



Homepage Journal: <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/JKS>

Uji Efektivitas Daya Serap Tanaman Kangkung Air Dalam Menurunkan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) Pada Limbah Cair Pabrik Tahu Ayula Tilango Kabupaten Bone Bolango

Effectiveness Test of Water Spinach Absorption Capacity in Reducing Chemical Oxygen Demand (COD) Levels in Liquid Waste from the Ayula Tilango Tofu Factory in Bone Bolango Regency

Siti Faujia Kango¹, Herlina Jusuf², Ayu Rofia Nurfadillah³

^{1,2,3}Jurusan Kesehatan Masyarakat, FOK UNG, Gorontalo

*Corresponding Author: E-mail: faujiakango@gmail.com

Artikel Penelitian

Article History:

Received: 16 Dec, 2025

Revised: 18 Jan, 2026

Accepted: 24 Jan, 2026

Kata Kunci:

Fitoremediasi, Kangkung Air, COD, Limbah Cair Tahu

Keywords:

Phytoremediation, Water Spinach, COD, Tofu Wastewater

DOI: [10.56338/jks.v9i1.10370](https://doi.org/10.56338/jks.v9i1.10370)

ABSTRAK

Limbah cair yang dihasilkan dari proses pembuatan tahu mengandung bahan organik tinggi yang dapat meningkatkan nilai Chemical Oxygen Demand (COD) sehingga mencemari lingkungan perairan. Salah satu upaya pengolahan limbah secara alami adalah fitoremediasi menggunakan tanaman air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dalam menurunkan kadar COD pada limbah cair pabrik tahu Ayula Tilango Kabupaten Bone Bolango.

Jenis penelitian eksperimen semu (kuasi eksperimen) dengan rancangan One Group Pretest-Posttest Design menggunakan variasi jumlah rumpun tanaman sebanyak 10, 15, dan 20 rumpun, masing-masing dengan tiga kali replikasi dan waktu kontak selama 1×24 jam. Parameter yang diamati meliputi suhu, pH, dan kadar COD sebelum serta sesudah perlakuan. Analisis data menggunakan One-Way ANOVA.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman kangkung air belum efektif menurunkan kadar COD. Nilai signifikansi uji ANOVA sebesar $p = 0,823$ ($p > 0,05$) menunjukkan tidak terdapat perbedaan antarperlakuan. Faktor penyebab antara lain pH limbah yang tinggi (9,42), waktu kontak singkat (1 hari), dan pembusukan tanaman akibat kepadatan biomassa.

Kesimpulannya, kangkung air belum mampu menurunkan kadar COD secara signifikan. Disarankan penelitian selanjutnya memperpanjang waktu kontak dan menambah parameter pendukung.

ABSTRACT

Liquid waste produced from tofu-processing activities contains high organic matter, which increases Chemical Oxygen Demand (COD) and pollutes aquatic environments. One natural treatment approach is phytoremediation, which utilizes aquatic plants. This study aims to determine the effectiveness of water spinach (*Ipomoea aquatica*) in reducing COD levels in liquid waste from the Ayula Tilango tofu factory in Bone Bolango Regency.

This is a quasi-experimental study with a one-group pretest-posttest design using variations of 10, 15, and 20 plant clumps, each with three replications and a contact duration of 1×24 hours. Observed parameters included temperature, pH, and COD levels before and after treatment. Data analysis used One-Way ANOVA.

The findings indicate that water spinach has not yet proven effective in reducing COD levels. The ANOVA significance value of $p = 0.823$ ($p > 0.05$) indicates that there are no differences among treatments. Contributing factors include the high pH of the waste (9.42), the short contact time (1 day), and plant decay resulting from high biomass density.

In conclusion, water spinach has not been able to significantly reduce COD levels. Further studies are recommended to extend the contact time and add supporting parameters.

PENDAHULUAN

Secara umum, tahu merupakan salah satu masakan tradisional yang paling populer di negara-negara Asia, khususnya Indonesia, dan diproduksi oleh usaha kecil dan menengah di seluruh negeri. Kebutuhan terhadap kedelai mencapai 2,3 juta ton pertahun, dimana 40% yang dikonsumsi berupa tahu, 50% berupa tempe dan 10% minyak kedelai. Proses pembuatan tahu meliputi pencucian, perendaman, penghancuran, pengemasan, dan proses pembuatan menghasilkan limbah cair. Komponen utama tahu sebagian besar kaya akan protein, bahan organik, dan nitrogen (Evert et al., 2022).

Limbah cair tahu semakin banyak dihasilkan dan dibuang ke saluran air karena produksi tahu memerlukan banyak air. Plankton, humus, tumbuhan air, ion mangan dan besi, serta limbah industri, memberikan warna kuning pada limbah cair tahu. Warna timbul akibat suatu bahan terlarut atau tersuspensi dalam air, di samping adanya bahan pewarna tertentu yang kemungkinan mengandung logam berat (Mulya et al., 2020).

Limbah cair tahu masih mengandung kadar protein yang tinggi, apabila dibuang langsung ke sungai tanpa ada pengolahan terlebih dahulu dapat menimbulkan bau busuk yang dapat mengganggu lingkungan. Bau busuk yang ditimbulkan karena konsentrasi protein yang tinggi dapat menyebabkan protein mudah terurai. Pembuangan limbah cair tahu ke sungai dapat menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan, dan ekosistem sungai (Kusna, 2021).

COD ialah jumlah (mg) oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik pada 1 liter air dengan menggunakan oksidator kalium dikromat selama dua jam di suhu 150°C. COD adalah parameter yang digunakan untuk mengukur jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dalam air. Nilai COD mencerminkan tingkat pencemaran air oleh zat-zat yang dapat teroksidasi, seperti senyawa organik (misalnya lemak, protein, karbohidrat) dan beberapa zat anorganik (Devi, 2021).

