

Efektivitas tanaman kangkung (*Ipomoea aquatica*) sebagai agen fitoremediasi limbah cair peternakan babi

J.E.M. Soputan*, J.A.D. Kalele, S. S. Malalantang, K.A. Lalisang

Fakultas Peternakan Universitas Sam Ratulangi ,Manado-Sulut 95115

*Korespondensi (*Corresponding author*): jeanette@unsrat.ac.id.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan tanaman Kangkung (*Ipomoea aquatica*) untuk mereduksi polutan dari limbah cair usaha peternakan babi sehingga dapat mengurangi pencemaran terhadap lingkungan khususnya sungai. Penelitian ini dilaksanakan dalam bentuk percobaan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari 4 (empat) perlakuan dan 5 (lima) ulangan, sehingga terdapat 20 unit percobaan. Perlakuan yang dicobakan dalam penelitian ini adalah LK1: Limbah cair ternak babi dengan penutupan kangkung 25%, LK2: Limbah cair ternak babi dengan penutupan kangkung 50%, LK3: Limbah cair ternak babi dengan penutupan kangkung 75%, dan LK4: Limbah cair ternak babi dengan penutupan kangkung 100%. Variabel yang diamati yaitu BOD, DO, pH, dan Suhu. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan penutupan dengan tanaman kangkung 25%, 50%, 75%, dan 100%, memberikan pengaruh yang berbeda tidak nyata ($P>0,05$) terhadap pH dan memberikan pengaruh yang berbeda sangat nyata ($P<0,01$) terhadap BOD, DO, dan Suhu. Uji BNJ menunjukkan bahwa perlakuan penutupan LK1 (25%), LK2 (50%), dan LK3 (75%) memiliki nilai BOD yang rendah dan berbeda sangat nyata ($P<0,01$) dengan LK4 (100%), perlakuan penutupan LK4(100%) dan LK3(75%) memiliki kandungan DO yang lebih tinggi dan berbeda nyata ($P<0,05$) dengan LK1(25%) dan LK2(50%), dan perlakuan penutupan dengan tanaman kangkung 25%, 50%, 75%, 100% memberikan pengaruh sangat nyata ($P<0,01$) terhadap nilai suhu. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa tanaman kangkung (*ipomoea aquatica*) dengan penutupan 75% efektif menurunkan nilai BOD (1,75-2,6 mg/l), dapat meningkatkan DO (3,2-4,2 mg/l), serta mampu mempertahankan nilai pH dan Suhu sesuai standar nilai baku mutu air sungai PP No. 22 Tahun 2021.

Kata kunci: Kangkung, fitoremediasi, limbah cair peternakan babi

ABSTRACT

THE EFFECTIVENESS OF WATER SPINACH (IPOMEA AQUATICA) AS A PHYTOREMEDIATION AGENT FOR LIQUID WASTE FROM PIG FARMS. This study aims to determine the ability of water spinach (*Ipomoea aquatica*) to reduce pollutants from pig farm liquid waste, thereby reducing environmental pollution, particularly in rivers. This study was conducted as an experiment using a Completely Randomised Design (CRD) consisting of 4 (four) treatments and 5 (five) replications, resulting in 20 experimental units. The treatments tested in this study were LK1: Pig farm liquid waste with 25% water spinach coverage, LK2: pig manure wastewater with 50% water spinach coverage, LK3: pig manure wastewater with 75% water spinach coverage, and LK4: pig manure wastewater with 100% water spinach coverage. The variables observed were BOD, DO, pH, and temperature. The analysis of variance results showed that the water hyacinth coverage treatments of 25%, 50%, 75%, and 100% had no significant effect ($P>0.05$) on pH and had a very significant effect

($P < 0.01$) on BOD, DO, and temperature. The BNJ test showed that the cover treatments LK1 (25%), LK2 (50%), and LK3 (75%) had low BOD values and significantly different ($P < 0.01$) from LK4 (100%). The LK4 (100%) and LK3 (75%) cover treatments had higher DO content and significantly different ($P < 0.05$) from LK1 (25%) and LK2 (50%), and the covering treatments with water spinach at 25%, 50%, 75%, and 100% had a highly significant effect ($P < 0.01$) on temperature values. Based on the results of the study, it can be concluded that water spinach (*Ipomoea aquatica*) with 75% coverage effectively reduces BOD values (1.75–2.6 mg/l), increases DO (3.2–4.2 mg/l), and maintains pH and temperature values in accordance with the standard water quality criteria for rivers as per Government Regulation No. 22 of 2021.

Keywords: Water Spinach, Phytoremediation, Swine Wastewater

PENDAHULUAN

Perkembangan usaha peternakan babi menunjukkan kecenderungan meningkat seiring dengan perubahan pola pemeliharaan dari sistem tradisional menuju sistem intensif. Pada sistem intensif, ternak dipelihara dalam jumlah relatif besar pada ruang terbatas sehingga volume limbah yang dihasilkan juga meningkat. Limbah tersebut berasal dari feses, urin, sisa pakan, air pencucian kandang, serta air yang digunakan dalam pemeliharaan ternak. Apabila tidak dikelola secara memadai, akumulasi limbah dapat menimbulkan bau, gas beracun, penyebaran penyakit, dan pencemaran badan air. Permasalahan ini menjadi semakin serius karena sebagian peternak belum memiliki atau belum mengoperasikan Instalasi Pengolahan Air Limbah secara efektif, bahkan masih membuang limbah cair peternakan langsung ke sungai.

Pengelolaan dan pembuangan limbah yang tidak memenuhi persyaratan berpotensi menurunkan kualitas sumber air. Manjusha *et al.* (2014) menyatakan bahwa pembuangan limbah secara sembarangan dapat memengaruhi karakteristik fisik, kimia, dan mikrobiologis perairan. Dalam konteks peternakan babi, bahan organik dan unsur pencemar yang masuk ke sungai dapat mengubah kualitas air secara fisik, kimia, dan biologis serta mengganggu keseimbangan ekosistem perairan (Probosunu *et al.*, 2003). Oleh karena itu, diperlukan teknologi pengolahan yang sederhana, relatif murah, mudah diterapkan

di tingkat peternak, dan mampu menurunkan beban pencemar sebelum limbah dibuang ke lingkungan.

