

Efektivitas Variasi Biomassa *Ipomoea aquatica* terhadap Penurunan Parameter Kualitas Air Limbah Domestik

The Effectiveness of *Ipomoea aquatica* Biomass Variations on Reducing Domestic Wastewater Quality Parameters

Rinda Indrawati, Hamdani Dwi Prasetyo*

Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Islam Malang, Malang, Indonesia

Email: *hamdani.dwiprasetyo@unisma.ac.id

diterima: 22 Agustus 2025; dipublikasi: 31 Oktober 2025

DOI: 10.32528/bioma.v10i2.4100

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas biomassa kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dalam fitoremediasi air limbah domestik dari Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Supit Urang, Malang. Empat taraf biomassa diuji: kontrol (0 g), 100 g, 150 g, dan 200 g, masing-masing dengan empat kali ulangan. Parameter kualitas air yang diamati meliputi pH, suhu, total padatan terlarut (TDS), dan konduktivitas listrik (DK), sementara kinerja instalasi dinilai melalui perubahan biomassa. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan yang signifikan antar perlakuan untuk pH ($F = 18,31$, $p < 0,001$), TDS ($F = 23,86$, $p < 0,001$), dan DK ($F = 23,14$, $p < 0,001$). Perlakuan biomassa 200 g (P3) mencapai efisiensi remediasi tertinggi, mengurangi TDS sekitar 38% dan EC sebesar 40% dibandingkan dengan kontrol. Lebih lanjut, biomassa tanaman meningkat sebesar 14%, menunjukkan penyerapan nutrisi dan polutan secara aktif melalui zona akar. Secara keseluruhan, *I. aquatica* menunjukkan potensi tinggi sebagai biofilter alami yang ramah lingkungan untuk meningkatkan kualitas air limbah domestik dan mengurangi beban polutan.

Kata kunci : Biomassa, *Ipomoea aquatica*, Limbah Domestik

ABSTRACT

This study aims to evaluate the effectiveness of water spinach (*Ipomoea aquatica*) biomass in phytoremediation of domestic wastewater from the Supit Urang Sewage Treatment Plant (IPLT) in Malang. Four levels of biomass were tested: control (0 g), 100 g, 150 g, and 200 g, each with four replicates. The water quality parameters observed included pH, temperature, total dissolved solids (TDS), and electrical conductivity (EC), while the performance of the installation was assessed through changes in biomass. The results showed significant differences between treatments for pH ($F = 18.31$, $p < 0.001$), TDS ($F = 23.86$, $p < 0.001$), and EC ($F = 23.14$, $p < 0.001$). The 200 g biomass treatment (P3) achieved the highest remediation efficiency, reducing TDS by approximately 38% and EC by 40% compared to the control. Furthermore, plant biomass increased by 14%, indicating active absorption of nutrients and pollutants through the root zone. Overall, *I. aquatica* shows high potential as an environmentally friendly natural biofilter for improving domestic wastewater quality and reducing pollutant loads.

Keywords : Biomass, Water Spinach, Domestic Wastewater

PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu sumber daya fundamental yang menopang kehidupan di darat, laut, dan udara. Namun, pencemaran air semakin meningkat akibat limbah yang dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia, seiring dengan pertumbuhan penduduk dan meningkatnya aktivitas sehari-hari (Sardi dan Yuwono 2021). Salah satu sumber pencemaran air yang dominan adalah air limbah domestik, yaitu limbah cair yang dihasilkan oleh kegiatan rumah tangga. Di Indonesia, sebagian besar masyarakat mengandalkan tangki septik sebagai sistem pengolahan utama, yang menghasilkan lumpur tinja sebagai produk sampingan. Lumpur tinja kaya akan bahan organik dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan yang parah jika tidak dikelola dengan baik (Ryanita, Arsana, dan Juliasih 2020). Lebih lanjut, air limbah domestik seringkali mengandung bakteri, virus, dan parasit tingkat tinggi, yang dapat dengan cepat menyebarkan penyakit (Sulistia dan Septisya 2020)(Lukman, Pratiwi, dan Rosdiana 2021). Oleh karena itu, diperlukan strategi pengelolaan yang efektif dan berkelanjutan untuk meminimalkan risiko lingkungan dan kesehatan masyarakat yang terkait dengan pembuangan lumpur tinja.

Salah satu sistem pengelolaan yang ada adalah Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT), atau Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja, yang mengumpulkan, memproses, dan menstabilkan lumpur tinja melalui proses biologis anaerobik. Meskipun sistem ini mengurangi beban polutan, pendekatan berbasis ekologi yang saling melengkapi diperlukan untuk lebih meningkatkan kualitas efluen dan keamanan lingkungan. Hal ini juga dapat menimbulkan penurunan kadar oksigen terlarut dan meningkatkan toksisitas amonia dalam perairan (Al Kholif et al. 2022). Alternatif yang menjanjikan dan ramah lingkungan adalah fitoremediasi pemanfaatan tumbuhan air untuk menyerap, menstabilkan, atau mendegradasi polutan dalam air limbah (Hapsari et al. 2018). Fitoremediasi juga didefinisikan sebagai penyerapan polutan yang dimediasi oleh tanaman, termasuk pohon, rerumputan, dan tanaman air (Hamidah dan Widiyanti 2021). Pengolahan limbah menggunakan fitoremediasi dapat meremoval, mentransfer, atau menghancurkan kontaminan dalam air tanah, dan sedimen untuk mengolah limbah air tersebut, perlu dilakukan pemilihan tanaman dalam fitoremediasi (Imaniar et al. 2022). Di antara berbagai spesies, kangkung air (*Ipomoea aquatica*) telah menunjukkan potensi yang kuat karena kemampuannya menyerap nitrogen, fosfor, dan nutrisi lainnya, sekaligus meningkatkan kadar oksigen dalam sistem perairan. Selain itu, kangkung air bertindak sebagai biofilter alami yang meningkatkan kualitas air melalui interaksi biologis di rizosfer (Ryanita et al. 2020).

