

Efisiensi Tiga Varietas Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk) sebagai Agen Fitoremediasi terhadap Limbah Cair Tempe

Rahel Rosana Pramudiva¹, Rully Rahadian^{2*}, dan Pertiwi Andarani³

¹Magister Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

²Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Matematika; Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia; email: rully.rahadian@live.undip.ac.id

³Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik; Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

ABSTRAK

Industri tempe di Desa Pliken wilayah Banyumas masih terkendala dalam pengelolaan limbah cair. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi kemampuan fitoremediasi tiga varietas kangkung air meliputi kangkung merah, kangkung batang putih, dan kangkung cabut casandra yang ditinjau dari aspek kualitas air dan morfologi tanaman. Pengujian limbah cair tempe menggunakan parameter fisika dan kimia (BOD, COD, TSS, pH, nitrat, nitrit, fosfat) serta pengukuran parameter biologi terhadap panjang akar, jumlah daun, dan tinggi tanaman. Berat basah akar ditimbang secara langsung, sedangkan berat kering akar ditimbang setelah dioven pada suhu 60 °C selama 3x24 jam. Kangkung batang putih paling efisien menurunkan parameter BOD dan COD sebesar 20% dan 23,8% dibandingkan varietas lainnya. Parameter BOD, COD, dan TSS memiliki hasil yang tidak memenuhi baku mutu Permen LH RI Nomor 5 Tahun 2014. Nilai pH masih berada dalam ambang batas. Respon tanaman kangkung air terhadap limbah cair tempe mengalami perbedaan signifikan terhadap panjang akar ($p = 0,042$) dan jumlah daun ($p = 0,028$) dibandingkan tinggi tanaman ($p = 0,225$) selama proses fitoremediasi. Kangkung batang putih menyerap limbah tertinggi dengan berat basah akar 0,98 gram, sementara kangkung merah menyerap unsur hara terbanyak dengan berat kering 0,12 gram. Pre-treatment filtrasi dan adsorpsi diperlukan untuk meningkatkan efisiensi penurunan parameter fisika kimia.

Kata kunci: Limbah cair tempe, Fitoremediasi, Varietas kangkung air, Kualitas air, Morfologi tanaman

ABSTRACT

The tempeh industry in Pliken Village, Banyumas Regency still faces challenges in managing liquid waste. This study aims to analyze the phytoremediation efficiency of three varieties of water spinach (red water spinach, white-stemmed water spinach, and cassandra water spinach) as assessed in terms of water quality and plant morphology. Tempe wastewater was tested using physical and chemical parameters (BOD, COD, TSS, pH, nitrate, nitrite, phosphate) as well as biological parameters such as root length, number of leaves, and plant height. The fresh weight of the roots was measured directly, while the dry weight was determined after drying the roots in an oven at 60 °C for 3 x 24 hours. White-stemmed water spinach was the most effective at reducing BOD and COD levels by 20% and 23,8% respectively compared to other varieties. The BOD, COD, and TSS levels did not meet the quality standards set forth in Indonesian Ministry of Environment Regulation No. 5 of 2014. The pH value remained within the acceptable range. The response of water spinach to tempeh wastewater showed significant differences in root length ($p = 0,042$) and number of leaves ($p = 0,028$) compared to plant height ($p = 0,225$) during the phytoremediation process. White-stemmed water spinach absorbed the highest amount of wastewater with a wet root weight of 0,98 grams, while red water spinach absorbed the most nutrients with a dry weight of 0,12 grams. Pre-treatment involving filtration and adsorption is necessary to improve the efficiency of reducing physicochemical parameters.

Keywords: Tempeh wastewater, Phytoremediation, Water spinach varieties, Water quality, Plant morphology

Citation: Pramudiva, R. R., Rahadian, R., dan Andarani, P. (2026). Efisiensi Tiga Varietas Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk) sebagai Agen Fitoremediasi terhadap Limbah Cair Tempe. Jurnal Ilmu Lingkungan, 24(3), 578-589, doi:10.14710/jil.24.3.578-589

1. PENDAHULUAN

Peningkatan industri pangan yang semakin pesat hingga saat ini menyebabkan terjadinya kompetisi diantara produsen pangan untuk dapat memenuhi permintaan konsumen. Industri tempe dapat menjadi salah satu contoh industri pangan yang mengalami

peningkatan permintaan konsumen karena nilai kandungan gizi yang tinggi dan banyak digemari oleh seluruh lapisan masyarakat. Menurut Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian (2022) menyatakan bahwa olahan pangan kedelai tempe menjadi konsumsi paling besar dibandingkan produk tahu dan

kecap pada tahun 2015-2023. Konsumsi tempe, tahu, dan kecap pada tahun 2023 secara berurutan adalah sebesar 3,64 kg/kapita/tahun, 2,78 kg/kapita/tahun, dan 0,77 kg/kapita/tahun.

Semakin banyaknya industri tempe yang didirikan dapat memberikan dampak positif dan negatif. Dampak positif yang dapat dihasilkan adalah kebutuhan masyarakat akan sumber pangan akan terpenuhi. Namun, tingginya aktivitas industri tersebut juga dapat berdampak buruk terhadap limbah buangan yang dihasilkan sehingga dapat mencemari lingkungan apabila langsung dibuang ke sungai karena dapat mempengaruhi kualitas air.

Limbah hasil produksi tempe dapat berupa limbah semi padatan dan limbah cair. Nilai ekonomis yang diperoleh dari limbah semi padatan yaitu dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak dan diolah menjadi tempe gembus. Sedangkan, limbah cair yang diperoleh dari proses perebusan, perendaman, dan pencucian kedelai seringkali dibuang langsung ke saluran pembuangan karena tidak memiliki nilai ekonomis (Sayow dkk., 2020). Pembuangan langsung limbah cair tempe ke sungai akan memberikan pengaruh terhadap penurunan daya dukung lingkungan. Kandungan bahan organik yang melebihi baku mutu akan menyebabkan eutrofikasi atau tingginya kadar nutrisi pada perairan sungai yang terjadi melalui proses dekomposisi senyawa organik menjadi senyawa anorganik oleh organisme dekomposer. Kondisi subur yang berlebihan tersebut akan menimbulkan tingginya ledakan populasi tumbuhan pada perairan sungai sehingga dapat mengganggu sistem ekologi terutama kehidupan biota perairan (Hasibuan dkk., 2021).

Tingginya daya beli masyarakat terhadap produk tempe berbanding terbalik terhadap industri tempe yang pada umumnya masih berskala kecil dan menengah serta metode yang digunakan masih dilakukan secara tradisional (Pakpahan dkk., 2021). Selain itu, industri tempe dengan skala tersebut masih banyak yang belum melakukan pengolahan limbahnya sebelum dibuang ke lingkungan. Menurut penelitian Nurutami dan Soediro (2023) pengrajin tempe khususnya di Desa Pliken Kecamatan Kembaran Kabupaten Banyumas sebagai penghasil tempe mendoan terbesar yang menjadi makanan khas Banyumas tersebut tidak melakukan pengolahan terlebih dahulu terhadap limbah cair tempe yang dihasilkan sehingga membuangnya secara langsung ke aliran sungai. Hal ini akan merugikan masyarakat sekitar dalam jangka panjang yang tinggal bersebelahan dengan industri tempe.

Fitoremediasi dapat dijadikan langkah dalam mencegah pencemaran lingkungan sebagai akibat buangan limbah cair industri tempe karena memiliki harga yang terjangkau, mudah dilakukan, efisiensi yang tinggi, serta dapat memberikan keuntungan ekologis (As'ari dkk., 2022). Tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) juga dapat dijadikan sebagai tanaman fitoremediasi yang memiliki peran dalam

pengatur kualitas air serta menyerap zat pencemar organik dan anorganik termasuk logam berat dalam air tercemar (Fitria, 2015). Selain itu, tanaman kangkung air mudah dibudidayakan dan dapat tumbuh dengan cepat sehingga ide penelitian ini direalisasikan. Menurut penelitian Novita dkk., (2019) tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) memiliki efisiensi penurunan kadar TSS (*Total Suspended Solid*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), dan BOD (*Biological Oxygen Demand*) terhadap limbah cair industri tempe secara berurutan adalah sebesar 62,03%, 53,77%, dan 74,50%.

