

Pengaruh Media Tanam Dan Jenis Tanaman Pada *Constructed Wetland* Untuk Pengolahan Limbah Industri Tahu

Arini Sayyidah Achmad, Aussie Amalia*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: aussieamalia.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 30 Oktober 2025

Disetujui: 4 November 2024

Abstract

Waste treatment is the main challenge in the tofu industry, especially for household-scale producers. As a solution, constructed wetland is an affordable, efficient, and easy-to-operate waste treatment method. The tofu industrial wastewater used in this study came from one of the home industries in the park, Sidoarjo. In this study, a variety of planting media and plant types were used. The planting media used are silica sand and gravel; biochar and mixed soil; as well as a combination of silica sand, soil biochar mixture, and gravel. And the plants used in this study are *Cyperus Papyrus* and *Cyperus Rotundus*. The purpose of this study is to determine the influence of planting media and the type of plants that will be used in the CW system. All planting media used showed the ability to reduce TSS, COD, and BOD parameters. Although there is a decrease in parameters only with the media, the average efficiency of parameter reduction with plant use has a greater value with a difference of 20% to 25%. For the comparison of the two types of plants, it can be seen that the yield of *Cyperus Rotundus* is larger, there is a difference in efficiency ranging from 2.5% to 3% with *Cyperus Papyrus* plant.

Keywords: *constructed wetland, silica sand, gravels, biochar, cyperus papyrus, cyperus rotundus*

Abstrak

Pengolahan limbah menjadi tantangan utama dalam industri tahu, khususnya bagi produsen skala rumah tangga. Sebagai solusi, *constructed wetland* merupakan metode pengolahan limbah yang terjangkau, efisien, dan mudah dioperasikan. Air limbah industri tahu yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari salah satu industri rumahan di Taman, Sidoarjo. Pada penelitian ini menggunakan variasi media tanam dan jenis tanaman. Media Tanam yang digunakan yaitu pasir silika dan kerikil; biochar dan tanah yang dicampur; serta kombinasi pasir silika, campuran biochar tanah, dan kerikil. Dan tanaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Cyperus Papyrus* dan *Cyperus Rotundus*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari media tanam serta jenis tanaman yang akan digunakan dalam sistem CW. Semua media tanam yang digunakan menunjukkan kemampuan dalam menurunkan parameter TSS, COD, dan BOD. Meskipun terdapat penurunan parameter hanya dengan media, rata-rata efisiensi penurunan parameter dengan penggunaan tanaman memiliki nilai lebih besar dengan perbedaan sebesar 20% hingga 25%. Untuk perbandingan kedua jenis tanaman terlihat hasil tanaman *Cyperus Rotundus* lebih besar terdapat perbedaan efisiensi berkisar antara 2,5% hingga 3% dengan tanaman *Cyperus Papyrus*.

Kata Kunci: *constructed wetland, pasir silika, kerikil, biochar, cyperus papyrus, cyperus rotundus*

1. Pendahuluan

Industri tahu berkontribusi pada pertumbuhan ekonomi masyarakat, namun limbahnya berpotensi merusak lingkungan. Dalam proses produksi tahu, bagian kedelai yang tidak berhasil diolah menjadi produk akhir akan berakhir sebagai limbah, terutama bagian yang cair. Limbah cair ini berasal dari berbagai tahap seperti pembersihan kedelai dan peralatan, perendaman, serta pencetakan. Jika langsung membuang limbah ke perairan, limbah ini akan menimbulkan bau tidak sedap dan pencemaran [8]. Pengolahan limbah menjadi tantangan utama dalam industri tahu, khususnya bagi produsen skala rumah tangga yang memiliki keterbatasan dana. Mereka kesulitan menerapkan sistem pengolahan limbah yang ekonomis dan efektif, sehingga sering kali limbah dibuang langsung ke sumber air.

Sebagai solusi, *constructed wetland* adalah metode mengolah limbah yang terjangkau, efisien, dan mudah untuk pengoperasian. Sistem ini sama dengan proses alami yang terjadi di lahan basah seperti rawa dan laguna [5]. Prinsip alamiah pada *constructed wetland* (lahan basah buatan) mengacu pada proses-proses alami yang terjadi di ekosistem lahan basah dan direplikasi dalam sistem buatan untuk pengolahan air limbah. Prinsip alamiah yang diterapkan dalam sistem *constructed wetland* adalah filtrasi fisik, sedimentasi, adsorpsi, dan dekomposisi mikroba.

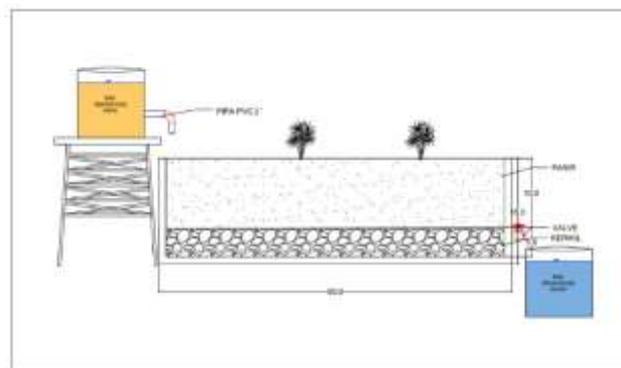
Tanaman memainkan peran penting dalam proses penguraian zat pencemar pada sistem *constructed wetland*. Penggunaan jenis tanaman yang berbeda menghasilkan variasi dalam kualitas air hasil pengolahan (effluent) pada sistem ini [9]. Dalam pemilihan tanaman, perlu mempertimbangkan kemampuannya untuk bertahan terhadap toksisitas dan beradaptasi dengan perubahan komposisi air limbah yang masuk ke sistem pengolahan [3].

