

# Pengaruh Desain *Impeller* terhadap Perilaku Hidrodinamika dan Efisiensi Penyisihan TSS serta Kekeruhan pada Proses Koagulasi Flokulasi

Cahya Nova Putri Maharani\*, Tuhu Agung Rachmanto

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

\*Koresponden email: cahyanovaaapm@gmail.com

Diterima: 27 Oktober 2025

Disetujui: 01 November 2025

## Abstract

Domestic wastewater pollution remains a significant environmental issue in Indonesia, characterized by high levels of Total Suspended Solids (TSS) and turbidity that exceed quality standards. One of the effective treatment methods is the coagulation flocculation process, which involves the addition of chemical coagulants, such as Poly Aluminium Chloride (PAC). This study aims to analyze the influence of hydrodynamic variables, including the presence of baffles, impeller types (paddle, turbine, and propeller), and impeller installation height, on flow patterns, floc formation, and the removal efficiency of TSS and turbidity. Experiments were conducted using a laboratory scale tank with impeller positions varied at 30–50% of the impeller diameter from the bottom of the tank. The results showed that the flow pattern within the tank was significantly affected by the impeller design and installation height, while the presence of baffles with small dimensions tended to accelerate floc breakage. The optimum condition was achieved using a turbine with four flat blades and a vaned disc, installed at a height of 3.0 cm from the tank bottom without baffles, resulting in TSS and turbidity removal efficiencies of up to 91.67% and 83.27%, respectively. This study highlights the critical role of hydrodynamic variables in enhancing the effectiveness of the coagulation flocculation process for domestic wastewater treatment.

**Keywords:** *coagulation flocculation, hydrodynamics, impeller, baffle, domestic wastewater*

## Abstrak

Pencemaran air limbah domestik masih menjadi masalah serius di Indonesia yang ditandai dengan tingginya kadar *Total Suspended Solid* (TSS) dan kekeruhan melebihi baku mutu. Salah satu metode pengolahan yang efektif adalah proses koagulasi flokulasi dengan penambahan koagulan kimia, seperti *Poly Aluminium Chloride* (PAC). Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variabel hidrodinamika, meliputi keberadaan *baffle*, jenis *impeller* (*paddle*, *turbine*, dan *propeller*), serta jarak pemasangan *impeller* terhadap pola aliran, pembentukan flok, dan efisiensi penyisihan TSS serta kekeruhan. Percobaan dilakukan menggunakan tangki skala laboratorium dengan variasi posisi *impeller* pada 30–50% dari diameter *impeller* terhadap dasar tangki. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola aliran dalam tangki dipengaruhi oleh variasi desain *impeller* dan ketinggian pemasangan *impeller*, sedangkan keberadaan *baffle* pada dimensi kecil berpotensi mempercepat pecahnya flok. Kondisi optimum diperoleh pada kombinasi *turbine 4 flat blades* dengan *vaned disc* yang dipasang pada ketinggian 3,0 cm dari dasar tangki tanpa *baffle* yang mampu meningkatkan efisiensi penyisihan TSS hingga 91,67% dan kekeruhan hingga 83,27%. Penelitian ini menunjukkan bahwa variabel hidrodinamika berperan penting dalam meningkatkan efektivitas proses koagulasi flokulasi pada pengolahan air limbah domestik.

**Kata Kunci:** *koagulasi flokulasi, hidrodinamika, impeller, baffle, air limbah domestik*

## 1. Pendahuluan

Pencemaran lingkungan akibat pembuangan air limbah masih menjadi permasalahan utama di Indonesia. Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) dalam Statistik Indonesia 2025 [1], sekitar 60% sungai di Indonesia tercatat mengalami pencemaran akibat limbah. Salah satu sumber pencemar terbesar berasal dari limbah domestik, terutama di kawasan permukiman padat penduduk. Di wilayah kota besar, seperti Surabaya, sebagian besar rumah tangga masih membuang limbah domestik langsung ke saluran terbuka tanpa pengolahan terlebih dahulu [2].

Air limbah domestik umumnya memiliki konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) dan kekeruhan yang melebihi baku mutu sebagaimana ditetapkan dalam Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 [3][4]. Kedua parameter ini berkontribusi signifikan terhadap penurunan kualitas fisik air serta

menurunkan penetrasi cahaya ke badan perairan. Oleh karena itu, TSS dan kekeruhan sering digunakan sebagai indikator utama dalam mengevaluasi efektivitas proses pengolahan air limbah domestik.

Berbagai metode pengolahan air limbah telah dikembangkan, baik secara fisik, kimia, maupun biologis. Salah satu metode kimia yang banyak diaplikasikan adalah koagulasi flokulasi, yaitu proses destabilisasi koloid dengan penambahan koagulan, diikuti pembentukan flok yang mudah diendapkan [5]. Koagulan yang umum digunakan adalah *Poly Aluminium Chloride* (PAC) karena memiliki efektivitas tinggi dalam membentuk flok yang stabil [6]. Efisiensi proses koagulasi flokulasi juga dipengaruhi oleh faktor hidrodinamika, seperti desain *impeller*, keberadaan *baffle*, dan jarak pemasangan *impeller* terhadap dasar tangki yang berperan dalam membentuk pola aliran selama proses pengadukan [7][8][9][10].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis hidrodinamika dalam tangki berpengaduk dengan variasi desain *impeller*, keberadaan *baffle*, serta jarak pemasangan *impeller*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh faktor-faktor tersebut terhadap pola aliran dan pembentukan flok dalam proses koagulasi flokulasi sehingga dapat diperoleh desain pengadukan yang optimum dalam meningkatkan efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan.

## 2. Metode Penelitian

### *Pengambilan Sampel Limbah Cair Domestik*

Sampel limbah cair domestik diperoleh dari saluran pembuangan rumah tangga dengan metode *composite sampling* berdasarkan SNI 6989.59:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah [11]. Pengambilan dilakukan pada dua rentang waktu puncak aktivitas rumah tangga, yaitu pukul 05.00–07.00 WIB dan 17.00–19.00 WIB agar sampel lebih representatif.

