

Analisis Kinetika Laju Pertumbuhan Lumpur Aktif Artificial menggunakan Karbon Aktif pada Tahap Seeding

Angga Mustofa Priyoharjo*, Prayatni Soewondo

Program Studi Magister Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

*Koresponden email: anggamustofap@gmail.com

Diterima: 6 Juli 2025

Disetujui: 21 Juli 2025

Abstract

Textile industry WWTP systems generally use chemical and biological activated sludge. Activated sludge systems tend to require a long retention time and are less effective in degrading color. One technology that can be developed is the improvisation of activated sludge microorganisms with the addition of powdered activated carbon. This research is to develop a combination technology of powdered activated carbon addition in the seeding stage and see its effect on the growth rate of microorganisms during the seeding and acclimatization stages. The initial stage was a seeding process using liquid starter bacteria carried out in 5 reactors with a capacity of 5 L, with the dose of activated carbon addition in reactors 1, 2, 3, 4 and 5 namely 0 mg/l, 100 mg/l, 400 mg/l, 800 mg/l and 1000 mg/l and a blank reactor with only activated carbon without the addition of starter bacteria. Parameters observed during the study were DO, pH, MLSS and COD values. The seeding process is carried out for 28 days until the MLSS reaches 2000 mg/l, followed by an acclimatization stage which is carried out for 30 days with a COD value set at 1000 mg/l using an artificial substrate. At the seeding stage, the optimal reactor was R5, which was based on the increase in MLSS over time and the kinetics of growth rate as a μ_{max} value of 0.2179 days⁻¹ and acclimatization stages 1 and 2 with μ_{max} values of 0.0853 days⁻¹ and 0.0959 days⁻¹, respectively.

Keywords: powdered activated carbon, seeding, acclimatization, microorganisms, activated sludge

Abstrak

Sistem IPAL industri tekstil umumnya menggunakan kimia dan biologi lumpur aktif. Sistem lumpur aktif cenderung membutuhkan waktu retensi yang cukup lama dan kurang efektif dalam mendegradasi warna. Salah satu teknologi yang dapat dikembangkan yaitu improvisasi mikroorganisme lumpur aktif dengan penambahan karbon aktif bubuk. Penelitian ini untuk mengembangkan teknologi kombinasi penambahan karbon aktif bubuk di tahap seeding serta dilihat pengaruhnya terhadap laju pertumbuhan mikroorganisme selama tahap seeding dan aklimatisasi. Tahap awal dilakukan proses seeding menggunakan bakteri starter cair yang dilakukan pada 5 reaktor kapasitas 5 L, dengan dosis penambahan karbon aktif pada reaktor 1, 2, 3, 4 dan 5 yakni 0 mg/l, 100 mg/l, 400 mg/l, 800 mg/l dan 1000 mg/l serta reaktor blanko dengan hanya karbon aktif tanpa penambahan bakteri starter. Parameter yang diamati selama penelitian adalah nilai DO, pH, MLSS dan COD. Pada proses seeding reaktor 5 dapat mencapai nilai MLSS sebesar 2567 mg/l dalam waktu 6 hari dengan nilai μ_{max} sebesar 0,2179 hari⁻¹. Kemudian dilanjutkan ke aklimatisasi tahap 1 didapatkan reaktor 5 dapat mencapai nilai MLSS sebesar 3336 mg/l dalam waktu 5 hari dengan nilai μ_{max} sebesar 0,0853 hari⁻¹ dan aklimatisasi tahap 2 didapatkan reaktor 5 dapat mencapai nilai MLSS sebesar 4338 mg/l dalam waktu selama 6 hari dengan nilai μ_{max} sebesar 0,0959 hari⁻¹. Sehingga semakin besar penambahan karbon aktif pada tahap seeding dapat signifikan meningkatkan laju pertumbuhan mikroorganisme lumpur aktif.

Kata Kunci: karbon aktif bubuk, seeding, aklimatisasi, mikroorganisme, lumpur aktif

1. Pendahuluan

Industri tekstil memiliki tingkat pertumbuhan paling tinggi yakni mencapai 18,98% [3]. Air limbah yang dihasilkan oleh industri tekstil memiliki warna yang sulit terdegradasi sehingga diperlukan adanya pengolahan terlebih dahulu sebelum membuang limbah berwarna ke saluran air [15]. Berbagai metode telah diaplikasikan untuk pengolahan limbah pewarnaan yaitu dengan metode fisik-kimia [8]. Salah satunya metode sistem biologi yaitu lumpur aktif yang masih belum berhasil menghilangkan warna dari effluent industri tekstil [22]. Maka dari itu perlu adanya pengembangan sistem biologi lumpur aktif untuk menghilangkan warna air limbah tekstil dan printing yang lebih efisien. Salah satu teknologi yang dapat

dikembangkan yaitu dengan improvisasi sistem lumpur aktif biologi dengan penambahan karbon aktif bubuk aktif dengan memiliki acuan pada beberapa penelitian sebelumnya [28; 1; 7;]. Pada penelitian ini variasi dosis penambahan karbon aktif, lama waktu peningkatan MLSS, lama waktu proses aklimatisasi, diamati untuk mengetahui pengaruh terhadap proses kombinasi lumpur aktif dengan karbon aktif. Diharapkan teknologi ini dapat menjadi solusi alternatif bagi industri tekstil dan printing untuk mengefisienkan sistem pengelolaan air limbah dan dapat diimplementasikan tanpa harus merubah sistem secara keseluruhan.

