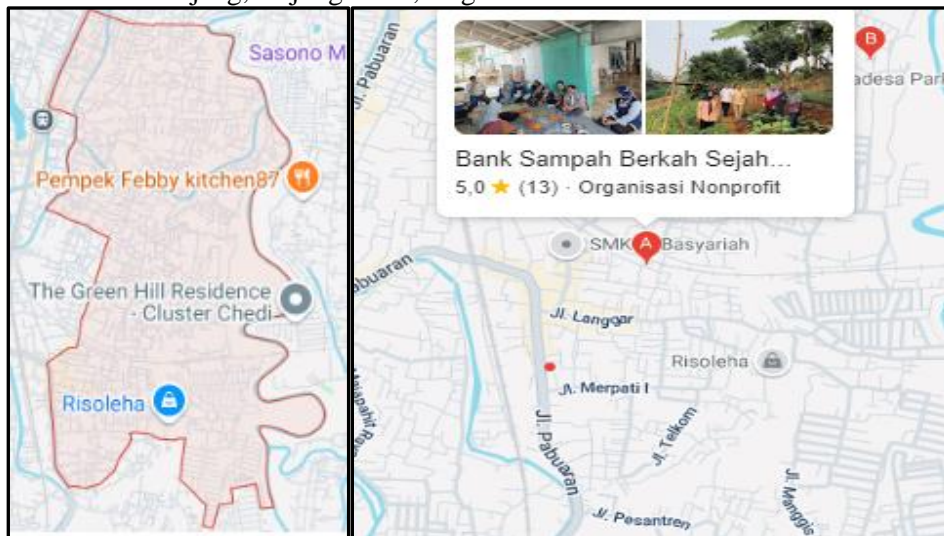
Lingkup sistem ini mendefinisikan batasan-batasan proyek, menguraikan apa yang akan dan tidak akan dicakup oleh pemodelan sistem informasi ini.

- c) Cakupan Sistem:
- (1) Modul Pemantauan Sensor: Meliputi perancangan interaksi antara sensor ultrasonik dengan mikrokontroler (*ESP32/ESP8266*) untuk akuisisi data level sampah.
 - (2) Modul Komunikasi Data: Memodelkan mekanisme pengiriman data dari perangkat *IoT* ke *cloud platform* menggunakan protokol komunikasi seperti *MQTT* melalui *Wi-Fi*.
 - (3) Modul *Cloud Platform* dan Basis Data: Merancang bagaimana data diterima, diproses, dan disimpan di *cloud platform* (seperti *ThingSpeak* sebagai contoh implementasi sederhana, atau konsep layanan *AWS IoT/GCP IoT*) serta struktur basis data untuk penyimpanan data *time-series*.
 - (4) Modul Visualisasi *Dashboard*: Merancang antarmuka pengguna berbasis *web* (*dashboard*) untuk menampilkan informasi level sampah secara *real-time*, lokasi tempat sampah pada peta, dan ringkasan status.
 - (5) Modul Notifikasi Dasar: Memodelkan sistem notifikasi otomatis (seperti *trigger* berbasis ambang batas kepenuhan) yang akan dikirimkan kepada pengelola.
- d) Batasan Sistem:
- (1) Fokus pada Pemodelan Konseptual: Penelitian ini berfokus pada pemodelan dan perancangan sistem informasi dan tidak mencakup implementasi fisik purwarupa skala penuh di lapangan atau pengujian kinerja sistem yang telah berjalan secara aktual.
 - (2) Tanpa Optimasi Rute Otomatis: Meskipun sistem memfasilitasi optimasi rute, pemodelan algoritma optimasi rute otomatis (seperti algoritma *traveling salesman problem* tingkat lanjut) tidak termasuk dalam lingkup penelitian ini. Sistem hanya menyediakan data yang relevan untuk pengambilan keputusan manual dalam optimasi rute.
 - (3) Tidak Mencakup Aspek Pemeliharaan Perangkat Keras: Penelitian ini tidak membahas secara detail prosedur pemeliharaan perangkat keras *IoT* (sensor, mikrokontroler) yang terpasang pada tempat sampah.
 - (4) Asumsi Ketersediaan Infrastruktur Jaringan: Pemodelan ini mengasumsikan adanya ketersediaan infrastruktur jaringan dasar (*Wi-Fi*) di area penempatan tempat sampah pintar untuk pengiriman data.
 - (5) Studi Kasus Konseptual: Penggunaan "Desa Rawa Panjang, Bojong Gede" sebagai studi kasus adalah untuk memberikan konteks nyata dan spesifik pada pemodelan, namun implementasi riil dan validasi di lokasi tersebut berada di luar lingkup penelitian ini.
- b. Tahap Analisis Kebutuhan Sistem:
- 1) Pengumpulan Kebutuhan Fungsional dan Non-Fungsional: Mengidentifikasi fungsi-fungsi inti yang harus dimiliki sistem (seperti: membaca sensor, mengirim data, menampilkan *dashboard*) dan kebutuhan non-fungsional (seperti: kepenelitian, skalabilitas, keamanan data). Ini dilakukan melalui analisis dokumen, studi kasus serupa, dan wawancara informal dengan pengelola sampah atau ahli.
 - 2) Analisis Proses Bisnis: Memetakan alur kerja pengelolaan sampah saat ini dan mengidentifikasi bagaimana sistem yang diusulkan dapat mengoptimalkan alur tersebut, khususnya dalam konteks pengumpulan sampah.
- c. Tahap Desain Pemodelan Sistem:
- 1) Perancangan Arsitektur Sistem *IoT*: Menggambarkan komponen utama sistem (perangkat *IoT*, protokol komunikasi, *cloud platform*) dimana saling terintegrasi yang mencakup spesifikasi logis dari setiap komponen.

- 2) Pemodelan Data: Mendesain struktur data yang dibutuhkan untuk menyimpan informasi level sampah, lokasi tempat sampah, dan metadata terkait. Ini direpresentasikan dengan Diagram Entitas-Relasi (*ERD*) konseptual.
- 3) Pemodelan Proses Bisnis Sistem: Menggunakan Diagram Arus Data (*DFD*) untuk memvisualisasikan aliran informasi dari sensor ke *dashboard* pengambilan keputusan, menunjukkan transformasi data pada setiap tahapan.
- 4) Perancangan Antarmuka Pengguna Konseptual: Mendesain tampilan dasar *dashboard* pemantauan level sampah, termasuk elemen-elemen visual dan informasi kunci yang akan disajikan kepada pengelola sampah.

4. Lokasi Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada pemodelan sistem yang relevan untuk konteks pengelolaan sampah di Desa Rawa Panjang, Bojong Gede, Bogor.

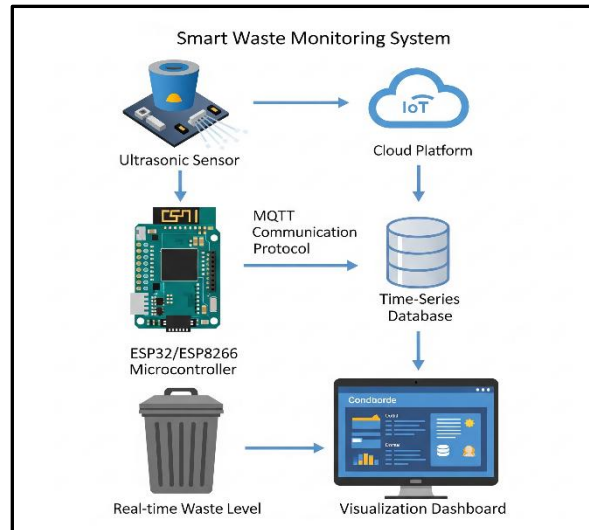


Gambar 1 : peta lokasi penelitian

5. Alat dan Bahan (*Tools dan Platform*) dalam Konteks Pemodelan

Dalam konteks pemodelan sistem informasi ini, "alat dan bahan" merujuk pada perangkat lunak dan kerangka kerja konseptual yang digunakan untuk membuat model.

- a. Perangkat Lunak Pemodelan:
 - 1) *UML (Unified Modeling Language) Tools*: menggunakan *Use Case Diagram* diperlukan untuk analisis kebutuhan dengan *tools Microsoft Visio*
 - 2) *Software Desain UI/UX* : membuat *mockup* atau *wireframe* dari *dashboard* diperlukan untuk visualisasi konsep antarmuka.
- b. **Kerangka Konseptual Teknologi:**
 - 1) Konsep Sensor Ultrasonik: Sebagai perangkat input data level sampah.
 - 2) Konsep Mikrokontroler *ESP32/ESP8266*: Sebagai *edge device* untuk pengolahan dan transmisi data.
 - 3) Protokol Komunikasi *MQTT*: Sebagai dasar protokol pengiriman data antar perangkat.
 - 4) *Platform Cloud IoT* (konseptual): Sebagai *backend* untuk penerimaan, penyimpanan, dan pemrosesan data (yaitu *ThingSpeak* sebagai contoh implementasi sederhana, atau *AWS IoT Core/GCP IoT Core* sebagai referensi arsitektur skalabel).
 - 5) Konsep Database *Time-Series*: Untuk penyimpanan data sensor.
 - 6) Konsep *Dashboard* Visualisasi: Untuk representasi informasi kepada pengguna.



Gambar 2: Kerangka Konseptual Teknologi

6. Teknik Analisis Data (untuk Pemodelan)

Dalam konteks pemodelan sistem informasi tanpa implementasi fisik, teknik analisis data lebih berfokus pada analisis kebutuhan dan evaluasi desain konseptual.

- Analisis Kebutuhan Sistem:** Menganalisis data kualitatif dari studi literatur, observasi, atau wawancara informal untuk mengidentifikasi kebutuhan fungsional dan non-fungsional sistem.
- Analisis Desain (*Design Analysis*):** Menganalisis model-model yang telah dibuat (*DFD*, *ERD*, *Arsitektur Sistem*) untuk memastikan konsistensi, kelengkapan, dan kesesuaiannya dengan kebutuhan yang telah diidentifikasi. Ini dapat melibatkan tinjauan silang dengan prinsip-prinsip desain sistem informasi yang baik.
- Evaluasi Konseptual:** Melakukan penilaian terhadap kelayakan teknis dan operasional dari model yang diusulkan berdasarkan literatur dan pengalaman para ahli.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Analisis Kebutuhan Sistem

Di sub-bagian ini, Peneliti akan menyajikan temuan kunci dari tahap analisis. Ini adalah fondasi mengapa model Penelitian ini diperlukan.

- Identifikasi Masalah Konvensional:**
Inefisiensi dan permasalahan yang sering muncul dalam pengelolaan sampah konvensional di Desa Rawa Panjang atau area perkotaan sejenis. Fokus pada masalah yang akan dipecahkan oleh sistem Peneliti, seperti:
 - Pengumpulan tidak efisien (truk sering kosong atau terlalu penuh).
 - Penumpukan sampah yang tidak terkelola.
 - Kurangnya data *real-time* untuk pengambilan keputusan.
- Kebutuhan Fungsional Sistem:**
Daftar fungsi-fungsi utama yang dapat dilakukan oleh sistem informasi yang dimodelkan. Seperti:
 - Sistem akan dapat membaca level sampah dari sensor secara otomatis.
 - Sistem akan dapat mengirimkan data level sampah ke *cloud platform*.
 - Sistem akan dapat menyimpan data level sampah beserta timestamp dan lokasi.
 - Sistem akan dapat menampilkan level sampah terkini dalam bentuk *dashboard* yang mudah dipahami.
 - Sistem akan dapat memberikan notifikasi otomatis jika level sampah mencapai ambang batas tertentu.

