

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Tingginya pertumbuhan penduduk dan tingkat urbanisasi di Jakarta mempengaruhi lingkungan di wilayah sekitarnya, jumlah penduduk yang tinggi, akan meningkatkan penggunaan sumber daya air bersih, yang secara langsung juga akan memengaruhi pada meningkatnya timbulan air limbah. Air limbah yang dihasil dari aktivitas rumah tangga yaitu berupa air limbah domestik, pada wilayah yang masih belum terlayani pengelolaan air limbah dengan jaringan perpipaan perkotaan, akan membuang dan mengalirkan limbahnya di saluran drainase lingkungan.

Jaringan saluran drainase perkotaan terhubung pada badan air baik berupa sungai ataupun waduk. Pengelolaan air limbah di sekitar Kelurahan Kebun Melati Kecamatan Tanah Abang belum terdapat jaringan perpipaan air limbah sehingga air limbah yang dihasilkan dari buangan permukiman warga, buangan hasil olahan IPAL bangunan gedung-gedung bertingkat akan masuk ke saluran drainase dan mengalir ke Waduk Kebun Melati (Wirawan et al 2019).

Pencemaran dan volume air limbah yang masuk ke Waduk Kebun Melati, Kecamatan Tanah Abang Kota Administrasi Jakarta Pusat ada kecenderungan peningkatan seiring dengan pembangunan dan pertumbuhan penduduk di sekitar waduk. Waduk Kebun Melati adalah waduk pengendali banjir dengan luas 4,9 Ha, dan menampung luapan air dari Kali Cideng dan dari saluran drainase buang limbah air bekas dari permukiman warga sekitar waduk (Marisi et al 2016).

Limbah yang berasal dari permukiman warga sekitar serta limpasan dari Kali Cideng dikategorikan sebagai sumber pencemar **point source**, karena dialirkan secara terpusat melalui saluran drainase terbuka yang dilengkapi dengan pintu air untuk mengendalikan debit air limbah, khususnya pada saat hujan. Peningkatan aktivitas masyarakat yang membuang air limbah tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu berpotensi menurunkan kualitas lingkungan perairan dan menyebabkan degradasi ekosistem akuatik, termasuk kematian biota yang hidup di dalam waduk sebagai badan air penerima. Untuk mencegah terjadinya pencemaran yang lebih serius, diperlukan pemantauan kualitas air waduk secara berkala, dengan tujuan memperoleh informasi yang komprehensif mengenai parameter fisika, kimia, dan mikrobiologi perairan (Hartaja, 2015).

Untuk mengurangi pencemaran Waduk Kebun Melati Pada tahun 2017 dilakukan revitalisasi IPAL RBC (*Rotating Biological Cantactor*) menjadi sistem Anaerob-Aerob menggunakan media kaldness dan sarang tawon. Fungsi pengolahan air limbah di Waduk Kebun Melati untuk mengurangi beban pencemaran air di waduk (Mahardika Saputra 2016). Untuk pengendalian pencemaran Waduk Kebun Melati sistem air limbah yang telah terbangun dengan kapasitas 7 liter/detik (Lestari 2020)

Teknologi *Aerob* menggunakan media Kaldness adalah unit pengolahan air limbah sistem biologi dengan menggunakan *biofilm* yang tumbuh dipermukaan media, dan media yang digunakan memiliki luas permukaan yang besar 210 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, dan efisiensi penyisihan COD 81,07%, BOD 87,88%, TSS 94,85% dengan waktu tinggal 4 jam (Said et.al. 2015).

Unit pengolahan air limbah di Waduk Kebun Melati pada akhir tahun 2024 terjadi penambahan unit pengolahan yaitu dengan sistem pengolahan MBBR, untuk menangani sumber point source saluran yang terdapat di bagian selatan waduk, sedangkan pengolahan MBBR dikombinasikan dengan *anaerob (anaerob-aerob)* untuk menangani sumber point source saluran yang berada dibagian barat waduk (Laili et al 2017).

Pengolahan dengan teknologi *Anaerob-Aerob* adalah pengolahan dengan metode sistem biologi dengan efisiensi penurunan konsentrasi zat pencemar cukup baik yaitu efisiensi penurunan COD 86%, BOD 88,72%, TSS 78,95%, waktu tinggal 12 jam (Said et al 2014; Apema et.al 2023; Busyairi et al 2020; Hariyani et al 2018; Ishak 2010).