Salah satu pendekatan biologis yang berpotensi digunakan adalah fitoremediasi dengan tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*). Fitoremediasi memanfaatkan kemampuan tanaman untuk menyerap, mengakumulasi, memetabolisme, menstabilkan, atau membantu menguraikan polutan melalui interaksi antara akar, media air, dan mikroorganisme di daerah perakaran. Kangkung air memiliki batang dan jaringan berongga yang mendukung kemampuannya hidup pada lingkungan berair serta mudah diperbanyak melalui potongan batang maupun biji (Sains *et al.*, 2004). Struktur perakarannya menyediakan permukaan kontak bagi proses adsorpsi, penyerapan unsur hara, dan perkembangan mikroorganisme rhizosfer yang membantu penguraian bahan organik.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa *Ipomoea aquatica* berpotensi memperbaiki kualitas limbah cair dari sejumlah sumber, termasuk limbah industri tahu, limbah domestik, limbah budidaya ikan, dan limbah batik. Perbaikan tersebut terutama ditunjukkan melalui penurunan beban organik dan perubahan parameter kualitas air seperti Biochemical Oxygen Demand (BOD), Dissolved Oxygen (DO), pH, dan suhu (Elvania dan Margianti, 2023; Ahmad dan Adiningsih, 2019; Hapsari *et al.*, 2020; Yulintin, 2025). Namun, tingkat efektivitas fitoremediasi tidak selalu sama karena dipengaruhi oleh jenis limbah, konsentrasi pencemar, biomassa tanaman,

luas penutupan permukaan, lama kontak, suhu, cahaya, dan desain sistem pengolahan (Salim, 2021; HM dan Setiawati, 2023; Lestari dan Siregar, 2024).

BOD merupakan indikator jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air. Nilai BOD yang tinggi menunjukkan besarnya beban organik dan potensi penurunan kualitas perairan. Sebaliknya, DO menggambarkan ketersediaan oksigen terlarut bagi organisme akuatik dan mikroorganisme aerob. Limbah yang kaya bahan organik cenderung memiliki DO rendah karena oksigen banyak digunakan dalam proses biodegradasi. Dalam sistem fitoremediasi, fotosintesis tanaman, transfer oksigen menuju zona perakaran, dan aktivitas mikroorganisme rhizosfer dapat membantu menurunkan beban organik serta memperbaiki keseimbangan oksigen dalam air (Effendi *et al.*, 2015; Hapsari *et al.*, 2020; HM dan Setiawati, 2023).

Selain BOD dan DO, pH dan suhu merupakan parameter penting dalam proses fitoremediasi. pH memengaruhi aktivitas mikroorganisme, kelarutan unsur hara, ketersediaan ion, dan kemampuan tanaman menyerap polutan. Perubahan pH menuju kisaran netral dapat berkaitan dengan penyerapan unsur hara, pertukaran ion, dekomposisi bahan organik, dan aktivitas mikroba di daerah perakaran (Ahmad dan Adiningsih, 2019; Elvania dan Margianti, 2023). Suhu memengaruhi metabolisme tanaman dan mikroorganisme, proses dekomposisi, fotosintesis, serta kelarutan oksigen. Tutupan tanaman juga dapat menurunkan suhu melalui efek naungan dan evapotranspirasi, tetapi penutupan yang terlalu tinggi berpotensi membatasi pertukaran udara dan penetrasi cahaya (Effendi *et al.*, 2015; Hapsari *et al.*, 2020).

Meskipun potensi kangkung air sebagai agen fitoremediasi telah banyak dilaporkan, kajian yang secara khusus mengevaluasi limbah cair peternakan babi dengan membandingkan beberapa tingkat penutupan tanaman masih terbatas. Limbah cair peternakan babi memiliki karakteristik

organik yang berbeda dari limbah domestik atau industri sehingga hasil penelitian pada jenis limbah lain belum dapat diterapkan secara langsung. Selain itu, semakin luas penutupan tanaman tidak selalu menghasilkan kualitas air terbaik karena peningkatan biomassa dapat memperbesar kapasitas penyerapan, tetapi juga memengaruhi penetrasi cahaya, sirkulasi oksigen, aktivitas mikroorganisme, dan suhu. Potensi akumulasi polutan pada jaringan tanaman juga perlu diperhatikan agar biomassa hasil fitoremediasi tidak dimanfaatkan sebagai pangan atau pakan tanpa evaluasi keamanan (Suraida *et al.*, 2021; Mistar, 2022; Fajri *et al.*, 2019).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas tingkat penutupan kangkung air sebesar 25%, 50%, 75%, dan 100% dalam memperbaiki kualitas limbah cair peternakan babi berdasarkan perubahan nilai BOD, DO, pH, dan suhu, serta menentukan tingkat penutupan yang paling efektif sebagai dasar pengembangan sistem pengolahan limbah yang sederhana, aplikatif, dan ramah lingkungan.

MATERI DAN METODE PENELITIAN

Materi penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *greenhouse* yang berbahan atap plastik dan dibuat menggunakan bambu dengan ukuran 5x3x3 meter, rak yang terbuat dari bambu untuk meletakkan loyang yang berjumlah 20, termometer, aerator, selang aerator, batu aerator, ember dan gelas ukur (liter).

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini yaitu limbah cair peternakan babi, tanaman kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan bahan untuk uji laboratorium untuk uji BOD, DO, pH dan Suhu.

Metode penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam bentuk percobaan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang

terdiri dari 4 (empat) perlakuan dan 5 (lima) ulangan, sehingga terdapat 20 unit percobaan.

Perlakuan yang dicobakan dalam penelitian ini adalah:

LK1: Limbah cair ternak babi dengan penutupan kangkung 25%

LK2: Limbah cair ternak babi dengan penutupan kangkung 50%

LK3: Limbah cair ternak babi dengan penutupan kangkung 75%

LK4: Limbah cair ternak babi dengan penutupan kangkung 100%

Parameter penelitian

1. BOD (*Biological Oxygen Demand*)
BOD mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air, rumus untuk pengukuran BOD ($DO_{\text{awal}} - DO_{\text{akhir}}$). Satuan yang digunakan pada BOD adalah mg/l.
2. DO (*Dissolved Oxygen*)
DO adalah jumlah oksigen terlarut dalam air yang dibutuhkan oleh organisme akuatik. Pengukuran DO menggunakan DO meter digital atau metode titrasi Winkler, hasil dari pengukuran biasanya dalam satuan mg/l
3. pH (*Derajat Keasaman*)
pH menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan air (skala 0-14), pengukuran pH menggunakan pH meter atau kertas lakmus/pH strip, pH ideal untuk air bersih 6.5-8.5.
4. Suhu
Suhu air memengaruhi DO dan aktivitas biologis, pengukuran suhu menggunakan termometer digital.