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan efektivitas fitoremediasi dalam pengolahan air limbah. Tumbuhan air dapat menyerap berbagai polutan secara efisien, sementara peran *Ipomoea aquatica* dalam menurunkan konsentrasi bahan organik (Hapsari et al. 2018; Ryanita et al. 2020). Demikian pula, variasi biomassa *Ipomoea aquatica* secara signifikan memengaruhi penurunan Total Suspended Solids (TSS) dalam air limbah rumah sakit (Alya dan Haryanto 2022). Namun, penelitian yang mengkaji hubungan antara variasi biomassa *Ipomoea aquatica* dan efektivitasnya dalam menurunkan Total Dissolved Solids (TDS) dan Konduktivitas (EC) dalam air limbah domestik yang diolah di kolam pematangan sistem IPLT masih terbatas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas berbagai biomassa kangkung air (*I. aquatica*) dalam fitoremediasi air limbah domestik di IPLT Supit Urang, Kota Malang. Penelitian ini berfokus pada perubahan biomassa tanaman setelah pengolahan dan penurunan parameter kualitas air utama, termasuk pH, suhu, TDS, dan EC. Kebaruan penelitian ini terletak pada identifikasi tingkat biomassa optimal (100 g, 150 g, dan 200 g) yang paling efektif meningkatkan kualitas air limbah domestik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan sistem pengolahan air limbah berbasis ekologi yang memanfaatkan biofilter alami untuk pengelolaan limbah yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Supit Urang, Kota Malang, Jawa Timur, dari tanggal 1 Februari hingga 1 Maret 2023. IPLT Supit Urang dipilih sebagai lokasi penelitian karena merupakan instalasi pengolahan lumpur tinja terbesar di Malang, yang menggunakan sistem multi-kolam yang mencakup kolam pematangan yang berfungsi untuk menstabilkan efluen sebelum tahap klorinasi akhir.

Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan rancangan percobaan murni dengan kelompok kontrol dan kelompok perlakuan (pengaturan ex-situ) menggunakan wadah reaktor 5 liter. Empat perlakuan ditetapkan sebagai berikut:

P0: Kontrol (air limbah tanpa tanaman)

P1: Air limbah dengan 100 g biomassa *Ipomoea aquatica*

P2: Air limbah dengan 150 g biomassa *Ipomoea aquatica*

P3: Air limbah dengan 200 g biomassa *Ipomoea aquatic*

Setiap perlakuan terdiri dari empat replikasi ($n = 4$) untuk memastikan keandalan data dan validitas statistik. Air limbah yang digunakan dalam percobaan ini dikumpulkan dari kolam pematangan IPLT Supit Urang menggunakan wadah plastik melalui pengambilan sampel secara *purposive*. Efluen kemudian dipindahkan ke akuarium fitoremediasi 5 L. Tanaman uji, kangkung air (*Ipomoea aquatica*), menjalani periode aklimatisasi selama satu minggu untuk memastikan kondisi fisiologis yang stabil sebelum dimasukkan ke dalam sistem percobaan.

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain eksperimental true experiment dengan kelompok kontrol dan perlakuan secara ex-situ pada media galon reaktor berkapasitas 5 liter. Empat perlakuan digunakan, yaitu:

P0: kontrol (air limbah tanpa tanaman),

P1: air limbah dengan biomassa kangkung air 100 g,

P2: air limbah dengan biomassa kangkung air 150 g,

P3: air limbah dengan biomassa kangkung air 200 g.

Masing-masing perlakuan terdiri atas empat ulangan untuk memperoleh data yang lebih representatif. Populasi penelitian adalah air limbah domestik yang berasal dari kolam maturasi IPLT Supit Urang. Sampel air limbah diambil secara *purposive sampling*, yaitu langsung dari kolam maturasi menggunakan jerigen plastik, kemudian dimasukkan ke dalam akuarium fitoremediasi. Tanaman uji berupa kangkung air (*Ipomoea aquatica*) yang telah melalui proses aklimatisasi selama satu minggu untuk memastikan kondisi fisiologis stabil sebelum digunakan dalam perlakuan.

Pengukuran Kualitas Air dan Biomassa

Pengukuran dilakukan dua kali dalam satu minggu selama 18 hari penelitian. Data yang dikumpulkan meliputi Parameter kualitas air dan biomassa tanaman kangkung air. Parameter kualitas air yang diukur meliputi suhu (°C), pH, *Total Dissolved Solids* (mg/L), dan *Electrical Conductivity* (µS/cm). Alat yang digunakan yaitu termometer digital, pH meter, TDS meter, dan EC meter. Sementara itu, pengukuran biomassa dilakukan dengan tanaman kangkung air ditimbang berat basah awal sesuai perlakuan. Setelah periode perlakuan berakhir, biomassa basah diukur kembali, kemudian tanaman dikeringkan dengan oven hingga berat konstan untuk mendapatkan berat kering. Biomassa dihitung menggunakan formula yang mengacu pada SNI 13-6793-2002.

$$\text{Biomassa} = \frac{\text{Total berat basah akhir}}{\text{Berta basah akhir}} \times \text{Berat Kering}$$