Penelitian ini sebagai gagasan dari penelitian sebelumnya dan menindak lanjuti dari penerapan teknologi MBBR dikombinasikan *Anaerob (Anaerob-Aerob)* tahun 2017 (Lestari et.al, 2020) dan dibandingkan teknologi MBBR yang terbangun di Desember 2024. Tujuan Penelitian adalah untuk mengetahui kualitas efluen IPAL dan efisiensi kinerja dan pemilihan teknologi yang lebih tepat dalam mengolah air limbah di Waduk (Arum et al 2017; Andini et al, 2015; Fristiwi Silvi Melinda et al 2019; Arya Rezagama et al 2016), sehingga dapat memenuhi Baku Mutu berdasarkan Permen LHK No.68 tahun 2016, tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dalam rumusan masalah, maka penulis menjabarkan tujuan penelitian yang akan diperoleh yaitu sebagai berikut:

1. Apakah efektif sistem teknologi MBBR dalam pengolahan limbah pengolahan air limbah di Waduk Kebun Melati?
2. Apakah efektif Sistem *Anaerob-Aerob* dalam pengolahan limbah pengolahan air limbah di Waduk Kebun Melati?
3. Bagaimana Tingkat efisiensi antara sistem MBBR dan sistem *anaerob-aerob*

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tersebut antara lain:

1. Menganalisis perbedaan efektivitas pengolahan air limbah yang terpasang, untuk mengurangi pencemaran Waduk Kebun Melati Sistem *Anaerob-Aerob*
2. Menganalisis efektivitas pengolahan air limbah di Waduk Kebun Melati Sistem MBBR.
3. Menganalisa perbedaan tingkat efisiensi antara sistem MBBR dan sistem *anaerob-aerob*

## 1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diharapkan oleh penulis dalam penelitian tersebut antara lain:

1. Memberikan wawasan dan pemahaman untuk pemilihan teknologi dalam pengolahan air limbah domestik.
2. Sebagai informasi kepada penelitian berkaitan dengan pengolahan limbah domestik

### 1.5. Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini sebagai berikut:

1. Sistem dan Teknologi pengolahan air limbah domestik di Waduk Kebun Melati Kelurahan Kebun Melati, Kecamatan Tanah Abang, Kota Administrasi Jakarta Pusat.
2. Penerapan teknologi mengelola air limbah domestik dan MBBR dan Sistem Anaerob-Aerob

### 1.6. Daftar Pustaka

- Anonim (2016). *Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik*. Salinan Kepala Biro Hukum.
- Wirawan Satria S.M., 2019 kajian Kualitatif Pengelolaan Air Limbah Domestik di DKI Jakarta
- Lestari, D. S. & Rohaeni, A. Y. (2020). Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (Studi Kasus: IPAL Domestik Waduk "X", Jakarta). *Jurnal Sumber Daya Air*, 16(2), 91–100. <https://doi.org/10.32679/jsda.v16i2.653>
- Said, N. I., & Santoso, I. T. (2015). Penghilangan polutan organik dan padatan tersuspensi di dalam air limbah domestik dengan proses Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 21(1), 45–52.
- Al Kholif, M., Sutrisno, J., & Prasetyo, I. D. (2018). Penurunan beban pencemar pada limbah domestik dengan menggunakan Moving Bed Biofilter Reaktor (MBBR). *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(1), 1–8.
- Saputra, M., Hartati, E., & Halomoan, N. (2016). Evaluasi kinerja instalasi pengolahan air limbah (IPAL) di Waduk Melati, Kota Jakarta Pusat. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 22(2), 52–62. <https://doi.org/10.5614/j.tl.2016.22.2.6>
- Marisi, K., Hendrawan, D., & Astono, W. (2016). Kajian kualitas air Waduk Kebon Melati, Jakarta Pusat. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 8(2), 155–169.
- Hartaja, D. R. K. (2015). Analisis kualitas air Waduk Rio–Rio dengan metode indeks pencemaran dan teknologi untuk mengurangi dampak pencemaran. *Jurnal Air Indonesia*, 8(2), 1–10. <https://doi.org/10.29122/jai.v8i2.2370>
- Said, N. I., & Herlambang, A. (2014). Peningkatan kualitas air baku dengan proses biofilter tercelup menggunakan media struktur sarang tawon. *Jurnal Air Indonesia*, 7(1), 21–31. <https://doi.org/10.29122/jai.v7i1.2391>
- Busyairi, M., Adriyanti, N., Kahar, A., Nurcahya, D., & Sariyadi. (2020). Efektivitas pengolahan air limbah domestik grey water dengan proses biofilter anaerob dan biofilter aerob (Studi kasus: IPAL INBIS Permata Bunda, Bontang). *Jurnal Serambi Engineering*, 5(4), 1306–1312. <https://doi.org/10.32672/jse.v5i4.2316>
- Ishak, H. H., Hatijah, & Seweng, A. (2010). Efektivitas saringan biofilter anaerob dan aerob dalam menurunkan kadar BOD<sub>5</sub>, COD, dan nitrogen total limbah cair industri karet. *Media Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 6(4), 215–221. <https://doi.org/10.30598/mkmi.2010.6.4.215>
- Apema, F. D., Rahayu, D. E., Adnan, F., & Waryati. (2023). *Penggunaan media sarang tawon dan bioball pada biofilter aerob dalam pengolahan limbah cair laundry*. *Jurnal Teknologi Lingkungan Unmul*, 7(1), 81–88. <https://doi.org/10.30872/jtlunmul.v7i1.11809>