Prosedur penelitian

Persiapan pertama yang harus dilakukan adalah pembuatan greenhouse, yang dibuat satu minggu sebelum uji coba dilakukan. Tanaman kangkung diambil dari sekitar area peternakan, kemudian dimasukkan ke dalam kolam yang telah berisi air sumur dan aerator. Proses ini

berlangsung selama kurang lebih tiga hari hingga terjadi pertumbuhan.

Limbah cair ternak babi diperoleh dari hasil pencucian kandang dan proses mandi ternak. Limbah tersebut disaring, lalu diendapkan selama satu jam sebelum diencerkan dengan air sumur dengan perbandingan 1:3 (7 liter limbah cair + 21 liter air sumur). Sebanyak 20 loyang plastik berkapasitas 45 liter masing-masing diisi 28 liter limbah cair yang telah diencerkan.

Tanaman kangkung kemudian dimasukkan ke dalam loyang yang berisi campuran limbah cair dan air sumur (1:3) sebanyak 20 loyang. Dari jumlah tersebut, lima loyang digunakan untuk perlakuan penutupan 25%, lima loyang untuk perlakuan penutupan 50%, lima loyang untuk perlakuan penutupan 75%, dan lima loyang untuk perlakuan penutupan 100%. Setiap loyang dilengkapi dengan aerator. Loyang plastik yang digunakan diberi tanda, dan penempatan perlakuan dilakukan secara acak, diagram alir prosedur penelitian (Gambar 2.)



Gambar 2. Diagram Alir Prosedur Penelitian

Model analisis data

Data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan analisis ragam untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh dari perlakuan, dilanjutkan dengan uji BNJ

untuk membandingkan perbedaan antara perlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis ragam dari *Biological Oxygen Demand* (BOD), Dissolved Oxygen (DO) pH, dan Suhu limbah cair peternakan babi dapat dilihat pada Tabel 2.

Limbah kotoran babi khususnya feses babi apabila tidak dikelola secara baik dapat mencemari udara, air dan memicu konflik sosio-religio didalam masyarakat. Pembuangan limbah peternakan babi ke

sungai tanpa proses pengolahan limbah dapat menyebabkan timbulnya dampak negatif pada lingkungan dan air sungai yaitu terjadinya penurunan kualitas perairan sungai yang menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem bagi biota – biota yang berada di sungai tersebut. (Probosunu *et al.*, 2003). Air limbah yang dibuang ke lingkungan harus memenuhi standar baku mutu air sungai (terlihat pada Tabel 3), sehingga tidak mencemari ekosistem perairan dan tetap mendukung kehidupan makhluk hidup di sekitarnya

Tabel 2. Rerata nilai BOD, DO, pH, dan Suhu limbah cair peternakan babi dari masing-masing perlakuan.

Parameter	Perlakuan			
	LK1 (25%)	LK2(50%)	LK3(75%)	LK4(100%)
BOD (mg/l)	1.80 ^b	1.75 ^b	2.20 ^{ab}	2.60 ^a
DO (mg/l)	3.20 ^b	3.20 ^b	4.20 ^a	4.20 ^a
pH	6.68	6.60	6.65	6.60
Suhu (°C)	25 ^a	24 ^b	24 ^b	23 ^c

Tabel 3. Standar baku air sungai dan sejenisnya (PP No. 22 Tahun 2021)

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Keterangan
1.	Temperatur	°C	Dev 3 (22-29)	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Perbedaan dengan suhu udara di atas permukaan air
2.	Padatan terlarut total (TDS}	mg/ L	1.000	1.000	1.000	2.000	Tidak berlaku untuk muara
3.	Padatan tersuspensi total (TSS)	mg/ L	40	50	100	400	
4.	Warna	Pt-Co Unit	15	50	100		Tidak berlaku untuk air gambut (berdasarkan kondisi alaminya)

5.	Derajat keasaman (pH)		6-9	6-9	6-9	6-9	Tidak berlaku untuk air gambut (berdasarkan kondisi alaminya)
6.	Kebutuhan oksigen biokimiawi (BOD)	mg/L	2	3	6	12	
7.	Kebutuhan oksigen kimiawi (COD)	mg/L	10	25	40	80	
8.	Oksigen terlarut (DO)	mg/L	6	4	3	1	Batas minimal

Pengaruh perlakuan terhadap *biological oxygen demand* (BOD) limbah cair ternak babi

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan salah satu parameter utama untuk menilai tingkat pencemaran organik dalam air limbah. Nilai BOD menggambarkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme aerob untuk menguraikan bahan organik yang terdapat dalam air selama periode tertentu. Semakin tinggi nilai BOD, semakin besar beban bahan organik yang harus didekomposisi dan semakin tinggi pula kebutuhan oksigen dalam perairan. Kondisi tersebut berpotensi menurunkan ketersediaan oksigen bagi organisme akuatik dan mengganggu keseimbangan ekosistem apabila limbah dibuang secara langsung ke badan air tanpa melalui proses pengolahan. Oleh karena itu, penurunan nilai BOD menjadi salah satu indikator penting untuk menentukan keberhasilan proses fitoremediasi limbah cair peternakan babi menggunakan tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*).