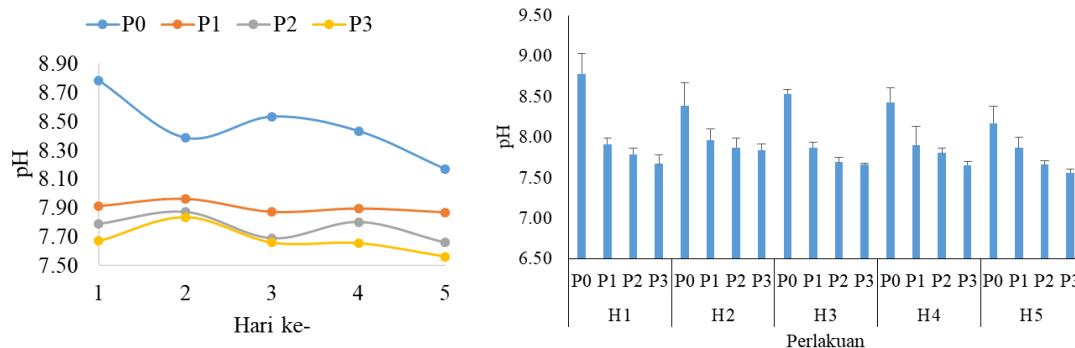
Analisis Data

Data hasil penelitian dianalisis menggunakan perangkat lunak *Paleontological Statistics* (PAST) versi 5.2.1. Tahapan analisis meliputi analisis deskriptif untuk menggambarkan perubahan nilai pH, suhu, TDS, EC, serta pertambahan biomassa pada masing-masing perlakuan. Uji ANOVA satu arah untuk menguji perbedaan nyata antarperlakuan pada parameter kualitas air dan biomassa. Uji lanjut Tukey HSD dilakukan apabila hasil ANOVA menunjukkan perbedaan signifikan, guna mengetahui kelompok perlakuan mana yang berbeda nyata. Untuk menjamin validitas hasil, seluruh alat ukur (pH meter, TDS meter, EC meter, timbangan analitik) telah dikalibrasi sebelum digunakan. Pengulangan sebanyak empat kali pada setiap perlakuan dilakukan untuk meningkatkan reliabilitas data. Proses pengeringan biomassa menggunakan oven hingga mencapai berat konstan dilakukan untuk meminimalisir kesalahan akibat kadar air. Penggunaan metode deskriptif dan ANOVA berbasis perangkat lunak statistik PAST 5.2.1 memberikan tingkat akurasi yang memadai dalam mendeteksi perbedaan antarperlakuan, sedangkan uji Tukey memastikan validitas perbandingan ganda antarvariabel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil ANOVA satu arah menunjukkan perbedaan nilai pH yang signifikan antar perlakuan dan periode pengamatan ($F = 18,31$, $p < 0,001$). Uji normalitas dan homogenitas menunjukkan bahwa data terdistribusi normal (Shapiro–Wilk, $p > 0,05$) dan variansnya homogen (uji Levene, $p = 0,7124$). Koreksi Welch juga mengonfirmasi ketidaksetaraan rata-rata antar perlakuan ($F = 26,43$, $p = 4,26 \times 10^{-8}$). Koefisien korelasi

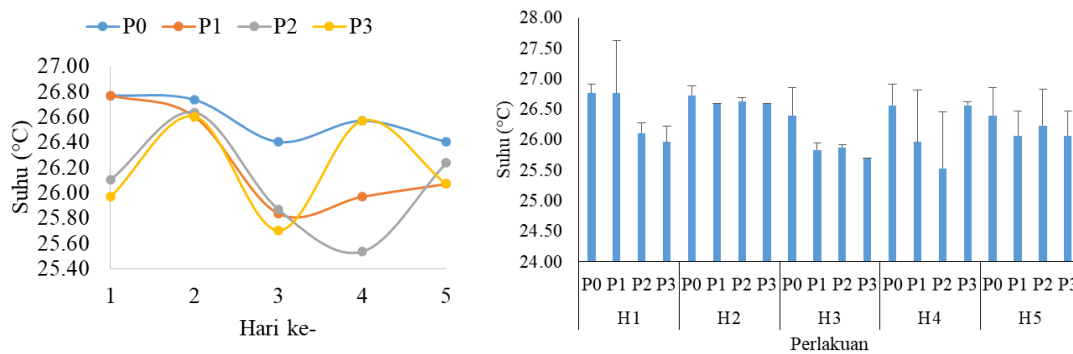
intrakelas ($ICC = 0,85$) dan $\omega^2 = 0,85$ menunjukkan proporsi varians yang tinggi yang dijelaskan oleh efek perlakuan, yang mencerminkan pengaruh kuat biomassa *I. aquatica* terhadap dinamika pH dalam sistem fitoremediasi.



Gambar 1. pH air

Uji post-hoc Tukey HSD menunjukkan bahwa perlakuan biomassa kangkung (P1–P3) berbeda secara signifikan dibandingkan kontrol (P0), terutama pada tingkat biomassa yang lebih tinggi (150 g dan 200 g). Perlakuan dengan 200 g *I. aquatica* (P3) secara konsisten menunjukkan penurunan pH terbesar di seluruh periode pengamatan, menunjukkan peningkatan penyerapan hara dan pengasaman yang berkaitan dengan aktivitas rizosfer (Susanto et al. 2021). Secara keseluruhan, nilai pH selama percobaan menunjukkan perubahan bertahap menuju kondisi netral. Nilai pH tertinggi (8,16) tercatat pada hari ke-12 pada perlakuan P1, sedangkan nilai terendah (7,51) terjadi pada perlakuan P3 pada hari ke-16. Secara umum, nilai pH akhir berkisar antara 7,5 hingga 7,9, yang masih berada dalam baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 (kisaran 6–9). Temuan ini menunjukkan bahwa proses fitoremediasi menggunakan *I. aquatica* efektif menstabilkan pH air limbah domestik.

Kemampuan *I. aquatica* untuk menurunkan pH berkaitan dengan penyerapan ion-ion kimia seperti K^+ , Na^+ , dan sulfat oleh akar tanaman, serta respirasi tanaman yang menghasilkan CO_2 , yang berkontribusi terhadap sedikit pengasaman (Ryanita et al. 2020; Susanto et al. 2021). pH merupakan parameter penting yang memengaruhi aktivitas biokimia mikroorganisme di dalam air (Ningrum 2018). Hasil penelitian ini mendukung temuan lain, yang melaporkan bahwa variasi biomassa *I. aquatica* memengaruhi efisiensi penurunan pH (Ryanita et al. 2020). Dengan demikian, tingkat biomassa 150–200 g terbukti lebih efektif dalam menurunkan pH dibandingkan dengan perlakuan kontrol.