### *Karakteristik Awal Limbah Cair Domestik*

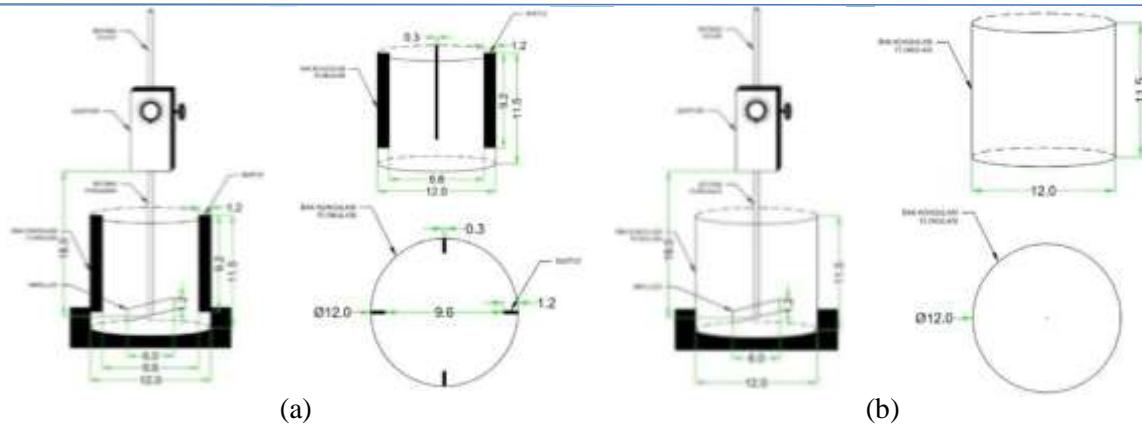
Penelitian ini diawali dengan analisis karakteristik awal *grey water* limbah cair domestik rumah tangga yang digunakan sebagai sampel, meliputi parameter *Total Suspended Solid* (TSS), kekeruhan, pH, dan suhu. Analisis dilakukan berdasarkan metode standar pengujian kualitas air menggunakan SNI 6989.3:2019 untuk TSS, SNI 06-6989.25:2005 untuk kekeruhan, SNI 06-6989.11:2019 untuk pH, serta SNI 06-6989.23:2005 untuk suhu [12][13][14][15]. Hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan baku mutu air limbah domestik menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013, yaitu TSS maksimum 30 mg/L, kekeruhan maksimum 25 NTU, pH pada rentang 6–9, dan suhu maksimum 40°C [3].

### *Penentuan Dosis Koagulan*

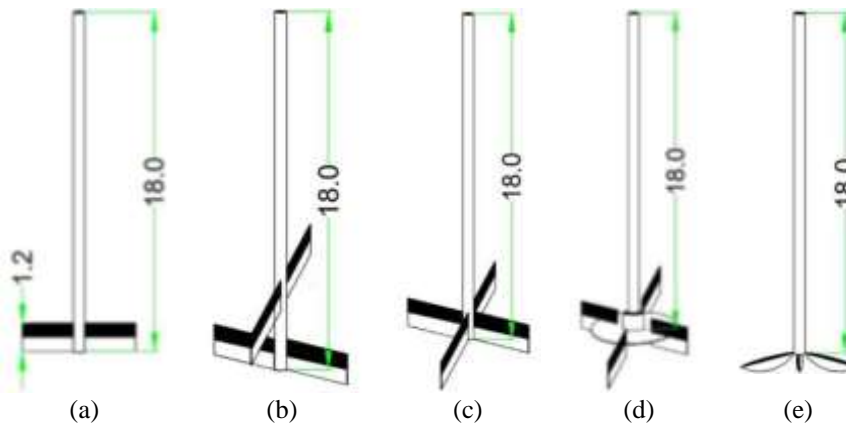
Penentuan dosis koagulan dilakukan melalui percobaan pendahuluan menggunakan unit *jar test* dengan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) kemurnian 30%. Penentuan dosis optimum dilakukan sesuai prosedur SNI 19-6449-2000 tentang Metode Pengujian Koagulasi Flokulasi dengan Cara Jar [16]. Digunakan variasi dosis 50–100 mg/L, kemudian dipilih dosis optimum berdasarkan efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan.

### *Desain Reaktor*

Reaktor koagulasi flokulasi berbentuk silinder dengan diameter 12 cm, tinggi 11,5 cm, dan kapasitas 1,3 L. Variasi desain meliputi tangki dengan *baffle* (4 buah dengan ukuran 10% dari diameter tangki) dan tanpa *baffle* [17]. Sistem pengadukan menggunakan motor listrik dengan variasi *impeller flat paddles 2 blades* (*single paddle*), *flat paddles 2 blades* (bertingkat), *turbine 4 flat blades*, *turbine 4 flat blades vaned disc*, dan *propeller 3 blades*. Variasi jarak pemasangan *impeller* ditetapkan 30%, 40%, dan 50% dari diameter *impeller* (Di).



Gambar 1. Desain Reaktor Koagulasi Flokulasi (a) Tangki dengan Baffle; (b) Tangki tanpa Baffle  
Sumber: Hasil Analisis (2025)



Gambar 2. Desain Impeller (a) Flat paddles 2 Blades (Single Paddle); (b) Flat paddles 2 Blades (Bertingkat); (c) Turbine 4 Flat Blades; (d) Turbine 4 Flat Blades Vaned disc; (e) Propeller 3 Blades  
Sumber: Hasil Analisis (2025)

Analisis Pola Aliran

Pola aliran pada tangki diamati menggunakan metode *Light Sheet Visualization* (LSV) dengan partikel *tracer* [18]. Kamera digital digunakan untuk merekam arah dominan aliran dan vorteks yang terbentuk.

Analisis Karakteristik Flok

Distribusi ukuran flok diukur menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) berdasarkan standar ISO 22412:2008 tentang *Dynamic Light Scattering* (DLS) untuk mengevaluasi kualitas pembentukan flok selama proses koagulasi flokulasi [19].

3. Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Awal Limbah Cair Domestik

Karakteristik awal *grey water* limbah domestik rumah tangga yang digunakan sebagai sampel dianalisis berdasarkan parameter fisik dan kimia, meliputi TSS, kekeruhan, suhu, dan pH. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kualitas Awal Grey Water Limbah Domestik

Parameter		Satuan
TSS	96,00	mg/L
Kekeruhan	104,00	NTU
Suhu	26,70	°C
pH	9,92	-

Sumber: Hasil Analisis (2025)

Nilai TSS terukur sebesar 96,00 mg/L menunjukkan kandungan partikel tersuspensi cukup tinggi. Hal ini sejalan dengan nilai kekeruhan sebesar 104,00 NTU yang menggambarkan adanya partikel halus

koloid yang mendominasi. Kondisi ini dapat menurunkan estetika air, menghambat penetrasi cahaya ke badan air, dan pada akhirnya memengaruhi proses fotosintesis organisme akuatik. Suhu sampel berada pada kisaran 26,70°C relatif mendekati kondisi lingkungan sehingga tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap proses pengolahan maupun stabilitas ekosistem.

Sementara itu, nilai pH sebesar 9,92 menunjukkan kondisi basa. pH yang tinggi dapat menimbulkan dampak negatif terhadap ekosistem perairan, antara lain mengganggu keseimbangan biologis, meningkatkan toksisitas amonia, serta menurunkan keberlangsungan hidup biota akuatik yang umumnya lebih sensitif terhadap perubahan pH ekstrem. Oleh karena itu, limbah cair domestik dengan karakteristik demikian memerlukan proses pengolahan lanjutan, termasuk pengaturan kondisi pH, agar aman sebelum dibuang ke badan air.