Fitoremediasi adalah teknologi yang menggunakan tanaman untuk menghilangkan atau mengurangi kandungan zat dalam tanah dan air. Fitoremediasi juga bekerja pada senyawa organik dan anorganik serta dapat mengurangi kandungan zat dalam jumlah besar. Kelebihan dari metode ini yaitu penggunaan bahan alami yang ramah lingkungan, sehingga tidak menimbulkan efek samping yang merugikan. Fitoremediasi menjadi solusi efektif dan berkelanjutan dalam mengatasi pencemaran lingkungan (Solahudin & Sari, 2023).

Tumbuhan tertentu dapat bertindak sebagai hiperakumulator karena dapat mengakumulasi kandungan COD dalam konsentrasi besar di jaringan akar dan pucuknya serta sangat toleran terhadap kadar. Akar kangkung air menjadi tempat hidup mikroorganisme yang membantu mendegradasi bahan pencemar dalam air. Kangkung air mampu tumbuh di lingkungan dengan kandungan nutrisi tinggi, seperti limbah cair pabrik tahu yang biasanya kaya akan bahan organik. Tanaman ini memiliki toleransi terhadap kondisi yang fluktuatif, termasuk kadar oksigen yang rendah. Kangkung air mudah ditemukan di berbagai wilayah Indonesia dan relatif murah untuk dibudidayakan (Aldi et al., 2023).

Beberapa tanaman seperti kangkung air, diketahui memiliki kemampuan untuk menghasilkan fitokalsin, yang membantu mereka bertahan hidup dalam lingkungan yang tercemar (Shukla et al., 2022).

Penelitian yang dilakukan oleh Maslinda, Blego Sedionoto dan Yunianto Setiawan pada tahun 2019, menyatakan bahwa hasil perlakuan menggunakan kangkung dengan kadar COD sebesar 181,2764 mg/L dengan jumlah tanaman 5 dan 10 rumpun menunjukkan bahwa dari tiga variasi waktu tinggal yaitu 2, 4 dan 6 hari terjadi penurunan kadar COD sebesar 110,7762 mg/L pada waktu tinggal 6 hari. Hasil analisis statistik menunjukkan $p \text{ Value} = 0,002 < 0,05$ yang artinya penggunaan tanaman kangkung air berpengaruh terhadap penurunan kadar COD pada air limbah pabrik tahu (Maslinda et al., 2019).

Hasil uji pralaboratorium yang dilakukan di Laboratorium Kesehatan Daerah Provinsi Gorontalo pada tanggal 24 Juli 2024, menggunakan sampel air limbah tahu dari industri tahu di Ayula Tilango Kabupaten Bone Bolango. Hasil uji pra laboratorium menunjukkan bahwa konsentrasi COD adalah 40,35 mg/l dalam limbah cair tahu yang diambil dari bakpenampungan terakhir sebelum dibuang ke sungai. Nilai ini melebihi ambang batas atau baku mutu (NAB) yang ditetapkan dalam Keputusan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 yaitu 300 mg/l untuk limbah cair industri.

METODE

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilaksanakan di Ayula Tilango Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo dan lokasi perlakuan dilaksanakan di Laboratorium Kesehatan Masyarakat Universitas Negeri Gorontalo. Lokasi pengujian sampel di UPTD Balai Kesehatan Daerah Provinsi Gorontalo. Penelitian ini dilakukan pada bulan April 2025.

Desain Penelitian

Jenis penelitian ini adalah quasi eksperimental atau disebut eksper semu yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh suatu perlakuan terhadap karakteristik subjek yang diteliti, dan menggunakan variasi jumlah tanaman kangkung air 10, 15 dan 20 rumpun, dilakukan dalam tiga replikasi dengan variasi waktu 1 hari.

Populasi dan Sampel

Populasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair industri tahu Ayula Tilango Kabupaten Bone Bolango. Sampel dalam penelitian yang diambil peneliti adalah sebanyak 30 liter limbah cair industri tahu

Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dalam penelitian ini dianalisis menggunakan Uji Normalitas Data, Homogenitas dan One-Way Anova untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan.

HASIL

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas tanaman kangkung air dalam menurunkan kadar chemical oxygen demand (COD) pada limbah cair industri tahu dengan menggunakan variasi jumlah tanaman 10, 15 dan 20 rumpun dengan variasi waktu 1 hari.

Limbah yang digunakan dalam penelitian ini yaitu air limbah tahu yang diambil dari tempat saluran pembuangan air limbah tahu sebelum dibuang ke sungai kemudian dilakukan uji kadar COD di Laboratorium Kesehatan Daerah Provinsi Gorontalo. Hasil uji konsentrasi menunjukkan limbah tahu ini mengandung kadar COD sebanyak 1554 mg/l.

Penelitian ini terbagi menjadi 2 kelompok, yaitu 1 kelompok control yang diisi dengan air limbah tahu tanpa perlakuan, dan 1 kelompok lainnya diberi perlakuan, dilakukan berupa pemberian tanaman kangkung air. Proses fitoremediasi ini dilakukan selama 1 hari dengan variasi jumlah tanaman 10, 15 dan 20 rumpun dengan 3 kali replikasi. Sedangkan untuk parameter pendukung seperti pH dan suhu air dilakukan setelah perlakuan 1 hari.

Tabel 1. Pengukuran Suhu Setelah Fitoremediasi

Perlakuan	Reaktor	Suhu (°C)	Rata-rata
Control		25,0	25,0
10 rumpun (200 gram)	R1	26,6	26,7
	R2	26,4	
	R3	26,5	
15 rumpun (300 gram)	R1	26,5	26,7
	R2	26,7	
	R3	27,0	
20 rumpun (400 gram)	R1	26,1	26,5
	R2	26,7	
	R3	26,7	

Sumber : (Data Primer, 2025)

Berdasarkan tabel hasil pengukuran suhu diatas bahwa suhu pada reaktor kontrol tanpa tanaman kontrol tanpa penambahan kangkung air adalah 25,0°C, sedangkan suhu pada reaktor dengan penambahan tanaman kangkung air cenderung lebih tinggi.

