

**PERBAIKAN KUALITAS TANAH PURNA TAMBANG NIKEL DENGAN
PENGUNAAN MIKORIZA DAN *BIOCHAR*
TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT**

Improvement of The Nickel Post-Mining Soil Quality Using The Mycorrhiza and Biochar Made From Oil Palm Empty Fruit Bunch.

Titah Kasih Angelita^{1*}, Burhanuddin Rasyid¹, Rismaneswati¹

¹Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin, Makassar

*Corresponding email: Taliatitah96@gmail.com

Doi: 10.20956/ecosolum.v9i1.7250

ABSTRACT

Nickel mining decreases the quality of soil properties, it is not suitable for agriculture so alternative technology is required such as using biochar made from oil palm empty fruit bunch and mycorrhiza. This study aims to examine the effect of biochar made from oil palm empty fruit bunch and mycorrhiza to improve the nickel post-mining soil quality. This study used two-factor factorial randomized group design. The first factor is biochar made from oil palm empty fruit bunch with 4 levels; B0 (0 g), B1 (300 g), B2 (450 g), and B3 (600 g), the second factor is mycorrhiza with 4 levels; M0 (0 g), M1 (2 g), M2 (4 g), each treatment was repeated 3 treatments so that the total experiment was 36 units. The results showed that the use of bio-ameliorant waste from oil palm empty fruit bunch with dosage of 120 g / kg, improved the chemical properties of nickel post-mining soil regarding the parameter of C-organic, pH, available phosphorus, cation exchange capacity, exchangeable aluminum, Ca-dd and Mg -dd and increasing plant growth significantly. The treatment of mycorrhiza 0.4 g / kg significantly affected the soil properties regarding the parameters of root volume, root length and percentage of root infection and improvement of soil chemical properties in available phosphorus to plants and exchangeable aluminum parameters. The treatment of biochar with dosage of 120g / kg of soil and mycorrhiza 0.4 g / kg of soil is the best interaction of mycorrhiza and biochar made from oil palm empty fruit bunch as amelioration material of post-mining soil which is characterized by the decrease of exchangeable aluminum value. The application of biochar made from oil palm empty fruit bunch and mycorrhiza can improve the nickel post-mining soil quality.

Keywords: nickel post-mining soil, biochar made from oil palm empty fruit bunch, mycorrhiza, exchangeable aluminum, phosphorus available

PENDAHULUAN

Luas wilayah dan potensi iklim di Indonesia sangat mendukung industri dibidang pertambangan. Hampir sebagian besar wilayah Indonesia terdiri dari tanah tua yang telah mengalami pelapukan batuan induk. Pemaparan iklim yang silih berganti antara musim hujan dan musim kemarau mempercepat proses mineralisasi batuan induk sehingga sangat berpotensi untuk dieksploitasi

lebih lanjut. Luas tanah yang berpelapukan lanjut ini sekitar 67% dari total luas tanah di Indonesia. Tambang nikel di Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, sebagai satu diantara beberapa lokasi tambang nikel terbesar di Indonesia dan telah dikelola sejak tahun 1980-an oleh beberapa perusahaan asing hingga saat ini di bawah pengelolaan PT. VALE Indonesia (Nursyamsi, 2008 *dalam* Allo, 2016).

Dalam wilayah penyebaran tanah di Sorowako terdapat kandungan Ni (II) dengan konsentrasi Ni (II) antara 3-5%. Suatu nilai konsentrasi yang merupakan standar konsentrasi Ni (II) yang dikenal secara internasional. Batuan induk nikel yang mengandung nikel sesuai dengan standar perdagangan internasional terdapat pada kedalaman 20-40 m di bawah permukaan tanah. PT Vale Indonesia dalam penambangannya menggunakan sistem tambang terbuka atau *open cast*. Secara umum, tahapan kegiatan penambangan yang dilakukan meliputi pembukaan lahan, pengupasan lapisan tanah pucuk (*top soil*) dimana penambangannya dilakukan dengan cara memotong bagian sisi bukit dari puncak menuju ke bawah sesuai dengan garis konturnya, sehingga dapat disebut juga *Countour Mining* dan tanah penutup (*overburden*), pemindahan material tanah dan batuan hingga diperoleh lapisan kaya nikel yang disebut saprolite ore (PT.IncoSustainability Report 2010, 48). Bekas lapisan galian tersebut ditimpuk pada wilayah sekitar areal penambangan dan akan ditimbun kembali setelah kegiatan penambangan selesai (Sariwahyuni, 2012). Akan tetapi, dalam kegiatan penambangannya PT Vale mulai melaksanakan rehabilitasi lahan yang dimulai sejak pembukaan lahan. Areal reklamasi dalam proses rehabilitasi lahan pascatambang ini diperuntukkan untuk proses revegetasi dan penghijauan (Saputra, 2013 *dalam* Bato, 2016).