2. Metode Penelitian

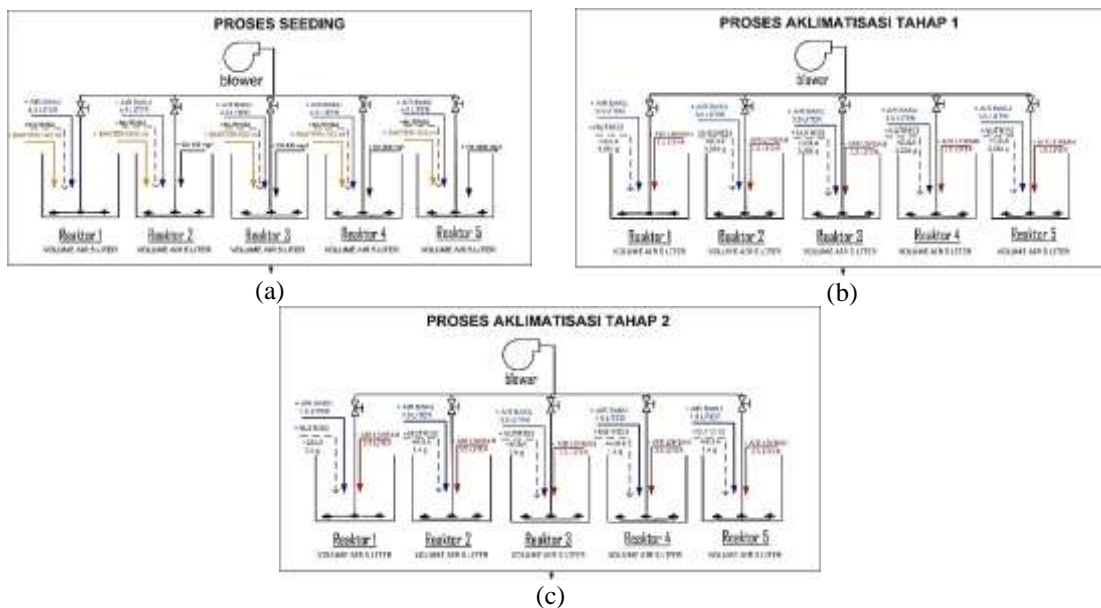
Alat dan Bahan

Tabel 1. Alat dan Bahan Penelitian

Alat		Bahan
- Reaktor Kapasitas 5 Liter sebanyak 5 unit	- Botol Semprot	- Karbon Aktif Bubuk ukuran < 0,18 mm
- Aerator dan Batu Aerator + Selang set	- Tabung Reaksi	- Jenis bakteri biakan produksi PT. X
- pH Meter	- Kuvet	- Aquadest
- Spectrofotometer – COD Meter	- Spatula	- Glukosa
- Kolorimeter	- Gelas Kimia	- NH ₄ Cl
- Digest / Refluks	- Gelas Ukur 1000 ml	- KH ₂ PO ₄
- TSS Meter	- Batang Pengaduk	- CaO
- DO Meter	- Gelas Ukur 250 ml dan 100 ml	- H ₂ SO ₄
- Filler	- Timbangan Analitik	- K ₂ Cr ₂ O ₇ Reagent COD
- Ember atau Jerrycan 20 Liter	- Scanning Electron Microscope (SEM)	- Air Limbah Industri Tekstil PT. X
	- Pipet Tetes	

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Penelitian ini menggunakan 5 reaktor berkapasitas 5 liter, dengan variasi dosis karbon aktif yaitu R1 (tanpa karbon), R2 (100 mg/L), R3 (400 mg/L), R4 (800 mg/L), dan R5 (1000 mg/L), seperti ditunjukkan pada **Gambar 1** berikut.



Gambar 1. Desain Reaktor

Sumber : Hasil Perhitungan, 2024

Keterangan : (a) Desain Reaktor Tahap *Seeding*; (b) Desain Reaktor Aklimatisasi Tahap 1; dan (c) Desain Reaktor Aklimatisasi Tahap 2

Operasional Reaktor

A. *Seeding*

Semua reaktor tersebut diaerasi dengan aerator dan dipertahankan pada nilai DO di antara 2-5 mg/l, nilai pH 6-8, dan nilai COD pada kondisi awal sebesar 1000 mg/l. Proses *seeding* berlangsung hingga MLSS mencapai 2000 mg/l.

B. Aklimatisasi

Proses aklimatisasi dilakukan setelah MLSS mencapai 2000 mg/l pada tahap *seeding*, kemudian lumpur diendapkan dan dilakukan dekantasi pemisahan lumpur dengan air.

C. Analisis Efektivitas

Penelitian ini menggunakan variabel independen berupa dosis karbon aktif bubuk dan waktu detensi, serta variabel dependen berupa perubahan COD, dan MLSS. Analisis dilakukan terhadap COD, pH, DO, suhu, dan MLSS selama *seeding* dan aklimatisasi [1].

D. Pengolahan Data

Data hasil penelitian pada proses *seeding* dan aklimatisasi reaktor terhadap air limbah tekstil mencakup dosis karbon aktif, waktu detensi, MLSS, COD, pH, dan DO. Data dianalisis secara deskriptif melalui tabel dan grafik *line* menggunakan Microsoft excel. Analisis meliputi penambahan karbon aktif, kinetika pertumbuhan sel, pertumbuhan dan pemanfaatan dalam substrat terbatas.

Analisis Data dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan dibagi menjadi dua yaitu deskriptif dan inferensial. Analisis deskriptif mencakup pengamatan pertumbuhan mikroorganisme melalui indikator MLSS dan penurunan COD selama *seeding* dan aklimatisasi pada berbagai reaktor. Analisis inferensial menggunakan uji ANOVA *one way* untuk mengevaluasi pengaruh dosis karbon aktif bubuk terhadap peningkatan MLSS dan adaptasi mikroorganisme saat aklimatisasi.