Banyak sekali jenis-jenis tanaman yang dapat digunakan dalam sistem *Constructed Wetland*. Pada penelitian ini, akan digunakan dua jenis tanaman yang berbeda untuk dibandingkan. Kedua jenis tanaman tersebut adalah *Cyperus Papyrus* (Papyrus) dan *Cyperus Rotundus* (Rumput Teki). Sebagai tanaman air yang hidup di daerah lahan basah tropis dan subtropis, *Cyperus papyrus* memiliki keistimewaan berupa kemampuan menghasilkan biomassa dalam jumlah besar. Karakteristik ini menjadikannya kandidat yang cocok untuk diaplikasikan dalam sistem *constructed wetland* [15]. Sementara itu, *Cyperus rotundus* dikenal memiliki berbagai kelebihan yang menguntungkan. Tanaman ini dilengkapi dengan sistem akar serabut yang melimpah dan kemampuan penyerapan nutrisi yang superior dibandingkan tanaman lainnya. Selain itu, tanaman ini juga dikenal sangat adaptif, mudah tumbuh di berbagai kondisi, tidak memerlukan perawatan khusus, serta memiliki ketahanan tinggi terhadap berbagai faktor eksternal [11].

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan variasi media tanam yang akan digunakan yaitu: pasir silika dan kerikil seperti **Gambar 1**, biochar dan tanah yang dicampur seperti pada **Gambar 2** serta kombinasi pasir silika, campuran biochar tanah, dan kerikil seperti pada **Gambar 3**. Dilakukan variasi ini agar mengetahui seberapa besar pengaruh media tersebut pada sistem CW. Selain itu, variasi juga dilakukan untuk jenis tanaman yang akan digunakan. Pada penelitian ini menggunakan *Cyperus Papyrus* dan *Cyperus Rotundus*.

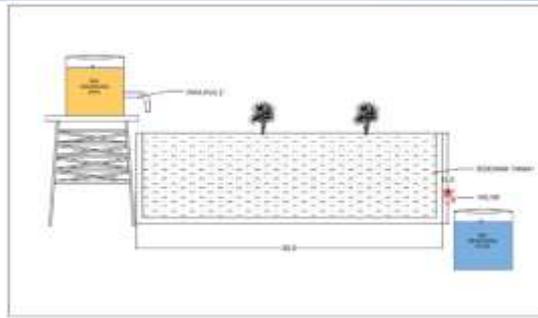
Total reaktor pada penelitian ini adalah sembilan (9). Dimana tiga reaktor kontrol tanpa menggunakan tanaman, dilakukan untuk mengetahui seberapa pengaruh media tanam yang digunakan pada CW sehingga dapat dibandingkan juga dengan sistem CW dengan tiga reaktor tanaman *Cyperus Papyrus* dan tiga reaktor tanaman *Cyperus Rotundus*. Ukuran reaktor yang digunakan adalah 50 cm x 35 cm x 15 cm.



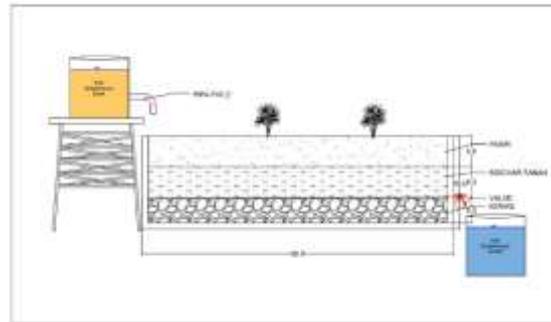
Gambar 1. Reaktor Pasir-Kerikil

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh dari media tanam serta jenis tanaman yang akan digunakan dalam sistem CW. Sebelum dilakukan proses penelitian, untuk adaptasi tanaman di lingkungan yang baru, maka dilakukan aklimatisasi dahulu pada tanaman selama 7 hari. Dimana penggunaan air limbah diatur untuk adaptasi tanaman di lingkungan yang baru. Hari pertama menggunakan 25% air limbah sisanya air PDAM, hari kedua hingga keempat menggunakan 50% air limbah sisanya air PDAM, dan hari kelima hingga ketujuh menggunakan 100% air limbah. Keberhasilan proses aklimatisasi dapat diamati melalui perubahan-perubahan yang terjadi pada struktur fisik tanaman, pada bagian daun, batang, serta sistem perakaran.

Setelah aklimatisasi selesai, dilakukan proses *Constructed Wetland*, dimana air limbah tahu dari bak penampung dialirkan ke dalam sistem dengan memperhatikan kondisi optimal suhu dan pH yang optimal. suhu optimal untuk kinerja CW adalah 20-30°C [7]. Sistem *Constructed Wetland* (CW) dilakukan dengan sistem *batch*. Waktu Tinggal yang digunakan pada penelitian ini adalah 2 hari. Lalu diambil data lagi di hari ke-3 dan keempat. Kemudian akan dilakukan untuk analisa kadar TSS, COD, dan BOD₅. Dan pada tanaman akan dilakukan analisis perkembangan tanaman selama proses penelitian serta akan dilakukan analisis berat basah dan berat kering pada tanaman setelah selesai proses penelitian.