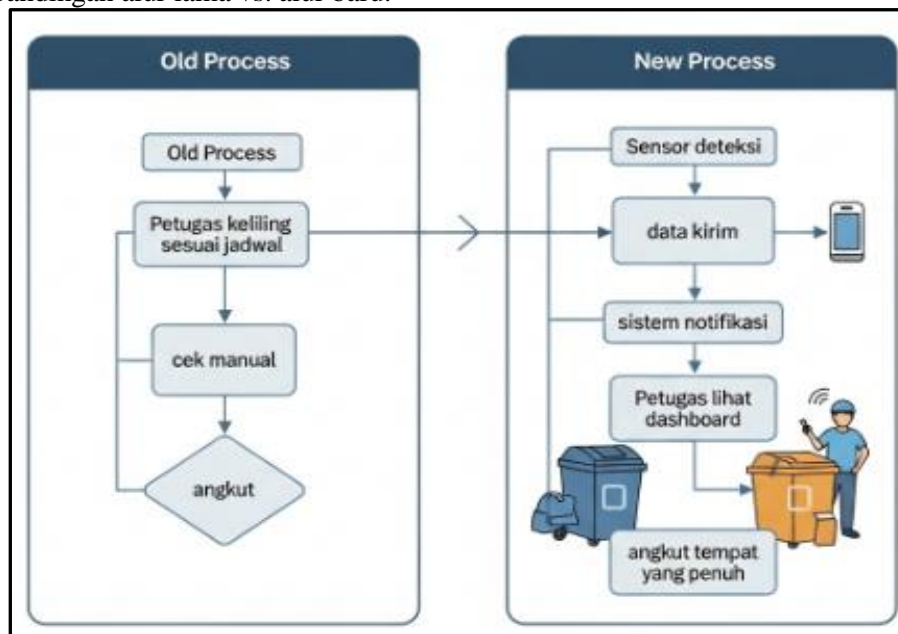
c. Kebutuhan Non-Fungsional Sistem:

Berikut adalah karakteristik kualitas yang harus dimiliki sistem, yaitu:

- a) Kepenelitian: Data sensor akan akurat dan pengiriman data stabil.
- b) Skalabilitas: Sistem akan mampu menampung penambahan jumlah tempat sampah di masa mendatang.
- c) Keamanan Data: Data yang dikirim dan disimpan akan terlindungi.
- d) Kemudahan Penggunaan (*Usability*): *Dashboard* akan intuitif bagi pengelola sampah.

d. Gambaran Proses Bisnis yang Diusulkan:

Peneliti menggunakan teks naratif atau Diagram Proses Bisnis sederhana yang menunjukkan perbandingan alur lama vs. alur baru.



Gambar 3: proses lama dan proses baru

Tabel 1: penjelasan proses lama dan proses baru

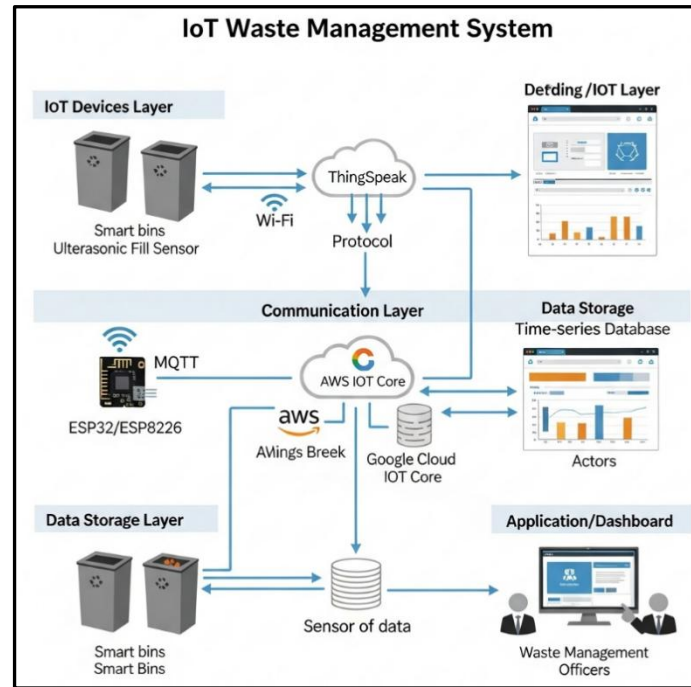
Proses Lama	Proses Baru
<p>a. Petugas keliling sesuai jadwal: Aktivitas ini menunjukkan bahwa petugas pengumpul sampah beroperasi berdasarkan jadwal rutin yang telah ditentukan. Mereka mungkin memiliki rute tetap dan waktu spesifik untuk mengunjungi setiap area atau tempat sampah.</p> <p>b. Cek manual: Saat tiba di lokasi tempat sampah, petugas harus secara fisik memeriksa kondisi tempat sampah. Mereka melihat langsung apakah tempat sampah sudah penuh, setengah penuh, atau masih kosong. Ini adalah proses yang memakan waktu dan bergantung pada observasi manusia.</p> <p>c. Angkut: Berdasarkan hasil pengecekan manual, petugas kemudian memutuskan apakah sampah perlu diangkut atau tidak. Jika tempat sampah penuh, mereka akan mengosongkannya. Jika tidak penuh, mereka mungkin tetap mengangkutnya (sesuai jadwal) atau meninggalkannya, yang bisa menyebabkan ketidakefisienan.</p>	<p>a. Sensor deteksi: Ini adalah titik awal dari proses baru. Sensor (misalnya, sensor ultrasonik) yang terpasang di tempat sampah secara otomatis dan <i>real-time</i> mendeteksi level kepenuhan sampah di dalamnya.</p> <p>b. Data kirim: Data level sampah yang dideteksi oleh sensor kemudian secara otomatis dikirimkan melalui jaringan komunikasi (misalnya, Wi-Fi menggunakan protokol <i>MQTT</i>) ke platform <i>cloud</i> pusat.</p> <p>c. Sistem notifikasi: Platform <i>cloud</i> yang menerima data akan memprosesnya. Jika level sampah mencapai ambang batas tertentu (misalnya, 80% penuh), sistem akan secara otomatis memicu notifikasi. Notifikasi ini bisa berupa email, SMS, atau peringatan di <i>dashboard</i>.</p> <p>d. Petugas lihat <i>dashboard</i>: Petugas pengelola sampah atau supervisor tidak lagi harus keliling untuk mengecek secara manual. Mereka cukup melihat dashboard aplikasi web (yang merupakan bagian dari sistem informasi Anda). <i>Dashboard</i> ini menampilkan peta lokasi tempat sampah dengan status warnanya (penuh, setengah penuh, kosong) dan daftar notifikasi.</p> <p>e. Angkut tempat yang penuh: Berdasarkan informasi <i>real-time</i> dari <i>dashboard</i>, petugas dapat merencanakan rute pengumpulan yang lebih optimal. Mereka hanya perlu pergi ke tempat sampah yang benar-benar membutuhkan pengosongan, sehingga menghemat waktu, bahan bakar, dan sumber daya.</p>

2. Hasil Desain Pemodelan Sistem

Ini adalah bagian paling krusial untuk menampilkan "produk" dari pemodelan Peneliti. Pastikan setiap diagram jelas dan dilengkapi penjelasan.

a. Arsitektur Sistem *IoT* yang Diusulkan

Berikut adalah gambar diagram yang menunjukkan semua komponen utama dan bagaimana terjadinya interaksi antar komponen.



Gambar 4: Arsitektur Sistem *IoT* Pengelolaan Sampah

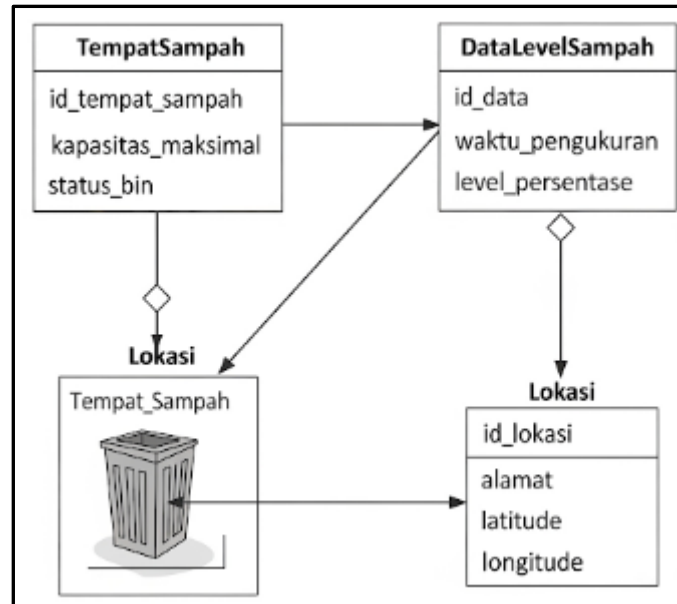
Berikut penjabaran visual yang menjelaskan komponen-komponen utama dan aliran data dalam sistem:

1. Lapisan Perangkat Keras (*IoT Devices*): Terlihat *Smart bins* yang dilengkapi dengan *Ultrasonic fill sensor* untuk mendeteksi level sampah, dan *ESP32/ESP8266 microcontrollers* yang berfungsi sebagai otak perangkat untuk memproses data sensor.
2. Lapisan Komunikasi: Data dari mikrokontroler dikirimkan melalui *Wi-Fi* menggunakan protokol *MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)*, yang dikenal ringan dan efisien untuk perangkat *IoT*.
3. Lapisan Cloud/Platform *IoT*: Data yang dikirimkan kemudian diterima oleh platform *cloud* seperti *ThingSpeak*, *AWS IoT Core*, atau *Google Cloud IoT Core*. Platform ini berperan sebagai *broker* pesan, mengelola koneksi perangkat, dan menyediakan layanan untuk menyimpan serta memproses data awal.
4. Lapisan Penyimpanan Data (Database): Data yang telah diolah di *cloud* kemudian disimpan dalam *Store Dedicated Database*, yang secara konseptual bisa berupa *time-series database* untuk efisiensi penyimpanan data sensor berkelanjutan.
5. Lapisan Aplikasi/Dashboard: Data dari database diakses dan ditampilkan melalui *Application Layer* berupa *web dashboard*. Di sini, *Real-time waste level monitoring*, *Alerts for bin fullness*, dan *Route Optimization* ditampilkan.
6. Aktor: *Waste Management Officers* (Petugas Pengelola Sampah) adalah aktor yang berinteraksi langsung dengan *web dashboard* untuk memantau kondisi tempat sampah dan mengambil keputusan.

Panah-panah dalam diagram menunjukkan aliran data yang jelas dari sensor hingga ke tangan pengelola sampah, menggambarkan bagaimana sistem ini bekerja secara terintegrasi.

b. Model Data (Diagram Entitas-Relasi Konseptual)

Diagram Entitas-Relasi (*ERD*) konseptual yang Peneliti buat berfokus pada entitas-entitas utama dan hubungan diantaranya. Berikut adalah gambarnya.