- Laili, F. N. (2017). *Identifikasi daya tampung beban pencemaran Sungai Citarum Hilir di Karawang dengan WASP*. Jurnal Teknik Lingkungan, 23(1), 1–10. <https://doi.org/10.32672/jtl.v23i1.2316>
- Hariyani, N., & Sarto, S. (2018). *Evaluasi penggunaan biofilter anaerob-aerob untuk meningkatkan kualitas air limbah rumah sakit*. Berita Kedokteran Masyarakat, 34(5), 200–205. <https://doi.org/10.22146/bkm.35092>
- Arum, O., Piranti, A. S., & Christiani, C. (2017). *Tingkat pencemaran Waduk Penjalin Kecamatan Paguyangan Kabupaten Brebes ditinjau dari struktur komunitas plankton*. Scripta Biologica, 4(1), 169–176. <https://doi.org/10.20884/1.sb.2017.4.1.386>
- Andini, N. A., Abdunnur, A., & Hamdhani, H. (2015). *Kandungan limbah domestik pada perairan Waduk Benanga Kota Samarinda*. Jurnal Ilmu Perikanan Tropis, 20(2), 79–89. <https://doi.org/10.20884/1.jipt.2015.20.2.079>
- Melinda, F. S., Rudiyantri, S., & Haeruddin, H. (2019). *Status pencemaran perairan Waduk Jatibarang Kota Semarang pada berbagai kegiatan peruntukan*. Journal of Management of Aquatic Resources, 8(3), 118–125. <https://doi.org/10.14710/maquares.8.3.118>
- Rezagama, A., & Tamlikha, A. (2016). *Identifikasi pencemar Waduk Manggar Kota Balikpapan*. Jurnal Pengembangan Kota, 4(1), 40–48. <https://doi.org/10.14710/jpk.4.1.40>

## BAB II

### KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS PENELITIAN

#### 2.1. Strategis

Pengelolaan air limbah domestik merupakan isu strategis dalam upaya menjaga kualitas lingkungan, terutama di daerah perkotaan yang padat penduduk seperti Jakarta Pusat. Waduk Kebun Melati merupakan salah satu kawasan yang terdampak oleh pencemaran limbah domestik akibat aktivitas rumah tangga dan komersial di sekitarnya. Menurut Dinas Lingkungan (DLH) DKI Jakarta (2020), sekitar 60% pencemaran air di waduk tersebut berasal dari limbah domestik yang tidak terolah dengan baik. Hal ini berkontribusi pada penurunan kualitas air dan meningkatnya risiko kesehatan bagi masyarakat sekitar.

Air limbah domestik mengandung berbagai zat pencemar, termasuk *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solids* (TSS), serta kandungan nitrogen dan fosfat yang dapat menyebabkan eutrofikasi perairan. Peningkatan beban pencemar ini dapat menyebabkan menurunnya kadar oksigen terlarut dalam air, mengganggu ekosistem perairan, dan mempengaruhi kesehatan masyarakat yang bergantung pada sumber air tersebut untuk keperluan sehari-hari (Metcalf & Eddy, 2014).

Selain dampak lingkungan, pencemaran air di Waduk Kebun Melati juga memiliki implikasi sosial dan ekonomi. Air yang tercemar meningkatkan risiko penyakit berbasis air seperti diare, infeksi kulit, dan gangguan saluran pernapasan akibat bau yang dihasilkan oleh limbah yang membusuk. Secara ekonomi, biaya pengolahan air bersih menjadi lebih tinggi karena membutuhkan proses filtrasi dan desinfeksi yang lebih kompleks untuk menghilangkan zat pencemar.

Untuk mengatasi permasalahan ini, Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dengan metode *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) serta kombinasi aerob-anaerob menjadi salah satu solusi yang dapat diterapkan untuk mengurangi kadar pencemar dalam air limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Teknologi MBBR telah terbukti efektif dalam meningkatkan kapasitas degradasi bahan organik melalui pemanfaatan media biofilm yang memungkinkan pertumbuhan mikroorganisme pengurai. Sementara itu, sistem aerob-anaerob mampu mengoptimalkan proses dekomposisi bahan organik dan mengurangi kandungan nitrogen serta fosfat dalam air limbah (Tchobanoglous et al., 2003).

Namun, efektivitas penerapan metode ini masih perlu dikaji lebih dalam, khususnya dalam konteks lingkungan spesifik seperti Waduk Kebun Melati. Faktor-faktor seperti karakteristik air limbah, waktu tinggal dalam reaktor, dan efisiensi proses biologis perlu diperhitungkan untuk memastikan keberhasilan pengolahan limbah secara optimal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi seberapa besar efektivitas metode MBBR dan aerob-anaerob dalam menurunkan konsentrasi pencemar pada air limbah domestik di wilayah ini serta memberikan rekomendasi kebijakan yang dapat diterapkan untuk meningkatkan kualitas pengelolaan air limbah perkotaan.