Mata pencaharian warga di Desa Pliken sebagian besar sebagai pengrajin tempe sehingga intensitas pembuangan limbah cair tempe secara langsung ke lingkungan menjadi sering dan dapat menjadi masalah krusial bagi lingkungan ketika dilakukan secara terus – menerus. Pemilihan varietas kangkung merah, kangkung batang putih, dan kangkung cabut casandra dalam penelitian ini didasarkan karena kemudahan aksesibilitasnya pada ekosistem perairan dan pasar pertanian Indonesia sekaligus mengisi kesenjangan penelitian. Selain itu, kajian komparatif mengenai kemampuan fitoremediasi antar varietas kangkung air dalam penelitian terhadap limbah cair tempe tidak ditemukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi kemampuan fitoremediasi tiga varietas kangkung air meliputi kangkung merah, kangkung batang putih, dan kangkung cabut casandra yang ditinjau dari aspek kualitas air dan morfologi tanaman.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama 3 bulan yaitu pada Bulan September – November 2024. Pengambilan sampel dilakukan di Pabrik Tempe Desa Pliken, Kecamatan Knebaran, Kabupaten Banyumas. Sedangkan analisis parameter air limbah tempe dan parameter morfologi tanaman dari tiga varietas kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dilakukan di UPTD Laboratorium Kesehatan Kabupaten Purbalingga serta Laboratorium Ekologi dan Biosistemik Departemen Biologi UNDIP.

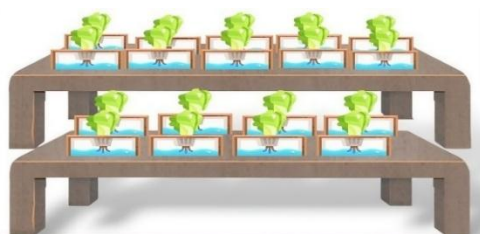
2.2. Pengambilan Data

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode penelitian kuantitatif melalui pengujian kualitas limbah cair tempe pada pabrik tempe *home industry* di Desa Pliken meliputi parameter fisika dan kimia. Teknik yang digunakan dalam penelitian ini secara umum adalah *purpose sampling*. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan perlakuan media kontrol dan limbah cair tempe untuk masing – masing varietas kangkung merah, kangkung batang putih, dan kangkung cabut casandra dengan bobot yang seragam yaitu sebesar 300 gram untuk setiap unit akuarium. Setiap perlakuan diulang sebanyak 3 kali sehingga total memiliki 18 unit percobaan. Pengambilan sampel

limbah cair tempe dilakukan dengan teknik komposit. Data sampel air sebelum dan sesudah perlakuan fitoremediasi meliputi parameter fisika dan kimia yang diperoleh seperti BOD, COD, TSS, dan pH kemudian dibandingkan dengan baku mutu air limbah dalam lampiran XVII Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pengolahan Kedelai. Sedangkan, data lain yang diperoleh seperti nitrat, nitrit, dan fosfat akan dibandingkan dengan baku mutu air sungai menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021.

Data pengukuran parameter biologi terhadap ketiga varietas tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) seperti kangkung merah, kangkung batang putih, dan kangkung cabut casandra dianalisis untuk dilihat perbedaan pertumbuhan pada sebelum dan sesudah perlakuan fitoremediasi.

Pengukuran parameter biologi meliputi panjang akar diukur dari pangkal akar sampai ujung akar setiap seminggu sekali. Tinggi tanaman diukur dari pangkal batang hingga ujung daun tertinggi yang dilakukan setiap seminggu sekali. Penghitungan jumlah daun dihitung pada daun yang masih hijau setiap seminggu sekali. Pada berat basah akar dilakukan penimbangan ketika akar tanaman dalam keadaan segar dan dipisahkan dari tanaman bagian atas dengan akarnya. Sedangkan, berat kering akar dilakukan penimbangan dengan alat timbangan analitik ketika akar sudah melalui proses pengovenan selama 3 x 24 jam dengan suhu 60 °C. Parameter yang digunakan untuk kualitas limbah cair tempe dipilih karena dapat mewakili karakteristik utama bahan pencemar yaitu bahan organik dan padatan tersuspensi. Sedangkan, parameter biologi yang digunakan dipilih untuk menggambarkan respons pertumbuhan, tingkat adaptasi, kemampuan penyerapan air serta akumulasi polutan organik oleh ketiga varietas kangkung air selama proses fitoremediasi.



Gambar 1. Desain Simulasi Reaktor Fitoremediasi Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) pada Penelitian Utama



Gambar 2. Reaktor Uji Fitoremediasi Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*)

2.3. Analisis Kualitas Limbah Cair Tempe

Perhitungan nilai efisiensi dilakukan untuk menganalisis penurunan kandungan polutan yang terdapat pada limbah cair industri tempe. Parameter yang dihitung nilai efisiensi yaitu BOD, COD, TSS, nitrat, nitrit, dan fosfat dengan menggunakan persamaan berikut (Novita dkk., 2019):

$$Eff(\%) = \frac{Nilai\ awal - Nilai\ akhir}{Nilai\ awal} \times 100\%$$

Keterangan:

Eff (%) = Efisiensi

Nilai awal = Nilai parameter sebelum perlakuan

Nilai akhir = Nilai parameter setelah perlakuan

2.4. Analisis Statistik

Penelitian dilakukan selama 21 hari dan pengamatan morfologi pada ketiga varietas tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) akan dianalisis secara statistik pada parameter panjang akar, jumlah daun, dan tinggi tanaman. Analisis statistik yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis variasi (ANOVA) *single factor* atau *One way ANOVA* pada SPSS Statistik versi 23. Angka signifikansi yang digunakan adalah 0,05. Analisis ini digunakan untuk melihat perbedaan signifikan pada rata-rata pertumbuhan panjang akar, jumlah daun, dan tinggi tanaman pada setiap varietas kangkung air meliputi kangkung merah, kangkung batang putih, dan kangkung cabut casandra. Validitas data pengukuran BOD, COD, TSS, pH, nitrat, nitrit, dan fosfat melalui kalibrasi instrumen laboratorium dan sesuai dengan standar baku analisis air. Sementara itu, reabilitas hasil penelitian dilakukan melalui teknik replikasi sebanyak 3 kali ulangan pada setiap unit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kualitas Limbah Cair Tempe

Hasil pengukuran kualitas air pada media limbah cair tempe dianalisis dengan metode *One-way ANOVA* yang dapat dilihat pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan bahwa menurut Peraturan Menteri Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 pada parameter TSS untuk setiap varietas tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) belum memenuhi baku mutu lingkungan. Nilai pada parameter BOD dan COD yang memenuhi baku mutu hanya varietas kangkung merah pada sebelum perlakuan fitoremediasi.

Namun, nilai pH yang dihasilkan setelah perlakuan fitoremediasi pada setiap varietas memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 pada parameter nitrit dan fosfat memiliki nilai yang melampaui baku mutu. Sedangkan, pada parameter nitrat diketahui memiliki nilai yang masih memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan.

3.2. Efisiensi Varietas Kangkung Air Terhadap Limbah Cair Tempe

Berikut merupakan nilai efisiensi penurunan BOD, COD, TSS, nitrat, nitrit, dan fosfat pada limbah cair tempe setelah diberi perlakuan dengan tanaman kangkung air selama 21 hari.

Tabel 2. Efisiensi Penurunan Parameter Fisika dan Kimia Tiap Varietas Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*)

Parameter	Kangkung Merah	Kangkung Batang Putih	Kangkung Cabut Casandra
BOD	-168,9%	20%	14,1%
COD	-68%	23,8%	17,4%
TSS	-159,6%	-134,7%	-85%
Nitrat	-110,4%	-18,6%	-26,4%
Nitrit	-57,5%	-8,6%	-11,2%
Fosfat	-39,4%	-0,6%	-8,9%

Sumber data diolah dari hasil penelitian

3.2.1. TSS (Total Suspended Solid)

Hasil dari nilai TSS pada setiap varietas setelah dilakukan fitoremediasi tidak mengalami penurunan bahkan terjadi kenaikan pada varietas kangkung merah, kangkung batang putih, dan kangkung cabut casandra secara berurutan sebesar 570 mg/L: 500 mg/L; dan 324 mg/L. Hal

ini ditunjukkan melalui Tabel 2 bahwa nilai minus pada perolehan hasil persentase efisiensi penurunan nilai TSS yang artinya bahwa setiap hari kadar TSS semakin mengalami kenaikan. Menurut penelitian Kholif dkk., (2021) peningkatan nilai TSS dapat disebabkan oleh tanaman kangkung air yang sudah berada pada kondisi jenuh karena waktu penelitian yang digunakan relatif lama sehingga mengakibatkan proses penyerapan polutan dalam media berupa limbah cair tempe tidak bekerja secara maksimal. Peningkatan nilai TSS dapat dipengaruhi dari pembusukan akar dikarenakan ketika awal kontak akan berinteraksi secara langsung pada akar dibandingkan dengan bagian tubuh tanaman lainnya. Kontak yang terjadi dalam waktu yang lama dapat menimbulkan kerontokan sehingga proses penyerapan unsur hara dalam limbah cair tempe dan fotosintesis akan terhambat (Zahra, 2022).