#### Hasil Penentuan Dosis Optimum Koagulan

Percobaan *jar test* menggunakan PAC dilakukan pada beberapa variasi dosis untuk mengetahui kondisi optimum proses koagulasi flokulasi. Ringkasan hasil uji ditampilkan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Hasil Penentuan Dosis Optimum Koagulan

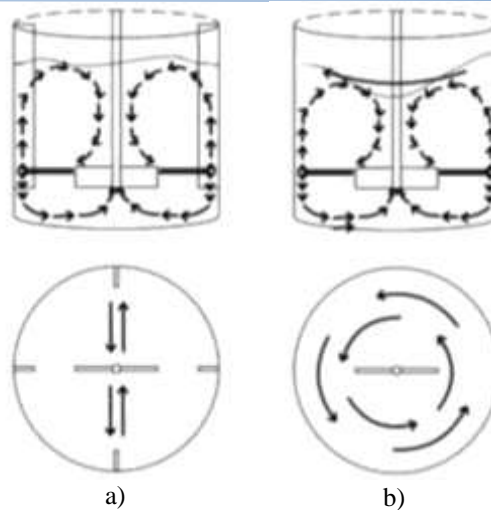
Konsentrasi Koagulan (mg/L)	Volume Koagulan (mL)	Volume Sampel (mL)	<i>Jar test</i>			
			Suhu (°C)	pH	Kekeruhan (NTU)	TSS (mg/L)
50	83,3	416,7	26,80	6,40	10,6	9,00
60	100	400	26,90	6,50	13,2	11,00
70	116,6	383,4	26,70	6,30	9,75	8,00
80	133,3	366,7	26,90	6,80	16,8	20,00
90	150	350	26,80	6,40	11,7	9,00
100	166,6	333,4	26,80	6,50	11,7	9,00

Sumber: Hasil Analisis (2025)

Hasil *jar test* pada **Tabel 2** menunjukkan bahwa pada dosis rendah (50–60 mg/L), flok yang terbentuk berukuran kecil, dan tidak stabil sehingga efisiensi penurunan TSS maupun kekeruhan masih rendah. Dosis optimum dicapai pada 70 mg/L dengan nilai kekeruhan 9,75 NTU dan TSS 8,00 mg/L. Pada kondisi ini terbentuk flok berukuran besar, kompak, dan mudah mengendap sehingga efisiensi penyisihan meningkat signifikan. Nilai pH setelah proses berada pada kisaran 6,3 yang sesuai dengan rentang optimum kerja PAC (5,5–7,0), sedangkan suhu meningkat sedikit ( $\pm 0,2^\circ\text{C}$ ) akibat reaksi eksotermis dari hidrolisis PAC meskipun tidak signifikan karena volume sampel kecil. Pada dosis lebih tinggi (80–100 mg/L), terjadi kecenderungan destabilisasi partikel akibat kelebihan muatan positif sehingga flok kembali mengecil dan efisiensi menurun. Hal ini sejalan dengan teori bahwa kelebihan koagulan dapat menyebabkan muatan berlebih pada koloid yang dapat menurunkan efektivitas koagulasi flokulasi [6].

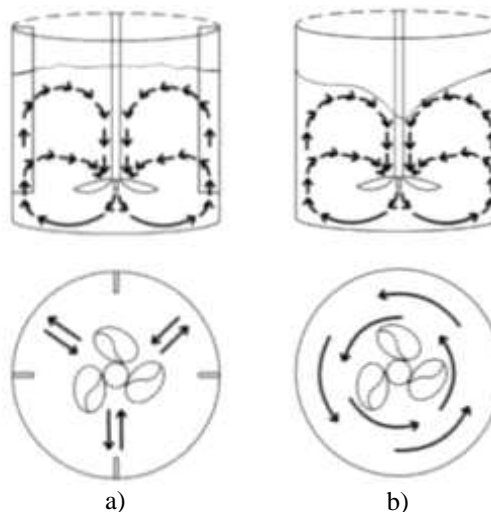
#### Pengaruh Keberadaan Baffle terhadap Penurunan TSS dan Kekeruhan

Pada proses koagulasi flokulasi, keberadaan *baffle* dalam tangki berfungsi untuk mengendalikan pola aliran, mencegah terbentuknya vorteks, memperbaiki distribusi energi, serta meningkatkan peluang tumbukan antar partikel sehingga mendukung terbentuknya flok yang stabil [20]. Namun, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa keberadaan *baffle* tidak selalu meningkatkan efisiensi penyisihan TSS maupun kekeruhan.



**Gambar 3.** Pola Aliran Radial (a) Tangki dengan *Baffle*; (b) Tangki tanpa *Baffle*  
 Sumber: Hasil Analisis (2025)

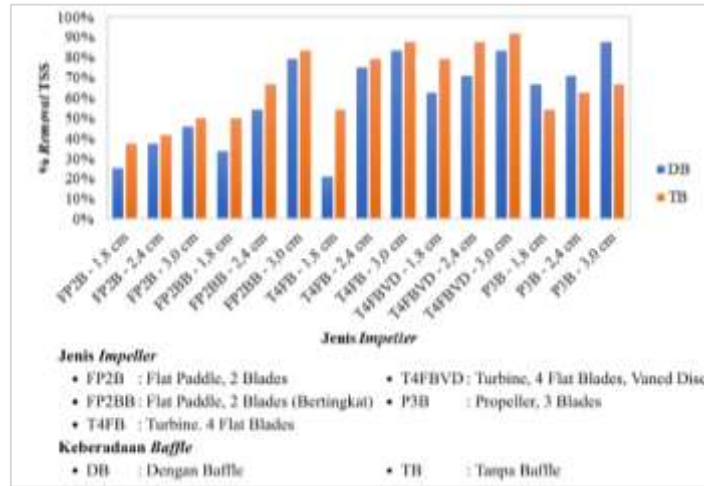
Pola aliran radial yang dihasilkan oleh *impeller flat paddle 2 blades*, *flat paddle 2 blades* bertingkat, *turbine 4 flat blades*, dan *turbine 4 flat blades vaned disc* ditunjukkan pada Gambar 3. Pada tangki dengan *baffle*, terlihat adanya zona geser tinggi di sekitar dinding akibat tumbukan fluida terhadap permukaan *baffle*. Keberadaan *baffle* pada tahap koagulasi dapat meningkatkan efisiensi pencampuran koagulan melalui peningkatan turbulensi dan distribusi energi yang lebih merata. Namun, pada tahap flokulasi, kondisi tersebut dapat menimbulkan gaya geser berlebih yang berpotensi menyebabkan pecahnya flok yang telah terbentuk. Efek ini menjadi semakin terlihat pada tangki berukuran kecil ( $< 20$  cm) karena frekuensi tumbukan fluida terhadap dinding meningkat. Sebaliknya, pada tangki tanpa *baffle*, pola aliran yang terbentuk berupa pusaran melingkar dengan gaya geser lebih rendah sehingga flok dapat tumbuh lebih besar dan stabil, serta memiliki peluang lebih tinggi untuk mengendap dengan baik.