Gambar 2. Suhu air

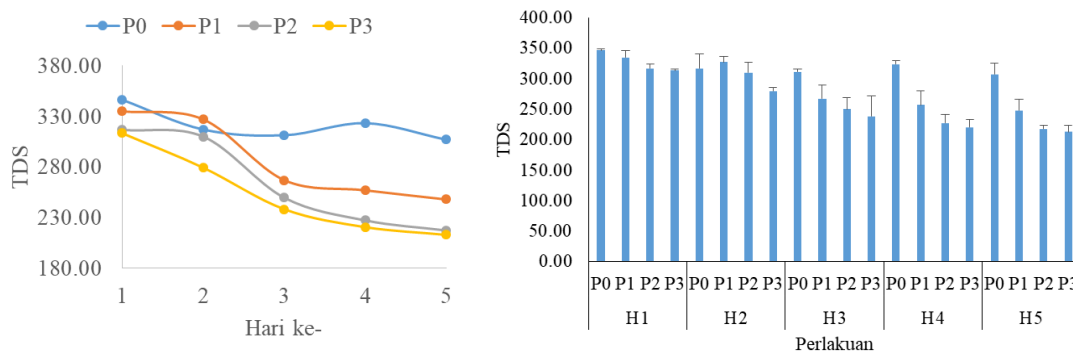
Uji Kruskal–Wallis menunjukkan perbedaan yang signifikan antar perlakuan dan periode pengamatan ($H_c = 33,20$, $p = 0,02277$), yang menunjukkan bahwa variasi biomassa *Ipomoea aquatica* memengaruhi stabilitas suhu di dalam reaktor fitoremediasi. Perbandingan berpasangan menggunakan uji Mann Whitney menunjukkan bahwa perbedaan suhu antar hari kecil, tetapi sedikit lebih nyata antara perlakuan P2 dan P3 selama periode pengamatan selanjutnya, meskipun variasi mediannya tidak melebihi 1°C .

Sepanjang percobaan, suhu relatif stabil, berkisar antara 25°C hingga 26°C di semua perlakuan (Gambar 2). Nilai-nilai ini berada dalam rentang optimal untuk pertumbuhan *I. aquatica* ($25\text{--}30^{\circ}\text{C}$) (Rosyadi dan Ali 2020). Fluktuasi kecil yang diamati kemungkinan besar disebabkan oleh faktor eksternal seperti intensitas sinar matahari dan suhu udara sekitar, yang memengaruhi pertukaran termal dalam sistem reaktor. Kondisi suhu yang stabil sangat penting untuk menjaga aktivitas fotosintesis dan metabolisme pada tumbuhan akuatik, sehingga memungkinkan penyerapan ion terlarut dan polutan secara efektif.

Pada tanaman, nitrat berfungsi sebagai nutrisi (Hasan et al. 2017). Dari perspektif fisiologis, suhu yang stabil mendukung proses enzimatis di akar tumbuhan, termasuk aktivitas nitrat reduktase dan fosfatase yang memfasilitasi asimilasi nitrogen dan fosfor. Aktivitas biokimia ini meningkatkan pembuangan polutan hara sekaligus mendorong akumulasi biomassa. Lebih lanjut, stabilitas suhu juga mendukung konsorsium mikroba di rizosfer, terutama bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi, yang berkontribusi secara sinergis terhadap degradasi polutan dan siklus hara.

Suhu air secara langsung memengaruhi laju evaporasi dan transpirasi, memengaruhi konsentrasi zat terlarut dan ketersediaan oksigen di sekitar akar tumbuhan (Rahayuningtyas et al. 2018). Dalam penelitian ini, meskipun terdapat sedikit variasi, kondisi suhu secara keseluruhan tetap kondusif bagi efisiensi fitoremediasi. Pertumbuhan biomassa yang berkelanjutan di semua perlakuan mendukung kesimpulan bahwa suhu tidak berperan sebagai faktor pembatas selama percobaan.

Secara keseluruhan, pola suhu yang diamati menunjukkan bahwa sistem fitoremediasi mempertahankan lingkungan mikro yang stabil secara termal dan cocok untuk kinerja tanaman maupun mikroba. Interaksi antara aktivitas fisiologis tanaman dan metabolisme mikroba dalam kondisi suhu ini kemungkinan berkontribusi pada peningkatan parameter kualitas air yang konsisten pada pengamatan selanjutnya.



Gambar 3. Total Dissolved Solid (TDS)

Hasil ANOVA satu arah menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan antar perlakuan dan hari pengamatan ($F = 23,86$, $p < 0,001$), yang menunjukkan bahwa variasi biomassa tanaman sangat memengaruhi konsentrasi TDS. Koefisien korelasi intrakelas yang tinggi ($ICC = 0,88$) dan ukuran efek yang besar ($\omega^2 = 0,879$) menegaskan bahwa sebagian besar varians TDS dijelaskan oleh perbedaan perlakuan, alih-alih galat acak. Uji F Welch yang disesuaikan ($F = 71,27$, $p = 4,09 \times 10^{-11}$) selanjutnya memverifikasi ketidaksetaraan rata-rata antar kelompok. Perbandingan Tukey post-hoc menunjukkan bahwa penurunan paling signifikan terjadi antara kontrol (P0) dan perlakuan P2–P3, terutama pada H3–H5 ($p < 0,001$).