3.2.2. BOD (Biological Oxygen Demand)

Nilai BOD pada varietas kangkung merah setelah dilakukan proses fitoremediasi tidak mengalami penurunan bahkan kenaikan sebesar 235,67 mg/L. Peningkatan nilai BOD dapat disebabkan oleh adanya pembusukan akar tanaman sehingga menyebabkan tambahan bahan organik yang masuk ke dalam media. Selain itu menurut penelitian Pratiwi dkk., (2019)

menyebutkan bahwa selama proses fitoremediasi juga terjadi rhizofiltrasi yakni adanya pemanfaatan kemampuan akar tanaman dalam menyerap, mengendapkan, serta melakukan akumulasi polutan sehingga terjadi kejenuhan pada tanaman kangkung merah sebagai adsorben alami yang mengakibatkan semakin meningkatnya nilai BOD. Sedangkan, nilai BOD pada varietas kangkung batang putih dan kangkung cabut casandra setelah dilakukan fitoremediasi mengalami penurunan dengan nilai efisiensi secara berurutan sebesar 20% dan 14,1%.

Penurunan ini disebabkan oleh adanya mekanisme rhizofiltrasi ketika awal kontak akar tanaman dengan limbah cair tempe dan dilanjutkan dengan penyerapan zat organik ke dalam batang melalui pembuluh pengangkut. Kemudian, terjadi fitodegradasi dan fitovolatilasi yakni penyerapan polutan yang dilakukan oleh tanaman akan dilepaskan ke atmosfer dalam bentuk uap air (Najwa dkk., 2023). Tetapi, penurunan yang terjadi pada varietas kangkung batang putih dan kangkung cabut casandra tidak bekerja secara optimal karena nilai BOD tidak memenuhi baku mutu yaitu sebesar 150 mg/L. Menurut penelitian Munthe dkk., (2021) hal ini dikarenakan oleh kurangnya jumlah tanaman kangkung air digunakan sehingga kurang efektif dalam menurunkan kadar BOD. Hal ini dipengaruhi pula dengan adanya tanaman yang menutupi permukaan air limbah sehingga besar sedikitnya nilai BOD yang terserap berkaitan dengan sulitnya sinar matahari yang masuk dan dapat menghambat proses fotosintesis.

Tingginya nilai akhir BOD dan COD dalam penelitian ini berbeda dengan nilai akhir BOD dan COD dalam penelitian sebelumnya oleh Novita dkk., (2019) yang mampu menurunkan kadar BOD dan COD secara berurutan yaitu sebesar 74,50% dan 53,77% menggunakan kangkung air. Hal ini disebabkan oleh kondisi awal konsentrasi limbah cair tempe di Desa Pliken yang bersifat sangat pekat bahkan mencapai 520 mg/L pada nilai COD dan 450,54 mg/L pada nilai BOD. Menurut penelitian oleh Suta dkk., (2023) mempertegas bahwa pengolahan limbah cair menggunakan metode fitoremediasi kangkung air tanpa adanya kombinasi sistem *pre-treatment* fisik (filtrasi) maka memberikan hasil penyisihan zat organik yang tidak optimal dan ketika diberi perlakuan kombinasi media filtrasi maka terjadi peningkatan efisiensi penurunan BOD dan COD yaitu 87% dan 91%.

Tabel 1. Kualitas Air Limbah Tempe Sebelum dan Setelah Perlakuan

Parameter	Kangkung Merah		Kangkung Batang Putih		Kangkung Cabut Casandra		Permen. L.H. RI Nomor 5 Tahun 2014	PP Nomor 22 Tahun 2021
	Sebelum	Setelah	Sebelum	Setelah	Sebelum	Setelah		
TSS (mg/L)	357	927	371	871	381	705	100	-
BOD (mg/L)	139,49	375,16	450,54	360	320,54	275,19	150	-
COD (mg/L)	241	405	520	396	436	360	300	-
pH	2,41	8,83	2,36	8,98	2,37	8,34	6-9	-
Nitrat (mg/L)	1,24	2,61	1,72	2,04	1,36	1,72	-	10 – 20
Nitrit (mg/L)	0,641	1,012	0,912	0,991	0,821	0,913	-	0,06
Fosfat (mg/L)	1,09	1,52	1,48	1,49	1,23	1,34	-	0,2 – 1

Sumber data diolah dari hasil uji Laboratorium Kesehatan Kabupaten Purbalingga

Nilai efisiensi penurunan BOD dan COD oleh ketiga varietas kangkung air yang digunakan dalam penelitian ini masih tergolong rendah disebabkan oleh faktor konsentrasi limbah cair tempe yang terlalu tinggi dan waktu fitoremediasi yang relatif lama sehingga tanaman berada dalam kondisi jenuh dan mengakibatkan proses penyerapan polutan dalam media limbah cair tempe tidak bekerja secara maksimal (Kholif dkk, 2021).

3.2.3. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Varietas tanaman kangkung air yaitu kangkung batang putih dan kangkung cabut casandra memiliki kemampuan dalam menurunkan kadar COD dengan nilai efisiensi sebesar 23,8% dan 17,4%. Penurunan nilai COD dapat dikarenakan oleh kemampuan penyerapan tanaman dalam mereduksi unsur hara dan bahan organik yang terdapat pada limbah cair tempe. Selain itu, adanya peningkatan penyisihan bahan organik yang berasal dari pemanfaatan oksigen terlarut dalam limbah cair tempe sehingga digunakan oleh mikroorganisme serta nutrisi yang terkandung dalam media dapat dikonsumsi oleh mikroorganisme yang menyebabkan penurunan nilai COD (Tanjung et al., 2019).

Kemampuan penyerapan polutan organik pada varietas kangkung batang putih sehingga memiliki nilai efisiensi tertinggi dalam penurunan BOD dan COD karena pertumbuhan vegetatif yang lebih baik jika dibandingkan dengan varietas kangkung merah dan kangkung cabut casandra. Hal ini dapat ditunjukkan melalui jumlah daun paling banyak dan biomassa akar yang paling tinggi sehingga dapat diartikan bahwa kangkung batang putih masih mampu menyerap polutan dari limbah cair tempe sebagai sumber nutrisi untuk proses metabolisme (Aziz et al., 2020). Keadaan tersebut mendorong aktivitas fotosintesis berlangsung lebih optimal sehingga energi yang dihasilkan untuk penyerapan transportasi dan akumulasi senyawa pencemar dapat berjalan lebih efektif dibanding varietas lain. Kangkung batang putih yang memiliki perkembangan akar dan tajuk yang baik cenderung memiliki kapasitas penyerapan polutan organik yang lebih tinggi dibanding varietas kangkung merah dan kangkung cabut casandra (Sundaralingam & Gnanavelrajah, 2014).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Nizam et al., (2020) memperkuat argumen sebelumnya yaitu pada varietas kangkung batang putih memiliki nilai berat basah akar paling tinggi dibanding varietas kangkung merah dan kangkung cabut casandra sehingga mengindikasikan kapasitas penyerapan limbah cair tempe dan polutan organik yang lebih besar. Hal ini mengakibatkan semakin luas permukaan akar yang kontak dengan air limbah maka

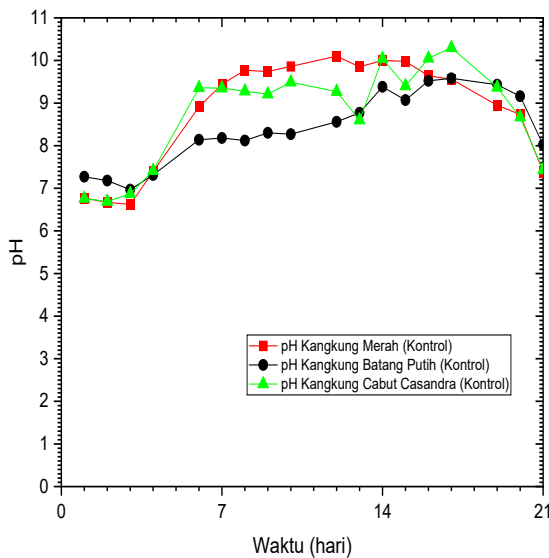
semakin tinggi pula kemampuan penyerapan polutan organik dan berpengaruh besar terhadap penurunan nilai BOD dan COD. Argumen ini diperkuat pula pada varietas kangkung batang putih memiliki biomassa akar yang tinggi, sistem perakaran yang baik, serta dapat tumbuh dengan cepat sehingga dapat dianggap sebagai agen fitoremediasi yang ideal (Ali et al., 2013; Clemens et al., 2002).