**Gambar 4.** Pola Aliran Aksial (a) Tangki dengan *Baffle*; (b) Tangki tanpa *Baffle*  
 Sumber: Hasil Analisis (2025)

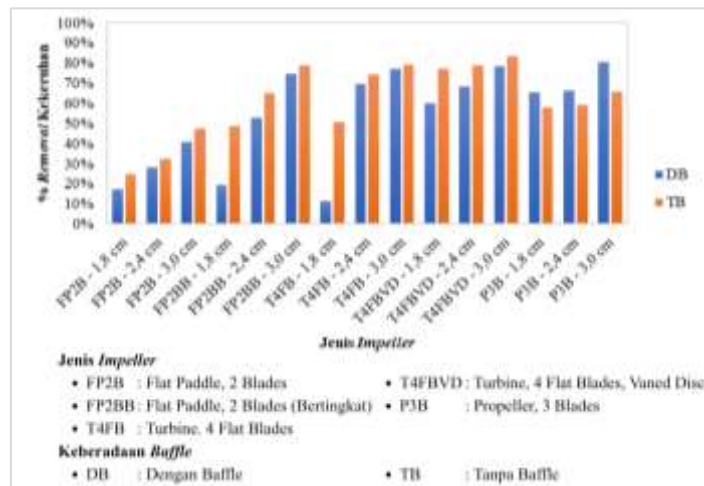
Berbeda dengan *impeller* radial, pada *impeller* tipe aksial, seperti *propeller 3 blades* menghasilkan pola aliran yang mendorong fluida ke arah aksial, yaitu ke atas dan ke bawah. Pola aliran ini berpotensi membentuk vorteks berlebih ketika tidak dilengkapi dengan *baffle* sehingga sebagian energi pengadukan terbuang dan proses pencampuran menjadi kurang efisien. Keberadaan *baffle*, seperti yang terlihat pada **Gambar 4** berperan penting dalam meminimalkan pembentukan vorteks dan mengarahkan aliran agar lebih terdistribusi merata ke seluruh volume tangki. Kondisi tersebut meningkatkan efisiensi proses pencampuran serta mendukung pembentukan flok yang lebih stabil sehingga berkontribusi pada peningkatan efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan.

Hasil visualisasi pola aliran ini diperkuat dengan data kuantitatif berupa grafik pengaruh keberadaan *baffle* terhadap efisiensi penurunan TSS dan kekeruhan yang disajikan pada **Gambar 5** dan **Gambar 6**.



Gambar 5. Pengaruh Keberadaan Baffle Terhadap Efisiensi Penurunan TSS  
Sumber: Hasil Analisis (2025)

Berdasarkan Gambar 5, terlihat bahwa efisiensi penurunan TSS pada tangki dengan baffle lebih rendah dibandingkan tangki tanpa baffle. Pada tangki dengan baffle, efisiensi penyisihan TSS berada pada kisaran 20,83%–83,33%, sedangkan pada tangki tanpa baffle meningkat hingga 37,50%–91,67%. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan baffle dapat menimbulkan gaya geser berlebih di sekitar dinding tangki sehingga dapat merusak flok, terutama pada tangki berukuran kecil.



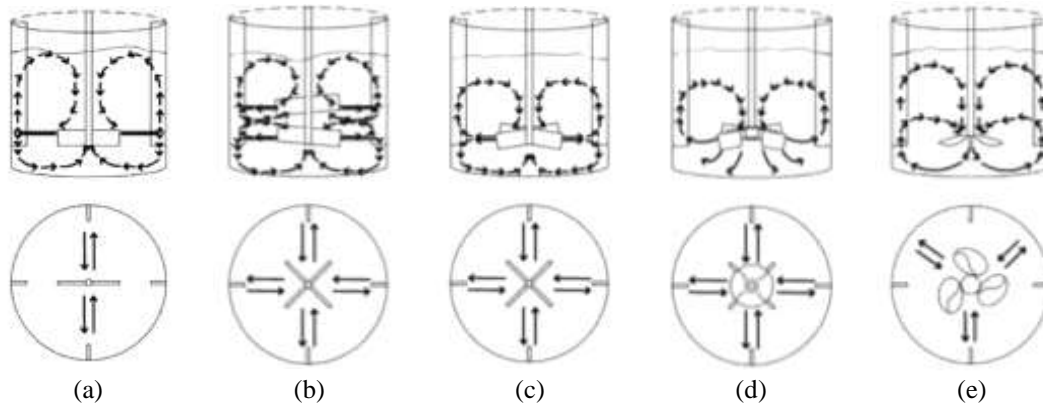
Gambar 6. Pengaruh Keberadaan Baffle Terhadap Efisiensi Penurunan Kekeruhan  
Sumber: Hasil Analisis (2025)

Hasil serupa juga ditunjukkan pada parameter kekeruhan (Gambar 6). Efisiensi penyisihan kekeruhan pada tangki dengan baffle hanya berkisar antara 11,20%–78,37%, sedangkan pada tangki tanpa baffle dapat mencapai 24,57%–83,27%. Perbedaan ini disebabkan oleh variasi pola aliran yang dihasilkan masing-masing jenis impeller serta interaksinya dengan dimensi tangki. Pada impeller tipe radial (flat paddles 2 blades, flat paddles 2 blades bertingkat, turbine 4 flat blades, dan turbine 4 flat blades dengan vaned disc), keberadaan baffle menimbulkan gaya geser tinggi di sekitar dinding sehingga flok mudah pecah. Sebaliknya, pada impeller tipe aksial seperti propeller, baffle dapat membantu mengurangi terbentuknya vorteks berlebih dan menjaga aliran tetap stabil, terutama pada kondisi kecepatan pengadukan rendah.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh baffle bergantung pada pola aliran yang dibentuk impeller. Keberadaan baffle dapat merugikan pada impeller radial karena menimbulkan gaya geser berlebih, tetapi menguntungkan pada impeller aksial karena mampu mengurangi vorteks. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa baffle dapat meningkatkan atau menurunkan efisiensi tergantung kondisi hidrodinamika dan kecenderungan terbentuknya gaya geser [21].

*Pengaruh Jenis Impeller terhadap Penurunan TSS dan Kekeruhan*

Jenis *impeller* merupakan salah satu faktor yang berperan penting dalam menurunkan TSS dan kekeruhan pada proses koagulasi flokulasi. Perbedaan jenis *impeller* menyebabkan pola aliran yang dihasilkan akan berbeda sehingga dapat memengaruhi intensitas pencampuran koagulan, distribusi energi, serta kemungkinan terbentuknya flok [22]. Dalam penelitian ini digunakan lima jenis *impeller*, yaitu *flat paddles 2 blades*, *flat paddles 2 blades* bertingkat, *turbine 4 flat blades*, *turbine 4 flat blades* dengan *vaned disc*, dan *propeller 3 blades*.



**Gambar 7.** Pola Aliran pada Berbagai Jenis *Impeller* (a) *Flat paddles 2 Blades*; (b) *Flat paddles 2 Blades* Bertingkat; (c) *Turbine 4 Flat Blades*; (d) *Turbine 4 Flat Blades* dengan *Vaned disc*; (e) *Propeller 3 Blades*  
Sumber: Hasil Analisis (2025)

Berdasarkan **Gambar 7**, jenis *impeller* memiliki pengaruh signifikan terhadap bentuk dan arah utama pola aliran. Pada *impeller flat paddle 2 blades* menghasilkan pola aliran radial dengan pergerakan fluida dari pusat menuju dinding tangki. Pola tersebut menghasilkan distribusi energi yang relatif merata secara horizontal, tetapi gaya geser yang dihasilkan rendah sehingga pencampuran vertikal kurang efektif. Kondisi ini menyebabkan efisiensi flokulasi tidak optimum karena pembentukan flok terjadi secara lambat dan berukuran kecil.

