

# BAB I

## PENDAHULUAN UMUM

### 1.1 Latar Belakang

Salah satu segmen ekonomi skala kecil yang tumbuh paling cepat adalah bisnis *laundry*. Berdasarkan data yang dihimpun oleh Asosiasi *Laundry* Indonesia pertumbuhan usaha *laundry* di Indonesia mencapai 20% per tahun. Kegiatan *laundry* diawali dengan mencuci pakaian, menjemur, dan terakhir menyetrিকা pakaian (Nugroho et al., 2021). Adanya peningkatan jumlah jasa *laundry* akan berbanding lurus dengan banyaknya limbah cair yang dihasilkan pada akhir kegiatannya (Nugroho et al., 2021). Volume air limbah *laundry* umumnya berkisar 13 L per kg pencucian. Oleh karena itu, pada *laundry* skala kecil dengan kapasitas pencucian sekitar 166 kg per hari, volume air limbah yang dihasilkan diperkirakan sebesar 2.160 L per hari (Fasihah et al., 2022). Limbah yang dihasilkan tersebut dibuang langsung ke lingkungan. Bahkan industri *laundry* merupakan industri penghasil limbah cair terbesar yang menyebabkan pencemaran lingkungan (Giagnorio et al., 2017).

Disisi lain, usaha dalam bidang jasa *laundry* memberikan manfaat bagi masyarakat, khususnya dari segi ekonomi namun pertumbuhan kegiatan *laundry* ini tidak diikuti dengan pengelolaan air limbah yang kurang baik sehingga menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Air limbah *laundry* biasanya langsung dibuang di selokan terdekat yang mengakibatkan air limbah *laundry* tersebut terakumulasi di badan air. Konsekuensinya adalah beban pencemaran badan air yang selama ini dijadikan tempat pembuangan limbah rumah tangga menjadi semakin berat, termasuk terganggunya komponen lain seperti saluran air, biota perairan dan sumber air penduduk. Keadaan tersebut menyebabkan pencemaran yang banyak menimbulkan kerugian bagi manusia dan lingkungan. Kebanyakan tempat jasa pencucian *laundry* dalam sehari dapat mengerjakan sekitar 85 kg dan air limbah *laundry* yang dihasilkan sebanyak 35 sampai 40 L (Masduqi, 2004).

Air limbah *laundry* skala kecil merupakan salah satu sumber pencemaran lingkungan yang mengandung berbagai zat pencemar, seperti deterjen, surfaktan, minyak, lemak, serta *Total Suspended Solids* (TSS) dan parameter kimia seperti *Chemical Oxygen Demand* (COD), serta nutrisi berupa fosfat. Keberadaan fosfat dalam air limbah *laundry* berasal dari penggunaan deterjen berbasis fosfat yang berfungsi sebagai *builder*, dan apabila terakumulasi di badan air dapat memicu eutrofikasi serta menurunkan kualitas perairan. Limbah ini dapat menyebabkan degradasi kualitas air, menghambat penetrasi cahaya matahari ke dalam badan air, serta berdampak negatif terhadap kehidupan biota akuatik (Metcalf & Eddy, 2014). Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa air limbah *laundry* mengandung fosfat pada kadar yang signifikan dan perlu mendapat penanganan khusus sebelum dibuang ke lingkungan. Misalnya, penelitian oleh Munuqy & Soewondo (2024) menggunakan sistem *constructed wetland* dengan tanaman *Equisetum hymale* menunjukkan penghilangan fosfat yang signifikan dalam air limbah *laundry* (Walid et al., 2020). Oleh karena itu, diperlukan metode pengolahan yang efektif untuk mengurangi kandungan parameter fisik, kimia dan biologi dalam air limbah *laundry* sebelum dibuang ke lingkungan.

Penanganan air limbah *laundry* telah banyak diteliti dengan berbagai metode, baik secara fisik dan kimia, seperti filtrasi, koagulasi–flokulasi, adsorpsi,

flotasi, oksidasi, dan fotokatalisis (Delforno et al., 2020), maupun secara biologis dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme (Giagnorio et al., 2017). Salah satunya adalah penggunaan sistem reaktor biofilm dengan media *bioball*. Media *bioball* memiliki luas permukaan yang besar untuk mendukung pertumbuhan biofilm mikroorganisme, yang berperan dalam degradasi senyawa organik dalam air limbah (Jian et al., 2021). Studi menunjukkan bahwa reaktor biofilm berbasis *bioball* mampu mengurangi kadar BOD secara signifikan melalui proses biodegradasi aerobik (Huang et al., 2022).

Biofilter dengan media *bioball* telah terbukti efektif dalam pengolahan air limbah *laundry* karena mampu meningkatkan proses biodegradasi bahan organik. *Bioball* memiliki struktur pori-pori yang memungkinkan mikroorganisme aerob dan anaerob berkembang dengan optimal, sehingga dapat meningkatkan efisiensi penguraian senyawa organik dalam air limbah (Hidayat et al., 2021). Selain itu, sistem biofilter dengan media *bioball* juga memiliki daya tahan tinggi terhadap fluktuasi beban pencemar, sehingga stabil dalam jangka panjang (Susanto et al., 2023). Namun, efektivitas sistem biologis dalam mengolah air limbah *laundry* skala kecil sering kali terhambat oleh keberadaan surfaktan, fosfat, serta senyawa aktif lainnya yang dapat menurunkan aktivitas mikroorganisme pengurai (Al-Shamrani et al., 2019). Untuk mengatasi keterbatasan ini, salah satu pendekatan yang dinilai efektif adalah mengombinasikan proses biologis dengan metode elektrokoagulasi.

Elektrokoagulasi merupakan teknik pengolahan yang bekerja melalui proses elektrolisis, di mana elektroda aluminium atau besi melepaskan ion koagulan secara in situ. Ion tersebut berfungsi mengikat partikel tersuspensi, zat organik, dan surfaktan sehingga membentuk flok yang mudah diendapkan atau disaring (Moussa et al., 2021; Holt et al., 2002). Selain efektif dalam mengurangi beban pencemar, teknologi ini tidak memerlukan penambahan bahan kimia koagulan dalam jumlah besar, sehingga lebih ramah lingkungan dibandingkan metode koagulasi konvensional (Mollah et al., 2004).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kombinasi sistem biologis dengan elektrokoagulasi dapat meningkatkan efisiensi penyisihan polutan dalam limbah cair. Misalnya, penelitian oleh Kamaruddin et al. (2020) menunjukkan bahwa kombinasi elektrokoagulasi dengan *Trickling Filter* mampu mengurangi BOD sekitar 80%, sementara penelitian Zeng et al., 2021 menunjukkan peningkatan signifikan dalam penyisihan fosfat dan surfaktan melalui kombinasi elektrokoagulasi dan sistem biofilter. Pendekatan ini dinilai efektif karena elektrokoagulasi berperan dalam menurunkan beban awal polutan, sehingga proses biodegradasi pada biofilter dapat berlangsung lebih optimal.

Dengan mempertimbangkan efektivitasnya dalam mereduksi parameter fisik dan kimia, serta keunggulannya dalam hal biaya operasional dan keberlanjutan lingkungan, elektrokoagulasi menjadi salah satu alternatif yang menjanjikan untuk pengolahan air limbah *laundry* skala kecil. Pada penelitian ini mengkaji lebih mendalam tentang pengolahan limbah *laundry* dengan metode elektrokoagulasi kombinasi biofilter media *bioball* dalam penurunan parameter fisik dan kimia dalam air limbah *laundry*.

## 1.2 Landasan Teoritis

### 1.2.1 Limbah *Laundry*

Air Limbah *laundry* merupakan sisa yang dihasilkan dari proses pencucian pakaian, baik di rumah tangga maupun usaha *laundry*. Limbah ini mengandung berbagai polutan yang dapat berbahaya bagi lingkungan, antara lain deterjen, mikroplastik, bahan organik, serta senyawa kimia yang dapat membahayakan ekosistem jika tidak dikelola dengan baik (Jayanto et al., 2021). Air limbah *laundry* merujuk pada air kotor atau sisa cair yang dihasilkan dari proses mencuci pakaian, baik dalam skala rumah tangga maupun industri *laundry*. Limbah ini biasanya mengandung berbagai senyawa kimia yang dapat berpotensi mencemari lingkungan, di antaranya adalah deterjen, surfaktan, fosfat, dan materi padat tersuspensi (Pungut et al., 2021). Kandungan utama dalam air limbah *laundry* bervariasi tergantung pada jenis deterjen yang digunakan dan jumlah air yang dipakai. Deterjen berbasis fosfat dapat mencapai 70-80% dari komposisi kimia dalam air limbah *laundry*, sedangkan surfaktan dapat mencakup 20-30% (Ramadhan et al., 2023b).

Penggunaan deterjen yang kaya akan bahan kimia dan aditif lainnya dapat memperparah dampak pencemaran yang disebabkan oleh air limbah *laundry*, sehingga memerlukan perhatian khusus dalam pengelolaannya (Dewi, 2023). Secara umum, limbah ini mengandung surfaktan, yang merupakan bahan aktif yang berfungsi menghilangkan noda dan kotoran (Wimbaningrum et al., 2020). Surfaktan ini, bersama dengan zat aditif dalam deterjen, dapat meningkatkan kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dalam air limbah, yang menunjukkan tingkat pencemaran (Damayanti & Hidayah, 2021). Rata-rata kadar COD dalam air limbah *laundry* berkisar antara 488 hingga 2847 mg/L, tergantung pada jenis deterjen dan jumlah air yang digunakan (Habibah et al., 2025). Selain itu, limbah ini seringkali mengandung mikroplastik yang berasal dari serat kain saat dicuci, yang dapat berdampak jangka panjang terhadap biota akuatik (Atesci & İnan, 2023).

### 1.2.2 Karakteristik Limbah *Laundry*

Air limbah *laundry* umumnya dicirikan oleh tingkat kekeruhan, kandungan padatan tersuspensi, dan warna, yang dipengaruhi oleh deterjen, zat pewarna, serta serat kain. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efluen *laundry* memiliki konsentrasi *Total Suspended Solids* (TSS) yang tinggi, sehingga berkontribusi terhadap tingginya kekeruhan. Kekeruhan ini terutama disebabkan oleh keberadaan fisik serat kain dan residu deterjen yang tersisa setelah proses pencucian (Khapra & Singh, 2023). Aktivitas mekanis mesin cuci menyebabkan pelepasan material tersebut dari tekstil, yang secara langsung memengaruhi karakteristik fisik air limbah. Selain itu, nilai konduktivitas listrik (*electrical conductivity* / EC) pada air limbah *laundry* umumnya cukup tinggi, yang mencerminkan kandungan ionik dari deterjen dan bahan tambahan lain yang digunakan selama proses pencucian (Rodzi et al., 2024). Beberapa studi juga melaporkan bahwa air limbah *laundry* sering menunjukkan tingkat kekeruhan yang tinggi serta fluktuasi pH, yang mengindikasikan variasi komposisi kimia limbah bergantung pada praktik pencucian, seperti jenis dan konsentrasi deterjen yang digunakan (Tariq et al., 2020).

Komposisi kimia air limbah *laundry* merupakan aspek penting dalam menilai dampaknya terhadap lingkungan. Limbah ini umumnya mengandung konsentrasi

surfaktan, fosfat, dan logam berat dalam jumlah signifikan. Peningkatan urbanisasi dan intensitas aktivitas pencucian berkontribusi terhadap meningkatnya pembuangan air limbah *laundry* ke badan air alami. Penggunaan deterjen *laundry* berkaitan dengan tingginya kadar fosfor dan nitrogen, yang berpotensi menyebabkan pencemaran nutrisi pada perairan penerima dan memicu eutrofikasi, sehingga berdampak negatif terhadap ekosistem perairan (Rodzi et al., 2024). Selain itu, beberapa penelitian melaporkan keberadaan logam berat dalam air limbah *laundry*, seperti timbal (Pb) dan mangan (Mn), yang dalam kondisi tertentu dapat melebihi ambang batas baku mutu lingkungan. Tingginya nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) juga menunjukkan adanya bahan organik yang mudah terurai, yang apabila tidak diolah dengan baik dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut di perairan dan mengganggu kehidupan organisme akuatik (Farid et al., 2023).

Pencemar biologis, khususnya mikroorganisme patogen yang berasal dari tekstil, turut berkontribusi terhadap karakteristik air limbah *laundry*. Beberapa studi menunjukkan bahwa air limbah *laundry* dapat mengandung mikroorganisme patogen, termasuk bakteri *Escherichia coli* dan *Pseudomonas aeruginosa*, yang berpotensi menimbulkan risiko kesehatan apabila air limbah tersebut tidak diolah secara memadai. Keberadaan patogen ini menegaskan pentingnya penerapan sistem pengolahan limbah yang efektif untuk menurunkan risiko kesehatan masyarakat, terutama apabila air limbah *laundry* yang telah diolah akan digunakan kembali, misalnya untuk irigasi atau keperluan non-potabel lainnya (Farid et al., 2023).

### 1.2.3 Dampak Limbah *Laundry*

Air limbah *laundry* memiliki dampak signifikan terhadap lingkungan, khususnya terkait dengan pencemaran air. Limbah ini mengandung berbagai zat kimia berbahaya, seperti surfaktan, fosfat, dan berbagai bahan organik yang berasal dari deterjen dan produk pembersih lainnya. Penelitian menunjukkan bahwa pembuangan air limbah *laundry* yang tidak terolah dapat meningkatkan konsentrasi zat pencemar dalam badan air, sehingga mengganggu ekosistem perairan dan menurunkan kualitas air (Mulyo et al., 2023). Air limbah *laundry* sering kali mengandung bahan-bahan dengan kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang tinggi. Menurut penelitian, kadar BOD dan COD yang tinggi ini berhubungan langsung dengan potensi eutrofikasi - suatu proses yang menyebabkan berkembang biaknya alga secara berlebihan di perairan (Ehilen et al., 2025). Eutrofikasi tidak hanya mengurangi kandungan oksigen dalam air, tetapi juga berkontribusi terhadap penurunan biodiversitas akuatik, sehingga dapat menyebabkan penurunan jumlah ikan dan spesies lainnya di lingkungan terpengaruh (Almroth et al., 2017). Bahan kimia seperti fosfat yang terdapat dalam deterjen *laundry* dapat meningkatkan pertumbuhan alga yang berlebihan, dan di banyak kawasan, pencemaran fosfat ini telah mendapatkan perhatian serius karena dampaknya yang tidak dapat diterima terhadap ekosistem perairan (Hernández et al., 2017).

Selain itu, air limbah *laundry* juga berkontribusi pada polusi mikroplastik. Serat dari tekstil sintetis dapat terlepas selama proses pencucian dan masuk ke dalam sistem air limbah (Yaranal et al., 2024). Penelitian menunjukkan bahwa air limbah *laundry* merupakan salah satu sumber utama polusi serat mikro di ekosistem perairan, yang dapat membahayakan organisme akuatik dan

berpotensi memasuki rantai makanan manusia (Chan & Lo, 2024). Sebuah studi menemukan bahwa pakaian baru dapat melepaskan lebih dari 1900 serat mikro per pencucian, yang mencerminkan kontribusi besar dari *laundry* domestik terhadap pencemaran ini. Menggunakan deterjen yang mengandung bahan kimia agresif memperburuk keadaan lingkungan, tidak hanya memengaruhi ekosistem akuatik tetapi juga kesehatan manusia melalui kontaminasi sumber air. Penelitian menunjukkan bahwa deterjen dapat meningkatkan pH dan menambah kadar nutrisi di dalam tanah, yang selanjutnya berdampak negatif pada kesehatan tanaman dan makhluk hidup lainnya, serta kualitas air (El-Aziz et al., 2023). Oleh karena itu, pemilihan produk pembersih yang lebih ramah lingkungan dapat menjadi langkah awal yang penting dalam meminimalisasi dampak negatif ini.

