

Kontribusi Kompos Jerami-Biochar Dalam Peningkatan P-Tersedia, Jumlah Populasi BPF dan Hasil Padi Sawah

Contribution of Rice Straw Compost-Biochar to the Increase of P- available, PSB Population Number and Rice Yield in Lowland Soil

Putri Indra Noviani¹⁾, Sudono Slamet²⁾ dan Ania Citraresmini²⁾

¹⁾ Fakultas Pertanian UNPAD
Jl. Raya Bandung-Sumedang KM 21, Jatinangor
²⁾ Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta
E-mail : putriindranoviani@gmail.com

ABSTRAK

Bahan organik telah terbukti berperan efektif dalam memulihkan kesuburan tanah. Indikator kesuburan tanah ini antara lain terletak pada kandungan C-organik tanah, jumlah populasi mikroba tanah, kandungan hara tersedia dan hasil tanaman. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui pengaruh dosis aplikasi kompos jerami-Biochar yang berinteraksi dengan pupuk kimia NPK, terhadap kandungan C-organik tanah, jumlah populasi Bakteri Pelarut Fosfat (BPF), ketersediaan P dan hasil tanaman padi sawah. Sasaran penelitian ini adalah mendapatkan interaksi perlakuan yang mampu memperbaiki kesuburan tanah, meningkatkan ketersediaan hara sehingga mendorong produksi tanaman lebih optimal, dan pemakaian pupuk NPK yang efisien. Percobaan dilakukan pada bulan April sampai dengan Agustus 2014 di kebun percobaan SPLPP Fakultas Pertanian UNPAD, berlokasi di Ciparay Kabupaten Bandung Jawa Barat. Perlakuan yang diterapkan adalah dosis kompos jerami-Biochar dalam 5 taraf dosis (0; 1; 2; 3; 4 t ha⁻¹) dan dosis pupuk NPK dalam 4 taraf dosis yang semakin menurun dari dosis rekomendasi (100%, 80%; 60%; 40%), dengan menerapkan desain percobaan RAK pola faktorial. Hasil percobaan menunjukkan dosis kompos jerami-Biochar 2 t ha⁻¹ mampu menyebabkan perbedaan respons yang signifikan dan tercapainya hasil tertinggi pada parameter respons kandungan C-organik tanah, jumlah populasi BPF, ketersediaan P, dan berat kering gabah. Interaksi 2 t ha⁻¹ kompos jerami-Biochar dengan pupuk NPK mampu menurunkan pemakaian pupuk hingga 40%, pada hasil berat kering gabah tertinggi.

Kata kunci : BPF, biochar, fosfat, kompos jerami, padi

ABSTRACT

Organic matter has been shown to play an effective role in restoring soil fertility. These soil fertility indicators include, among others, the soil C-organic content, the population of soil microbes, the nutrient availability and plant yield. This study conducted with the purpose of assessing the impact of rice straw compost-Biochar and NPK chemical fertilizer application on soil C-organic content, phosphate solubilizer bacteria (PSB) population, P availability and crop production. The objective of this research is to get treatment interaction which is able to improve soil fertility, increase soil nutrient availability to encourage more optimal crop production, and provide the efficient use of NPK fertilizer. The experiment conducted from April to August 2014 in SPLPP experimental station of Agriculture Faculty UNPAD, located in Ciparay-Bandung regency West Java. Treatment applied is rice straw compost -Biochar in 5 level of doses (0; 1; 2; 3; 4 t ha⁻¹) and NPK fertilizer in 4 levels of doses decreasing from recommendation dose (100%, 80%; 60 %; 40%), by applying the Complete Randomized Block design in the factorial pattern. The experimental results showed that 2 ts ha⁻¹ of rice straw compost-Biochar was able to induce significant different responses and the highest soil C-organic content, number of PSB population, P availability, and dry weight of grain. Interaction of 2 ts ha⁻¹ rice straw compost -Biochar with NPK fertilizer is able to reduce the use of fertilizers by 40%, in the highest grain dry weight results.

Keywords : biochar, PSB, phosphate, rice, rice straw compost

PENDAHULUAN

Tanah-tanah pertanian di Indonesia pada saat ini telah menurun produktivitasnya hingga tergolong pada “tanah sakit”. Luasan lahan yang tergolong pada kategori sakit ini telah mencapai 41 juta ha dengan perincian potensi kritis 14 juta ha⁻¹ agak kritis 16 juta ha⁻¹; kritis 9 juta ha⁻¹; sangat kritis 2 juta ha⁻¹ dan khusus pada lahan sawah sebesar 2,8 juta ha tahun⁻¹ [1]. Penyebab terjadinya kemunduran kesuburan tanah adalah karena pemakaian pupuk kimia secara intensif dan pengurusan unsur hara di dalam tanah karena pemacuan produksi, tanpa adanya pengembalian atau penambahan bahan organik ke dalam tanah [2].

Upaya pemulihan kesuburan tanah dapat dilakukan dengan memberikan bahan pembenah tanah. Berbagai residu pertanian memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai pembenah tanah, karena ketersediaannya yang melimpah, mudah didapat dan ramah lingkungan. Pada lahan sawah, setiap musim tanamnya dihasilkan jerami sebanyak 2-9 t ha⁻¹ [3] yang sangat berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan organik setelah mengalami pengomposan. Proses pengomposan merupakan teknik perbaikan dan peningkatan nutrisi hara, karena selama proses ini berlangsung dihasilkan energi yang dimanfaatkan oleh mikroorganisme untuk aktivitas metabolisme dalam peranannya pada siklus nutrisi hara. Aktivitas mikroorganisme sangat berperan dalam perombakan substrat organik menjadi bentuk yang lebih stabil serta unsur hara yang berguna bagi tanaman [4].

Sekam adalah residu pertanian padi yang dihasilkan pada proses penggilingan gabah. Potensi produksi sekam adalah 16-21% dari berat bersih beras yang dihasilkan [5]. Sekam padi mengandung 75-90% bahan organik (selulosa dan lignin), mineral silika dan unsur mikro lainnya [6]. Haefele *et al* [7] menyatakan bahwa sekam sebagai material organik merupakan biomassa dengan kandungan karbon organik yang ringan dan sulit untuk terdekomposisi. Potensi kandungan nutrisi dan karbon organik menjadikan sekam padi sebagai bahan yang baik untuk digunakan sebagai pembenah tanah.