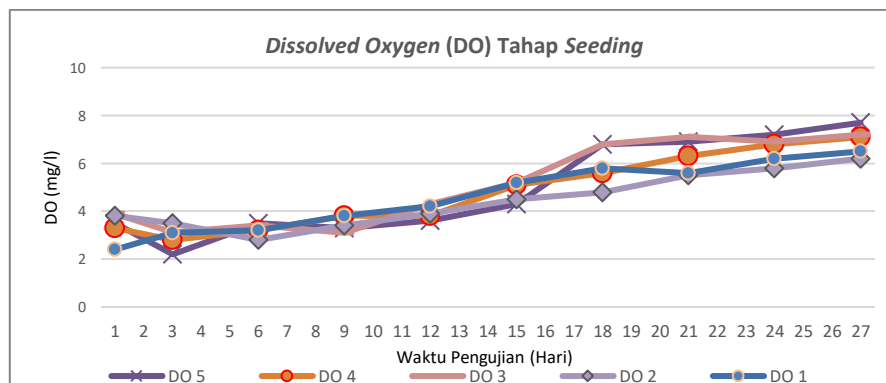
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Seeding

Substrat dengan rasio nutrisi untuk COD : N : P = 100 : 10 : 1 dengan jumlah kebutuhan nutrisi karbon, nitrogen, dan fosfor secara berurutan yaitu 4,6875 gr/l; 1,7913 gr/l; dan 0,20564 gr/l. Proses *seeding* dilakukan selama 30 hari dalam 3 hari sekali.

3.1.1 DO

Berdasarkan penelitian kali ini pada semua reaktor dipertahankan pada nilai DO di antara 2-5 mg/l, hal ini sesuai dengan penelitian [2], bahwa DO harus dijaga agar tetap di atas 2 mg/L agar kondisi aerobik tetap terjaga. Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai DO semakin naik untuk setiap reaktor yang diuji dengan variansinya, dimana dapat menunjukkan terjadinya pertumbuhan mikroorganisme dengan kandungan oksigen didalam air limbah yang mendukung pertumbuhannya.

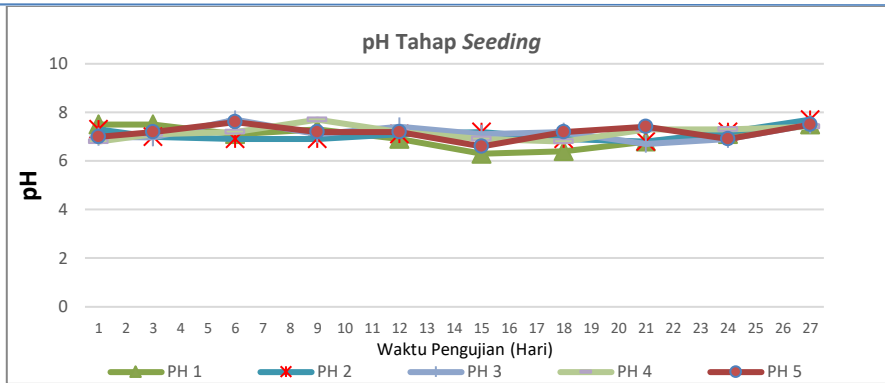


Gambar 2. DO Tahap *Seeding*

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

3.1.2 pH

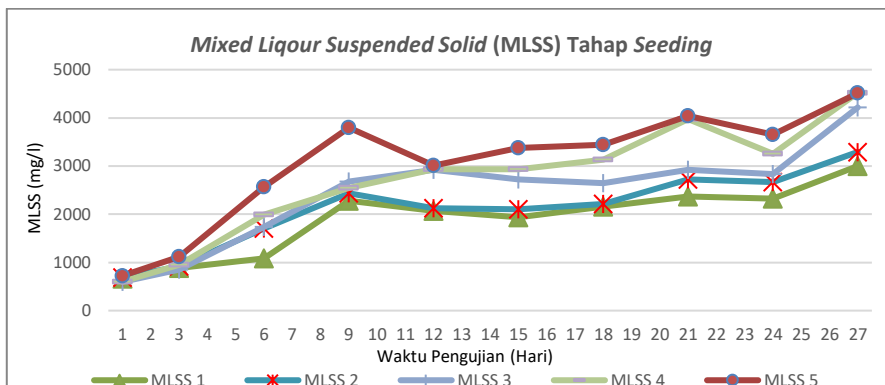
Berdasarkan Gambar 3 menunjukkan nilai pH yang cenderung stabil berada dalam range 6 – 7,5 untuk semua reaktor, dimana pada proses *seeding* dapat menunjukkan proses aktivitas untuk mikroorganisme dalam pertumbuhan didalam air limbah, hal ini sesuai dengan [22], bahwa nilai pH yang stabil menunjukkan kondisi dalam reaktor berada pada keadaan yang baik.



Gambar 3. pH Tahap Seeding
Sumber : Hasil Penelitian, 2024

3.1.3 MLSS

Proses *seeding* pada penelitian kali ini berlangsung hingga MLSS mencapai 2000 mg/l, hal ini sesuai dengan penelitian [14] yaitu nilai MLSS untuk proses pengolahan air limbah dengan proses lumpur aktif yaitu berkisar antara 2.000 – 5.000 mg/L.



Gambar 4. MLSS Tahap Seeding
Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Berdasarkan Gambar 4, Reaktor 5 lebih cepat mengalami peningkatan MLSS pada hari ke-6 dengan nilai MLSS tertinggi diantaranya reaktor lainnya yakni dengan nilai MLSS sebesar 2567 mg/l. Dengan demikian bahwa semakin besar dosis penambahan karbon aktif pada tahap seeding dapat meningkatkan nilai MLSS dengan waktu yang relatif lebih singkat jika dibandingkan dengan reaktor tanpa penambahan karbon aktif.