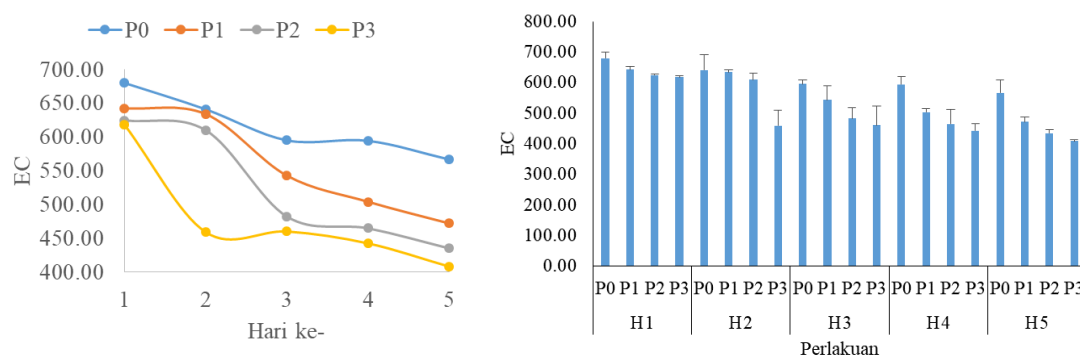
Nilai TDS menunjukkan tren penurunan yang jelas dari awal hingga akhir percobaan. Pada hari ke-1, TDS tertinggi adalah 346 mg/L pada kontrol, sementara nilai terendah 213 mg/L teramati pada hari ke-16 pada perlakuan P3. Hasil ANOVA dan Tukey menunjukkan bahwa penurunan tersebut signifikan secara statistik ($p < 0,05$), terutama pada P2 dan P3, yang menegaskan pengaruh kuat kepadatan biomassa tanaman terhadap penyerapan padatan terlarut.

Secara mekanistik, tren ini dapat dikaitkan dengan struktur akar *Ipomoea aquatica* yang padat dan berserat, yang menyediakan luas permukaan yang besar untuk penyerapan ion dan kolonisasi mikroba (Widiyanti, Laily, dan Hamidah 2021). Akar tersebut tidak hanya bertindak sebagai biofilter langsung yang menyerap ion terlarut melalui transpor aktif dan pasif, tetapi juga sebagai mikrohabitat yang mendukung mikroorganisme heterotrofik dan autotrofik. Konsorsium mikroba ini, yang melekat pada rizopalan, mensekresikan enzim ekstraseluler yang mendegradasi senyawa organik dan mengubah bahan terlarut menjadi bentuk biomassa atau gas, sehingga mengurangi konsentrasi TDS dalam efluen.

Sistem perakaran tumbuhan akuatik berfungsi sebagai substrat bagi pertumbuhan mikroba yang mempercepat degradasi organik dan presipitasi mineral (Kustiyaningsih et al. 2020). Dalam studi ini, penurunan TDS yang signifikan pada perlakuan P2 dan P3 menunjukkan adanya interaksi aktif antara akar tumbuhan dan komunitas mikroba. Peningkatan biomassa *I. aquatica* kemungkinan menstimulasi aktivitas enzimatis yang lebih besar, seperti fosfatase dan nitrat reduktase, yang meningkatkan penyerapan dan transformasi ion nutrisi.

Lebih lanjut, penurunan TDS sejalan dengan stabilitas suhu yang teramati (25-26°C), yang memberikan kondisi yang mendukung metabolisme mikroba dan reaksi enzimatik. Hubungan antara homeostasis suhu dan sinergi akar-mikroba ini menunjukkan bahwa efisiensi fitoremediasi pada perlakuan biomassa tinggi didorong oleh mekanisme fisiologis dan biokimia.

Singkatnya, penurunan TDS yang progresif di seluruh periode pengamatan menunjukkan bahwa *I. aquatica* secara efektif mengurangi polutan terlarut melalui penyerapan tanaman dan degradasi mikroba rizosfer secara gabungan. Bukti statistik mendukung bahwa biomassa tanaman yang lebih tinggi (P2–P3) secara signifikan meningkatkan kapasitas remediasi, memperkuat peran ganda bayam air sebagai biofilter dan substrat biokatalitik dalam sistem pengolahan air limbah.



Gambar 4. *Electrical Conductivity (EC)*

Nilai konduktivitas (EC) menunjukkan tren penurunan yang konsisten sepanjang percobaan. Pada hari ke-1, nilai EC tertinggi tercatat sebesar 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P1–3), sementara nilai terendah tercatat sebesar 402 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P3–2) pada hari ke-16. Uji ANOVA satu arah menunjukkan perbedaan yang signifikan antara perlakuan dan hari pengamatan ($F = 23,14$, $p < 0,001$), yang mengonfirmasi bahwa variasi biomassa *Ipomoea aquatica* berpengaruh signifikan terhadap penurunan EC. Uji Tukey post-hoc selanjutnya mengungkapkan bahwa penurunan paling nyata terjadi pada perlakuan P2 (150 g) dan P3 (200 g) setelah hari ke-8 ($p < 0,01$).

Penurunan EC ini terutama disebabkan oleh penyerapan ion terlarut seperti K^+ , Na^+ , dan Ca^{2+} oleh akar tanaman. Sebagaimana dikemukakan, nilai EC berkorelasi langsung dengan konsentrasi padatan terlarut; dengan demikian, penurunan kandungan ion menghasilkan EC yang lebih rendah (Wibowo et al. 2017). Pola yang diamati menunjukkan bahwa biomassa tanaman yang lebih tinggi menghasilkan luas permukaan akar yang lebih besar, sehingga meningkatkan penyerapan ion dan kolonisasi mikroba. Jaringan akar *I. aquatica* yang padat tidak hanya bertindak sebagai filter fisik tetapi juga sebagai antarmuka biokimia, tempat mikroorganisme rizosfer memfasilitasi biotransformasi dan presipitasi polutan ionik.

Dari sudut pandang fisiologis, peningkatan biomassa kemungkinan meningkatkan aktivitas enzimatik akar, khususnya enzim nitrat reduktase, fosfatase, dan oksidase, yang berperan dalam penyerapan hara dan reaksi redoks pada antarmuka akar-air. Enzim-enzim ini mempercepat asimilasi senyawa nitrogen dan fosfor, sehingga mengurangi beban ionik di media sekitarnya. Konsorsium mikroba di dalam rizosfer yang terdiri dari bakteri nitrifikasi, denitrifikasi, dan pelarut fosfat juga berkontribusi pada konversi dan

stabilisasi ion, sehingga menurunkan EC secara keseluruhan. Kepadatan tanaman yang lebih tinggi meningkatkan kapasitas penyerapan hara tanaman karena interaksi metabolisme dan mikroba yang lebih intensif (Rahayuningtyas et al. 2018). Hal ini konsisten dengan penelitian ini, di mana perlakuan dengan biomassa yang lebih besar (P2–P3) menunjukkan penurunan nilai EC yang signifikan secara statistik dibandingkan dengan kontrol ($p < 0,01$).