Hasil analisis laboratorium Balai Standardisasi Manado menunjukkan bahwa nilai BOD limbah cair peternakan babi setelah proses fitoremediasi menggunakan tanaman kangkung berada pada kisaran 1,75–2,60 mg/L (Tabel 2). Nilai rata-rata BOD pada perlakuan LK1 dengan penutupan kangkung 25% adalah 1,80

mg/L, perlakuan LK2 dengan penutupan 50% menghasilkan nilai 1,75 mg/L, perlakuan LK3 dengan penutupan 75% menghasilkan nilai 2,20 mg/L, sedangkan perlakuan LK4 dengan penutupan 100% menunjukkan nilai BOD sebesar 2,60 mg/L. Secara numerik, nilai BOD terendah diperoleh pada perlakuan LK2, yaitu penutupan permukaan limbah sebesar 50%, diikuti oleh LK1, LK3, dan LK4. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa peningkatan persentase penutupan tanaman tidak selalu diikuti oleh penurunan nilai BOD secara linear.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan penutupan permukaan limbah cair menggunakan tanaman kangkung memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap nilai BOD ($P < 0,01$). Uji Beda Nyata Jujur menunjukkan bahwa perlakuan LK1, LK2, dan LK3 memiliki nilai BOD yang relatif rendah dan berbeda sangat nyata dengan perlakuan LK4. Temuan ini menunjukkan bahwa tingkat penutupan kangkung sebesar 25% hingga 75% memberikan kondisi yang lebih mendukung proses penurunan beban organik dibandingkan penutupan penuh sebesar 100%. Penutupan yang terlalu rapat diduga dapat membatasi penetrasi cahaya, pertukaran gas antara air dan atmosfer, serta sirkulasi oksigen pada permukaan limbah. Kondisi tersebut dapat mengurangi efisiensi fotosintesis dan memengaruhi

aktivitas mikroorganisme aerob yang berperan dalam penguraian bahan organik.

Penurunan BOD dalam sistem fitoremediasi berkaitan dengan interaksi antara tanaman, akar, mikroorganisme rhizosfer, dan bahan organik yang terkandung dalam limbah. Tanaman kangkung memiliki sistem perakaran yang memberikan permukaan luas untuk adsorpsi partikel, penyerapan unsur hara, serta perkembangan komunitas mikroorganisme. Akar berfungsi sebagai media biologis tempat melekatnya mikroorganisme yang mampu menguraikan bahan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana. Semakin efektif interaksi antara akar dan mikroorganisme, semakin cepat bahan organik dapat didekomposisi sehingga kebutuhan oksigen biologis dalam air menurun. Mekanisme ini sejalan dengan berbagai kajian fitoremediasi kangkung air yang menunjukkan bahwa zona perakaran berperan penting dalam mempercepat degradasi bahan organik pada limbah cair (Ngirfani & Puspitarini, 2020; Hapsari *et al.*, 2018; Suraida *et al.*, 2021).

Proses fotosintesis tanaman juga berkontribusi terhadap penurunan BOD. Dalam kondisi cahaya yang memadai, kangkung menghasilkan oksigen melalui fotosintesis. Oksigen tersebut meningkatkan ketersediaan DO dalam air dan menciptakan lingkungan yang lebih sesuai bagi mikroorganisme aerob untuk menguraikan bahan organik. Peningkatan DO memungkinkan proses dekomposisi berlangsung lebih efektif sehingga konsentrasi bahan organik yang masih membutuhkan oksigen untuk diuraikan menjadi lebih rendah. Dengan demikian, peningkatan oksigen terlarut dan penurunan BOD merupakan dua proses yang saling berkaitan dalam sistem fitoremediasi. Temuan ini sejalan dengan penelitian pada berbagai jenis limbah cair yang menunjukkan bahwa penggunaan kangkung air dapat membantu menurunkan beban organik melalui peningkatan aktivitas biologis di daerah perakaran (Effendi *et al.*, 2015; Ahmad dan

Adiningsih, 2019; Elvania dan Margianti, 2023).

Penurunan BOD juga dapat terjadi melalui proses fitodegradasi, yaitu penyerapan kontaminan organik oleh akar yang kemudian mengalami transformasi atau penguraian melalui proses metabolisme tanaman (Riyanto, 2013). Sebagian unsur organik dan nutrisi dalam limbah dapat dimanfaatkan oleh kangkung untuk mendukung pertumbuhan jaringan tanaman. Namun, efektivitas proses tersebut dipengaruhi oleh jumlah tanaman, luas tutupan, kondisi akar, waktu kontak, suhu, pH, serta ketersediaan oksigen. Biomassa yang terlalu rendah dapat membatasi kapasitas penyerapan, sedangkan biomassa yang terlalu tinggi dapat menyebabkan persaingan antartanaman, mengurangi penetrasi cahaya, dan menghambat pertukaran oksigen. Hal ini menjelaskan mengapa perlakuan penutupan 100% tidak menghasilkan nilai BOD terendah.

Seluruh nilai BOD hasil penelitian berada dalam rentang baku mutu air sungai menurut PP No. 22 Tahun 2021. Nilai BOD pada LK1 dan LK2 memenuhi kriteria kelas I, sedangkan LK3 dan LK4 masih berada dalam batas kelas II. Dengan demikian, perlakuan kangkung air mampu menurunkan dan mempertahankan BOD limbah cair peternakan babi pada tingkat yang lebih aman bagi badan air. Meskipun LK2 menghasilkan nilai BOD terendah secara numerik, perlakuan LK3 sebesar 75% tetap menunjukkan kapasitas pengolahan yang baik serta memberikan keseimbangan antara penurunan BOD dan peningkatan DO. Hasil tersebut menegaskan bahwa efektivitas fitoremediasi tidak hanya ditentukan oleh kepadatan tanaman, tetapi juga oleh keseimbangan antara luas perakaran, penetrasi cahaya, sirkulasi oksigen, dan aktivitas mikroorganisme dalam sistem pengolahan limbah.

Pengaruh perlakuan terhadap *dissolved oxygen* (DO) limbah cair ternak babi

Dissolved Oxygen (DO) atau oksigen terlarut merupakan salah satu parameter penting dalam penilaian kualitas air karena menunjukkan jumlah oksigen yang tersedia untuk mendukung respirasi organisme akuatik dan aktivitas mikroorganisme aerob. Kandungan DO juga menentukan kemampuan suatu badan air untuk melakukan proses pemurnian secara alami. Pada limbah yang memiliki kandungan bahan organik tinggi, termasuk limbah cair peternakan babi, oksigen terlarut akan digunakan oleh mikroorganisme untuk menguraikan senyawa organik. Apabila laju penggunaan oksigen lebih besar daripada proses penambahannya, konsentrasi DO akan menurun dan dapat mengakibatkan terbentuknya kondisi anaerob, bau tidak sedap, serta terganggunya keseimbangan ekosistem perairan. Oleh karena itu, peningkatan atau pemeliharaan nilai DO menjadi indikator penting dalam mengevaluasi efektivitas fitoremediasi menggunakan kangkung air (*Ipomoea aquatica*).

