

Pemanfaatan Limbah Kultur Batch Bioreaktor dan Biochar untuk Meningkatkan Kesuburan Tanah

(Utilization of Bioreactor Batch Culture Waste and Biochar to Increase Soil Fertility)

Zaitun Zaitun^{1,2,3*}, Agus Halim^{1,2}, Sufriyadi Rahya¹

(Diterima Juli 2022/Disetujui Oktober 2022)

ABSTRAK

Tujuan penelitian ialah untuk mengetahui pengaruh perlakuan aerasi pada kualitas air limbah kolam ikan sebagai pupuk organik cair dan mengetahui perlakuan penyiraman limbah budi daya ikan air tawar sebagai pupuk organik cair dan perlakuan biochar yang memengaruhi kandungan hara tanaman selada dan sifat kimia tanah. Penelitian menggunakan rancangan acak kelompok nonfaktorial. Kombinasi perlakuan meliputi: frekuensi penyiraman air limbah budi daya air tawar (W0: tanpa penyiraman; W1: penyiraman dua kali seminggu; dan W2: penyiraman 4 kali seminggu) dan dosis biochar sekam padi (B0: tanpa biochar sekam padi; B1: 10 g biochar sekam padi per polibag; dan B2: 20 g biochar sekam padi per polibag). Parameter yang dianalisis meliputi: kualitas air limbah budi daya ikan (pH, *Biological Oxygen Demand*, *Chemical Oxygen Demand*, NH₃-N, NO₃, NO₂, *Dissolved Oxygen*, Daya Hantar Listrik, dan suhu), analisis kandungan hara tanaman (N, P, dan K), dan analisis kimia tanah (pH, C organik, total N, C/N ratio, P tersedia, dan K dapat dipertukarkan). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas air limbah budi daya setelah diaerasi selama 4 hari memenuhi kriteria air untuk budi daya tanaman. Kandungan unsur hara dalam tanah menunjukkan kriteria pH tanah netral, C organik yang sangat rendah, N total yang sangat rendah, rasio C/N sedang, P tersedia yang sangat tinggi, dan K dapat ditukar yang rendah. Meskipun kandungan hara dalam tanah rendah, konsentrasi hara N (1,87-3,08%), P (0,16-0,21%), dan K (2,35-3,43%) dalam tanaman cukup untuk pertumbuhan tanaman selada. Kombinasi perlakuan penyiraman limbah cair 4 kali seminggu dan biochar sekam padi 20 g per polibag memberikan hasil yang lebih baik untuk meningkatkan kesuburan tanah dan memenuhi hara tanaman selada.

Kata kunci: hara tanaman, kimia tanah, limbah cair, pembenah tanah

ABSTRACT

The purpose of study was to determine the effects of aeration treatment on fish wastewater quality as a liquid organic fertilizer and fish wastewater watering treatment as a liquid organic fertilizer and a biochar application on nutrient content of lettuce and soil chemical properties. This study used a non factorial randomized block design. Treatments combination were watering freshwater frequency (W0: without watering; W1: watering twice a week; and W2: watering 4 times a week) and rice husk biochar dose (B0: without rice husk biochar; B1: 10 g rice husk biochar per polybag; and B2: 20 g rice husk biochar per polybag). The research parameters included: fish culture wastewater quality (pH, *Biological Oxygen Demand*, *Chemical Oxygen Demand*, NH₃-N, NO₃, NO₂, *Dissolved Oxygen*, electrical conductivity, and temperature), plant nutrient content analysis (N, P, and K), and soil chemical analysis (pH, organic C, total N, C/N ratio, available P, and exchangeable K). The results showed that the quality of wastewater after aeration for 4 days met the water criteria to cultivate plants. The nutrient contents in the soil showed criteria for neutral soil pH, very low organic C, very low total N, medium C/N ratio, very high available P, and low exchangeable K. Although the nutrient content in the soil was low, the concentrations of N (1.87-3.08%), P (0.16-0.21%), and K (2.35-3.43%) nutrients in the plant were sufficient for lettuce growth. The combination treatment of watering wastewater 4 times a week and rice husk biochar 20 g per polybag gave better results to increase soil fertility and lettuce plant nutrients.

Keywords: liquid waste, plant nutrients, soil amendment, soil chemistry

PENDAHULUAN

Pola pertanian terpadu merupakan suatu pola yang mengintegrasikan beberapa unit usaha di bidang pertanian yang dikelola secara terpadu dan

berorientasi ekologis sehingga diperoleh peningkatan nilai ekonomi, tingkat efisiensi, dan produktivitas yang tinggi. Melalui pertanian terpadu, akan dapat dihasilkan produk-produk pertanian melalui sinergitas antarunit dengan mengedepankan kelestarian lingkungan yang selanjutnya akan menghasilkan peningkatan secara ekonomis karena penambahan nilai daya dan guna melalui efisiensi dan efektivitas tinggi serta nilai produktivitas usaha yang baik (Lubis 2013).

Penerapan sistem pertanian terpadu antara tanaman budi daya dengan budi daya perikanan air

¹ Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala, Jl. Teuku Nyak Arief Darussalam, Banda Aceh 23111

² Laboratorium Agroklimatologi, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala, Jl. Teuku Nyak Arief Darussalam, Banda Aceh 23111

³ Pusat Riset Biochar dan Hutan Tropis Lestari, Universitas Syiah Kuala, Jl. Teuku Nyak Arief Darussalam, Banda Aceh 23111

* Penulis Korespondensi: Email: zaitundara@unsyiah.ac.id

tawar sistem bioreaktor *batch culture* merupakan salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi dalam praktik pertanian dan juga menguntungkan secara ekonomi. Produktivitas pertanian juga dapat ditingkatkan dengan memanfaatkan limbah pertanian yang dibuat menjadi biochar. Biochar atau arang hayati merupakan salah satu opsi bagi pengelolaan tanah. Berbagai hasil penelitian menunjukkan biochar berpotensi untuk memperbaiki kesuburan tanah. Biochar digunakan sebagai bahan pembenah tanah (Gani 2009; Zaitun *et al.* 2022).