#### 1.2.4 Pengolahan Metode Elektrokoagulasi

Pengelolaan air limbah *laundry* yang efektif menjadi tantangan yang signifikan, mengingat komposisinya yang kompleks dan potensi pencemarannya terhadap lingkungan. Salah satu metode yang menjanjikan untuk mengatasi masalah ini adalah elektrokoagulasi, yang memanfaatkan arus listrik untuk menghilangkan kontaminan dari limbah. Metode ini bekerja dengan cara memproduksi koagulan dari elektroda metal yang terlarut, sehingga mampu menjebak partikel dan zat pencemar yang ada dalam air limbah *laundry*, termasuk surfaktan, bahan organik, dan partikel padat (Hu et al., 2021).

Metode elektrokoagulasi telah diidentifikasi sebagai salah satu solusi efektif dalam pengolahan air limbah *laundry*. Salah satu kelebihan utama dari metode ini adalah kemampuannya untuk menghilangkan berbagai kontaminan secara efisien, termasuk surfaktan dan partikel koloidal dari limbah yang dihasilkan. Elektrokoagulasi juga memungkinkan pengurangan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Total Suspended Solids* (TSS) yang signifikan, sehingga menghasilkan air yang lebih bersih sebelum dibuang ke lingkungan (Mustikaayu & Noor, 2022). Selain itu, Kelebihan dari metode elektrokoagulasi dibandingkan dengan metode pengolahan lainnya adalah rendahnya penggunaan bahan kimia tambahan dan kemampuannya untuk memproses berbagai jenis limbah (Ramadhan et al., 2023a). Proses ini menggunakan sedikit atau bahkan tanpa bahan kimia tambahan, yang menjadikannya metode yang lebih ramah lingkungan dan mengurangi potensi terbentuknya senyawa berbahaya dari penggunaan bahan kimia konvensional (Hu et al., 2021). Teknik ini juga memungkinkan penyisihan lebih dari 90% kontaminan dalam waktu yang relatif singkat (Najeeb & Abbar, 2022).

Di sisi lain, metode elektrokoagulasi juga memiliki beberapa kekurangan. Salah satunya adalah kebutuhan akan sumber listrik yang stabil untuk menjalankan proses elektrokoagulasi secara efisien (Saputra et al., 2022). Ketergantungan terhadap listrik bisa menjadi masalah, terutama di daerah yang sering mengalami pemadaman atau di lokasi yang tertinggal secara infrastruktur. Selain itu, proses elektrokoagulasi dapat menghasilkan limbah berupa sludge yang harus dikelola dan dibuang secara benar, yang dapat menambah biaya dan kompleksitas proses pengolahan (Mustikaayu & Noor, 2022). Kelemahan lain dari elektrokoagulasi adalah keterbatasan dalam mengatasi variasi komposisi air limbah *laundry* yang dihasilkan dari penggunaan berbagai jenis deterjen dan produk pembersih yang berbeda. Penelitian mengungkapkan bahwa efisiensi

elektrokoagulasi dapat bervariasi tergantung pada jenis dan konsentrasi kontaminan dalam limbah (Saputra et al., 2022).

### 1.2.5 Pengolahan Metode Biofilter *Bioball*

Metode biofilter *bioball* adalah salah satu teknologi yang berkembang untuk pengolahan limbah cair, termasuk limbah dari industri *laundry*. Sistem ini memanfaatkan *bioball* sebagai media tempat tumbuhnya mikroorganisme pengolah zat-zat pencemar dalam air limbah *laundry*, seperti deterjen dan bahan organik lainnya (Apema et al., 2023). Biofilter bekerja dengan cara mengalirkan limbah melalui media *bioball*, dimana mikroorganisme akan menguraikan kontaminan secara biologis. Proses ini mencakup aktivitas aerobik dan anaerobik, tergantung pada kondisi lingkungan di dalam biofilter (Mirandri & Purnomo, 2021). Dengan meningkatkan luas permukaan media *bioball*, proses pengolahan dapat menjadi lebih efisien karena jumlah mikroorganisme yang dapat berinteraksi dengan limbah meningkat.

Salah satu kelebihan dari metode biofilter *bioball* adalah kemampuannya dalam mengurangi parameter kualitas air, seperti *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD), dan *Total Suspended Solids* (TSS) secara signifikan (Apema et al., 2023). Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *bioball* dapat mengurangi tingkat pencemaran deterjen dalam air limbah *laundry* (Mirandri & Purnomo, 2021). Selain itu, metode ini cenderung lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan metode pengolahan kimia, karena tidak memerlukan bahan kimia tambahan yang bisa menghasilkan limbah berbahaya (Yaranal et al., 2024). Salah satu tantangan utama dalam pengoperasian biofilter *bioball* adalah waktu aklimatisasi yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk berkembang dan mulai efektif dalam menguraikan kontaminan. Proses ini dapat memakan waktu beberapa minggu, sehingga tidak cocok untuk aplikasi yang memerlukan pengolahan cepat. Selain itu, jika terjadi fluktuasi signifikan dalam kualitas limbah, seperti kadar bahan pencemar yang sangat tinggi, kemampuan biofilter untuk mengolah limbah bisa terganggu (Pramita et al., 2020). Perawatan dan pemeliharaan sistem juga dibutuhkan untuk memastikan bahwa *bioball* tetap bersih dan tidak tersumbat, yang dapat mengurangi efisiensi proses pengolahan.

### 1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan permasalahan, antara lain:

1. Berapa lama waktu tinggal optimum yang dibutuhkan dalam penggunaan teknologi elektrokoagulasi kombinasi biofilter media *bioball* dalam menurunkan parameter fisik dan kimia?
2. Berapa besar efektivitas penggunaan teknologi elektrokoagulasi kombinasi biofilter media *bioball* dalam menurunkan parameter fisik dan kimia?

### 1.4 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis waktu tinggal optimal dalam pengolahan air limbah *laundry* skala kecil dengan teknologi elektrokoagulasi kombinasi biofilter media *bioball*.
2. Menganalisis efektivitas pengolahan air limbah *laundry* skala kecil dengan teknologi elektrokoagulasi kombinasi biofilter media *bioball*.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini akan meningkatkan pemahaman tentang penggunaan dan efisiensi dari metode elektrokoagulasi dan biofilter media *bioball* dalam pengolahan limbah. Peneliti akan mempelajari teori dan penerapan teknologi elektrokoagulasi dan biofilter *bioball* dalam pengolahan air limbah *laundry* skala kecil.
2. Penelitian ini dapat menghasilkan Solusi baru untuk masalah pengolahan air limbah *laundry*. Penemuan penerapan teknologi elektrokoagulasi dan biofilter *bioball* ini dapat digunakan sebagai percontohan agar dapat diterapkan secara menyeluruh pengusaha untuk menangani air limbah *laundry*.
3. Hasil penelitian ini dapat membantu meningkatkan kualitas air limbah *laundry*. Dengan menggunakan penerapan elektrokoagulasi dan biofilter media *bioball*, air limbah dapat diolah baik sebelum dibuang ke lingkungan, mengurangi dampak buruknya terhadap ekosistem air.

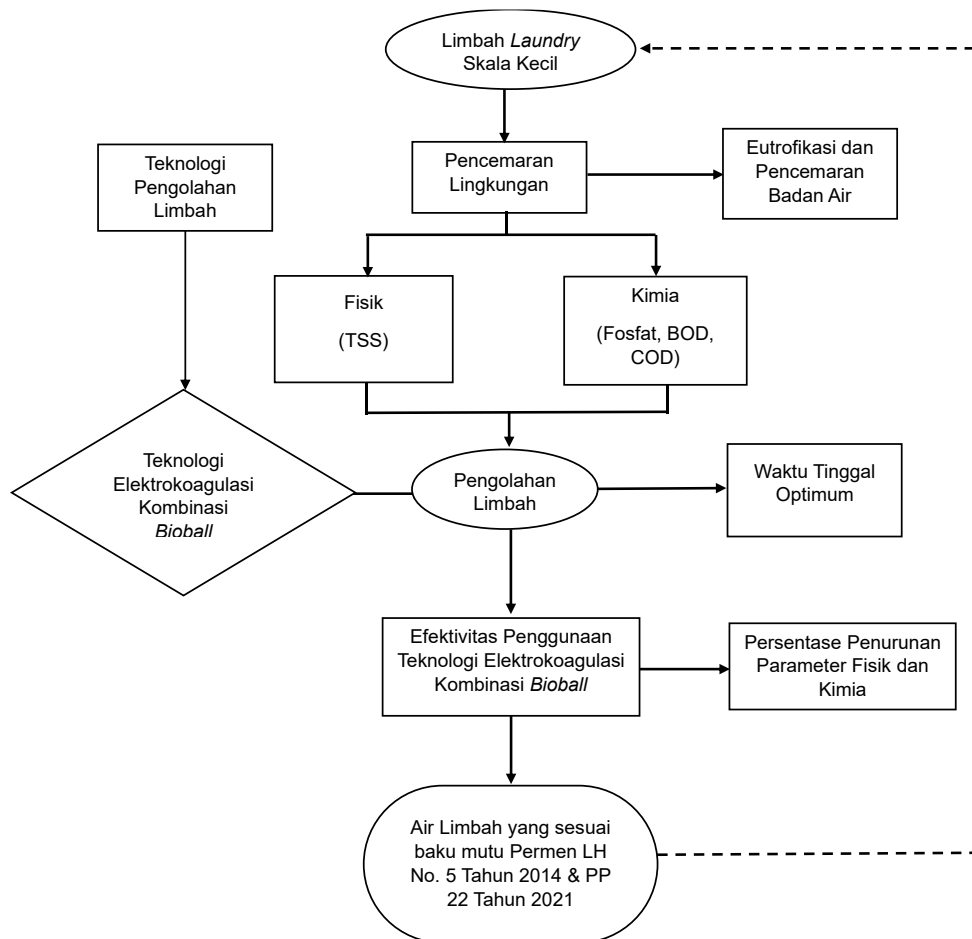
### 1.6 Kerangka Pikir Penelitian

Menurut Badan Pusat Statistik (BPS), usaha jasa pencucian pakaian (*laundry*) termasuk dalam kelompok Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) yang tumbuh pesat, khususnya di daerah perkotaan dan kawasan padat penduduk. Sedangkan data yang dihimpun oleh Asosiasi *Laundry* Indonesia pertumbuhan usaha *laundry* di Indonesia mencapai 20% per tahun. Pertumbuhan kegiatan *laundry* skala kecil tidak diikuti dengan pengolahan air limbah yang baik sehingga menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Air limbah *laundry* mengandung deterjen, surfaktan, senyawa fosfat, minyak, dan residu organik. Kandungan ini bersifat toksik, dapat menurunkan kualitas air tanah dan permukaan serta menyebabkan eutrofikasi pada badan air. Studi oleh Wahyuni et al. (2019) di Yogyakarta menunjukkan bahwa 85% usaha *laundry* skala kecil tidak memiliki instalasi pengolahan air limbah (IPAL), dan membuang limbah langsung ke selokan atau saluran umum. Hal ini juga didukung oleh Studi Lestari (2021) di Sungai Code yang menunjukkan peningkatan nilai BOD dan COD di area hilir yang dekat dengan pemukiman padat dengan banyak *laundry* rumahan.

Penanganan air limbah *laundry* telah banyak dilakukan oleh para peneliti dengan banyak cara baik dengan cara filtrasi, koagulasi, flokulasi, adsorpsi, flotasi, oksidasi, fotokatalis maupun secara biologis (Delforno et al., 2020) dengan bantuan mikro-organisme (Giagnorio et al., 2017). Studi menunjukkan bahwa reaktor biofilm berbasis *bioball* mampu mengurangi kadar BOD secara signifikan melalui proses biodegradasi aerobik (Huang et al., 2022). Namun, efektivitas sistem biologis dalam mengolah air limbah *laundry* skala kecil sering kali terbatas oleh keberadaan senyawa kimia seperti surfaktan dan fosfat yang dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme (Al-Shamrani et al., 2019). Oleh karena itu, diperlukan kombinasi dengan metode lain, seperti elektrokoagulasi, untuk meningkatkan efisiensi pengolahan limbah. Elektrokoagulasi dan Biofilter *bioball* menjadi salah satu alternatif yang menjanjikan untuk pengolahan air limbah *laundry* skala kecil.

Pada penelitian ini akan dikaji lebih mendalam tentang pengolahan limbah *laundry* dengan metode Elektrokoagulasi dan Biofilter media *bioball* dalam

penurunan parameter fisik (TSS), parameter Kimia (Fosfat, BOD dan COD) dengan melihat waktu tinggal optimum 2, 4, 6, 8, 10 dan 12 jam. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dan disajikan dalam bentuk tabel serta grafik menggunakan Microsoft Excel.



**Gambar 1.** Kerangka Konsep

### 1.7 Daftar Pustaka

- Aoudj, vS., Khelifa, A., Drouiche, N., Hecini, M., & Hamitouche, H. (2010). Electrocoagulation process applied to wastewater containing dyes from textile industry. *Chemical Engineering Journal*. **158**(3): 177-184. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2010.08.019>
- Almroth, B. C., Åström, L., Roslund, S., Petersson, H., Johansson, M., & Persson, N. (2017). Quantifying Shedding of Synthetic Fibers From Textiles; A Source of Microplastics Released Into the Environment. *Environmental Science and Pollution Research*. **25**(2): 1191–1199.

<https://doi.org/10.1007/s11356-017-0528-7>

Apema, F. D., Rahayu, D. E., Adnan, F., & Waryati. (2023). Penggunaan Media Sarang Tawon Dan *Bioball*. **7**(1): 81–89.

<http://dx.doi.org/10.30872/jtlunmul.v7i1.11809>

Astuti, E. P., & Ramadhan, A. (2020). "Analisis Karakteristik Limbah Cair *Laundry* dan Upaya Pengolahannya". *Jurnal Ilmiah Lingkungan Hidup*. **14**(1): 45-52.

Atesci, Z. C., & İnan, H. (2023). Removal of Microfiber and Surfactants From Household *Laundry* Washing Effluents by Powdered Activated Carbon: Kinetics and Isotherm Studies. *Water Science & Technology*.

**88**(6) 1578–1593. <https://doi.org/10.2166/wst.2023.281>

Bayramoglu, M., Kobya, M., Can, O. T., & Sozbir, M. (2006). Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater. *Separation and Purification Technology*. **37**(2): 117-125.

<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2003.09.002>

BPS (2022). "Statistik Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah 2022". Badan Pusat Statistik.

Chan, C. K., & Lo, C. K. (2024). *A Systematic Literature Review for Addressing Microplastic Fibre Pollution : Urgency and Opportunities*. **16**(14):1988.

<https://doi.org/10.3390/w16141988>

Damayanti, L. K., & Hidayah, E. N. (2021). Pengaruh Adsorben Komersial Terhadap Penurunan Fosfat Dan Surfaktan Anionik (Detergen) Pada Air Limbah *Laundry*. **2**(1): 18-26.

<https://doi.org/10.33005/envirov.v2i1.54>

Dewi, Y. S. (2023). Efektivitas Penggunaan Koagulan Tawas Dan Kapur Dalam Mereduksi Surfaktan Dan Fosfat Pada Limbah *Laundry*. *Jurnal Techlink*.

**7**(01): 1–11. <https://doi.org/10.59134/jtnk.v7i01.316>

Ehilen, O. E., Imade, F., Madu, P. C., Oboh, E. O., Ogie-Odia, E. A., Obadoni, B. O., & Mensah, J. K. (2025). Impact of Detergents on Okra Seed Germination, Plant Growth and Soil Properties. *Tenside Surfactants Detergents*. **62**(5): 444–454.