Pada varietas kangkung merah tidak mampu dalam menurunkan nilai COD, hal ini dapat ditunjukkan melalui Tabel 2 nilai minus pada persentase efisiensi penurunan COD dengan kenaikan sebesar 164 mg/L. Peningkatan nilai COD menunjukkan bahwa semakin banyak polutan yang terserap maka akan semakin banyak pula polutan yang terakumulasi pada jaringan tanaman kangkung merah. Hal ini sejalan dengan penelitian Maryana dkk., (2020) yang menyatakan bahwa tingkat kejenuhan pada setiap tanaman dapat mempengaruhi penyerapan polutan sehingga penurunan nilai COD tidak dapat bekerja secara optimal. Pengaruh banyaknya bagian tubuh tanaman meliputi akar, batang maupun daun yang membusuk dan terendam dalam air limbah tempe dapat mengakibatkan jumlah bahan organik semakin bertambah sehingga mempengaruhi peningkatan nilai COD (Munthe dkk., 2021).

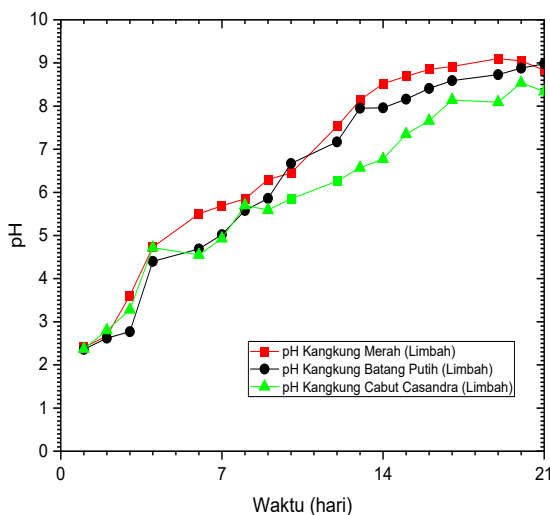
3.2.4. pH (*Derajat Keasaman*)

Kangkung merah menjadi varietas kangkung air yang paling cepat menaikkan nilai pH pada minggu 1 yakni sebesar 5,69 yang dilanjutkan dengan varietas kangkung batang putih serta kangkung cabut casandra secara berurutan sebesar 5,02 dan 4,93. Peningkatan nilai pH tertinggi pada minggu kedua yakni terjadi pada varietas kangkung merah sebesar 8,52 yang dilanjutkan dengan varietas kangkung batang putih serta kangkung cabut casandra secara berurutan sebesar 7,96 dan 6,77.

Proses fotosintesis dapat menjadi penyebab meningkatnya nilai pH dikarenakan oksigen terlarut sebagai hasil dari fotosintesis tanaman mengalami peningkatan. Oksigen terlarut digunakan bagi mikroorganisme yang berada dalam limbah cair tempe untuk melakukan respirasi dan menghasilkan CO₂. Peningkatan pH yang terjadi dapat disebabkan oleh adanya penyerapan karbondioksida dalam jumlah besar terhadap media limbah cair tempe yang kaya akan nutrisi yaitu bahan organik pada siang hari yang digunakan untuk proses fotosintesis sehingga menyebabkan peningkatan konsentrasi oksigen. Sedangkan, penurunan nilai pH disebabkan oleh adanya pengeluaran karbondioksida sebagai hasil dari respirasi tanaman pada malam hari (Waite, 2012).



Gambar 3. Nilai pH pada Media Limbah Cair Tempe Setiap Varietas Kangkung Air Selama 21 Hari



Gambar 4. Nilai pH pada Media Kontrol Setiap Varietas Kangkung Air Selama 21 Hari

Pada minggu ketiga terjadi perubahan pH yang fluktuatif pada varietas kangkung merah dan kangkung cabut casandra yang mana terjadi penurunan kemudian kenaikan kembali. Penurunan nilai pH disebabkan oleh adanya bagian tanaman yang rontok dan mengalami pembusukan sehingga terjadi kenaikan ion H^+ sehingga cenderung mengalami sifat asam (Widowati, 2000). Namun, pada minggu ketiga untuk setiap varietas kangkung air dapat memenuhi persyaratan baku mutu yang mana nilai pH masih berada dalam rentang 6-9.

3.2.5. Nitrat dan Nitrit

Berdasarkan hasil yang diperoleh kadar nitrat masih dapat memenuhi baku mutu. Sedangkan, kadar nitrit menunjukkan bahwa masih ditemukan melampaui nilai yang telah ditetapkan. Tingginya kadar nitrit dapat disebabkan oleh adanya aktivitas yang tinggi dari bakteri pengurai akibat buangan limbah cair tempe. Menurut penelitian yang dilakukan

oleh Mutiah dkk., (2022) menunjukkan bahwa proses nitrifikasi yang terjadi oleh bakteri nitrosomonas yang memungkinkan terjadinya transformasi nitrogen ke bentuk nitrit sehingga kadar nitrit menjadi tinggi. Selain itu, hal ini juga diperkuat oleh penelitian Lestari dkk., (2020) bahwa kadar nitrit yang tinggi berasal dari dekomposisi bahan-bahan organik yang terkandung dalam media limbah cair tempe oleh bakteri pengurai.

Namun, kadar nitrit yang tinggi dapat memberikan pengaruh terhadap kesehatan tubuh manusia apabila air sungai yang terdampak dikonsumsi oleh manusia. Kadar nitrit yang ditunjukkan melalui hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai yang dimiliki tidak lebih besar dari kadar nitrat. Hal ini disebabkan oleh sifat nitrit yang tidak stabil dengan keberadaan oksigen sehingga kadar nitrit dengan jumlah yang relatif kecil akan segera dioksidasi dan diubah menjadi nitrat (Jusuf dkk., 2023).

3.2.6. Fosfat

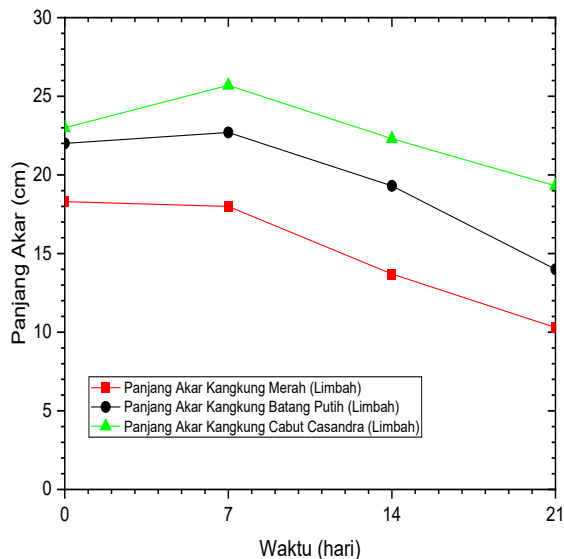
Berdasarkan hasil yang diperoleh kadar fosfat masih ditemukan melampaui nilai yang telah ditetapkan. Pengkayaan nutrisi yang terjadi pada reaktor yang berisi media limbah cair tempe dapat dilihat dari kadar fosfat yang tinggi. Tingginya kadar fosfat dapat disebabkan oleh adanya kerontokan pada tubuh tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dan mengalami pembusukan sehingga terjadi penguraian menjadi zat hara oleh bakteri pengurai (Arnando dkk., 2022). Selain itu, hasil penelitian menunjukan bahwa kadar fosfat yang tinggi dipengaruhi oleh tingginya nilai pH. Hal ini diperkuat oleh penelitian yang dilakukan Inayati dkk., (2020) yang menyatakan bahwa semakin nilai pH mendekati basa maka akan mempengaruhi kadar fosfat sehingga cenderung tinggi konsentrasinya. Selain itu, pada reaktor limbah cair tempe dijumpai dalam keadaan keruh dan berbau yang dapat disebabkan karena kadar fosfat yang tinggi sehingga memicu air menjadi keruh dan berbau sebagai akibat dari pembusukan lumut yang mati (Munthe dkk., 2021).