Hasil analisis laboratorium Balai Standardisasi Manado menunjukkan bahwa nilai DO limbah cair peternakan babi setelah proses fitoremediasi berkisar antara 3,20–4,20 mg/L (Tabel 2). Perlakuan LK1 dengan penutupan kangkung sebesar 25% menghasilkan nilai DO rata-rata 3,20 mg/L. Nilai yang sama diperoleh pada perlakuan LK2 dengan penutupan 50%. Sementara itu, perlakuan LK3 dengan penutupan 75% dan LK4 dengan penutupan 100% masing-masing menghasilkan nilai DO sebesar 4,20 mg/L. Secara numerik, penutupan tanaman sebesar 75% dan 100% menghasilkan kandungan oksigen terlarut yang lebih tinggi dibandingkan penutupan 25% dan 50%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan luas penutupan tanaman sampai tingkat tertentu dapat menciptakan kondisi yang lebih mendukung peningkatan oksigen terlarut dalam limbah cair.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan penutupan kangkung memberikan pengaruh yang sangat nyata

terhadap nilai DO limbah cair peternakan babi ($P<0,01$). Selanjutnya, hasil Uji Beda Nyata Jujur menunjukkan bahwa LK3 dan LK4 memiliki kandungan DO yang lebih tinggi dan berbeda nyata ($P<0,05$) dibandingkan LK1 dan LK2. Perbedaan tersebut mengindikasikan bahwa luas penutupan tanaman memengaruhi proses fisik dan biologis yang menentukan keseimbangan oksigen dalam media limbah. Semakin besar biomassa tanaman, semakin luas pula sistem perakaran yang berinteraksi dengan limbah, sehingga zona perakaran yang mendukung transfer oksigen dan aktivitas mikroorganisme menjadi semakin berkembang.

Peningkatan DO dalam sistem fitoremediasi berkaitan dengan proses fotosintesis tanaman. Pada kondisi cahaya yang memadai, kangkung memanfaatkan karbon dioksida dan air untuk membentuk senyawa organik serta menghasilkan oksigen. Sebagian oksigen tersebut mendukung proses oksigenasi media di sekitar tanaman. Tanaman air juga memiliki jaringan berongga yang dapat membantu pengangkutan gas dari bagian tanaman yang berada di atas permukaan menuju jaringan akar. Thuraidah *et al.* (2016) menyatakan bahwa oksigen dapat dialirkan melalui batang menuju akar setelah berdifusi dari atmosfer melalui pori-pori daun. Pelepasan oksigen di sekitar akar kemudian membentuk zona rhizosfer yang relatif kaya oksigen, sehingga konsentrasi DO di sekitar rambut akar menjadi lebih tinggi.

Zona rhizosfer berperan penting dalam pengolahan bahan organik karena menjadi habitat bagi berbagai mikroorganisme aerob. Akar tanaman menyediakan permukaan untuk melekatnya mikroorganisme, sedangkan eksudat akar menyediakan senyawa organik yang memengaruhi komposisi dan aktivitas komunitas mikroba. Mikroorganisme tersebut membantu menguraikan bahan organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Ketika proses penguraian berlangsung secara efisien dan suplai

oksigen tetap tersedia, beban organik dalam limbah berangsur menurun. Dengan demikian, peningkatan DO berhubungan erat dengan penurunan BOD karena berkurangnya jumlah bahan organik yang membutuhkan oksigen untuk proses biodegradasi (Hapsari *et al.*, 2018; Effendi *et al.*, 2015; Salim, 2021).

Perlakuan dengan penutupan 75% dan 100% memiliki biomassa serta luas perakaran yang lebih besar daripada perlakuan 25% dan 50%. Kondisi tersebut memungkinkan terbentuknya zona rhizosfer yang lebih luas, meningkatkan kontak antara akar dan limbah, serta mendukung proses transfer oksigen dan degradasi bahan organik. Pola ini sejalan dengan beberapa kajian fitoremediasi kangkung air yang menunjukkan bahwa peningkatan biomassa tanaman dan waktu kontak yang memadai cenderung memperbaiki kondisi oksigen terlarut, meskipun tingkat peningkatannya tetap dipengaruhi oleh jenis limbah, intensitas cahaya, suhu, pH, dan karakteristik sistem pengolahan (Ngirfani dan Puspitarini, 2020; HM dan Setiawati, 2023; Hapsari *et al.*, 2020; Yulintin, 2025).

Meskipun demikian, peningkatan DO dalam penelitian ini tidak dapat dikaitkan secara eksklusif dengan aktivitas tanaman karena seluruh unit percobaan juga dilengkapi aerator. Aerasi meningkatkan kontak antara udara dan air, mempercepat difusi oksigen atmosfer ke dalam media limbah, serta mencegah terbentuknya kondisi anaerob. Dengan demikian, nilai DO yang diperoleh merupakan hasil interaksi antara perlakuan penutupan kangkung, aktivitas fotosintesis dan perakaran, proses biologis pada zona rhizosfer, serta pemberian aerasi yang seragam pada seluruh unit percobaan.

Apabila dibandingkan langsung dengan baku mutu air sungai dalam PP No. 22 Tahun 2021, nilai DO sebesar 4,20 mg/L pada LK3 dan LK4 memenuhi batas minimum mutu air kelas II, yaitu 4 mg/L. Sementara itu, nilai 3,20 mg/L pada LK1 dan LK2 memenuhi batas minimum mutu

air kelas III, yaitu 3 mg/L. Dengan mempertimbangkan peningkatan DO, nilai BOD, kestabilan pH, dan suhu secara keseluruhan, penutupan kangkung sebesar 75% dapat dinilai lebih proporsional dibandingkan penutupan penuh. Perlakuan tersebut menghasilkan DO yang sama dengan penutupan 100%, tetapi tetap menyediakan ruang permukaan yang lebih terbuka bagi penetrasi cahaya dan pertukaran gas. Hasil ini memperlihatkan bahwa efektivitas fitoremediasi ditentukan bukan hanya oleh banyaknya tanaman, melainkan oleh keseimbangan antara biomassa, luas perakaran, aerasi, penetrasi cahaya, dan aktivitas mikroorganisme dalam sistem pengolahan limbah cair peternakan babi.