Pada penambahan 10 rumpun kangkung air, suhu pada replikasi berkisar antara 26,4-27,5°C, sedangkan pada penambahan 15 rumpun kangkung air, suhu menunjukkan angka 26,5–27,0°C, dan pada penambahan 20 rumpun kangkung air menunjukkan suhu berkisar antara 26,1-26,7°C. Suhu tertinggi terdapat pada 10 rumpun dengan replikasi ke-3 yaitu 27,5°C. Rata-rata, suhu meningkat sekitar 1– 2,5°C dari kontrol. Suhu yang berada pada kisaran 26–27,5°C tergolong optimal untuk mendukung aktivitas mikroba dan tanaman dalam proses fitoremediasi.

Tabel 2. Pengukuran pH setelah Fitoremediasi

Perlakuan	Reaktor	pH	Rata-rata
Control		9,42	9,42
10 rumpun (200 gram)	R1	9,34	9,24
	R2	9,13	
	R3	9,27	
15 rumpun (300 gram)	R1	9,44	9,37
	R2	9,32	
	R3	9,36	
20 rumpun (400 gram)	R1	9,30	9,40
	R2	9,53	
	R3	9,38	

Sumber: (Data Primer, 2025)

Berdasarkan tabel diatas hasil pengukuran pH (table 2) menunjukkan adanya variasi nilai pH antar reaktor yang ditanam dengan jumlah rumpun kangkung air berbeda. Nilai pH kontrol (tanpa penambahan tanaman kangkung air) sebesar 9,42, sedangkan reaktor dengan penambahan kangkung air menunjukkan nilai pH yang bervariasi tergantung jumlah rumpun dan replikasinya.

Pada penambahan 10 rumpun tanaman kangkung air, terlihat pH menurun cukup drastis pada ketiga replikasi yaitu berkisar 9,34 - 9,13. sedangkan pH sedikit meningkat pada 15 rumpun di replikasi ke-1 yaitu 9,44 dibandingkan pH control, hal yang sama juga terjadi pada penambahan 20 rumpun yaitu pada replikasi ke-2 yaitu sebesar 9,53. Penurunan pH yang cukup signifikan justru terlihat pada jumlah

15 rumpun di replikasi ke-2 yaitu 9,32 dan replikasi ke-3 yaitu 9,36. Sama halnya dengan 15 rumpun, pada penambahan 20 rumpun juga terlihat penurunan pH pada replikasi 1 (9,30) dan replikasi 3 (9,38), untuk jumlah 10 rumpun (9,13), namun meningkat tajam pada 20 rumpun (9,53).

Tabel 3. Penurunan kadar Chemical Oxygen Demand

Perlakuan (rumpun)/gram	Reaktor	Penurunan	Ef (%)	Rata-rata Penurunan (mg/L)	Rata-rata Ef (%)
Control	Control	1554			
10 rumpun (200 gram)	R1	1532	1,42	-169,33	-10,89
	R2	1429	8,04		
	R3	2209	-42,15		
15 rumpun (300 gram)	R1	1414	9,01	-28,00	-1,80
	R2	1440	7,34		
	R3	1892	-21,75		
20 rumpun (400 gram)	R1	1882	-21,11	-164,00	-10,55
	R2	1760	-13,26		
	R3	1512	2,70		

Sumber : (Data Primer, 2025)

Keterangan:

R1= Replikasi 1

R2= Replikasi 2

R3= Replikasi 3

Keterangan : Penurunan = penurunan kadar Chemical Oxygen Demand

Ef = Efektivitas (%)

Berdasarkan Tabel 3, terlihat bahwa perlakuan dengan 10 rumpun kangkung air memberikan hasil yang bervariasi pada setiap replikasi. Pada replikasi ke-1, kadar COD mengalami penurunan sebesar 1,42%, sementara pada replikasi kedua penurunan yang terjadi lebih besar yaitu 8,04%. Namun, kondisi berbeda terlihat pada replikasi ketiga yang justru mengalami peningkatan kadar COD sebesar 42,15% dibandingkan kontrol. Secara rata-rata, perlakuan 10 rumpun menunjukkan perubahan sebesar -10,89%, yang menggambarkan bahwa hasil antar replikasi masih belum stabil.

Perlakuan dengan 15 rumpun menunjukkan hasil yang sedikit lebih seimbang meskipun tetap terdapat variasi. Replikasi ke-1 mengalami penurunan COD sebesar 9,01%, replikasi ke-2 juga mengalami penurunan sebesar 7,34%, sedangkan pada replikasi ketiga justru terjadi peningkatan kadar COD sebesar 21,75%. Jika dirata-ratakan, perlakuan ini menghasilkan perubahan COD sebesar -1,80%. Dengan demikian, meskipun terdapat dua replikasi yang mengalami penurunan, nilai positif tersebut tidak cukup kuat untuk menutupi peningkatan yang terjadi pada replikasi ketiga.

Sementara itu, perlakuan dengan 20 rumpun memperlihatkan kecenderungan berbeda. Pada replikasi pertama kadar COD meningkat sebesar 21,11%, diikuti dengan peningkatan pada replikasi kedua sebesar 13,26%. Hanya replikasi ke-3 yang menunjukkan penurunan meskipun kecil, yaitu 2,70%. Rata-rata perubahan pada perlakuan 20 rumpun adalah -10,55%, yang menunjukkan bahwa sebagian besar replikasi justru mengalami peningkatan COD dibandingkan dengan kontrol.