<https://doi.org/10.1515/tsd-2025-2657>

El-Aziz, E. A., El-Rahman, R. A., Mokhtar, A., El-Desoky, S., El-Bahrawy, G., Ezat, H., & Hassabo, A. (2023). Textile Effluent as a Potential Problem for Environmental and Human Health: Causes and Overcome Techniques. *Egyptian Journal of Chemistry*. **66**(12): 445 - 453.

<https://doi.org/10.21608/ejchem.2023.217049.8122>

Farid, N., Ullah, A., Khan, S., Butt, S., Khan, A. Z., Afsheen, Z., El-Serehy, H. A., Yasmin, H., Ayaz, T., & Ali, Q. (2023). Algae and Hydrophytes as

- Potential Plants for Bioremediation of Heavy Metals From Industrial Wastewater. *Water*. **15**(12): 2142. <https://doi.org/10.3390/w15122142>
- Fasihah, N., Maryani, Y., & Heriyanto, H. (2022). Pengolahan Air Limbah *Laundry* Menggunakan Adsorpsi Cangkang Telur Ayam. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*. **8**(20): 129-139. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7239004>
- Giagnorio, M., Amelio, A., Grüttner, H., & Tiraferri, A. (2017). Environmental impacts of detergents and benefits of their recovery in the laundering industry. *Journal of Cleaner Production*. **154**: 593-601. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.012>
- Habibah, K. A., Wibowo, E., Ulya, N. N., Rosi, M., & Sutisna, S. (2025). Combining Coagulation and Filtration Methods for the Treatment of *Laundry Wastewater*. *Journal of Physics Conference Series*. **2942**(1): 12046. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2942/1/012046>
- Hernández, E. G., Nowack, B., & Mitrano, D. M. (2017). Polyester Textiles as a Source of Microplastics From Households: A Mechanistic Study to Understand Microfiber Release During Washing. *Environmental Science & Technology*. **51**(12): 7036–7046. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b01750>
- Hu, S., Zhang, B., & Xu, Y. (2021). *Using electric flocculation to treat domestic laundry wastewater with different types of detergents*. **04008**: 6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126104008>
- Holt, P. K., Barton, G. W., Mitchell, C. A., & Ward, M. P. (2002). The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology. *Chemosphere*. **59**(3): 355-367. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.10.023>
- Jayanto, G. D., Widyastuti, M., & Hadi, M. P. (2021). *Laundry wastewater characteristics and their relationship with river water quality as an indicator of water pollution . Case study : Code Watershed , Yogyakarta 2 . Research Area Description*. **325** (02011): 1-8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132502011>
- Khapra, R., & Singh, N. (2023). Physical, Chemical, and Biological Evaluation of Domestic *Laundry* Greywater Discharges to Attract Reclamation Strategies and Reuse Applications in Urban Settings. *Environmental Quality Management*. **33**(3): 209–221. <https://doi.org/10.1002/tqem.22110>
- Lestari, I. (2021). "Pengaruh Pembuangan Limbah *Laundry* terhadap Kualitas Air Sungai Code". *Jurnal Ilmu Lingkungan*. **22**(3): 87-94.
- Masduqi, A. (2004). Penurunan Senyawa Fosfat dalam Air Limbah Buatan dengan Proses Adsorpsi Menggunakan Tanah Halosisit. *Majalah IPTEK*. **15**(1): 1-53.

- Mirandri, S. D., & Purnomo, Y. S. (2021). Penurunan Kadar Detergen (Las) Dan Fosfat Dengan Metode Biofilter Aerob-Anaerob Dan Anaerob-Aerob. **1**(2): 67–76. <https://doi.org/10.33005/envirous.v1i2.39>
- Mulyo, S., Hadisusanto, S., & Setyono, P. (2023). Identification of Potential *Laundry* Waste Generation in Yogyakarta, Solutions and Impacts. **18**(3): 953–959. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.180331>
- Mustikaayu, E. F., & Noor, R. (2022). Pengaruh Jarak Elektroda Pada Proses Elektrokoagulasi Terhadap Penurunan Kadar Fosfat , Cod Dan Tss Limbah Cair *Laundry*. **5**(1): 15-22. <https://doi.org/10.20527/jernih.v5i1.1419>
- Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. McGraw-Hill Education.
- Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J. R., & Cocke, D. L. (2004). Electrocoagulation (EC) science and applications. *Journal of Hazardous Materials*. **84**(1): 29-41. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(01\)00176-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(01)00176-5)
- Najeeb, R. G., & Abbar, A. H. (2022). *Optimization of COD Removal from Pharmaceutical Wastewater by Electrocoagulation process using Response Surface*. **65**(1): 619-631. <https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2021.82809.4107>
- Nugroho, H., Raharjo, W., & Setiawan, B. (2021). The Effect of Manganese Greensand Addition on Tray Aerator to Reduce COD Levels of *Laundry's* Wastewater. *Journal of Environmental Science and Technology*. **12**(3): 45-52. Diakses dari <https://www.academia.edu/81803121>
- Pramita, A., Prasetyanti, D. N., & Fauziah, D. N. (2020). Penggunaan Media *Bioball* Dan Tanaman Kayu Apu ( *Pistia Stratiotes* ) Sebagai Biofilter Aerobik Pada Pengolahan Limbah Cair Rumah. **6**(1): 131-136. <https://doi.org/10.55732/jrt.v6i1.148>
- Pungut, P., Al Kholif, M., & Pratiwi, W. D. I. (2021). Penurunan Kadar Chemical Oxygen Demand (Cod) Dan Fosfat Pada Limbah *Laundry* Dengan Metode Adsorpsi. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*. **13**(2): 155-165. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol13.iss2.art6>
- Ramadhan, R. R., Herawati, P., & Hadrah, H. (2023b). Allowance of *Laundry* Wastewater Contaminant Parameters by Electrocoagulation Process. *Fidelity Jurnal Teknik Elektro*. **5**(1): 43-47. <https://doi.org/10.52005/fidelity.v5i1.140>
- Rodzi, N. A. A. M., Kasmuri, N., Zaini, N., Azri, N. A. A., & Nayono, S. E. (2024). Analysis of Algae and Bacteria Mixture in Removing Pollutants From *Laundry* Wastewater. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*. **1303**(1): 12021.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1303/1/012021>

- Saputra, A., Tiandho, Y., & Afriani, F. (2022). *Studi Kinetika Pada Proses Elektrokoagulasi Zat Warna Metilen Biru*. **3**(1)-11.  
<https://doi.org/10.33019/jrfi.v3i1.3230>
- Tariq, M., Anayat, A., Waseem, M., Rasool, M. H., Zahoor, M. A., Ali, S., Rizwan, M., Abdel-Daim, M. M., & Alkahtani, S. (2020). Physicochemical and Bacteriological Characterization of Industrial Wastewater Being Discharged to Surface Water Bodies: Significant Threat to Environmental Pollution and Human Health. *Journal of Chemistry*. **2020**(1): 1–10.  
<https://doi.org/10.1155/2020/9067436>
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., & Stensel, H.D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Wahyuni, D., et al. (2019). "Evaluasi Pengelolaan Limbah Cair *Laundry* Rumahan di Kota Yogyakarta". *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*. **18**(2): 123-131.
- Walid, A., Turahmah, F., & Ismarliana, P. (2020). Kinetika Penyisihan Fosfat dari Air Limbah *Laundry* Menggunakan Sistem Constructed Wetland Dengan *Equisetum Hymale*. *Ekologia : Jurnal Ilmiah Ilmu Dasar Dan Lingkungan Hidup*. **20**(1): 40-44.  
<https://journal.unpak.ac.id/index.php/ekologia>
- Wimbaningrum, R., Arianti, I., & Sulistiyowati, H. (2020). *Efektivitas Tanaman Lembang (*Typha angustifolia* L.) di Lahan Basah Buatan dalam Penurunan Kadar TSS, BOD dan Fosfat pada Air Limbah Industri Laundry*. **8**(1): 25–28. <https://doi.org/10.19184/bst.v8i1.16499>
- Yaranal, N. A., Kuchibhotla, S. A., Subbiah, S., & Mohanty, K. (2024). *Identification , removal of microplastics and surfactants from laundry wastewater using electrocoagulation method*. **3**(1): 1-15.  
<https://doi.org/10.20517/wecn.2023.46>
- Zeng, J., Ji, M., Zhao, Y., Helmer Pedersen, T., & Wang, H. (2021). Optimization of electrocoagulation process parameters for enhancing phosphate removal in a biofilm-electrocoagulation system. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*. **83**(10): 2560–2574.  
<https://doi.org/10.2166/wst.2021.132>

## BAB II

### WAKTU TINGGAL ELEKTROKOAGULASI DAN BIOFILTER MEDIA *BIOBALL* DALAM PENGOLAHAN LIMBAH *LAUNDRY* SKALA KECIL

#### 2.1 Abstrak

Limbah *laundry* skala kecil merupakan salah satu sumber pencemar perairan yang mengandung konsentrasi tinggi total *suspended solids* (TSS), *chemical oxygen demand* (COD), *biological oxygen demand* (BOD), dan fosfat. Salah satu faktor kunci yang menentukan keberhasilan proses pengolahan limbah adalah waktu tinggal, karena berpengaruh langsung terhadap efisiensi penyisihan polutan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis waktu tinggal optimum dalam pengolahan limbah *laundry* menggunakan kombinasi elektrokoagulasi dan biofilter media *bioball*. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan rancangan *one group pretest-posttest* dengan variasi waktu tinggal (*Hydraulic Retention Time/HRT*) antara 2 hingga 12 jam. Reaktor berkapasitas 60 L menggunakan elektroda aluminium dengan luas permukaan 0,12 m<sup>2</sup> serta media *bioball* tipe golf sebanyak 300 unit dengan volume total ±10 L dan luas permukaan ±1,5 m<sup>2</sup>. Penurunan parameter pencemaran fisik, kimia, dan biologi (TSS, COD, BOD, dan fosfat) dianalisis secara deskriptif berdasarkan hasil pengolahan di tiga reaktor yang berbeda (elektrokoagulasi, biofilter *bioball*, dan kombinasi keduanya). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi elektrokoagulasi dan biofilter media *bioball* pada waktu tinggal 12 jam menghasilkan penurunan TSS dari 80 mg/L menjadi 14 mg/L, COD dan BOD yang signifikan, serta fosfat mencapai 1,5 mg/L. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan elektroda dan media *bioball* berdasarkan perhitungan luas permukaan dan volume yang tepat mampu meningkatkan efisiensi pengolahan. Dengan demikian, kombinasi elektrokoagulasi dan biofilter media *bioball* merupakan metode yang efektif dan ramah lingkungan untuk pengolahan limbah *laundry* serta berpotensi memenuhi baku mutu air limbah.

**Kata Kunci:** limbah *laundry*, elektrokoagulasi, biofilter media *bioball*, waktu tinggal, pencemaran, TSS, COD, BOD, fosfat.

#### 2.2 Pendahuluan

*Laundry* merupakan suatu proses kompleks yang melibatkan interaksi beberapa faktor fisika dan kimiawi. Pada proses *laundry* kotoran yang melekat pada pakaian akan dibersihkan dengan menggunakan air dan deterjen. Tahapan yang terjadi adalah kotoran yang melekat akan dilepas oleh larutan deterjen dan dilanjutkan dengan stabilisasi air yang berisi kotoran agar kotoran tersebut tidak melekat kembali pada pakaian. Kemampuan melepaskan kotoran dari permukaan pakaian ini dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain seperti jenis bahan pakaian, kualitas air, peralatan mencuci, jenis kotoran dan komposisi deterjen. Faktor yang paling berperan penting yaitu komposisi deterjen. (Yuliana, Langsa, and Sirampun 2020).

Industri *laundry* telah berkembang pesat seiring dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat akan jasa pencucian pakaian. Namun, aktivitas ini menghasilkan limbah cair yang mengandung berbagai polutan, seperti deterjen,

fosfat, bahan organik, dan padatan tersuspensi, yang dapat mencemari lingkungan jika tidak diolah dengan baik. Kandungan fosfat yang tinggi, misalnya, dapat memicu eutrofikasi dan ledakan alga di perairan (Zunidra, Z., & Sondang, P. 2022).

Limbah *laundry* terkenal mengandung tingkat BOD dan COD yang tinggi, yang dapat mencapai ratusan atau bahkan ribuan miligram per liter, tergantung pada jenis deterjen yang digunakan dan ukuran operasional. Sebuah studi mencatat bahwa COD dari limbah *laundry* bisa berkisar antara 1500 hingga 4000 mg/L, menjadikannya salah satu sumber pencemaran air yang signifikan (Nasir & Titah, 2024). Hal ini berpotensi menyebabkan penurunan kadar oksigen di dalam air, yang dapat berdampak fatal bagi keberlangsungan kehidupan akuatik. Selain itu, kandungan TSS yang tinggi, hasil dari partikel padat yang tersuspensi dalam air limbah, dapat mengganggu fotosintesis tanaman air dan menghalangi pertukaran gas, sehingga memperparah kondisi ekosistem perairan (Risqi et al., 2023). Disisi lain, fosfat menjadi komponen lain yang perlu diperhatikan. Peningkatan konsentrasi fosfat dalam badan air dapat menyebabkan proliferasi alga, yang berdampak negatif terhadap flora dan fauna di perairan tersebut akibat berkurangnya kadar oksigen (Garmini & Zairinayati, 2022).

Dalam upaya mengurangi pencemaran dari limbah *laundry*, penting untuk memahami hubungan antarparameter ini. Perawatan limbah yang efektif seharusnya tidak hanya fokus pada pengurangan BOD dan COD, tetapi juga mempertimbangkan pengendalian TSS dan fosfat (Sodamade & Longe, 2020). Salah satu metode yang efektif untuk mengolah limbah *laundry* adalah elektrokoagulasi. Proses ini melibatkan penggunaan arus listrik untuk mengendapkan polutan, sehingga memudahkan pemisahan kontaminan dari air. Penelitian oleh Noviyani et al. (2023) menunjukkan bahwa elektrokoagulasi dapat menurunkan kadar COD hingga 74,8% dan TSS hingga 99,4% pada limbah *laundry* dengan variasi tegangan dan waktu kontak tertentu (Noviyani, et al. 2023).

Selain itu, kombinasi elektrokoagulasi dengan biofilter aerob yang menggunakan media *bioball* telah terbukti meningkatkan efisiensi pengolahan limbah. Biofilter aerob memanfaatkan mikroorganisme yang tumbuh pada media *bioball* untuk mendegradasi polutan organik dalam kondisi beroksigen. Penelitian oleh Muliadita (2022) menunjukkan bahwa penggunaan biofilter dengan media *bioball* dapat menurunkan BOD hingga 63% dan COD hingga 70,45% pada limbah industri tahu.

Waktu tinggal hidrolis (Hydraulic Retention Time/HRT) merupakan parameter penting dalam pengolahan limbah, karena menentukan durasi kontak antara air limbah dan media pengolahan. HRT yang optimal memastikan efisiensi maksimal dalam penurunan parameter fisik, kimia, dan biologi. Penelitian oleh Wardana et al. (2011) menunjukkan bahwa semakin lama waktu tinggal dalam reaktor biofilter, efisiensi penurunan amonia, nitrit, dan nitrat semakin tinggi (Wardana, et al. 2011).

Pengolahan limbah *laundry* menggunakan metode elektrokoagulasi dan kombinasi dengan *bioball* menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam mengurangi parameter pencemaran seperti *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD), total suspended solids (TSS), dan fosfat. Penelitian oleh Apema et al. (2023) menunjukkan bahwa penggunaan media *bioball* dalam pengolahan limbah *laundry* dapat mengurangi BOD hingga 84,94% dan COD hingga 86%, dengan waktu tinggal optimal selama

12 jam. Hal ini dibuktikan dengan peningkatan degradasi zat organik seiring meningkatnya waktu tinggal, yang memungkinkan mikroba lebih lama untuk beraksi terhadap limbah tersebut.