Pengaruh perlakuan terhadap derajat keasaman (pH) limbah cair ternak babi

Derajat keasaman atau pH merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas limbah cair karena memengaruhi berlangsungnya berbagai proses fisik, kimia, dan biologis di dalam media perairan. Nilai pH menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan dan berhubungan erat dengan aktivitas mikroorganisme, kelarutan unsur hara, toksisitas senyawa tertentu, ketersediaan oksigen, serta kemampuan tanaman dalam menyerap dan mengakumulasi polutan. Dalam sistem fitoremediasi, kondisi pH yang stabil diperlukan agar tanaman dan mikroorganisme di daerah perakaran dapat menjalankan fungsi metabolisme secara optimal. Perubahan pH yang terlalu ekstrem dapat menghambat pertumbuhan tanaman, mengurangi aktivitas mikroorganisme pengurai, dan menurunkan efisiensi pengolahan bahan pencemar dalam limbah cair.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai pH limbah cair peternakan babi setelah proses fitoremediasi menggunakan tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) berada pada kisaran 6,60–6,68. Perlakuan LK1 dengan penutupan kangkung sebesar

25% menghasilkan nilai pH rata-rata 6,68. Perlakuan LK2 dengan penutupan 50% menghasilkan pH 6,60, perlakuan LK3 dengan penutupan 75% menghasilkan pH 6,65, sedangkan perlakuan LK4 dengan penutupan 100% menghasilkan pH 6,60. Perbedaan nilai tersebut relatif kecil, yaitu hanya sekitar 0,08 unit pH. Kisaran yang sempit ini menunjukkan bahwa pH limbah cair cenderung stabil pada seluruh tingkat penutupan tanaman yang diuji.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perbedaan tingkat penutupan tanaman kangkung sebesar 25%, 50%, 75%, dan 100% tidak memberikan pengaruh nyata terhadap nilai pH limbah cair peternakan babi ($P>0,05$). Dengan demikian, secara statistik seluruh perlakuan memberikan respons yang relatif sama dalam mempertahankan kestabilan pH. Tidak adanya perbedaan nyata bukan berarti bahwa tanaman kangkung tidak memberikan kontribusi terhadap proses pengolahan limbah, melainkan menunjukkan bahwa dalam kondisi penelitian ini peningkatan luas penutupan tanaman tidak menyebabkan perubahan pH yang cukup besar untuk membedakan satu perlakuan dari perlakuan lainnya. Hal tersebut juga mengindikasikan adanya kapasitas penyangga dalam media limbah yang mampu menahan perubahan konsentrasi ion hidrogen selama proses fitoremediasi berlangsung.

Kestabilan pH dalam proses fitoremediasi dapat dijelaskan melalui interaksi antara penyerapan unsur hara oleh tanaman, aktivitas mikroorganisme, penguraian bahan organik, dan pertukaran ion di daerah perakaran. Akar kangkung menyediakan permukaan kontak yang luas antara jaringan tanaman dan media limbah. Melalui sistem perakarannya, tanaman menyerap berbagai unsur hara dan ion terlarut, seperti amonium, nitrat, fosfat, serta mineral lain yang diperlukan untuk pertumbuhan. Proses penyerapan tersebut dapat memengaruhi keseimbangan ion hidrogen dan hidroksil dalam media, tetapi pengaruhnya bergantung pada jenis dan

jumlah ion yang diserap maupun dilepaskan oleh tanaman. Dalam penelitian ini, keseimbangan proses tersebut diduga menyebabkan pH tetap berada pada kisaran yang relatif seragam.

Akar tanaman juga menghasilkan eksudat berupa senyawa organik yang dapat mendukung perkembangan mikroorganisme di zona rhizosfer. Mikroorganisme tersebut berperan dalam menguraikan bahan organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Selama proses dekomposisi, dapat terbentuk karbon dioksida dan asam organik yang berpotensi menurunkan pH. Sebaliknya, proses mineralisasi, penyerapan ion oleh akar, serta transformasi senyawa nitrogen dapat mengurangi atau menyeimbangkan perubahan keasaman. Interaksi berbagai proses tersebut menghasilkan kondisi pH yang dinamis, tetapi tetap stabil karena perubahan yang terjadi saling mengimbangi. Literatur mengenai fitoremediasi kangkung air juga menunjukkan bahwa tanaman ini dapat membantu mengarahkan pH limbah menuju kondisi netral atau mempertahankannya pada kisaran yang sesuai bagi proses biologis, meskipun arah dan besar perubahannya bergantung pada karakteristik limbah dan rancangan perlakuan (Ahmad dan Adiningsih, 2019; Elvania dan Margianti, 2023; Lestari dan Siregar, 2024).

Nilai pH yang relatif netral turut mendukung aktivitas mikroorganisme aerob di sekitar akar. Mikroorganisme pengurai umumnya membutuhkan kondisi lingkungan yang tidak terlalu asam maupun terlalu basa agar proses degradasi bahan organik berlangsung secara efektif. Pada kisaran pH 6,60–6,68, aktivitas biologis di zona perakaran dapat berlangsung tanpa tekanan keasaman yang berlebihan. Kondisi tersebut juga mendukung fungsi fisiologis kangkung, termasuk penyerapan unsur hara, respirasi akar, dan proses metabolisme tanaman. Sebaliknya, pH yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat

menghambat pertumbuhan tanaman dan mengurangi kemampuan tanaman air dalam menyerap polutan (Alkorta *et al.*, 2004).

Kestabilan pH juga berkaitan dengan perubahan BOD dan DO selama proses fitoremediasi. Penguraian bahan organik oleh mikroorganisme dapat memengaruhi konsentrasi ion dan pembentukan senyawa asam, sedangkan peningkatan oksigen terlarut mendukung berlangsungnya proses dekomposisi secara aerob. Dalam kondisi pengolahan yang seimbang, berkurangnya bahan organik tidak harus diikuti oleh perubahan pH yang besar. Oleh karena itu, tidak adanya perbedaan nyata antarperlakuan dapat dipandang sebagai indikasi bahwa proses penurunan beban organik dan peningkatan oksigen berlangsung tanpa menyebabkan ketidakstabilan kondisi asam-basa limbah.