Biochar dapat meningkatkan kandungan hara dalam tanah. Menurut Yunilasari *et al.* (2020) pemberian biochar dan pupuk kandang sapi dapat meningkatkan 9,8% pH tanah, 0,4% C organik; 0,03% N total; 54,38% C/N rasio; 51,93% P tersedia, dan 466,04% K-dd.

Kemampuan biochar untuk meningkatkan kesuburan tanah dapat dipengaruhi oleh fungsi biochar sebagai bahan pembenah tanah. Kandungan mineral biochar, seperti karbon, oksigen, dan silikat menjadi karakteristik penting penggunaan biochar sebagai pembenah tanah (Zaitun *et al.* 2022). Kandungan hara lainnya untuk pertumbuhan tanaman, seperti Na, K, dan Ca dalam biochar juga dipertimbangkan sebagai karakteristik penting biochar sebagai pembenah tanah (Suárez-Hernández *et al.* 2017; Rivka *et al.* 2017).

Pada penelitian ini diintegrasikan pertanian budi daya sayuran tanaman selada dengan pemanfaatan limbah budi daya ikan air tawar sebagai pupuk organik cair dan pemanfaatan limbah sekam padi sebagai biochar. Pada penelitian ini diharapkan diperoleh teknologi tepat guna yang ramah lingkungan untuk meningkatkan produksi pertanian, khususnya budi daya tanaman sayuran selada, dan produksi perikanan air tawar, khususnya ikan nila.

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah untuk: (1) mengetahui pengaruh perlakuan aerasi pada kualitas air limbah kolam ikan sebagai pupuk organik cair, dan (2) mengetahui perlakuan penyiraman limbah budi daya ikan air tawar sebagai pupuk organik cair dan perlakuan biochar yang memengaruhi kandungan hara tanaman selada dan sifat kimia tanah.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Gampong Pineung, Kecamatan Syiah Kuala, Banda Aceh. Analisis tanah

dan tanaman dilaksanakan di Laboratorium Penelitian Tanah dan Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala dan Laboratorium Pelayanan dan Pengkajian, Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Aceh. Analisis kualitas air limbah dilaksanakan di Laboratorium Penguji Balai Riset dan Standarisasi Industri, Banda Aceh.

Pupuk organik cair yang digunakan merupakan limbah cair dari budi daya ikan air tawar sistem kultur batch bioreaktor dan biochar yang berasal dari limbah sekam padi. Kombinasi perlakuan penelitian adalah frekuensi penyiraman air limbah dan dosis biochar rancangan acak kelompok nonfaktorial dengan 3 ulangan. Analisis data penelitian berdasarkan kriteria Standar Baku Mutu Peraturan Pemerintah RI No. 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air dan *water quality for agriculture: Degree of Restriction on Use* (FAO 1994) untuk kualitas air limbah budi daya ikan air tawar dan Balai Penelitian Tanah (2009) untuk sifat kimia tanah.

Benih selada disemai dalam bak persemaian selama 14 hari dan kemudian dipindahkan ke polibag kecil hingga berumur 1 bulan. Media persemaian merupakan campuran tanah dan pupuk kandang (2:1). Media tanam yang digunakan berupa tanah yang dimasukkan ke dalam polibag sebanyak 2 kg. Penanaman selada dilakukan dengan memindahkan bibit dari persemaian ke dalam polibag sebanyak 1 tanaman per polibag. Tanaman selada dipanen pada umur 4 minggu setelah tanam (MST). Perlakuan pemberian biochar sekam padi dilakukan sesuai dengan perlakuan. Pemberian biochar dilakukan dengan cara mencampurkannya dengan media tanam 6 minggu sebelum penanaman tanaman selada.

Media peliharaan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) adalah dengan menggunakan *batch culture system*, yaitu sistem budi daya ikan pada kolam/wadah stagnan (tidak mengalir) tanpa diberikan aerasi oksigen. Ember berukuran besar (40 L) digunakan sebagai Bioreaktor Sistem *Batch Culture* (stagnan/tidak mengalir). Setiap ember diisi dengan air yang segar sebanyak 30 L kemudian diberikan tanaman *water lettuce* (*Pistia sp*) sebanyak 5 tanaman dan bakteri probiotik EM4 (10 cc per 1 L air). Terdapat 10 buah ember sebagai Bioreaktor Sistem *Batch Culture* yang berisi masing-masing 10 ekor ikan. Ikan diberikan makanan tambahan berupa pellet (2 kali sehari).

Tabel 1 Perlakuan percobaan penyiraman limbah cair dan biochar

Simbol	Perlakuan
W0B0	Tanpa penyiraman limbah cair + tanpa biochar sekam padi
W0B1	Tanpa penyiraman limbah cair + biochar sekam padi 10 g per polibag
W0B2	Tanpa penyiraman limbah cair + biochar sekam padi 20 g per polibag
W1B0	Penyiraman limbah cair 2 kali seminggu + tanpa biochar sekam padi
W1B1	Penyiraman limbah cair 2 kali seminggu + biochar sekam padi 10 g per polibag
W1B2	Penyiraman limbah cair 2 kali seminggu + biochar sekam padi 20 g per polibag
W2B0	Penyiraman limbah cair 4 kali seminggu + tanpa biochar sekam padi
W2B1	Penyiraman limbah cair 4 kali seminggu + biochar sekam padi 10 g per polibag
W2B2	Penyiraman limbah cair 4 kali seminggu + biochar sekam padi 20 g per polibag

Setelah 3 minggu masa pemeliharaan, air dari bioreaktor sistem *batch culture* dikeluarkan sebanyak 2/3 dari total volume dan ditampung pada penampungan air limbah budi daya ikan. Air limbah tersebut kemudian dinetralkan pHnya dengan penambahan kapur dolomit dan diaerasi selama 4 hari dan kemudian digunakan sebagai pupuk organik cair. Selanjutnya air media budi daya ikan yang telah dikeluarkan sekitar 2/3 dari volume bioreaktor digantikan dengan air bersih (segar) untuk menciptakan kondisi kualitas lingkungan media yang baik bagi kehidupan ikan.