Metode elektrokoagulasi juga terbukti efektif dalam menurunkan kadar pencemaran. Dalam penelitian oleh Kusuma dan Mirwan (Kusuma & Mirwan, 2024), pengolahan dengan elektrokoagulasi yang dipadukan dengan bioetanol sebagai elektrolit mampu menurunkan kadar *Methylene Blue Active Substances* (MBAS) dari 263,39 mg/L dan fosfat dari 16,33 mg/L. Waktu tinggal yang tepat dan pengaturan parameter seperti tegangan dan intensitas arus menjadi penting dalam mencapai efisiensi pemisahan zat beracun dari air limbah *laundry*. Penelitian lain menunjukkan bahwa variasi waktu elektrokoagulasi antara 15 hingga 30 menit dapat meningkatkan efektivitas penurunan COD dan BOD, dengan penurunan COD yang terukur sekitar 76% dan penurunan BOD mencapai 83% (Prabowo et al., 2019)

Namun, penelitian khusus mengenai penentuan waktu tinggal optimum dalam pengolahan limbah *laundry* menggunakan kombinasi teknologi elektrokoagulasi dan biofilter *bioball* masih terbatas. Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk mengisi kekosongan data tersebut dengan meneliti pengaruh variasi waktu tinggal terhadap penurunan parameter fisik, kimia, dan biologi pada pengolahan limbah *laundry* menggunakan kombinasi elektrokoagulasi dan biofilter *bioball*.

### 2.3 Tujuan Penelitian

Menganalisis waktu tinggal optimum yang dibutuhkan dalam pengolahan limbah *laundry* skala kecil dengan teknologi elektrokoagulasi kombinasi biofilter media *bioball*.

### 2.4 Sintesa Penelitian Pengolahan Limbah *Laundry*

**Tabel 1.** Tabel Sintesa

No	Peneliti, Tahun	Metode	Parameter yang Diteliti	Hasil Utama	Kesimpulan
1.	Prasetya & Sari (2021)	Elektrokoagulasi	Tegangan, Waktu, COD, TSS	COD dan TSS menurun signifikan pada tegangan dan waktu optimal	Tegangan dan durasi sangat berpengaruh terhadap efisiensi pengolahan
2.	Handayani & Kusuma (2020)	Elektrokoagulasi	Tegangan, Luas Plat, Waktu, TSS	Peningkatan luas plat dan tegangan meningkatkan penyisihan TSS	Optimasi desain elektroda penting dalam sistem elektrokoagulasi

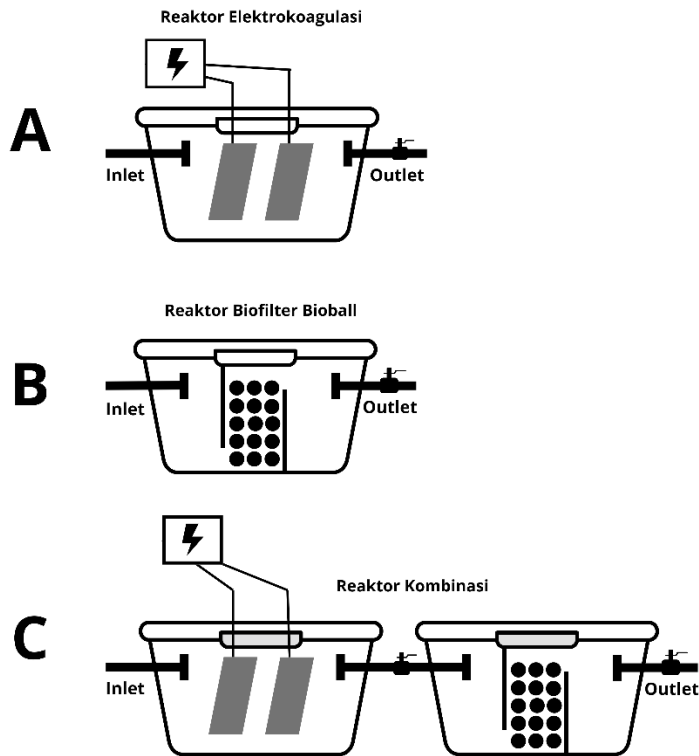
No	Peneliti, Tahun	Metode	Parameter yang Diteliti	Hasil Utama	Kesimpulan
3.	Wijaya & Rahayu (2019)	Elektrokoagulasi	Beda Potensial, Waktu Kontak, COD, TSS	Efektif menurunkan COD & TSS, efisiensi maksimal pada beda potensial tertentu	Parameter listrik sangat menentukan hasil akhir
4.	Nugroho & Lestari (2018)	Elektrokoagulasi (Aluminium)	COD, TSS, Deterjen	Efektif dalam menurunkan semua parameter di atas 70%	Elektroda Al efektif untuk limbah <i>laundry</i>
5.	Santoso & Dewi (2017)	Elektrokoagulasi	Laju Alir, Keketuhan, COD	Laju alir rendah menghasilkan flokulasi lebih stabil	Kontrol hidraulik penting dalam sistem elektrokoagulasi
6.	Apema et al. (2023)	Biofilter ( <i>Bioball</i> Sarang Tawon)	vs COD, Deterjen	<i>Bioball</i> lebih efektif dibanding sarang tawon	<i>Bioball</i> memiliki efisiensi tinggi karena permukaan besar
7.	Hidayat & Sari (2020)	Biofilter ( <i>Bioball</i> Aerasi)	+ COD, Deterjen	Aerasi meningkatkan degradasi polutan oleh biofilm	Kombinasi aerasi dan <i>bioball</i> sangat efektif
8.	Rahmawati & Prasetyo (2019)	Biofilter ( <i>Bioball</i> Genteng)	vs Deterjen, COD	<i>Bioball</i> lebih unggul dari genteng dalam efisiensi pengolahan	<i>Bioball</i> lebih cocok untuk pengolahan deterjen

Sumber: Data Skunder 2025

## 2.5 Metode Penelitian

### 2.5.1 Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan menggunakan desain eksperimen untuk Menganalisis waktu tinggal optimum yang dibutuhkan dalam pengolahan limbah *laundry* skala kecil dengan teknologi elektrokoagulasi kombinasi biofilter media *bioball*. Dalam penelitian ini menggunakan rancangan one group pretest-posttest. Pengukuran dilakukan replikasi atau pengulangan sebanyak tiga kali baik sebelum maupun sesudah perlakuan untuk mendapatkan ketepatan dan hasil yang konsisten, sehingga pengaruh faktor luar dapat dikurangi.



**Gambar 2.** Desain Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan eksperimen tentang pengolahan limbah *laundry* dengan metode Elektrokoagulasi dan Biofilter media *bioball* dalam penurunan parameter fisik (TSS) dan parameter Kimia (Fosfat, BOD dan COD) kemudian hasil pengolahan diambil dalam rentan waktu 2, 4, 6, 8, 10 dan 12 jam untuk melihat waktu tinggal optimum pada reaktor. Terdapat 3 buah reaktor yaitu reaktor A (Elektrokoagulasi), B (Biofilter *Bioball*) dan C (Kombinasi). Air limbah *laundry* sebelumnya akan dilakukan pemeriksaan awal. Kemudian dilakukan pengolahan dimulai dengan masuknya limbah *laundry* melalui inlet reaktor kemudian kontak dengan reaktor A, B dan C dan akan keluar melalui outlet dengan waktu tinggal 2, 4, 6, 8, 10 dan 12 jam. Setelah itu akan dilakukan

pemeriksaan setelah pengolahan dan menghitung presentase penurunan parameter fisik dan kimia. Dalam penelitian akan dilakukan 3 kali replikasi untuk memastikan bahwa hasil penelitian bukan kebetulan atau terjadi karena faktor yang tidak terkontrol.

### 2.5.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian bertempat di laboratorium terapan dan Teknologi Kesehatan Lingkungan, dan di analisis di Laboratorium Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Makassar jurusan Kesehatan Lingkungan dan Balai Labkesmas Makassar Kementerian Kesehatan, sedangkan sampel limbah yang digunakan dalam penelitian akan dilakukan rekayasa pembuatan limbah *laundry* berdasarkan karakteristik limbah *laundry* yang tidak memenuhi syarat baku mutu. Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus sampai Oktober 2025.

### 2.5.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan bertujuan untuk memudahkan dalam pengambilan sampel lapangan yang memiliki fungsi tertentu yang berkaitan dengan kebutuhan penelitian serta pengolahan data hasil pengamatan. Alat dan bahan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

**Tabel 2.** Alat yang digunakan dalam uji coba reaktor beserta kegunaannya

No.	Alat	Kegunaan
1	Reaktor Elektrokoagulasi	Wadah proses koagulasi listrik untuk mengikat dan mengendapkan polutan
2	Reaktor Biofilter <i>Bioball</i>	Wadah berlangsungnya filtrasi biologis menggunakan biofilm pada <i>bioball</i>
3	Power Suply	Menyediakan arus listrik untuk proses elektrokoagulasi.
4	Elektroda (Aluminium)	Menghasilkan ion koagulan selama proses elektrolisis.
5	Jerigen	Menampung dan menyimpan limbah atau air hasil pengolahan.
6	Botol Sampel	Menyimpan sampel limbah untuk analisis laboratorium
7	Botol Winkler	Mengambil sampel untuk pengukuran DO/BOD metode Winkler.
8	pH meter	Mengukur tingkat keasaman atau kebasaaan limbah.
9	<i>Bioball</i>	Media tempat tumbuh mikroorganisme untuk proses biofiltrasi.
10	Stopwatch	Mengukur waktu proses pengolahan atau durasi perlakuan.

**Tabel 3.** Bahan yang digunakan dalam uji coba reaktor beserta kegunaannya

No	Bahan	Kegunaan
1	Air Limbah <i>Laundry</i>	Sampel utama yang akan diolah.
2	Bakteri Starter	Sebagai inokulum mikroorganisme dalam proses biofilter <i>bioball</i> atau reaktor biologis

3	Air Sumur	Digunakan sebagai media pertumbuhan awal bakteri pada reaktor biofilter <i>bioball</i>
4	Molase	Digunakan sebagai sumber makanan (karbon) bagi bakteri dalam reaktor biofilter <i>bioball</i> .

**Tabel 4.** Alat yang digunakan dalam pemeriksaan laboratorium beserta kegunaannya

No	Alat	Kegunaan
1	Oven pengering	Mengeringkan sampel/filter
2	Timbangan analitik	Menimbang presisi tinggi
3	Pompa vakum	Mempercepat penyaringan
4	Desikator	Mendinginkan/filter kering
5	Erlenmeyer	Wadah reaksi/titrasi
6	Spektrofotometer UV-Vis	Mengukur absorbansi larutan
7	Kuvet kaca	Wadah sampel spektrofotometer
8	Pipet volumetri	Mengukur volume presisi
9	Aerator	Menghomogenkan sampel/bantu O <sub>2</sub>
10	Inkubator BOD	Inkubasi BOD 5 hari
11	Buret	Titrasi presisi
12	Pemanas listrik	Refluks sampel COD
13	Beker gelas	Menampung/mencampur larutan
14	Gelas Ukur	Mengukur volume larutan

**Tabel 5.** Bahan yang digunakan dalam pemeriksaan laboratorium beserta kegunaannya

No	Bahan	Kegunaan
1	Sampel (Air Limbah <i>Laundry</i> setelah pengolahan)	Objek uji (BOD, COD, TSS, Fosfat)
2	Air suling / aquadest / deionized water	Pelarut atau pengencer reagen/sampel
3	Kertas saring glass-fiber	Menyaring padatan tersuspensi (TSS)
4	Larutan Ammonium Molybdate Solution	Reagen pembentukan warna fosfat
5	Larutan Ascorbic Acid (Asam Askorbat)	Mereduksi molibdat menjadi warna biru (fosfat)
6	Larutan Standar Fosfat (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	Sebagai larutan kalibrasi / standar fosfat
7	Larutan Sulfuric Acid (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) 5N	Media asam reaksi fosfat
8	Air Pengencer	Mengencerkan sampel BOD
9	Larutan pereaksi oksigen	Membentuk iodine untuk titrasi BOD
10	Larutan mangan sulfat (MnSO <sub>4</sub> , 1 N)	Membentuk endapan Mn(OH) <sub>2</sub> pada BOD
11	Larutan Asam sulfat pekat (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 50%)	Melarutkan endapan, media asam COD
12	Larutan natrium tiosulfat (Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , standar, 0,025 N	Menitrasi iodine BOD
13	Larutan Amylum/Indikator pati	Menandai titik akhir titrasi BOD

14	Larutan Kalium Dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) 0,25 N	Oksidator utama COD
15	Larutan Asam Sulfat Pekat ( $H_2SO_4$ ) + Perak Sulfat ( $Ag_2SO_4$ )	Media asam dan katalis COD
16	Larutan Merkuri sulfat ( $HgSO_4$ )	Mengikat ion $Cl^-$ pada COD
17	Larutan FAS (Ferrous Ammonium Sulfate) 0,1 N	Menitrasi kelebihan $K_2Cr_2O_7$ pada COD
18	Larutan Indikator Ferroin	Menandai titik akhir titrasi COD
19	APD	Melindungi peneliti dari bahan kimia

## 2.5.4 Instrumen Penelitian

### Reaktor Elektrokoagulasi

Rancangan reaktor elektrokoagulasi pada penelitian ini menggunakan material plastik berbentuk box dengan kapasitas pengolahan 60 liter ( $0,06 \text{ m}^3$ ). Jenis elektroda yang digunakan adalah aluminium (Al) berbentuk plat dengan dimensi  $30 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ . Dengan demikian, luas permukaan satu elektroda adalah:

$$0,30 \text{ m} \times 0,40 \text{ m} = 0,12 \text{ m}^2$$

Elektroda disusun secara sejajar dengan jarak antar elektroda sebesar 5 cm, yang berfungsi untuk menjaga kestabilan aliran arus listrik serta meningkatkan efisiensi proses koagulasi. Tegangan listrik yang diberikan selama proses elektrokoagulasi adalah 13,8 volt, yang berperan dalam melarutkan ion aluminium ( $Al^{3+}$ ) dari anoda untuk membentuk koagulan di dalam air limbah. Debit aliran limbah yang diterapkan pada reaktor elektrokoagulasi adalah 0,5 liter/menit atau setara dengan  $0,0005 \text{ m}^3/\text{menit}$ . Berdasarkan volume reaktor dan debit aliran tersebut, maka waktu tinggal hidraulik (Hydraulic Retention Time/HRT) dapat dihitung sebagai berikut:

$$HRT = \frac{60 \text{ liter}}{0,5 \text{ liter/menit}} = 120 \text{ meni}$$

Berikut adalah alat yang digunakan dalam reaktor elektrokoagulasi:



(A) Power Suply, (B) Box Plastik, (C) Plat Aluminium

**Gambar 3.** Rancangan Reaktor Elektrokoagulasi

### Reaktor Biofilter *Bioball*

Rancangan reaktor biofilter *bioball* pada penelitian ini menggunakan material plastik berbentuk box dengan kapasitas pengolahan 60 liter ( $0,06 \text{ m}^3$ ). Jenis media biofilter yang digunakan adalah *bioball* bulat tipe golf. *Bioball* tipe golf memiliki luas permukaan spesifik yaitu sekitar  $\pm 150 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Jumlah media yang digunakan dalam reaktor adalah 300 *bioball*. Secara geometris, *bioball* tipe golf memiliki diameter 4 cm, sehingga volume satu *bioball* dapat diperkirakan sebesar  $0,0000335 \text{ m}^3$  ( $\pm 0,0335$  liter). Dengan demikian, volume total media *bioball* dalam reaktor adalah:

$$300 \times 0,0000335 = 0,010 \text{ m}^3 \approx 10 \text{ liter}$$

Berdasarkan volume media tersebut dan luas permukaan spesifik *bioball* sebesar  $\pm 150 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , maka luas permukaan total media biofilter dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Luas permukaan total media} = 150 \text{ m}^2/\text{m}^3 \times 0,010 \text{ m}^3 = 1,5 \text{ m}^2$$

Sebelum dilakukan pengolahan air limbah, terlebih dahulu dilakukan penumbuhan mikroorganisme pada reaktor biofilter dengan menambahkan bakteri starter untuk memaksimalkan pembentukan biofilm. Apabila telah terbentuk lapisan biofilm yang menyelimuti media *bioball*, maka reaktor biofilter dinyatakan siap digunakan untuk proses pengolahan air limbah *laundry*. Berikut adalah alat yang digunakan dalam reaktor biofilter:



(A) *Bioball* Bulat Golf, (B) *Box Plastik*, (C) *Starter Bakteri*

**Gambar 4.** Rancangan Reaktor Biofilter *Bioball*

### Waktu Tinggal

Untuk mengetahui pengaruh waktu tinggal, pada penelitian ini dilakukan pengambilan dan pengukuran sampel setelah proses pengolahan dengan variasi waktu tinggal 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 jam. Variasi waktu tinggal tersebut digunakan untuk menentukan waktu yang paling efisien dalam pengolahan limbah *laundry* setelah melalui proses elektrokoagulasi dan biofilter *bioball*.