Tabel 2. Nilai MLSS pada SPSS Tahap Seeding

ANOVA					
mg/l	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	33577206.178	8	4197150.772	16.949	<.001
Within Groups	8914808.400	36	247633.567		
Total	42492014.578	44			

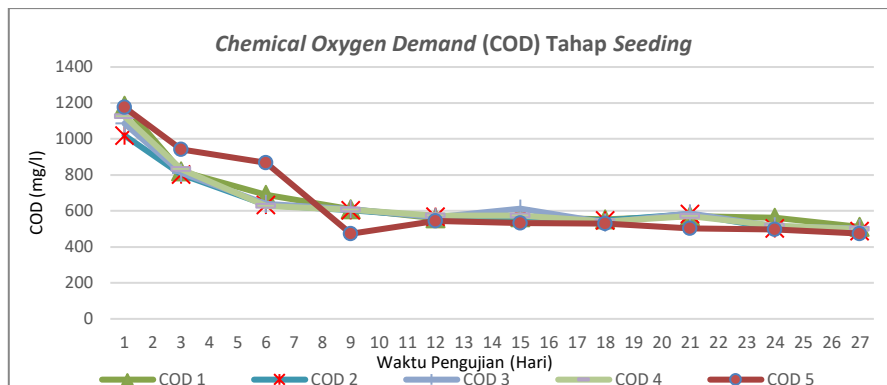
Sumber : Hasil Perhitungan, 2024

Berdasarkan Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa diperoleh nilai signifikan sebesar <0,001 dimana memiliki nilai signifikan < 0,05 maka H1 diterima atau adanya pengaruh waktu tinggal dengan perbedaan karbon aktif bubuk terhadap konsentrasi MLSS pada penelitian kali ini. Hal tersebut terjadi karena waktu tinggal yang semakin lama dapat mempengaruhi kinerja mikroorganisme didalam reaktor untuk dapat meningkatkan hasil MLSS, sesuai dengan [18] dan [26], bahwa waktu kontak yang semakin panjang antara lumpur dengan air limbah dapat meningkatkan kestabilan lumpur, sehingga menghasilkan laju pertumbuhan mikroorganisme untuk menghilangkan polutan.

3.1.4 COD

Berdasarkan Gambar 5 nilai COD semakin menurun dengan waktu tinggal (hari) yang semakin lama, hal ini sesuai dengan [7], bahwa penurunan nilai COD menunjukkan bakteri sudah mulai bekerja untuk mendegradasi kandungan organik dalam air limbah. Peningkatan dapat terjadi pada hari ke-8

berdasarkan penelitian, hal ini dikarenakan jika konsentrasi MLSS telah mencapai target yang diinginkan, sesuai dengan [24], bahwa kadar COD dapat naik setelah mencapai nilai minimum kadar MLSS.



Gambar 5. COD Tahap Seeding
Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Berdasarkan Tabel 3, bahwa diperoleh nilai signifikan sebesar 0,01 dimana memiliki nilai signifikan < 0,05 maka H1 diterima atau adanya pengaruh konsentrasi MLSS terhadap konsentrasi COD pada penelitian kali ini. Hal tersebut terjadi karena peningkatan konsentrasi MLSS akan dapat menurunkan konsentrasi COD sesuai dengan [15], bahwa peningkatan kadar MLSS dapat menurunkan kadar polutan influen dengan adanya peningkatan pH dan diindikasikan mengakibatkan lebih besarnya penurunan kadar COD. Selain itu, karena interaksi mikroorganisme yang tinggi dalam lumpur dan air limbah menyebabkan mikroorganisme bekerja menurunkan kadar polutan khususnya COD [12].

Tabel 3. Nilai COD pada SPSS Tahap Seeding

ANOVA					
mg/l	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	33577206.178	8	4197150.772	16.949	<.001
Within Groups	8914808.400	36	247633.567		
Total	42492014.578	44			

Sumber : Hasil Perhitungan, 2024

3.1.5 Reaktor Terpilih

Berdasarkan hasil penelitian reaktor terpilih yaitu R5 dengan nilai μ_{max} paling besar diantara nilai reaktor lain dengan nilai sebesar 0,2179 hari⁻¹. Hal ini sesuai [27], bahwa jika semakin tinggi nilai μ_{max} maka substrat akan mudah terdegradasi. Nilai Ks untuk R5 sebesar 460, dimana semakin rendah nilai Ks maka semakin kecil pula tingkat biodegradabilitas terhadap substrat [17]. R5 memiliki nilai Y sebesar 5,4 mgMLSS/mgCOD, hal ini menunjukkan nilai Y yang kecil dapat terjadi karena ada faktor lain yang mengontrol kinetika biodegradasi, antara lain aktivitas enzim dan konsentrasi awal substrat [19].

3.2. Aklimatisasi

Aklimatisasi dilakukan dalam 2 tahap setelah MLSS mencapai 2000 mg/L, dengan COD awal 1000 mg/L. Tahap 1 terdiri 30% air limbah industri tekstil dan 70% substrat gula sedangkan tahap 2 yaitu 70% air limbah industri tekstil dan 30% substrat gula.