Tiga minggu setelah penambahan 2/3 air (atau 6 minggu pemeliharaan ikan di dalam bioreaktor sistem *batch culture*), air dikeluarkan sebanyak 2/3 dari volume dan ditampung pada penampungan air limbah budi daya ikan. Air limbah tersebut kemudian dinetralkan pHnya dengan penambahan kapur dolomit dan diaerasi selama 4 hari agar proses dekomposisi bahan organik yang terkandung di dalamnya dapat berlangsung secara aerob. Selanjutnya, kandungan ammonia-nya akan mengalami nitrifikasi sehingga akan terbentuk senyawa nitrit dan nitrat. Selanjutnya ditambahkan air segar ke dalam media pemeliharaan ikan sehingga volume airnya kembali seperti sedia kala. Air limbah yang telah diaerasi selama 4 hari kemudian digunakan sebagai pupuk organik cair.

Penyiraman dengan pupuk organik cair dari air limbah budi daya ikan dilakukan sesuai dengan perla-

kuan sebanyak 200 mL per polibag untuk setiap kali penyiraman pada tanaman selada. Untuk menghindari kekeringan pada tanaman dilakukan penyiraman dengan air. Perlakuan tanpa penyiraman dan tanpa biochar dilakukan dengan cara memberikan pupuk anorganik pada media tanaman selada, yaitu pupuk NPK sebanyak 2 gram per tanaman pada saat tanam dan pada umur 2 MST dengan pupuk NPK sebanyak 1 g per tanaman.

Parameter pada penelitian ini meliputi: (1) kualitas air limbah budi daya ikan (pH, *Biological Oxygen Demand*, *Chemical Oxygen Demand*, NH₃-N, NO₃, NO₂, *Dissolved Oxygen*, Daya Hantar Listrik, dan suhu), (2) analisis kandungan hara tanaman (N, P, dan K), dan (3) analisis kimia tanah (pH, C organik, total N, C/N ratio, P tersedia, dan K yang dapat dipertukarkan. Metode analisis yang digunakan disajikan pada Tabel 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemanfaatan Limbah Cair Budi Daya Ikan sebagai Pupuk Organik Cair

• Kondisi air limbah setelah tiga minggu pemeliharaan

Kondisi sampel air yang diambil setelah 3 minggu pemeliharaan ikan disajikan pada Tabel 3. Berda-

Tabel 2 Parameter penelitian dan metode analisis

Parameter	Metode analisis
pH (H ₂ O)	Electrometric
BOD ₅	SNI.6898.72.2009
COD	SNI.6898.73.2009
Ammonia (NH ₃ -N)	SNI.6898.30.2005
Nitrat (NO ₃)	IK.5.04.01.16
Nitrit (NO ₂)	IK.5.04.01.15
DO	SNI.6898.72.2009
DHL	Alat ukur DHL digital
Suhu	Termometer
C organik	Walkley & Black
Total N	Kjeldahl
P tersedia	Bray II
K dapat dipertukarkan	Amonium asetat 1 N NH ₄ COOCH ₃ pH 7

Tabel 3 Kondisi kualitas air limbah pada 3 minggu pemeliharaan

Parameter	Unit	3 minggu setelah perlakuan	4 hari setelah aerasi	Standar baku mutu kelas*				<i>Water quality for agriculture : Degree of Restriction on Use**</i>		
				I	II	III	IV	None	Slight to Moderate	Severe
pH		7,09	7,29	6–9	6–9	6–9	5–9	Normal range 6,5–8,4		
BOD ₅	mg/L	262,08	233,64	2	3	6	12			
COD	mg/L	504,63	176,67	10	25	50	100			
Ammonia (NH ₃ -N)	mg/L	21,53	27,30	0,5	(-)	(-)	(-)			
Nitrat (NO ₃)	mg/L	3,27	2,87	10	10	20	20	< 5	5–30	> 30
Nitrit (NO ₂)	mg/L	0,04	0,01	0,06	0,06	0,06	(-)			
<i>Dissolved Oxygen</i>	mg/L	1,48	1,65	6	4	3	0			
DHL	dS/m	0,69	0,63					< 0,7	0,7–3,0	> 3,0
Suhu	°C	27,87	27,90							

Keterangan: * Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air dan ** FAO 1994.