### Pemeriksaan Laboratorium

#### 1. Prosedur Pemeriksaan TSS

Pemeriksaan Total Suspended Solids (TSS) dilakukan dengan metode gravimetri menggunakan kertas saring glass-fiber. Kertas saring glass-fiber

terlebih dahulu dikeringkan dalam oven pada suhu 103–105°C hingga mencapai berat tetap, kemudian ditimbang sebagai berat awal ( $W_1$ ). Selanjutnya, kertas saring dipasang pada corong filtrasi yang terhubung dengan pompa vakum. Sampel air limbah dengan volume tertentu ( $\pm 100$ –500 mL) dituangkan secara perlahan melalui kertas saring hingga seluruh volume tersaring. Sisa sampel yang masih terdapat dalam beaker dibilas menggunakan air suling dan dialirkan kembali melalui filter untuk memastikan seluruh padatan tersuspensi tertangkap. Setelah proses filtrasi selesai, kertas saring yang mengandung residu dipindahkan ke dalam oven dan dikeringkan kembali pada suhu 103–105°C selama  $\pm 1$  jam atau hingga mencapai berat tetap. Kertas saring kemudian didinginkan di dalam desikator untuk menghindari penyerapan uap air dari udara, lalu ditimbang sebagai berat akhir ( $W_2$ ). Apabila berat belum stabil, proses pengeringan dan penimbangan diulangi hingga diperoleh berat konstan. Nilai TSS selanjutnya dihitung dalam satuan mg/L berdasarkan selisih berat kertas saring sebelum dan sesudah filtrasi terhadap volume sampel yang disaring. Hitung TSS (mg/L) menggunakan rumus:

$$\text{TSS} = \frac{W_2 - W_1}{V} \times 1000$$

$W_1$  = berat filter kosong (g)

$W_2$  = berat filter + residu (g)

$V$  = volume sampel disaring (mL)

## 2. Prosedur Pemeriksaan Fosfat

Pemeriksaan kadar fosfat dilakukan dengan metode spektrofotometri menggunakan reaksi pembentukan kompleks biru molibdenum. Sampel air limbah diambil dalam volume tertentu (misalnya 25 mL) dan dimasukkan ke dalam labu ukur atau wadah reaksi. Selanjutnya ditambahkan larutan ammonium molybdate sesuai petunjuk metode, serta larutan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 5N sebagai media reaksi asam. Setelah itu, larutan asam askorbat ditambahkan hingga terbentuk perubahan warna menjadi biru, yang menandakan terbentuknya kompleks biru molibdenum fosfat. Larutan kemudian didiamkan selama  $\pm 10$ –15 menit untuk memastikan reaksi berlangsung sempurna. Secara paralel, disiapkan larutan standar fosfat dengan beberapa variasi konsentrasi yang diketahui. Pengukuran absorbansi sampel dan larutan standar dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 880 nm. Selanjutnya dibuat kurva kalibrasi dari hubungan antara konsentrasi standar dan nilai absorbansi, yang digunakan untuk menghitung konsentrasi fosfat dalam sampel berdasarkan nilai absorbansi yang diperoleh. Hasil pengukuran kemudian dicatat dan diolah sebagai data penelitian.

## 3. Prosedur Pemeriksaan BOD

Pemeriksaan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dilakukan dengan metode inkubasi lima hari ( $\text{BOD}_5$ ) menggunakan prinsip titrasi iodometri. Sampel air limbah terlebih dahulu diambil dan diencerkan apabila diperkirakan memiliki konsentrasi BOD yang tinggi, agar berada dalam rentang pengukuran yang sesuai. Sampel kemudian dimasukkan ke dalam botol BOD, selanjutnya ditambahkan larutan mangan(II) sulfat ( $\text{MnSO}_4$ ) dan larutan alkali iodida-azida untuk membentuk endapan mangan hidroksida [ $\text{Mn}(\text{OH})_2$ ]. Setelah reaksi

berlangsung, ditambahkan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) pekat hingga endapan larut sempurna dan pH larutan turun hingga kurang dari 2, sehingga terbentuk iodin ( $I_2$ ) yang sebanding dengan kandungan oksigen terlarut dalam sampel. Botol BOD kemudian ditutup rapat dan diinkubasi dalam kondisi gelap pada suhu  $20^\circ C$  selama 5 hari. Setelah masa inkubasi selesai, dilakukan titrasi terhadap iodin yang terbentuk menggunakan larutan natrium tiosulfat ( $Na_2S_2O_3$ ) standar dengan indikator pati hingga warna biru hilang, menandakan titik akhir titrasi. Selisih kadar oksigen terlarut sebelum dan sesudah inkubasi digunakan untuk menghitung nilai  $BOD_5$  sampel air limbah. Hitung  $BOD_5$  (mg/L) dengan rumus:

$$BOD_5 = \frac{(V_{blanko} - V_{Sampel}) \times N \times 8}{Volume\ Sampel\ (ml)} \times 1000$$

#### 4. Prosedur Pemeriksaan COD

Pemeriksaan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dilakukan dengan metode reflus tertutup menggunakan oksidator kalium dikromat. Sampel air limbah dimasukkan ke dalam labu reflus, kemudian ditambahkan merkuri(II) sulfat ( $HgSO_4$ ) untuk menetralkan ion klorida yang dapat mengganggu reaksi oksidasi. Selanjutnya ditambahkan larutan kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) 0,25 N sebagai oksidator, serta campuran asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) dan perak sulfat ( $Ag_2SO_4$ ) yang berfungsi sebagai media asam dan katalis reaksi oksidasi. Labu kemudian dipasang pada kondensor dan dilakukan proses reflus selama  $\pm 2$  jam untuk mengoksidasi senyawa organik dalam sampel secara maksimal. Setelah proses reflus selesai, larutan didinginkan hingga suhu ruang dan dipindahkan ke dalam erlenmeyer. Sisa kalium dikromat yang tidak bereaksi kemudian dititrasi menggunakan larutan ferrous ammonium sulfate (FAS) 0,1 N dengan indikator ferroin hingga terjadi perubahan warna yang menandai titik akhir titrasi. Nilai COD sampel selanjutnya dihitung dalam satuan mg/L berdasarkan selisih jumlah oksidator sebelum dan sesudah reaksi oksidasi sesuai dengan rumus perhitungan yang digunakan dalam metode standar. Masukkan sampel air limbah ke dalam labu reflus. Hitung COD (mg/L) menggunakan rumus:

$$COD = \frac{(V_{blanko} - V_{Sampel}) \times N \times 8000}{Volume\ Sampel\ (ml)}$$

## 2.6 Metode Pengumpulan Data

### 2.6.1 Sumber Data

Data yang digunakan adalah data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil eksperimen dan hasil analisis sampel limbah *laundry*, sedangkan data sekunder diperoleh dari penelusuran pustaka.

**Tabel 6.** Sumber Data

No.	Komponen Data	Jenis Data	Teknik Pengumpulan
1.	<b>Parameter Limbah</b>		
	TSS	Primer	Workshop/ Laboratorium
	Fosfat	Primer	Workshop/ Laboratorium
	COD	Primer	Workshop/ Laboratorium
	BOD	Primer	Workshop/ Laboratorium

2.	<b>Standar Pengujian Sampel</b>	Sekunder	Studi Pustaka
3.	<b>Standar Baku Mutu</b>	Sekunder	Permen LH No. 5 Tahun 2014 dan PP No. 22 Tahun 2021

**Tabel 7.** Standar Baku Mutu

Parameter	Satuan	Standar Baku Mutu
TSS	mg/L	100
Fosfat	mg/L	0,2
COD	mg/L	100
BOD	mg/L	100

Sumber : Permen LH No.5 2014 dan PP No.22 Tahun 2021

### 2.6.1 Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan data dilakukan secara manual atau bantuan komputerisasi yang kemudian disajikan dalam bentuk table dan grafik berdasarkan hasil laboratorium. Hasil parameter fisik (TSS), parameter Kimia (Fosfat, BOD dan COD) akan disajikan beserta waktu tinggal optimum dengan melihat standar baku mutu kemudian dianalisis secara deskriptif.

### 2.6.2 Penyajian Data

Hasil penelitian akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk menggambarkan penurunan parameter fisik (TSS), parameter Kimia (Fosfat, BOD dan COD) pada reaktor A (Elektrokoagulasi), Reaktor B (Biofilter *Bioball*) dan C (Kombinasi) dilengkapi dengan waktu tinggal yang ditentukan.

## 2.7 Hasil Dan Pembahasan

### 2.7.1 Kualitas Limbah *laundry* Sebelum Perlakuan

Kualitas limbah yang dihasilkan dari kegiatan *laundry* terutama pada *laundry* berskala kecil memiliki karakteristik yang bervariasi. Secara umum, limbah *laundry* mengandung campuran dari bahan organik dan anorganik, serta berbagai detergen dan surfaktan yang digunakan selama proses pencucian. Secara fisik pada limbah *laundry* sering kita temui berisi padatan tersuspensi (TSS) yang dapat mempengaruhi kualitas air (Ng et al., 2024). Adapun pada pengukuran kualitas kimia dari limbah *laundry* mencakup beberapa parameter, diantaranya BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), pH, serta konsentrasi nutrient seperti nitrat dan fosfat (Collin et al., 2021). Sustainable Wastewater Management in Industrial Laundries menyebutkan bahwa limbah *laundry* umumnya memuat padatan tersuspensi tinggi, surfaktan, fosfat, bahan organik dan senyawa anorganik lainnya; kondisi tersebut menjadikan air limbah ini “poly-kontaminan” dan berpotensi mencemari badan air bila tidak diolah (Prochazkova & Máša, 2022).

Berdasarkan data yang diperoleh melalui pengukuran laboratorium yang dilakukan secara langsung, diperoleh hasil pengukuran parameter fisik (TSS), parameter kimia (Fosfat, BOD dan COD) adalah sebagai berikut :

**Tabel 8.** Hasil Pengukuran Sebelum Perlakuan

No	Parameter	Hasil	Standar Baku Mutu (Permen LH No.5 Tahun 2014) & PP No.22 Tahun 2021	Ket
1	TSS	80 mg/L	100	MS
2	Fosfat	55 mg/L	0,2	TMS
3	COD	560 mg/L	100	TMS
4	BOD	230 mg/L	100	TMS

Sumber : Data Primer (2025)

Ket : \*MS (Memenuhi Syarat)

\*TMS (Tidak Memenuhi Syarat)

Setelah melakukan pengukuran, diperoleh hasil seperti yang tertera pada **tabel 8** Pada parameter TSS diperoleh hasil 80 mg/L, pada parameter fosfat diperoleh hasil 55 mg/L, pada pengukuran BOD diperoleh hasil 560 mg/L, dan pada pengukuran BOD diperoleh hasil 230 mg/L. Berdasarkan hasil keempat parameter tersebut hanya ditemukan 1 parameter yang memenuhi syarat Standar Baku Mutu Permen LH No. 5 Tahun 2014 tentang Standar Baku Mutu Air Limbah yakni pada parameter TSS yang memperoleh hasil 80 mg/L dengan standar baku mutu 100 mg/L, sedangkan ketiga parameter lainnya yaitu Fosfat, COD, dan BOD melebihi Standar Baku Mutu Permen LH No. 5 Tahun 2014 tentang Standar Baku Mutu Air Limbah.

Pengukuran *Total Suspended Solids* (TSS) pada air limbah *laundry* adalah bagian penting dari analisis kualitas air yang bertujuan untuk mengevaluasi dampak limbah terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat. TSS merujuk pada partikel padatan yang terangkat dan terdispersi dalam air, yang dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk kegiatan *laundry*. Dalam konteks ini, terdapat berbagai metode dan hasil penelitian yang relevan untuk menunjang pemahaman dan pengukuran TSS dalam air limbah *laundry*.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi keberadaan TSS pada limbah *laundry*, yang pertama adalah karakteristik dari bahan baku yang dicuci misalnya, kain sintesis yang dapat berdampak pada peningkatan jumlah serat yang terekspos ke dalam air limbah yang dapat menyebabkan limbah cair memiliki tingkat kekeruhan yang tinggi. Selanjutnya, teknik pencucian yang digunakan dimana pada industri *laundry* juga memiliki efek yang signifikan yaitu apabila metode yang digunakan tdk efisien dapat menyebabkan deetergen dan kotoran tidak terlisik dengan baik sehingga menyebabkan kualitas air limbah menjadi semakin buruk (Nascimento et al., 2019). Selain itu faktor lain yang juga mempengaruhi keberadaan TSS adalah volume penggunaan air selama proses pencucian yang memiliki peran penting dalam konsentrasi TSS. Secara umum, semakin banyak air yang digunakan dapat membantu melarutkan kotoran dan detergen (Rahendaputri et al., 2022).

Pada pengukuran fosfat dalam penelitian ini ditemukan hasil pengukuran yang melebihi Standar Baku Mutu Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Standar Baku Mutu Air Nasional yakni pada parameter fosfat (sebagai P) diperoleh hasil pengukuran sebesar 55 mg/L dengan standar baku mutu 0,2 mg/L. Tingginya nilai fosfat pada air limbah *laundry* menjadi masalah lingkungan yang signifikan, terutama pada *laundry* skala kecil yang sering tidak dilengkapi dengan sistem pengolahan limbah yang efisien. Kandungan fosfat dalam limbah

*laundry* juga kerap melampaui ambang aman ketika dilepas ke lingkungan, dan ini memicu risiko eutrofikasi di badan air penerima yaitu pertumbuhan alga yang cepat, penurunan oksigen terlarut, dan gangguan keseimbangan ekosistem. Oleh karena itu, pembuangan limbah *laundry* tanpa perlakuan terlebih dahulu berpotensi menyebabkan polusi air dan kerusakan lingkungan secara jangka panjang (grégorio et al., 2024).

Tingginya kandungan fosfat pada penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Indah et al., 2022) menunjukkan di beberapa daerah, kadar fosfat dalam air limbah *laundry* dilaporkan mencapai 30,2 mg/L di Yogyakarta dan 159,32 mg/L di Kota Malang, Jawa Timur, jauh melebihi batas baku mutu yang ditetapkan. Hal ini menjadikan limbah *laundry* yang dibuang langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu berpotensi besar untuk menyebabkan pencemaran ekosistem perairan, seperti fenomena eutrofikasi (Pramastya & Rosariawari, 2023).