Pemanfaatan bahan pembenah tanah dengan resistensi yang tinggi terhadap pelapukan dapat mempercepat pemulihan kesehatan tanah karena adanya ketahanan terhadap aktivitas dekomposisi oleh mikroorganisme [8]. Proses pembuatan arang

yang dilakukan dalam kondisi minim oksigen, dikenal sebagai teknologi Biochar, menghasilkan bahan pembenah tanah yang memiliki kandungan karbon hitam tinggi dan sulit untuk terdekomposisi sehingga dapat berada dalam jangka waktu lama [9]. Stabilitas karbon pada Biochar disebabkan bentuk karbon dalam bahan yang berasal dari kelompok humus asam-asam organik dan phenol. Senyawa *recalcitrant* ini dapat memproteksi proses kehilangan karbon akibat pencucian dan dekomposisi mikrobial.

Penambahan Biochar pada kompos jerami meningkatkan efektivitas bahan organik sebagai pupuk dan pembenah tanah dalam memperbaiki kesuburan dan kesehatan tanah [10]. Ponamperuma [11] menyatakan bahwa aplikasi jerami dan sekam padi secara bersamaan dapat meningkatkan sifat-sifat tanah seperti perbaikan kepadatan tanah, peningkatan pH, penambahan kandungan karbon organik, dan penyediaan unsur hara bagi tanah. De Luca *et al* [12] menyatakan bahwa kompos jerami dan Biochar mampu memperbaiki sifat fisika, kimia dan biologi tanah. Dampak keberadaan bahan organik ini adalah terjadinya peningkatan jumlah dan volume pori tanah sehingga terjadi perbaikan aerasi dan dinamika reaksi unsur hara dalam tanah. Rasool *et al* [13] dan Asalam *et al* [14] menambahkan bahwa porositas tanah yang baik dapat mengurangi kepadatan tanah dan retensi terhadap pergerakan hara, menstimulasi dan meningkatkan aktivitas tumbuh-kembang perakaran tanaman dan keberagaman aktivitas mikroorganisme tanah.

Memperkaya kompos jerami dengan Biochar merupakan formulasi terbaik dalam usaha perbaikan sifat biofisik tanah, meningkatkan suplai unsur hara, efisiensi penggunaan pupuk sintetik, dan meningkatkan hasil tanaman [10, 11]. Nutrisi yang terkandung dalam masing-masing bahan juga dapat memberikan kontribusi yang cukup baik bagi pertanian padi di lahan sawah, karena adanya kandungan hara sebagai berikut : kandungan hara jerami padi terdiri dari 30-40% total C-organik yang kaya humus dan asam-asam organik; 1-1,5% P₂O₅; 0,5% N; 2-3% K₂O; 3-5% SiO₂; dan kandungan Biochar sekam padi terdiri dari 0,72-3,84% K₂O; 0,23-1,59% MgO; 0,001-2,69% P₂O₅ [15].

Karbon yang terkandung dalam pembenah tanah antara lain berfungsi sebagai substrat energi bagi ekosistem tanah. Bahan organik dapat menstimulasi aktivitas heterotropik fauna dalam pembentukan rantai makanan. Girvan *et al* [16]

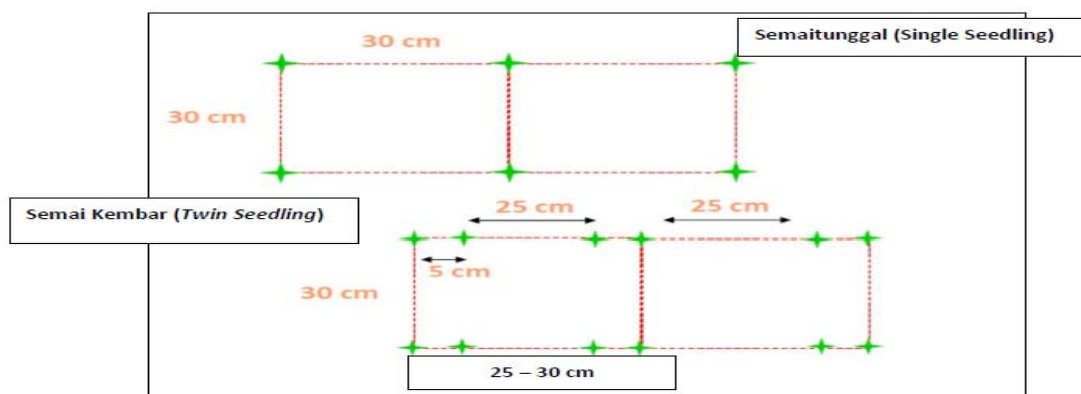
mengemukakan bahwa kompos jerami dan Biochar dapat meningkatkan aktivitas, kepadatan dan keberagaman mikroba seperti misalnya Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) yang banyak terdapat di lapisan rhizosfer tanah dan berfungsi sebagai mikroba potensial dalam membantu pelarutan fosfat. Pori-pori mikro yang dimiliki Biochar, berukuran sekitar 1-2 μm dapat menjadi habitat kolonisasi BPF [17]. Pori mikro Biochar ini juga dapat berfungsi sebagai penyedia air dan nutrisi, sehingga menjadi lingkungan tumbuh yang sesuai untuk mikroorganisme. Selain itu dengan adanya pengaplikasian Biochar maka terjadi peningkatan luas permukaan tanah yang mempengaruhi daya konduktivitas tegangan hidrolis air dan unsur hara, sehingga serapan aliran nutrisi lebih cepat terangkut oleh jaringan xylem tanaman [18]. Dengan demikian maka pemberian Biochar diharapkan dapat menekan kehilangan unsur hara akibat peristiwa volatilisasi, leaching, runoff dan pengikatan oleh senyawa lainnya, serta meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk oleh tanaman. Hasil penelitian Tanaka *et al* [19] dan van Zweiten *et al* [20] menunjukkan bahwa pemberian kompos jerami dan Biochar pada dosis 1-5 t ha^{-1} di dalam tanah, secara signifikan dapat meningkatkan serapan nitrogen, fosfat, dan efisien pemupukan di lahan sawah. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan membuktikan adanya perbaikan sifat kimia tanah sawah, yaitu peningkatan kandungan karbon yang mampu menstimulasi kekuatan biologi tanah. Aktivasi kandungan karbon dan peningkatan jumlah pori mikro dapat meningkatkan keberadaan bakteri menguntungkan, sehingga secara hipotesis diduga