Seluruh nilai pH hasil penelitian telah memenuhi baku mutu air sungai berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021, yaitu berada dalam rentang pH 6–9. Dengan demikian, perlakuan penutupan kangkung sebesar 25%, 50%, 75%, dan 100% mampu mempertahankan pH limbah cair peternakan babi pada kisaran yang aman. Dari aspek pH, tidak terdapat satu perlakuan yang secara statistik lebih unggul daripada perlakuan lainnya. Namun, apabila dipertimbangkan bersama dengan parameter BOD, DO, dan suhu, penutupan 75% memberikan kondisi yang proporsional karena mampu mempertahankan pH sebesar 6,65 sekaligus mendukung perbaikan parameter kualitas limbah lainnya. Temuan ini menegaskan bahwa efektivitas fitoremediasi tidak selalu ditunjukkan oleh perubahan pH yang besar, tetapi juga oleh kemampuan sistem mempertahankan kondisi kimia air yang stabil selama proses pengurangan bahan pencemar.

Pengaruh perlakuan terhadap suhu limbah cair ternak babi

Suhu merupakan salah satu parameter fisik penting dalam penilaian kualitas limbah cair karena memengaruhi

berbagai proses biologis dan kimiawi yang berlangsung selama fitoremediasi. Perubahan suhu dapat memengaruhi laju metabolisme tanaman, aktivitas mikroorganisme pengurai, proses fotosintesis dan respirasi, kelarutan oksigen, serta kecepatan dekomposisi bahan organik. Dalam pengolahan limbah cair peternakan babi menggunakan kangkung air (*Ipomoea aquatica*), suhu juga dapat digunakan untuk menggambarkan kemampuan tutupan tanaman dalam memodifikasi kondisi iklim mikro pada permukaan air. Kondisi suhu yang relatif stabil dan sesuai diperlukan agar tanaman serta mikroorganisme di daerah perakaran dapat menjalankan fungsi biologisnya secara optimal.

Hasil analisis Laboratorium Balai Standardisasi Manado menunjukkan bahwa suhu limbah cair peternakan babi selama proses fitoremediasi berada pada kisaran 23–25°C. Perlakuan LK1 dengan penutupan kangkung sebesar 25% menghasilkan suhu rata-rata tertinggi, yaitu 25°C. Perlakuan LK2 dengan tingkat penutupan 50% dan LK3 dengan tingkat penutupan 75% masing-masing menghasilkan suhu rata-rata 24°C. Sementara itu, perlakuan LK4 dengan penutupan kangkung sebesar 100% menghasilkan suhu rata-rata terendah, yaitu 23°C. Data tersebut memperlihatkan pola penurunan suhu seiring dengan meningkatnya persentase penutupan permukaan limbah oleh tanaman kangkung air.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan penutupan kangkung memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap suhu limbah cair peternakan babi ($P < 0,01$). Hasil Uji Beda Nyata Jujur memperlihatkan bahwa LK1 dengan suhu 25°C berbeda dari LK2 dan LK3 yang masing-masing memiliki suhu 24°C, sedangkan LK4 menghasilkan suhu paling rendah, yaitu 23°C. Dengan demikian, perbedaan tingkat penutupan permukaan menghasilkan perubahan suhu yang berarti secara statistik. Penutupan 100%

memberikan efek penurunan suhu paling besar, sedangkan penutupan 25% menghasilkan suhu paling tinggi di antara seluruh perlakuan.

Penurunan suhu tersebut terutama diduga berkaitan dengan efek naungan yang dihasilkan oleh tajuk dan daun kangkung pada permukaan limbah. Semakin luas tutupan tanaman, semakin kecil bagian permukaan air yang menerima radiasi matahari secara langsung. Berkurangnya paparan radiasi menyebabkan penyerapan energi panas oleh media limbah menjadi lebih rendah sehingga peningkatan suhu air dapat ditekan. Sebaliknya, pada perlakuan dengan tingkat penutupan 25%, sebagian besar permukaan limbah masih terbuka dan menerima paparan cahaya secara langsung. Kondisi tersebut memungkinkan terjadinya pemanasan yang lebih besar sehingga suhu rata-ratanya lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya.

Selain efek naungan, proses evapotranspirasi tanaman diduga turut berkontribusi terhadap penurunan suhu media. Melalui transpirasi, air dilepaskan dari jaringan tanaman ke atmosfer dalam bentuk uap. Proses ini membutuhkan energi panas sehingga dapat menghasilkan efek pendinginan pada lingkungan di sekitar tajuk dan permukaan air. Sulastris *et al.* (2018) menunjukkan bahwa penanaman tanaman air, termasuk eceng gondok dan kangkung, dapat menurunkan suhu limbah melalui efek bayangan dan evapotranspirasi. Oleh sebab itu, semakin besar luas tutupan tanaman, semakin tinggi pula potensi terbentuknya lingkungan mikro yang lebih teduh dan relatif sejuk.

Meskipun demikian, perubahan suhu tidak hanya ditentukan oleh tingkat penutupan kangkung. Intensitas cahaya matahari, suhu udara di dalam greenhouse, waktu pengukuran, sirkulasi udara, kelembapan, volume limbah, serta kepadatan tanaman juga dapat memengaruhi suhu media. Seluruh unit percobaan ditempatkan dalam greenhouse dan menggunakan aerator sehingga perubahan suhu yang terjadi merupakan

hasil interaksi antara perlakuan penutupan tanaman dan kondisi lingkungan penelitian. Oleh karena itu, hasil suhu antarperlakuan perlu dipahami sebagai respons dalam kondisi eksperimental yang relatif terkendali, bukan sebagai akibat tunggal dari aktivitas fisiologis tanaman.

Suhu juga memiliki hubungan erat dengan kelarutan oksigen dalam air. Secara fisik, peningkatan suhu cenderung menurunkan kemampuan air melarutkan oksigen, sedangkan suhu yang lebih rendah dapat membantu mempertahankan oksigen terlarut. Pola hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan LK3 dan LK4, yang memiliki suhu lebih rendah, juga menghasilkan nilai DO lebih tinggi, yaitu 4,20 mg/L. Sebaliknya, LK1 yang memiliki suhu tertinggi sebesar 25°C menghasilkan DO lebih rendah, yaitu 3,20 mg/L. Hubungan tersebut menunjukkan bahwa efek pendinginan oleh tutupan tanaman berpotensi membantu mempertahankan oksigen terlarut, meskipun nilai DO juga dipengaruhi oleh fotosintesis, respirasi, aktivitas mikroorganisme, beban bahan organik, dan pemberian aerasi (Ngirfani dan Puspitarini, 2020; Hapsari *et al.*, 2018; HM dan Setiawati, 2023; Salim, 2021).

