

Pengaruh Bentuk *Impeller* pada Proses Koagulasi Flokulasi Terhadap Pola Aliran dan Penyisihan TSS

Komang Mega Ilda Utari¹, Mohamad Mirwan^{2*}

^{1,2*}Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

Email: ¹komangmegaa02@gmail.com, ^{2*}mmirwan.tl@upnjatim.ac.id

Abstract

Environmental pollution caused by wastewater has reached alarming levels, especially in large cities like Surabaya, where household wastewater is a major contributor. The coagulation-flocculation method is used to treat wastewater by precipitating particles from the wastewater. The use of mechanical impellers plays a crucial role in this process. This study analyzes the influence of impeller design, mixing time, and impeller rotation speed on the efficiency of Total Suspended Solid (TSS) removal and flow patterns in coagulation-flocculation. An impeller with a blade angle of 30° produces a wider and more effective flow pattern compared to a 60° angle. The number of blades and the blade angle affect TSS removal efficiency, with a 6-blade impeller at 30° angle achieving the highest efficiency. The optimal mixing time is 1 minute for coagulation and 20 minutes for flocculation. The optimal impeller rotation speed is 100 rpm for coagulation and 60 rpm for flocculation. The findings provide practical guidelines for enhancing the efficiency of domestic wastewater treatment.

Keywords: Coagulation-Flocculation, Impeller, TSS, Flow Patterns.

Abstrak

Pencemaran lingkungan oleh air limbah telah mencapai tingkat mengkhawatirkan, terutama di kota-kota besar seperti Kota Surabaya, di mana limbah domestik dari rumah tangga menjadi penyebab utama. Metode koagulasi flokulasi digunakan untuk mengolah air limbah dengan mengendapkan partikel-partikel dalam air limbah. Penggunaan *impeller* mekanis memiliki peran penting dalam proses ini. Penelitian ini menganalisis pengaruh bentuk *impeller*, waktu pengadukan, dan kecepatan putaran *impeller* terhadap efisiensi penyisihan Total Suspended Solid (TSS) dan pola aliran dalam koagulasi flokulasi. *Impeller* dengan sudut kemiringan bilah 30° menghasilkan pola aliran yang lebih luas dan efektif dibandingkan sudut 60°. Jumlah bilah dan sudut kemiringan bilah mempengaruhi efisiensi penyisihan TSS, dengan *impeller* 6 bilah dan sudut 30° memiliki efisiensi tertinggi. Waktu pengadukan optimal adalah 1 menit untuk koagulasi dan 20 menit untuk flokulasi. Kecepatan putaran *impeller* yang optimal adalah 100 rpm untuk koagulasi dan 60 rpm untuk flokulasi. Hasil penelitian ini memberikan panduan praktis untuk meningkatkan efisiensi pengolahan air limbah domestik.

Kata Kunci: Koagulasi Flokulasi, *Impeller*, TSS, Pola Aliran.

1. PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan akibat air limbah telah mencapai tingkat yang mengkhawatirkan, di mana lingkungan tidak lagi mampu melakukan pemurnian secara alami atau disebut sebagai *self-purification*. Hal ini sering terjadi, terutama di kota-kota besar seperti Kota Surabaya, di mana sumber utama pencemaran lingkungan bukanlah industri seperti yang sering dibicarakan, melainkan justru berasal dari rumah tangga melalui limbah domestik. Air limbah domestik, yang berasal dari dapur, kamar mandi,

dan air sisa cucian, menyumbang sekitar 50-80% dari total limbah air domestik. Komponen air limbah ini terdiri sebagian besar dari air (99,9%) dan sebagian kecil padatan (0,1%), di mana padatan tersebut terdiri dari bahan organik (70%) dan anorganik (30%). Bahan organik terdiri dari protein, karbohidrat, dan lemak, sedangkan bahan anorganik terdiri dari bahan butiran, logam, dan garam – garaman (Kholif, 2020). Pengolahan air limbah domestik menjadi sangat penting untuk mengurangi kandungan padatan tersuspensi di dalamnya. Salah satu metode pengolahan yang digunakan adalah proses koagulasi flokulasi yang melibatkan reaksi kimia. Dalam proses koagulasi, partikel koloid dan partikel dalam air limbah mendestabilisasi karena bahan kimia (koagulan) yang ditambahkan, sementara dalam proses flokulasi, partikel-partikel ini digabungkan menjadi flok yang lebih besar, yang kemudian dapat mengendap. Pengadukan dalam proses ini memiliki peran penting. Pengadukan mekanis adalah salah satu metode yang umum digunakan. Metode ini melibatkan penggunaan alat pengaduk yang mengubah energi mekanis menjadi aliran fluida dalam tangki (Masduqi & Assomadi, 2012; Reynolds & Richard, 1996).