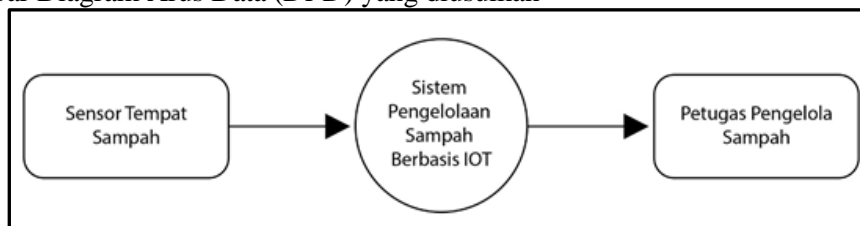
Gambar 5: Diagram Entitas-Relasi Konseptual Sistem Pemantauan Sampah

Penjelasan.

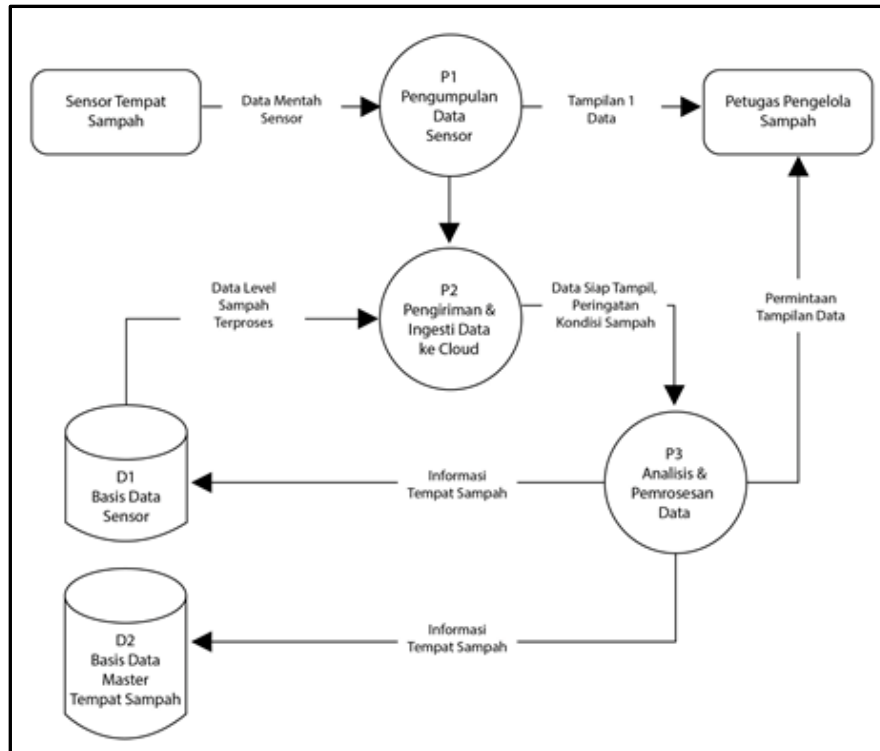
- 1) Entitas: terdapat entitas-entitas utama yang diperlukan untuk menyimpan data yaitu TempatSampah, DataLevelSampah, Lokasi
- 2) Atribut: terdapat atribut kunci untuk setiap entitas yaitu untuk TempatSampah: id_tempat_sampah, kapasitas_maksimal, status_bin; untuk lokasi: id_lokasi, alamat, latitude, longitude; untuk DataLevelSampah: id_data, waktu_pengukuran, level_persentase
- 3) Relasi: terdapat hubungan antar entitas yaitu satu TempatSampah memiliki banyak DataLevelSampah

c. Model Proses Sistem (Diagram Arus Data)

Gambar Diagram Arus Data (DFD) yang diusulkan



Gambar 6: Diagram Arus Data Level 0 Sistem Pemantauan Sampah



Gambar 7: Diagram Arus Data Level 1 Sistem Pemantauan Sampah

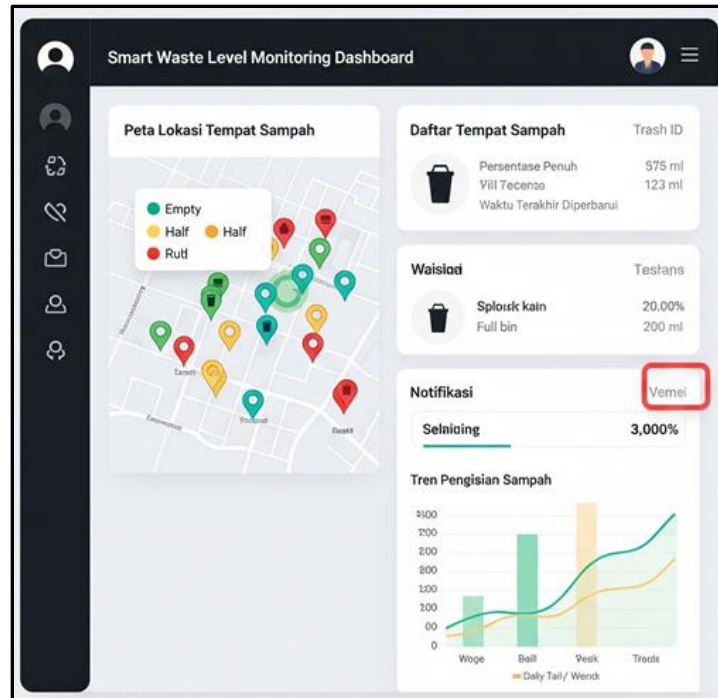
Penjelasan:

DFD Level 0 (Diagram Konteks): Telihat sistem sebagai satu proses tunggal dan bagaimana interaksi dengan entitas eksternal (seperti: Sensor, Petugas Pengelola Sampah).

DFD Level 1: merupakan detail proses utama menjadi sub-proses yang lebih detail (seperti: "Pengumpulan Data Sensor", "Pengiriman Data ke *Cloud*", "Penyimpanan Data", "Visualisasi Data"). Terdapat aliran data antar proses dan penyimpanan data.

d. Desain Antarmuka Pengguna Konseptual (*Dashboard*)

Gambar *mockup* dari *dashboard* yang diusulkan.



Gambar 8: Mockup Desain Dashboard Pemantauan Level Sampah

Penjelasan:

- 1) Elemen-elemen kunci pada *dashboard* diantaranya adalah grafik *real-time* level sampah, peta dengan ikon tempat sampah, daftar notifikasi, ringkasan statistik.
- 2) Terdapat informasi yang akan ditampilkan kepada pengelola sampah dan bagaimana informasi tersebut mendukung pengambilan keputusan.

3. Pembahasan Hasil Pemodelan

Di sub-bagian ini, Peneliti akan menganalisis dan menginterpretasikan pemodelan ini.

a. Analisis Desain yang Diusulkan:

- 1) Kesesuaian dengan Kebutuhan bahwa setiap elemen desain (arsitektur, *ERD*, *DFD*, *UI* konseptual) secara langsung memenuhi kebutuhan fungsional dan non-fungsional yang telah Peneliti identifikasi di bagian 4.1.
- 2) Rasionalisasi Pilihan Teknologi, bahwa peneliti memilih komponen teknologi spesifik seperti *ESP32*, *MQTT*, *ThingSpeak* sebagai contoh *cloud platform* berdasarkan karakteristiknya yang sesuai untuk pemantauan sampah dengan pertimbangan efisiensi daya, biaya rendah, kemudahan implementasi.

b. Implikasi dan Manfaat Potensial:

Penerapan model sistem informasi ini dapat mengoptimalkan pengelolaan sampah di Desa Rawa Panjang. Fokus pada aspek konkret seperti:

- 1) Peningkatan Efisiensi Pengumpulan: Sistem memungkinkan rute pengumpulan yang dinamis, mengurangi perjalanan kosong dan biaya bahan bakar.
- 2) Pencegahan Penumpukan: Notifikasi *real-time* dapat mencegah tempat sampah meluap.
- 3) Pengambilan Keputusan Berbasis Data: Pengelola memiliki informasi akurat untuk perencanaan dan alokasi sumber daya.
- 4) Potensi Dampak Lingkungan dan Sosial: Terkait dengan lingkungan yang lebih bersih, kesehatan masyarakat, dan potensi peningkatan partisipasi jika sistem berkembang.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menyajikan pemodelan konseptual sebuah Sistem Pemantauan Sampah Pintar berbasis *Internet of Things (IoT)* yang dirancang untuk mengatasi inefisiensi pengelolaan sampah konvensional, khususnya di wilayah seperti Desa Rawa Panjang, Bojong Gede, Bogor.

Melalui identifikasi masalah yang jelas seperti inefisiensi operasional, kurangnya data *real-time*, dan dampak lingkungan, penelitian ini merumuskan kebutuhan akan solusi yang dapat memantau level sampah secara *real-time*, memfasilitasi optimasi rute, dan meningkatkan efisiensi.

Model sistem yang diusulkan terdiri dari beberapa lapisan kunci:

- Lapisan Perangkat Keras (*IoT Devices*): Menggunakan sensor ultrasonik untuk deteksi level sampah dan mikrokontroler *ESP32/ESP8266* sebagai otak perangkat.
- Lapisan Komunikasi: Memanfaatkan protokol *MQTT* melalui Wi-Fi untuk pengiriman data yang ringan dan efisien.
- Lapisan *Cloud/Platform IoT*: Berfungsi sebagai *broker* pesan, penerima, dan penyimpan data, dengan contoh konseptual seperti *ThingSpeak*, *AWS IoT Core*, atau *GCP IoT Core*.
- Lapisan Penyimpanan Data: Menggunakan konsep Database *Time-Series* yang efisien untuk menampung data sensor berkelanjutan.
- Lapisan Aplikasi/*Dashboard*: Menyediakan antarmuka pengguna berbasis *web* untuk visualisasi *real-time* status sampah, notifikasi, dan tampilan tren pengisian sampah.

Analisis proses bisnis menunjukkan pergeseran signifikan dari alur kerja pengumpulan sampah yang berbasis jadwal dan manual menuju pendekatan yang berbasis data dan *on-demand*. *DFD Level 0* menggambarkan sistem sebagai entitas tunggal yang berinteraksi dengan Sensor Tempat Sampah dan Petugas Pengelola Sampah, sedangkan *DFD Level 1* merinci sub-proses internal mulai dari Pengumpulan Data Sensor, Pengiriman & Ingesti Data ke *Cloud*, Penyimpanan Data, Analisis & Pemrosesan Data, hingga Visualisasi & Notifikasi.

ERD konseptual berhasil memodelkan hubungan antara entitas Lokasi, Tempat_Sampah, dan Data_Level_Sampah, membentuk fondasi yang kuat untuk struktur basis data sistem. Desain *mockup dashboard* menunjukkan antarmuka yang intuitif dengan peta berkode warna, daftar tempat sampah, notifikasi, dan grafik tren, yang secara langsung mendukung kebutuhan operasional pengelola sampah. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kerangka konseptual yang komprehensif untuk pembangunan sistem pemantauan sampah pintar berbasis *IoT*. Model yang diusulkan berpotensi besar untuk meningkatkan efisiensi, mengurangi biaya operasional, dan memperbaiki kualitas lingkungan melalui pengelolaan sampah yang lebih cerdas dan responsif. Meskipun penelitian ini berfokus pada pemodelan konseptual, hasilnya menjadi dasar yang kuat untuk pengembangan dan implementasi sistem di masa mendatang.