pemberian Biochar akan meningkatkan jumlah populasi BPF di dalam tanah. Peningkatan populasi BPF tentunya berdampak pada peningkatan ketersediaan unsur fosfor (P) bagi tanaman, baik unsur P yang berasal dari tanah maupun unsur P yang ditambahkan ke dalam tanah. Teknik radioisotope P-32 digunakan dalam penelitian ini untuk menjelaskan dampak aplikasi Biochar secara tidak langsung terhadap ketersediaan unsur P.

BAHAN DAN METODE

Percobaan dilaksanakan dari bulan April sampai dengan Agustus 2014 di kebun percobaan SPLPP Fakultas Pertanian UNPAD, berlokasi di Ciparay Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah : (1) benih padi varietas Ciherang; (2) Tanah sawah ordo Inceptisols daerah Ciparay; (3) kompos jerami; (4) Biochar sekam padi; (5) pupuk urea, SP-36, KCl; (6) media selektif BPF (Pikovskaya); (7) pereaksi kimia untuk analisis kandungan C-organik (metode Walkley and Black), dan serapan P tanaman (metode destruksi basah).

Jerami padi dikomposkan dengan bantuan agen dekomposer yang diinkubasikan selama 14-30 hari. Dosis agen dekomposer 500 g (mengandung $76,7 \times 10^8$ cfu/g koloni bakteri) dilarutkan dalam 100 L air untuk mendapatkan suspensi inokulan dekomposer. Sekam padi dijadikan Biochar dengan cara pengarangannya menggunakan teknik pirolisis, pada temperatur 450°C selama 1,5 jam. Pencampuran kompos



Gambar 1. Sistem tanam *twin seedling* (jajar mantan) pada teknik budidaya padi IPAT-BO (Simarmata dan Joy, 2011).

jerami dengan Biochar dilakukan pada perbandingan 60% kompos:40% biochar, lalu diinkubasikan ke dalam tanah pada saat pengolahan (1 minggu sebelum tanam) dengan dosis sesuai perlakuan.

Benih padi varietas Ciherang disemaikan terlebih dahulu, lalu pada umur semai 10 hari dipindahtanamkan ke lapangan. Teknik penanaman yang diterapkan adalah berdasarkan teknologi IPAT-BO, yaitu penanaman dangkal secara *twin seedling* (jajar manten) berjarak 5 cm antara benih-1 dengan benih-2 sehingga terdapat 1 benih pada 1 lubang tanam.

Ukuran petak percobaan adalah 4,5 x 5,25 m, dengan jarak antar petakan 30 cm. Ketinggian petakan adalah 5-10 cm di atas permukaan tanah, dengan jarak antar petakan difungsikan sebagai parit irigasi.

Percobaan menerapkan disain rancangan acak kelompok (RAK) pola faktorial, terdiri dari dua faktor. Faktor pertama adalah dosis kombinasi kompos jerami-Biochar, terdiri dari 5 taraf yaitu : 0, 1, 2, 3, 4 t ha⁻¹. Faktor kedua adalah dosis pupuk kimia sumber NPK, terdiri dari 4 taraf yaitu : 100%, 80%, 60%, 40% dari rekomendasi (300 kg ha⁻¹ urea; 100 kg ha⁻¹ SP-36; 100 kg ha⁻¹ KCl). Dengan demikian terdapat 20 kombinasi perlakuan yang masing-masing diulang sebanyak 3 kali, sehingga jumlah total plot percobaan adalah 60 plot percobaan (lihat Tabel 1). Parameter yang diamati dalam percobaan ini adalah : kandungan C-organik tanah; jumlah populasi BPF; serapan P tanaman; dan hasil tanaman.

berbeda nyata, akibat interaksi pemberian kompos jerami-Biochar dengan dosis pupuk NPK.

Data pada Tabel 2 menunjukkan secara umum penurunan dosis pupuk NPK dari 100% sampai 60% dari rekomendasi yang berinteraksi dengan peningkatan dosis kompos jerami-Biochar dari 1-4 t ha⁻¹ menunjukkan peningkatan kandungan C organik tanah, dengan peningkatan tertinggi terjadi pada dosis pupuk NPK 80% dari rekomendasi. Dalam hal ini diduga pemberian pupuk NPK pada berbagai taraf dosis yang berinteraksi dengan kompos jerami-Biochar dengan dosis yang semakin meningkat, menyebabkan terjadinya peningkatan aktivitas mikroorganisme. Hasil penelitian Das *et al* [21] dapat menjelaskan hal ini, bahwa taraf dosis pupuk sintetik menjadi sumber energi yang segera tersedia bagi mikroorganisme sehingga terjadi peningkatan perombakan bahan organik yang berarti peningkatan kandungan karbon tanah. Namun demikian pada taraf dosis kompos jerami-Biochar yang tinggi (4 t ha⁻¹ = jb₅) dengan dosis pupuk NPK yang semakin berkurang (40% = p₄) terjadi penurunan kandungan karbon tanah karena berkurangnya sumber energi yang segera tersedia sehingga penggunaan karbon tersedia meningkat dan menurunkan kadarnya di dalam tanah.