Gambar 2. Reaktor Campuran Biochar dan Tanah



Gambar 3. Reaktor Kombinasi

3. Hasil dan Pembahasan

Aklimatisasi Tanaman

Selama fase ini, tanaman membutuhkan waktu adaptasi terhadap berbagai aspek seperti media pertumbuhan, tingkat kelembaban, dan ketersediaan nutrisi dalam sistem. Tanaman juga perlu beradaptasi dengan kondisi oksigen terbatas dan aerasi dalam sistem basah, yang seringkali berbeda signifikan dari kondisi alaminya sehingga dapat berfungsi optimal dalam proses penyerapan polutan dan pemurnian air. Keberhasilan fase aklimatisasi akan menghasilkan tanaman yang tahan lama dan siap melaksanakan perannya sebagai biofilter dalam sistem, yang pada akhirnya menjamin efisiensi dan keberlanjutan proses pengolahan air.

Pada tanaman *Cyperus Papyrus* terjadi peningkatan tinggi pada tanaman terjadi pada aklimatisasi hari ke 7 pada reaktor dengan media pasir yaitu sebesar 3-6 cm di beberapa batang serta pada reaktor dengan media pasir dan biochar yaitu sebesar 3 cm. Untuk jumlah batang yang memiliki daun mulai terjadi penambahan sedikit demi sedikit di hari ketiga dan ketujuh. Meskipun jumlah batang berdaun cenderung stabil, terdapat sedikit peningkatan pada batang yang memiliki daun di beberapa tanaman. Untuk *Cyperus Papyrus* pada sistem ini saat masa aklimatisasi berwarna hijau dan dalam kondisi yang segar selama tujuh hari.

Tanaman lainnya yang digunakan dalam sistem ini adalah *Cyperus Rotundus*. terjadi penambahan tinggi pada beberapa tanaman di hari kelima masa aklimatisasi. Dan tidak terjadi penambahan untuk jumlah daun setiap tanamannya. Selain itu, pada hari kelima juga terjadi perubahan warna menjadi kuning di beberapa bagian tanaman. Ini dapat disebabkan karena proses aklimatisasi memerlukan waktu. Jika kondisi lingkungan baru (seperti suhu, kelembapan, cahaya, dan pH tanah) sangat berbeda dari habitat asal tanaman, tanaman mungkin kesulitan untuk beradaptasi.

Analisa Kadar TSS

Limbah cair industri tahu juga mengandung zat tersuspensi yang mengambang dan tidak larut dalam air. Kandungan zat tersuspensi ini berkorelasi langsung dengan tingkat kekeruhan air. Kekeruhan terjadi akibat adanya zat organik dan anorganik yang tersuspensi dan terlarut dalam limbah. Semakin banyak zat tersuspensi, semakin tinggi tingkat kekeruhan air [1]. Berikut adalah hasil uji TSS setelah dilakukan proses penelitian.

Tabel 1. Hasil Uji TSS

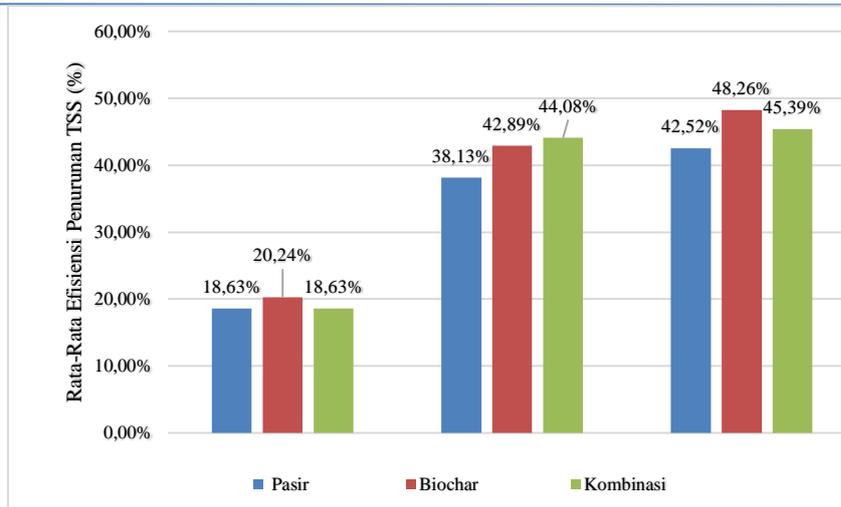
Media Tanam	Waktu Tinggal (hari)	Kontrol				<i>Cyperus Papyrus</i>				<i>Cyperus Rotundus</i>			
		Nilai TSS Inlet (mg/L)	Nilai TSS Outlet (mg/L)	Efisiensi Penurunan TSS (%)	Rata- Rata Efisiensi Penurunan TSS (%)	Nilai TSS Inlet (mg/L)	Nilai TSS Outlet (mg/L)	Efisiensi Penurunan TSS (%)	Rata- Rata Efisiensi Penurunan TSS (%)	Nilai TSS Inlet (mg/L)	Nilai TSS Outlet (mg/L)	Efisiensi Penurunan TSS (%)	Rata- Rata Efisiensi Penurunan TSS (%)
Pasir	2	165,5	140	15,41%	18,63%	112,06	72	35,75%	38,13%	185,56	108	41,80%	42,52%
	3		132	20,24%			68	39,32%			108	41,80%	
	4		132	20,24%			68	39,32%			104	43,95%	
Biochar	2		136	17,82%	20,24%		68	39,32%	42,89%		100	46,11%	48,26%
	3		132	20,24%			64	42,89%			96	48,26%	
	4		128	22,66%			60	46,46%			92	50,42%	
Kombinasi	2		136	17,82%	18,63%		64	42,89%	44,08%		104	43,95%	45,39%
	3		136	17,82%			64	42,89%			100	46,11%	
	4		132	20,24%			60	46,46%			100	46,11%	