Pada pengukuran BOD dan COD dalam penelitian ini ditemukan hasil yang melebihi Standar Baku Mutu Permen LH No. 5 Tahun 2014, berdasarkan Tabel 2.1 besarnya kandungan COD yang diperoleh adalah sebesar 560 mg/L dengan standar baku mutu sebesar 100 mg/L dan pada hasil pengukuran BOD diperoleh hasil sebesar 230 mg/L dengan standar baku mutu sebesar 100 mg/L.

Studi yang dipublikasikan di jurnal internasional menunjukkan bahwa konsentrasi COD dan BOD pada *laundry wastewater* seringkali sangat tinggi: misalnya, pada salah satu penelitian nilai rata-rata yang diukur mencapai sekitar  $835 \pm 176$  mg/L untuk COD dan  $445 \pm 114$  mg/L untuk BOD<sub>5</sub>. Tingginya kadar organik ini menggambarkan beban pencemar yang serius, serta menunjukkan bahwa air limbah tersebut mengandung sebagian besar bahan yang mudah terurai secara biologis, meskipun ada juga komponen seperti surfaktan yang sulit terdegradasi (Lacalamita et al., 2024).

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Braga & Varesche, 2014) menunjukkan kadar COD sekitar 4800 mg/L untuk air limbah *laundry*, yang menandakan potensi pencemaran yang besar. Adapun penelitian lain yang dilakukan oleh (Akhree & Chukwuka, 2023) mencatat bahwa kadar COD dan BOD pada limbah dari industri *laundry* seringkali kali melebihi batas yang ditetapkan oleh standar lingkungan, yang mengindikasikan perlunya tindakan pengolahan. Dengan melihat karakteristik kualitas limbah sebelum perlakuan khususnya tingginya TSS, BOD, COD, dan fosfat maka menjadi sangat jelas bahwa diperlukan sistem pengolahan yang memadai. Sistem tersebut idealnya dapat menurunkan beban organik dan anorganik secara signifikan, sebelum limbah dibuang ke lingkungan, guna mencegah dampak negatif terhadap kualitas air dan ekosistem (Melián et al., 2023).

### **2.7.2 Kualitas Fisik (TSS) Limbah *Laundry* Setelah Perlakuan**

Sifat fisik limbah *laundry* ditentukan oleh derajat kekotoran yang mudah dilihat, parameter ini meliputi kandungan zat padat sebagai efek estetika dan kejernihan serta bau, warna dan temperature. TSS merupakan padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut dan tidak dapat mengendap secara langsung. Padatan tersuspensi terdiri dari partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari sedimen (Widyaningsih, 2023). Kadar TSS yang tinggi dapat menyebabkan berbagai masalah lingkungan, seperti pencemaran air dan

pertumbuhan alga berlebih, yang mempengaruhi ekosistem perairan (Ruhela et al., 2023).

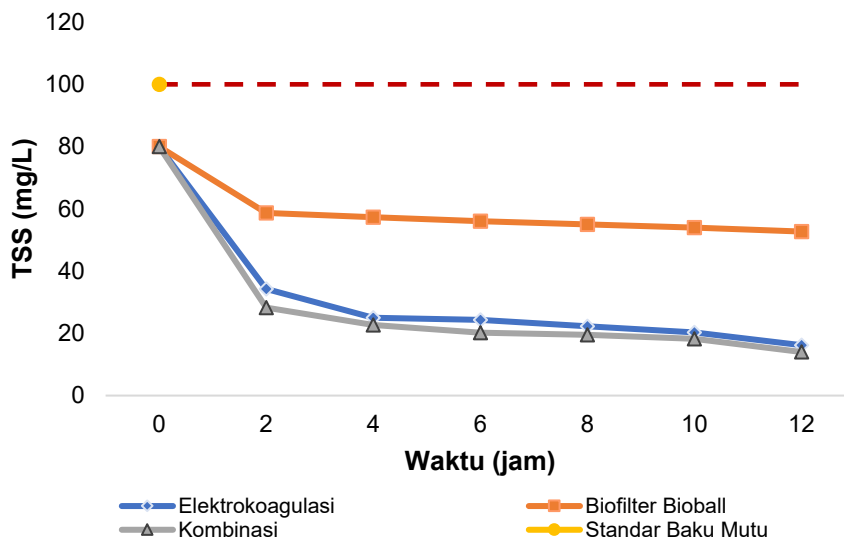
TSS mengacu pada semua partikel padat yang tersuspensi dalam air, termasuk serat pakaian, sisa deterjen, dan material organik lainnya. Penggunaan elektrokoagulasi (EC), biofilter *bioball*, dan kombinasi dari keduanya merupakan metode yang dapat digunakan dalam menurunkan kadar TSS yang ada pada limbah *laundry*. Setelah dilakukan ketiga perlakuan tersebut dengan menggunakan waktu percobaan yang bervariasi yakni 2 jam, 4 jam, 6 jam, 8 jam, 10 jam, dan 12 jam. Berdasarkan hasil pengukuran setelah dilakukan perlakuan terhadap ketiga metode tersebut diperoleh hasil penurunan kadar TSS seperti pada gambar berikut:

**Tabel 9.** Hasil Penurunan Kadar TSS Setelah Perlakuan

Volume (liter)	Waktu Kontak (jam)	Elektrokoagulasi (mg/L)	Biofilter <i>Bioball</i> (mg/L)	Kombinasi (mg/L)	Standar Baku Mutu
60	0	80	80	80	100 mg/L
60	2	34.3	58.7	28.3	
60	4	25	57.3	22.7	
60	6	24.3	56	20.2	
60	8	22.3	55	19.5	
60	10	20.3	54	18.2	
60	12	16.2	52.7	14	

Sumber : Data Primer (2025)

Ket : \* Standar Baku Mutu (Permen LH No.5 Tahun 2014) & PP No.22 Tahun 2021



**Gambar 5.** Penurunan TSS Pada 3 Jenis Reaktor

Berdasarkan **tabel 9** dan **gambar 5** menunjukkan bahwa hasil pengukuran TSS pada penelitian ini menunjukkan hasil sebesar 80 mg/L yang dimana kandungan TSS pada limbah *laundry* tersebut berada dibawah standar baku mutu (Permen LH No.5 Tahun 2014) & PP No.22 Tahun 2021. Setelah dilakukan pengolahan dengan menggunakan tiga metode berbeda, yakni :

elektrokoagulasi, *biofilter bioball*, dan kombinasi diperoleh hasil ketiga metode tersebut mampu menurunkan *Total Suspended Solids* (TSS), tetapi dengan efektivitas yang berbeda. Metode elektrokoagulasi dan kombinasi menunjukkan penurunan TSS yang paling cepat dan paling besar, dari 80 mg/L menjadi masing-masing 16,2 mg/L dan 14 mg/L pada jam ke-12.

Hal ini sesuai dengan prinsip elektrokoagulasi yang sangat efektif dalam mengendapkan partikel tersuspensi melalui proses koagulasi dan flokulasi. Metode kombinasi memberikan hasil sedikit lebih baik karena setelah proses pengendapan oleh elektrokoagulasi, biofilter membantu memoles (*polishing*) sisa partikel halus. Sebaliknya, biofilter *bioball* menunjukkan penurunan TSS yang lebih lambat dan tidak terlalu besar, yaitu hanya turun menjadi 52,7 mg/L, karena proses biologis lebih berfokus pada penguraian senyawa organik terlarut daripada menghilangkan partikel padat. Secara keseluruhan, grafik menunjukkan bahwa elektrokoagulasi baik digunakan sendiri maupun dikombinasikan merupakan metode paling efektif untuk menurunkan TSS dibandingkan penggunaan biofilter saja.

Secara umum, dua metode yang paling sering digunakan pada pengolahan limbah *laundry* skala kecil adalah metode elektrokoagulasi dan biofiltrasi. Penelitian menunjukkan bahwa kedua metode ini memiliki efektivitas yang berbeda dalam mengurangi kadar *total suspended solids* (TSS) serta bahan pencemar lainnya seperti *chemical oxygen demand* (COD). Akan tetapi, untuk penurunan kadar yang lebih maksimal dapat dilakukan dengan metode kombinasi (elektrokoagulasi dan biofilter). Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan ketika kedua metode ini dikombinasikan, yaitu elektrokoagulasi diikuti dengan biofilter *bioball*, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa penurunan TSS bisa mencapai 98,1% (Sutama et al., 2025). Kombinasi ini memungkinkan floc yang dihasilkan selama proses elektrokoagulasi untuk lebih mudah ditangkap oleh biofilter, sehingga menghasilkan air dengan kualitas yang jauh lebih baik. Penelitian yang dilakukan oleh Pramastya juga mendemonstrasikan bahwa kombinasi elektrokoagulasi dan adsorpsi efektif dalam mengurangi tidak hanya TSS tetapi juga bahan pencemar lainnya dalam air limbah *laundry* (Pramastya & Rosariawari, 2023).

Metode elektrokoagulasi berfungsi dengan cara menggerakkan ion-ion dari elektroda ke dalam larutan, yang menyebabkan penggumpalan partikel-partikel solid dalam air limbah. Sebuah studi menunjukkan bahwa pengolahan air limbah *laundry* melalui elektrokoagulasi dapat mengurangi TSS hingga 92%, tergantung pada kondisi operasional seperti arus dan waktu kontak. Dalam proses ini, partikel-partikel kecil dalam limbah dapat teragregasi menjadi floc yang lebih besar yang mampu dihilangkan dari air limbah secara lebih efisien (Prabowo et al., 2019).

Pada metode biofilter *bioball*, dalam satu hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan biofilter dengan media *bioball* mampu mengurangi kadar TSS hingga 90%, dengan kondisi operasional yang optimal (Herlina et al., 2019). Efisiensi ini sering kali bergantung pada waktu tinggal dan kecepatan aliran air dalam biofilter, yang menentukan kontak antara limbah dan permukaan media. Sebuah eksperimen dengan variasi waktu tinggal yang berbeda juga menunjukkan bahwa semakin lama waktu tinggal, semakin rendah kadar TSS yang dihasilkan (Apema et al., 2023). Metode alternatif seperti Electrocoagulation (EC) juga terbukti efektif dalam mengendapkan padatan tersuspensi: dalam satu penelitian, EC berhasil mengurangi TSS hingga 87 %

dari kondisi awal (Yengejeh et al., 2017). Kombinasi variasi tegangan, waktu kontak, dan luas pelat elektroda dalam EC memengaruhi efisiensi penurunan TSS secara signifikan (Cahyani & Rosariawari, 2025).

Berdasarkan hasil penelitian tersebut sejalan dengan penelitian ini dimana variasi waktu tinggal pada tiap metode yang dilakukan menunjukkan hasil semakin lama waktu perlakuan pada tiap metode maka kadar TSS yang dihasilkan juga akan semakin rendah. Dengan waktu yang tepat, baik pada elektrokoagulasi maupun biofilter *bioball*, hasil yang didapat akan jauh lebih baik. Pengolahan dengan metode kombinasi menunjukkan potensi terbesar, dan pengaturan waktu yang optimal di setiap tahap sangat penting untuk meraih hasil terbaik dalam pengelolaan limbah *laundry*. Dengan penurunan TSS yang efektif, air limbah keluaran menjadi lebih jernih dan stabil secara fisik kekeruhan menurun, sedimen padat berkurang, sehingga air bekas *laundry* memiliki potensi dampak lingkungan yang lebih kecil jika dibuang ke badan air penerima. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan sebelum pembuangan sangat penting untuk memitigasi risiko pencemaran fisik terhadap ekosistem air.

### 2.7.3 Kualitas Kimia (Fosfat, COD dan BOD) Setelah Perlakuan

Air limbah dari usaha *laundry* skala kecil memiliki dampak yang signifikan terhadap lingkungan, terutama terkait dengan parameter kualitas kimia seperti *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan tingkat fosfat. Parameter-parameter ini merupakan indikator penting dalam menilai potensi pencemaran dan dampak negatifnya terhadap ekosistem perairan. Parameter kimia BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), dan fosfat memainkan peranan penting dalam penilaian dampak lingkungan dari air limbah, terutama dari sektor *laundry*. Ketiga parameter ini memberikan informasi mengenai kualitas air limbah dan potensi pencemarannya terhadap ekosistem perairan.

Efektivitas penurunan COD dan fosfat sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi: parameter seperti pH, densitas arus (*current density*), jarak elektroda, dan waktu kontak pada proses EC. Dengan optimasi faktor-faktor tersebut, pengolahan limbah *laundry* dapat mencapai efisiensi tinggi baik untuk mengurangi nutrisi (fosfat) maupun beban organik (COD) secara signifikan (Boinpally et al., 2023).

Fosfat dalam limbah *laundry* umumnya berasal dari deterjen, di mana konsentrasi fosfat dapat mencapai 70-80% dari komposisi deterjen itu sendiri (Ramadhan et al., 2023). Limbah yang kaya akan fosfat dapat menyebabkan eutrofikasi, yang berdampak buruk pada kualitas tubuh air, seperti menimbulkan pertumbuhan alga berlebih yang dapat mengurangi jumlah oksigen dalam air dan merusak ekosistem akuatik (Budiastuti et al., 2024). Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Ramadhan et al., 2023) diungkapkan bahwa kandungan fosfat dalam limbah *laundry* menjadi salah satu penyebab utama peningkatan bahan organik di dalam air dan dapat memperburuk kondisi kualitas air jika tidak dikelola dengan baik.

Penurunan kandungan fosfat pada limbah *laundry* dapat dilakukan dengan efektif melalui beberapa metode, diantaranya : metode elektrokoagulasi, biofilter *bioball*, dan kombinasi kedua metode tersebut. Setiap metode memiliki keunggulan tersendiri dan dapat digunakan untuk mencapai pengurangan yang lebih tinggi dalam kadar fosfat serta dampak lingkungan yang lebih kecil. Implementasi teknologi ini sangat penting untuk melindungi ekosistem perairan

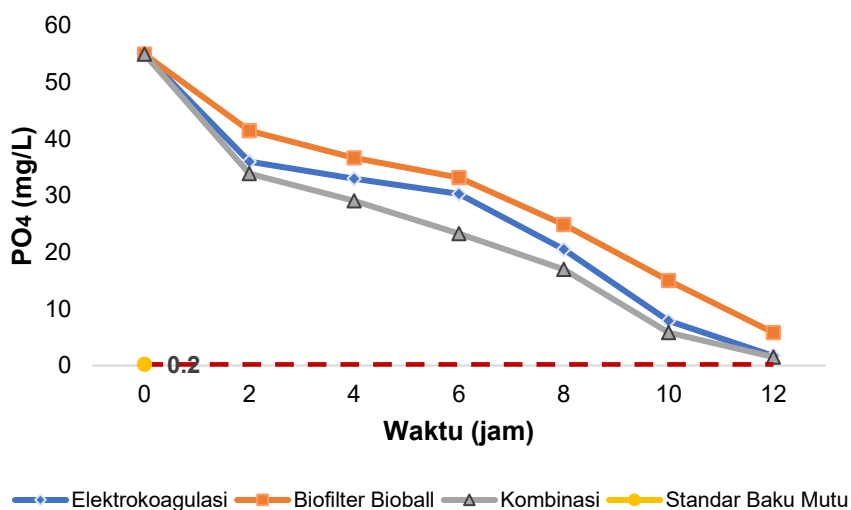
dari pencemaran yang disebabkan oleh polutan fosfat (Li et al., 2024). Berdasarkan data pengukuran penurunan fosfat setelah dilakukan beberapa metode dengan menggunakan perbedaan waktu perlakuan (2, 4, 6, 8, 10, dan 12 jam) diperoleh hasil akhir yang beragam, berkisar antara 1,5 mg/L – 5,8 mg/L. Data penurunan kadar fosfat dapat dilihat pada Tabel berikut :

**Tabel 10.** Hasil Penurunan Kadar Fosfat Setelah Perlakuan

Volume (liter)	Waktu Kontak (jam)	Elektrokoagulasi (mg/L)	Biofilter Bioball (mg/L)	Kombinasi (mg/L)	Standar Baku Mutu
60	0	55	55	55	0.2 mg/L
60	2	36	41.5	33.9	
60	4	33	36.7	29.1	
60	6	30.3	33.2	23.3	
60	8	20.5	24.9	17	
60	10	7.9	15	5.8	
60	12	1.7	5.8	1.5	

Sumber : Data Primer (2025)

Ket : \* Standar Baku Mutu (Permen LH No.5 Tahun 2014) & PP No.22 Tahun 2021



**Gambar 6.** Penurunan Fosfat Pada 3 Jenis Reaktor

Berdasarkan **tabel 10** dan **gambar 6** pada hasil pengukuran kandungan fosfat pada limbah *laundry* yang dilakukan diperoleh hasil pengukuran sebesar 55 mg/L yang menunjukkan angka tersebut berada jauh diatas Standar Baku Mutu (Permen LH No.5 Tahun 2014) & PP No.22 Tahun 2021. Setelah dilakukan pengolahan dengan menggunakan tiga metode berbeda yaitu: elektrokoagulasi, biofilter *bioball*, dan kombinasi diperoleh hasil pada ketiga metode pengolahan tersebut menunjukkan tren penurunan konsentrasi fosfat yang konsisten seiring waktu, namun dengan efektivitas yang berbeda. Meskipun pada pengolahan selama 12 jam belum diperoleh hasil yang menunjukkan penurunan kandungan fosfat yang telah memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan.