Kuzyakov *et al* [22] menyatakan bahwa pemberian substansi organik dan anorganik secara bersamaan ke dalam tanah, menyebabkan dampak positif dan negatif terhadap kandungan C-organik tanah. Dampak negatif yang terjadi adalah pelandaian kandungan C-organik, diduga disebabkan oleh proses kejenuhan penyerapan

Tabel 1. Perlakuan yang diujikan dalam percobaan

Dosis pupuk N,P,K dari rekomendasi (p)	100% (p ₁)	80% (p ₂)	60% (p ₃)	40% (p ₄)
Dosis kompos jerami-Biochar (jb)				
0 t ha ⁻¹ (jb ₁)	p ₁ jb ₁	p ₂ jb ₁	p ₃ jb ₁	p ₄ jb ₁
1 t ha ⁻¹ (jb ₂)	p ₁ jb ₂	p ₂ jb ₂	p ₃ jb ₂	p ₄ jb ₂
2 t ha ⁻¹ (jb ₃)	p ₁ jb ₃	p ₂ jb ₃	p ₃ jb ₃	p ₄ jb ₃
3 t ha ⁻¹ (jb ₄)	p ₁ jb ₄	p ₂ jb ₄	p ₃ jb ₄	p ₄ jb ₄
4 t ha ⁻¹ (jb ₅)	p ₁ jb ₅	p ₂ jb ₅	p ₃ jb ₅	p ₄ jb ₅

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan C-Organik Tanah

Kandungan C-organik tanah pada setiap petak perlakuan menunjukkan respons yang

karbon di dalam tanah. Input bahan organik yang tidak dapat distabilkan oleh asosiasi mineral tanah akan mempengaruhi kesetimbangan porsi karbon dan menyebabkan terjadinya proses kejenuhan penyerapan karbon. Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa pemberian pupuk kimia dalam dosis rendah

Tabel 2. Respons kandungan C-organik tanah akibat interaksi perlakuan dosis kompos jerami-Biochar dan dosis pupuk NPK.

Dosis kompos jerami-Biochar (jb)	Dosis pupuk N,P,K dari rekomendasi (p)			
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
	% C			
jb ₁	1,64 a A	2,12 a B	2,37 c B	1,83 a A
jb ₂	1,81 a A	2,31 b AB	2,24 bc B	1,94 ab A
jb ₃	2,15 ab AB	2,47 b B	2,22 bc B	1,91 a A
jb ₄	2,23 b B	2,24 a B	2,10 a A	2,14 b A
jb ₅	1,63 a A	2,22 a B	2,15 b B	1,67 a A

Keterangan : Angka yang ditandai huruf sama tidak berbeda nyata pada uji BNT taraf 5%. Huruf kecil dibaca ke arah vertikal, huruf besar dibaca ke arah horisontal.

(40% dari dosis rekomendasi) menyebabkan tidak dapat terdisosiasinya C-organik berasal dari kompos jerami-Biochar, karena sumber energi yang tidak mencukupi bagi aktivitas metabolisme mikroorganisme tanah melakukan dekomposisi dan mineralisasi. Demikian sebaliknya, pada saat pupuk kimia diberikan dalam dosis tinggi (100% dari dosis rekomendasi) menyebabkan aktivitas metabolisme mikroorganisme tanah menurun karena sumber energi tersedia dengan mudah dan berlimpah. Sarwar *et al* [23] menyatakan bahwa terdapat dosis optimal bagi pupuk N, P, K yang dikombinasikan dengan bahan organik, yang memiliki kemampuan untuk meningkatkan ketersediaan nutrisi hara di dalam tanah. Hal ini

dipengaruhi oleh aktivitas metabolisme mikroorganisme tanah, yang mendapatkan energi segera tersedia dari pupuk kimia sehingga mampu melakukan mineralisasi bahan organik labil dan nutrisi hara.

Murphy [24] mengemukakan bahwa terdapat hubungan positif antara kandungan C-organik tanah dengan efisiensi penggunaan pupuk sintetis. Kondisi ini terlihat pada interaksi perlakuan 80% pupuk NPK dengan 2 t ha⁻¹ kompos jerami-Biochar (p₂jb₃), dan merupakan respons kandungan C-organik tanah terbaik (2,47%). Dosis kompos jerami-Biochar yang diberikan mampu menurunkan 20% penggunaan pupuk NPK dari dosis rekomendasi, dengan tanpa

Tabel 3. Respons jumlah populasi BPF terhadap integrasi perlakuan dosis kompos jerami-Biochar dan dosis pupuk NPK.

Dosis kompos jerami-Biochar (jb)	Dosis pupuk N,P,K dari rekomendasi (p)			
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
	10 ⁸ cfu g ⁻¹			
jb ₁	10,75 a A	21,39 a B	37,68 a C	19,21 a A
jb ₂	11,00 a A	43,78 b C	41,82 a BC	37,21 bc B
jb ₃	21,42 a A	38,07 b B	47,05 b C	43,92 c C
jb ₄	28,75 b A	48,19 c C	49,27 c C	35,23 c B
jb ₅	24,38 b A	34,65 ab B	42,89 ab C	33,76 b B

Keterangan : Angka yang ditandai huruf sama tidak berbeda nyata pada uji BNT taraf 5%. Huruf kecil dibaca vertikal, huruf besar dibaca horizontal.

mereduksi kandungan C-organik tanah. Hal ini berkaitan dengan fungsi kompos jerami sebagai pensubstitusi hara terhadap tanaman. Keberadaan Biochar sebagai pembenah tanah yang bersifat stabil, meningkatkan luas permukaan jerapan kation sehingga dapat menekan kehilangan unsur hara di dalam tanah.

Jumlah Populasi BPF dan Ketersediaan P

Pengaruh aplikasi bahan organik terhadap populasi mikroorganisme tanah dalam percobaan ini dibatasi terhadap jenis bakteri pelarut fosfat (BPF). Hal ini disebabkan pengaruh keberadaan kompos jerami-Biochar terhadap ketersediaan hara P, yang dibutuhkan dalam jumlah sedikit namun ketidakterselesaiannya menjadi pembatas pertumbuhan tanaman. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa interaksi kompos jerami-Biochar dengan pupuk NPK menyebabkan respons jumlah BPF yang berbeda (Tabel 3).