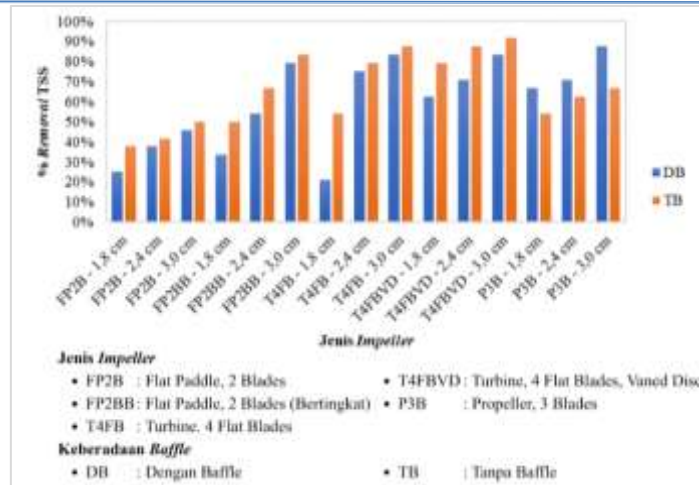
Pada *impeller flat paddle 2 blades* bertingkat membentuk dua zona sirkulasi vertikal yang berlawanan arah. Pola ini meningkatkan homogenitas pencampuran dan memperluas zona interaksi antar partikel. Meskipun gaya geser yang dihasilkan masih lebih rendah dibandingkan tipe *turbine*, tetapi aliran silang yang terbentuk dapat meningkatkan efisiensi penurunan TSS dan kekeruhan.

*Impeller turbine 4 flat blades* menghasilkan pola aliran radial kuat dengan dua sirkulasi di bagian atas dan bawah *impeller*. Fluida terdorong ke dinding tangki, naik ke permukaan, kemudian kembali ke pusat. Pola tersebut efektif mempercepat proses dispersi koagulan dan pembentukan mikroflok, tetapi gaya geser tinggi yang dihasilkan berpotensi merusak flok pada tahap flokulasi.

Sementara itu, penambahan *vaned disc* pada *impeller turbine 4 flat blades* menghasilkan kombinasi pola aliran radial-aksial. Pada pola aliran ini, sebagian fluida terdorong secara horizontal menuju dinding tangki, sedangkan sebagian lainnya mengalir vertikal ke bawah. Pola ini menciptakan distribusi energi yang lebih seimbang dan menekan terbentuknya vorteks.

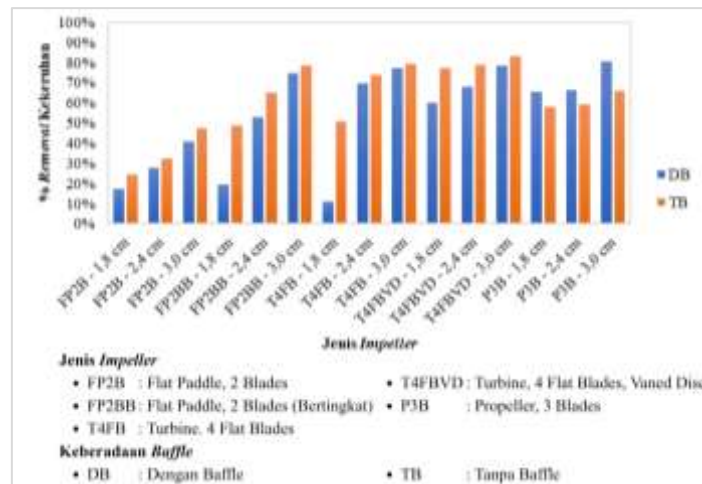
*Impeller propeller 3 blades* membentuk pola aliran aksial dominan. Fluida mengalir sejajar dengan poros menuju dasar tangki, kemudian naik kembali di sepanjang dinding. Pola tersebut menghasilkan sirkulasi menyeluruh yang efisien untuk mencampur seluruh volume fluida.

Secara umum, tidak terdapat perbedaan signifikan pada arah utama pola aliran yang dihasilkan dalam tangki dengan *baffle* dan tanpa *baffle*. Perbedaan utama terletak pada pembentukan vorteks. Tangki tanpa *baffle* menunjukkan pusaran kuat di pusat tangki yang menurunkan efisiensi pencampuran, sedangkan keberadaan *baffle* dapat mengurangi terbentuknya vorteks sehingga aliran menjadi lebih stabil dan distribusi energi lebih merata di seluruh volume tangki. Hasil ini diperkuat oleh data pengukuran parameter TSS yang disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengaruh Jenis Impeller terhadap Efisiensi Penurunan TSS  
Sumber: Hasil Analisis (2025)

Selain parameter TSS, pengujian juga dilakukan terhadap parameter kekeruhan untuk mengetahui pengaruh jenis *impeller* terhadap kemampuan dalam meningkatkan kejernihan air hasil pengolahan. Hasil pengujian efisiensi penurunan kekeruhan untuk setiap variasi *impeller* disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Pengaruh Jenis Impeller terhadap Efisiensi Penurunan Kekeruhan  
Sumber: Hasil Analisis (2025)

Berdasarkan Gambar 8 dan Gambar 9, variasi jenis *impeller* menghasilkan perbedaan signifikan terhadap efisiensi penurunan TSS dan kekeruhan. *Impeller flat paddles 2 blades* hanya mampu menurunkan TSS pada kisaran 25,00%–50,00% dan kekeruhan 17,31%–47,36%. Pola aliran radial yang terbentuk memiliki distribusi energi relatif merata, tetapi gaya geser rendah menyebabkan flok yang terbentuk kecil dan kurang stabil sehingga efisiensi penyisihan terbatas.

*Impeller flat paddles 2 blades* bertingkat menunjukkan kinerja lebih baik dengan penurunan TSS 33,33%–83,33% dan kekeruhan 19,18%–78,65%. Aliran radial yang dihasilkan terbagi menjadi dua zona sirkulasi vertikal akibat perbedaan arah dorongan bilah atas dan bawah. Pola tersebut memperbaiki homogenitas pencampuran meskipun gaya geser masih terbatas sehingga flok tidak sepenuhnya stabil.

*Impeller turbine 4 flat blades* menghasilkan efisiensi TSS 20,83%–87,50% dan kekeruhan 11,20%–79,23%. Pola aliran radial yang kuat menimbulkan gaya geser tinggi yang efektif untuk koagulasi, tetapi dapat merusak flok pada tahap flokulasi akibat pecahnya flok.

*Impeller turbine 4 flat blades* dengan *vaned disc* memberikan efisiensi tertinggi dengan TSS 62,50%–91,67% dan kekeruhan 59,86%–83,27%. Penambahan *vaned disc* menstabilkan aliran dan mengurangi vorteks sehingga distribusi energi lebih merata. Kondisi tersebut mendukung terbentuknya flok yang lebih besar dan stabil.