Pada kontrol tanpa tanaman, media biochar menunjukkan rata-rata efisiensi penurunan TSS tertinggi sebesar 20,24%, diikuti oleh media pasir dan kombinasi dengan efisiensi yang sama, yaitu 18,63%. Penggunaan tanaman *Cyperus papyrus* meningkatkan efisiensi penurunan TSS secara signifikan. Pada media pasir, rata-rata efisiensi penurunan TSS dengan *Cyperus papyrus* mencapai 38,13%, sedangkan pada media biochar mencapai 42,89%. Media kombinasi menghasilkan efisiensi penurunan TSS sebesar 44,08% dengan tanaman *Cyperus papyrus*, menunjukkan bahwa media kombinasi sedikit lebih unggul dibandingkan pasir dan biochar tunggal dalam meningkatkan penurunan TSS. Sementara itu, pada perlakuan dengan *Cyperus rotundus*, efisiensi penurunan TSS lebih tinggi dibandingkan *Cyperus papyrus*. Rata-rata efisiensi penurunan TSS pada media pasir dengan *Cyperus rotundus* mencapai 42,52%. Pada media biochar, efisiensi penurunan TSS mencapai 48,26%, dan media kombinasi memberikan efisiensi penurunan sebesar 45,39%. Hasil ini menunjukkan bahwa *Cyperus rotundus* lebih efektif dalam menurunkan TSS dibandingkan *Cyperus papyrus*, terutama pada media biochar.

Pasir silika berfungsi sebagai media penyaring yang efisien. Dengan ukuran butiran yang kecil, pasir silika mampu menghilangkan partikel tersuspensi (TSS) dari air limbah. Ini membantu memperbaiki kualitas air yang diolah. Kerikil memberikan ruang yang diperlukan untuk aliran air, sehingga meningkatkan sirkulasi dan distribusi nutrisi dalam sistem. biochar merupakan limbah biomassa pertanian yang multifungsi untuk aplikasi pertanian dan lingkungan serta memiliki kemampuan untuk memulihkan kontaminan organik dan anorganik [5]. Struktur biochar yang sangat berpori dan luas permukaan yang tinggi menjadikannya material dengan kemampuan adsorpsi yang luar biasa. Partikel-partikel TSS, yang umumnya berupa material organik dan anorganik dalam suspensi, dapat dengan mudah terperangkap di dalam pori-pori biochar. Ukuran pori-pori biochar yang bervariasi memungkinkan biochar untuk bekerja sebagai filter fisik bagi partikel TSS. Ketika air melewati lapisan biochar, partikel-partikel besar dalam TSS dapat tersaring dan terjebak dalam struktur biochar.

Tanaman seperti *Cyperus papyrus* juga dapat meningkatkan proses biologis dan mikrobiologis di zona akar, yang berkontribusi pada penurunan TSS dalam sistem pengolahan air [16]. Akar tanaman juga membantu mengurangi kecepatan aliran air, memungkinkan lebih banyak partikel untuk mengendap. Struktur akar tanaman membentuk perangkap alami yang menyaring dan menahan partikel-partikel yang lebih besar, sehingga TSS dalam air menurun secara signifikan.

Secara keseluruhan dilihat dari **Gambar 4**, perlakuan dengan media biochar dan tanaman *Cyperus rotundus* menghasilkan efisiensi penurunan TSS tertinggi sebesar 48,26%, diikuti oleh kombinasi pasir-biochar dengan *Cyperus rotundus* yang mencapai 45,39%. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi media biochar dan spesies tanaman *Cyperus rotundus* sangat efektif dalam menurunkan nilai TSS.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Rata-Rata Efisiensi Penurunan TSS

Analisa Kadar COD

Chemical Oxygen Demand merupakan jumlah bahan organik dalam air yang dapat dioksidasi secara kimiawi menggunakan dikromat dalam kondisi asam. Nilai COD umumnya lebih tinggi dari BOD ultimate, meski keduanya bisa bernilai sama dalam kasus yang jarang terjadi. Hal ini dapat terjadi karena adanya zat organik seperti lignin yang sulit terurai secara biologis. Tingginya nilai COD juga dapat disebabkan oleh reaksi zat anorganik dengan dikromat [10]. Berikut adalah hasil uji COD pada penelitian ini.

Tabel 2. Hasil Uji COD

Media Tanam	Waktu Tinggal (hari)	Kontrol				Cyperus Papyrus				Cyperus Rotundus			
		Nilai COD Inlet (mg/L)	Nilai COD Outlet (mg/L)	Efisiensi Penurunan COD (%)	Rata-Rata Efisiensi Penurunan COD (%)	Nilai COD Inlet (mg/L)	Nilai COD Outlet (mg/L)	Efisiensi Penurunan COD (%)	Rata-Rata Efisiensi Penurunan COD (%)	Nilai COD Inlet (mg/L)	Nilai COD Outlet (mg/L)	Efisiensi Penurunan COD (%)	Rata-Rata Efisiensi Penurunan COD (%)
Pasir	2	701,15	479,23	31,65%	32,92%	613,8	280,22	54,35%	55,80%	788,5	332,80	57,79%	58,92%
	3		465,92	33,55%			266,88	56,52%			319,49	59,48%	
	4		465,92	33,55%			266,88	56,52%			319,49	59,48%	
Biochar	2		439,30	37,35%	38,61%		266,88	56,52%	57,97%		319,49	59,48%	60,04%
	3		425,98	39,24%			253,54	58,69%			319,49	59,48%	
	4		425,98	39,24%			253,54	58,69%			306,18	61,17%	
Kombinasi	2		439,30	37,35%	37,98%		280,22	54,35%	55,79%		332,80	57,79%	59,48%
	3		439,30	37,35%			266,88	56,50%			319,49	59,48%	
	4		425,98	39,24%			266,88	56,52%			306,18	61,17%	