Data pada Tabel 3 menunjukkan jumlah populasi BPF memperlihatkan kecenderungan peningkatan pada saat dosis pupuk NPK berkurang, dan dosis kompos jerami-Biochar ditingkatkan. Dalam hal ini diduga keterbatasan jumlah nutrisi anorganik lebih mengaktifkan kinerja metabolisme bakteri dalam merombak bahan organik kompos jerami-Biochar untuk menghasilkan sumber energi. Dengan demikian terjadi peningkatan jumlah populasi BPF, yang seiring dengan perubahan kandungan C-organik tanah sebagai akibat proses perombakan yang dilakukan oleh bakteri. Jumlah populasi BPF tertinggi ($49,27 \times 10^8$ cfu g^{-1}) diperoleh pada interaksi perlakuan 60% pupuk NPK + 3 t ha^{-1} kompos jerami-Biochar (jb_4p_3), hal ini diduga disebabkan terjadinya keseimbangan antara hara mineral dari sumber pupuk anorganik yang secara cepat memasok energi bagi mikroba dan ketersediaan bahan organik sebagai mikro habitat dan sebagai sumber energi lepas lambat. Namun demikian respons jumlah populasi BPF pada perlakuan jb_4p_3 ini secara statistik tidak berbeda nyata dengan perlakuan jb_3p_3 , yang mengindikasikan keseimbangan hara mineral dari pupuk anorganik dan keberadaan bahan organik dapat tercapai pada dosis kompos jerami-Biochar 2 t ha^{-1} .

Kecenderungan peningkatan jumlah populasi bakteri terjadi saat dosis pupuk NPK diturunkan dan berinteraksi dengan pemberian kompos jerami-biochar. Aplikasi pupuk NPK pada dosis 100% tanpa diiringi penggunaan kompos

jerami-Biochar ternyata menekan populasi BPF. Dalam kondisi ketersediaan hara anorganik yang berlimpah namun ketiadaan bahan organik, mikroba memperlihatkan ketidakmampuan untuk melaksanakan aktivitas metabolismenya sehingga jumlah populasi menurun. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Zhan dan Sun [26], yang menunjukkan terjadinya penurunan populasi bakteri di dalam tanah pada kondisi ketersediaan hara yang tinggi. Singh [27] menjelaskan bahwa keberadaan nutrisi hara anorganik menyebabkan kebutuhan tanaman menjadi segera tercukupi, sehingga bakteri tidak mendapatkan substrat yang dibutuhkan oleh sistem metabolismenya pada saat terlibat dalam proses mineralisasi unsur hara. Hal ini dapat menjelaskan peristiwa penurunan jumlah populasi bakteri pada dosis NPK tinggi tanpa penambahan kompos jerami-Biochar.

Sensitivitas bakteri terhadap pupuk anorganik (NPK) yang diberikan dalam dosis tinggi (100% rekomendasi) dapat diturunkan dengan menyertakan bahan organik ke dalam tanah [28]. Dalam percobaan ini interaksi kompos jerami-Biochar dengan pemupukan NPK sampai pada taraf tertentu menyebabkan respons jumlah populasi BPF tertinggi. Kondisi ini sejalan dengan pendapat tersebut, bahwa kompos jerami-Biochar menurunkan sensitivitas bakteri terhadap pupuk NPK, menstimulasi ketersediaan dan penyediaan nutrisi, dan menyediakan habitat bagi bakteri. Singh [27] juga mengemukakan bahwa berbagai faktor dapat mempengaruhi keberadaan bakteri untuk hidup, misalnya ketersediaan substrat organik dan faktor lingkungan tumbuh seperti pH, suplai oksigen selama proses pertumbuhan, dan sebagainya.

Genus bakteri *Pseudomonas* sp dan *Bacillus* sp adalah genus BPF yang terhitung dalam respons ini. Mengacu pada berbagai hasil penelitian, diketahui bahwa genus BPF terbanyak yang hidup pada rhizosphere padi adalah bakteri *Pseudomonas* sp dan *Bacillus* sp [25]. Dinamika aktivitas BPF ini di dalam tanah sangat bergantung pada kandungan karbon dan nitrogen dalam tanah. Chen [18] juga menyatakan bahwa aktivitas mikroorganisme pelarut fosfat secara signifikan dipengaruhi oleh keberadaan bahan organik yang dapat meningkatkan ketersediaan P dalam tanah. Keberadaan komunitas BPF dan kandungan C-organik yang cukup tinggi dalam percobaan ini akan berkontribusi terhadap pelepasan P tanah dari khelasi kompleks jerapan, sehingga menambah kandungan P tersedia dan

meningkatkan kapasitas serapan P oleh tanaman. Hasil analisis statistik menunjukkan interaksi kompos jerami-Biochar dengan pupuk NPK menyebabkan respons serapan P tanaman yang berbeda (Tabel 4).

Data pada Tabel 4 menunjukkan pengaruh kuat pupuk sintetik NPK dalam menghasilkan respons serapan P tanaman. Terlihat kecenderungan peningkatan serapan P oleh tanaman pada saat dosis pemberian NPK diturunkan dari 100% menjadi 60%, tanpa pemberian kompos jerami-Biochar (jb_1p_1 , jb_1p_2 , dan jb_1p_3). Hal ini mengindikasikan terjadinya efisiensi pemupukan, semakin kecil dosis pupuk yang diberikan semakin tinggi penyerapannya oleh tanaman. Hasil uji statistik pada perlakuan ini menunjukkan respons serapan P tanaman yang tidak berbeda nyata antara pemberian pupuk NPK 100% dengan 80%, 60% dan 40% pada perlakuan tanpa kompos jerami-Biochar. Dalam kondisi ini tanaman memberikan respons penyerapan P yang sama terhadap dosis pupuk NPK yang diberikan.

Interaksi bahan organik dengan pupuk kimia dapat meretensi P di dalam tanah, karena hampir 80% pupuk yang diberikan ke dalam tanah akan terfiksasi oleh liat dan oksida Fe dan Al [29]. Hasil penelitian Nagumo *et al.* [30] menunjukkan bahwa kombinasi kompos-Biochar dengan pupuk sintetik tidak hanya mampu meretensi hara, tetapi juga meningkatkan penyerapan P di dalam tanaman. Alfrida *et al* [31] menyatakan bahwa proses pendekomposisian bahan organik mempengaruhi ketersediaan P di dalam tanah melalui beberapa cara, yaitu : 1) pengkkelatan Fe, Al dan Ca oleh asam-asam organik yang dihasilkan; 2) penyediaan sumber karbon terhadap bakteri pelarut fosfat; dan 3) percepatan proses mineralisasi dengan melepaskan P-anorganik dan P-organik (phytine dan nucleic) ke dalam larutan tanah.