Tabel 4. Alat dan Bahan Penelitian

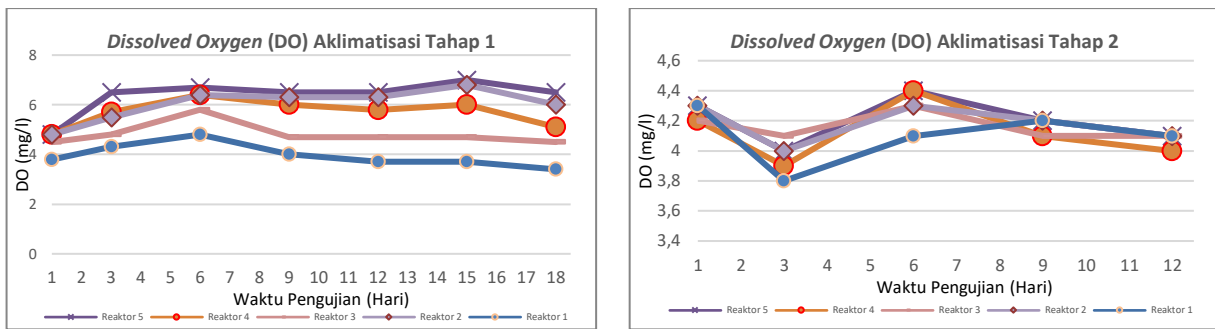
No	Kebutuhan	Tahap 1		Tahap 2	
		Jumlah	COD (mg/l)	Jumlah	COD (mg/l)
1	Glukosa	3,281 gr/l	700	1,406 gr/l	300
2	Air Limbah Industri Tekstil	1,5 l	300	3,5 l	700

Sumber: Hasil Perhitungan, 2024

3.2.1 DO

Berdasarkan Gambar 6 semua reaktor terjadi fluktuasi untuk nilai DO, hal ini sesuai penelitian [25], bahwa DO mengalami penurunan disebabkan semakin meningkat aktivitas mikroorganisme yang semakin

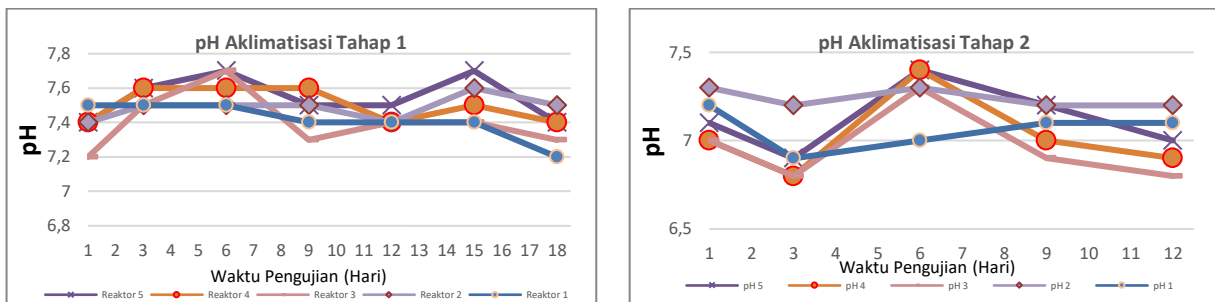
meningkat dalam degradasi bahan organik dalam air limbah. Selain itu, terjadinya kenaikan DO karena mikroorganisme sedang mengalami adaptasi untuk memecah bahan organik yang ada di air limbah [23].



Gambar 6. Dissolved Oxygen (DO) Tahap Aklimatisasi 1 dan 2
Sumber : Hasil Penelitian, 2025

3.2.2 pH

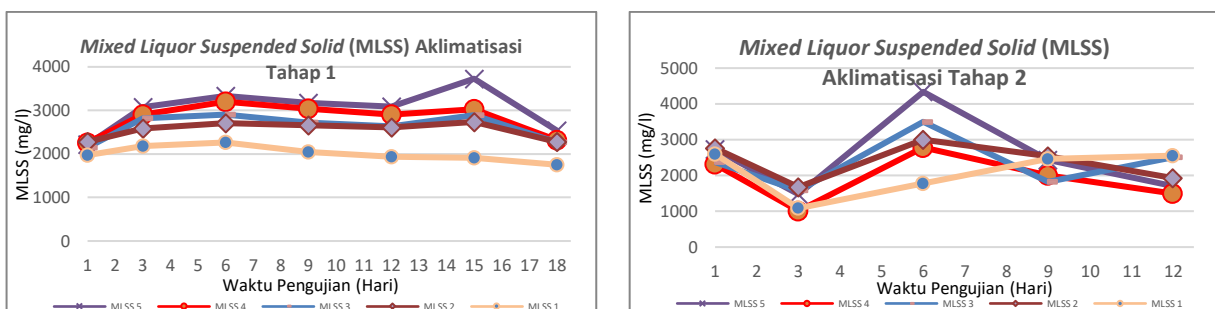
Berdasarkan Gambar 7 menunjukkan nilai pH yang cenderung stabil berada dalam range 6,9 – 7,8 untuk semua reaktor, dimana pada proses aklimatisasi dapat menunjukkan proses adaptasi untuk mikroorganisme dalam pertumbuhan didalam air limbah, hal ini sesuai dengan [16], bahwa peningkatan nilai pH disebabkan oleh adanya degradasi senyawa organik dalam air limbah.



Gambar 7. pH Tahap Aklimatisasi 1 dan 2
Sumber : Hasil Penelitian, 2025

3.2.3 MLSS

Berdasarkan Gambar 8 menunjukkan nilai cenderung menurun di akhir, hal ini sesuai dengan penelitian [5] bahwa penurunan nilai MLSS yang terjadi pada tahap aklimatisasi dapat dikarenakan adanya proses penguraian mikroorganisme dalam lumpur yang terjadi selama tahap aklimatisasi. Selain itu, terjadi kenaikan nilai MLSS dipengaruhi oleh bahan organik yang akan digunakan untuk pertumbuhan mikroorganisme dalam air limbah.