Pentingnya faktor-faktor seperti kecepatan putaran *impeller*, geometri tangki, jenis baffle dalam tangki, letak poros *impeller*, jenis *impeller*, dan jumlah *impeller* dalam pengolahan air limbah menjadi sorotan dalam penelitian ini. *Impeller*, alat pengaduk, memiliki peran penting dalam menciptakan pola aliran yang efektif dalam proses koagulasi flokulasi. Berdasarkan bentuk dan jenis aliran, *impeller* dapat diklasifikasikan menjadi beberapa tipe seperti paddle, turbine, dan propeller (Abie & Mauldy, 2018; Masduqi & Assomadi, 2012). Dalam pengolahan koagulasi flokulasi, peran pengadukan sangatlah penting. Pengadukan dapat dilakukan dengan metode pengadukan mekanis, yang menggunakan *impeller* sebagai alat pengaduk. *Impeller* dapat berbentuk paddle, turbine, atau propeller, dan juga dapat diklasifikasikan berdasarkan aliran radial, aksial, atau campuran. Desain *impeller*, termasuk sudut kemiringan dan dimensi bilahnya, mempengaruhi pola aliran dan efisiensi pengolahan. Oleh karena itu, pemilihan *impeller* yang tepat sangat berperan dalam kesuksesan proses koagulasi flokulasi (Suryadhiyanto & Qiram, 2018; Shihab & Hamad, 2018).

Menurut Shihab & Hamad (2018), sudut kemiringan *impeller* berdampak pada homogenitas, distribusi, dan potensi pembentukan flok serta pecahnya flok ketika ditinjau berdasarkan jenisnya. Sudut kemiringan dan dimensi bilah berpengaruh pada peningkatan efisiensi penyisihan. Di samping itu, untuk pola penyebaran yang berbeda terjadi karena perbedaan jumlah bilah *impeller* (Suryadhiyanto & Qiram, 2018). Menurut Dienullah & Hendrasarie (2021), jenis *impeller*, waktu pengadukan, dan kecepatan putaran memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penyisihan parameter *Total Suspended Solid* (TSS). Waktu pengadukan optimum dapat dicapai apabila pembentukan flok telah berada pada titik maksimalnya. Apabila dilakukan penambahan waktu pengadukan, maka akan menyebabkan kerusakan flok dan penurunan efisiensi penyisihan. Begitu juga dengan gradien kecepatan, apabila terlalu besar maka akan mengakibatkan terhambatnya pembentukan flok dan dapat membuat flok yang terbentuk menjadi pecah. Namun, jika gradien kecepatan tidak memenuhi, tumbukan partikel tidak akan terjadi dan flok tidak menggumpal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bentuk *impeller* yang memiliki sudut kemiringan dan jumlah bilah berbeda terhadap pola aliran dalam proses koagulasi flokulasi. Selain itu, penelitian ini juga menganalisis kondisi waktu pengadukan serta kecepatan putaran *impeller* yang optimal dalam proses koagulasi flokulasi untuk menyisihkan parameter *Total Suspended Solid* (TSS) dalam air limbah.

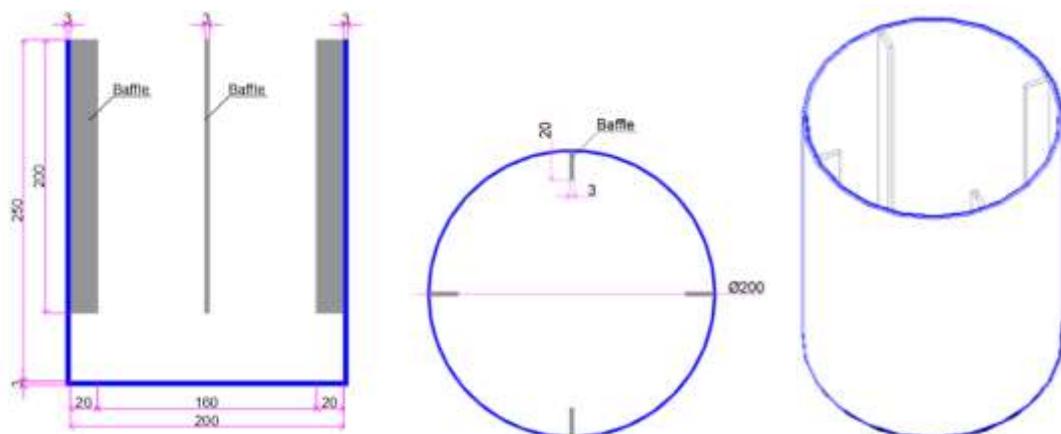
2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