Jika dibandingkan antarperlakuan, terlihat bahwa variasi hasil tidak menunjukkan pola yang konsisten. Pada perlakuan 10 dan 20 rumpun, sebagian besar replikasi justru memperlihatkan adanya peningkatan COD, sementara pada perlakuan 15 rumpun terdapat dua replikasi yang mengalami penurunan namun masih ada satu replikasi dengan nilai peningkatan cukup besar. Hal ini mengindikasikan bahwa respon tanaman kangkung air terhadap limbah cair tidak seragam antar

replikasi, kemungkinan dipengaruhi oleh faktor lingkungan percobaan, kondisi tanaman, maupun proses biologis yang terjadi di dalam media uji.

Tabel 4. Uji One-Way Anova

Variabel	p-value
Perlakuan 10 rumpun (200 gram), 15 rumpun (300 gram) 20 rumpun (400 gram)	0,823

Sumber : (Data Primer, 2025)

Berdasarkan tabel 4, diketahui bahwa berdasarkan uji One-Way Anova diketahui bahwa perlakuan jumlah rumpun kangkung air tidak memberikan perbedaan efektivitas yang signifikan terhadap penurunan kadar COD ($0,823 > 0,05$). Karena tidak didapati efek perlakuannya relative sama maka peneliti tidak melanjutkan dengan uji Post Hoc (uji lanjutan) dengan menggunakan uji LSD (Least Significant Difference) yang berguna untuk menentukan variasi dosis yang berbeda.

PEMBAHASAN

Presentase Penurunan Kadar Chemical Oxygen Demand

Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada perlakuan 10 rumpun replikasi ke-1 dengan suhu tertinggi sebesar $26,6^{\circ}\text{C}$ dengan pH sebesar 9,34. Penurunan COD yang dicapai sebesar 1.532 mg/L dengan efisiensi sebesar 1,42%. Pada replikasi ke-2 dengan suhu $26,4^{\circ}\text{C}$ dan pH 9,13, penurunan COD yang dicapai adalah 1.429 mg/L atau setara efisiensi 8,04%. Sedangkan pada replikasi ke-3 dengan suhu tertinggi di antara replikasi lainnya, yakni $27,5^{\circ}\text{C}$, serta pH 9,27, justru terjadi peningkatan kadar COD menjadi 2.209 mg/L yang berarti efisiensinya bernilai negatif (-42,15%). Perbedaan hasil ini menunjukkan bahwa efektivitas tanaman kangkung air dalam menyerap dan menguraikan beban organik limbah sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama suhu dan pH, serta faktor biologis dari tanaman itu sendiri.

Pada perlakuan 15 rumpun replikasi ke-1 menunjukkan suhu sebesar $26,5^{\circ}\text{C}$ dengan pH 9,44. Penurunan COD yang dicapai adalah 1424 mg/L dengan efisiensi sebesar 9,01%. Replikasi ke-2 mencatat suhu $26,7^{\circ}\text{C}$ dengan pH 9,32. Penurunan COD yang dihasilkan adalah 1440 mg/L dengan efisiensi 7,34%. Replikasi ke-3 memperlihatkan kondisi yang berbeda, yaitu suhu $27,0^{\circ}\text{C}$ dengan pH 9,36. Penurunan COD yang diperoleh sangat tinggi yaitu 1892 mg/L, tetapi menghasilkan nilai efisiensi yang negatif sebesar -2175%. Hal ini menunjukkan pada perlakuan 15 rumpun terlihat bahwa dua replikasi pertama masih menunjukkan penurunan COD dengan nilai efisiensi positif, sedangkan replikasi ketiga memberikan hasil anomali dengan nilai efisiensi negatif. Hal ini menegaskan bahwa efektivitas kangkung air dalam menurunkan COD sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan (suhu dan pH), serta kesehatan tanaman itu sendiri.

Sementara pada perlakuan 20 rumpun replikasi ke-1 menunjukkan suhu sebesar $26,1^{\circ}\text{C}$ dengan pH 9,30. Penurunan COD yang dicapai adalah 1882 mg/L dengan efisiensi -21,11%. Replikasi ke-2 mencatat suhu $26,7^{\circ}\text{C}$ dengan pH 9,63. Penurunan COD yang diperoleh sebesar 1760 mg/L dengan efisiensi -13,26%. Replikasi ke-3 memperlihatkan suhu $26,7^{\circ}\text{C}$ dengan pH 9,38. Penurunan COD yang dicapai sebesar 1512 mg/L dengan efisiensi 2,70%. Secara keseluruhan, hasil perlakuan 20 rumpun menunjukkan ketidakkonsistenan antar replikasi. Dua replikasi pertama memperlihatkan nilai efisiensi negatif, sedangkan replikasi ketiga menunjukkan hasil positif walaupun rendah. Hal ini menegaskan bahwa efektivitas kangkung air dalam menurunkan COD pada jumlah rumpun yang lebih banyak tidak

selalu meningkat, melainkan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan (pH dan suhu), serta kesehatan tanaman selama proses fitoremediasi berlangsung.

Selain faktor suhu dan pH, keberhasilan fitoremediasi dengan kangkung air juga sangat dipengaruhi oleh keberadaan mikroorganisme yang bersimbiosis di sekitar perakaran (rhizosfer). Menurut Fathikasari (2025), keberadaan mikroorganisme pada daerah perakaran tanaman air memiliki peranan yang sangat penting dalam mempercepat proses fitoremediasi. Mikroorganisme membentuk simbiosis dengan tanaman melalui hubungan mutualistik, di mana tanaman menyediakan oksigen dan nutrisi hasil fotosintesis bagi mikroba, sementara mikroba membantu dalam proses penguraian bahan organik dan logam berat air limbah. Aktivitas enzimatik mikroba di rizosfer dapat mempercepat proses degradasi senyawa organik kompleks menjadi senyawa sederhana yang lebih mudah diserap tanaman.