Konsentrasi fosfat yang terkandung di dalam jaringan tanaman pada percobaan ini, rata-rata adalah sebesar 0,23%. Dobermenn dan Fairhurst [32] menyatakan bahwa rujukan standar

Tabel 4. Respons serapan P tanaman (mg tanaman^{-1}) terhadap integrasi perlakuan dosis kompos jerami-Biochar dan dosis pupuk NPK.

Dosis kompos jerami-Biochar (jb)	Dosis pupuk N,P,K dari rekomendasi (p)			
	p_1	p_2	p_3	p_4
	mg tanaman^{-1}			
jb_1	12,34 a A	15,18 a A	17,22 a A	13,13 a A
jb_2	14,15 a AB	11,97 a A	17,46 a A	16,76 a B
jb_3	20,37 b C	14,71 a A	17,32 ab A	14,18 a B
jb_4	17,27 b BC	11,66 a A	11,61 a A	21,37 c C
jb_5	12,22 ab A	12,35 ab A	14,40 b A	8,871 a A

Keterangan : Angka yang ditandai huruf sama tidak berbeda nyata pada uji BNT taraf 5%. Huruf kecil dibaca vertikal, huruf besar dibaca horizontal.

Pada perlakuan tanpa kompos jerami-Biochar, serapan P oleh tanaman mengalami kecenderungan penurunan pada saat dosis pupuk NPK diturunkan menjadi 40%. Hal ini disebabkan suplai hara yang dibutuhkan oleh tanaman mutlak hanya diberikan oleh pupuk sintetik, yang apabila pasokan ini dikurangi maka secara langsung menurunkan jumlah hara yang diserap oleh tanaman.

kecukupan hara untuk konsentrasi fosfat optimum pada tanaman padi adalah $\geq 0,18\%$. Bila dibandingkan dengan nilai rujukan standar ini maka kandungan P pada tanaman percobaan telah memasuki status kecukupan - hara optimum untuk tanaman. Kondisi ini tidak hanya bergantung dari ketersediaan P di dalam tanah, namun juga didukung oleh morfologi tanaman. Semakin besar kepadatan perakaran tanaman maka akses tanaman terhadap area difusi fosfat menjadi semakin luas.

Sejalan dengan pernyataan Czarnecki *et al* [29] bahwa tingkat serapan P tanaman berbanding lurus dengan pertumbuhan perakaran tanaman. Kondisi lahan yang tergenang air juga dapat memberi kontribusi peningkatan ketersediaan fosfat tanah, karena mendukung terjadinya reduksi feri phosphate menjadi bentuk fero phosphate melalui proses hidrolisis senyawa fosfat di dalamnya [33].

Berat Kering Gabah

Respons tanaman terhadap daya dukung lingkungan tumbuhnya, dinyatakan dalam pertumbuhan dan hasil tanaman. Data pada Tabel 5 menunjukkan setiap perlakuan mendapat respons yang berbeda dari tanaman. Tidak ada kecenderungan penurunan dosis pupuk NPK menyebabkan penurunan hasil, atau pun peningkatan dosis kompos jerami-Biochar menyebabkan peningkatan hasil. Demikian juga pada interaksi kedua perlakuan, semakin menurunnya dosis pupuk NPK disertai peningkatan dosis kompos jerami-Biochar memperlihatkan respons hasil yang bervariasi dengan tidak diikuti kecenderungan tertentu.

dosis 100% rekomendasi. Kondisi ini menggambarkan kemampuan tanaman secara efisien memanfaatkan nutrisi hara yang diberikan, dan mengubahnya menjadi fotosintat. Bila melihat pada serapan P tanaman (Tabel 4), terjadi kecenderungan yang sama yaitu respons serapan P tanaman yang tidak berbeda pada saat dosis pupuk NPK diturunkan dan tanpa interaksi dengan kompos jerami-Biochar. Serapan P meningkat pada penurunan dosis pupuk NPK 80% dan 60% (jb_1p_2 dan jb_1p_3) yang juga diikuti peningkatan hasil tanaman sebagai respons atas perlakuan yang sama (Tabel 5).

Dosis NPK 100% rekomendasi yang berinteraksi dengan kompos jerami-Biochar pada dosis 2 dan 4 t ha⁻¹ (jb_3p_1 dan jb_5p_1) menyebabkan hasil tanaman yang tinggi dan tidak berbeda secara nyata. Pada interaksi kompos jerami-Biochar dosis 2 t ha⁻¹ dengan pupuk NPK dosis 40% rekomendasi (jb_3p_4) diperoleh respons hasil tanaman tertinggi (7,83 t ha⁻¹). Melihat pada Tabel 4 respons serapan P tanaman, dosis yang sama (jb_3p_1) juga menyebabkan tercapainya tingkat serapan P tertinggi. Dalam hal ini diduga dosis 2 t ha⁻¹ kompos jerami-Biochar merupakan dosis

Tabel 5. Respons berat kering gabah (t ha⁻¹) terhadap integrasi perlakuan dosis kompos jerami-Biochar dan dosis pupuk NPK.

Dosis kompos jerami-Biochar (jb)	Dosis pupuk N,P,K dari rekomendasi (p)			
	p ₁	p ₂	p ₃	p ₄
	t ha ⁻¹			
jb ₁	6,37 a A	6,95 a A	6,98 a A	6,25 a A
jb ₂	6,20 ab A	6,05 ab A	7,28 b B	5,61 a A
jb ₃	7,66 bc B	6,37 a A	6,86 ab AB	7,83 c C
jb ₄	5,79 a A	6,79 a A	6,40 a A	6,21 a A
jb ₅	7,39 c B	6,26 a A	7,02 bc AB	6,79 ab B

Keterangan : Angka yang ditandai huruf sama tidak berbeda nyata pada uji BNT taraf 5%. Huruf kecil dibaca vertikal, huruf besar dibaca horizontal.