2.1.1 Penelitian Pendahuluan

a. Desain dan Pembuatan Reaktor

Reaktor dalam penelitian ini terdiri dari bak koagulasi flokulasi dan *impeller*, serta alat pelengkap lainnya seperti tutup bak, dinamo, adaptor power, dan timer. Desain reaktor dilakukan menggunakan *software* AutoCAD dan SketchUp, baik 2D maupun 3D. Referensi dalam proses desain reaktor bersumber dari studi literatur, baik buku petunjuk praktikum, artikel ilmiah, skripsi, maupun *text book*. Bak yang digunakan terbuat dari bahan akrilik dengan tujuan agar pola aliran saat pengadukan dan pola pengendapan flok dapat terlihat secara visual. Bak berbentuk silinder dengan bagian atap terbuka. Bak juga dilengkapi dengan 4 baffle berukuran 10% dari diameter bak yang bertujuan untuk menghilangkan aliran vortex yang menyebabkan zat tidak homogen karena tidak terdistribusi secara merata (Ainiyah & Sudarso, 2018; Reynolds & Richard, 1996). Gambar 1 menunjukkan desain bak koagulasi flokulasi.



Gambar 1. Desain Bak Koagulasi – Flokulasi (Satuan mm)

Sumber: Data Peneliti, 2023

b. Uji Karakteristik Awal Air Baku

Uji karakteristik awal dilakukan untuk mengetahui kadar TSS awal air limbah domestik. Air limbah domestik yang digunakan berasal dari indekos. Volume air yang digunakan ditentukan berdasarkan studi literatur yang mana kedalaman air dalam bak adalah 1 – 1,25 kali lebar/diameter bak (Reynolds & Richard, 1996). Maka, volume dan kedalaman air dalam bak sebesar 6,232 L dan 20 cm. Prosedur analisis berdasarkan pada SNI Air dan Air Limbah pada bagian cara uji parameternya. Sebelum diolah, air limbah diuji karakteristiknya terlebih dahulu. Hasil uji awal karakteristik air limbah tertera dalam Tabel 1. Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Persyaratan Kualitas Air Limbah Domestik menjadi baku mutu yang diacu.

Tabel 1. Karakteristik Awal Air Limbah

Parameter	Hasil Uji	Baku Mutu*	Satuan
TSS	290	50	mg/L
pH	8,55	6 – 9	-

c. Penentuan Dosis Koagulan

Dalam penelitian ini, digunakan koagulan *Polyaluminium Chloride* (PAC) Chempofloc bubuk yang nantinya akan dilarutkan sesuai dengan dosis optimum yang didapat dari hasil *jar test*. Dosis koagulan ditentukan dengan melakukan *jar test* yang mengacu pada SNI 19-6449-2000 tentang Metode Pengujian Koagulasi-Flokulasi dengan Cara Jar. Setelah dilakukan *jar test*, didapatkan dosis optimum koagulan PAC untuk proses pengolahan ini adalah 186 ml.

2.1.2 Penelitian Utama

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Riset dan Teknologi serta Laboratorium Kimia Air Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik UPN “Veteran” Jawa Timur. Penelitian dilaksanakan sesuai dengan matriks yang telah disusun, baik dalam jumlah percobaan hingga variasi variabel yang digunakan. Penelitian utama dimulai dengan menjalankan proses koagulasi flokulasi yang kemudian dilanjutkan dengan sedimentasi selama 1 jam. Setelah proses sedimentasi, air disampling untuk dilakukan analisis pasca pengolahan. Parameter yang dianalisis yaitu TSS dan pengamatan pola aliran selama proses berlangsung. Dianalisis pula hubungan antara bentuk *impeller* dengan pola aliran serta kondisi optimum waktu pengadukan dan kecepatan putaran *impeller*.