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa *Ipomoea aquatica* sangat efektif dalam menurunkan nilai EC dalam air limbah domestik, terutama melalui proses sinergis penyerapan ion, bioremediasi berbantuan mikroba, dan metabolisme enzimatis. Sehubungan dengan penurunan nilai TDS, penurunan nilai EC semakin mendukung peran *Ipomoea aquatica* sebagai fitoremediator dengan fungsi ganda berfungsi sebagai penyerap ion langsung dan sebagai substrat biologis yang meningkatkan aktivitas mikroba. Stabilitas pH dan suhu yang teramati selama percobaan melengkapi efisiensi mekanisme ini, sehingga menciptakan lingkungan yang optimal untuk fitoremediasi. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (Hapsari et al. 2018; Ryanita et al. 2020), penelitian ini memperkenalkan pendekatan baru dengan mengkuantifikasi pengaruh variasi biomassa terhadap efisiensi penghilangan ion. Temuan ini berkontribusi pada optimalisasi sistem pengolahan berbasis tanaman, menunjukkan bahwa kisaran biomassa 150-200 g memberikan keseimbangan terbaik antara kapasitas fisiologis tanaman dan aktivitas mikroba untuk remediasi air limbah domestik.

Biomassa Tanaman Kangkung Air

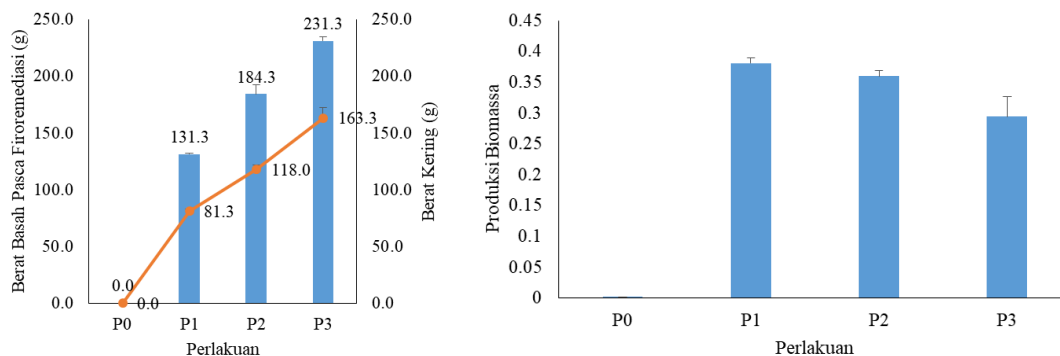


Gambar 5. Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) setelah Fitoremediasi

Produksi biomassa *Ipomoea aquatica* meningkat secara signifikan setelah proses fitoremediasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Nilai produksi rata-rata (Gambar 6) menunjukkan bahwa hasil biomassa tertinggi diperoleh pada perlakuan P2 (150 g) dengan $0,36 \pm 0,01$ g/g, diikuti oleh P1 (100 g) dengan $0,38 \pm 0,01$ g/g dan P3 (200 g) dengan $0,29 \pm 0,03$ g/g, sedangkan kontrol (P0) tidak menunjukkan pertumbuhan (0 g/g).

Uji Kruskal Wallis mengonfirmasi perbedaan signifikan antar perlakuan ($H = 10,57$, $p = 0,0143$), yang menunjukkan bahwa variasi biomassa awal berpengaruh signifikan terhadap akumulasi biomassa akhir. Perbandingan berpasangan menggunakan uji Mann–Whitney menunjukkan perbedaan yang marginal namun bermakna secara biologis ($p \approx 0,06–0,08$), dengan kontras terkuat antara P2 dan P3.

Peningkatan bobot basah menunjukkan bahwa pertumbuhan terjadi pada kondisi lingkungan yang menguntungkan terutama suhu stabil ($28–30\text{ }^{\circ}\text{C}$) dan pH ($6,8–7,2$) yang tetap berada dalam kisaran optimal untuk makrofita akuatik (Susanto, 2021). Secara anatomi, *I. aquatica* memiliki akar serabut di setiap ruasnya, yang memungkinkan penyerapan polutan terlarut secara efisien, sementara struktur batangnya yang aerenkim mendorong kapilaritas dan difusi oksigen yang mendukung respirasi akar bahkan di media air limbah (Alya dan Haryanto 2022).



Gambar 6. Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) setelah Fitoremediasi

Biomassa awal yang lebih tinggi (P2 dan P3) menghasilkan area kontak akar-air yang lebih luas, sehingga meningkatkan penyerapan ion dan kolonisasi mikroba di rizosfer. Mekanisme ini sejalan dengan penurunan yang terjadi bersamaan pada TDS dan EC, menunjukkan bahwa penyerapan hara oleh akar secara langsung bertanggung jawab atas penurunan konsentrasi ionik dalam medium. Senyawa yang diserap terutama nitrat (NO_3^-), amonium (NH_4^+), dan fosfat (PO_4^{3-}) berfungsi sebagai hara esensial untuk pertumbuhan (Hasan, 2017).

Secara mekanistik, peningkatan biomassa mencerminkan peningkatan aktivitas enzimatis pada akar tanaman. Enzim seperti nitrat reduktase, fosfatase, dan oksidase memediasi asimilasi hara dan reaksi redoks, memfasilitasi konversi ion anorganik terlarut menjadi jaringan organik tanaman. Bersama dengan itu, mikroba rizosfer (bakteri nitrifikasi dan pelarut fosfat) melengkapi proses ini dengan memineralisasi bahan organik dan menstabilkan ion, mengurangi nilai EC dan meningkatkan kualitas air. Dengan demikian, pertumbuhan biomassa tidak hanya menandakan keberhasilan fotosintesis tetapi juga mengukur efisiensi fitoremediasi.