2. Saran

Berdasarkan hasil dan keterbatasan, saran untuk penelitian atau pengembangan selanjutnya, diantaranya:

- Pengembangan purwarupa fisik dan implementasi pilot di Desa Rawa Panjang, Bojong Gede, Bogor.
- Pengujian kinerja sistem secara kuantitatif (akurasi sensor, latensi data).
- Pengembangan algoritma optimasi rute otomatis yang terintegrasi dengan data *real-time*.
- Penambahan sensor lain seperti sensor bau dan sensor berat.
- Pengembangan aplikasi *mobile* untuk warga atau petugas.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, H., Indrastuti, S., & Rahman, F. A. (2019). *Islamic Marketing Management Information System Model*.
- Aja, O. C., & Al-Kayiem, H. H. (2014). Review of municipal solid waste management options in Malaysia, with an emphasis on sustainable waste-to-energy options. *Journal of Material Cycles*
- Jurnal TechLINK Volume 9 Edisi 1, April 2025

- and Waste Management*, 16(4), 693–710.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805.
- Dennis, A., Wixom, B., & Tegarden, D. (2015). *Systems analysis and design: An object-oriented approach with UML*. John Wiley & Sons.
- Dogra, R., Rani, S., Kavita, Shafi, J., Kim, S., & Ijaz, M. F. (2022). ESEERP: Enhanced smart energy efficient routing protocol for internet of things in wireless sensor nodes. *Sensors*, 22(16), 6109.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660.
- Gusdevi, H., Hadhiwibowo, A., Agustina, N., Fatah, A., & Naseer, M. (2023). Timbangan berbasis iot untuk pemantauan dan pengelolaan sampah organik pada smart waste management di desa manyingsal. *Naratif: Jurnal Nasional Riset, Aplikasi Dan Teknik Informatika*, 5(2), 162–170.
- Hendrardi, P., Kurniawan, W., Dewi, Y. S., Kusumawati, K., Nurhayati, N., & Chafid, N. (2025). PELATIHAN APLIKASI BANK SAMPAH BERBASIS WEB PADA BANK SAMPAH BERKAH SEJAHTERA DESA RAWA PANJANG. *Jurnal AbdiMas Nusa Mandiri*, 7(1), 1–8.
- Hoorweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). *What a waste: a global review of solid waste management*.
- Kurfess, T. R., Saldana, C., Saleeby, K., & Dezfouli, M. P. (2020). A review of modern communication technologies for digital manufacturing processes in industry 4.0. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142(11).
- Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2004). *Management information systems: Managing the digital firm*. Pearson Educación.
- Nowakowski, P. (2017). A proposal to improve e-waste collection efficiency in urban mining: Container loading and vehicle routing problems--A case study of Poland. *Waste Management*, 60, 494–504.
- Paturi, M., Puvvada, S., Ponnuru, B. S., Simhadri, M., Egala, B. S., & Pradhan, A. K. (2021). Smart solid waste management system using blockchain and IoT for smart cities. *2021 IEEE International Symposium on Smart Electronic Systems (ISES)*, 456–459.
- Sharma, A., Singh, K. J., Kapoor, D. S., Thakur, K., & Mahajan, S. (2024). The role of IoT in environmental sustainability: Advancements and applications for smart cities. In *Mobile crowdsensing and remote sensing in smart cities* (pp. 21–39). Springer.
- Valacich, J. S., George, J. F., & Valacich, J. S. (2022). *Modern systems analysis and design* (2017). *Google Sch. Digit. Libr. Digit. Libr.*
- Waste, V. S. (n.d.). 9 FROM THE STREET TO THE (ART) WORKSHOP AND BACK AGAIN. *Visualizing Loss in Latin America*, 172.
- Zurbrugg, C. (2003). Solid waste management in developing countries. *SWM Introductory Text on Wwww. Sanicon. Net*, 5.

EVALUASI KUALITAS AIR LIMBAH DOMESTIK SEKOLAH INTERNASIONAL DAN FASILITASNYA DI TANGERANG SELATAN

Muhammad Salman Alfarisie

*PT. Unilab Perdana

Correspondent outhor : alfarisiemuhammad46@gmail.com

Diterima : 21-07-2025	Revisi : 28-07-2025	Disetujui : 31-07-2025	Diterbitkan: 1-08-2025
--------------------------	------------------------	---------------------------	---------------------------

Abstract

Improper liquid waste treatment will have a negative impact on the environment and will create a dirty, squalid impression and a strong, foul odor. If that happens, it will certainly disturb the surrounding environment. School liquid waste can also stagnate and usually produces a foul odor and can disturb the comfort of the surrounding community. Evaluation of pollutants is carried out by monitoring pH, BOD, COD, TSS, fatty oil and total coliform. The results obtained show that there is 1 of 8 test parameters that provide results that exceed the environmental quality standards determined by the Regulation of the Minister of Environment and Forestry No. 68 of 2016, it can be concluded that the wastewater is not suitable if it is discharged directly into the receiving water body. For this reason, special attention is needed in handling the Total Coliform microbiological parameters. Improve the quality, quantity and professionalism in monitoring and testing wastewater, especially domestic wastewater.

Key Words: School environment, monitoring, liquid waste, quality standards

PENDAHULUAN

Perkembangan wilayah sangat dipengaruhi oleh pembangunan yang merupakan suatu proses perubahan yang mencakup seluruh dari sistem sosial, misalnya politik, ekonomi pertahanan, infrastruktur, Pendidikan dan juga teknologi, kelembagaan dan juga kebudayaan (Alexander, 1994). Dari pembangunan ini akan timbulnya limbah sisa aktifitas masyarakat yang dapat menyebabkan penurunan kualitas pada lingkungan, dan diperparah dengan tidak adanya sistem pengolahan limbah yang tepat. Kurangnya sistem pengelolaan tentu saja akan meningkatkan pencemaran yang ada pada lingkungan khususnya air, udara dan tanah yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat dalam berbagai aspek. Polusi udara tidak hanya diperoleh dari pembangunan dan pabrik saja, tetapi dari gaya hidup masyarakat juga sangat berpengaruh dari timbulan asap knalpot.

Air limbah adalah kotoran dari masyarakat dan rumah tangga dan juga yang berasal dari industri, air tanah, air permukaan serta buangan lainnya, dengan demikian air buangan ini merupakan hal yang bersifat kotoran umum. Air limbah berasal dari dua jenis sumber air yaitu air limbah rumah tangga dan air limbah industri. Secara umum didalam limbah rumah tangga tidak terkandung zat-zat berbahaya, sedangkan didalam limbah industri harus dibedakan antara limbah yang mengandung zat-zat berbahaya dan tidak. (Sihaloho, 2009).

Limbah cair merupakan gabungan atau campuran dari air dan bahan-bahan pencemar yang terbawa oleh air, baik dalam keadaan terlarut maupun tersuspensi yang terbuang dari sumber domestik (perkantoran, perumahan, dan perdagangan), sumber industri, dan pada saat tertentu tercampur dengan air tanah, air permukaan, atau air hujan. Limbah cair bersumber dari aktivitas manusia (human sources) dan aktivitas alam (natural sources). (Sihaloho, 2009)

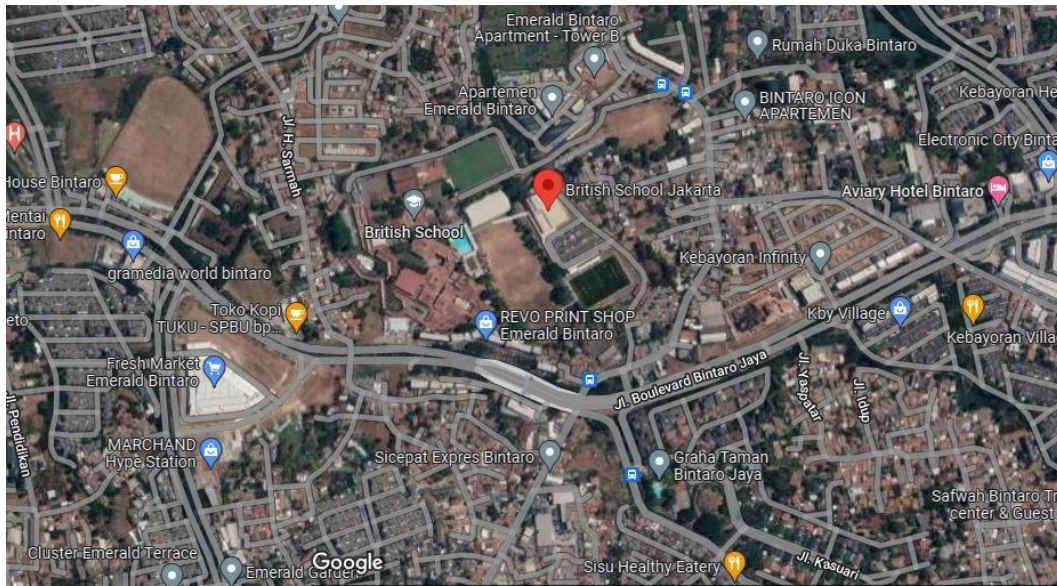
Pengolahan limbah cair yang tidak benar akan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan akan menimbulkan kesan kotor, kumuh dan bau busuk yang menyengat. Jika hal itu terjadi maka bisa dipastikan akan mengganggu lingkungan sekitar. Bila semua limbah cair yang dihasilkan dari berbagai macam kegiatan termasuk kegiatan sekolah dibuang secara langsung ke badan air atau hanya dibuang langsung ke tanah tanpa diolah terlebih dahulu, ini akan menimbulkan pencemaran pada badan air dan tanah. Akibatnya air tanah tidak layak dikonsumsi lagi dan tanah bisa

saja tidak subur lagi.

Kegiatan di sekolah juga menghasilkan limbah, baik itu limbah dari kantin sekolah, maupun limbah dari laboratorium praktikum. Limbah cair sekolah juga dapat tergenang dan biasa menimbulkan bau busuk dan dapat mengganggu kenyamanan masyarakat sekitar. Untuk itu perlu tindakan evaluasi kualitas air di sekolah, dengan maksud nantinya dapat ditentukan kegiatan lanjutan dari hasil evaluasi tersebut. Penelitian ini difokuskan di sekolah internasional di wilayah Tangerang.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di sekolah internasional yang berada di wilayah Tangerang. Parameter pemeriksaan air limbah mengacu pada PerMenLHK No.68 Tahun 2016.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Pengukuran pH menggunakan Standar pengujian pH di laboratorium uji PT Karsa Buana Lestari mengacu pada SNI 06-6989.11-2004 dengan menggunakan alat pH meter merk Eutech Instrument PC 2700. Prosedur pengukuran pH larutan dengan cara melakukan kalibrasi alat pH- meter dengan larutan penyangga pH 4,7,10 setiap kali akan melakukan pengukuran. Untuk contoh uji yang mempunyai suhu tinggi, kondisikan contoh uji sampai suhu kamar. Tahap pengukurannya keringkan dengan kertas tisu selanjutnya bilas elektroda dengan air suling. Bilas elektroda dengan contoh uji. Celupkan elektroda ke dalam contoh uji sampai pH meter menunjukkan pembacaan yang tetap.