2.2 Variabel Penelitian

2.2.1 Variabel Tetap

1. Jenis dan dosis koagulan
 - Jenis koagulan : *Polyaluminium Chloride* (PAC)
 - Dosis koagulan : 186 ml
2. Waktu pengendapan : 1 jam

2.2.2 Variabel Bebas

1. Bentuk *impeller*
 - a. *Vaned Disc Turbine, 4 Flat Blades*, at 30°
 - b. *Vaned Disc Turbine, 4 Flat Blades*, at 60°
 - c. *Vaned Disc Turbine, 6 Flat Blades*, at 30°
 - d. *Vaned Disc Turbine, 6 Flat Blades*, at 60°
2. Kecepatan pengadukan (koagulasi-flokulasi), dalam satuan rpm:
 - a. 100 – 60
 - b. 100 – 70
 - c. 200 – 70
3. Waktu pengadukan (koagulasi-flokulasi), dalam satuan menit:
 - a. 0,5 – 20
 - b. 1 – 20
 - c. 1 – 30

2.3 Analisis

Pembahasan pada penelitian ini adalah hubungan antara bentuk *impeller* dengan pola aliran serta kondisi optimum waktu pengadukan dan kecepatan putaran *impeller* pada proses koagulasi flokulasi dalam menyisihkan parameter TSS. Pembahasan tersebut berdasarkan pada hasil uji parameter dari masing-masing percobaan sesuai dengan matriks yang ada. Selain itu, dilakukan uji statistik Anova Two Way. Sedangkan untuk pola aliran yang dihasilkan saat pengadukan, diamati secara visual pada bak koagulasi flokulasi yang terbuat dari bahan akrilik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Bentuk *Impeller* terhadap Pola Aliran dalam Proses Koagulasi Flokulasi dalam Menyisihkan Parameter TSS

Pengaruh bentuk *impeller* dalam proses koagulasi flokulasi terhadap pola aliran dalam tangki berpengaduk diteliti dalam penelitian ini. Gerakan rotasi pengaduk dalam medium cair menciptakan aliran yang menyebar ke seluruh medium, menghasilkan pencampuran di dalam tangki berpengaduk. Geometri tangki, sifat fisik fluida, serta jenis dan geometri *impeller* memiliki dampak pada pola aliran. *Impeller* turbin dengan sudut bilah datar menghasilkan aliran radial, sementara impeler turbin dengan sudut bilah miring dan baling-baling menghasilkan aliran aksial (Abie & Mauldy, 2018).

Viskositas atau kekentalan fluida mempengaruhi jenis aliran (laminar, transisi, turbulen) yang terbentuk. Viskositas pada air limbah domestik sebesar 0,00073 N.s/m². Angka ini sedikit lebih rendah daripada nilai viskositas air pada umumnya karena adanya kandungan detergen pada air limbah domestik (Novianto & Rosariawari, 2022). Penelitian ini mengamati hubungan bentuk *impeller* dengan pola aliran melalui analisis visual dengan menggunakan bulir berwarna dan kamera. Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan pola aliran yang dihasilkan pada masing-masing bentuk *impeller* berdasarkan waktu tertentu.



Gambar 2. (a) Pola Aliran pada Detik Ke-5; (b) Pola Aliran pada Detik Ke-10
Sumber: Data Peneliti, 2023