## 2.2. Studi Empirik Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji efektivitas metode MBBR dan kombinasi *aerob-anaerob* dalam pengolahan air limbah domestik. Hasil dari berbagai studi menunjukkan bahwa metode ini memiliki potensi besar dalam meningkatkan kualitas air limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Berikut adalah beberapa penelitian yang menjadi rujukan utama dalam penelitian ini:

**Wijaya et al. (2019)** menunjukkan bahwa metode *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) efektif dalam menurunkan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) hingga 85% dalam pengolahan air limbah domestik. Penelitian ini dilakukan pada sistem IPAL skala laboratorium yang diuji dengan berbagai variasi waktu tinggal dan media biofilm. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa pemilihan media biofilm yang tepat sangat menentukan efektivitas proses degradasi bahan organik.

**Setiawan & Rahmadani (2020)** meneliti kombinasi aerob-anaerob dan menemukan bahwa sistem ini mampu mengurangi kadar nitrogen dan fosfat secara signifikan, sehingga mengurangi risiko eutrofikasi pada perairan penerima. Penelitian ini dilakukan di salah satu IPAL di Surabaya yang memiliki karakteristik limbah domestik serupa dengan Waduk Kebun Melati. Temuan ini mengindikasikan bahwa pengolahan yang mengkombinasikan kondisi aerob dan *anaerob* sangat berpotensi dalam menangani polutan anorganik yang sulit terurai dengan metode konvensional.

**Nugroho et al. (2021)** menekankan bahwa penerapan IPAL dengan metode aerob-anaerob memerlukan pemeliharaan rutin agar biofilm dalam sistem tetap stabil dan efektif dalam menguraikan bahan organik. Studi ini mengkaji implementasi metode ini dalam pengolahan limbah domestik di daerah perkotaan dengan populasi tinggi. Hasilnya menunjukkan bahwa variasi beban pencemaran mempengaruhi kinerja sistem, sehingga monitoring berkala menjadi aspek penting dalam mempertahankan efektivitas pengolahan.

**Handayani et al. (2022)** melakukan penelitian pada instalasi IPAL yang menggunakan metode MBBR di wilayah Bandung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini dapat mengurangi kadar *Total Suspended Solids* (TSS) hingga 78% dan meningkatkan efisiensi pengolahan limbah tanpa memerlukan lahan yang luas. Studi ini juga menyoroti bahwa MBBR lebih fleksibel dibandingkan metode konvensional, karena dapat diintegrasikan ke dalam sistem IPAL yang sudah ada dengan modifikasi minimal.

**Sari & Hidayat (2023)** dalam penelitiannya di Yogyakarta menemukan bahwa kombinasi metode aerob-anaerob sangat efektif dalam mengolah air limbah rumah tangga dengan tingkat reduksi BOD dan COD lebih dari 90%. Penelitian ini juga menyoroti pentingnya pemantauan berkala untuk memastikan efektivitas pengolahan. Temuan ini memperkuat bukti bahwa sistem kombinasi mampu memberikan hasil optimal dalam mengurangi bahan pencemar, terutama pada skala rumah tangga yang memiliki variasi beban organik cukup tinggi.

**Fauzan et al. (2021)** mengkaji implementasi sistem IPAL di beberapa daerah di Indonesia dan menemukan bahwa kombinasi metode MBBR dan aerob-anaerob lebih unggul dibandingkan metode konvensional dalam menurunkan kandungan logam berat pada air limbah domestik. Hasil penelitian ini memberikan perspektif bahwa metode ini tidak hanya efektif dalam mengurangi pencemar organik, tetapi juga memiliki potensi

dalam menangani kontaminasi logam berat yang sering ditemukan dalam air limbah domestik akibat penggunaan bahan kimia rumah tangga.

Selain penelitian di atas, beberapa studi lain juga mendukung penggunaan metode MBBR dan aerob-anaerob dalam pengolahan air limbah. Misalnya, penelitian oleh **Prasetyo et al. (2022)** yang meneliti efektivitas MBBR dalam menangani limbah domestik di daerah dengan kepadatan penduduk tinggi. Studi ini menunjukkan bahwa sistem MBBR lebih tahan terhadap fluktuasi beban organik dibandingkan sistem konvensional, menjadikannya pilihan yang cocok untuk kawasan urban.

Demikian pula, penelitian oleh **Lestari et al. (2023)** menemukan bahwa sistem aerob-anaerob yang diterapkan pada fasilitas IPAL skala komunitas mampu mengurangi kandungan patogen dalam air limbah hingga 95%, meningkatkan keamanan air yang dibuang ke lingkungan. Hal ini menunjukkan bahwa metode ini tidak hanya efektif dalam mengurangi beban pencemar kimia, tetapi juga dalam meningkatkan aspek kesehatan masyarakat.