Berdasarkan data yang diperoleh dari percobaan pada berbagai media tanam (pasir, biochar, dan kombinasi pasir-biochar) serta dua spesies tanaman, yaitu *Cyperus papyrus* dan *Cyperus rotundus*, ditemukan perbedaan efisiensi penurunan COD (Chemical Oxygen Demand) pada masing-masing perlakuan. Pada media pasir tanpa tanaman (kontrol), rata-rata efisiensi penurunan COD tercatat sebesar 32,92%, sementara pada media biochar dan kombinasi, masing-masing tercatat sebesar 38,61% dan 37,98%. Pada perlakuan menggunakan tanaman *Cyperus papyrus*, efisiensi penurunan COD pada media pasir mencapai rata-rata 55,80%, lebih tinggi dibandingkan kontrol. Perlakuan dengan biochar menunjukkan rata-rata efisiensi sebesar 57,97%, dan pada media kombinasi, efisiensi mencapai 55,79%. Hal ini menunjukkan bahwa *Cyperus papyrus* secara signifikan meningkatkan efisiensi penurunan COD pada semua media tanam.

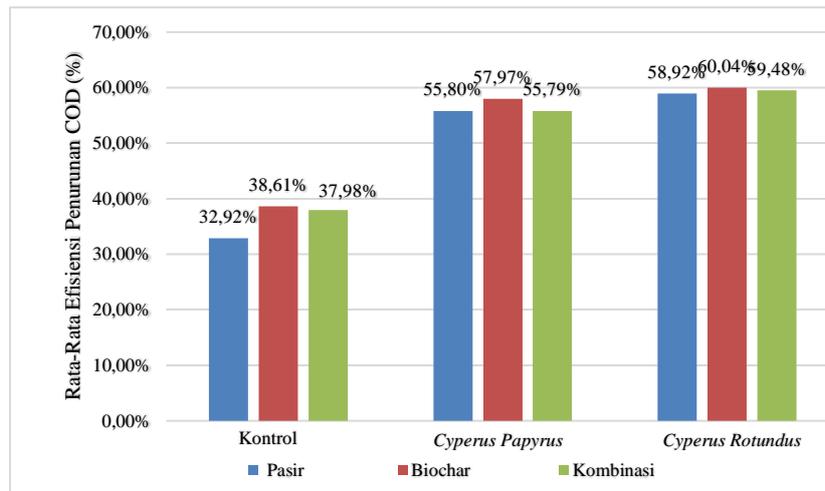
Media tanam menyediakan permukaan luas yang memungkinkan adsorpsi bahan organik terlarut, sehingga mengurangi COD. Di permukaan ini, mikroorganisme juga tumbuh dan menguraikan bahan organik. Mikroorganisme yang menempel pada media tanam mampu mendegradasi senyawa organik kompleks menjadi senyawa sederhana melalui proses aerobik dan anaerobik, sehingga mengurangi kadar COD. Selain itu, Media tanam dapat menyerap atau menahan bahan organik terlarut dalam waktu lebih lama, memberikan lebih banyak kesempatan bagi mikroorganisme untuk mendegradasinya. Hal ini mengakibatkan penurunan COD secara bertahap.

Cyperus Papyrus mampu meningkatkan efisiensi penurunan COD dalam sistem CW. Mereka menemukan bahwa akar papirus menyediakan zona transisi antara kondisi aerobik dan anaerobik yang

mendukung proses degradasi senyawa organik yang beragam. Penurunan COD terjadi melalui kombinasi proses aerobik di sekitar akar dan proses anaerobik di lapisan yang lebih dalam dari substrat, sehingga meningkatkan kapasitas penguraian senyawa organik [13].

Pada perlakuan menggunakan tanaman *Cyperus rotundus*, efisiensi penurunan COD menunjukkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan *Cyperus papyrus*. Pada media pasir, rata-rata efisiensi penurunan COD mencapai 58,92%, sedangkan pada biochar dan kombinasi masing-masing mencapai 60,04% dan 59,48%. Hasil ini menunjukkan bahwa *Cyperus rotundus* memiliki kemampuan penurunan COD yang lebih baik, terutama pada media biochar.

Penurunan konsentrasi COD terjadi disebabkan adanya proses adaptasi dari tanaman *Cyperus Rotundus* yang mampu memberikan suplai oksigen ke dalam air limbah hingga menaikkan oksigen terlarut dan menurunkan nilai COD. Penurunan konsentrasi COD pada reaktor terjadi akibat adanya penguraian bahan organik yang dilakukan oleh bakteri *Rhizosphere* yang berada pada akar rumput teki (*Cyperus Rotundus*) kemudian dimanfaatkan tanaman untuk proses fotosintesis [12].