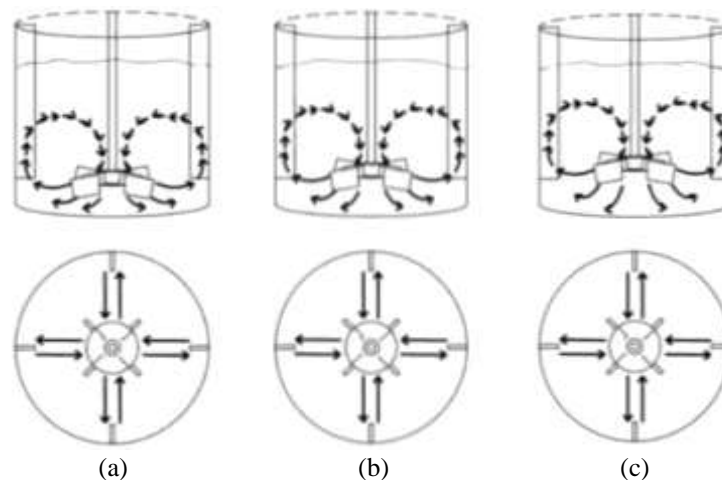
*Impeller propeller 3 blades* juga menunjukkan efisiensi tinggi dengan TSS 54,17%–87,50% dan kekeruhan 57,98%–80,48%. Pola aliran aksial yang terbentuk menyebabkan fluida terdorong ke bawah

sepanjang sumbu *impeller*, lalu naik kembali di dinding tangki. Pola ini mampu meminimalkan zona mati dan menghasilkan distribusi pencampuran yang homogen.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis *impeller* berpengaruh signifikan terhadap efisiensi penurunan TSS dan kekeruhan. *Impeller turbine 4 flat blades* dengan *vaned disc* menunjukkan kinerja paling optimum karena menghasilkan pola aliran yang stabil. *Impeller propeller 3 blades* juga menunjukkan kinerja baik terutama pada tangki dengan *baffle*, sedangkan *impeller flat paddles* dan *turbine* tanpa *vaned disc* memiliki efisiensi penyisihan yang relatif lebih rendah.

#### *Pengaruh Ketinggian Pemasangan Impeller terhadap Penurunan TSS dan Kekeruhan*

Ketinggian pemasangan *impeller* dari dasar tangki merupakan salah satu faktor yang memengaruhi efisiensi penurunan TSS dan kekeruhan dalam proses koagulasi flokulasi. Variasi posisi *impeller* menentukan pola aliran dan distribusi energi dalam tangki, yang pada akhirnya memengaruhi intensitas tumbukan partikel serta pembentukan flok. Dalam penelitian ini, posisi *impeller* divariasikan pada tiga ketinggian berbeda, yaitu 1,8 cm (30% Di), 2,4 cm (40% Di), dan 3,0 cm (50% Di), baik pada tangki dengan *baffle* maupun tanpa *baffle*.

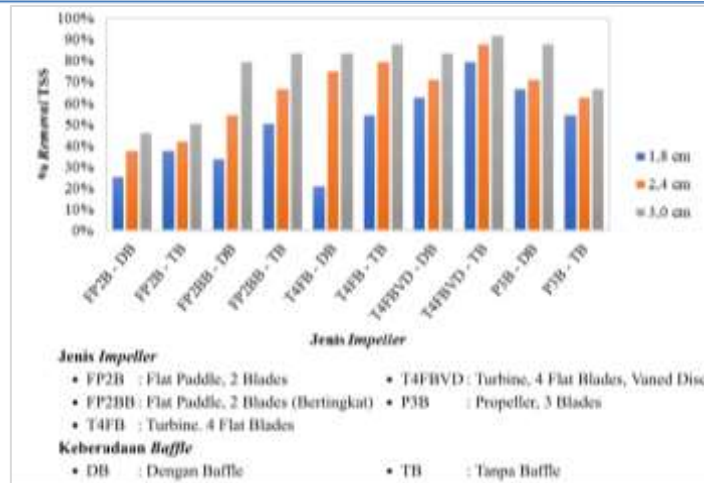


**Gambar 10.** Distribusi Aliran (a) Ketinggian 1,8 cm (30% Di); (b) Ketinggian 2,4 cm (40% Di); (c) Ketinggian 3,0 cm (50% Di)  
 Sumber: Hasil Analisis (2025)

Berdasarkan visualisasi pola aliran yang ditunjukkan pada **Gambar 10**, posisi ketinggian *impeller* memiliki pengaruh terhadap karakteristik sirkulasi fluida di dalam tangki. Pada ketinggian 1,8 cm (30% Di), aliran fluida yang dihasilkan terpusat di area dasar tangki dengan sirkulasi terbatas yang didominasi arah aliran ke dasar dan kembali ke sekitar *impeller*. Distribusi energi yang tidak merata menyebabkan fluida di bagian tengah dan atas tangki mengalami stagnasi sehingga efektivitas pencampuran menurun.

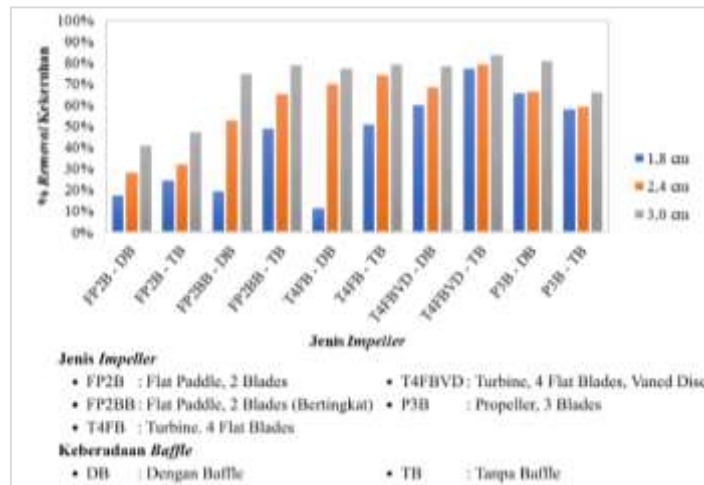
Pada posisi ketinggian 2,4 cm (40% Di), pola aliran mulai menunjukkan penyebaran ke arah tengah tangki. Terjadi perluasan area sirkulasi di sekitar *impeller*, tetapi distribusi aliran ke bagian atas masih belum optimal. Zona stagnan masih terlihat pada lapisan atas tangki karena gaya dorong fluida belum cukup kuat untuk menggerakkan partikel ke seluruh volume. Kondisi ini menunjukkan bahwa energi pengadukan yang dihasilkan pada ketinggian ini belum terdistribusi secara homogen.

Pada ketinggian 3,0 cm (50% Di), pola aliran fluida menjadi lebih seimbang antara arah ke dasar dan ke permukaan. Terbentuk dua zona sirkulasi utama yang saling terhubung dan menghasilkan pola resirkulasi penuh di seluruh volume tangki. Distribusi energi yang merata memungkinkan pergerakan partikel di seluruh area tangki serta meminimalkan terbentuknya zona stagnan. Aliran yang stabil dan homogen pada posisi ini mengindikasikan keseimbangan antara gaya dorong aksial dan radial sehingga interaksi antarpartikel dapat berlangsung optimal tanpa menimbulkan gaya geser berlebih. Hasil visualisasi ini sejalan dengan nilai hasil pengukuran parameter TSS yang ditunjukkan pada **Gambar 11**.



Gambar 11. Pengaruh Ketinggian Pemasangan *Impeller* terhadap Efisiensi Penurunan TSS  
Sumber: Hasil Analisis (2025)

Selain itu, dilakukan juga pengukuran terhadap parameter kekeruhan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Pengaruh Ketinggian Pemasangan *Impeller* terhadap Efisiensi Penurunan Kekeruhan  
Sumber: Hasil Analisis (2025)

Berdasarkan kedua grafik tersebut, ketinggian 1,8 cm (30% Di) menghasilkan efisiensi penurunan TSS dan kekeruhan terendah dengan nilai masing-masing 20,83%–79,17% dan 11,20%–77,07%. Pada ketinggian 2,4 cm (40% Di), efisiensi penyisihan meningkat menjadi 37,50%–87,50% untuk TSS dan 27,93%–78,99% untuk kekeruhan. Peningkatan ini terjadi karena distribusi aliran yang dihasilkan mulai menjangkau bagian tengah tangki meskipun zona stagnan masih terlihat pada bagian atas.