BOD dan *COD* masih diperlukan sebagai parameter dalam baku mutu air limbah atau sebagai parameter pencemaran perairan, karena peranannya sebagai penduga pencemaran bahan organik dan kaitannya dengan penurunan kandungan oksigen terlarut perairan (oksigen penting bagi kehidupan biota air dan ekosistem perairan pada umumnya). Peranan *BOD* dan *COD* bukan sebagai penentu, tetapi setara dengan parameter lainnya yang menjadi parameter kunci sehubungan dengan dugaan pencemaran oleh kegiatan tertentu. Standar pengujian *BOD* di lab uji PT Karsa Buana Lestari mengacu pada SNI 6989.72:2009 dan SNI 06-6989.14-2004. Untuk analisis *BOD* menggunakan inkubator Wise Cube yang memiliki kapasitas pemanpung hingga 155 L dan suhu yang dapat diatur secara akurat. Setelah dilakukan analisa didapatkan kadar *BOD* air limbah domestik dari hasil pengujian yaitu 23 mg/L. Ini menandakan bahwa kadar *BOD* air limbah domestik masih berada dalam rentang baku mutu kadar *BOD* air limbah domestik menurut PerMenLHK No.68 Tahun 2016 yaitu max 30 mg/L. Analisis *COD* berbeda dengan analisis *BOD* namun perbandingan antara angka *COD* dan angkat *BOD* dapat ditetapkan. Standar pengujian *COD* di lab uji PT Karsa Buana Lestari mengacu pada SNI 6989.2:2009 dengan metode refluks tertutup secara spektrofotometri. Spektrofotomer yang

digunakan adalah spektrofotometer HACH DR 2800 yang bisa mengukur pada panjang gelombang 300-900 nm. Setelah dilakukan analisa dengan spektrofotometer didapatkan kadar *COD* air limbah domestik dari hasil pengujian yaitu 31 mg/L. Ini menandakan bahwa kadar *COD* air limbah domestik masih berada dalam rentang baku mutu kadar *COD* air limbah domestik menurut PerMenLHK No.68 Tahun 2016 yaitu max 100 mg/L.

Standar pengujian *TSS* di lab uji PT Karsa Buana Lestari mengacu pada SNI 06-6989.3-2004 dengan metode gravimetri. Neraca yang digunakan untuk analisis *TSS* adalah neraca analitik Sartorius Quintix 224-1SKR yang memiliki kapasitas penimbangan 220 gram dan dengan pembacaan terkecil 0,1 mg.

Standar pengujian minyak dan lemak di lab uji PT Karsa Buana Lestari mengacu pada SNI 06-6989.10-2011 dengan metode gravimetri. Alat rotary evaporator yang digunakan untuk analisa minyak lemak merk EYELA N-1110 dan bath yang digunakan EYELA OSB-2100 yang memiliki spesifikasi mampu memanaskan air hingga suhu 200°C.

Standar pengujian Amoniak di lab uji PT Karsa Buana Lestari mengacu pada SNI 06-6989.30-2005 dengan metode spektrofotometri cara fenat. Spektrofotometer yang digunakan adalah spektrofotometer HACH DR 2800 yang bisa mengukur pada panjang gelombang 300-900 nm.

Indikator pencemaran mikroba air minum adalah *Total Coliform* dan *Escherichia coli* (*E. coli*). *Total Coliform* adalah suatu kelompok bakteri yang digunakan sebagai indikator adanya polusi kotoran. Standar pengujian *Total Coliform* di lab uji PT Karsa Buana Lestari mengacu pada IK No : 19-167/IK dengan metode Collilert.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. pH

pH adalah singkatan dari Potensi Hidrogen yang merupakan ukuran kuantitatif keasaman atau kebasahan dari larutan berair atau larutan cair lainnya. Konsep pH melibatkan penggunaan skala pH untuk mengukur keasaman atau kebasahan larutan apa pun. Skala pH berkisar antara 0-14, semakin rendah pH semakin asam. pH didefinisikan sebagai log negatif dari konsentrasi ion hydrogen (Winoto et al., 2023)

Nilai pH juga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi produktivitas perairan. Tingkat pH lebih kecil dari 4,8 dan lebih besar dari 9,2 sudah dapat dianggap tercemar. pH mengontrol tipe dan laju kecepatan reaksi beberapa bahan di dalam air. Suatu perairan yang produktif dan mendukung kelangsungan hidup organisme akuatik terutama ikan berkisar 6-9. Setelah dilakukan analisa didapatkan pH limbah domestik dari hasil pengujian yaitu 7,6. Ini menandakan bahwa pH limbah domestik masih berada dalam rentang baku mutu pH air limbah domestik menurut PerMenLHK No.68 Tahun 2016 yaitu 6-9.

2. BOD dan COD

BOD atau Biological Oxygen Demand adalah kebutuhan oksigen biologis yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk memecah bahan organik secara aerobik (Santoso, 2018). Bahan organik yang terdekomposisi dalam *BOD* adalah bahan organik yang siap terdekomposisi (*readily decomposable organic matter*). mengartikan *BOD* sebagai suatu ukuran jumlah oksigen yang digunakan oleh populasi mikroba yang terkandung dalam perairan sebagai respon terhadap masuknya bahan organik yang dapat diurai. Dari pengertian ini dapat dikatakan bahwa walaupun nilai *BOD* menyatakan jumlah oksigen, tetapi untuk mudahnya dapat juga diartikan sebagai gambaran jumlah bahan organik mudah urai (*biodegradable organics*) yang ada di perairan.

COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah jumlah oksigen yang digunakan untuk mendegradasi bahan organik yang terkandung di dalam air melalui proses kimiawi. Besarnya angka *COD* tersebut menunjukkan bahwa keberadaan zat organik di air berada dalam jumlah yang besar. Organik-organik tersebut mengubah oksigen menjadi karbondioksida dan air sehingga perairan akan mengalami kekurangan oksigen.

Prinsip pengukuran *BOD* pada dasarnya cukup sederhana, yaitu mengukur kandungan oksigen terlarut awal (*DO_i*) dari sampel segera setelah pengambilan contoh, kemudian mengukur kandungan oksigen terlarut pada sampel yang telah diinkubasi selama 5 hari pada kondisi gelap dan suhu tetap (20°C) yang sering disebut dengan *DO₅*. Selisih *DO_i* dan *DO₅* (*DO_i* - *DO₅*) merupakan nilai *BOD* yang dinyatakan dalam miligram oksigen per liter (mg/L). Pengukuran oksigen dapat dilakukan secara analitik dengan cara titrasi (metode Winkler, iodometri) atau dengan menggunakan alat yang disebut *DO* meter yang dilengkapi dengan *probe* khusus. Jadi pada prinsipnya dalam kondisi gelap, agar tidak terjadi proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen, dan dalam suhu yang tetap selama lima hari, diharapkan hanya terjadi proses dekomposisi oleh mikroorganisme, sehingga yang terjadi hanyalah penggunaan oksigen, dan oksigen tersisa ditera sebagai *DO₅*. Yang penting diperhatikan dalam hal ini adalah mengupayakan agar masih ada oksigen tersisa pada pengamatan hari kelima sehingga *DO₅* tidak nol. Setelah dilakukan analisa didapatkan kadar *BOD* air limbah domestik dari hasil pengujian yaitu 23 mg/L. Ini menandakan bahwa kadar *BOD* air limbah domestik masih berada dalam rentang baku mutu kadar *BOD* air limbah domestik menurut PerMenLHK No.68 Tahun 2016 yaitu max 30 mg/L. Setelah dilakukan analisa dengan spektrofotometer didapatkan kadar *COD* air limbah domestik dari hasil pengujian yaitu 31 mg/L. Ini menandakan bahwa kadar *COD* air limbah domestik masih berada dalam rentang baku mutu kadar *COD* air limbah domestik menurut PerMenLHK No.68 Tahun 2016 yaitu max 100 mg/L.

3. TSS

Total Suspended Solid (TSS) yang tinggi menghalangi masuknya sinar matahari ke dalam air, sehingga akan mengganggu proses fotosintesis, menyebabkan turunnya oksigen terlarut yang dilepas ke dalam air oleh tanaman. Jika matahari terhalangi maka tanaman dalam air akan berhenti memproduksi oksigen. *Total Suspended Solid (TSS)* juga menyebabkan penurunan kejernihan dalam air. Setelah dilakukan analisa didapatkan nilai *Total Suspended Solid (TSS)* air limbah domestik dari hasil pengujian yaitu 10 mg/L. Ini menandakan bahwa Nilai *Total Suspended Solid (TSS)* limbah domestik masih berada dalam rentang baku Nilai *Total Suspended Solid (TSS)* air limbah domestik menurut PerMenLHK No.68 Tahun 2016 yaitu max 30 mg/L.

4. Minyak dan Lemak

Lemak dan minyak adalah satu kelompok yang termasuk pada golongan lipid, yaitu senyawa organik yang terdapat di alam serta tidak larut dalam air, tetapi larut dalam pelarut organik non-polar (Dewi, 2022). Minyak dan lemak dapat mempengaruhi aktifitas mikroba dan merupakan pelapisan permukaan cairan limbah sehingga menghambat proses oksidasi pada kondisi aerobik. Minyak yang menutupi permukaan air akan menghalangi penetrasi sinar matahari ke dalam air. Selain itu, lapisan minyak juga dapat mengurangi konsentrasi oksigen terlarut dalam air karena fiksasi oksigen bebas menjadi terhambat. Akibatnya, terjadi ketidakseimbangan rantai makanan di dalam air. Karena berat jenisnya lebih kecil dari air maka minyak tersebut berbentuk lapisan tipis di permukaan air dan menutup permukaan yang mengakibatkan terbatasnya oksigen masuk dalam air. Pada sebagian lain minyak ini membentuk lumpur dan mengendap yang sulit diuraikan. Setelah dilakukan analisa didapatkan kadar minyak dan lemak air limbah domestik dari hasil pengujian yaitu 3 mg/L. Ini menandakan bahwa kadar minyak dan lemak air limbah domestik masih berada dalam rentang baku mutu kadar minyak dan lemak air limbah domestik menurut PerMenLHK No.68 Tahun 2016 yaitu max 5 mg/L.

5. Amoniak

Amonia (NH_3) adalah senyawa anorganik yang berasal dari senyawa nitrogenhidrogen yang bersumber dari alam (Alkindi, 2023). Gas amoniak tersebut juga dapat menimbulkan bau busuk. Bila suatu perairan memiliki bau yang terasa busuk maka

diindikasikan bahwa perairan tersebut memiliki kandungan amoniak yang tinggi. Kadar amoniak yang tinggi menunjukkan adanya pencemaran.

Kandungan amoniak dalam perairan dengan konsentrasi 400-700 mg/L akan memberikan efek jangka pendek atau akut yaitu iritasi terhadap saluran pernafasan, hidung, tenggorokan, dan mata, jika dengan konsentrasi 5000 mg/L berdampak menimbulkan kematian pada manusia. Setelah di lakukan analisa dengan spektrofotometer didapatkan kadar amonia air limbah domestik dari hasil pengujian yaitu 2 mg/L. Ini menandakan bahwa kadar amonia air limbah domestik masih berada dalam rentang baku mutu kadar amonia air limbah domestik menurut PerMenLHK No.68 Tahun 2016 yaitu max 10 mg/L.

6. *Total Coliform*

Indikator pencemaran mikroba air minum adalah *Total Coliform* dan *Escherichia coli* (*E. coli*). *Total Coliform* adalah suatu kelompok bakteri yang digunakan sebagai indikator adanya polusi kotoran. *Total Coliform* yang berada di dalam makanan atau minuman menunjukkan kemungkinan adanya mikroba yang bersifat enteropatogenik dan atau toksigenik yang berbahaya bagi kesehatan. *Total Coliform* dibagi menjadi dua golongan, yaitu coliform fekal, seperti *E. coli* yang berasal dari tinja manusia, hewan berdarah panas, dan koliform non fekal, seperti *Aerobacter* dan *Klebsiella* yang bukan berasal dari tinja manusia, tetapi berasal dari hewan atau tanaman yang telah mati. Setelah di lakukan analisa dengan metode Collilert didapatkan kadar *Total Coliform* air limbah domestik dari hasil pengujian yaitu 45.945 MPN/100 mL. Ini menandakan bahwa kadar *Total Coliform* air limbah domestik sudah melebihi batas baku mutu kadar *Total Coliform* air limbah domestik menurut PerMenLHK No.68 Tahun 2016 yaitu max 3.000 MPN/100 mL.