Gambar 3. (a) Pola Aliran pada Detik Ke-15; (b) Pola Aliran pada Detik Ke-20

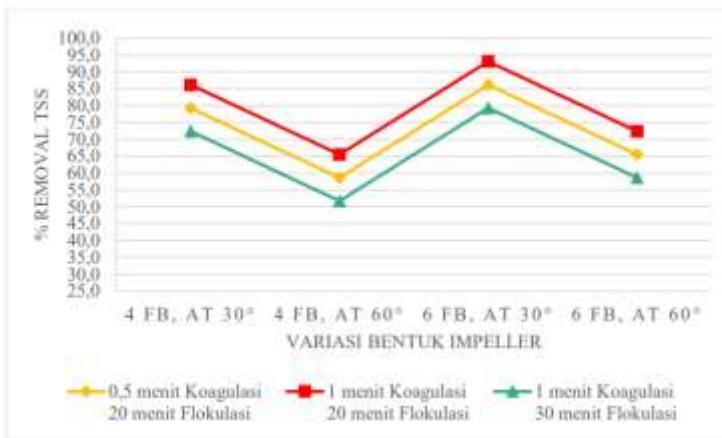
Sumber: Data Peneliti, 2023

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa *impeller* dengan sudut kemiringan bilah 30° menghasilkan pola aliran yang lebih banyak dan menyebar daripada *impeller* dengan sudut kemiringan 60°. Perbedaan ini juga terlihat antara *impeller* dengan jumlah bilah 4 dan 6, di mana *impeller* dengan 6 bilah menghasilkan pola yang lebih besar dan menyebar dibandingkan dengan *impeller* 4 bilah. Hasil ini sesuai dengan penelitian oleh Suryadhiyanto & Qiram (2018) yang menunjukkan bahwa sudut kemiringan dan jumlah bilah *impeller* mempengaruhi bentuk pola aliran dan luas penyebaran fluida. *Impeller* jenis *vaned disc turbine* menghasilkan aliran radial dengan arah tegak lurus dengan sumbu rotasi atau terhadap tangki. Rotasi menyebabkan pola aliran dari sisi ke sisi yang lainnya. Seluruh *impeller* yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan aliran radial.

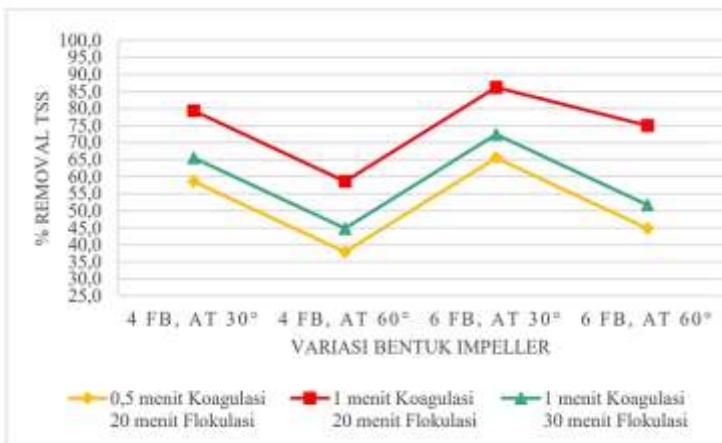
3.2 Kondisi Optimum Waktu Pengadukan *Impeller* pada Proses Koagulasi Flokulasi dalam Menyisihkan TSS

Waktu pengadukan berperan penting dalam proses pembentukan flok selama proses koagulasi flokulasi. Dianalisis pengaruh waktu pengadukan terhadap persen penyisihan parameter TSS di setiap variasi bentuk *impeller*. Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6 menunjukkan hasil analisis yang telah dilakukan. Kecepatan putaran *impeller* 100 – 60 rpm dapat menyisihkan TSS hingga 93,1%. Dengan kecepatan putaran *impeller* 100 – 70 rpm, TSS dapat disisihkan hingga 86,2%. Kecepatan putaran *impeller* 200 – 70 rpm menunjukkan persen penyisihan TSS hingga 79,3%. Efisiensi penyisihan TSS tertinggi selalu berada pada waktu pengadukan 1 – 20 menit. Sedangkan pada waktu pengadukan 0,5 – 20 menit dan 1 – 30 menit, penyisihan TSS cenderung lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa pada waktu pengadukan 1 – 20 menit pertumbuhan flok telah berada pada titik maksimal. Sedangkan pada waktu 0,5 – 20 menit, flok belum terbentuk secara maksimal dan pada waktu 1 – 30 menit terjadi peningkatan kerusakan flok dan penurunan

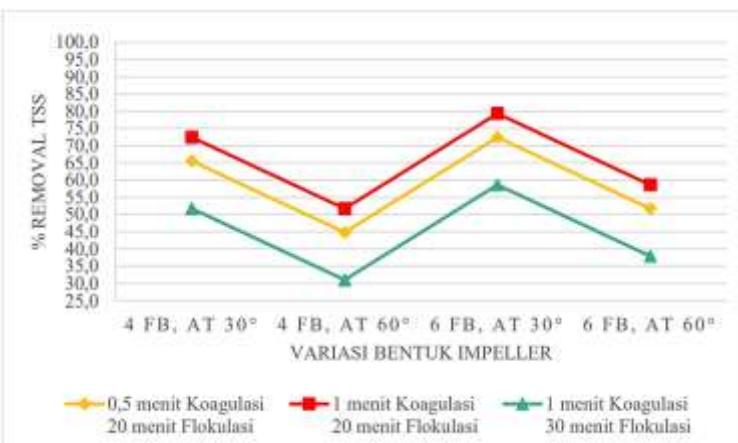
persen penyisihan akibat penambahan waktu pengadukan (Dienullah & Hendrasarie, 2021). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa waktu pengadukan yang paling optimal terhadap penyisihan TSS pada setiap variasi bentuk *impeller* dan kecepatan putaran *impeller* adalah pada waktu pengadukan 1 menit untuk koagulasi dan 20 menit untuk flokulasi.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Waktu Pengadukan Koagulasi – Flokulasi terhadap Persen Penyisihan TSS pada Kecepatan Putaran *Impeller* 100 rpm Koagulasi dan 60 rpm Flokulasi
Sumber: Hasil Analisis, 2023