Penelitian najwa et al. (2023), tanaman kangkung air dapat berperan dalam menurunkan beban organik pada limbah cair melalui mekanisme fitoremediasi, di mana akar tanaman menjadi tempat berlangsungnya proses degradasi biologis oleh mikroorganisme. Pada penelitian ini tanaman kangkung air mampu menurunkan kadar COD hingga 35,42% dalam waktu 7 hari masa perlakuan, dengan kondisi pH berkisar antara 7,5-8,5 dan suhu lingkungan sekitar 27°C. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas fitoremediasi tidak hanya bergantung pada jenis tanaman, tetapi juga pada aktivitas mikroorganisme yang hidup disekitar akar dan kondisi lingkungan yang mendukung proses penguraian senyawa organik.

Pada perlakuan replikasi ke-1, nilai efisiensi penurunan COD yang relatif rendah (1,42%) meskipun terdapat penurunan konsentrasi COD, dapat dihubungkan dengan kondisi suhu 26,6°C dan pH 9,34 yang cenderung basa. Menurut Hermida et al. (2021), proses penyerapan dan degradasi bahan organik oleh tanaman air dan mikroorganisme pendukung lebih optimal pada pH netral hingga sedikit basa, namun pH di atas 9 dapat mulai menghambat aktivitas enzim dan mengurangi keberagaman mikroorganisme pengurai, seperti bakteri heterotrof.

Meskipun suhu pada replikasi ke-1 berada dalam rentang yang relatif ideal untuk metabolisme tanaman (25–30°C), pH yang cukup tinggi dapat menyebabkan sebagian fraksi nitrogen terkonversi menjadi bentuk amonia bebas (NH_3) yang bersifat toksik bagi mikroba perombak bahan organik (Effendi, 2020). Hal ini dapat menjelaskan mengapa penurunan COD tidak terlalu signifikan, walaupun suhu sudah mendukung proses biologis.

Pada perlakuan replikasi ke-2, efisiensi penurunan COD meningkat menjadi 8,04% dengan suhu 26,4°C dan pH 9,13. Penurunan pH dibandingkan replikasi ke-1 meskipun masih di kisaran basa, kemungkinan membantu meningkatkan aktivitas bakteri pengurai bahan organik seperti *Bacillus* dan *Pseudomonas* yang masih mampu beradaptasi pada pH sedikit basa (Setiawan et al., 2020).

Menurut penelitian Saputra et al. (2022), adanya pergeseran pH dari sangat basa menuju mendekati netral dapat mempercepat proses oksidasi senyawa organik oleh mikroorganisme aerob. Selain itu, kondisi suhu yang relatif stabil pada replikasi ke-2 meminimalkan stres termal pada tanaman kangkung air sehingga proses fitoremediasi dapat berjalan lebih baik. Tanaman air pada kondisi ini diduga memiliki laju fotosintesis yang cukup tinggi, yang dapat meningkatkan suplai oksigen terlarut di dalam air, mendukung aktivitas mikroba aerob, dan mempercepat degradasi senyawa organik penyumbang COD.

Sebaliknya, pada perlakuan replikasi ke-3, suhu meningkat hingga 27,5°C dan pH 9,27, namun terjadi anomali berupa peningkatan kadar COD sebesar 2.209 mg/L dengan efisiensi negatif (-42,15%). Kenaikan suhu yang terlalu mendekati batas atas toleransi optimal kangkung air dan fluktuasi pH yang kembali lebih tinggi dapat menyebabkan stres fisiologis pada tanaman. Menurut Yuliani et al. (2021), suhu di atas 27°C pada media basa dapat mempercepat proses respirasi tanaman dan mikroorganisme sehingga menguras oksigen terlarut. Kekurangan oksigen ini kemudian dapat memicu proses dekomposisi anaerob yang menghasilkan senyawa-senyawa organik terlarut tambahan seperti asam-asam organik dan metabolit hasil pembusukan, yang justru meningkatkan nilai COD. Selain itu, kemungkinan adanya kematian sebagian akar atau daun tanaman pada kondisi ini dapat menyumbang

bahan organik baru ke dalam media, sehingga meningkatkan beban COD.

Penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan pH dari basa menuju netral dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme aerob yang berperan dalam dekomposisi senyawa organik penyumbang COD. Menurut Zhang et al. (2020), mikroba heterotrof seperti *Bacillus* dan *Pseudomonas* mampu mempertahankan metabolisme optimum pada kisaran pH 6,5-8,5, sehingga pergeseran pH yang lebih mendekati netral akan mempercepat proses oksidasi senyawa organik.

Menurut Saputra et al. (2022), bahwa kestabilan pH dan suhu menjadi faktor kunci keberhasilan fitoremediasi menggunakan tanaman air, karena kondisi tersebut dapat meminimalkan stress fisiologis tanaman sekaligus mempertahankan keseimbangan komunitas mikroba pada rhizosfer. Oleh karena itu peningkatan COD pada replikasi ke-3 dapat dijelaskan oleh adanya stress tanaman akibat suhu mendekati batas toleransi, fluktuasi pH, serta kemungkinan kematian jaringan tanaman yang menyumbang bahan organik baru.

Efektivitas Daya Serap Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) Berdasarkan Variasi Jumlah Tanaman 10, 15 dan 20 Rumpun

Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa kangkung air (*Ipomoea aquatica*) tidak efektif menurunkan kadar COD pada limbah cair pabrik tahu yang digunakan dalam percobaan, meskipun jumlah rumpun tanaman divariasikan. Menurut teori fitoremediasi, keberhasilan penurunan COD sangat ditentukan oleh kesesuaian kondisi lingkungan dengan kebutuhan fisiologis tanaman dan mikroorganisme pendukung yang berperan dalam proses degradasi senyawa organik (Hidayah et al., 2021).