Gambar 8. MLSS Tahap Aklimatisasi 1 dan 2
Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Berdasarkan Gambar 8 bahwa nilai MLSS pada reaktor 5 cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor lainnya, pada aklimatisasi tahap 1 reaktor 5 menghasilkan peningkatan nilai MLSS sebesar 3336 mg/l pada hari ke- 5 dan pada aklimatisasi tahap 2 reaktor 5 menghasilkan peningkatan nilai MLSS sebesar 4338 mg/l pada hari ke- 6. Dengan demikian bahwa semakin besar dosis penambahan karbon aktif pada tahap seeding masih dapat mempengaruhi peningkatan nilai MLSS pada tahap aklimatisasi dengan waktu yang relatif lebih singkat jika dibandingkan dengan reaktor tanpa penambahan karbon aktif.

Berdasarkan **Tabel 5** diperoleh bahwa nilai signifikan sebesar $<0,001$ dimana memiliki nilai signifikan $< 0,05$ maka H1 diterima atau adanya pengaruh waktu tinggal dengan konsentrasi MLSS pada penelitian kali ini. Hal tersebut terjadi karena waktu tinggal yang semakin cepat dapat mempengaruhi kinerja mikroorganisme didalam reaktor untuk dapat menurunkan nilai MLSS, sesuai dengan [9], bahwa adanya penurunan MLSS untuk setiap reaktor menunjukkan mikroorganisme telah tumbuh dengan optimal.

Tabel 5. Nilai MLSS pada SPSS Aklimatisasi

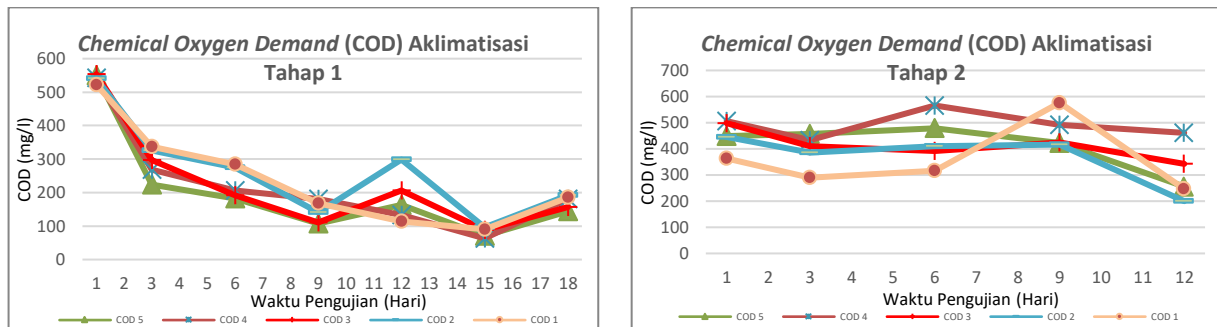
ANOVA					
mg/l	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8051416.960	4	2012854.240	7.500	<.001
Within Groups	5367600.000	20	268380.000		
Total	13419016.96	24			

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025

3.2.4 COD

Berdasarkan **Gambar 9**, nilai COD semakin menurun dengan waktu tinggal (hari) yang semakin lama, hal ini sesuai dengan [24], bahwa turunnya nilai COD pada air limbah disebabkan oleh mikroorganisme yang diberi aerasi dan nutrisi, sehingga dapat tumbuh berkembang biak memakan zat organik tersebut yang akan terurai menjadi CO_2 dan H_2O .

Peningkatan nilai COD dapat terjadi berdasarkan penelitian dikarenakan nutrisi dalam air limbah telah terdegradasi, sesuai dengan [21], bahwa kenaikan konsentrasi COD disebabkan oleh proses adaptasi mikroorganisme dalam reaktor, di mana mikroorganisme melepaskan bahan organik yang mengakibatkan peningkatan nilai COD untuk sementara waktu.



Gambar 9. COD Tahap Aklimatisasi 1 dan 2

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Berdasarkan **Tabel 6** diperoleh bahwa nilai signifikan sebesar $0,01$ dimana memiliki nilai signifikan $< 0,05$ maka H1 diterima atau adanya pengaruh waktu tinggal terhadap konsentrasi COD pada penelitian kali ini. Hal tersebut sesuai dengan [26], bahwa semakin lamanya waktu kontak berpengaruh dalam penurunan konsentrasi COD. Selain itu, penyisihan COD dapat terjadi karena mikroorganisme yang hidup didalam reaktor mengurai zat organik yang terkandung pada air limbah melalui proses biodegradasi [20].

Tabel 6. Nilai COD pada SPSS Aklimatisasi

ANOVA					
mg/l	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	680248.182	6	113374.697	68.003	<.001
Within Groups	46681.473	28	1667.195		
Total	726929.655	34			