Hal ini dapat disebabkan oleh proses pengolahan limbah domestik di IPAL yang kurang optimal. Perlu perhatian khusus dalam menangani parameter mikrobiologi *Total Coliform* ini. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah penambahan proses klorinasi pada *effluent*. Jumlah klorin yang di tambahkan juga perlu di perhatikan agar tidak menjadi penyebab pencemaran lingkungan.

KESIMPULAN

1. Kesimpulan

Dari hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa ada 1 dari 8 parameter uji yang dilakukan memberikan hasil yang melebihi baku mutu lingkungan yang ditentukan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No : 68 Tahun 2016. Hasil dari analisa air limbah domestik menyatakan bahwa pH 7,6 dan baku mutu untuk pH adalah 6-9. Hasil *BOD₅* 23 mg/L dan baku mutu untuk *BOD₅* adalah 30 mg/L. Hasil *COD* 31 mg/L dan baku mutu untuk *COD* adalah 100 mg/L. Hasil *TSS (Total Suspended Solid)* 10 mg/L dan baku mutu untuk *TSS (Total Suspended Solid)* adalah 30 mg/L. Hasil minyak & lemak 3 mg/L dan baku mutu untuk minyak & lemak adalah 5 mg/L. Hasil amoniak 2 mg/L dan baku mutu untuk amoniak adalah 10 mg/L. Hasil *Total Coliform* 45.945 MPN/100 mL dan baku mutu untuk *Total Coliform* adalah 3.000 MPN/100 mL. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kualitas limbah yang dihasilkan oleh sekolah internasional di Jl. Jombang Raya, Parigi, Kec. Pd. Aren, Kota Tangerang Selatan, Banten 15227 dengan mengacu pada PerMenLHK No.68 Tahun 2016 dapat disimpulkan bahwa air limbah tersebut belum layak jika dibuang ke badan air penerima (BAP) secara langsung.

2. Saran

Berdasarkan kesimpulan penelitian, dapat disampaikan beberapa saran sebagai berikut:
a) Perlu perhatian khusus dalam menangani parameter mikrobiologi *Total Coliform*. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah penambahan proses klorinasi pada *effluent*. Jumlah klorin yang ditambahkan juga perlu di perhatikan agar tidak menjadi penyebab pencemaran

lingkungan. b) meningkatkan kualitas, kuantitas dan profesionalisme dalam pemantauan dan pengujian air limbah khususnya air limbah domestik demi memperbaiki status mutu lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alkindi, Fawandi Fuad, Ryanto Budiono, Fikri Nur Al-Islami, 2023, Analisis Kadar Amonia dalam Air Sungai di Daerah Industri Sier Surabaya Menggunakan Metode Fenat secara Spektrofotometri Visible. MEDFARM: Jurnal Farmasi dan Kesehatan, Vol. 12, No. 2.
- Dewi, YS. 2022. Pengolahan Limbah Domestik, Metode Sarang Tawon. Yogyakarta: KBM.
- Muthawali, I. 2008. Analisa COD dari Campuran Limbah Domestik dan Laboratorium di Balai Riset dan Standarisasi Industri Medan. Universitas Sumatera Utara:Medan
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
- Purba, M. 2009. Analisa Kadar Total Suspended Solid (TSS), Amoniak (NH₃), Sianida (CN⁻) dan Sulfida (S²⁻) Pada Limbah Cair BAPEDALDASU. Universitas Sumatera Utara:Medan
- Santoso, A. D. (2018). Keragaan Nilai DO, BOD dan COD di Danau Bekas Tambang Batubara Studi Kasus pada Danau Sangatta North PT. KPC di Kalimantan Timur. Jurnal Teknologi Lingkungan, 19(1), 89-96.
- Saputri Indriyani, Fatimatuzzahra Fatimatuzzahra, Yeti Lestari Analisa Kadar COD (Chemical Oxygen Demand) Pada Limbah Cair Disekitar Kawasan Penambangan Batubara Kabupaten Bengkulu Utara, Vol. 3 No. 2 (2023): Organisms: Journal of Biosciences
- Sebastian W Winoto , Aileen V. B. Galih , Himeriko Awahita , dan Luthfia U Irmitya,2023., Pengembangan “pHelper” Kalkulator pH Larutan Berbasis Web Sebagai Media Pembelajaran Kimia Orbital : Jurnal Pendidikan Kimia
- Sihaloho, W. 2009. Analisa kandungan Ammonia dari Limbah Cair Inlet dan Outlet dari beberapa Industri Kelapa Sawit. Universitas Sumatera Utara:Medan .

ANALISIS KONSENTRASI NITROGEN DIOKSIDA (NO₂) DAN SULFUR DIOKSIDA (SO₂) DAN HUBUNGANNYA DENGAN FAKTOR KELEMBABAN UDARA DAN KECEPATAN ANGIN

Nurhayati, Andi Yulianti Ramli

Fakultas Teknik, Universitas Satya Negara Indonesia

Correspondent author : nurhayati@usni.ac.id

Diterima : 21-07-2025	Revisi : 27-07-2025	Disetujui : 31-07-2025	Diterbitkan: 1-08-2025
--------------------------	------------------------	---------------------------	---------------------------

Abstract

Urban air pollution has become an issue that requires attention due to air pollution generating nitrogen dioxide (NO₂) and SO₂ gas. NO₂ gas is a fairly dangerous pollutant for human health because it can cause eye irritation and lung discomfort, while SO₂ gas can affect the cardiovascular system and cause headaches, low blood pressure, and rapid heartbeat. Therefore, it is necessary to monitor air quality while considering meteorological factors such as humidity and wind speed, which can lead to measurement errors. The average measurement of SO₂ at the environmental laboratory location is 28.9 µg/m³, at the Villa Dago residential area the average is 24.2 µg/m³, NO₂ gas at the environmental laboratory is 37.1 µg/m³ and at the Villa Dago residential area, the average is 26.8 µg/m³. The humidity at the environmental laboratory location averages 71.7 %RH and at the residential location averages 2.2 %RH. Meanwhile, the average wind speed is 2.0 m/s and the average at the villa Dago residential area is 2.2 m/s. The relationship between SO₂ and humidity at the environmental laboratory location has an average correlation (r) of 0.76 with R² of 0.5714, indicating that the sampling times at 7:00 AM, 1:00 PM, and 5:00 PM show strong correlation at the residential area around the environmental laboratory, with regression equation $Y = 34.3 + 1.4x$. Meanwhile, at the villa Dago residential area, the correlation (r) is 0.99, meaning there is a very strong relationship between the NO₂ testing times, with R² of 1 and regression equation $Y = 26.4 + 0.2X$.

Keywords: Air pollution, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, meteorology

PENDAHULUAN

Pencemaran udara sudah menjadi masalah yang serius pada kota-kota besar di dunia. Polusi udara perkotaan yang berdampak pada kesehatan manusia dan lingkungan. Kualitas udara memiliki dampak langsung pada kesehatan dan kelangsungan hidup makhluk hidup. Polusi udara, yang mengandung partikel-partikel berbahaya dan gas beracun, dapat menyebabkan masalah pernapasan, penyakit kardiovaskular, dan bahkan kematian pada manusia dan hewan. Bagi tumbuhan, polusi udara dapat menghambat fotosintesis dan pertumbuhan. Oleh karena itu, menjaga kebersihan dan kualitas udara adalah tanggung jawab bersama untuk memastikan kesehatan ekosistem dan semua penghuninya. Menurut Wahyuni (2015), udara tercemar disebabkan adanya perubahan komponen di atmosfer karena masuknya partikel atau zat asing dalam jumlah melebihi normal.

Polusi udara di perkotaan sudah menjadi masalah yang serius di Indonesia maupun kota-kota besar di dunia. Menurut Chandra (2018) pencemaran udara dapat mengganggu fungsi paru-paru akibat pengirisan saluran pernapasan. Partikel penyebab gangguan saluran pernapasan yaitu Gas-gas seperti NO₂, SO₂, formaldehida, ozon, dan partikel debu.

Kota Tangerang Selatan adalah salah satu kota di Indonesia sebagai salah satu daerah penyangga

ibukota Jakarta, mengalami pertumbuhan pesat dalam sektor pembangunan infrastruktur dan urbanisasi. Kota Tangerang dengan pesatnya pembangunan, kegiatan industri dan meningkat jumlah kendaraan bermotor tentunya ini sangat berkontribusi terhadap peningkatan kadar polutan udara, termasuk NO₂ dan SO₂. Pencemaran udara di daerah perkotaan sering kali lebih tinggi di daerah yang dekat dengan jalan raya (roadside) (Pemerintah Kota Tangsel, 2023).

PT Laboratorium Lingkungan yang terletak di Jl. Swadaya No.19 ,Kec. Serpong, Kota Tangerang Selatan, Banten 15310. Lokasi PT berdekatan dengan pemukiman warga, sehingga perlu diketahui adanya sumber pencemaran, bahaya pencemar bagi kehidupan sekitar kawasan tersebut dan cara mencegah maupun menanggulangnya. Penelitian dilakukan bertujuan untuk menganalisis konsentrasi NO₂ dan SO₂ atmosfer disekitar PT di Kota Tangerang Selatan dan menganalisis pengaruh faktor meteorologi terhadap konsentrasi NO₂ dan SO₂ dan variasi konsentrasinya melalui pemantauan dan analisis data. Adapun tujuan penelitian mengukur konsentrasi NO₂ dan SO₂ di udara ambien di pemukiman sekitar perusahaan bidang analisis lingkungan dan pemukiman penduduk dan menganalisis hubungan meteorologi (kelembaban dan kecepatan) terhadap konsentrasi NO₂ dan SO₂ udara ambien

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Lokasi PT yang bergerak dalam laboratorium Lingkungan di Kota Tangerang Selatan, yang terletak di Provinsi Banten, Indonesia. PT ini posisi dekat dengan rumah pemukiman dan aktivitas industri serta transportasi yang berpotensi mempengaruhi kualitas udara, khususnya konsentrasi Nitrogen oksida (NO₂) dan sulfur dioksida (SO₂) serta di perumahan villa dago Tangerang Selatan. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Tangerang Selatan, kawasan ini mencatat tingkat polusi udara yang cukup tinggi, terutama di lokasi-lokasi yang dekat dengan jalan raya dan area industri (BPS Kota Tangerang Selatan, 2023).

Cara Analisa Teknik pengambilan contoh uji selama 24 jam. (SNI 19-7119.72005)

- Susun peralatan pengambilan contoh uji, masukkan larutan penjerap SO₂ sebanyak 50 mL ke masing- masing botol penjerap. Atur botol penjerap agar terlindungi dari hujan dan sinar matahari langsung.
- Hidupkan pompa penghisap udara dan atur kecepatan alir 0,2 L/menit, setelah stabil catat laju alir awal kemudian lakukan pengambilan contoh uji selama 24 jam dan catat temperature dan tekanan udara.
- Setelah 24 jam, catat laju alir akhir dan kemudian matikan pompa penghisap dan diamkan selama 20 menit setelah pengambilan contoh uji untuk menghilangkan pengganggu.
alat instrumen yang digunakan dalam pengujian kualitas udara ambien. (*Air Sampler Impinger*). Air Sampler Impinger merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengambil sampel gas diudara bebas. Alat ini berisikan botol impinger, pompa vakum, moisture adsorber, dan flow meter. Alat ini bekerja dengan menghisap gas yang dengan adanya bantuan pompa vakum. Flow meter ini akan membantu pompa vakum untuk menjerap gas kedalam botol impinger.