Perlakuan dosis pupuk NPK yang semakin menurun tanpa disertai kompos jerami-Biochar (jb_1p_1 , jb_1p_2 , jb_1p_3 dan jb_1p_4) memperlihatkan respons hasil tanaman yang tidak berbeda. Dalam hal ini pemberian pupuk NPK 40% dosis rekomendasi mampu memberikan hasil tanaman setara dengan tanaman yang diberi pupuk NPK

optimal yang mampu memberikan respons terbaik dalam serapan P tanaman dan hasil tanaman, walaupun tanaman kemudian mengalami perlakuan efisiensi pemupukan dengan dosis aplikasi NPK yang menurun hingga 40%.

Dosis kompos jerami-Biochar sebanyak 2 t ha⁻¹ juga mampu memberikan respons kandungan

C-organik tanah tertinggi (2,47%) pada saat berinteraksi dengan pupuk NPK dosis 80% dari rekomendasi. Meskipun dosis ini tidak menyebabkan jumlah populasi BPF menjadi jumlah tertinggi, namun mampu mengefektifkan aktivitas mikroorganisme untuk menjadikan P tersedia dan diserap secara efektif oleh tanaman dan kemudian didistribusikan pada bagian generatif sebagai hasil tanaman. Hasil penelitian Noviani [34] menunjukkan bahwa terdapat korelasi antara serapan P dan populasi BPF yang pada akhirnya mempengaruhi kapasitas hasil GKP (Gabah Kering Panen) tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa setiap kenaikan jumlah serapan P tanaman dan populasi BPF di dalam tanah akan menyebabkan peningkatan jumlah GKP tanaman. Secara tidak langsung kondisi ini menjelaskan adanya aktivitas BPF dalam menyediakan fosfat terlarut ($\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ dan HPO_4^{2-}) untuk diserap oleh tanaman.

Keterkaitan antara serapan P dengan jumlah GKP tanaman sejalan dengan pernyataan Hwang *et al* [35] bahwa fosfat sebagai elemen esensial sangat dibutuhkan tanaman bagi fase perkembangan yang terjadi ketika organ generatif terinisiasi oleh tanaman. Fosfat secara signifikan mempengaruhi atribut komponen hasil tanaman padi, seperti anakan produktif, panjang malai dan rasio gabah isi terhadap gabah hampa. Inokulasi BPF ke dalam tanah memberikan keuntungan terlepasnya fosfat yang terikat sehingga konsentrasi fosfat tersedia di dalam tanah meningkat, dengan mudah diserap oleh tanaman dan langsung terintegrasi pada kapasitas hasil tanaman. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Panhwar *et al* [36] yang mengemukakan bahwa keberhasilan bakteri pelarut fosfat dalam melarutkan fosfat secara signifikan meningkatkan konsentrasi fosfat pada larutan tanah dan jaringan tanaman padi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa aplikasi kompos jerami-Biochar dan pupuk NPK berpengaruh terhadap peningkatan C-organik tanah, populasi BPF, ketersediaan P dan hasil tanaman padi. Aplikasi kompos jerami-Biochar pada dosis 2 t ha^{-1} yang berinteraksi dengan pupuk NPK dosis 80%-40% mampu memberikan hasil tanaman yang lebih baik dan menunjukkan efisiensi pupuk

dibandingkan dengan perlakuan NPK dosis 100% rekomendasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Tualar Simarmata, Guru Besar Ilmu Tanah Universitas Padjadjaran Bandung, atas bimbingan dan arahan selama penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rochmana, A.K, dan S.S. Hariyono. Identifikasi lahan kering alfisol terdegradasi di Kabupaten Bangkalan. *Jurnal Rekayasa* Vol. 4 (1): 1-10, 2012.
- [2] Citraresmini, A. *Pemulihan Kesehatan Tanah, Peningkatan Efisiensi Pemupukan (P, K) dan Hasil Padi (Oryza sativa L.) Berbasis IPAT-BO Akibat Pemberian Pupuk Biofossi dan Kompos Jerami-Biochar*. Disertasi. Program Pascasarjana UNPAD, Mei 2015.
- [3] Grednera, B dan Tippkotera R. Effect of rice straw application on hydrolytic enzyme activities in Chinese paddy soils. In *19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World*, August 2010.
- [4] Agrawala, P.K. Microbial ecology of compost ecosystem with special reference to mushroom compost. *Journal of Biological and Scientific Opinion*, vol 2 no. 1, pp. 37-49, 2014
- [5] Syuhadah, N. and H. Rohasliney. Rice husk as biosorbent : a review. *Health and Environment Journal*, vol.3 (1) : 15-24, 2012.
- [6] Kumar, S., P. Sangwan, R. Mor, R. Dahnkar, and S. Bidra. Utilization of rice husk and their ash : a review. *Research Journal of Chemical and Environmental Sciences*, vol. 1, 126-129, 2013