sarkan hasil analisis beberapa parameter yang digunakan (BOD₅, COD, Ammonia (NH₃-N), Nitrat (NO₃), Nitrit (NO₂), fosfat (PO₄), dan *Dissolved Oxygent*) maka diketahui kondisi kualitas air yang berasal dari wadah pemeliharaan ikan. Nilai BOD₅ rata-rata sebesar 262,08 mg/l dan nilai COD rata-rata sebesar 504,63 mg/l. Berdasarkan kedua parameter tersebut diketahui bahwa kandungan bahan organik di bioreaktor sistem *batch culture* pemeliharaan ikan nila relatif tinggi, yang tercermin dari nilai BOD₅ dan COD yang tinggi. Bahan organik yang tinggi tersebut diperkirakan berasal dari sisa-sisa pakan yang tidak dikonsumsi secara baik oleh ikan. Selanjutnya air limbah kolam dari pemeliharaan diaerasi selama 4 hari dan kondisinya diperlihatkan pada Tabel 3. Setelah diaerasi selama 4 hari, diketahui bahwa kandungan bahan organiknya mengalami penurunan, yang tercermin dari nilai parameter BOD₅ sebesar 233,64 mg/L dan COD sebesar 176,67 mg/L (sebelumnya BOD₅ sebesar 262,08 mg/L dan COD sebesar 504,63 mg/L). Akan tetapi, kandungan ammoniannya menunjukkan kecenderungan meningkat menjadi 27,30 mg/L dan nitrat serta nitrit mengalami sedikit penurunan, yaitu masing-masing menjadi 2,87 mg/L dan 0,01 mg/L.

• **Kondisi air limbah setelah 6 minggu pemeliharaan**

Air limbah dalam bioreaktor sistem *batch culture* setelah 6 minggu masa pemeliharaan kondisinya diperlihatkan pada Tabel 4. Ada kecenderungan bahwa kandungan bahan organik di dalam kolam pemeliharaan mengalami penurunan yang diperlihatkan oleh nilai BOD₅ menjadi 11,09 mg/L dan COD sebesar 182,41 mg/L. Begitu pula kandungan ammoniannya menurun menjadi 3,12 mg/L dan nitrat menjadi 1,90 mg/L. Kondisi tersebut menggambarkan bahwa air pada kolam pemeliharaan cenderung mulai mendekati kondisi normal.

Kondisi kualitas air limbah dari pemeliharaan ikan setelah 4 hari diaerasi disajikan pada Tabel 4. Ada indikasi bahwa kandungan bahan organik mengalami penurunan, yang tercermin dari nilai BOD₅ menjadi sebesar 7,98 mg/L (sebelumnya 11,9 mg/L) dan nilai Tabel 4 Kondisi kualitas air limbah pada 6 minggu pemeliharaan

COD menjadi sebesar 137,63 mg/L (sebelumnya 182,41 mg/L). Begitu pula kandungan ammonia menurun menjadi 1,75 mg/L (sebelumnya bernilai 3,12 mg/l). Sebagai hasil dari proses nitrifikasi tersebut maka akan terbentuk senyawa nitrat sehingga kandungan nitratnya meningkat menjadi 4,00 mg/L (sebelumnya hanya 1,90 mg/L).

Selanjutnya air limbah ikan yang sudah diaerasi selama 4 hari diberikan untuk tanaman sayuran selada yang dibudi daya pada media polibag sebagai perlakuan penelitian. Kondisi air limbah setelah diaerasi 4 hari sudah cukup efektif untuk menurunkan kadar bahan organik di dalamnya melalui proses dekomposisi secara aerob dan sekaligus menghasilkan senyawa nitrat hasil dari proses nitrifikasi senyawa amonia. Senyawa nitrat yang terkandung di dalam air limbah ikan tersebut diperkirakan berpotensi sebagai tambahan nutrisi bagi pertumbuhan tanaman sayuran selada, selain residu organik dan senyawa lainnya. Berdasarkan Baku Mutu Kualitas Air Golongan 4 untuk pertanian (Peraturan Pemerintah RI Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air) maka kualitas air limbah kolam ikan pemeliharaan setelah diaerasi selama 4 hari sudah memenuhi kriteria air untuk menunjang kehidupan tanaman yang dibudidayakan.

Pengaruh Penyiraman Pupuk Organik Cair dan Biochar pada Konsentrasi Hara Tanaman

Kandungan hara nitrogen pada jaringan tanaman selada (1,87–3,08%) menunjukkan bahwa sudah mencukupi (Mahler 2004) pada semua perlakuan yang diberikan. Kandungan N tertinggi ditemukan pada perlakuan kontrol dengan pupuk anorganik, namun tidak berbeda nyata dibandingkan dengan perlakuan lainnya, kecuali pada perlakuan WOB2 dan W1B1 (Tabel 5). Tanaman membutuhkan hara nitrogen dalam jumlah yang cukup besar untuk memenuhi kebutuhan pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Menurut Mahler (2004), kebutuhan hara nitrogen tanaman adalah berkisar antara 0,5–5,0% berdasarkan bobot kering tanaman dari jenis tanaman berkayu hingga tanaman legum. Pada umumnya, level kritis hara N pada tanaman adalah sekitar 3%. Perubahan

Parameter	Unit	6 minggu setelah perlakuan	4 hari setelah aerasi	Standar baku mutu kelas*			
				I	II	III	IV
pH		7,37	7,28	6–9	6–9	6–9	5–9
BOD ₅	Mg/L	11,09	7,98	2	3	6	12
COD	mg/L	182,41	137,63	10	25	50	100
Ammonia (NH ₃ -N)	mg/L	3,12	1,75	0,5	(-)	(-)	(-)
Nitrat (NO ₃)	mg/L	1,90	4,00	10	10	20	20
Nitrit (NO ₂)	mg/L	0,02	0,02	0,06	0,06	0,06	(-)
<i>Dissolved Oxygent</i>	mg/L	1,62	3,32	6	4	3	0
DHL	dS/m	0,65	0,69				
Suhu	°C	29,67	27,23				

Keterangan: * Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Tabel 5 Konsentrasi hara tanaman selada