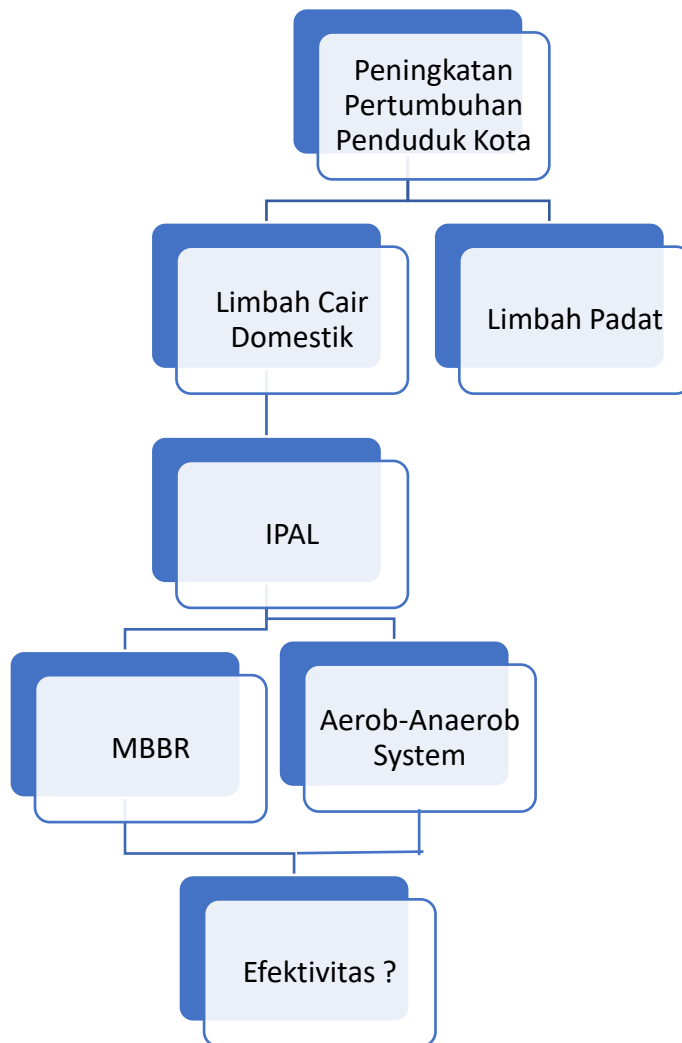
Dari berbagai studi di atas, metode MBBR dan aerob-anaerob terbukti memiliki potensi dalam mengurangi pencemaran air limbah domestik. Namun, masih diperlukan penelitian lebih lanjut yang spesifik terhadap lingkungan Waduk Kebun Melati untuk mendapatkan data yang lebih relevan dengan kondisi setempat. Faktor seperti kondisi hidrodinamika waduk, karakteristik limbah domestik di sekitar area, serta efektivitas kombinasi metode dalam skala lebih besar perlu dianalisis secara mendalam. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi yang lebih spesifik untuk optimalisasi pengolahan air limbah domestik di Waduk Kebun Melati serta daerah lain dengan karakteristik serupa.

### 2.3. Kerangka Konseptual Penelitian

Penelitian ini mengkaji efektivitas sistem IPAL metode MBBR dan *aerob-anaerob* terhadap penurunan konsentrasi pencemar dalam air limbah domestik. Kerangka konseptual dalam penelitian ini didasarkan pada hubungan antara variabel-variabel penelitian yang meliputi variabel independen, dependen, dan kontrol.

- a. Variabel independen: Metode pengolahan air limbah (MBBR dan aerob-anaerob). Metode MBBR mengandalkan media biofilm yang bergerak untuk meningkatkan efisiensi degradasi bahan organik, sedangkan metode aerob-anaerob mengkombinasikan proses oksidasi dan fermentasi dalam lingkungan yang kaya dan miskin oksigen untuk menguraikan polutan secara lebih efektif.
- b. Variabel dependen: Penurunan konsentrasi pencemar, yang mencakup parameter *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solids* (TSS), Nitrogen, dan Fosfat. Penurunan nilai parameter ini menjadi indikator keberhasilan sistem pengolahan air limbah dalam memperbaiki kualitas air yang akan dibuang ke lingkungan.
- c. Variabel kontrol: Beberapa faktor yang dijaga konstan dalam penelitian ini meliputi:
  1. Debit air limbah, yang mempengaruhi beban pencemar dalam sistem pengolahan.
  2. Waktu tinggal dalam reaktor, yang menentukan seberapa lama air limbah mengalami proses degradasi oleh mikroorganisme.

3. Suhu dan pH lingkungan, yang berperan dalam mempertahankan kondisi optimal bagi mikroorganisme dalam proses biodegradasi. Hubungan antara variabel-variabel ini akan dianalisis untuk menentukan efektivitas metode IPAL yang digunakan. Dengan memahami bagaimana masing-masing variabel berkontribusi terhadap penurunan konsentrasi pencemar, penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi kebijakan dalam pengelolaan air limbah domestik di Waduk Kebun Melati.