Temuan ini menguatkan bahwa peningkatan biomassa mencerminkan kinerja fotosintesis dan asimilasi hara. Demikian pula bahwa penyerapan hara yang optimal meningkatkan sintesis klorofil dan akumulasi berat kering, keduanya merupakan indikator penghilangan polutan yang efektif (Fauziyah, Mulyadi, dan Rosariawari n.d.). Dalam studi ini, korelasi positif yang kuat antara peningkatan biomassa dan penurunan

nilai EC/TDS mendukung hipotesis bahwa produksi biomassa dan peningkatan kualitas air saling bergantung.

Namun demikian, penurunan biomassa basah diamati setelah hari ke-18, terutama karena infestasi hama (siput, ulat, kutu daun, dan kumbang buncis) yang menyebabkan klorosis dan nekrosis daun (Gambar 7). Kerusakan tersebut dapat diperparah oleh akumulasi logam berat dalam jaringan tanaman, yang mengganggu sintesis klorofil dan integritas enzimatis (Elawati, Novri Y. Kandowanko 2018). Stresor ini kemungkinan besar menghambat fotosintesis dan pertumbuhan, menunjukkan bahwa faktor biotik dan kimia eksternal dapat menghambat efisiensi jangka panjang sistem fitoremediasi.



Gambar 7. Hama pada Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*)

Simpulannya, peningkatan biomassa *I. aquatica* selama fitoremediasi menunjukkan asimilasi hara dan penyerapan polutan yang aktif, sementara penurunan selanjutnya menunjukkan keterbatasan ekologis sistem. Oleh karena itu, menjaga kesehatan tanaman dan mengendalikan stresor biotik sangat penting untuk mempertahankan produktivitas biomassa dan memastikan peningkatan kualitas air yang konsisten.

KESIMPULAN DAN SARAN

Studi ini menunjukkan bahwa *Ipomoea aquatica* efektif meningkatkan kualitas air limbah domestik melalui proses fitoremediasi. Variasi biomassa awal secara signifikan memengaruhi pertumbuhan tanaman dan efisiensi penghilangan polutan. Perlakuan dengan biomassa yang lebih tinggi (150–200 g) menghasilkan penurunan pH, TDS, dan EC terbesar, sekaligus menunjukkan peningkatan biomassa tanaman tertinggi. Analisis statistik mengonfirmasi perbedaan yang signifikan antar perlakuan (ANOVA, $p < 0,05$; Kruskal Wallis, $p = 0,0143$), yang menunjukkan bahwa beban biomassa merupakan penentu utama kinerja remediasi. Temuan ini menunjukkan bahwa *Ipomoea aquatica* meningkatkan pemurnian air melalui mekanisme biokimia dan mikroba terpadu termasuk aktivitas enzimatis akar (misalnya, nitrat reduktase, fosfatase) dan interaksi mikroba rizosfer yang memfasilitasi penyerapan hara dan transformasi polutan. Namun, infestasi hama dan kemungkinan akumulasi logam berat dapat membatasi stabilitas pertumbuhan biomassa jangka panjang (Zakariah et al. 2023). Secara keseluruhan, *I.*

Rinda Indrawati, et al, Efektivitas Variasi

aquatica terbukti merupakan biofilter yang menjanjikan, ramah lingkungan, dan berbiaya rendah untuk pengolahan air limbah domestik, dengan kinerja optimal dicapai pada tingkat biomassa sedang (150–200 g). Penelitian di masa mendatang sebaiknya berfokus pada perpanjangan durasi operasional, pengelolaan stresor biotik, dan kuantifikasi jalur penyerapan nutrisi untuk meningkatkan keandalan aplikasi skala besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Alya, Florensi, dan Haryanto. 2022. “Pengaruh Waktu Kontak dan Bobot Biomassa Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) Terhadap Penurunan Kadar Total Suspended Solid (TSS) Air Limbah Rumah Sakit dengan Metode Fitoremediasi.” *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)* 4(2):1–8. doi: 10.35970/JPPL.V4I2.1469.
- Elawati, Novri Y. Kandowangko, Djuna Lamondo. 2018. “EFISIENSI PENYERAPAN Logam Berat Tembaga (Cu) oleh Tumbuhan Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk) dengan Waktu Kontak yang Berbeda.” *Radial* 6(2):162–66. doi: 10.37971/RADIAL.V6I2.175.
- Fauziyah, Farah Andina, Edy Mulyadi, dan Firra Rosariawari. n.d. “Seminar Nasional (ESEC) 2020 Penyisihan Logam Terlarut Cr pada Limbah Batik secara Fitoremediasi dengan Menggunakan Tanaman Kangkung Air.”
- Hamidah, Laily Noer, dan Atik Widiyanti. 2021. “Phytoremediation of Leachate Processing at Griya Mulya Landfill, Sidoarjo, Indonesia with Continuous System.” *Jurnal IPTEK* 25(2):103–8. doi: 10.31284/J.IPTEK.2021.V25I2.1809.
- Hapsari, Juwita Eka, Choirul Amri, Adib Suyanto, Jurusan Kesehatan Lingkungan, Kemenkes Yogyakarta, dan Jl Tatabumi. 2018. “Efektivitas Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) sebagai Fitoremediasi dalam Menurunkan Kadar Timbal (Pb) Air Limbah Batik.” *Sanitasi: Jurnal Kesehatan Lingkungan* 9(4):172–77. doi: 10.29238/SANITASI.V9I4.770.
- Hasan, Zahidah, Y. Andriani, Y. Dhahiyat, A. Sahidin, dan M. R. Rubiansyah. 2017. “Growth of different strains of three fishes and water spinach (*Ipomoea reptans* Poir) based aquaponic.” *Jurnal Iktiologi Indonesia* 17(2):175–84. doi: 10.32491/JII.V17I2.357.
- Imaniar, Anisa Dian, Oto Prasadi, Ilma Fadlilah, Kata Kunci, Air Limbah, Domestik ;. Fitoremediasi, ; Kayu, dan Apu ;. Kangkung Air. 2022. “Efektivitas Kayu Apu Dan Kangkung Air Untuk Menurunkan Kadar COD, BOD, Dan Amonia Pada Air Limbah Domestik.” *Sanitasi: Jurnal Kesehatan Lingkungan* 15(2):105–12. doi: 10.29238/SANITASI.V15I2.1425.
- Al Kholif, Muhammad, Miftakhul Rohmah, Indah Nurhayati, Djoko Adi Walujo, dan Dan Dian Majid. 2022. “Penurunan Beban Pencemar Rumah Potong Hewan (RPH) Menggunakan Sistem Biofilter Anaerob.” *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan* 14(2):100–113. doi: 10.20885/JSTL.VOL14.ISS2.ART1.
- Kustiyaningsih, Elisa, Rony Irawanto, Negeri Surabaya, Program Doktor, Ilmu Lingkungan, Pascasarjana Universitas, dan Brawijaya *. Penulis. 2020. “Pengukuran Total Dissolved Solid (TDS) dalam Fitoremediasi Deterjen dengan Tumbuhan *Sagittaria lancifolia*.” *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* 7(1):143–48. doi: 10.21776/UB.JTSL.2020.007.1.18.