Dalam perlakuan ini, hasil One-Way ANOVA menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antar perlakuan jumlah rumpun, yang mengindikasikan bahwa faktor lingkungan lebih dominan dalam menentukan efektivitas fitoremediasi dibandingkan jumlah tanaman. Hal ini konsisten dengan penelitian oleh Zhang et al. (2020) yang melaporkan bahwa variasi jumlah tanaman tidak memberikan hasil signifikan dalam menurunkan COD apabila kondisi pH, DO, dan beban organik berada di luar ambang toleransi fisiologi tanaman air.

Dari aspek pH, fitoremediasi dengan kangkung air idealnya berlangsung pada kondisi netral hingga sedikit basa, yaitu pH 6,5–7,5 (Rahman et al., 2019). Namun, pada limbah cair tahu, pH cenderung fluktuatif akibat tingginya kandungan bahan organik terlarut yang mengalami fermentasi dan dekomposisi, sehingga menghasilkan senyawa asam maupun amonia.

Selain pH, suhu lingkungan perairan juga berperan besar dalam menentukan efektivitas fitoremediasi. Menurut Wang et al. (2020), kisaran suhu optimal bagi pertumbuhan kangkung air berada pada rentang 25–30 °C. Suhu yang terlalu tinggi atau rendah akan menyebabkan terganggunya proses fotosintesis, respirasi, serta penyerapan nutrisi oleh akar.

Dalam penelitian ini, kemungkinan suhu media percobaan tidak berada dalam rentang optimal akibat tingginya kandungan bahan organik yang mudah terfermentasi sehingga meningkatkan aktivitas mikroba heterotrof, menghasilkan panas, dan menyebabkan suhu media naik. Kondisi ini berimplikasi pada stres fisiologis tanaman yang ditandai dengan kelayuan, perubahan warna daun, hingga penurunan aktivitas akar dalam menyerap senyawa terlarut. Penelitian serupa oleh Hasanah et al. (2023) menyebutkan bahwa suhu media di atas 32 °C dapat menurunkan efektivitas penurunan COD oleh tanaman air hingga lebih dari 40%, meskipun jumlah biomassa tanaman diperbesar.

Limbah cair tahu dengan beban COD tinggi berpotensi besar menyebabkan penurunan DO secara cepat karena oksigen terpakai dalam proses oksidasi bahan organik oleh mikroba heterotrof. Akibatnya, tanaman kangkung mengalami defisiensi oksigen di zona perakaran, sehingga menghambat pertumbuhan dan penyerapan nutrisi. Hal ini menjelaskan mengapa meskipun jumlah rumpun ditambah, efektivitas fitoremediasi tetap rendah dan tidak berbeda nyata antar perlakuan.

Waktu kontak antara tanaman dan limbah juga menjadi faktor penentu keberhasilan fitoremediasi. Menurut teori kinetika fitoremediasi, penurunan konsentrasi polutan dalam media sangat bergantung pada lama interaksi antara akar tanaman dengan senyawa pencemar (Zhou et al., 2022).

Pada penelitian ini, kemungkinan waktu kontak yang diberikan belum cukup panjang untuk memungkinkan degradasi senyawa organik kompleks menjadi bentuk sederhana yang dapat diserap tanaman. Senyawa penyusun COD dalam limbah tahu, seperti protein dan lemak, memerlukan waktu lebih lama untuk terdegradasi oleh aktivitas mikroba sebelum dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Nurhayati et al. (2022) yang melaporkan bahwa penurunan COD signifikan pada sistem fitoremediasi dengan kangkung air baru terjadi setelah lebih dari 20 hari waktu kontak, sedangkan pada waktu yang lebih singkat penurunannya tidak signifikan. Dengan demikian, durasi kontak yang terbatas dalam percobaan ini dapat menjadi salah satu penyebab utama mengapa penurunan COD tidak efektif.

Keseluruhan faktor lingkungan tersebut menunjukkan bahwa efektivitas kangkung air dalam menurunkan COD tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah rumpun, melainkan lebih ditentukan oleh kesesuaian kondisi pH, suhu, DO, dan waktu kontak dengan kebutuhan fisiologi tanaman serta mikroba pendukungnya. Oleh karena itu, hasil One-Way ANOVA yang tidak menunjukkan perbedaan signifikan antar perlakuan memperkuat teori bahwa dalam kondisi lingkungan yang tidak optimal, penambahan jumlah tanaman tidak serta merta meningkatkan efektivitas penurunan COD.

Kenaikan efektivitas tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang berkaitan dengan kondisi tanaman dan lingkungan reaktor. Salah satu kemungkinan utama adalah vitalitas tanaman akibat paparan kontaminan yang terus menerus. Seiring berjalannya waktu, tanaman dapat mengalami stres fisiologis karena akumulasi bahan pencemar seperti amonia, senyawa fenol, atau kekurangan nutrisi yang diperlukan untuk mempertahankan proses metabolisme. Ketika tanaman mulai membusuk atau layu, senyawa organik dari jaringan tanaman dapat terlepas ke dalam air, sehingga justru meningkatkan kadar COD.

Dalam sistem fitoremediasi, semakin tinggi kepadatan tanaman maka akan semakin besar pula kompetisi antar tanaman terhadap sumber daya utama, seperti oksigen terlarut, cahaya, nutrisi, serta ruang tumbuh. Kompetisi yang berlebihan dapat menyebabkan stres fisiologis pada tanaman, yang pada akhirnya menurunkan kinerjanya dalam menyerap atau mendegradasi zat pencemar.