Selain itu, fosfat merupakan nutrisi makro penting untuk tanaman. Namun, secara umum bentuk asli fosfat tidak dapat langsung digunakan oleh tanaman karena harus diubah dulu menjadi bentuk yang dapat diserap oleh akar tanaman yaitu berupa fosfat anorganik terlarut. Kenaikan kadar fosfat yang terjadi pada kangkung batang putih, kangkung merah, dan kangkung cabut casandra bahkan setelah dilakukan proses fitoremediasi dapat berkaitan juga dengan bioavailabilitas fosfor. Terhambatnya penyerapan fosfat kedalam tubuh tanaman kangkung air dapat disebabkan oleh adanya faktor pH yang cenderung basa hingga akhir penelitian. Nilai pH yang basa dapat menghambat tanaman dalam penyerapan unsur hara secara optimal (Mattson & Lieth, 2019). Hal ini diperkuat dengan penelitian oleh Zulfarosda & Purnamasari (2022) yang menunjukkan bahwa pH yang optimal dalam penyerapan fosfat secara optimal

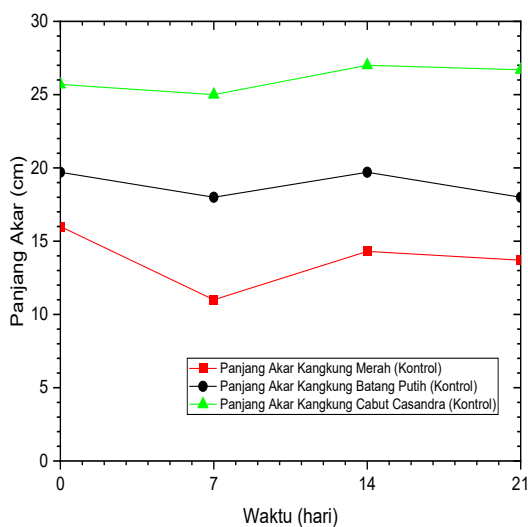
yakni pada rentang pH sebesar 6,8 -7,1 untuk semua jenis air.

3.3. Pengaruh Varietas Kangkung Air Terhadap Morfologi Tanaman

3.3.1. Panjang Akar



Gambar 5. Panjang Akar Tiap Varietas pada Media Limbah Cair Tempe Selama 21 Hari



Gambar 6. Panjang Akar Tiap Varietas pada Media Kontrol Selama 21 Hari

Berdasarkan hasil uji ANOVA *one-way* menunjukkan bahwa nilai sig sebesar 0,042 yaitu $< 0,05$ yang artinya pada parameter morfologi panjang akar memiliki nilai rata – rata yang berbeda untuk setiap varietasnya pada media limbah cair tempe. Perbedaan panjang akar pada varietas kangkung merah, kangkung batang putih, dan kangkung cabut casandra dipengaruhi oleh sifat genetika yang mana dapat lebih mengendalikan sistem perakaran pada tanaman tersebut.

Penyebab kangkung merah diperoleh nilai rata – rata panjang akar terpendek pada media limbah cair

dapat disebabkan oleh akar yang pendek dan padat yang dimiliki sehingga penyerapan nutrisi dari media limbah cair tempe tidak bekerja secara maksimal (Palupi dkk., 2020). Morfologi akar kangkung cabut casandra yang panjang mempengaruhi kemampuan akar dalam menyerap air lebih banyak daripada kangkung merah (Hasanah dkk., 2020). Hal ini dapat terjadi karena akar kangkung cabut casandra membentuk jaringan aerenkim ketika merespon dalam kondisi kelebihan air sehingga perkembangan aerenkim dapat memicu tanaman untuk bertahan dalam kondisi kritis pada media limbah cair tempe (Ningsih dkk., 2016).

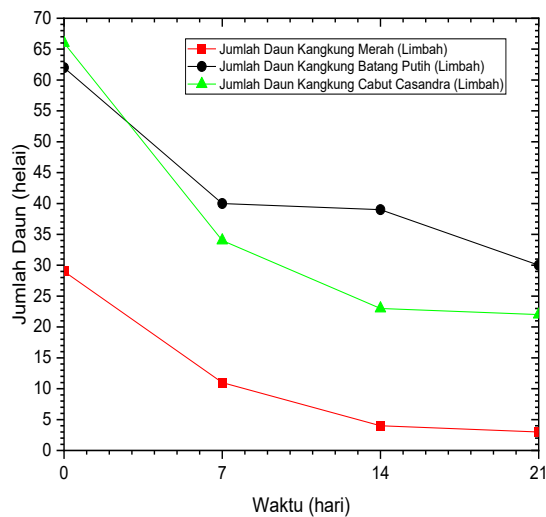
Selain itu, pengaruh daya adaptasi untuk setiap varietas dalam mendukung produktivitas tanaman berbeda – beda (Saputra dkk., 2024). Berdasarkan hasil penelitian diperoleh varietas kangkung cabut casandra memiliki tingkat adaptasi paling tinggi dibandingkan varietas lainnya sehingga dapat beradaptasi dengan cepat serta memiliki akar yang paling panjang dari minggu ke-0 hingga minggu ke-3. Sedangkan, varietas kangkung merah memiliki tingkat adaptasi paling rendah dibanding varietas lain sehingga panjang akar paling pendek dari minggu ke-0 hingga minggu ke-3.

3.3.2. Jumlah Daun

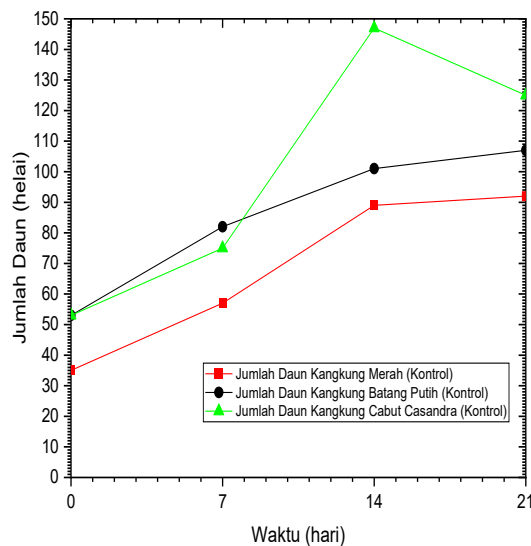
Berdasarkan hasil uji ANOVA *one-way* menunjukkan bahwa pada parameter morfologi jumlah daun memiliki nilai sig sebesar $0,028 < 0,05$ yang artinya pada parameter morfologi jumlah daun memiliki nilai rata – rata yang berbeda untuk setiap varietas pada media limbah cair tempe. Kemampuan varietas kangkung merah dalam memanfaatkan unsur hara pada media limbah cair tempe menunjukkan tidak dapat termanfaatkan secara maksimal sehingga hasil dari proses fotosintesis yang didistribusikan ke bagian tubuh tanaman lain tidak terpenuhi secara optimum.

Selain itu, tingkat adaptasi pada setiap varietas juga berpengaruh terhadap banyak sedikitnya jumlah daun yang dihasilkan. Hal ini diperkuat oleh penelitian Munawaroh & Pangestuti (2018) yang menyatakan bahwa efisiensi varietas kangkung merah dalam menurunkan polutan organik berada dalam titik jenuh sehingga penyerapan unsur hara dalam media tidak maksimal.

Jumlah helai daun terbanyak didapati pada varietas kangkung batang putih pada minggu ke-1 sampai ke-3. Sedangkan, pada minggu ke-0 diketahui bahwa varietas kangkung cabut casandra memiliki jumlah daun paling banyak. Hal ini dapat dipengaruhi oleh adanya ketersediaan unsur hara N dan P yang lebih besar pada media varietas kangkung batang putih daripada media pada varietas kangkung cabut casandra. Kandungan N dan P merupakan unsur hara makro yang berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan daun (Almeida et al., 2018).



Gambar 7. Jumlah Daun Tiap Varietas pada Media Limbah Cair Tempe Selama 21 Hari



Gambar 8. Jumlah Daun Tiap Varietas pada Media Kontrol Selama 21 Hari

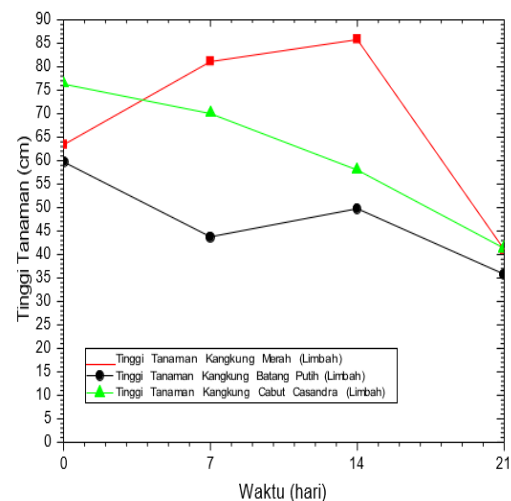
Pada media kontrol khususnya varietas kangkung merah memiliki jumlah helai daun paling sedikit dibandingkan varietas lainnya dapat disebabkan oleh respon fisiologis kangkung merah terhadap sinar matahari. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Widodo dkk., (2024) menunjukkan bahwa paparan sinar matahari yang berlebih dapat menimbulkan stres fisiologis pada tanaman sehingga menyebabkan nekrosis, pembakaran daun, serta penurunan pertumbuhan. Selain itu, perbedaan jumlah helai daun tiap varietas pada media kontrol dapat dipengaruhi oleh adanya sifat genetik dan tingkat adaptasi terhadap media tumbuhnya sehingga respon yang berbeda akan muncul meskipun dalam kondisi lingkungan yang sama (Mafaza dkk., 2018).