- Lukman, Renaldo Rasawula, Yunita Eka Pratiwi, dan Rosdiana Rosdiana. 2021. "Evaluasi Teknik Operasional dari Kinerja Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja di Kota Kendari." *Jurnal TELUK: Teknik Lingkungan UM Kendari* 1(1):1–7. doi: 10.51454/TELUK.V1I1.497.
- Ningrum, Susanti Oktavia. 2018. "Analisis Kualitas Badan Air dan Kualitas Air Sumur di Sekitar Pabrik Gula Rejo Agung Baru Kota Madiun ranking found for 'Teknosains: Media Informasi Sains dan Teknologi.'" *Jurnal Kesehatan Lingkungan* 10(1):1–12. doi: 10.24252/TEKNOSAINS.V18I3.47348.
- Rahayuningtyas, Indah, Nur Endah Wahyuningsih, Budiyo Bagian Kesehatan Lingkungan, dan Fakultas Kesehatan Masyarakat. 2018. "Pengaruh Variasi Lama Waktu Kontak dan Berat Tanaman Apu-Apu (*Pistia stratiotes* L.) terhadap Kadar Timbal pada Irigasi Pertanian." *Jurnal Kesehatan Masyarakat* 6(6):166–74. doi: 10.14710/JKM.V6I6.22172.
- Rosyadi, Hilmi Irham, dan Munawar Ali. 2020. "Biomonitoring Makrozoobentos sebagai Indikator Kualitas Air Sungai." *Envirotek : Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan* 12(1):11–18. doi: 10.33005/ENVIROTEK.V12I1.43.
- Ryanita, Pande Kadek Yusika, I. Nyoman Arsana, dan Ni Ketut Ayu Juliasih. 2020. "Fitoremediasi dengan Tanaman Air untuk Mengolah Air Limbah Domestik." *Jurnal Widya Biologi* 11(2):76–89. doi: 10.32795/WIDYABIOLOGI.V11I2.1032.
- Sardi, Sardi, dan Hadi Yuwono. 2021. "Kajian Pengolahan Limbah Cair Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) pada parameter TDS, pH, Colitinja, Minyak dan Lemak (Studi Kasus IPLT Balai Pengelolaan Infrastruktur Air Limbah dan Air Minum Perkotaan Di Cepit, Pendowoharjo, Sewon, Bantul Yogya." *Rancang Bangun Teknik Sipil* 8(1):11.
- Sulistia, Susi, dan Alifya Cahaya Septisya. 2020. "Analysis of Domestic Wastewater Quality in Office Space." *Jurnal Rekayasa Lingkungan* 12(1):41–57.
- Susanto, Adelia Dwi, Deandrasari Malikha Gresiyanti, Catherine Berliana Wijaya, Muhammad Zakky Mubarak, Fida Rachmadiarti, Herlina Fitrihidajati, Irma Leilani Eka Putri, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya, Universitas Negeri Padang Jl Ketintang, Kec Gayungan, Kota Surabaya, dan Jawa Timur. 2021. "Kemampuan Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) sebagai Agen Fitoremediasi Linear Alkybenzene Sulphonate (LAS) Deterjen." *Prosiding Seminar Nasional Biologi* 1(2):845–56. doi: 10.24036/PROSEMNASBIO/VOL1/196.
- Wibowo, Ario Wahyu, Agus Suryanto, Dan Agung, Nugroho Jurusan, Budidaya Pertanian, dan Fakultas Pertanian. 2017. "Kajian Pemberian Berbagai Dosis Larutan Nutrisi dan Media Tanam Secara Hidroponik Sistem Substrat pada Tanaman Kailan (*Brassica oleracea* l.) The study of Addition Various Dosage of Nutrient Solution and Growing Media with Hydroponic Susbstrate System to K." *Jurnal Produksi Tanaman* 5(7):1119–25.
- Widiyanti, Atik, Dan Laily, dan Noer Hamidah. 2021. "Pengolahan Limbah Cair Bekas Pencucian Ikan Menggunakan Scirpus grossus." *Journal of Research and Technology* 7(1):61–70. doi: 10.55732/JRT.V7I1.424.
- Zakariah, Mutmainnah, Muh Ruslan Umar Dapertemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas KM Hasanuddin Jl Perintis Kemerdekaan No, Tamalanrea Indah, Kec Tamalanrea, Kota makassar, dan Sulawesi Selatan. 2023. "Fitoremediasi Tanaman Hias Bunga Impatiens balsamina L., DAN Zinnia elegans

(Jacq.) Kuntze terhadap Polutan Merkuri pada Tanah: -." Bioma : Jurnal Biologi Makassar 8(2):1–10.