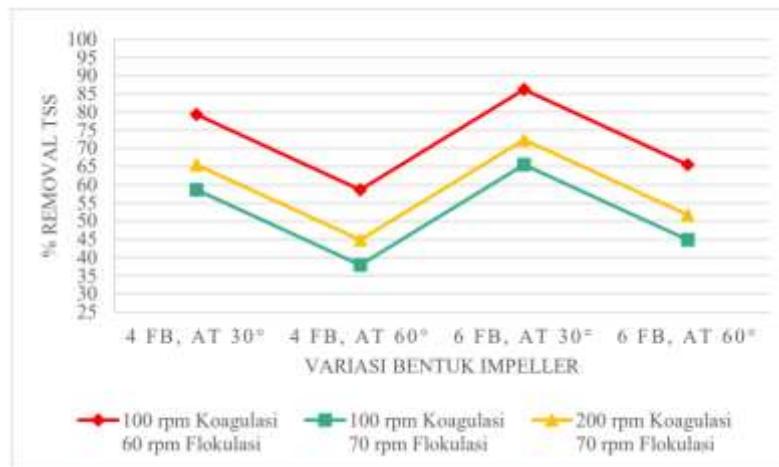


Gambar 5. Grafik Pengaruh Waktu Pengadukan Koagulasi – Flokulasi terhadap Persen Penyisihan TSS pada Kecepatan Putaran *Impeller* 100 rpm Koagulasi dan 70 rpm Flokulasi
Sumber: Hasil Analisis, 2023

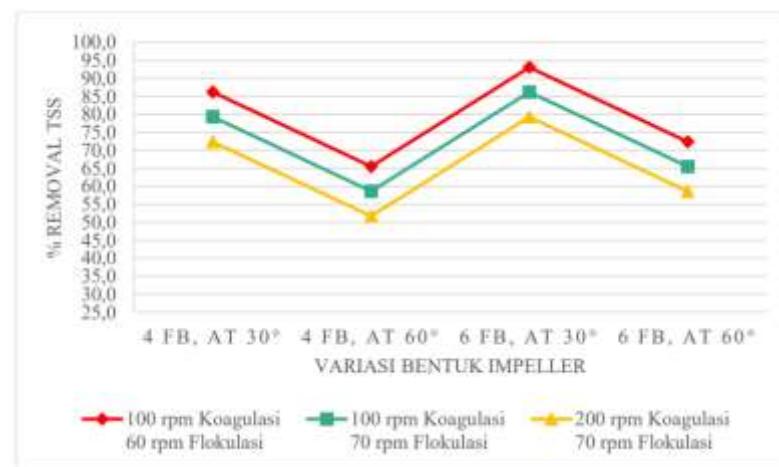


Gambar 6. Grafik Pengaruh Waktu Pengadukan Koagulasi – Flokulasi terhadap Persen Penyisihan TSS pada Kecepatan Putaran *Impeller* 200 rpm Koagulasi dan 70 rpm Flokulasi
Sumber: Hasil Analisis, 2023

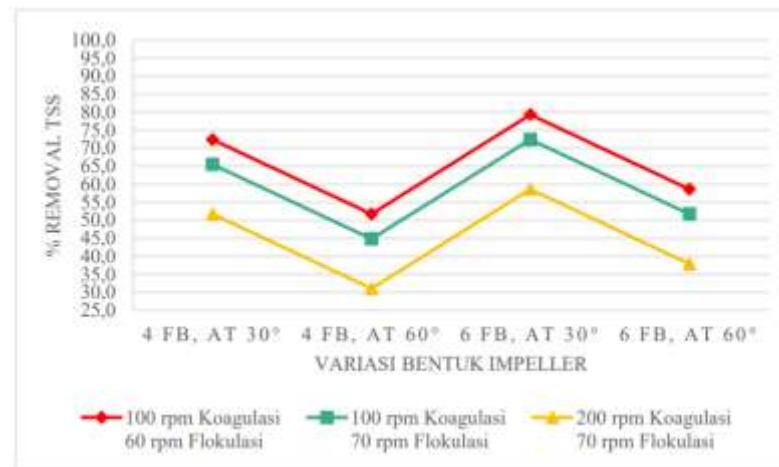
3.3 Kondisi Optimum Kecepatan Putaran *Impeller* pada Proses Koagulasi Flokulasi dalam Menyisihkan TSS