3.3.3. Tinggi Tanaman

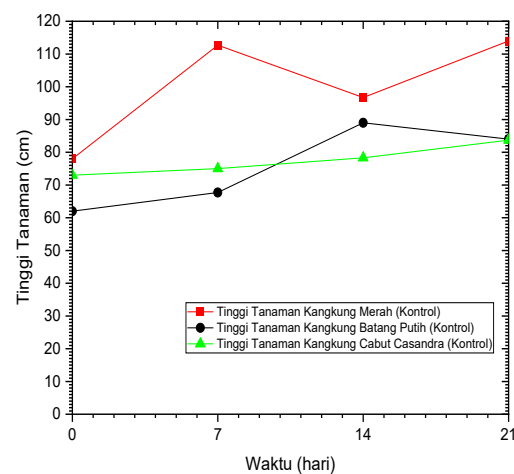
Hasil penelitian diperoleh pada media limbah cair tempe varietas kangkung merah memiliki tanaman paling tinggi pada minggu ke-1 dan ke-2. Namun, pada

minggu ke-0 dan ke-3 varietas kangkung cabut casandra termasuk dalam tanaman yang paling tinggi. Sedangkan, pada media kontrol varietas kangkung merah yang menjadi tanaman paling tinggi pada minggu ke-0 sampai minggu ke-3. Sebaliknya, varietas kangkung air yang termasuk dalam tanaman.

Berdasarkan hasil uji ANOVA *one-way* menunjukkan bahwa pada parameter morfologi tinggi tanaman memiliki nilai sig sebesar $0,225 > 0,05$ yang artinya pada parameter morfologi tinggi tanaman memiliki nilai rata-rata yang sama untuk setiap varietas pada media limbah cair tempe. Analisis statistik menunjukkan bahwa variabel varietas kangkung air hanya berpengaruh signifikan terhadap perbedaan rata-rata pertumbuhan panjang akar dan jumlah daun pada varietas kangkung merah dan kangkung cabut casandra. Namun, untuk parameter tinggi tanaman tidak dipengaruhi oleh varietas kangkung air. Penurunan tinggi tanaman pada media limbah cair tempe terhadap ketiga varietas dari minggu ke-0 sampai minggu ke-3 dapat disebabkan oleh penyerapan polutan organik dalam jumlah banyak dengan waktu operasional yang lama.



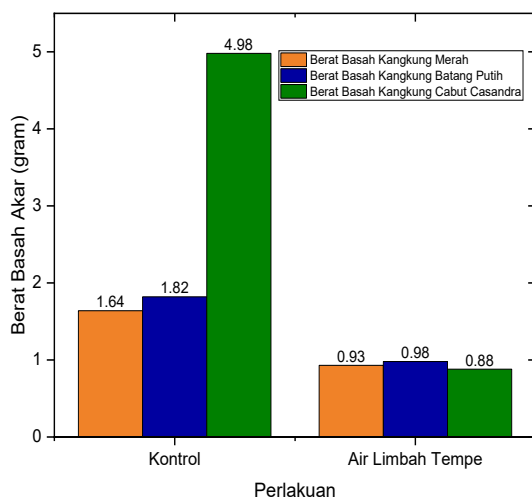
Gambar 9. Tinggi Tanaman Tiap Varietas pada Media Limbah Cair Tempe Selama 21 Hari



Gambar 10. Tinggi Tanaman Tiap Varietas pada Media Kontrol Selama 21 Hari

3.3.4. Berat Basah Akar

Pengukuran berat basah akar dilakukan untuk mengetahui kemampuan tanaman dalam menyerap air khususnya pada media limbah cair tempe. Berat basah akar diukur untuk menunjukkan jumlah air yang terkandung dalam akar tanaman (Dewi dkk., 2021). Proses fitoremediasi yang berlangsung pada media limbah cair tempe menunjukkan bahwa varietas kangkung batang putih memiliki kemampuan menyerap air limbah paling banyak dibandingkan varietas lainnya yakni sebesar 0,98 gram. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Rizwanda dkk., (2024) bahwa berat basah akar dipengaruhi oleh jumlah daun yang sebagaimana daun menjadi sumber makanan bagi tanaman sehingga semakin tinggi jumlah daun maka berat basah akar semakin meningkat.



Gambar 11. Berat Basah Akar Tiap Varietas pada Media Kontrol dan Setelah Perlakuan terhadap Media Limbah Cair Tempe

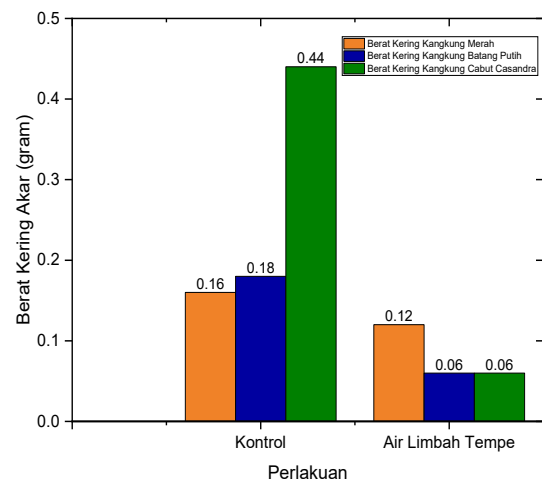
Kangkung batang putih pada media limbah cair tempe memiliki jumlah daun paling banyak daripada varietas lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa akar kangkung batang putih yang telah melakukan penyerapan air dan unsur hara akan mendistribusikannya ke daun untuk dilakukan proses fotosintesis sehingga pertambahan jumlah daun dapat terjadi. Kangkung cabut casandra pada media kontrol memiliki berat basah akar tertinggi dibandingkan varietas lainnya yaitu sebesar 4,98 gram. Hal ini dikarenakan faktor media yang sebagaimana pada kangkung cabut casandra lebih dapat beradaptasi pada media kontrol dibandingkan beradaptasi pada kondisi lingkungan yang mengalami cekaman unsur hara sehingga kangkung cabut casandra tidak memperoleh nutrisi yang diperlukan bagi tanaman.

3.3.5. Berat Kering Akar

Pengukuran berat kering akar dilakukan untuk mengetahui kemampuan tanaman dalam penyerapan

unsur hara secara optimal terhadap perlakuan media limbah cair tempe yang diberikan (Aini dkk., 2019).

Berat kering akar ini menunjukkan hasil dari proses metabolisme pada tiap varietas kangkung air berupa hasil fotosintesis selama masa tumbuhnya. Hasil penelitian menyatakan bahwa berat kering akar tertinggi dimiliki oleh varietas kangkung merah yaitu sebesar 0,12 gram. Sedangkan, berat kering tertinggi pada media kontrol dimiliki oleh varietas kangkung cabut casandra sebesar 0,44 gram. Varietas kangkung air meliputi kangkung merah, kangkung batang putih, dan kangkung cabut casandra selama proses fitoremediasi rata-rata mengalami penyusutan bobot. Hal ini ditunjukkan dengan adanya penurunan biomassa yang bisa dilihat berdasarkan perubahan morfologi yang dialami pada tubuh kangkung air. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Audiyanti dkk., (2019) menyatakan bahwa adanya perubahan morfologi pada daun yang semula berwarna hijau segar menjadi layu dan kuning dapat disebabkan karena adanya pencemaran bahan organik.



Gambar 12. Berat Kering Akar Tiap Varietas pada Media Kontrol dan Setelah Perlakuan terhadap Media Limbah Cair Tempe

Proses aklimatisasi yang dilakukan pada media air bersih selama rentang waktu tertentu memicu tanaman fitoremediasi yaitu kangkung air tidak berada dalam kondisi yang segar optimal. Hal ini disebabkan oleh terjadinya penurunan fungsi tubuh tanaman karena mengalami kekurangan unsur hara dalam melakukan metabolismenya. Kemudian, pemindahan tanaman fitoremediasi ke dalam bak reaktor limbah cair tempe setelah dilakukan aklimatisasi memiliki kadar cekaman unsur hara dengan pH yang cukup rendah sehingga tanaman didorong untuk dapat beradaptasi dengan cepat. Akibatnya yang ditimbulkan adalah tanaman kangkung melakukan penyerapan polutan organik yang ada pada media secara berlebihan sehingga mengakibatkan kadar nitrogen menjadi berlebih. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan bahwa pada varietas kangkung merah yang terindikasi mengalami kelebihan unsur hara nitrogen.