Analisis Data

Analisis data dilakukan secara diskriptif terhadap parameter NO₂ dan SO₂ serta analisis faktor meteorologi yang berpengaruh terhadap kualitas udara di Kota Tangerang Selatan. Analisis dilakukan pula dengan menggunakan regresi sederhana dan uji perbedaan (uji t) terhadap meteorologi (kelembaban dan kecepatan angin) parameter NO₂ dan SO₂. Analisis untuk setiap parameter dilakukan pada waktu pukul 7.00 wib, 13.00 wib dan 17.00wib di lokasi pemukiman PT lab lingkungan dan perumahan pemukiman (villa dago).

Penarikan kesimpulan Uji t dan regresi menggunakan program SPSS statistik 22. Setelah mengetahui bagaimana pengaruh variabel independen secara bersamaan terhadap variabel dependen, dilakukan Uji t untuk melihat pengaruh variabel independen secara parsial terhadap variabel dependen.

Langka-langkah pada Uji t yaitu:

Penentuan hipotesis H_0 : secara parsial tidak ada pengaruh signifikan antara kelembaban (RH) dan arah angin terhadap konsentrasi SO_2 , dan NO_2 ;

sedangkan Hipotesa H_a : secara parsial ada pengaruh signifikan antara RH, arah angin terhadap konsentrasi SO_2 , dan NO_2 . Penentuan tingkat signifikansi, yaitu $\alpha = 5\%$

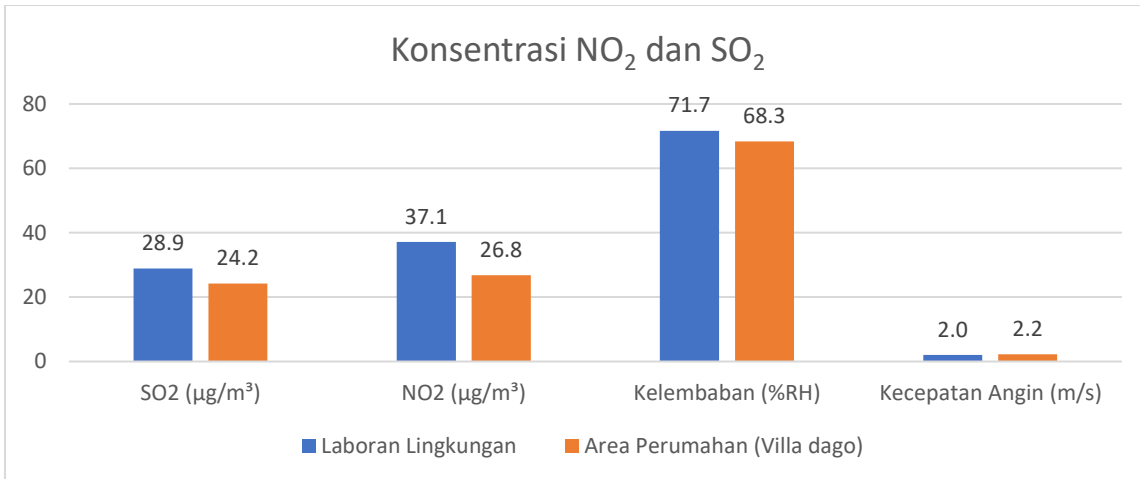
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian mengenai kualitas udara ambien parameter SO_2 dan NO_2 terhadap faktor meteorologi dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini:

Tabel1. Hasil Analisis parameter SO_2 , NO_2 , Kelembaban dan Kecepatan angin

No	Lokasi	Waktu	SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Kelembaban (%RH)	Kecepatan Angin (m/s)
1	Laboran Lingkungan	Pagi	27	35	79	1,3
		Siang	30,9	38,5	65	2,5
		Sore	28,8	37,8	71	2,2
		Rata-rata	28,9	37,1	71,7	2,0
2	Area Perumahan (Villa dago)	Pagi	21,3	26,6	73	1,6
		Siang	28,9	26,8	62	2,7
		Sore	22,4	27	70	2,3
		Rata-rata	24,2	26,8	68,3	2,2

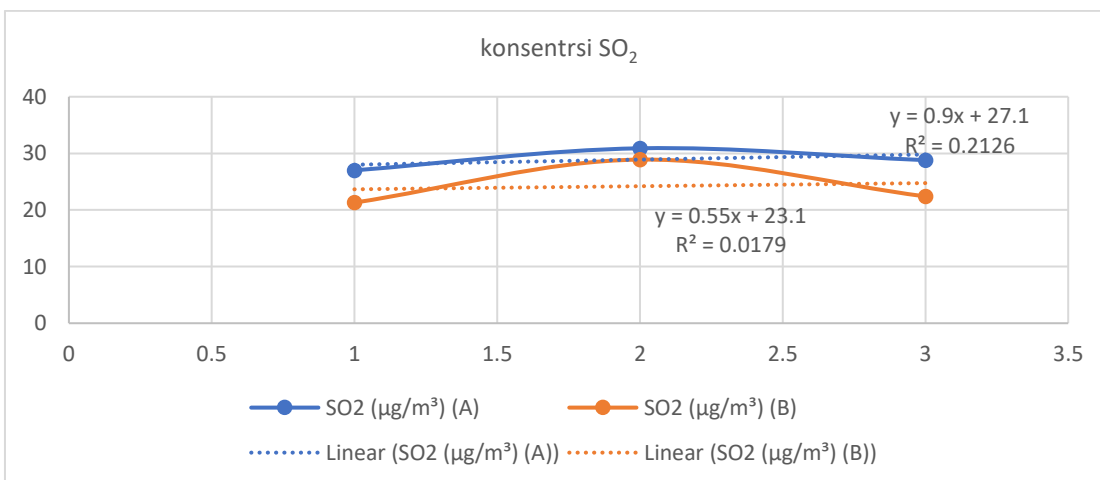
Pada Tabel 1. Rata-rata SO_2 di lokasi laboratorium lingkungan sebesar $28,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan di lokasi perumahan sebesar $24,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Parameter NO_2 di lokasi laboratorium lingkungan sebesar $37,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan di Lokasi perumahan sebesar $26,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kelembaban di lokasi laboratorium lingkungan rata-rata sebesar $71,7 \%RH$ dan di lokasi perumahan rata-rata sebesar $2,2\%RH$. Kecepatangan angin rata-rata $2,0 \text{ m/s}$ dan rata-rata dilokasi perumahan sebesar $2,2 \text{ m/s}$. Hasil penelitian prosentasi kenaikan SO_2 diudara ambien lokasi laboratorium lingkungan sebesar $6,6\%$, sedangkan untuk NO_2 sebesar $5,7\%$ kenaikan konsentrasi SO_2 . Sedangkan di lokasi perumahan pemukiman parameter SO_2 sebesar 12% kenaikan sulfur dioksida sedangkan NO_2 naik sebesar 1% . Kelembaban sangat menurun sebesar $10,2\%$ di Lokasi laboratorium Lingkungan sedangkan di perumahan sebesar 7% penurunannya. Pada gambar 2 dapat dilihat data rata-rata konsentrasi SO_2 , NO_2 , kelembaban dan kecepatan angin pada kedua Lokasi yaitu di sekitar laboratorium Lingkungan dan perumahan pemukiman villa dago.



Gambar 1. Rata-rata konsentrasi SO₂, NO₂, kelembaban (%RH) dan kecepatan angin (m/s)

Hasil Analisis Hubungan antara konsentrasi SO₂ antar Lokasi laboratorium Lingkungan dengan pemukiman perumahan

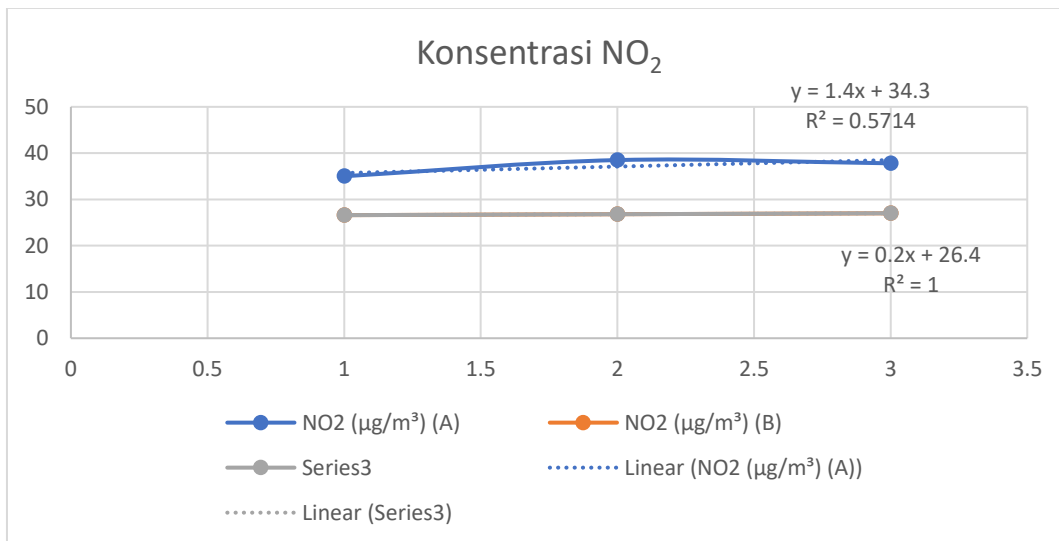
Hasil analisis memperlihatkan data bahwa waktu pengambilan sampling pada pukul 7.00 wib, 13.00 wib dan 17.00wib korelasi (R) sangat lemah di Lokasi pemukiman sekitar laboratorium Lingkungan yaitu sebesar 0,461 dengan R² sebesar 0,213 persamaan regresi $Y = 27,1 + 0,9 x$. Sedangkan di lokasi pemukiman villa dago korelasi (R) sebesar 0,103 artinya tidak ada hubungan antar waktu uji SO₂ sedangkan R² sebesar 0,0179 dan persamaan regresi $Y = 23,1 + 0,55X$ nampak pada gambar 2



Gambar 2. Hasil Analisis Hubungan antara konsentrasi SO₂ antar Lokasi laboratorium Lingkungan (A) dengan pemukiman perumahan (B)

Hasil Analisis Hubungan antara konsentrasi NO₂ antar Lokasi laboratorium Lingkungan dengan pemukiman perumbahan

Hasil analisis memperlihatkan data bahwa waktu pengambilan sampling pada pukul 7.00 wib, 13.00 wib dan 17.00wib korelasi (R) kuat di Lokasi pemukiman sekitar laboratorium Lingkungan yaitu sebesar 0,76 dengan R² sebesar 0,5714 persamaan regresi $Y = 34,3 + 1,4X$. Sedangkan di lokasi pemukiman villa dago korelasi (R) sebesar 0,99 artinya ada hubungan yang sangat kuat antar waktu uji NO₂ sedangkan R² sebesar 1 dan persamaan regresi $Y = 26,4 + 0,2X$. dengan demikian untuk konsentrasi NO₂ dilokasi pemukiman laboratorium Lingkungan maupun di perumahan villa dago terdapat hubungan yang kuat sampai sangat kuat terhadap waktu pengambilan sampling pada pukul 7.00 wib, 13.00 wib dan 17.00wib. Hasil penelitian kecepatan arah angin rata-rata di daerah pemukiman laboratorium lingkungan sebesar 2,2 m/s dan di lokasi pemukiman perumahan villa dago sebesar 2 m/s, seiring penelitian Bagas A. Dewapandhu1 dan Andik Pribadi (2023) hal ini disebabkan oleh kecepatan arah angin yang memiliki kecepatan rata-rata 2m/s dengan arah angin yang berubah ubah pada pukul 7.00 wib, 13.00 wib dan 17.00wib dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil Analisis Hubungan antara konsentrasi NO₂ antar Lokasi laboratorium Lingkungan (A) dengan pemukiman perumbahan (B)