**Gambar 2.1** Kerangka Konseptual Penelitian

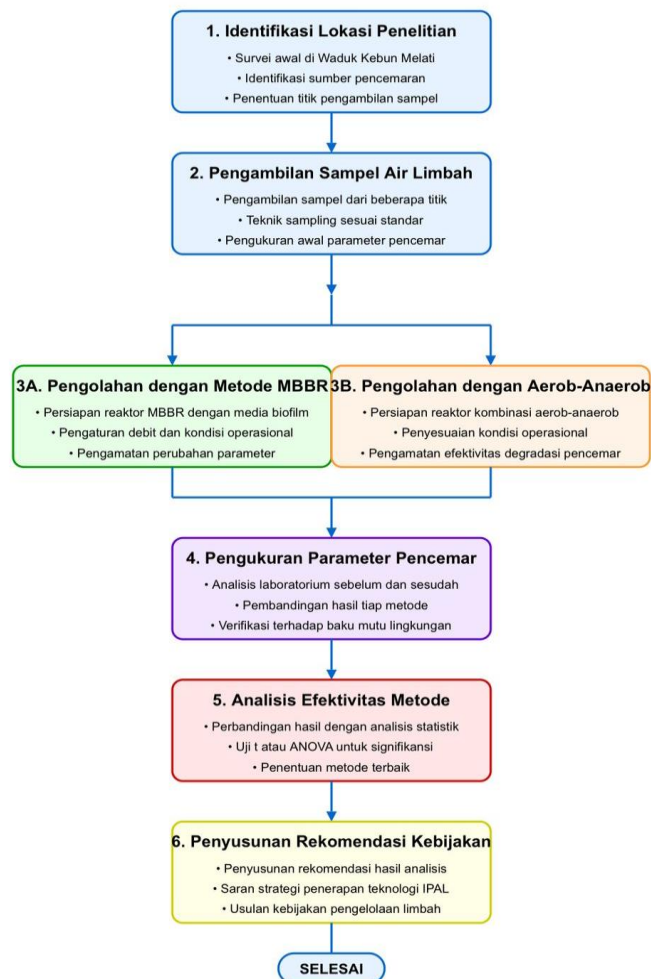
## 2.4. Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian ini mencakup tahapan sistematis yang dilakukan dalam penelitian ini, dimulai dari identifikasi lokasi hingga analisis dan penyusunan rekomendasi kebijakan. Tahapan penelitian ini dirancang untuk memastikan bahwa metode MBBR dan *Aerob-Anaerob* dapat diuji secara efektif dalam mengolah air limbah domestik di Waduk Kebun Melati. Berikut adalah tahapan utama dalam penelitian ini:

1. Identifikasi Lokasi Penelitian
  - a. Melakukan survei awal di Waduk Kebun Melati, Jakarta Pusat.
  - b. Mengidentifikasi sumber utama pencemaran air limbah domestik yang masuk ke waduk.
  - c. Menentukan titik pengambilan sampel yang representatif berdasarkan kondisi fisik, hidrologi, dan aktivitas di sekitar waduk.
2. Pengambilan Sampel Air Limbah Domestik
  - a. Mengambil sampel air limbah domestik dari beberapa titik di Waduk Kebun Melati untuk mendapatkan gambaran karakteristik limbah yang masuk ke sistem pengolahan.
  - b. Menggunakan teknik pengambilan sampel yang sesuai dengan standar laboratorium untuk memastikan keakuratan data.
  - c. Melakukan pengukuran awal terhadap parameter pencemar seperti BOD, COD, TSS, Nitrogen, dan Fosfat sebelum perlakuan.
3. Pengolahan Air Limbah dengan Metode *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR)
  - a. Menyiapkan reaktor MBBR dengan media biofilm untuk meningkatkan efisiensi degradasi bahan organik.
  - b. Mengatur debit air limbah yang masuk ke sistem pengolahan.
  - c. Mengontrol kondisi operasional seperti waktu tinggal, suhu, pH, serta ketersediaan oksigen untuk mendukung aktivitas mikroorganisme dalam sistem MBBR.
  - d. Mengamati perubahan parameter pencemar selama proses pengolahan berlangsung.
4. Pengolahan Air Limbah dengan Metode *Aerob-Anaerob*
  - a. Menyiapkan reaktor dengan kombinasi proses aerob (dengan oksigen) dan anaerob (tanpa oksigen).
  - b. Menyesuaikan kondisi operasional untuk memastikan keseimbangan antara proses dekomposisi organik secara aerobik dan fermentasi *anaerobik*.
  - c. Mengamati efektivitas metode ini dalam menurunkan kadar pencemar utama dalam air limbah domestik.
5. Pengukuran Parameter Pencemar Sebelum dan Sesudah Pengolahan
  - a. Melakukan analisis laboratorium terhadap sampel air limbah sebelum dan sesudah pengolahan.
  - b. Membandingkan efektivitas masing-masing metode dalam menurunkan konsentrasi pencemar.
  - c. Memastikan bahwa hasil pengolahan memenuhi standar baku mutu lingkungan yang ditetapkan oleh peraturan pemerintah.