- [7] Haefele, Y. Koonboon, W. Wongboon, S. Amarante and A.A. Maarifat. Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. *Field Crops Res.* (121), 430-440, 2011. DOI L 10.1016/j.fcr.2011.01.014
- [8] Nurida, N.L dan Rachman, A. Alternatif Pemulihan Lahan Kering Masam Terdegradasi dengan Formula Pembenh Tanah Biochar di Typic Kanhapludults Lampung. Balittanah. Kementan, 2012
- [9] Lehmann, J., J.P. Da Silva Jr., C. Steiner, T. Nehls, W. Zech and B. Glaser. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazone basin : fertilizer, manure and charcoal amendmets. *J. Plant and Soil*, (249), 343-357, 2003
- [10] Dariah, A., N.L. Nurida, dan Jubaedah. Pemanfaatan pembenh tanah untuk pemulihan tanah terdegradasi yang didominasi fraksi pasir dan liat. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pemupukan dan Pemulihan Lahan Terdegradasi* :669-679. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementrian Pertanian. Bogor, 2012
- [11] Ponamperuma, F.N. Straw as source nutrient for wetland rice. In : Banta, S., Mendoza, C.V. (Eds). *Organic Matter and Rice*. The Philippines. IRRI : 117-136, 1982.
- [12] De Lucca, T.H., MacKenzie, M.D., and Gundale, M.J. Biochar effects on soil nutrient transformation. In : J. Lehmann and S. Joseph (Eds). *Biochar for Environmental Management : Science and Technology*. Earthscan. London : 251-255, 2006.
- [13] Rasool, R., S.S. Kukal, and G.S. Hira. Soil physical fertility and crop performance as affected by long term application of FYM and inorganic fertilizers in rice-wheat system. *Soil Till. Res.*(96):64-72, 2007.
- [14] Asalam, Z., M. Khalid, and M. Aon. Impact of biochar on soil physical properties. *Scholarly Journal of Agricultural Science*. Vol 4(5): 280-284, 2014.
- [15] Simarmata, T., dan B. Joy. *Pemanfaatan Kompos Jearmi dalam Teknologi Pemulihan Kesehatan dan Kesuburan Lahan Sawah dan Peningkatan Produksi secara Berkelanjutan di Indonesia*. Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian UNPAD Press. Bandung, 2010.
- [16] Girvan, M.S., Bullimore, J., Ball A.S., Pretty, J.N., and Osborn A.M. Responses of active bacterial and fungal communities in soil under winter wheat to different fertilizer and pesticide regimens. *Appl. Environ. Microbiol* (70): 2692-2701, 2004.
- [17] Quilliam, R.S., H.C. Glanville., S.C. Wade, and D.L. Jones. Life in the 'charosphere'-does biochar in agriculture soil provide a significant habitat for microorganisms? *Journal Soil Biology and Biochemistry* 65:287-293, 2013.
- [18] Chen, Y.P., P.D. Rekha, A.B. Arunshen, W.A. Lai and C.C. Young. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. *Appl. Soil Ecol*, 34:33-41, 2006.
- [19] Tanaka H., Kyaw W., Toyota K., Motobayashi. Influence of application of rice straw, farmyard manure and municipal biowastes on nitrogen fixation, soil microbial biomass N, and mineral N in a model paddy microcosm. *Biol Fertil Soils* 42:501-505, 2010.
- [20] Van Zwieten, L., S. Kimer, S. Morris, K.Y. Chan, A. Downie, J. Rust., S. Joseph, and A. Cowie. Effect of biochar from slow pyrolysis of peppermill waste on organic performance and soil fertility. *Journal Plant Soil* 327:235-246, 2010.
- [21] Das, S.K. Role of micronutrient in rice cultivation and management strategy in organic agriculture-a reappraisal. *Agricultural Science* 5:765-769, 2014.

- [22] Kuzyakov, Y. Review : factors affecting rhizosphere priming effects. *J. Plant Nutr. Soil Sci* 165:382-396, 2002.
- [23] Sarwar, G., N. Hussain, H. Schemeisky, and S. Muhammad. Use of compost an environment friendly technology for enhancing rice-wheat production in Pakistan. *Pak. J. Bot* 39(5):1553-1558, 2007.
- [24] Murphy, B.W. Soil organic matter and soil function – review of the literature and underlying data. *Australian Government Department of the Environment* : 71-94, 2014.
- [25] Zhan, J., and O. Shun. Diversity of free living nitrogen-fixing bacteria microorganism in the rhizosphere and non-rhizosphere of pioneer plant growing on wastelands of copper mine tailings. *Microbiol Re.* 167: 157-165, 2011.
- [26] Singh, B.P., and A.L. Cowie. Long term influence of biochar on native organic carbon mineralization in low carbon clayey soil. *Scientific Report* 4 (3687), 2014.
- [27] Ogawa, M and Okimori, Y. Pioneering works in biochar research, Japan. *Australian Journal of Soil Research* 48 : 489-500, 2010.
- [28] Czarnecki, O., J. Yang, D.J. West, G.A. Tuskan, J.G. Chen. Dual role of strigolactes in phosphate acquisition and utilization in plants. *International Journal Molecular Sciences* 14: 7681-7701, 2013.
- [29] Nagumo, T., S. Tajima, S. Chikushi and A. Yamashita. Phosphorus balance and soil phosphorus status in paddy rice fields with various fertilizer practices. *Journal Plant Production Science*, vol. 16, (1), 69-76, 2013.
- [30] Afrida, E., A. Rauf, H. Hanum, dan D. Harnowo. Efek residu pupuk organik dan penambahan pupuk anorganik terhadap sifat kimia dan biologi tanah pada lahan sawah tadah hujan. *Prosiding Seminar Nasional HITI Komda Aceh*. Banda Aceh, 2014.
- [31] Dobermann, A., and T. Fairhurst. Rice-nutrient disorder and nutrient management. 1st Edition. Potash and Phosphate Institute (PPI), Potash and Phosphate Institute of Canada (PPIC) and International Rice Institute (IRRI). pp. 40-117, 2000.
- [32] Fageria, N.K., G.D. Carvalho, A.B. Santos, E.P.B. Ferreira, and A.M. Knupp. Chemistry of lowland rice soil and nutrient availability. *Soil Science and Plant Analysis*, 42 : 1913-1933, 2011.
- [33] Noviani, P.I. Aplikasi Kompos-Biochar untuk Meningkatkan Efisiensi Pupuk NPK, C-organik, Populasi BNF, BPF, Serapan N, P dan Hasil Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) Berbasis Teknologi IPAT-BO. Thesis. Program Pascasarjana UNPAD, April 2015.
- [34] Hwang, W.H., S.K. Park, T. Kwon, G. Yi, M.H. Nam, S.Y. Song, S.M. Kim, H.W. Kang, D.H. Kim, H. Wang, and D.S. Park. Phosphate uptake and growth characteristic of transgenic rice with phosphate transporter-1 (OsPT1) gene overexpression under high phosphate soils. *African Journal of Biotechnology*, vol. 11, (27), 6983-6990, 2012.
- [35] Alam, M.M., H. Ali, A.K.M. Ruhul, and M. Hasanuzzaman. Yield attribute and harvest index of three irrigated rice varieties under different levels phosphorus. *Advances in Biological Research*, vol. 3, (3-4), 132-139, 2009.
- [36] Panhwar, Q.A., O. Radziah, Z.A. Rahman, M. Sariah, M.I. Razi and U.A. Naher. Contribution of phosphate solubilizing bacteria in phosphate bioavailability and growth enhancement of aerobic rice. *Spanish Journal of Agricultural Research*, vol. 9, (3), 810-820, 2011.