Peningkatan nitrogen yang terjadi berpengaruh dengan semakin tingginya berat kering akar. Tingginya berat kering akar pada kangkung merah menunjukkan bahwa kemampuan kangkung merah dalam melakukan penyerapan unsur hara dan akumulasi polutan organik dapat dilakukan dalam jumlah yang besar. Namun, karena tingkat adaptasi kangkung merah yang lebih rendah dibanding varietas lainnya serta berada dalam titik jenuh karena telah menyerap unsur hara dalam jumlah banyak sehingga berpengaruh terhadap penurunan biomassa.

Kangkung cabut casandra pada media kontrol memiliki berat kering akar tertinggi dibandingkan varietas lainnya. Hal ini dikarenakan faktor media yang sebagaimana pada kangkung cabut casandra lebih dapat beradaptasi pada media kontrol dibandingkan beradaptasi pada kondisi lingkungan yang mengalami cekaman unsur hara sehingga kangkung cabut casandra tidak memperoleh nutrisi yang diperlukan bagi tanaman.

Penelitian ini memiliki keterbatasan yaitu tidak adanya *pre-treatment* terhadap limbah cair tempe sebelum dilakukan metode fitoremediasi. Pemilihan usia kangkung air sebagai agen fitoremediasi termasuk golongan usia tua sehingga dapat mempengaruhi penurunan fungsi organ dan penyerapan kontaminan yang rendah. Dalam penelitian ini tidak dilakukan analisis anatomi dan fisiologi kangkung air seperti akumulasi senyawa yang terdapat pada jaringan akar atau daun. Pemilihan varietas kangkung air terbatas hanya pada kangkung merah, kangkung batang putih, dan kangkung cabut casandra sehingga belum dapat diidentifikasi secara keseluruhan pada varietas kangkung air yang memiliki ketahanan paling baik untuk menyaring limbah cair tempe.

Implikasi kebijakan dari penelitian ini adalah dapat diberlakukannya regulasi dari pemerintah daerah setempat agar pengrajin tempe dapat mengolah limbah cair hasil produksinya dengan menggunakan metode fitoremediasi menggunakan varietas kangkung batang putih dengan penerapan sistem kombinasi *pre-treatment* fisik (filtrasi pasir silika, karbon aktif, dan zeolite) sebelum dialirkan ke kolam fitoremediasi yang ditumbuhi oleh varietas kangkung batang putih. Bahan yang digunakan untuk filtrasi memiliki fungsi yang berbeda seperti pasir silika berperan sebagai penyaring dari komponen pengotor yang terdapat pada limbah cair tempe. Sedangkan, karbon aktif memiliki fungsi untuk menghilangkan bau dan rasa logam pada air limbah tempe serta luas permukaannya yang sangat besar sehingga berfungsi juga sebagai pengabsorpsi senyawa organik terlarut (Anindita dkk, 2026). Selain itu, zeolite berfungsi untuk menurunkan bahan pencemar organik, ammonia, serta logam berat yang terdapat pada limbah cair tempe (Sari dkk, 2024).

4. KESIMPULAN

Nilai efisiensi terhadap penurunan parameter BOD, COD, TSS, dan pH setelah dilakukan fitoremediasi terhadap limbah cair tempe didapati bahwa hanya parameter pH yang sudah memenuhi baku mutu lingkungan menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 yaitu terjadi pada ketiga varietas yaitu kangkung merah, kangkung batang putih dan kangkung cabut casandra yakni secara berurutan sebesar 8,83 , 8,98, serta 8,34. Varietas kangkung batang putih memiliki nilai efisiensi paling tinggi daripada varietas kangkung cabut casandra dan kangkung merah pada penurunan parameter BOD dan COD sebesar 20% dan 23,8%. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 menunjukkan bahwa hanya parameter nitrat memiliki nilai yang masih memenuhi baku mutu pada sebelum dan sesudah perlakuan. Respon tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) terhadap media limbah cair tempe mengalami perubahan signifikan yakni berbeda nyata pada parameter panjang akar dan jumlah daun selama proses fitoremediasi. Kemampuan penyerapan limbah cair tempe paling banyak ditunjukkan oleh varietas kangkung batang putih dengan berat basah akar sebesar 0,98 gram. Kemampuan penyerapan unsur hara untuk dilakukan akumulasi polutan organik pada limbah cair tempe paling banyak ditunjukkan oleh varietas kangkung merah dengan berat kering akar sebesar 0,12 gram.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, N., Nurchayati, Y., & Suedy, S. W. A. 2019. Pengaruh Perendaman Akar Bibit Bayam Merah (*Alternanthera amoena* Voss.) dalam Larutan Na_2CuEDTA terhadap Pertumbuhan dan Kandungan Antosianin. *Bioma : Berkala Ilmiah Biologi* 20(2): 1-23. doi :10.14710/bioma.20.2.123-132.
- Ali, H.; Khan, E.; Sajad, M.A. 2013. Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications. *Chemosphere*, 91, 869–881. [CrossRef].
- Almeida, V. C., Viana, J. M. S., Risso, L. A., Ribeiro, C., & DeLima, R. O. (2018). Generation mean analysis for nitrogen and phosphorus uptake, utilization, and translocation indexes at vegetative stage in tropical popcorn. *Euphytica* 214(7) : 1–12.
- Anindita, D., Y., Marbun, P., M., Prabawati, S., E., Nungraeni, E., R., Fidyanningrum, H., Hakim, R., L., & Saputra, D., N. 2026. Penerapan Filtrasi Berlapis Zeolit, Karbon Aktif dan *Greensand* untuk Air Bersih di Desa Sumberejo, Tuban. *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat* 7(1) :1361-1367.
- Arnando, A., D., Irawan, A., & Sari, I., L. 2022. Karakteristik Distribusi Zat Hara Nitrat dan Fosfat pada Air dan Sedimen di Estuaria Tanjung Limau Kota Bontang Kalimantan Timur. *Jurnal Tropical Aquatic Sciences* 1(2) : 46-53.
- As'ari, M., R., Syafiuddin, A., Adriansyah, A., A., dan Setianto, B. 2022. Fitoremediasi Air Limbah Tempe Menggunakan Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*). *Jurnal Kesehatan Masyarakat* 10(5) : 564-569.