Gambar 7. Grafik Pengaruh Kecepatan Putaran *Impeller* Koagulasi - Flokulasi terhadap Persen Penyisihan TSS pada Waktu Pengadukan 0,5 Menit Koagulasi dan 20 Menit Flokulasi
Sumber: Hasil Analisis, 2023



Gambar 8. Grafik Pengaruh Kecepatan Putaran *Impeller* Koagulasi - Flokulasi terhadap Persen Penyisihan TSS pada Waktu Pengadukan 1 Menit Koagulasi dan 20 Menit Flokulasi
Sumber: Hasil Analisis, 2023



Gambar 9. Grafik Pengaruh Kecepatan Putaran *Impeller* Koagulasi - Flokulasi terhadap Persen Penyisihan TSS pada Waktu Pengadukan 1 Menit Koagulasi dan 30 Menit Flokulasi
Sumber: Hasil Analisis, 2023

Kecepatan putaran *impeller* berperan penting dalam proses pembentukan flok karena gradien kecepatan sebanding dengan laju tumbukan partikel dan gaya geser dalam air. Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9 menunjukkan grafik pengaruh kecepatan putaran *impeller* terhadap persen penyisihan TSS pada setiap variasi bentuk *impeller*. Pada Gambar 7 dengan waktu pengadukan 0,5–20 menit, persen penyisihan TSS tertinggi sebesar 86,2%. Pada Gambar 8 dengan waktu pengadukan 1 – 20 menit, persen penyisihan TSS dapat dicapai hingga 93,1%. Pada Gambar 9 dengan waktu pengadukan 1 – 30 menit, TSS berhasil disisihkan hingga 79,3%. Berdasarkan hasil analisis tersebut, penyisihan TSS tertinggi selalu berada pada kecepatan putaran *impeller* 100 – 60 rpm. Sedangkan pada kecepatan 100 – 70 rpm dan 200 – 70 rpm, persen penyisihan TSS cenderung mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena kecepatan putaran impeler yang terlalu cepat, yang menghambat perkembangan flok dan juga dapat menghancurkan flok yang telah terbentuk, sehingga mengakibatkan pengendapan yang tidak sempurna. Namun, jika gradien kecepatan terlalu kecil, tumbukan partikel tidak akan terjadi dan flok tidak akan terbentuk (Dienullah & Hendrasarie, 2021). Dapat disimpulkan bahwa kecepatan putaran *impeller* yang optimal terhadap persen penyisihan TSS yaitu pada kecepatan 100 rpm untuk koagulasi dan 60 rpm untuk flokulasi.

3.4 Karakteristik Pola Aliran terhadap Optimalisasi Penyisihan Parameter TSS

Berdasarkan hasil analisis penelitian ini bahwa perbedaan jumlah bilah dan sudut kemiringan berpengaruh pada pola aliran, di mana dengan bilah 6 dan sudut 30° mampu menghasilkan pola aliran yang lebih merata ke seluruh bak. Selain itu juga memiliki waktu penyebaran yang lebih cepat jika dibandingkan dengan *impeller* lainnya. Semakin singkat waktu yang dibutuhkan fluida untuk bergerak dan teraduk serta semakin merata persebarannya, maka akan membuat bahan kimia atau koagulan terdistribusi dengan baik sehingga dapat mengoptimalkan proses koagulasi flokulasi dan memaksimalkan efisiensi penyisihan parameter. Hal ini dapat dilihat pada pembahasan sebelumnya, di mana *impeller* dengan bilah 6 dan sudut kemiringan 30° memiliki waktu persebaran yang lebih singkat dan pola persebaran yang lebih luas menghasilkan persen penyisihan TSS tertinggi yaitu sebesar 93,1%. Kemudian, persen penyisihan tertinggi selanjutnya adalah pada *impeller* dengan bilah 4 dan sudut kemiringan 30° yaitu sebesar 86,2%.

4. KESIMPULAN

Pencemaran lingkungan akibat air limbah menjadi permasalahan di berbagai kota besar, di mana limbah domestik dari rumah tangga menjadi penyebab utama. Air limbah domestik berkontribusi sekitar 50 – 80% dari total limbah air domestik. Dalam upaya pengolahan air limbah, metode koagulasi flokulasi memainkan peran penting. Pengolahan ini melibatkan proses kimia di mana partikel koloid dan partikel dalam air limbah diendapkan menjadi flok yang lebih besar. Pengadukan mekanis dengan penggunaan *impeller* mempengaruhi efisiensi proses ini, dan pemilihan *impeller* yang tepat menjadi kunci keberhasilan proses.