Kegiatan penambangan menyebabkan perubahan karakteristik akibat dari proses pengerukan sehingga kondisi tanah menjadi labil, tekstur dan struktur tanah menjadi buruk komposisinya bagi pertumbuhan. Sukresno (1996) *dalam* Allo (2016), menyatakan bahwa kondisi tanah setelah ditambang semakin memperjelas bahwa ciri-ciri tanah tailing (ampas/ sisa) adalah berpori makro, tekstur pasir atau kerikil, kandungan unsur hara rendah, padat bila kering dan konsistensinya jelek.

Penggunaan *biochar* dapat menjadi bahan pembenah tanah lahan purna tambang. Menurut Maguire dan Aglevor (2010) *dalam* Putri (2017) *biochar* adalah arang hitam hasil dari proses pemanasan biomassa pada keadaan oksigen terbatas atau tanpa oksigen. *Biochar* dapat diproduksi dari berbagai bahan yang mengandung ligniselulosa, seperti kayu, sisa tanaman

(jerami padi sekam padi, tandan kosong kelapa sawit dan limbah sagu) dan pupuk kandang. Berbeda dengan bahan organik, *biochar* tersusun dari cincin karbon aromatis sehingga lebih stabil dan tahan lama di dalam tanah. *Biochar* menjaga kelembaban tanah sehingga kapasitas menahan air tinggi (Endriani et al, 2013) dan meremediasi tanah yang tercemar logam berat seperti (Pb, Cu, Cd dan Ni). Selain itu, pemberian *biochar* pada tanah juga mampu meningkatkan pertumbuhan serta serapan hara pada tanaman (Satriawan dan Handyanto, 2015 dalam Putri, 2017).

Curah hujan tinggi sebagai salah satu faktor yang berpengaruh terhadap proses pembentukan tanah di Sorowako yang memungkinkan terurainya basa-basa secara intensif dan meninggalkan mineral-mineral resisten pencucian yang biasanya terakumulasi pada lapisan permukaan tanah. Hal ini berpengaruh terhadap sifat kimia tanah, antara lain tanah bersifat masam, kandungan bahan organik rendah, C/N ratio rendah, fosfor tersedia sangat rendah, KTK rendah serta kandungan kalsium sangat rendah. Merryana (2016) menyatakan bahwa terjadi kenaikan tingkat derajat kemasaman tanah sehingga memengaruhi ketersediaan unsur hara makro P. Penggunaan *biochar* pun dapat meningkatkan P tersedia pada tanah alkalin karena reaktivitas P dengan tanah meningkat serta membentuk senyawa tidak terlarut dengan Ca (DeLuca *et al.*, 2009 dalam Tambunan, 2014). Berbeda dengan bahan organik lainnya di dalam tanah *biochar* menjerap unsur hara P lebih kuat.

Kondisi biologi di tanah lahan bekas tambang yakni mengalami penurunan jumlah mikroorganisme tanah yang terjadi karena perubahan fisik tanah (pemadatan tanah) akibat kegiatan penambangan. Sedangkan, Anas (1989) dalam Utami (2009) menyatakan bahwa jumlah total mikroorganisme yang terdapat didalam tanah digunakan sebagai indeks kesuburan tanah (fertility indeks), tanpa mempertimbangkan hal-hal lain. Tanah yang subur mengandung sejumlah mikroorganisme, populasi yang tinggi ini menggambarkan adanya suplai makanan atau energi yang cukup ditambah lagi dengan temperatur yang sesuai, ketersediaan air yang cukup, kondisi ekologi lain yang mendukung perkembangan terhadap mikroorganisme pada tanah tersebut. Pemberian agen hayati berupa Mikoriza dapat mengatasi permasalahan tersebut. Sebab, mikoriza dapat menjadi salah satu sumber mikroorganisme. Menurut Anne (2017), agen hayati ini mampu meningkatkan serapan hara dan air untuk tanaman serta meningkatkan stabilitas agregat tanah melalui struktur hifa yang dibentuknya. Penggunaan *biochar* pun akan dapat mempengaruhi pertumbuhan mikoriza dalam tanah. Sebab, pemberian *biochar* kedalam tanah dapat

menyediakan habitat yang baik bagi mikroba tanah yang membantu dalam prombakan unsur hara agar unsur hara tersebut dapat diserap oleh tanaman. Berdasarkan uraian tersebut maka diharapkan dengan pemberian *biochar* dan mikoriza dapat menjadi alternatif untuk perbaikan tanah lahan bekas tambang.

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi penggunaan *bio-amelioran* limbah kelapa sawit untuk perbaikan tanah bekas tambang, mengkaji penggunaan mikoriza bersama *biochar* tandan kosong kelapa sawit dan interaksinya sebagai bahan ameliorasi tanah bekas tambang dan mengkaji pengaruh interaksi mikoriza dan *biochar* tandan kosong kelapa sawit terhadap perbaikan kualitas tanah purna tambang nikel. Sedangkan, kegunaan dari penelitian ini yakni sebagai masukan teknologi untuk perbaikan tanah purna tambang nikel, memanfaatkan limbah kelapa sawit menjadi bahan *amelioran* dan meningkatkan potensi penggunaan tanah bekas tambang untuk lahan produksi pertanian