Pada metode kombinasi memberikan hasil paling optimal, ditandai dengan penurunan cepat dan paling rendah pada jam ke-12, yaitu 1,5 mg/L, yang

mencerminkan efektivitas gabungan proses koagulasi elektrokimia dan biodegradasi dalam menghilangkan fosfat terlarut secara lebih menyeluruh. Biofilter *bioball* juga menurunkan fosfat secara stabil, namun lebih lambat dibanding kombinasi, dengan nilai akhir 5,8 mg/L, karena proses biologis membutuhkan waktu untuk memanfaatkan fosfat sebagai nutrisi mikroorganisme. Sementara itu, elektrokoagulasi berdiri di posisi tengah dengan penurunan sampai 1,7 mg/L, menunjukkan bahwa proses koagulasi mampu mengendapkan sebagian besar fosfat, namun tetap sedikit kurang efisien dibandingkan metode kombinasi. Secara keseluruhan, grafik menunjukkan bahwa metode kombinasi merupakan teknik paling efektif dalam menurunkan kadar fosfat, diikuti oleh elektrokoagulasi, dan kemudian biofilter *bioball*. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut dapat kita lihat semakin lama waktu pengolahan menunjukkan hasil penurunan kandungan yang semakin tinggi.

Pengurangan kadar fosfat dalam limbah *laundry* menjadi tantangan penting dalam pengelolaan lingkungan, terutama karena kontribusi tinggi fosfat dapat menyebabkan eutrofikasi yang merugikan ekosistem perairan. Berbagai metode, dalam penelitian ini yaitu elektrokoagulasi, biofilter *bioball*, dan kombinasi. Pada ketiga metode tersebut, telah diteliti untuk menurunkan kadar fosfat dalam limbah ini. Pada penggunaan metode biofilter menggunakan media *bioball* menunjukkan kinerja yang baik dalam menurunkan kadar fosfat. Penelitian oleh (Apema et al., 2023) menunjukkan bahwa pemanfaatan media *bioball* dalam biofilter aerob dapat menurunkan total fosfat hingga 69,43% dengan waktu tinggal optimal selama 12 jam dalam pengolahan limbah *laundry*.

Ketika kombinasi kedua metode ini diterapkan, hasilnya cenderung lebih menguntungkan. Penelitian oleh Graça dan Rodrigues menyatakan bahwa penggabungan elektrokoagulasi dengan biofilter dapat meningkatkan efisiensi pengurangan kadar fosfat hingga 98%, menjadikannya solusi yang lebih komprehensif dibandingkan menggunakan masing-masing metode secara terpisah. Kombinasi ini memanfaatkan keuntungan dari elektrokoagulasi sebagai *pre-treatment* untuk mengurangi beban fosfat, sehingga mikroorganisme dalam biofilter dapat bekerja lebih efektif dengan konsentrasi yang lebih rendah (Budihardjo et al., 2023). Penelitian melaporkan bahwa setelah perlakuan (kombinasi metode), kadar fosfat dalam air limbah *laundry* dapat menurun ke tingkat jauh lebih aman, sehingga mengurangi risiko eutrofikasi jika dibuang ke badan air (Ambima et al., 2025). Penurunan fosfat membantu mengurangi beban nutrisi pada air limbah hal ini krusial untuk mencegah ledakan pertumbuhan alga dan penurunan kualitas ekosistem perairan penerima.

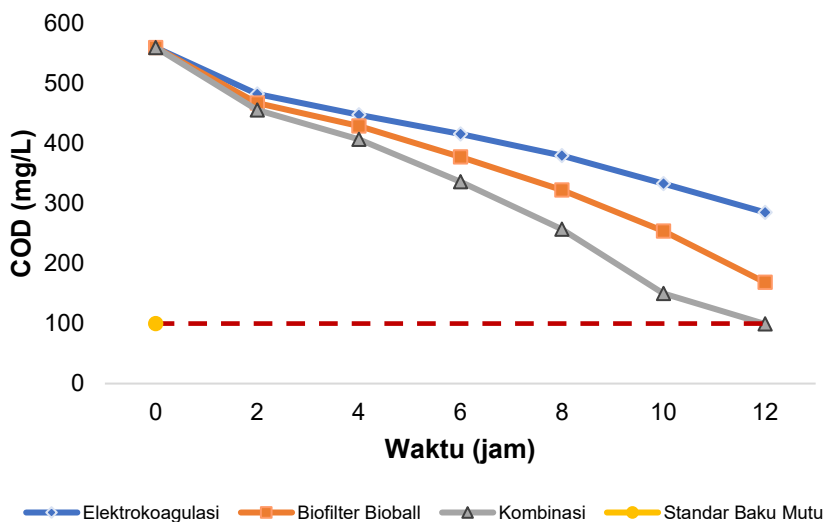
Pada kualitas kimia limbah *laundry* juga ditemukan kandungan berbahaya lainnya yakni COD (*Chemical Oxygen Demand*). Limbah *laundry* mengandung konsentrasi COD yang tinggi, yang sering kali disebabkan oleh senyawa surfaktan dan bahan kimia dalam deterjen yang digunakan. Menurut penelitian oleh (Aa et al., 2017) kadar COD dalam limbah *laundry* dapat sangat tinggi, mencakup pengaruh dari bahan-bahan seperti bahan pengikat fosfat dan surfaktan yang ada dalam deterjen, berkontribusi pada tingginya nilai COD. Berdasarkan hasil pengukuran dari penelitian ini, pada parameter COD juga mengalami penurunan yang cukup signifikan terhadap ketiga metode yang dilakukan dengan menggunakan variasi waktu yang sama terhadap pengukuran parameter lainnya. Adapun penurunan kandungan COD adalah sebagai berikut:

**Tabel 11.** Hasil Penurunan Kadar COD Setelah Perlakuan

Volume (liter)	Waktu Kontak (jam)	Elektrokoagulasi (mg/L)	Biofilter Bioball (mg/L)	Kombinasi (mg/L)	Standar Baku Mutu
60	0	560	560	560	100 mg/L
60	2	482.7	467.3	455.7	
60	4	448	429.3	407	
60	6	415.7	377.7	336.3	
60	8	379.7	322.7	257.3	
60	10	333	254.3	150.3	
60	12	285.3	168.7	99.3	

Sumber : Data Primer (2025)

Ket : \* Standar Baku Mutu (Permen LH No.5 Tahun 2014) & PP No.22 Tahun 2021

**Gambar 7.** Penurunan Kandungan COD Pada 3 Jenis Reaktor

Berdasarkan **tabel 11** dan **gambar 7** menunjukkan hasil pengukuran kandungan COD pada limbah *laundry* diperoleh hasil pengukuran sebesar 560 mg/L yang dimana hasil tersebut berada jauh diatas Standar Baku Mutu (Permen LH No.5 Tahun 2014) & PP No.22 Tahun 2021 yakni sebesar 100 mg/L. Setelah dilakukan pengolahan dengan menggunakan tiga metode berbeda yakni : elektrokoagulasi, biofilter *bioball*, dan kombinasi. Pada ketiga metode pengolahan tersebut menunjukkan hasil efektivitas yang berbeda dalam menurunkan kandungan COD, dengan pola penurunan yang konsisten seiring waktu. Metode kombinasi elektrokoagulasi dan biofilter *bioball* memberikan hasil paling optimal, ditunjukkan oleh penurunan COD yang paling tajam dari 560 mg/L menjadi 99,3 mg/L pada jam ke-12, yang mengindikasikan adanya sinergi antara proses koagulasi-flokulasi dan degradasi biologis. Biofilter *bioball* juga menurunkan COD secara signifikan, namun lebih lambat karena bergantung pada aktivitas mikroorganisme yang bekerja bertahap, sehingga COD tersisa masih mencapai 168,7 mg/L di jam ke-12. Sementara itu, elektrokoagulasi murni memberikan penurunan paling kecil, yaitu hingga 285,3 mg/L, karena proses ini

lebih efektif menghilangkan padatan tersuspensi daripada senyawa organik terlarut. Penurunan COD menunjukkan bahwa bahan organik dari deterjen, kotoran, dan sisa pakaian terikat dalam flok atau dioksidasi/diendapkan, sehingga air hasil perlakuan relatif lebih “bersih” secara kimiawi. Secara keseluruhan, grafik menunjukkan bahwa metode kombinasi adalah teknik yang paling efisien dan komprehensif dalam menurunkan COD dibandingkan dua metode tunggal lainnya.

Kadar BOD (*Biological Oxygen Demand*) pada air limbah *laundry* adalah parameter penting yang digunakan untuk menilai jumlah bahan organik yang terdegradasi dalam air limbah tersebut dan potensi pencemaran terhadap ekosistem perairan. BOD yang tinggi menunjukkan adanya kontaminan organik yang signifikan, yang bisa berasal dari surfaktan yang terkandung dalam deterjen, serta materi padat tersuspensi yang dihasilkan selama proses pencucian. Limbah dari industri *laundry* mengandung berbagai bahan pencemar, dengan kadar BOD yang sering kali melampaui ambang batas yang dapat diterima oleh lingkungan, memberikan dampak berbahaya jika langsung dibuang ke badan air tanpa pengolahan yang layak (Wimbaningrum et al., 2020).

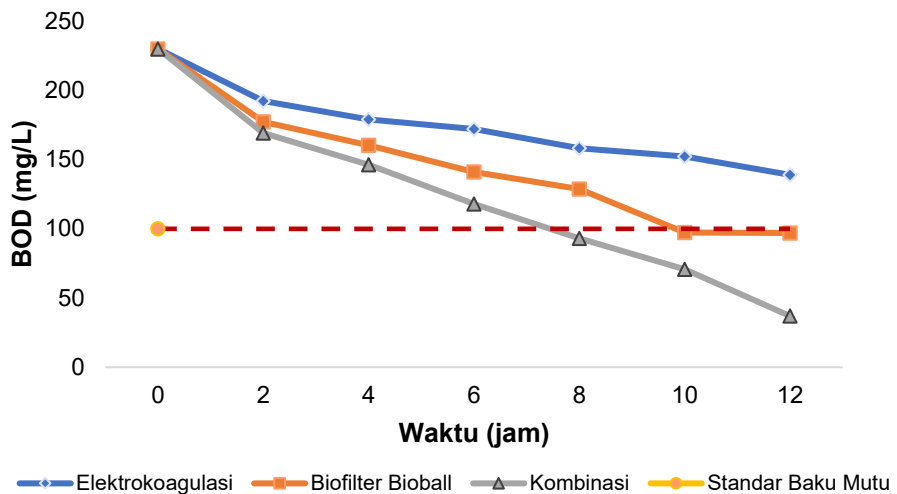
Tingginya kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dalam air limbah *laundry* dapat ditelusuri ke beberapa faktor penyebab, sebagaimana diuraikan dalam penelitian-penelitian terkini. Salah satu penyebab utama adalah keberadaan zat organik yang melimpah, termasuk surfaktan dari deterjen, yang dapat mencapai konsentrasi sangat tinggi dalam air limbah *laundry* (Herlina et al., 2019). Tipe deterjen yang digunakan sangat berpengaruh terhadap kadar BOD limbah *laundry*. Deterjen berbasis fosfat, yang sebelumnya umum digunakan, telah diketahui dapat meningkatkan kadar BOD karena fosfat dapat memicu pertumbuhan alga dan aktivitas mikroba yang cepat, sehingga berujung pada penurunan oksigen dalam badan air di mana limbah dibuang (Akhre & Chukwuka, 2023). Efektivitas penurunan BOD umumnya dipengaruhi oleh parameter operasional, seperti waktu retensi (HRT), kepadatan media biofilm atau media penyaring, serta kondisi lingkungan (oksigen terlarut, pH, suhu). Oleh karena itu, desain sistem pengolahan limbah *laundry* harus mempertimbangkan optimalisasi aspek-aspek tersebut agar penguraian organik bisa maksimal dan BOD dapat diturunkan ke tingkat yang aman sebelum dibuang. Dalam usaha menurunkan kadar BOD pada limbah *laundry* dilakukan percobaan pada tiga metode dengan menggunakan variasi waktu 2-12 jam, adapun hasil penurunan kandungan BOD pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

**Tabel 12.** Hasil Penurunan Kadar BOD Setelah Perlakuan

Volume (liter)	Waktu Kontak (jam)	Elektrokoagulasi (mg/L)	Biofilter Bioball (mg/L)	Kombinasi (mg/L)	Standar Baku Mutu
60	0	230	230	230	100 mg/L
60	2	192.3	177.3	169.3	
60	4	179	160.3	146.3	
60	6	172	141	118	
60	8	158.3	128.7	93	
60	10	152.3	97.3	70.7	
60	12	139	97	37	

Sumber : Data Primer (2025)

Ket : \* Standar Baku Mutu (Permen LH No.5 Tahun 2014) & PP No.22 Tahun 2021



**Gambar 8.** Penurunan Kandungan BOD Pada 3 Jenis Reaktor

**Tabel 12** dan **gambar 8** memperlihatkan penurunan kandungan BOD yang dimana pada hasil pengukuran awal sebelum dilakukan pengolahan diperoleh hasil kandungan BOD sebesar 230 mg/L dimana hasil tersebut melampaui Standar Baku Mutu (Permen LH No.5 Tahun 2014) & PP No.22 Tahun 2021 yakni sebesar 100 mg/L. Setelah dilakukan pengolahan dengan tiga metode berbeda, yakni elektrokoagulasi, biofilter *bioball*, serta kombinasi, penurunan kadar BOD menunjukkan bahwa ketiga metode pengolahan limbah memiliki efektivitas berbeda dalam mengeliminasi beban organik, namun semuanya menunjukkan tren penurunan konsentrasi seiring waktu proses. Metode kombinasi elektrokoagulasi–biofilter menghasilkan penurunan paling signifikan, dari 230 mg/L menjadi 37 mg/L pada jam ke-12. Pada metode kombinasi setelah dilakukan perlakuan selama 8 jam, hasil penurunan yang diperoleh telah mencapai nilai kandungan yang sesuai dengan standar baku mutu yakni tidak lebih dari 100 mg/L. Hal ini mencerminkan adanya mekanisme sinergis antara proses destabilisasi dan pengendapan senyawa organik melalui elektrokoagulasi, yang kemudian diikuti oleh proses biodegradasi oleh mikroorganisme pada biofilter, sehingga beban organik dapat diturunkan secara lebih komprehensif. Biofilter *bioball* juga menunjukkan penurunan bertahap hingga 97 mg/L, sesuai prinsip bahwa proses biologis membutuhkan waktu untuk menguraikan senyawa organik terlarut. Pada hasil pengolahan dengan metode biofilter *bioball* yang dilakukan selama 12 jam juga telah menunjukkan hasil penurunan kadar BOD yang telah memenuhi standar baku mutu. Sementara itu, elektrokoagulasi tunggal menghasilkan penurunan hingga 139 mg/L yang dimana nilai tersebut belum memenuhi standar baku mutu yang telah ditentukan, hal ini menunjukkan bahwa meskipun efektif terhadap senyawa tersuspensi, proses ini kurang optimal terhadap fraksi organik terlarut. Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa penggabungan proses fisik dan biologis menghasilkan efisiensi penghilangan BOD yang paling tinggi dibandingkan penerapan metode tunggal.