Hasil Analisis Parameter SO₂ dan NO₂ di Lokasi Lobaratorium Lingkungan

Hasil Uji t Parameter SO₂ terhadap kelembaban sebesar 19,276 pada tingkat kepercayaan $\alpha = 5\%$ (4,303) lebih besar t hitung maka dapat disimpulkan signifikan atau ada pengaruh parameter SO₂ terhadap kelembaban udara dengan korelasi (R) sebesar 0,992 atau sangat kuat pengaruh kelembaban terhadap parameter SO₂(*Model Summary*). Perhitungan prediksi Perhitungan prediksi SO₂ dengan menggunakan rumus hasil hitung yaitu berdasarkan tabel *Coefficients* dengan SPSS yaitu $Y = 48,657 - 0,296X$

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	R Square Change	Change Statistics			Sig. F Change
						F Change	df1	df2	
1	.992 ^a	.984	.968	.3487	.984	61.653	1	1	.081

a. Predictors: (Constant), Kelembaban

b. Dependent Variable: SO₂

Hasil Uji t Parameter SO₂ terhadap arah angin sebesar 11,141 pada tingkat kepercayaan $\alpha = 5\%$ (4,303) lebih besar t hitung, maka dapat disimpulkan signifikan atau ada pengaruh parameter SO₂ terhadap arah angin dengan korelasi (R) sebesar 0,948 atau sangat kuat pengaruh arah angin terhadap parameter SO₂ (*Model Summary*). Perhitungan prediksi SO₂ dengan menggunakan rumus hasil hitung yaitu berdasarkan tabel *Coefficients^a* dengan SPSS yaitu $Y = 22,977 + 0,296X$

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	R Square Change	Change Statistics			Sig. F Change
						F Change	df1	df2	
1	.948 ^a	.898	.796	.88252	.898	8.784	1	1	.207

a. Predictors: (Constant), Kecepatan_angin

b. Dependent Variable: SO₂

Hasil Uji t Parameter NO₂ terhadap kelembaban sebesar 11,758 pada tingkat kepercayaan $\alpha = 5\%$ (4,303) lebih besar t hitung maka dapat disimpulkan signifikan atau ada pengaruh parameter NO₂ terhadap kelembaban udara dengan korelasi (R) sebesar 0,969 atau sangat kuat pengaruh kelembaban terhadap parameter NO₂ (*Model Summary*). Perhitungan prediksi Perhitungan prediksi NO₂ dengan menggunakan rumus hasil hitung yaitu berdasarkan tabel *Coefficients^a* dengan SPSS yaitu $Y = 55,404 - 0,255X$

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	R Square Change	Change Statistics			Sig. F Change
						F Change	df1	df2	
1	.969 ^a	.938	.876	.65099	.938	15.188	1	1	.160

a. Predictors: (Constant), Kelembaban_udara

b. Dependent Variable: NO₂

Hasil Uji t Parameter NO₂ terhadap arah angin sebesar 97,177 pada tingkat kepercayaan $\alpha = 5\%$ (4,303) lebih besar t hitung, maka dapat disimpulkan signifikan atau ada pengaruh parameter NO₂ terhadap arah angin dengan korelasi (R) sebesar 0,999 atau sangat kuat pengaruh arah angin terhadap parameter NO₂ (*Model Summary*). Perhitungan prediksi NO₂ dengan menggunakan rumus hasil hitung yaitu berdasarkan tabel *Coefficients^a* dengan SPSS yaitu $Y = 31,177 + 0,296X$

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.999 ^a	.997	.995	.13728	.997	363.000	1	1	.033

a. Predictors: (Constant), Arah_angin

b. Dependent Variable: NO₂

Meteorologi dapat berpengaruh terhadap SO₂ dan NO₂ udara ambien seiring penelitian Yega Serlina (2020) kelembaban sebesar 0,049 sedangkan hasil penelitian sebesar 11,758. Hal ini dapat disebabkan adanya kecepatan angin sehingga NO₂ konsentrasinya tinggi walaupun dibawah ambang baku mutu 1 jam. Menurut Utama, Bima Putra Turyanti, Ana (2019). curah hujan memiliki pengaruh terhadap konsentrasi polutan. Konsentrasi polutan tinggi pada saat curah hujan yang rendah tetapi konsentrasi polutan rendah pada saat curah hujan tinggi

Hasil Analisis parameter SO₂ dan NO₂ di Lokasi Perumahan

Hasil analisis hubungan SO₂ terhadap kelembaban udara dan kecepatan angin diperoleh bahwa hubungan korelasinya (R) sangat kuat SO₂ terhadap kelembaban yaitu 0,991 begitupula terhadap kecepatan angin korelasinya (R) sangat kuat sebesar 0,86. Berdasarkan beberapa penelitian, hubungan antara kelembaban udara dengan konsentrasi SO₂ cenderung berbanding terbalik. Artinya, semakin tinggi kelembaban udara, semakin rendah konsentrasi SO₂ di udara. Demikian halnya dengan penelitian di mana SO₂ terendah terjadi pada pukul 07.00 wib konsentrasi SO₂ sebesar 21,3 µg/m³dengan kelembaban sebesar 73 %RH, pada pukul 13.00 wib kelembaban 62 %RH dengan konsentrasi SO₂ sebesar 28,6 µg/m³ dan pada pukul 17.00 wib konsentrasi SO₂ sebesar 22,4 µg/m³ dengan kelembaban sebesar 70% RH.

Hasil analisis Hasil analisis hubungan NO₂ terhadap kelembaban udara dan kecepatan angin diperoleh bahwa hubungan korelasinya sedang karena korelasi (R) sebesar 0,63 sedangkan NO₂ terhadap kecepatan angin yaitu 0,26 korelasi sangat lemah. Hal ini disebabkan di perumahan tranfortasinya tidak padat sehingga konsentrasi NO₂ yang dilepaskan didaerah tersebut sangat rendah.

Secara keseluruhan, kelembaban, kecepatan angin, dan arah angin adalah faktor meteorologi yang sangat penting dalam memengaruhi konsentrasi NO₂ di udara. Kecepatan angin tinggi umumnya membantu mengurangi konsentrasi NO₂ melalui dispersi. Kelembaban dapat memiliki efek yang kompleks, baik memfasilitasi pembentukan produk reaksi atau berpotensi memperlambat dispersi. Sementara itu, arah angin secara langsung menentukan jalur penyebaran NO₂ dari sumbernya. Interaksi antara ketiga faktor ini, bersama dengan faktor lain seperti suhu udara dan stabilitas atmosfer, membentuk pola distribusi NO₂ yang kompleks di lingkungan.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat peroleh dari penelitian tentang Konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂) Dan Sulfur Dioksida (SO₂) Dan Hubungannya Dengan Faktor Kelembaban udara dan kecepatan angin yaitu:

1. Konsentrasi SO₂ dan NO₂ dan di udara ambien pada lokasi perusahaan laboratorium lingkungan

rata-rata SO₂ sebesar 28,9 µg/m³ dan NO₂ sebesar 37,1 µg/m³ sedangkan dilokasi perumahan rata-rata SO₂ sebesar 24,2 µg/m³ dan NO₂ sebesar 26,8 µg/m³.

2. Hubungan SO₂ dengan pada lokasi perusahaan laboratorium adalah pada tingkat kepercayaan $\alpha = 5\%$ terhadap kelembaban korelasinya (r) sangat kuat (0,992). Sedangkan hubungan antara SO₂ Kecepatan angin (r) sebesar 0,948 sangat kuat.
3. Hubungan SO₂ dengan pada lokasiperumahan terhadap kelembaban udara dan kecepatan angin diperoleh bahwa hubungan korelasinya sangat kuat yaitu terhadap kelembaban (r) yaitu 0,991 begitupula terhadap kecepatan angin korelasinya (r) sangat kuat sebesar 0,86.

DAFTAR PUSTAKA

- Bagas A. Dewapandhu1 dan Andik Pribadi (2023) Analisis Penyebaran Gas Nitrogen Dioksida (NO₂) di Jalan Raya Dramaga – Ciampea Kabupaten Bogor dengan Menggunakan Model Caline-4. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan* | Eissn:2549-1407. Vol. 08 No. 01 April 2023 DOI: 10.29244/jsil.8.1.67-76
- Badan Pusat Statistik Kota Tangerang Selatan. (2023). *Statistik Lingkungan Hidup Kota Tangerang Selatan 2023*. Badan Pusat Statistik Kota Tangerang Selatan
- Chandra Iramawati dkk (2018) Pengaruh Kecepatan Angin, Kelembapan dan Suhu Udara terhadap konsentrasi SO₂ Ambien dan Pemetaan SO₂ Ambien di Sekitar PT. Kawasan Industri Medan. *Jurnal DAMPAK. Teknik Lingkungan Universitas Andalas*
- Dea Budi Istantinova, Mochtar Hadiwidodo, Dwi Siwi Handayani (2020). Penelitian Pengaruh Kecepatan Angin, Kelembapan Dan Suhu Udara Terhadap Konsentrasi Gas Pencemar Sulfur Dioksida (SO₂) Dalam Udara Ambien Di Sekitar Pt. Inti General Yaja Steel Semarang. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas
- Faisal, S. A., & Hidayat, R. (2022). Analisis Konsentrasi SO₂ di Udara dan Pengaruh Faktor Meteorologi di Daerah Perkotaan: Studi Kasus di Tangerang Selatan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(2), 55-65
- Sandra (2013) Pengaruh Kecepatan Angin, Kelembapan Dan Suhu Udara Terhadap Konsentrasi Gas Pencemar Sulfur Dioksida (SO₂) Dalam Udara Ambien Di Sekitar PT. Inti General Yaja Steel Semarang
- Utama, Bima Putra Turyanti, Ana (2019) Pengaruh Suhu, Kelembaban, dan Kecepatan angin terhadap Fluktuasi Konsentrasi SO₂ dan NO₂ (Studi Kasus : Kampus IPB Baranangsiang) Bogor
- Wahyuni, N., & Dwianto, R. (2015). Kajian kualitas udara di kawasan industri dan pengaruhnya terhadap konsentrasi SO₂. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 17(2), 90-96.
- Yega Serlina (2020) Pengaruh Faktor Meteorologi Terhadap Konsentrasi NO₂ di Udara Ambien (Studi Kasus Bundaran Hotel Indonesia DKI Jakarta). *Serambi Engineering*, Volume V, No. 3, Juli 2020. hal 1228 - 1235 p-ISSN : 2528-3561, e-ISSN : 2541-1934
- Yuniarti, D., & Fadhil, M. (2019). *Pengaruh Suhu dan Kelembaban terhadap Konsentrasi Gas SO₂ di Daerah Perkotaan*. *Jurnal Meteorologi dan Klimatologi*, 15(3), 210-219.