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025

3.2.5 Reaktor Terpilih

Adapun parameter utama dalam pemilihan reaktor berdasarkan nilai μ_{max} tertinggi [31]. Berdasarkan hasil penelitian reaktor terpilih yaitu R5 dengan nilai μ_{max} paling besar diantara nilai reaktor

lain, untuk aklimatisasi 1 sebesar $0,0853 \text{ hari}^{-1}$ dan aklimatisasi 2 sebesar $0,0959 \text{ hari}^{-1}$. Hal ini sesuai [28], bahwa nilai μ_{\max} sebagai tanda laju pertumbuhan maksimum mikroorganisme dalam substrat, dimana jika semakin tinggi nilai μ_{\max} maka substrat akan mudah terdegradasi. Nilai μ_{\max} lebih tinggi daripada nilai K_s yang sesuai dengan [4], bahwa nilai K_s berbanding terbalik dengan nilai μ_{\max} sesuai dengan persamaan monod yaitu $\frac{\mu_{\max}}{K_s}$. Nilai K_s berdasarkan penelitian untuk aklimatisasi 1 sebesar 80 mg/l dan aklimatisasi 2 sebesar 450 mg/l. Nilai Y sesuai penelitian dihasilkan untuk aklimatisasi 1 sebesar 0,38 mgMLSS/mgCOD dan untuk aklimatisasi 2 sebesar 18,26 mgMLSS/mgCOD. Selain itu, nilai Y yang tinggi menunjukkan mikroorganisme dapat tumbuh lebih efisien untuk mendegradasi kandungan bahan organik air limbah [11].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa dosis optimum penambahan karbon aktif bubuk pada saat tahap seeding sesuai dengan urutan yaitu reaktor 5, reaktor 4, reaktor 3, dan reaktor 2. Jika melihat laju peningkatan nilai MLSS terhadap waktu serta dibandingkan dengan lumpur aktif tanpa penambahan karbon aktif bubuk yaitu pada reaktor 5. Pada proses seeding reaktor 5 mencapai peningkatan konsentrasi MLSS sebesar 2567 mg/l pada hari ke- 6 dan didapatkan nilai μ_{\max} $0,2179 \text{ hari}^{-1}$ yang merupakan nilai μ_{\max} tertinggi dibandingkan reaktor lainnya serta nilai K_s sebesar 460 mg/l yang merupakan nilai K_s terendah dibandingkan dengan reaktor lainnya. Tahap aklimatisasi tahap 1 dan tahap 2 dipilih reaktor 5 berdasarkan μ_{\max} dengan melihat laju peningkatan nilai MLSS terhadap waktu serta dibandingkan dengan lumpur aktif tanpa penambahan karbon aktif bubuk yaitu pada reaktor 5. Pada proses aklimatisasi tahap 1 reaktor 5 mencapai peningkatan nilai MLSS sebesar 3336 mg/l pada hari ke- 5 dengan nilai μ_{\max} sebesar $0,0853 \text{ hari}^{-1}$ dan nilai K_s sebesar 80 mg/l.

Pada aklimatisasi tahap 2 reaktor 5 mencapai peningkatan nilai MLSS sebesar 4338 mg/l pada hari ke-6 dengan nilai μ_{\max} sebesar $0,0959 \text{ hari}^{-1}$ dan nilai K_s sebesar 450 mg/l. Pada penelitian ini didapatkan nilai K_s di tahap seeding dan aklimatisasi 2 cenderung didapatkan nilai K_s yang tinggi dikarenakan variable yang lebih utama ditinjau adalah pada peningkatan MLSS. Nilai MLSS yang memadai untuk proses pengolahan air limbah dengan proses lumpur aktif adalah 2.000–3.500 mg/l sehingga implementasinya pada sistem pengolahan air limbah dengan penambahan karbon aktif pada tahap seeding dapat mempersingkat waktu. Proses seeding secara konvensional memerlukan waktu paling cepat 14 hari untuk mencapai MLSS $>2000 \text{ mg/l}$.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang ada dalam lingkup Program Studi Magister Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung dan Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung atas segala bentuk dukungannya.

6. Singkatan

<i>DO</i>	<i>Dissolved Oxygen</i>
<i>MLSS</i>	<i>Mixed Liquor Suspended Solid</i>
<i>COD</i>	<i>Chemical Oxygen Demand</i>
<i>R1, R2, R3, R4, R5</i>	Reaktor 1, Reaktor 2, Reaktor 3, Reaktor 4, Reaktor 5
<i>BL</i>	<i>Blanko</i>
<i>SEM</i>	<i>Scanning Electron Microscope</i>
<i>Ks</i>	Konsentrasi <i>substrate</i>

7. Referensi

- [1] A. Asadi dan M. Rostami. (2021). An Assessment on the performance of activated carbon augmented by activated sludge for removing Methylene blue. *Journal of Desalination and Water Treatment*.
- [2] Azary Ruth, Perpetua, & Slamet D. I. A. (2019). Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan Menggunakan Kombinasi Surfaktan dan Aktivator dengan Sistem Kerja Lumpur Aktif. *Tugas Akhir*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- [3] Badan Pusat Statistik. (2019). Industri manufaktur pada kuartal III-2019 tumbuh 4,35%. Retrieved from kontan.co.id.
- [4] Bailey, James E. & David F.Ollis. 1986. *Biochemical Engineering Fundamentals*, edisi 2, McGraw-Hill Book Co. Singapore.