Perlakuan	N (%)	P (%)	K (%)
W0B0	3,08 ^b	0,20	2,35 ^a
W0B1	2,22 ^{ab}	0,21	2,86 ^a
W0B2	1,88 ^a	0,18	2,93 ^a
W1B0	2,33 ^{ab}	0,16	3,16 ^b
W1B1	1,87 ^a	0,16	3,09 ^b
W1B2	2,32 ^{ab}	0,18	3,18 ^b
W2B0	2,63 ^{ab}	0,16	3,43 ^b
W2B1	2,59 ^{ab}	0,18	3,18 ^b
W2B2	2,36 ^{ab}	0,18	3,35 ^b

Keterangan: W0B0 = Tanpa penyiraman limbah cair + tanpa biochar sekam padi; W0B1 = Tanpa penyiraman limbah cair + biochar sekam padi 10 g per polibag; W0B2 = Tanpa penyiraman limbah cair + biochar sekam padi 20 g per polibag; W1B0 = Penyiraman limbah cair 2 kali seminggu + tanpa biochar sekam padi; W1B1 = Penyiraman limbah cair 2 kali seminggu + biochar sekam padi 10 g per polibag; W1B2 = Penyiraman limbah cair 2 kali seminggu + biochar sekam padi 20 g per polibag; W2B0 = Penyiraman limbah cair 4 kali seminggu + tanpa biochar sekam padi; W2B1 = Penyiraman limbah cair 4 kali seminggu + biochar sekam padi 10 g per polibag; W2B2 = Penyiraman limbah cair 4 kali seminggu + biochar sekam padi 20 g per polibag; N = nitrogen; P = fosfor; dan K = kalium.

kecil pada kandungan N pada beberapa tanaman dapat memberikan efek yang besar pada hasil, pertumbuhan tanaman, dan kualitas tanaman (Plank & Kissel 2022).

Kandungan hara fosfor menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada semua perlakuan, namun sudah mencukupi kebutuhan hara fosfor bagi tanaman selada. Kandungan hara fosfor dalam tanaman selada berkisar 0,16–0,21% pada perlakuan yang diberikan. Menurut Mahler (2004), kebutuhan hara fosfor tanaman berkisar antara 0,1–0,5% berdasarkan bobot kering tanaman. Kebutuhan P tanaman sangat bervariasi. Pada tanaman sayuran, unsur P dibutuhkan dalam jumlah yang relatif tinggi dengan nilai kritis antara 0,25–0,30% atau lebih tinggi. Kandungan P tanaman pada awalnya tinggi dan menurun seiring dengan penambahan usia tanaman. Oleh karena P merupakan unsur yang cukup *mobile* pada tumbuhan, defisiensi umumnya terjadi pada jaringan yang lebih tua (Plank & Kissel 2022).

Kandungan hara kalium berkisar 2,35–3,43% dan menunjukkan perbedaan yang nyata pada semua perlakuan, namun sudah mencukupi kebutuhan hara kalium bagi tanaman selada. Menurut Mahler (2004), kebutuhan hara kalium tanaman berkisar antara 0,5–5,0% berdasarkan bobot kering tanaman. Kebutuhan K tanaman sangat bervariasi bergantung pada spesies tanaman. Nilai kritis K pada daun pohon berkisar antara 0,75–1,25%. Tingkat K dalam tanaman dapat berubah dengan cepat karena K cukup *mobile* dan mudah bergerak di dalam tanaman. Kalium dapat dengan mudah tercuci dari tanaman yang sedang

tumbuh oleh hujan untuk diserap kembali melalui akar (Plank & Kissel 2022).

Secara umum dapat diketahui bahwa hara nitrogen, fosfor, dan kalium sudah mencukupi untuk pertumbuhan tanaman selada. Pemberian biochar sekam padi dan pupuk organik cair yang berasal dari limbah budi daya ikan menunjukkan hasil yang lebih baik karena pada umumnya sudah memenuhi kebutuhan hara tanaman selada (Tabel 5).

Pengaruh Penyiraman Pupuk Organik Cair dan Biochar Sekam Padi pada Hara Tanah

Berdasarkan hasil analisis tanah diketahui bahwa media tanam yang digunakan adalah tanah Entisol (Aluvial Eutric atau Entisol) bertekstur sedang (lempung berpasir), bulk density 1,06–1,24 mg/m³, kapasitas menahan air rendah sampai sedang, permeabilitas yang baik, tetapi porositas rendah dan dispersif. Tanahnya sedikit basa, memiliki kandungan C organik dan N total yang rendah, tetapi kandungan P, P dan K tersedia yang tinggi. Jumlah pertukaran kation basa dan saturasi basa tinggi, tetapi dengan KTK potensial rendah (<16 cmol(+)/ kg) karena kandungan pasir yang tinggi. Kendala kesuburan utama adalah terkait dengan kandungan C dan N yang rendah (McLeod *et al.* 2019).

Pada analisis tanah awal sebelum perlakuan diketahui bahwa tanah memiliki reaksi pH netral, fosfor sangat tinggi, dan kalium tinggi. Karbon, nitrogen, kalsium, magnesium, dan natrium memiliki kandungan hara yang sangat rendah sampai rendah. Kapasitas tukar kation dan kejenuhan basa juga rendah (Tabel 6). Kandungan hara yang rendah dalam tanah menunjukkan bahwa tanah tersebut membutuhkan tambahan hara yang berasal dari pupuk untuk dapat menunjang pertumbuhan tanaman.

Biochar sekam padi merupakan hasil dari proses pirolisis yang unsur penyusun utamanya adalah karbon, hidrogen, dan silika. Pada proses pirolisis sekam padi menjadi biochar, kandungan silika (SiO₂) meningkat menjadi lebih dari 60% dengan kandungan karbon mencapai 10–40% (Shen *et al.* 2014). Silika yang terdapat pada sekam padi berkisar 14–25% dan bergantung pada jenis padi, iklim, dan tanah daerah penghasilnya (Chandrasekhar *et al.* 2005). Berdasarkan penelitian Zaitun *et al.* (2022) diketahui bahwa biochar sekam padi mengandung 56,5% C, 34,1% O, dan 9,4% Si.