Kondisi optimum diperoleh pada ketinggian 3,0 cm (50% Di). Pada ketinggian ini pola aliran resirkulasi penuh terbentuk sehingga distribusi energi dan tumbukan partikel menjadi lebih efektif. Hal ini memungkinkan proses flokulasi berlangsung lebih stabil tanpa menimbulkan gaya geser berlebih yang dapat merusak flok. Dengan demikian, efisiensi penurunan TSS dapat mencapai 45,83%–91,67% dan kekeruhan 40,77%–83,27%.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa ketinggian *impeller* sebesar 3,0 cm (50% Di) merupakan posisi optimum dalam proses koagulasi flokulasi. Hal ini sesuai dengan teori hidrodinamika pengadukan yang menyatakan bahwa pemasangan *impeller* pada ketinggian sekitar 50%  $D_i$  dari dasar tangki mampu menghasilkan pola aliran resirkulasi yang stabil dan homogen [17].

#### Kombinasi Desain Pengadukan yang Optimum pada Proses Koagulasi Flokulasi

Berdasarkan hasil penelitian, setiap jenis *impeller* menunjukkan kondisi optimum yang berbeda bergantung pada variasi desain *impeller*, keberadaan *baffle*, serta jarak pemasangan *impeller*. Secara umum, kondisi optimum tercapai pada ketinggian pemasangan 3,0 cm dari dasar tangki. Namun, hasil yang

diperoleh pada tiap variasi *impeller* dan variasi keberadaan *baffle* menunjukkan perbedaan karakteristik tertentu.

Pada *impeller flat paddle 2 blades*, kinerja terbaik diperoleh pada tangki tanpa *baffle* dengan ketinggian 3,0 cm. Kondisi ini menghasilkan efisiensi penyisihan TSS sebesar 50,00% dan kekeruhan 47,36%. Pola aliran radial sederhana yang terbentuk pada kondisi ini dapat mendistribusikan fluida secara merata tanpa menyebabkan tumbukan kuat dengan dinding tangki sehingga risiko pecahnya flok dapat diminimalkan.

Pada *impeller flat paddle 2 blades* bertingkat, kondisi optimum juga tercapai pada tangki tanpa *baffle* dengan ketinggian 3,0 cm. Efisiensi penyisihan mencapai 83,33% untuk TSS dan 78,65% untuk kekeruhan. Dua zona sirkulasi vertikal yang terbentuk pada variasi ini menjaga homogenitas pencampuran sehingga flok dapat terbentuk lebih besar dan stabil.

Berbeda dengan *impeller turbine 4 flat blades* tanpa *vaned disc* yang menunjukkan kinerja optimum pada tangki tanpa *baffle* dengan ketinggian 3,0 cm yang menghasilkan penyisihan TSS sebesar 87,50% dan kekeruhan 79,23%. Pola aliran radial yang kuat dapat meningkatkan intensitas pencampuran, tetapi gaya geser tinggi yang dihasilkan membuat flok menjadi lebih rapuh. Penambahan *baffle* dapat memperburuk kondisi akibat tumbukan flok dengan dinding sehingga kondisi optimum tercapai pada tangki tanpa *baffle*.

Pada *impeller turbine 4 flat blades* dengan *vaned disc*, kondisi optimum juga dicapai pada tangki tanpa *baffle* dengan ketinggian 3,0 cm. Variasi ini menunjukkan hasil terbaik dengan efisiensi penyisihan TSS mencapai 91,67% dan kekeruhan 83,27%. Keberadaan *vaned disc* berperan dalam menekan pembentukan vorteks, menstabilkan pola aliran, serta meratakan distribusi energi sehingga flok yang terbentuk menjadi lebih besar, seragam, dan stabil.

Sementara itu, *impeller propeller 3 blades*, kondisi optimum diperoleh pada tangki dengan *baffle* pada ketinggian 3,0 cm dengan penyisihan TSS sebesar 87,50% dan kekeruhan 80,48%. Pola aliran aksial yang dominan mendorong terbentuknya sirkulasi vertikal penuh sehingga pembentukan flok dapat berlangsung efektif. Pada tangki tanpa *baffle*, pola aliran aksial menghasilkan vorteks besar yang tidak terkendali sehingga flok menjadi tidak stabil. Keberadaan *baffle* membantu meminimalisir terjadinya pusaran dan mengarahkan aliran agar pembentukan flok lebih efisien.

Untuk memperkuat analisis, dilakukan uji PSA (*Particle Size Analysis*) pada kondisi optimum dari masing-masing *impeller*. Hasil pengujian disajikan pada **Tabel 3**.

**Tabel 3.** Hasil Uji PSA pada Kondisi Optimum Masing-Masing Jenis *Impeller*

No.	Variasi <i>Impeller</i>	TSS (mg/L)	D <sub>av</sub> (nm)	PI	D <sub>10</sub> (nm)	D <sub>50</sub> (nm)	D <sub>90</sub> (nm)
1.	<i>Flat Paddle 2 Blades</i> ; 3,0 cm; Tanpa <i>Baffle</i>	48	797,75	0,4120	212,94	452,44	962,83
2.	<i>Flat Paddle 2 Blades</i> Bertingkat; 3,0 cm; Tanpa <i>Baffle</i>	16	2.006,48	1,9561	98,89	375,43	1.422,93
3.	<i>Turbine 4 Flat Blades</i> ; 3,0 cm; Tanpa <i>Baffle</i>	12	2.182,88	2,0685	99,43	386,23	1.491,34
4.	<i>Turbine 4 Flat Blades</i> <i>Vaned disc</i> ; 3,0 cm; Tanpa <i>Baffle</i>	8	2.003,91	0,3997	547,89	1.152,36	2.422,64
5.	<i>Propeller 3 Blades</i> ; 3,0 cm; Dengan <i>Baffle</i>	12	2.922,68	0,7744	445,41	1.174,96	3.081,53

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Berdasarkan hasil PSA, terlihat adanya keterkaitan antara ukuran flok dan nilai TSS akhir. Pada *flat paddle 2 blades*, rata-rata ukuran flok relatif kecil (797,75 nm) sehingga proses pengendapan kurang optimal dan menghasilkan nilai TSS akhir sebesar 48 mg/L. Variasi *flat paddle 2 blades* bertingkat dan *turbine 4 flat blades* tanpa *vaned disc* menghasilkan flok lebih besar (> 2000 nm) dan nilai TSS akhir lebih rendah (16–12 mg/L), tetapi memiliki nilai PI yang tinggi (> 1,9–2,0) menunjukkan distribusi ukuran flok yang heterogen. Kondisi ini berarti meskipun terdapat flok besar yang cepat mengendap, tetapi masih terdapat banyak partikel kecil yang tersuspensi.