Gambar 3. Grafik Perbandingan Rata-Rata Efisiensi Penurunan COD

Secara keseluruhan, perlakuan media biochar dengan tanaman *Cyperus rotundus* menunjukkan efisiensi penurunan COD tertinggi, yaitu rata-rata 60,04%, diikuti oleh kombinasi biochar-pasir dengan *Cyperus rotundus* sebesar 59,48%.

Analisa Kadar BOD

BOD (Biochemical Oxygen Demand) adalah indikator yang mengukur jumlah oksigen yang diperlukan mikroorganisme untuk mengurai bahan organik terlarut dalam air. Limbah industri tahu kaya akan kandungan bahan organik terlarut. Tingginya nilai BOD menunjukkan banyaknya senyawa organik yang harus diurai, sementara nilai BOD rendah mengindikasikan telah terjadinya penguraian sampah organik oleh mikroorganisme [1]. Berikut adalah hasil uji BOD setelah proses penelitian ini.

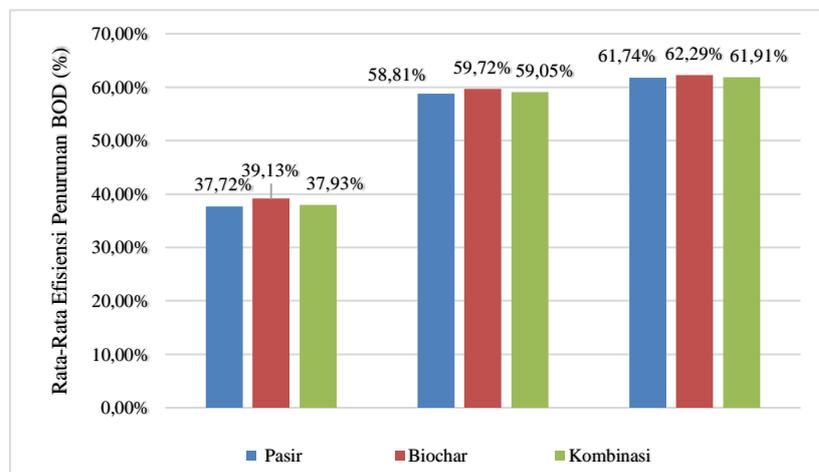
Tabel 3. Hasil Uji BOD

Media Tanam	Waktu Tinggal (hari)	Kontrol				<i>Cyperus Papyrus</i>				<i>Cyperus Rotundus</i>			
		Nilai BOD Inlet (mg/L)	Nilai BOD Outlet (mg/L)	Efisiensi Penurunan BOD	Rata-Rata Efisiensi Penurunan BOD	Nilai BOD Inlet (mg/L)	Nilai BOD Outlet (mg/L)	Efisiensi Penurunan BOD	Rata-Rata Efisiensi Penurunan BOD	Nilai BOD Inlet (mg/L)	Nilai BOD Outlet (mg/L)	Efisiensi Penurunan BOD	Rata-Rata Efisiensi Penurunan BOD
Pasir	2	355,2	222,68	37,31%	37,72%	302,5	125,06	58,66%	58,81%	405,8	155,87	61,59%	61,74%
	3		220,91	37,81%			124,94	58,70%			155,06	61,79%	
	4		220,07	38,04%			123,85	59,06%			154,87	61,84%	
Biochar	2		220,89	37,81%	39,13%		122,56	59,48%	59,72%		154,03	62,04%	62,29%
	3		216,78	38,97%			121,93	59,69%			152,95	62,31%	
	4		210,98	40,60%			121,01	60,00%			152,05	62,53%	
Kombinasi	2		221,87	37,54%	37,93%		124,68	58,78%	59,05%		155,09	61,78%	61,91%
	3		220,57	37,90%			123,92	59,03%			154,69	61,88%	
	4		218,97	38,35%			123,03	59,33%			153,93	62,07%	

Pada kontrol tanpa tanaman dengan media pasir, rata-rata efisiensi penurunan BOD mencapai 37,72%. Media biochar pada kontrol menunjukkan rata-rata efisiensi yang lebih tinggi sebesar 39,13%, sedangkan kombinasi pasir dan biochar memberikan efisiensi penurunan BOD sebesar 37,93%. Pada perlakuan dengan tanaman *Cyperus papyrus*, media pasir mencatat rata-rata efisiensi penurunan BOD sebesar 58,81%, sedangkan media biochar memberikan hasil yang lebih tinggi dengan rata-rata efisiensi sebesar 59,72%. Pada media kombinasi, *Cyperus papyrus* menghasilkan efisiensi penurunan BOD sebesar 59,05%. Hasil ini menunjukkan bahwa *Cyperus papyrus* meningkatkan efisiensi penurunan BOD pada semua media tanam dibandingkan dengan kontrol. Pada perlakuan dengan *Cyperus rotundus*, efisiensi penurunan BOD tercatat lebih tinggi dibandingkan *Cyperus papyrus*. Pada media pasir, rata-rata efisiensi penurunan BOD mencapai 61,74%, sedangkan media biochar dan kombinasi mencatat efisiensi rata-rata sebesar 62,29% dan 61,91%. Hasil ini mengindikasikan bahwa *Cyperus rotundus* lebih efektif dalam menurunkan BOD dibandingkan *Cyperus papyrus*, terutama pada media biochar.