6. Analisis Efektivitas Masing-Masing Metode
  - a. Membandingkan hasil pengolahan dari metode MBBR dan *Aerob-Anaerob* menggunakan analisis statistik.
  - b. Menggunakan uji t atau analisis variansi (ANOVA) untuk menentukan signifikansi perbedaan antara metode pengolahan.
  - c. Menentukan metode mana yang lebih efektif dalam mengurangi kadar BOD, COD, TSS, Nitrogen, dan Fosfat.
7. Penyusunan Rekomendasi Kebijakan Berdasarkan Hasil Penelitian
  - a. Menyusun rekomendasi berdasarkan hasil analisis untuk meningkatkan efektivitas pengolahan air limbah di Waduk Kebun Melati.
  - b. Memberikan saran kepada pemerintah daerah dan pengelola lingkungan tentang strategi penerapan teknologi IPAL yang paling sesuai.
  - c. Menyusun usulan kebijakan terkait pengelolaan limbah domestik yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Bagan alir penelitian ini memberikan gambaran sistematis tentang bagaimana penelitian dilakukan dari awal hingga akhir, serta bagaimana hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk meningkatkan pengelolaan air limbah domestik di Waduk Kebun Melati.



**Gambar 2.2** Bagan Alir Penelitian

## 2.5. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan kajian teoritis dan hasil penelitian terdahulu mengenai efektivitas sistem pengolahan air limbah domestik, penelitian ini merumuskan hipotesis sebagai berikut:

1. Pengolahan air limbah domestik menggunakan metode *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) berpengaruh signifikan terhadap penurunan konsentrasi parameter pencemar utama, seperti *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solids* (TSS), Nitrogen,

Kalium Permanganat dan Fosfat di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Waduk Kebun Melati, Jakarta Pusat. Penggunaan metode MBBR diharapkan mampu meningkatkan efektivitas proses degradasi bahan organik dan zat pencemar lainnya melalui mekanisme pertumbuhan biofilm pada media pembawa, yang memungkinkan proses biodegradasi lebih stabil dan efisien dibandingkan dengan metode konvensional.

2. Metode kombinasi aerob-anaerob dalam sistem IPAL memiliki peran signifikan dalam meningkatkan efektivitas pengolahan air limbah domestik, terutama dalam menurunkan kadar BOD, COD, TSS, Nitrogen, dan Fosfat. Proses *Aerob-Anaerob* memungkinkan dekomposisi zat organik secara lebih menyeluruh melalui tahapan oksidasi aerob yang mengurangi kandungan karbon organik serta tahapan fermentasi anaerob yang berkontribusi pada konversi senyawa nitrogen dan fosfat. Kombinasi kedua proses ini dapat mengoptimalkan efisiensi pengolahan dengan tetap mempertahankan keberlanjutan sistem dalam jangka panjang.
3. Integrasi metode MBBR dengan proses aerob-anaerob menghasilkan tingkat efektivitas yang lebih tinggi dalam menurunkan konsentrasi pencemar air limbah dibandingkan dengan penerapan metode tunggal, baik MBBR maupun *aerob-anaerob* secara terpisah. Sinergi antara sistem MBBR, yang meningkatkan efisiensi pengolahan melalui mekanisme biofilm, dan sistem aerob-anaerob, yang memungkinkan degradasi bertahap dari bahan organik dan anorganik, dapat menciptakan sistem pengolahan yang lebih optimal. Kombinasi ini juga diperkirakan mampu menghasilkan efluen dengan kualitas yang lebih baik dan sesuai dengan baku mutu lingkungan yang ditetapkan oleh pemerintah.
4. Tingkat partisipasi masyarakat dalam pengelolaan IPAL berhubungan secara positif dengan keberlanjutan sistem pengolahan air limbah di Waduk Kebun Melati, baik dalam aspek operasional, pemeliharaan, maupun keberlanjutan jangka panjang. Partisipasi masyarakat, yang mencakup kesadaran lingkungan, dalam program kesadaran dan edukasi, serta peran aktif dalam pengelolaan dan pemantauan sistem IPAL, diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pengelolaan air limbah, mengingat pengelolaan IPAL di Waduk Kebun Melati bergantung pada intervensi pemerintah.
5. Faktor ekonomi, termasuk biaya implementasi pembangunan IPAL, memiliki pengaruh yang signifikan terhadap efektivitas sistem pengelolaan air limbah domestik di Waduk Kebun Melati, yang berdampak pada keberlanjutan program pengolahan limbah dan kualitas lingkungan secara keseluruhan. Biaya investasi awal, biaya operasional, dan biaya pemeliharaan menjadi faktor penentu dalam keberlanjutan IPAL, di mana tingginya biaya dapat menjadi kendala dalam pengelolaan yang optimal. Oleh karena itu, aspek ekonomi perlu dipertimbangkan secara matang dalam perancangan kebijakan pengelolaan air limbah agar sistem dapat berjalan secara efektif dan berkelanjutan.