Kepadatan tanaman yang tinggi dapat mengganggu proses fisiologis seperti fotosintesis dan respirasi karena keterbatasan ruang dan cahaya. Selain itu, tanaman yang stres juga cenderung melepaskan senyawa organik dari akar dan jaringan yang membusuk, yang justru menambah beban COD dalam air limbah. Hal ini sejalan dengan penelitian (Suta et al., 2023) menemukan bahwa akumulasi biomassa berlebih dalam sistem tertutup dapat menyebabkan peningkatan kandungan organik dalam air akibat proses pembusukan tanaman yang tidak sempurna. Proses ini melepaskan zat organik baru ke dalam air, yang justru berkontribusi terhadap peningkatan kadar COD daripada menurunkannya. Selain itu, oksigen terlarut dalam media juga menjadi terbatas karena digunakan dalam jumlah besar oleh tanaman dan mikroorganisme.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektivitas penurunan COD dengan perlakuan 10, 15, maupun 20 rumpun kangkung air dalam 1×24 jam tidak menunjukkan hasil yang konsisten, bahkan sebagian mengalami peningkatan kadar COD dibandingkan kontrol. Fenomena ini dapat dijelaskan melalui beberapa faktor. Pertama, adanya pembusukan tanaman terutama pada perlakuan 20 rumpun di replikasi ke-2 dan ke-3 menyebabkan pelepasan kembali bahan organik ke dalam media. Proses pembusukan menghasilkan senyawa organik terlarut yang dapat meningkatkan nilai COD. Hal ini sesuai dengan temuan Utami et al. (2023), yang menunjukkan bahwa tanaman air yang mengalami kerusakan jaringan dapat melepaskan bahan organik kembali ke media sehingga COD sementara meningkat.

Kedua, tanaman kangkung air memerlukan fase adaptasi ketika dipindahkan ke media limbah tahu yang kaya beban organik, sehingga dalam 24 jam pertama kemampuan metabolisme belum

optimal. Hal ini sejalan dengan penelitian Dewi & Akbari (2023) yang melaporkan bahwa tanaman air membutuhkan waktu adaptasi awal sebelum mampu menurunkan parameter polutan secara efektif.

Ketiga, kemungkinan terjadi aktivitas mikroorganisme dekomposer yang memecah bahan organik kompleks menjadi senyawa sederhana yang lebih mudah larut, sehingga pada tahap awal justru meningkatkan COD terlarut. Hal ini didukung oleh Syuhada et al. (2023) yang menemukan bahwa mikroba rizosfer tanaman air dapat meningkatkan kelarutan organik awal sebelum terjadi penurunan COD yang stabil.

Keempat, kepadatan biomassa pada perlakuan 20 rumpun menyebabkan konsumsi oksigen yang tinggi oleh tanaman dan mikroorganisme, menurunkan kadar DO (dissolved oxygen) dalam media, sehingga mempercepat pembusukan jaringan tanaman dan pelepasan senyawa organik tambahan. Penemuan ini sejalan dengan Ahmad & Adiningsih (2019) yang melaporkan bahwa kepadatan tanaman air yang tinggi dapat menurunkan DO dan memicu fluktuasi COD sementara.

Selain faktor lingkungan, efektivitas penyerapan COD oleh tanaman air sangat dipengaruhi oleh senyawa metabolit sekundernya, khususnya flavonoid, tannin, dan alkaloid. Flavonoid memiliki kemampuan antioksidan dan antibakteri yang dapat menghambat pertumbuhan mikroba penyebab peningkatan COD serta berperan dalam pengendapan zat organik terlarut.

Menurut penelitian Utami et al. (2023), akumulasi senyawa bioaktif dalam jaringan tanaman air dapat meningkatkan kapasitas serapan senyawa organik dan mendukung penurunan COD selama beberapa hari. Namun, dalam penelitian ini yang hanya berlangsung 24 jam, mekanisme tersebut belum berjalan optimal, sehingga efeknya terhadap COD belum terlihat.

Menurut Utami et al. (2024), akumulasi flavonoid pada tanaman air dapat meningkatkan kapasitas serapan senyawa organik dan memberikan kontribusi terhadap penurunan COD hingga 30–40 % dalam waktu 3–5 hari pada sistem fitoremediasi. Flavonoid pada tanaman air mampu merespons kondisi lingkungan dengan cepat sehingga mendukung proses fitoremediasi. Namun, dalam penelitian ini yang hanya berlangsung 24 jam, mekanisme tersebut belum berjalan optimal, sehingga efeknya terhadap COD tidak terlihat.

Tannin bekerja sebagai koagulan alami yang mampu mengikat partikel koloid organik sehingga mempercepat proses pengendapan. Tannin bekerja sebagai koagulan alami yang mampu mengikat partikel koloid organik, mempercepat pengendapan. Hal ini sejalan dengan Riyanto (2023) yang menunjukkan bahwa tanaman air dapat berperan dalam mengendapkan bahan organik melalui aktivitas senyawa alami penggunaan tannin dalam sistem pengolahan limbah dapat menurunkan COD hingga 76,2 % dalam waktu 48 jam pada kondisi pH mendekati netral. Dalam konteks fitoremediasi menggunakan kangkung air, keberadaan tannin tidak hanya mendukung kesehatan metabolisme tanaman, tetapi juga memperluas permukaan akar sebagai tempat kolonisasi mikroba pengurai yang berkontribusi pada degradasi bahan organik.

Alkaloid berfungsi sebagai senyawa antibakteri dan dapat menghambat degradasi anaerobik penyebab peningkatan COD. Singaperbangsa (2024) melaporkan bahwa kehadiran senyawa metabolit tanaman air dapat menurunkan COD secara signifikan bila waktu kontak diperpanjang. Kehadiran alkaloid pada tanaman air dapat menurunkan kadar COD sebesar 20–25 % dalam rentang waktu 3–7 hari. Dengan demikian, bila waktu penelitian diperpanjang hingga beberapa hari, kemungkinan besar peran flavonoid, tannin, dan alkaloid dari kangkung air dapat terlihat lebih jelas dalam menurunkan COD, berbeda dengan kondisi penelitian singkat 1×24 jam yang justru memperlihatkan fluktuasi nilai COD akibat faktor pembusukan, aktivitas mikroorganisme, dan ketidakstabilan oksigen terlarut.