Media tanam menyediakan permukaan bagi bakteri aerobik dan anaerobik untuk tumbuh. Mikroorganisme ini memecah bahan organik dalam air, yang berkontribusi pada penurunan BOD. Media tanam yang berbeda ketebalan atau ukuran dapat menciptakan lingkungan beroksigen (aerobik) di dekat permukaan dan lingkungan tanpa oksigen (anaerobik) di bagian dalam atau bawahnya. Zona aerobik mendukung mikroorganisme yang menguraikan bahan organik terlarut, yang secara langsung. Selain itu, media tanam memperlambat aliran air, memberikan waktu bagi mikroorganisme untuk melakukan dekomposisi bahan organik, sehingga BOD berkurang sebelum air keluar dari sistem

Salah satu mekanisme utama yang terjadi dalam sistem CW adalah fitoremediasi, di mana tanaman seperti *Cyperus Papyrus* berperan penting dalam menurunkan BOD. Tanaman ini memiliki sistem akar yang sangat luas dan berkembang baik dalam sistem air yang dangkal. Akar-akar tersebut menyediakan permukaan bagi mikroorganisme untuk berkembang, yang secara langsung terlibat dalam dekomposisi bahan organik di air limbah, sehingga menurunkan BOD [16]. Sistem perakaran rumput teki dalam reaktor berfungsi sebagai media kolonisasi bakteri. Selain itu, akar tanaman ini berperan dalam distribusi oksigen yang dihasilkan melalui proses fotosintesis pada bagian-bagian tanaman yang mengandung klorofil, seperti daun dan batang, menuju ke zona perakaran. [2]. Teknologi fitoremediasi memanfaatkan berbagai jenis tanaman untuk melakukan ekstraksi, degradasi, atau eliminasi zat pencemar dari media tanah dan air. Tanaman air, melalui proses fotosintesis, berperan dalam mengatur aliran air, melakukan pembersihan polutan melalui sedimentasi, serta melakukan penyerapan mineral dan partikel.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Rata-Rata Efisiensi Penurunan BOD

Secara keseluruhan dilihat dari **Gambar 6**, perlakuan dengan media biochar dan tanaman *Cyperus rotundus* menghasilkan efisiensi penurunan BOD tertinggi sebesar 62,29%, diikuti oleh kombinasi pasir-biochar dengan *Cyperus rotundus* yang mencapai 61,91%. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi media biochar dan spesies tanaman *Cyperus rotundus* sangat efektif dalam menurunkan nilai BOD.

Kondisi Fisik Tanaman Saat Proses Penelitian

Hasil analisis karakteristik fisik tanaman *Cyperus Papyrus* yang meliputi tinggi tanaman, jumlah batang pada tanaman, jumlah batang yang memiliki daun, serta kondisi warna tanaman. Setelah selesai masa aklimatisasi, dan mulai dalam proses penelitian, tanaman *Cyperus Papyrus* tidak terlihat bertambah untuk ketinggian dan jumlah batangnya. Namun, pada hari terakhir, terjadi penambahan jumlah batang

yang memiliki daun pada tanaman di media pasir. Kondisi tanaman *Cyperus Papyrus* diawal memiliki warna hijau dan dalam kondisi yang segar dan baik. Kondisi pada tanaman berubah di hari terakhir proses penelitian, dimana beberapa batangnya mulai menguning.

Selesai masa aklimatisasi, dan mulai dalam proses penelitian, tanaman *Cyperus Rotundus* terlihat bertambah untuk ketinggian tanamannya disalah satu tanaman pada reaktor pasir dan biochar sebesar 1 cm. Namun sampai proses penelitian selesai, tidak terjadi penambahan jumlah daun. Kondisi tanaman *Cyperus Rotundus* diawal memiliki warna hijau dengan kondisi yang cukup baik. Pada hari kelima proses aklimatisasi, tanaman terlihat mulai menguning. Dan pada hari pertama proses penelitian (hari kedelapan), tanaman terlihat mulai layu. Dan hari selanjutnya sampai akhir proses penelitian, tanaman mulai menguning lebih banyak.

Analisis Berat Basah dan Berat Kering Tanaman

Berat basah adalah massa keseluruhan suatu material, termasuk kandungan air di dalamnya. Pengukuran ini memiliki nilai penting dalam mengevaluasi kadar air tanaman yang berperan vital dalam proses fotosintesis dan metabolisme [4]. Sementara itu, berat kering adalah hasil pengukuran massa tanaman setelah melalui proses pengeringan pada temperatur spesifik hingga mencapai massa yang konstan. Parameter ini sering digunakan sebagai indikator biomassa dan estimasi hasil panen [6]. Berat kering merepresentasikan jumlah aktual material organik dalam tanaman setelah kandungan airnya dihilangkan sepenuhnya, sehingga dapat menjadi indikator yang akurat untuk mengukur pertumbuhan dan tingkat produktivitas tanaman [14].

Analisis berat basah dan berat kering pada tanaman dilakukan dengan tujuan yaitu mengetahui bagaimana adaptasi tanaman terhadap lingkungan serta potensi pertumbuhannya. Berikut hasil perhitungan berat basah dan berat kering untuk tanaman *Cyperus Papyrus* dan *Cyperus Rotundus*.