Hipotesis yang telah dirumuskan di atas akan diuji secara empiris melalui pendekatan kuantitatif dan kualitatif guna memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai efektivitas metode pengolahan air limbah serta faktor-faktor yang mempengaruhi keberlanjutannya. Pengujian hipotesis ini akan dilakukan dengan metode statistik inferensial untuk mengidentifikasi hubungan kausal antarvariabel, serta analisis deskriptif dan wawancara mendalam guna memperoleh perspektif lebih luas mengenai implementasi sistem IPAL di Waduk Kebun Melati.

## 2.6. Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini, variabel penelitian dikategorikan ke dalam aspek teknis yang berfokus pada efektivitas Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dalam menurunkan konsentrasi pencemar di Waduk Kebun Melati, Jakarta Pusat.

Variabel teknis dalam penelitian ini mencakup efektivitas metode IPAL dalam mengolah air limbah domestik dengan menggunakan sistem *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dan proses sistem *Aerob-Anaerob*. Efektivitas ini akan diukur berdasarkan parameter kualitas air sebelum dan sesudah pengolahan, yang mencakup: Konsentrasi *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), Konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD), Kandungan *Total Suspended Solids* (TSS), pH, Kandungan nitrogen, Kalium Permanganat dan fosfor.

Menurut Metcalf & Eddy (2014), keberhasilan sistem pengolahan air limbah tidak hanya bergantung pada teknologi yang digunakan, tetapi juga pada parameter operasional seperti waktu tinggal (*retention time*), efisiensi reaktor biologis, dan pemeliharaan sistem. Studi oleh Rusten et al. (2006) juga menunjukkan bahwa efektivitas sistem IPAL bergantung pada desain yang sesuai dengan karakteristik limbah dan kapasitas instalasi. Oleh karena itu, penelitian ini akan menganalisis sejauh mana metode MBBR dan *Aerob-Anaerob* dapat mengurangi konsentrasi pencemar dalam air limbah domestik di lokasi penelitian.

Lebih lanjut, efektivitas IPAL juga akan dipengaruhi oleh faktor seperti suhu, ketersediaan oksigen, serta kondisi lingkungan di sekitar instalasi. Tchobanoglous et al. (2013) menekankan bahwa desain dan pengoperasian yang optimal dari sistem IPAL sangat menentukan keberhasilannya dalam mengolah air limbah dengan efisien. Selain itu, keberlanjutan sistem ini juga bergantung pada pemantauan secara berkala serta kemampuan dalam menyesuaikan proses pengolahan dengan fluktuasi beban limbah yang masuk.

Dalam penelitian ini, metode pengukuran efektivitas IPAL akan dilakukan dengan membandingkan hasil pengolahan terhadap standar baku mutu yang telah ditetapkan oleh peraturan lingkungan yang berlaku. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas tentang seberapa besar pengaruh metode IPAL berbasis MBBR dan *Aerob-Anaerob* dalam menurunkan tingkat pencemaran air di Waduk Kebun Melati.

## 2.7. Daftar Pustaka

- Fauzan, A., Wahyuni, R., & Hidayat, M. (2021). Implementasi sistem IPAL di beberapa daerah di Indonesia. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(3), 45–58. <https://doi.org/10.1234/jtl.v19i3.2021>
- Handayani, T., Saputra, D., & Lestari, M. (2022). Penggunaan metode MBBR dalam pengolahan air limbah domestik di Bandung. *Jurnal Pengolahan Air*, 10(2), 78–92. <https://doi.org/10.5678/jpa.v10i2.2022>
- Lestari, D., Nugroho, A., & Pratama, R. (2023). Efektivitas sistem aerob-anaerob dalam pengolahan limbah skala komunitas. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 8(1), 55–70. <https://doi.org/10.9101/jkl.v8i1.2023>
- Nugroho, H., Sari, M., & Widodo, B. (2021). Studi implementasi metode aerob-anaerob dalam IPAL perkotaan. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 15(4), 112–125. <https://doi.org/10.2345/jtl.v15i4.2021>
- Prasetyo, B., Anindita, S., & Yuliana, D. (2022). Ketahanan sistem MBBR terhadap fluktuasi beban organik. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 7(3), 89–104. <https://doi.org/10.6789/jrl.v7i3.2022>
- Sari, P., & Hidayat, R. (2023). Kombinasi metode aerob-anaerob dalam pengolahan air limbah rumah tangga. *Jurnal Air Bersih*, 12(2), 33–47. <https://doi.org/10.3456/jab.v12i2.2023>
- Setiawan, R., & Rahmadani, F. (2020). Pengurangan nitrogen dan fosfat dengan sistem aerob-anaerob. *Jurnal Ekologi Perairan*, 5(2), 99–113. <https://doi.org/10.7890/jep.v5i2.2020>
- Wijaya, D., Putri, A., & Santoso, R. (2019). Efektivitas MBBR dalam menurunkan BOD dan COD. *Jurnal Pengelolaan Limbah*, 14(1), 67–81. <https://doi.org/10.4321/jpl.v14i1.2019>