Kombinasi ketiga senyawa ini dalam jaringan kangkung air menjadikan tanaman tersebut tidak hanya berperan sebagai fitoremediator pasif, tetapi juga sebagai agen aktif yang memiliki kemampuan kimiawi dan biologis untuk menurunkan beban organik pada limbah cair. Oleh karena itu, keberadaan flavonoid, tannin, dan alkaloid dapat dipandang sebagai faktor internal penting yang mendukung efektivitas kangkung air dalam menurunkan kadar COD pada limbah cair tahu.

KESIMPULAN

Penggunaan tanaman kangkung air tidak efektif dalam menurunkan kadar Chemical Oxygen Demand (COD) pada limbah cair pabrik tahu dan perlakuan jumlah rumpun kangkung air tidak memberikan perbedaan efektivitas yang signifikan terhadap penurunan kadar COD ($0,823 > 0,05$). Penggunaan tanaman kangkung air tidak efektif dalam menurunkan kadar Chemical Oxygen Demand (COD) pada limbah cair tahu dengan variasi waktu 1 hari, karena fitoremediasi membutuhkan waktu adaptasi yang lebih lama.

DAFTAR RUJUKAN

- Ahmad, H., & Adiningsih, R. (2019). Efektivitas metode fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok dan kangkung air dalam menurunkan kadar BOD dan TSS pada limbah cair industri tahu. *Jurnal Farmasetis*, 8(2)
- Aldi, Y., Putri, H. J., & Utami, R. T. (2023). In Vitro Anti-Inflammatory Test Of Genjer Leaf Extract (*Limncharis Flava*). *Formosa Journal Of Sustainable Research*, 2(5), 1217-1226.
- Devi, C. M. (2021). Penurunan Kadar COD (Chemical Oxygen Demand) Secara Alami Pada Limbah Cair Tahu: Literature Review. Skripsi Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Dewi, M. O., & Akbari, T. (2023). Pengolahan limbah cair tahu dengan metode fitoremediasi tanaman eceng gondok pada industri tahu B Kota Serang. *Jurnal Lingkungan dan Sumberdaya Alam*
- Evert, J., Iku, Mulya, W., Sipahutar, M. K., Iin, & Sari, P. (2022). Mengidentifikasi Sumber Pencemaran Air Limbah Di Tempat Kerja.
- Hermida, N., Mulyadi, & Azizah, N. (2021). Pengaruh pH terhadap Efektivitas Pengolahan Limbah Cair dengan Sistem Wetland. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 22(2), 125–133.
- Hidayah, N., Prasetyo, T., & Utami, R. (2021). Pengaruh Kondisi Lingkungan terhadap Efektivitas Fitoremediasi Limbah Cair. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 22(1), 77–86.
- Kusna, A. (2021). Pengaruh Limbah Tahu Terhadap Kualitas Air Sungai Di Desa Mejing Kecamatan Candimulyo. *Indonesian Journal of Natural Science Education (IJNSE)*, 4(1), 400–403.
- Mulya, M. P., Muhammad, D., & Maryani, A. T. (2020). Pemanfaatan Tumbuhan Air (*Hydrilla Verticillata*) Dalam Meningkatkan Karakteristik Limbah Cair Tahu Dengan Metode Biofiltrasi. *Jurnal Pembangunan Berkelanjutan*, 3(1), 1–10.
- Nurhayati, S., Pratama, A., & Dewi, K. (2022). Pengaruh Lama Kontak terhadap Penurunan COD oleh Kangkung Air dalam Limbah Industri. *Jurnal Riset Lingkungan*, 10(3), 198–207.
- Riyanto, A. (2023). Fitoremediasi kayu apu, eceng gondok, dan bambu air untuk menurunkan kadar BOD air limbah pabrik tahu. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*, 12(2)
- Saputra, R., Kurniawan, A., & Pramudita, D. (2022). Analisis Penurunan COD pada Limbah Cair Industri Pangan dengan Tanaman Air. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 18(3), 201–210.
- Setiawan, H., Pratama, Y., & Dewi, L. (2020). Adaptasi Mikroba Terhadap pH pada Proses Pengolahan Limbah Organik. *Jurnal Mikrobiologi Indonesia*, 15(2), 89–98.
- Singaperbangsa, A. B. P. (2024). Pengaruh waktu tinggal terhadap penurunan kadar polutan, pH, suhu limbah cair industri tahu menggunakan tanaman melati air (*Echinodorus palaefolius*). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*
- Suta, I. K. F. R., Sumadewi, N. L. U., & Astuti, N. P. W. (2023). Efektifitas Kombinasi Filtrasi dan Fitoremediasi dengan Tanaman Kangkung Air pada Limbah Tempe Tahun 2022. *JURNAL KESEHATAN, SAINS, DAN TEKNOLOGI (JAKASAKTI)*, 2(2).
- Solahudin, D., & Sari, P.A. (2020). Fitoremediasi Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*) Untuk Menurunkan Kadar Torium. *Eksplorium: Buletin Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir*, 41(2), 139-150.
- Syuhada, A. D., Saputra, A. E., & Gunawan, T. (2023). Potensi tanaman *Azolla microphylla* dan *Pistia stratiotes* dengan metode fitoremediasi dalam pengolahan limbah tahu. *Buletin Keslingmas*.

-
- Utami, F. R., Jalius, J., & Kalsum, U. (2023). Perbandingan pengolahan limbah cair rumah makan menggunakan berbagai tanaman fitoremediasi (eceng gondok, kangkung air, kiambang). *Jurnal Pembangunan Berkelanjutan*, 4(1)
- Yuliani, N., Hasan, R., & Putra, P. (2021). Pengaruh Suhu terhadap Penurunan COD pada Pengolahan Limbah Organik. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 27(1), 31–40.