Hasil terbaik ditunjukkan oleh *turbine 4 flat blades* dengan *vaned disc* yang menghasilkan flok homogen (PI 0,40) dengan rata-rata ukuran 2.003,91 nm dan nilai TSS akhir terendah (8 mg/L). Distribusi ukuran yang seragam membuat flok lebih stabil dan mudah mengendap. Sebaliknya, *propeller 3 blades* menghasilkan flok berukuran paling besar (2.922,68 nm), tetapi nilai PI yang lebih tinggi (0,77)

menunjukkan distribusi ukuran yang kurang homogen sehingga nilai TSS akhir masih lebih tinggi (12 mg/L) dibandingkan *turbine* dengan *vaned disc*.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa kondisi optimum proses koagulasi flokulasi diperoleh pada *impeller turbine 4 flat blades* dengan *vaned disc* yang dipasang pada ketinggian 3,0 cm dari dasar tangki tanpa *baffle*. Kombinasi ini menghasilkan pola aliran stabil, distribusi energi merata, flok berukuran besar dan homogen, serta nilai TSS akhir paling rendah. Hasil ini menegaskan bahwa pemilihan jenis *impeller*, keberadaan *baffle*, dan ketinggian pemasangan *impeller* merupakan faktor yang saling berkaitan dalam menentukan keberhasilan proses koagulasi flokulasi.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi hidrodinamika dalam tangki berpengaduk dipengaruhi oleh keberadaan *baffle*, jenis *impeller*, dan jarak pemasangan *impeller*. Pada skala laboratorium, keberadaan *baffle* tidak selalu memberikan hasil positif karena dapat meningkatkan risiko pecahnya flok akibat tumbukan dengan dinding tangki. Jenis *impeller* berperan signifikan terhadap kualitas flok yang terbentuk dengan *impeller turbine 4 flat blades* dengan *vaned disc* menghasilkan flok yang paling stabil dan padat. Kondisi pengadukan optimum diperoleh pada kombinasi *impeller turbine 4 flat blades* dengan *vaned disc* dengan jarak pemasangan *impeller* 3,0 cm dari dasar tangki tanpa *baffle* yang mampu meningkatkan efisiensi penyisihan TSS hingga 91,67% dan kekeruhan hingga 83,27%.

#### 5. Referensi

- [1] Badan Pusat Statistik Indonesia, *Statistik Indonesia 2025*, vol. 53. Jakarta: Badan Pusat Statistik, 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.bps.go.id/id/publication/2025/02/28/8cfe1a589ad3693396d3db9f/statistik-indonesia-2025.html>
- [2] BPS Kota Surabaya, *Kota Surabaya dalam Angka 2025*, vol. 37. Surabaya: BPS Kota Surabaya, 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://surabayakota.bps.go.id/id/publication/2025/02/28/bd1f25e59ae790cc8a7c0c07/kota-surabaya-dalam-angka-2025.html>
- [3] Gubernur Jawa Timur, *Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya*. 2013.
- [4] R. T. Setiawati dan I. F. Purwati, "Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik di Kecamatan Simokerto Kota Surabaya," *IPTEK J. Proc. Ser.*, vol. 3, no. 5, 2017, doi: 10.12962/j23546026.y2017i5.3176.
- [5] A. Masduqi dan A. F. Assomadi, *Operasi & Proses Pengolahan Air*, 2 ed. Surabaya: ITS Press, 2016.
- [6] N. I. Said, *Teknologi Pengolahan Air Limbah : Teori Dan Aplikasi*. Jakarta: Erlangga, 2017.
- [7] R. M. A. Dienullah, "Pengaruh Bentuk Impeller pada Proses Koagulasi-Flokulasi dalam Mengolah Limbah Industri Batik Organik," UPN "Veteran" Jawa Timur, 2021.
- [8] M. L. Dzaky, "Pengaruh Desain Pengaduk Terhadap Penurunan Parameter Total Suspended Solid Dan Kekeruhan Pada Proses Koagulasi Flokulasi," UPN "Veteran" Jawa Timur, 2025.
- [9] K. M. I. Utari, "Pengaruh Variasi Bentuk Impeller pada Proses Koagulasi Flokulasi terhadap Pola Aliran," UPN "Veteran" Jawa Timur, 2023. doi: 10.55123/insologi.v2i4.2483.
- [10] M. Yao, Z. Ran, T. Chen, Q. Wu, dan X. Dong, "Numerical Simulation Studies of Agitating Paddle Dependence on Characteristics of the Flow Field in the Mechanical Continuous Flow Stirred Reactor for Flocculation," *Desalin. Water Treat.*, vol. 183, hal. 30–41, 2020, doi: 10.5004/dwt.2020.25181.
- [11] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 6989.59:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah*. Tangerang: Badan Standardisasi Nasional, 2008. [Daring]. Tersedia pada: [http://ciptakarya.pu.go.id/plp/upload/peraturan/SNI\\_-6989-59-2008-\\_Metoda-Pengambilan-Contoh-Air-Limbah.pdf](http://ciptakarya.pu.go.id/plp/upload/peraturan/SNI_-6989-59-2008-_Metoda-Pengambilan-Contoh-Air-Limbah.pdf)
- [12] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 6989.3:2019 tentang Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solid, TSS) Secara Gravimetri*. Tangerang: Badan Standardisasi Nasional, 2019.
- [13] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 06-6989.25-2005 tentang Cara uji Kekeruhan dengan Nefelometer*. Tangerang: Badan Standardisasi Nasional, 2005.
- [14] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 6989.11:2019 tentang Cara Uji Derajat Keasaman (pH)*. Tangerang: Badan Standardisasi Nasional, 2019.
- [15] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 06-6989.23-2005 tentang Cara Uji Suhu dengan Termometer*.

- 
- Tangerang: Badan Standardisasi Nasional, 2005.
- [16] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 19-6449-2000 tentang Metode Pengujian Koagulasi-Flokulasi dengan Cara Jar*. Tangerang: Badan Standardisasi Nasional, 2000.
- [17] Metcalf dan Eddy, *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery*, 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014.
- [18] W. J. Yang, *Handbook of Flow Visualization*, 2nd Edition. New York: Taylor & Francis, 2001.
- [19] International Organization for Standardization, *ISO 22412:2008 Particle Size Analysis — Dynamic Light Scattering (DLS)*. Switzerland: International Organization for Standardization, 2008.
- [20] A. A. A. Rasool, S. S. Ahmad, dan F. A. Hamad, "Effect of Impeller Type and Rotational Speed on Flow Behavior in Fully Baffled Mixing Tank," *Int. J. Adv. Res.*, vol. 5, no. 1, hal. 1195–1208, Jan 2017, doi: 10.21474/IJAR01/2871.
- [21] W. He, L. Xue, B. Gorczyca, J. Nan, dan Z. Shi, "Experimental and CFD Studies of Floc Growth Dependence on Baffle Width in Square Stirred-Tank Reactors for Flocculation," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 190, hal. 228–242, Jan 2018, doi: 10.1016/j.seppur.2017.08.063.
- [22] A. S. Shihab dan A. T. Hamad, "Effect of Inclination Angle, Dimensions of Impeller Blades, and Velocity Gradient on The Efficiency of Water Flocculation," *Int. J. Civ. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 5, hal. 969–977, 2018.