- Audiyanti, S., Hasan, Z., Hamdani, H., dan Herawati, H. 2019. Efektivitas Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) sebagai Agen Fitoremediasi Limbah Sungai Citarum. Jurnal Perikanan dan Kelautan 10(1) :111-116.
- Aziz, N. I. H. A., Hanafiah, M. M., Halim, N. H., & Fidri, P. A. S. 2020. Phytoremediation of TSS, NH₃-N and COD from sewage wastewater by *Lemna minor* L., *Salvinia minima*, *Ipomea aquatica* and *Centella asiatica*. *Applied Sciences*, 10(15), 1-12.
- Clemens, S.; Palmgren, M.G.; Krämer, U. 2002. A long way ahead: Understanding and engineering plant metal accumulation. *Trends Plant Sci*, 7, 309-315. [CrossRef].
- Dewi, S., R., Sumarsono, & Fuskhah, E. 2021. Pengaruh Pembenah Tanah terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tiga Varietas Padi pada Tanah Asal Karanganyar Berbasis Pupuk Organik *Bio-Slurry*. Jurnal Buana Sains 21(1) : 65-76.
- Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Kabupaten Banyumas, 2023. Jumlah Produksi Kedelai Kabupaten Banyumas Tahun 2023.
- Fitria, N., S. 2015. Pengukuran Efektivitas Tanaman Kangkung Air (*Ipomea aquatica* Forsk), Genjer (*Limncharis flava*) dan Seledri (*Apium graveolens* L.) untuk Pengurangan Kadar Logam Berat (Pb dan Cu) serta Radionuklida dengan Metode Fitoremediasi. Skripsi. Malang : Universitas Brawijaya.
- Hasanah, N., Bayu, S., E., & Kardhinata, H., E. 2020. Pengaruh Cekaman Kekeringan terhadap Morfologi Akar Beberapa Genotipe Padi Beras Merah (*Oryza sativa* L.) pada Fase Vegetatif. Jurnal Online Agroekoteknologi 8(1) : 50-56. DOI : 10.32734/jaet.
- Hasibuan, F., S., E., Supriyanti, E., dan Sunaryo. 2021. Pengukuran Parameter Bahan Organik di Perairan Sungai Silugongo, Kecamatan Juwana, Kabupaten Pati. Buletin Oseanografi Marina 10(3) : 299-306.
- Inayati, W., Farid, A. 2020. Analisis Beban Masuk Nutrien terhadap Kelimpahan Klorofil-A saat Pagi Hari di Sungai Bancaran Kabupaten Bangkalan. *Juvenil* 1(3) :406-416.
- Jusuf, H., Adityaningrum, A., & Arsyad, C. 2023. Analisis Kandungan Nitrat (NO₃), Nitrit (NO₂), dan Kandungan Logam Berat Merkuri (Hg) pada Air di Danau Perintis Kabupaten Bone Bolango. *Jambura Journal of Health Science and Research* 5(4) : 1101-1111.
- Kementrian Lingkungan Hidup. 2014. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah
- Lestari, T., Wardoyo, A., F., dan Mukaromah, H., A. 2020. Pengaruh Pasang dan Surut Air Laut terhadap Kadar Nitrit pada Air Sumur di Kelurahan Tanjung Mas Semarang. *Jurnal Labora Medika* 4 : 1-5.
- Mafaza, N., V., Handoko, & Adiredjo, L., A. 2018. Keragaman Genetik Karakter Morfologi Beberapa Genotip Padi Merah (*Oryza sativa* L.) pada Fase Vegetatif dan Generatif. *Jurnal Produksi Tanaman* 6(12) : 3048-3055.
- Maryana, Oktarina, S., Auvaria, S. W., Setyowati, R. D. N. 2020. Fitoremediasi Menggunakan Variasi Kombinasi Tanaman Kiambang (*Salvinia molesta* M) dan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L) dalam Menurunkan Besi (Fe) dengan Sistem Batch. *Jurnal Teknik Lingkungan* 6(1) : 29-36.
- Mattson, N., & Lieth, J. H. (2019). Liquid Culture hydroponic System Operation. In *Soiless Culture (Second Edition): Theory and Practice* (pp. 567-585). Elsevier.
- Munawwaroh, A. & Pangestuti, A. A., 2018. Analisis Morfologi dan Anatomi Akar Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) Akibat Pemberian Berbagai Konsentrasi Kadmium (Cd). *Bioma: Jurnal Ilmiah Biologi* 7(2) : 111-122.
- Munthe, A., N., Najamuddin, A., & Elvince R. 2021. Efektivitas Tumbuhan Kangkung Air (*Ipomea aquatica* Forsk) Dalam Menurunkan Limbah Penatu. *Journal of Tropical Fisheries* 16(1) : 1-8.
- Mutiah, S., Sumardiyono, & Pujiastuti, P. 2022. Analisis Parameter Nitrit, Nitrat, Amonia, Fosfat pada Air Limbah Pertanian Dusun Bendungan, Genuk Harjo, Wuryantoro, Wonogiri. *Jurnal Kimai dan Rekayasa* 3(1) : 33-45.
- Najwa, S., Elvania, C., N., Margianti, S., Y. 2023. Efektivitas Metode fitoremediasi dengan Jenis Tanaman Kangkung Air (*Ipomea aquatica* Forsk) terhadap Pengolahan Air Limbah Industri Tahu di Desa Ledok Kulon. *Envirotek : Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan* 15(2) : 166-170.
- Ningsih, A., Mansyurdin, & Maideliza, T. 2016. Perkembangan Aerenkim Akar Kangkung Darat (*Ipomea reptans* Poir) dan Kangkung Air (*Ipomea aquatica* Forsk). *Al-Kauniah Jurnal Biologi* 9(1) : 37-43.
- Nizam, N. U. M., Hanafiah, M. M., Noor, I. M., & Karim, H. I. A. 2020. Efficiency of five selected aquatic plants in phytoremediation of aquaculture wastewater. *Applied Sciences*, 10(8), 1-11.
- Novita, E., Hermawan, G., A., A., dan Wahyuningsih, S. 2019. Komparasi Proses Fitoremediasi Limbah Cair Pembuatan Tempe Menggunakan Tiga Jenis Tanaman Air. *Jurnal Agroteknologi* 13(1) : 16-24.
- Nurutami, O dan Soediro. 2023. Pengelolaan Limbah Cair Perusahaan Tempe Kedelai di Desa Pliken Kecamatan Kembaran Kabupaten Banyumas Berdasarkan Perda Kabupaten Banyumas Nomor 8 Tahun 2018 Tentang Pengelolaan Air Limbah. *UMP Purwokerto Law Review* 4(1) : 105-116.
- Pakpahan, B., R., R., M., Ruhayat, R., dan Hendrawan, I., D. 2021. Karakteristik Air Limbah Industri Tempe (Studi Kasus : Industri Tempe Semanan, Jakarta Barat). *Jurnal Bhuwana* 1(2) :164-172.
- Palupi, D., H., Maghfoer, D., M. 2020. Pengaruh Konsentrasi Nitrogen pada Pertumbuhan dan Hasil Dua Kultivar Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L.) dengan Sistem Hidroponik. *Jurnal Produksi Tanaman* 8(2) : 241-247.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Pratiwi, Y., Sunarsih, S. & Dewi, P., K. 2019. Pengolahan Limbah Cair Industri Elektrolisis dengan Fitoremediasi Menggunakan *Azolla Microphylla*. *Jurnal Teknologi* 2(1) : 54-62.
- Saputra, R., A., Islami, Z., R., & Indriani, P., N. 2024. Pengaruh Varietas terhadap Berat Segar dan Berat Kering Hijauan Pakan Ternak Penghasilan Jagung Semi (*Zea mays* L.). *Jurnal Peternakan Sabana* 3(1) : 28-34.
- Sari, N., Tanti, & Jumira, F. 2024. Efektivitas Zeolit Alam dalam Menurunkan Kadar Pencemar pada Limbah Cair Tempe. *Jurnal Kolaborasi Sains dan Ilmu Terapan* 2(2) : 38-42.

- Pramudiva, R. R., Rahadian, R., dan Andarani, P. (2026). Efisiensi Tiga Varietas Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk) sebagai Agen Fitoremediasi terhadap Limbah Cair Tempe. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(3), 578-589, doi:10.14710/jil.24.3.578-589
- Sayow, F., Polii, J., V., B., Tilaar, W., Augustine, D., K. 2020. Analisis Kandungan Limbah Industri Tahu dan Tempe Rahayu di Kelurahan Uner Kecamatan Kawangkoan Kabupaten Minahasa. *Jurnal Transdisiplin Pertanian (Budidaya Tanaman, Perkebunan, Kehutanan, Peternakan, Perikanan, Sosial, dan Ekonomi)* 16(2) : 245-252.
- Sundaralingam, T.; Gnanavelraja, N. 2014. Phytoremediation potential of selected plants for nitrate and phosphorus from ground water. *Int. J. Phytoremediat*, 16, 275–284. [CrossRef] [PubMed].
- Suta, R., F., K., I., Sumadewi, U., L., N., Astuti, W., P., N. 2023. Efektifitas Kombinasi Filtrasi dan Fitoremediasi dengan Tanaman Kangkung Air pada Limbah Tempe Tahun 2022. *Jurnal Kesehatan, Sains, dan Teknologi (JAKASAKTI)* 2(2) : 85-90.
- Tanjung, R. R., Fahrudin, F. & Samawi, M. F. 2019. Phytoremediation Relationship of Lead (Pb) by *Eichhornia crassipes* on pH, BOD and COD in Groundwater. *Journal of Physics: Conference Series* 1341(2) : 1-6.
- Waite, D., T. 2012. *Principles of Water Quality*. Florida : Academic Press. INC.
- Widodo, C., N., Aziz, A., Munawaroh, A., Z., Anzhari, H., & Karlina, L., D. 2024. Tinjauan Analisis Manfaat dan Dampak Sinar UV-C dalam Bidang Pangan dan Pertanian. *Jupiter : Publikasi Ilmu Keteknikan industri, Teknik Elektro dan Informatika* 2(6) : 43-50. DOI : 10.61132/jupiter.v2i6.611.
- Widowati, H. 2000. Peranan Tumbuhan Air sebagai Bioremediasi Pencemaran Akibat Industri Batik. *Ilmu Lingkungan*. Yogyakarta. Universitas Gadjah Mada.
- Zahra, F. 2022. Fitoremediasi Limbah Cair Domestik Menggunakan Genjer (*Limnocharis flava*) dengan Sistem Hidroponik Rakit Apung. Thesis. Aceh : UIN Ar-Raniry. 1–86.
- Zulfarosda, R., & Purnamasari, T., R. 2022. Pengaruh Larutan Asam terhadap Fluktuasi pH Hidroponik. *Jurnal Buana Sains*, 22(1), 45-50.