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa pH tanah menunjukkan reaksi yang netral, baik sebelum dan setelah perlakuan (Tabel 6 dan 7). Perlakuan pemberian pupuk organik cair dan biochar sekam padi dapat meningkatkan pH tanah secara signifikan dibandingkan dengan tanpa pemberian pupuk organik cair dan biochar sekam padi (Tabel 7). Peningkatan nilai pH pada pemberian biochar dapat disebabkan oleh adanya senyawa *phenolic*, *carboxyl*, dan *hydroxyl*

Tabel 6 Kandungan hara tanah sebelum perlakuan

Parameter	Unit	Nilai	Kriteria *
Tekstur tanah			
• Pasir	%	54	
• Debu	%	31	
• Liat	%	15	
Kelas Tekstur		Lempung Berpasir	
Reaksi Tanah			
• pH (H ₂ O)		7,58	Netral
• pH (KCl)		6,99	
C-organik	%	0,40	Sangat rendah
N Total	%	0,08	Sangat rendah
P Tersedia (P Bray II)	mg kg ⁻¹	49,95	Sangat tinggi
Kation Basa Tertukar			
• Ca-dapat ditukar	cmol kg ⁻¹	2,79	Rendah
• Mg-dapat ditukar	cmol kg ⁻¹	0,52	Rendah
• K-dapat ditukar	cmol kg ⁻¹	0,63	Tinggi
• Na-dapat ditukar	cmol kg ⁻¹	0,14	Rendah
Kapasitas Tukar Kation	cmol kg ⁻¹	13,60	Rendah
Kejenuhan Basa	%	30,00	Rendah
Kemasaman Potensial			
• Al-dapat ditukar	cmol kg ⁻¹	Tidak terukur	Sangat rendah
• H-dapat ditukar	cmol kg ⁻¹	0,32	
Daya Hantar Listrik	mS cm ⁻¹	0,20	Sedang

Keterangan: *Balai Penelitian Tanah (2009).

Tabel 7 Kandungan hara tanah pada media tanam tanaman selada

Perlakuan	pH (H ₂ O)		C-organik (%)		Total N (%)		C:N rasio		P tersedia (ppm)		K-dd (me 100 g soil)	
	Nilai	Kriteria*	Nilai	Kriteria*	Nilai	Kriteria*	Nilai	Kriteria*	Nilai	Kriteria*	Nilai	Kriteria*
W0B0	6,19 ^a	netral	1,07	rendah	0,10	sangat rendah	12,34	sedang	38,43 ^b	sangat tinggi	0,38	rendah
W0B1	7,08 ^{ab}	netral	0,95	sangat rendah	0,07	sangat rendah	13,86	sedang	32,56 ^{ab}	sangat tinggi	0,30	rendah
W0B2	7,20 ^b	netral	0,97	sangat rendah	0,07	sangat rendah	13,46	sedang	28,72 ^a	sangat tinggi	0,28	rendah
W1B0	7,27 ^b	netral	0,88	sangat rendah	0,07	sangat rendah	13,42	sedang	28,00 ^a	sangat tinggi	0,29	rendah
W1B1	7,24 ^b	netral	0,91	sangat rendah	0,08	sangat rendah	11,55	sedang	28,13 ^a	sangat tinggi	0,29	rendah
W1B2	7,27 ^b	netral	0,96	sangat rendah	0,08	sangat rendah	12,08	sedang	30,26 ^{ab}	sangat tinggi	0,31	rendah
W2B0	7,26 ^b	netral	0,92	sangat rendah	0,07	sangat rendah	13,97	sedang	28,79 ^a	sangat tinggi	0,29	rendah
W2B1	7,24 ^b	netral	0,94	sangat rendah	0,08	sangat rendah	12,52	sedang	28,92 ^a	sangat tinggi	0,29	rendah
W2B2	7,07 ^{ab}	netral	0,99	sangat rendah	0,08	sangat rendah	11,79	sedang	30,55 ^{ab}	sangat tinggi	0,31	rendah

Keterangan: W0B0 = Tanpa penyiraman limbah cair + tanpa biochar sekam padi; W0B1 = Tanpa penyiraman limbah cair + biochar sekam padi 10 g per polibag; W0B2 = Tanpa penyiraman limbah cair + biochar sekam padi 20 g per polibag; W1B0 = Penyiraman limbah cair 2 kali seminggu + tanpa biochar sekam padi; W1B1 = Penyiraman limbah cair 2 kali seminggu + biochar sekam padi 10 g per polibag; W1B2 = Penyiraman limbah cair 2 kali seminggu + biochar sekam padi 20 g per polibag; W2B0 = Penyiraman limbah cair 4 kali seminggu + tanpa biochar sekam padi; W2B1 = Penyiraman limbah cair 4 kali seminggu + biochar sekam padi 10 g per polibag; W2B2 = Penyiraman limbah cair 4 kali seminggu + biochar sekam padi 20 g per polybag; dan * Balai Penelitian Tanah (2009).

yang berada di permukaan biochar dan mengikat ion H⁺ dari larutan tanah dan mengurangi konsentrasi ion H⁺ sehingga pH tanah meningkat (Brewer & Brown 2012; Chintala *et al.* 2014).