Penurunan BOD setelah perlakuan tidak hanya membuat air hasil pengolahan lebih “bersih” secara kimia dan biologis, tetapi juga membantu mengurangi tekanan pencemaran terhadap badan air penerima: dengan beban organik berkurang, risiko penurunan oksigen terlarut (yang bisa mematikan organisme akuatik) menurun, serta beban nutrien/pencemar yang dibawa oleh limbah *laundry* ke lingkungan dapat diminimalkan. Oleh karena itu, penerapan gabungan metode) menjadi langkah penting dalam pengelolaan limbah *laundry*.

## 2.8 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa kombinasi metode elektrokoagulasi dan biofilter media *bioball* efektif dalam mengolah limbah *laundry* skala kecil, terutama dalam menurunkan parameter pencemaran fisik, kimia, dan biologi. Berdasarkan hasil perhitungan, penggunaan elektroda aluminium berkapasitas 60 L dengan luas permukaan 0,12 m<sup>2</sup> serta media *bioball* bervolume ±10 L dengan luas permukaan ±1,5 m<sup>2</sup> pada HRT 120 menit menunjukkan bahwa jumlah dan karakteristik elektroda serta media *bioball* yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi kebutuhan proses elektrokoagulasi dan biofiltrasi dalam pengolahan air limbah *laundry*. Kombinasi luas permukaan yang memadai dan waktu tinggal yang cukup memungkinkan pembentukan koagulan serta pertumbuhan biofilm berlangsung optimal, sehingga rancangan reaktor berpotensi efektif dalam pengolahan air limbah *laundry*. Waktu tinggal yang lebih lama dalam reaktor meningkatkan efisiensi proses pengolahan, dengan penurunan TSS mencapai 98,1%, penurunan COD dan BOD yang signifikan, serta penurunan fosfat hingga 1,5 mg/L pada waktu tinggal 12 jam. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi kedua teknologi ini tidak hanya mengurangi kontaminasi fisik melalui pengendapan padatan tersuspensi, tetapi juga efektif dalam mengurangi bahan pencemar organik dan nutrien seperti fosfat, yang berpotensi menyebabkan eutrofikasi. Oleh karena itu, penerapan kombinasi elektrokoagulasi dan biofilter media *bioball* dengan waktu tinggal yang optimal dapat menjadi solusi yang efektif dan ramah lingkungan untuk pengolahan limbah *laundry*, serta memenuhi standar baku mutu air limbah yang ditetapkan.

## 2.9 Daftar Pustaka

- Aa, A., Rmsr, M., Aa, W., Nr, N., J, M. R., & Mk, A. H. (2017). *Efficiency of Moringa oleifera Seeds for Treatment of Laundry Wastewater*. **103**(06001): 1–8. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710306001>
- Aguilar-ascón, E., Marrufo-saldaña, L., & Barra-hinojosa, J. (2025). *Assessment of tannery effluents quality treated by electrocoagulation and ozonation: Physicochemical and ecotoxicological characterization*. *Idic*. **20**(7): e0328654. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0328654>
- Ahmed, T., Rahman, H., Khan, B., Ahsan, A., Islam, N., & Sergany, M. El. (2024). Evaluation of the impacts of seawater integration to electrocoagulation for the removal of pollutants from textile wastewater. *Environmental Sciences Europe*. **36**(1): 77 <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00896-8>
- Akhere, M. A., & Chukwuka, H. (2023). *Phycoremediation of Laundry Wastewater Using Chlorella vulgaris ( Beijerinck )*. **24**(2): 175–182.

<https://doi.org/10.26538/africanscientist.24.2.20230604>

- Ambima, A. R., Kholif, M. Al, & Fitria, F. L. (2025). *Optimizing Laundry Wastewater Treatment : A Hybrid Approach Using Poly-Aluminum Chloride Coagulation and Activated Carbon Adsorption*. **10**(1): 146–154.  
<http://dx.doi.org/10.12962%2Fj25481479.v10i1.22559>
- Apema, F. D., Rahayu, D. E., Adnan, F., & Waryati. (2023). *Penggunaan Media Sarang Tawon dan Bioball*. **7**(1): 81–89.  
<http://dx.doi.org/10.30872/jtlunmul.v7i1.11809>
- Boinpally, S., Kolla, A., Kainthola, J., Kodali, R., & Vemuri, J. (2023). A state-of-the-art review of the electrocoagulation technology for wastewater treatment. *Water Cycle*. **4**: 26–36.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2023.01.001>
- Braga, J. K., & Varesche, M. B. A. (2014). *Commercial Laundry Water Characterisation*. **5**(1), 8–16. <https://doi.org/10.4236/ajac.2014.51002>
- Budiastuti, H., Badarjihadi, N. S., Purnama, T. D., Widiastuti, E., & Subari. (2024). *Carbonization of rice husk for adsorption of phosphate compounds : Influence of temperature and NaOH activator*. **479**(04004): 1–8.  
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447904004>
- Budihardjo, M. A., Priyambada, I. B., & Purwono, P. (2023). *Presipitasi Nutrient Recovery from Agricultural Waste Water Using Electrocoagulation Process*. **20**(1): 44–52. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v20i1.44-52>
- Cahyani, N. A., & Rosariawari, F. (2025). *Efektifitas Metode Elektrokoagulasi Dengan Penambahan Medan Magnet Dalam Menyisihkan TSS dan COD Air Limbah Industri Rumah Potong Hewan*. **10**(1), 11560–11570.
- Collin, G., Farm, Y. Y., Taufiq-yap, Y. H., Pang, C. K., Nga, J. L. H., & Li-, G. (2021). *Ozonation treatment processes for the remediation of detergent wastewater : A comprehensive review*. **9**(5): 106099.  
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106099>
- Garmini, R., & Zairinayati. (2022). *Penurunan Kadar Fosfat Limbah Cair Usaha Laundry dengan Karbon Aktif Sekam Padi*. **9**(1): 71–76.  
<https://doi.org/10.31935/delima.v9i1.152>
- García-morales, M. A., César, J., Juárez, G., Martínez-gallegos, S., Roa-morales, G., Peralta, E., Martin, E., Barrera-díaz, C., Miranda, V. M., & Blancas, T. T. (2018). *Pretreatment of Real Wastewater from the Chocolate Manufacturing Industry through an Integrated Process of Electrocoagulation and Sand Filtration*. **2018**(1): 1-7.  
<https://doi.org/10.1155/2018/2146751>
- Graça, N. S., & Rodrigues, E. (2022). *The Combined Implementation of Electrocoagulation and Adsorption Processes for the Treatment of Wastewaters*. **4**(4): 1020–1053.

<https://doi.org/10.3390/cleantechnol4040063>

- grégorio, C., Lacalamita, D., Lichtfouse, E., Crini, N., Liu, C., Wilson, L., Picos Corrales, L., Akhere, M., Sotiropoulou, M., Bradu, C., & Mongiovi, C. (2024). Characterization and treatment of industrial *laundry* wastewaters: a review. *Environmental Chemistry Letters*. **22**: 2257–2292.  
<https://doi.org/10.1007/s10311-024-01770-y>
- Habibah, K. A., Wibowo, E., Ulya, N., Rosi, M., & Sutisna. (2025). *Combining Coagulation and Filtration Methods for the Treatment of Laundry Wastewater*. **2942**: 1-7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2942/1/012046>
- Herlina, N., Lubis, M. T., Husin, A., & Putri, I. (2019). *Studies on decreasing Chemical Oxygen Demand ( COD ) on artificial laundry wastewater using anaerobic-aerobic biofilter dipped with bio ball media*. **276**(2019): 1-12  
<https://doi.org/10.1051/mateconf/201927606015>
- Ibrahim, B., & Fahlepi, M. R. (2021). Wastewater Treatment Process From Thawing Of Pindang Industry Using Electrocoagulation. **12**(2): 183–191.  
<https://doi.org/10.24319/jtpk.12.183-191>
- Indah, Shinta, et al (2022). Penyisihan Fosfat dari Air Limbah Artifisial *Laundry* Memanfaatkan Kulit Jagung sebagai Adsorben. Indonesian Journal of Industrial Research. **12**(1): pp. 33-40  
<https://doi.org/10.24960/jli.v12i1.7504.33-40>
- Lacalamita, D., Mongiovi, C., & Crini, G. (2024). Chemical oxygen demand and biochemical oxygen demand analysis of discharge waters from *laundry* industry: monitoring, temporal variability, and biodegradability. *Frontiers in Environmental Science*. **12**: 1387041.  
<https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1387041>
- Li, G., Zheng, B., Zhang, W., Liu, Q., Li, M., & Zhang, H. (2024). *Phosphate Removal Efficiency and Life Cycle Assessment of Different Anode Materials in Electrocoagulation Treatment of Wastewater*. **16**(9): 3836.  
<https://doi.org/10.3390/su16093836>
- Melián, E. P., Santiago, D. E., León, E., Reboso, J. V., & Herrera-Melián, J. A. (2023). Treatment of *laundry* wastewater by different processes: Optimization and life cycle assessment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. **11**(2): 109302.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109302>
- Munandar, A., Nabila, K., & Azizah, R. N. (2023). *Chemical Oxygen Demand ( COD ) and Total Suspended Solid ( TSS ) Removal from Rubber Wastewater Factory Using Electrocoagulation Technique*. **7**(1): 27-31.  
<https://doi.org/10.26554/ijems.2023.7.1.27-31>
- Nasir, F. N., & Titah, H. S. (2024). The Use of Granular Activated Carbon and Zeolite as an Adsorbent to Reduce the Concentration of Phosphate ,

- Chemical Oxygen Demand and Total Suspended Solid in *Laundry Wastewater*. **25**(4): 170–183. <https://doi.org/10.12911/22998993/184089>
- Nascimento, C. O. C., Veit, T., Pal, S. M., & Gonçalves, G. C. (2019). *Combined Application of Coagulation / Flocculation / Sedimentation and Membrane Separation for the Treatment of Laundry Wastewater*. **2019**: 1-13. <https://doi.org/10.1155/2019/8324710>
- Nechita, P. (2018). *Electrocoagulation Technique In The Treatment Of Waste Waters From Paper Recycling*. **2**(5): 47-50. <https://doi.org/10.35219/im.2018.2.05>
- Ng, W. J., Ismail, N. 'Izzati, & Yoon, L. W. (2024). *Hibiscus sabdariffa as Coagulant to Treat Laundry Wastewater*. **2923**: 1-15. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2923/1/012014>
- Prabowo, B. H., Hendriyana, Nurdini, L., & Firdaus, M. C. (2019). *Coagulation and Electrocoagulation Methods with The Addition of Hydrogen Peroxide on Laundry Waste Treatment*. **16**(2): 53–58. <https://doi.org/10.31315/e.v16i2.2812>
- Pramastya, C. R., & Rosariawari, F. (2023). *Modifikasi Kombinasi Elektrokoagulasi – Adsorpsi untuk Menyisihkan Fosfat dan TSS pada Limbah Laundry*. **8**(4): 7040–7049. <https://doi.org/10.32672/jse.v8i4.6728>
- Prochazkova, M., & Máša, V. (2022). Sustainable Wastewater Management in Industrial Laundries. *Chemical Engineering Transactions*. **94**: 577–582. <https://doi.org/10.3303/CET2294096>
- Rahendaputri, C. S., Mahendra, R., Prakoso, R. D., & Anggraini, W. D. (2022). *Analisis Kualitas dan Kuantitas Air Limbah Domestik di Institut Teknologi Kalimantan ( Studi Kasus : Gedung B )*. **6**(3): 284–289. <https://doi.org/10.35718/specta.v6i3.762>
- Ramadhan, R. R., Herawati, P., & Hadrah. (2023). *Allowance of Laundry Wastewater Contaminant Parameters by Electrocoagulation Process*. **05**(01): 49–55. <https://doi.org/10.52005/fidelity.v5i1.140>
- Risqi, L. B., Budiastuti, M. T. S., & Rosariastuti, R. (2023). Potential Fruit and Vegetable Waste as *Laundry Liquid Waste Treatment*. **1165**: 0–13. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1165/1/012001>
- Ruhela, M., Ahama, F., Bhardwaj, S., & Gupta, U. (2023). *Efficiency assessment of 3.2 MLD MBR based sewage treatment plant of IFFCO township Aonla, Bareilly, Uttar Pradesh, India*. **24**(2): 347–354. <https://doi.org/10.36953/ECJ.23782620>
- Sutama, K., Lestari, D. I., Endah, E., Wardani, K., Fauziah, S. M., & Alfiana, A. F. (2025). *Comparative Efficiency of KOH-Activated Rice Husk Carbon in*

- Adsorbing Pollutants from Laundry and Tofu Wastewater*. 7(2): 175–188.  
<https://doi.org/10.30736/seaj.v7i2.1254>
- Sodamade, G. A., & Longe, E. O. (2020). Assessment of on-site wastewater treatment in Urban Coastal Area of Lagos Island , Lagos State , Nigeria. 25(1): 21-28. <https://doi.org/10.52968/72015388>
- Ungureanu, C., Răileanu, S., Ștefan, D. S., Lingvay, I., Tokos, A., & Ștefan, M. (2025). Electric Field Effects on Microbial Cell Properties: Implications for Detection and Control in Wastewater Systems. In *Environments*. 12(10): p.343. <https://doi.org/10.3390/environments12100343>
- Widyaningsih, T. S. (2023). *Pengolahan Limbah Cair Laundry Dengan Menggunakan Bahan Koagulan Tawas Menjadi Air Bersih Dengan Biaya Rendah*. 3(6): 212-320. <https://doi.org/10.59818/jpi.v3i3.495>
- Wimbaningrum, R., Arianti, I., & Sulistiyowati, H. (2020). *Efektivitas Tanaman Lembang (Typha angustifolia L.) di Lahan Basah Buatan dalam Penurunan Kadar TSS, BOD dan Fosfat pada Air Limbah Industri Laundry*. 8(1): 25–28. <https://doi.org/10.19184/bst.v8i1.16499>
- Yengejeh, S. G., Mansoorian, H. J., Majidi, G., Yari, A. R., & Khanjani, N. (2017). Efficiency of electrical coagulation process using aluminum electrodes for municipal wastewater treatment : a case study at Karaj wastewater treatment plant. *Kerman University of Medical Sciences*. 4(3): 157–162. <https://doi.org/10.15171/EHEM.2017.22>
- Zulfikar, Z., Nasrullah, N., Kartini, K., & Aditama, W. (2022). Effect of Hydraulic Retention Time on the Levels of Biochemical Oxygen Demand and Total Suspended Solid With Simple Integrated Treatment as an Alternative to Meet the Household Needs for Clean Water. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*. 10(E): 6–11. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2022.7828>