- [5] Bornare, J., Kalyanraman, V., Sonde, R. R., Kalyanraman, V., & Sonde, R. R. (2014). Application of anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) for low-strength wastewater treatment and energy generation. *Industrial Wastewater Treatment, Recycling and Reuse*, 399-434.
- [6] C. G. Grieves and M. K. Stenstrom, Amoco Oil Co., Naperville, Ill., and J. D. Walk, and J. F. Grutsch. (1977). Powdered carbon improves activated sludge treatment. *Journal of Hydrocarbon Processing*. Environmental Management.
- [7] Dayanti, R., & Herlina, E. (2018). *Proses Seeding dan Aklimatisasi pada Pengolahan Air Limbah*. ITN Malang.
- [8] Fitria, K. A., & Sutrisno, J. (2023). Penurunan Chemical Oxygen Demand (COD) dan fosfat (PO₄-P) limbah laundry menggunakan EM4 dan mikroalga *Spirulina* sp. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 15(1), 31-44.
- [9] Haris, A., Nurhilal, O., dan Suryaningsih, S., 2019. Pengaruh Konsentrasi Aktivator terhadap Daya Serap Iodin Arang Aktif dari Limbah Daun Ki Sabun (*Filicium decipiens*) dan Daun Mahoni (*Swietenia mahagoni*). *Jurnal Material dan Energi Indonesia*. Universitas Padjadjaran. 9(1): 1-7.
- [10] Hendrasarie, Novirina., & Yadaturrahmah, Irma Ilham. (2021). *Pengaruh Penambahan Impeller Pada Fase Aerobik Terhadap Efisiensi Kinerja Sequencing Batch Reactor Pada Limbah Cair Industri Tahu*. Jurnal Envirotek Vol 13 No 1.
- [11] Herald, Denny. (2010). *Pengaruh Rasio Waktu Reaksi Terhadap Waktu Stabilisasi Pada Penyisihan Senyawa Organik Dari Air Buangan Pabrik Minyak Kepala Sawit Dengan Sequencing Batch Reactor*. Jurusan Teknik Lingkungan. Fakultas Universitas Andalas. Sumatera Barat.
- [12] Kumalasari, F. G. (2016). Pengaruh Penambahan Kosubstrat Asam Asetat Terhadap Konsentrasi COD Dan MLSS Limbah Cair Industri Batik.
- [13] Mai, H.N.P. (2006). Integrated Treatment of Tapioca Processing Industrial Wastewater. *Thesis*. Wageningen University: Ph.D.
- [14] Metcalf, and Eddy. (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. 4th Edition. McGraw-Hill. New York.
- [15] Mukhtar, G., Iwan, R., Mina, N., & Tintin, S. R. (2017). Pemanfaatan Nutrisi Terfermentasi untuk Penurunan Kadar COD/BOD Air Limbah Industri. *Journal Industrial Services*, 3(1b).
- [16] Mulyani, H., Sasongko, S. B., & Soetrisnanto, D. (2012). Pengaruh preklorinasi terhadap proses start up pengolahan limbah cair tapioka sistem anaerobic baffled reactor. *Momentum*, 8(1), 21-27.
- [17] Mustikawati, S. R., Simpen, I. N., & Ratnayani, O. (2018). Adsorpsi Zat Warna Tekstil Remazol Brilliant Blue Oleh Limbah Canang Daun Kelapa. *Jurnal Kimia*. 195.
- [18] Nilesh S, Anil G. (2018). Isolation, characterization and identification of extracellular enzyme producer *Bacillus licheniformis* from municipal wastewater and evaluation of their biodegradability. *Biotechnology Research and Innovation*. 2: 37-44. <https://doi.org/10.1016/j.biori.2018.03.001>.
- [19] Notonugroho, O. J., Amelia, F., Arif, C., & Kurniawan, A. (2022). *Model Parameter Kinetika Biologis Proses Lumpur Aktif Air Limbah Kertas Berdasarkan Variasi Waktu Detensi Pada Kondisi Tidak Tunak*. Vol, 20, 829-840.
- [20] Prabarini, N., dan Okayadnya, D., 2014. Penyisihan Logam Besi (Fe) pada Air Sumur dengan Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. 5(2): 33-41.
- [21] Priyadi, A. R. (2019). Penurunan Kadar COD Dan Warna Limbah Industri Tekstil Dengan Metode Elektro-Fenton. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 11(2), 14-23.
- [22] Qatrunada, S. H., Novembrianto, R., & Ali, M. (2025). Penyisihan Parameter Organik dan Analisis Kualitas Lumpur Limbah Cair Rumah Potong Ayam dengan Moving Bed Biofilm Reactor. *Jurnal Serambi Engineering*, 10(1).
- [23] Rachmawati, V., Nurjayati, R., & Yuniati, M. D. (2022). Penurunan konsentrasi cod limbah batik pada proses seeding dan aklimatisasi menggunakan material preservasi mikroorganisme (mpmo). *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 21(1), 73-82.
- [24] Rokhmadhoni, R. A., & Marsono, B. D. (2019). Kulit Kerang Sebagai Media Alternatif Filter Anaerobik Untuk Mengolah Air Limbah Domestik. *Jurnal Teknik ITS*, 8(1), F46-F50.
- [25] Rosidin, H. I. (2018). Unjuk Kerja Tray Bioreactor Dengan Media Penyangga Batu Andesit Dalam Meningkatkan Kualitas Air Olahan Parameter COD Dan TSS Pada IPAL Komunal.
- [26] Salimin, Zainus dan Jaka Rachmadetin. (2012). Denitrifikasi Limbah Radioaktif Cair Yang Mengandung Asam Nitrat Dengan Proses Biooksidasi.
- [27] Sari, F. R., Annissa, R., & Tuhuloula, A. (2013). Perbandingan limbah dan lumpur aktif terhadap pengaruh sistem aerasi pada pengolahan limbah cpo. *Konversi*, 2(1), 39-44.

-
- [28] Septiani, W. D., Slamet, A., & Hermana, J. (2014). Pengaruh konsentrasi substrat terhadap laju pertumbuhan alga dan bakteri heterotropik pada sistem HRAR. *Jurnal Teknik ITS*, 3(2), D98-D103.
- [29] Suryadiputra INN. (1994). Pengolahan Air Limbah dengan Metoda Biologi. Strengthening Program : Rancang Bangun IPAL. Bandung.
- [30] Tambunan, V. N. (2023). Analisis Zat Organik Pada Air Sumur Gali Warga Di Desa Kaliserayu Sientis, Kecamatan Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang. *Doctoral dissertation*. Universitas Medan Area.