Karbon organik tanah setelah perlakuan menunjukkan kriteria rendah hingga sangat rendah, sedangkan pada saat sebelum perlakuan menunjukkan kriteria sangat rendah (<1,00) menurut Kriteria Penilaian Sifat Kimia Tanah (Balai Penelitian Tanah 2009). Pemberian biochar pada tanah tidak selalu menyebabkan

peningkatan kandungan karbon organik tanah pada musim tanam pertama (Sufardi 2012; Habieb *et al.* 2018). Peningkatan karbon organik tanah dapat terjadi pada musim tanam kedua (Samira *et al.* 2013). Hal ini dapat disebabkan karena aplikasi biochar ke dalam tanah berpotensi menyerap karbon dalam jangka panjang karena stabilitasnya yang tinggi, serta sifat biochar yang berasal dari bahan tanaman yang menunjukkan potensi penyerapan C yang lebih tinggi (Gross *et al.* 2021). Kandungan karbon organik tanah

menunjukkan perbedaan tidak nyata untuk semua perlakuan yang diberikan. Hal ini dapat disebabkan oleh kandungan hara dalam pupuk organik cair yang belum terdekomposisi dengan baik. Kondisi biochar dan pupuk yang belum terdekomposisi dengan baik dapat menyebabkan kandungan karbon organik tanah belum tersedia (Yunilasari *et al.* 2020).

Kandungan N total dalam tanah setelah perlakuan menunjukkan kriteria yang sangat rendah. Kandungan N total yang rendah dalam tanah dapat disebabkan karena N diserap oleh tanaman. Hal ini ditunjukkan oleh kandungan N dalam tanaman selada (1,87–3,08%) yang sudah mencukupi untuk pertumbuhan tanaman (Tabel 5). Biochar sebagai bahan pembenah tanah yang diaplikasikan sebelum kegiatan penanaman mengakibatkan terjadinya interaksi antara mikroba tanah dengan pembenah tanah (biochar) yang digunakan. Adanya interaksi ini mengakibatkan ketersediaan N yang dapat diserap oleh tanaman menjadi tersedia lebih banyak. Hasil penelitian Tan *et al.* (2017) juga menyatakan bahwa biochar mampu meningkatkan kandungan nitrogen dengan membantu proses fiksasi N oleh mikroorganisme. Nisbah C:N tanah diartikan sebagai tingkat pelapukan bahan organik yang dilakukan oleh dekomposer. Bahan organik yang mengalami pelapukan terdiri atas senyawa karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, dan fosfat yang bersumber dari tanaman atau kotoran hewan. Dekomposer yang terlibat dalam proses dekomposisi menurut Persson *et al.* (1980) adalah bakteri dan jamur.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ratio C:N termasuk dalam kategori sedang. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat pelapukan bahan organik yang sedang dan sudah cukup baik di dalam tanah. Nilai ratio C:N yang termasuk ke dalam kategori rendah menunjukkan tingkat pelapukan lebih tinggi dan lebih baik bagi tanaman dalam penyerapan hara. Hal sebaliknya dianggap kurang baik jika nilai C:N termasuk kategori tinggi sehingga menunjukkan tingkat pelapukan bahan organik juga masih cukup tinggi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa P tersedia sebelum dan sesudah perlakuan termasuk dalam kategori sangat tinggi dan menunjukkan perbedaan yang nyata. Ketersediaan P yang tinggi dalam tanah dapat disebabkan karena P bersifat tidak mobil di dalam tanah.

Biochar sebagai bahan pembenah tanah dapat meningkatkan secara signifikan kandungan P tersedia di dalam tanah (Pandit *et al.* 2018; Singh *et al.* 2018). P tersedia yang tinggi dalam tanah dapat diakibatkan oleh adanya aktivitas organisme yang berpartisipasi dalam kelarutan P anorganik menjadi P organik serta berperan dalam proses immobilisasi P tersedia di dalam tanah. Mikroorganisme dapat berperan dengan baik, apabila didukung oleh habitat yang baik. Ruang-ruang pori dalam biochar dapat berfungsi sebagai tempat hidup mikroorganisme. Biochar sekam padi memiliki bentuk pori-pori yang baik dan jelas (Zaitun *et*

al. 2022) sehingga memberikan tempat hidup yang baik bagi mikroorganisme.

Pada analisis tanah awal menunjukkan bahwa K-dd termasuk dalam kategori tinggi (Tabel 6), namun setelah perlakuan menunjukkan bahwa K-dd termasuk dalam kategori rendah pada semua perlakuan (Tabel 7). Kandungan K yang rendah dalam tanah dapat diasumsikan bahwa unsur K sudah diserap oleh tanaman. Hal ini ditunjukkan oleh kandungan hara K dalam tanaman yang menunjukkan kriteria cukup pada semua perlakuan yang diberikan (Tabel 5). Hal ini sesuai dengan pernyataan Subandi (2013) bahwa tanaman yang cukup K dapat mempertahankan kandungan air dalam jaringannya karena mampu menyerap lengas dari tanah dan mengikat air sehingga tanaman tahan terhadap cekaman kekeringan.

KESIMPULAN

Kualitas air limbah budi daya ikan air tawar setelah diaerasi selama 4 hari telah memenuhi kriteria air untuk menunjang kehidupan tanaman budi daya. Kandungan unsur hara dalam tanah menunjukkan kriteria pH tanah netral, C organik sangat rendah, N total sangat rendah, rasio C/N sedang, P tersedia sangat tinggi, dan K dapat ditukar berada dalam kadar rendah. Meskipun kandungan hara dalam tanah rendah, konsentrasi hara N (1,87-3,08%), P (0,16-0,21%), dan K (2,35-3,43%) dalam tanaman cukup untuk pertumbuhan tanaman selada.