Tabel 4. Hasil Berat Basah dan Kering Tanaman

No.	Media	Nama Tanaman	Tanaman ke-	Berat Basah	Berat Kering	Kandungan Air (%)
1.	Pasir	<i>Cyperus Papyrus</i>	1	103	58	43,7
			2	110	65	40,9
2.	Biochar		1	105	59	43,8
			2	101	54	46,5
3.	Kombinasi		1	98	44	55,1
			2	102	57	44,1
4.	Pasir	<i>Cyperus Rotundus</i>	1	11	4	63,6
			2	32	20	37,5
5.	Biochar		1	25	13	48,0
			2	82	55	32,9
6.	Kombinasi		1	38	27	28,9
			2	76	51	32,9

Berdasarkan analisis berat basah dan berat kering, kedua tanaman menunjukkan karakteristik adaptasi yang berbeda. *Cyperus Papyrus* memperlihatkan kemampuan adaptasi yang baik dalam kondisi kering, ditandai dengan kandungan air yang rendah namun berat kering yang tinggi. Hal ini mengindikasikan efisiensi fotosintesis yang baik dan kemampuan mengakumulasi bahan organik yang optimal, menunjukkan pertumbuhan yang sehat meski dalam kondisi air terbatas. Sebaliknya, *Cyperus Rotundus* menunjukkan karakteristik yang berbeda dengan kandungan air yang lebih tinggi dibanding berat keringnya. Meskipun hal ini menandakan tanaman berada dalam kondisi sehat dan mendapat dukungan lingkungan yang memadai, nilai berat kering yang rendah mengindikasikan proses adaptasi yang relatif lebih lambat terhadap lingkungan barunya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan kesimpulan bahwa pada reaktor kontrol (tanpa tanaman) menunjukkan kemampuan dalam menurunkan parameter TSS, COD, dan BOD. Pada semua variasi media yang paling efektif dalam menurunkan parameter adalah media Biochar. Dari hasil reaktor dengan penggunaan tanaman *Cyperus Papyrus* dan *Cyperus Rotundus*, bahwa penggunaan tanaman memiliki pengaruh peningkatan efisiensi ini berkisar antara 20% hingga 25% di semua media. Dan dalam pemilihan

jenis tanaman pun berpengaruh terlihat dari hasil penelitian, terdapat perbedaan efisiensi berkisar antara 2,5% hingga 3% di setiap media. Ini menunjukkan bahwa tanaman berkontribusi ke dalam sistem CW sehingga dapat memperbaiki hasil penurunan polutan secara lebih efektif dibandingkan dengan sistem yang hanya menggunakan media. Selain itu, terlihat dari hasil pemilihan jenis tanaman juga berpengaruh pada hasil penurunan parameter.

5. Referensi

- [1] Amadea, D. (2018). Efisiensi Removal Kadar TSS dan COD pada Pengolahan Air Limbah Industri Tahu dengan Teknologi Plasma. In Universitas Brawijaya Malang (Vol. 6, Issue 1).
- [2] Amalia, D. R., Zaman, B., & Hadiwidodo, M. (2014). Tanah Tpa Terhadap Penurunan Konsentrasi Bod Dan Cod Dalam Lindi (Studi Kasus TPA Jatibarang – Semarang). *Jurnal Teknik Lingkungan*.
- [3] Ebrahimi, A., Taheri, E., Ehrampoush, M. H., Nasiri, S., Jalali, F., Soltani, R., & Fatehizadeh, A. (2013). Efficiency of constructed wetland vegetated with cyperus alternifolius applied for municipal wastewater treatment. *Journal of Environmental and Public Health*, 2013, 1–5. <https://doi.org/10.1155/2013/815962>
- [4] Gardner, F.P., Pearce, R.B., & Mitchell, R.L. (1985). *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press.
- [5] Gupta, P., Ann, T. W., & Lee, S. M. (2016). Use of campuran biochar dan tanah dan tanah to enhance constructed wetland performance in wastewater reclamation. *Environmental Engineering Research*, 21(1), 36–44.
- [6] Hunt, R. (1982). *Plant Growth Curves: The Functional Approach to Plant Growth Analysis*. Edward Arnold Publishers.
- [7] Kadlec, R.H., & Wallace, S.D. (2009). *Treatment Wetlands*. CRC Press.
- [8] Kaswinarni, F. (2007). Kajian Teknis Pengolahan Limbah Padat Dan Cair Industri Tahu (Studi Kasus Industri Tahu Tandang Semarang, Sederhana Kendal, dan Gagak Sipat Boyolali). In *Universitas Diponegoro*.
- [9] Liang, M., Zhang, C., Peng, C., Lai, Z., Chen, D., dan Chen, Z. (2011). “Plant Growth, Community Structure and Nutrient Removal in Monoculture and Mixed Constructed Wetlands”. *Ecological Engineering*, vol.37, 1:309-316.
- [10] Metcalf, & Eddy. (2004). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th Edition*. In *Mc Graw Hill* (Vol. 179, Issue 18). <https://doi.org/10.1093/nq/179.18.317-a>
- [11] Moenandir, J. (1993). Pengantar Ilmu dan Pengendalian Gulma (Ilmu Gulma-Buku 1). *Citra Niaga Rajawali Press*. Jakarta.
- [12] Suriawira, U. (1986). *Mikrobiologi Air dan Dasar-dasar Pengolahan Buangan Secara Biologis*. Bandung: Alumi.
- [13] Tadesse, I., Green, F. B., & Puhakka, J. A. (2004). Seasonal and diurnal variations of temperature, pH, and dissolved oxygen in advanced integrated wastewater pond systems treating tannery effluent. *Water Research*, 38(3), 645-654.
- [14] Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology*. Sinauer Associates.
- [15] Theophile, F., Sako, I.B., Martin, L., Fabrice, M.T., dan Akoa, A.(2013). Potential of Cyperus papyrus in Yard-Scale Horizontal Flow Constructed Wetland for Wastewater Treatment in Cameroon. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, vol.1, 2:160-168
- [16] Vymazal, J. (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*, 380(1-3), 48-65.