Penelitian ini menganalisis pengaruh bentuk *impeller*, waktu pengadukan, dan kecepatan putaran *impeller* pada proses koagulasi flokulasi dalam menyisihkan parameter *Total Suspended Solid* (TSS) dalam air limbah. Diamati pula pola aliran yang terbentuk dari setiap variasi bentuk *impeller*. Hasil analisis menunjukkan bahwa *impeller* dengan sudut kemiringan bilah 30° menghasilkan pola aliran yang lebih luas dan efektif dibandingkan dengan sudut 60°. Jumlah bilah dan sudut kemiringan bilah pada *impeller* juga mempengaruhi efisiensi penyisihan TSS, di mana *impeller* dengan 6 bilah dan sudut 30° memiliki efisiensi tertinggi. Waktu pengadukan optimal adalah 1 menit untuk

koagulasi dan 20 menit untuk flokulasi. Kecepatan putaran *impeller* yang ideal untuk koagulasi adalah 100 rpm dan 60 rpm untuk flokulasi. Pola aliran yang dihasilkan oleh *impeller* dengan bilah 6 dan sudut kemiringan 30° terbukti lebih merata dan efektif dalam mengoptimalkan proses koagulasi flokulasi.

Penelitian ini memiliki implikasi dalam pengolahan air limbah domestik. Pemilihan bentuk *impeller*, waktu pengadukan, dan kecepatan putaran *impeller* dapat berdampak signifikan pada efisiensi pengolahan air limbah. Oleh karena itu, dalam implementasi praktis, pemilihan *impeller* yang sesuai dan pengaturan parameter pengadukan yang tepat dapat meningkatkan efisiensi dan kualitas pengolahan air limbah. Penelitian ini dapat memberikan panduan praktis bagi ahli lingkungan, teknisi, dan pengelola instalasi pengolahan air limbah dalam merancang proses koagulasi flokulasi yang lebih efektif.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Abie, N., & Mauldy, M. E. (2018). *Visualisation Study of Effect of Impeller Towards Fluid Flow in Bioethanol Fermentor*.
- Ainiyah, K., & Sudarso, Y. A. (2018). *Laporan Resmi Praktikum Operasi Teknik Kimia 1 “Tangki Berpengaduk.”*
- Dienullah, R. M., & Hendrasarie, N. (2021). Pengaruh Bentuk *Impeller* pada Proses Koagulasi-Flokulasi dalam Mengolah Limbah Industri Batik Organik. *Environmental Science and Engineering Conference (ESEC) Proceedings*, 2(1).
- Kholif, M. Al. (2020). *Pengelolaan Air Limbah Domestik*. Scopindo Media Pustaka. https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=_nb2DwAAQBAJ&oi=fnd%0A&pg=PA5&dq=a ir+limbah+domestik&ots=dtok1iqu5&sig=SbFzzOMmi0q%0ARRVpNc5W4rDD- doA&redir_esc=y#v=onepage&q&f=true
- Masduqi, A., & Assomadi, A. F. (2012). *Operasi & Proses Pengolahan Air* (2nd ed.). ITS Press.
- Metode Pengujian Koagulasi - Flokulasi dengan Cara Jar* (Patent No. SNI 19-6449-2000). (2000).
- Novianto, D. A., & Rosariawati, F. (2022). Penyisihan TSS dan Kekeruhan Air Permukaan dengan Proses Koagulasi Sistem Hidrolis. *Jurnal EnviroUS*, 3(1), 31–39. <https://envirous.upnjatim.ac.id/index.php/envirous/article/view/62>
- Reynolds, T. D., & Richard, P. A. (1996). *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering* (2 ed.). PWS Publishing Company.
- Shihab, A. S., & Hamad, A. T. (2018). Effect of inclination angle, dimensions of *impeller* blades, and velocity gradient on the efficiency of water flocculation. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(5), 969–977.
- Suryadhiyanto, U., & Qiram, I. (2018). Pengaruh Jumlah dan Kemiringan Sudu Mixer Poros Vertikal (Vertical Stirred Mixer) terhadap Unjuk Kerja Pencampuran. *ROTÖR: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 11(1), 25–29. <https://doi.org/10.19184/rotor.v11i1.5299>