Pemberian biochar memberikan pengaruh yang nyata pada konsentrasi hara N dan K dalam jaringan tanaman serta pH dan P tersedia dalam tanah. Kombinasi perlakuan penyiraman limbah cair 4 kali seminggu dan biochar sekam padi 20 g per polybag memberikan hasil yang lebih baik untuk meningkatkan kesuburan tanah dan memenuhi kebutuhan hara tanaman selada.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Syiah Kuala yang telah mendanai Penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Balai Penelitian Tanah. 2009. *Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk (Edisi 2)*. Bogor (ID): Balai Penelitian Tanah.
- Brewer CE, Brown RC. 2012. *Comprehensive Renewable Energy. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. 5: 357–384. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-087872-0.00524-2>
- Chandrasekhar, Pramada PN, Praveen L. 2005. Effect of organic acid treatment on the properties of rice

- husk silica. *Journal of Materials Science*. 40: 6535–6544. <https://doi.org/10.1007/s10853-005-1816-z>
- Chintala R, Schumacher TE, Kumar S, Malo DD, Rice JA, Bleakley B, Chilom G, Clay DE, Julson JL, Papiernik SK, Gu ZR. 2014. Molecular characterization of biochars and their influence on microbiological properties of soil. *Journal of Hazardous Materials*. 279(4): 244–256. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.06.074>
- Gani A. 2009. Potensi arang hayati biochar sebagai komponen teknologi perbaikan produktivitas lahan pertanian. *Jurnal Iptek Tanaman Pangan*. 4(1): 33–48.
- Gross A, Bromm T, Glaser B. 2021. Soil organic carbon sequestration after biochar application: a global meta-analysis). *Agronomy* 11(12): 2474 <https://doi.org/10.3390/agronomy11122474>
- Habieb M, Zaitun, Sufardi. 2018. The effect of biochar and cow manure to increase soil fertility in Entisol Darussalam. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*.13(2): 1–7.
- Lubis N. 2013. Sistem Pertanian Terpadu. [Internet]. Tersedia pada: <http://nasrillubis.blogspot.com/2013/06/sistem-pertanian-terpadu.html> [diakses pada 14 Oktober 2018]
- Mahler RL. 2004. *Nutrients Plants Require for Growth*. College of Agricultural and Life Sciences, University of Idaho. United States (US).
- McLeod M, Sufardi, Zaitun, Sabaruddin, Nazariah, Ramlan, Devianti, Irhas, Ferizal, Dadd S. 2019. Final Report: Improving soil and water management and crop productivity of dryland agriculture systems of Aceh (Indonesia) and New South Wales (Australia). Project number SMCN/2012/103. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR). 96 p.
- Pandit NR, Mulder J, Hale SE, Zimmerman AR, Pandit BH, Cornelissen G. 2018. Multiyear double cropping biochar field trials in Nepal: finding the optimal biochar dose through agronomic trials and cost-benefit analysis. *Elsevier Journal of Science of the Total Environment*. 637–638: 1333–1341. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.107>
- Persson TBE, Clarholm M, Lundkvist H, Söderström BE, Sohlenius B. 1980. Trophic structure, biomass dynamics and carbon metabolism of soil organisms in a scots pine forest. *Ecological Bulletins* No. 32 419–459.
- Plank CO, Kissel DE. 2022. *Plant Analysis Handbook*. College of Agricultural and Environmental Sciences. Athens, GA 30602, United States (US): University of Georgia.
- Rivka B, Laird D, Thompson M, Lawrinenko M. 2017. Characterization and quantification of biochar alkalinity *Chemosphere*. 167: 367–373. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.151>
- Samira, D, Sufardi, Zaitun, Chairunas, Gani A. 2013. Improving Soil Chemical Properties by NPK Fertilizer Application and Residual Rice Husk Biochar Effect on Irrigation Paddy Field. In: *Proceeding of The 3rd Annual International Conference Syiah Kuala University in conjunction with The 2nd International Conference on Multidisciplinary Research*. Banda Aceh (ID): pp. 371–374.
- Shen Y, Peitao Z, Qinfu S. 2014. Porous silica and carbon derived materials from rice husk pyrolysis char. *J. Microporous and Mesoporous Materials* 188(2014): 46–76. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2014.01.005>
- Singh C, Tiwari S, Gupta VK, Singh JS. 2018. The effect of rice husk biochar on soil nutrient status, microbial biomass and paddy productivity of nutrient poor agriculture soils. *Elsevier Journal of Catena*. 171: 485–493. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.07.042>
- Subandi. 2013. Peran dan pengelolaan hara kalium untuk produksi pangan di indonesia1 (role and management of potassium nutrient for food production in Indonesia). [Internet]. Tersedia pada: <https://media.neliti.com/media/publications/30881-ID-role-and-management-of-potassium-nutrient-for-food-production-in-indonesia.pdf>. [Diakses pada 30 Mei 2021].
- Sufardi. 2012. *Introduction to Plant Nutrition*. Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh (ID): CV. Bina Nanggroe.
- Suárez-Hernández L, Ardila-A AN, Barrera-Zapata R. 2017. Morphological and physicochemical characterization of biochar produced by gasification of selected forestry species. *Revista Facultad de Ingeniería*. 26(46) 123–130. <https://doi.org/10.19053/01211129.v26.n46.2017.7324>
- Tan Z, Lin CSK, Ji X, Rainey TJ. 2017. Returning biochar to fields: A Riview. *Applied Soil Ecology* 116 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.03.017>
- Yunilasari M, Sufardi, Zaitun. 2020. Effects of biochar and cow manure on soil chemical properties and peanut (*Arachis hypogaea* L.) yields in entisol. In: *Proceeding of IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 425: 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/425/1/012014>
- Zaitun Z, Halim A, Sa'dah N, Cahyadi R. 2022. Surface morphology properties of biochar feedstock for soil amendment. In: *Proceeding of IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 951: 012034. <https://doi.org/10.1088/17551315/951/1/012034>