Perubahan suhu selanjutnya berhubungan dengan nilai BOD dan efektivitas fitoremediasi. Suhu memengaruhi aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik. Suhu yang sesuai dapat mendukung aktivitas biologis tanpa meningkatkan konsumsi oksigen secara berlebihan. Namun, tingkat penutupan terbesar tidak secara langsung menghasilkan nilai BOD terendah. LK4 dengan suhu terendah justru memiliki BOD tertinggi sebesar 2,60 mg/L dibandingkan perlakuan lain. Kondisi ini menunjukkan bahwa efektivitas fitoremediasi ditentukan oleh keseimbangan antara suhu, penetrasi cahaya, luas perakaran, pertukaran gas, DO, dan aktivitas mikroorganisme, bukan hanya oleh kemampuan tanaman menurunkan suhu.

Suhu hasil penelitian keseluruhan yaitu 23–25°C, masih sesuai dengan

standar baku mutu air sungai berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021. Meskipun LK4 menghasilkan suhu terendah, perlakuan LK3 dengan penutupan 75% memberikan kondisi yang lebih seimbang karena mampu mempertahankan suhu sebesar 24°C, menghasilkan DO yang tinggi, serta menjaga BOD dan pH pada kisaran yang memenuhi baku mutu. Dengan demikian, penutupan 75% dapat dipandang sebagai tingkat penutupan yang lebih proporsional untuk mendukung proses fitoremediasi limbah cair peternakan babi secara keseluruhan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan untuk semua variabel dapat disimpulkan bahwa tanaman kangkung (*ipomoea aquatica*) dengan penutupan 75% efektif menurunkan nilai BOD (1,75-2,6 mg/L), dapat meningkatkan DO (3,2-4,2 mg/L), serta mampu mempertahankan nilai pH dan Suhu sesuai standar nilai baku mutu air sungai PP No. 22 Tahun 2021.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad H., dan R. Adiningsih. 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), 31–38. <https://doi.org/10.32583/farmasetis.v8i2.599>
- Alkorta I., J. Hernández-Allica, J. M. Becerril, I. Amezaga, I. Albizu, dan C. Garbisu. 2004. Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead, and arsenic. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 3(1), 71–90.
- Effendi H., B.A. Utomo, G. Darmawangsa, dan R.E. Karo-Karo. 2015. Fitoremediasi limbah budidaya ikan lele (*Clarias Sp.*) dengan kangkung (*Ipomoea aquatica*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*) dalam sistem resirkulasi. *Jurnal Ecolab*, 9(2), 80–92. <https://doi.org/10.20886/jklh.2015.9.2.80-92>
- Elvania N. C., dan Y.S. Margianti. 2023. Efektivitas metode fitoremediasi dengan jenis tanaman kangkung air (*Ipomoea Aquatica* Forsk) terhadap pengolahan air limbah industri tahu di Desa Ledok Kulon. *Jurnal Envirotek*, 15(2): 166–170. <https://doi.org/10.33005/envirotek.v15i2.154>
- Fajri D. N., S. Suparmin, dan Z. Budiono. 2019. Pengaruh variasi biomassa tanaman kangkung air (*Ipomoea Aquatica*) dalam menurunkan kadar merkuri (Hg) di limbah cair penambangan emas. *Buletin Keslingmas*, 38(3), 285–296. <https://doi.org/10.31983/keslingmas.v38i3.5398>
- Hapsari B. M., J. Hutabarat, dan D. Harwanto. 2020. Performa kualitas air, pertumbuhan, dan kelulushidupan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) pada sistem akuaponik dengan jenis tanaman yang berbeda. *Sains Akuakultur Tropis Indonesian Journal of Tropical Aquaculture*, 4(1), 78–89. <https://doi.org/10.14710/sat.v4i1.6425>
- HM E. I. R., dan T.C. Setiawati. 2023. Perbaikan beberapa karakteristik limbah cair tahu menggunakan variasi jumlah tanaman kangkung (*Ipomoea Aquatica*) dan tanaman kiambang (*Pistia Stratiotes*). *Berkala Ilmiah Pertanian*, 6(1), 8. <https://doi.org/10.19184/bip.v6i1.36130>
- Lestari W., dan L.P.A. Siregar. 2024. Kemampuan tanaman air sebagai fitoremediator limbah cair pabrik

- pengolahan kelapa sawit. Jurnal Bios Logos, 14(1), 45–54. <https://doi.org/10.35799/jbl.v14i1.52032>
- Manjusha C. M., P. U, Megha, dan P. S. P. Harikumar. 2014. Isolation and characterisation of total Streptococci and faecal Streptococci from Kuppam river basin in South west coast of India. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. Vol. 3: 3. P. 164-175.
- Mistar E. 2022. Efektivitas tanaman kangkung air (*Ipomoea Aquatic* Forsk) sebagai media penyerap merkuri (Hg). Perisai Jurnal Pendidikan Dan Riset Ilmu Sains, (1), 83–89. <https://doi.org/10.32672/perisai.v1i1.65>
- Probosunu N., I.Y. Lelena, dan S. Sudarmaj. 2003. Kajian perubahan kualitas air sungai Buntung akibat pembuangan limbah peternakan babi di desa Banyuraden Gamping Sieman. Jurnal Perikanan Universitas Hdjah Mada, 5 (1), 8-15.
- Riyanto A. 2013. Pengolahan Limbah Cair Secara Biologis. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sains F., I.R.C. Tarumingkeng, I.Z. Coto, dan I. Hardjanto. 2004. Pengembangan diverifikasi pangan pokok dalam rangka mendukung ketahanan pangan nasional
- Sulastris T., K.G. Wiryawan, dan T. Susilawati. 2018. Pengaruh penanaman tanaman air terhadap penurunan suhu dan pencemar pada limbah cair domestik. Jurnal Ilmu Lingkungan, 16 (1): 19–26.
- Thuraidah A., E.I. Puspita, N. Oktiyanis. 2016. Pengaruh genjer (*Limnocharis flava*) terhadap penurunan *biological oxygen demand* (BOD) limbah industri karet. Jurusan Analis Kesehatan Potekes Kemenkes Banjarmasin.