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret sampai Juni 2019 di *Green House Experimental Farm* Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin. Analisis sampel tanah dilaksanakan di Laboratorium Kimia Kesuburan Tanah, Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin. Lokasi pengambilan sampel tanah purna tambang nikel berada di Desa Sorowako, Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur pada titik kordinat $121^{\circ} 21' 11,838''$ BT dan $2^{\circ} 33' 0,965''$ LS. Bahan yang digunakan dalam penelitian yakni Benih Jagung Bisi-18, Tanah purna tambang, Tandan kosong kelapa sawit, Pupuk Urea, Pupuk SP36, Pupuk KCl. Sedangkan alat yang diunakan terdiri dari alat sampling pada tanah berupa cangkul, sekop, linggis, golok global positioning system (GPS), Karung 50 kg, alat sampling pada pot yang terdiri dari pot (kapasitas 10 kg), Timbangan (maks. 25 kg), penggaris/meteran, alat tulis dan alat pembuatan biochar yang terdiri dari drum, pipa, seng, kawat. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan rancangan acak kelompok dengan dua faktor. Percobaan faktorial adalah suatu percobaan yang perlakuannya terdiri atas semua kemungkinan kombinasi taraf dari beberapa faktor. Percobaan ini terdiri atas faktor *biochar* sebagai F1 dengan 4 taraf yakni B0, B1 (6%), B2 (9%), dan B3 (12%) dan faktor mikoriza sebagai F2 dengan 3 taraf yakni M0, M1, dan M2.

F1 (*Biochar*) : B0, B1 (6%), B2(9%), B3 (12%)

F2 (Mikoriza) : M0, M1, M2

Parameter pengamatan dalam penelitian meliputi parameter pengamatan sifat tanah (pH, kapasitas tukar kation, C-organik, aluminium dapat ditukar, kalsium dapat ditukar, magnesium dapat ditukar, dan fosfor tersedia bagi tanaman), parameter pengamatan mikoriza (persentase infeksi mikoriza, panjang akar, volume akar), dan parameter pertumbuhan tanaman (tinggi tanaman, jumlah daun dan berat kering). Untuk metode analisis sifat tanah yakni:

Tabel 1. Metode analisis sifat tanah

Parameter	Metode Analisis
pH tanah	pH meter, H ₂ O, KCl
Kapasitas Tukar Kation	Penjenuhan Ammonium Asetat (NH ₄ OAc pH 7)
Ca, Mg	Ekstrak Amonium Asetat
P-tersedia	Metode Olsen
Al-dd	Metode Titrimetri (ekstrak KCl 1 M)
C-Organik (%)	<i>Walkey and Black</i>

Kegiatan penelitian meliputi pengambilan sampel tanah, pembuatan *biochar*, persiapan mikoriza dan tanah, penanaman, pengukuran parameter tanaman, pengukuran parameter infeksi akar, pengukuran parameter sifat tanah dan analisis data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis tanah purna tambang nikel sebelum perlakuan (Tabel 2) menunjukkan nilai pH yang tergolong masam. Hal ini sesuai dengan pendapat Allo (2016) yang menyatakan bahwa hilangnya solum tanah dan berlangsungnya pencucian pada tanah purna tambang nikel mengakibatkan hilangnya sebagian kation pada koloid tanah sehingga pH tanah rendah. Reaksi (pH) tanah purna tambang nikel yang masam ini menyebabkan nilai KTK tanah tergolong sangat rendah serta memengaruhi ketersediaan unsur hara makro P yang ikut berkurang ketersediaannya dalam tanah. Hal ini disebabkan oleh P difiksasi Al bebas serta oksihidroksida Al dan membentuk Al-P yang tidak larut. Hasil penelitian tersebut diperkuat oleh penelitian Ch'ng *et al* (2016) yang menunjukkan bahwa pH tanah berkorelasi negatif dengan jumlah Al yang mengikat P (Al-P). Demikian pula dengan tingkat ketersediaan unsur hara Ca pada tingkat pH tanah yang dianalisis menjadi sangat rendah. Secara nyata bahwa telah terjadi penurunan nilai-nilai kandungan masing-masing unsur hara makro P akibat aktivitas penambangan. pH tanah yang

bereaksi masam menandakan meningkatnya ion Al dalam tanah sedangkan unsur-unsur hara mikro yang diperlukan jumlahnya makin sedikit. Hal ini disebabkan unsur-unsur hara tersebut cepat larut. Sehingga, tanah purna tambang nikel dapat dikatakan memiliki karakteristik kimia tanah yang kurang baik untuk digunakan sebagai lahan pertanian sehingga membutuhkan tindakan pengelolaan tertentu.

Tabel 2. Hasil analisis tanah sebelum perlakuan

Sifat Kimia Tanah	Nilai	Kriteria
C-Organik	0,93 %	*Rendah
Kapasitas Tukar Kation	3,76 cmol/kg	*Sangat rendah
• Ca	1,95 cmol/kg	*Sangat rendah
• Mg	5,15 cmol/kg	*Tinggi
pH		
H ₂ O (2:5)	5,40	*Masam
KCl (2:5)	5,20	*Masam
P tersedia	12,26 ppm	*Sedang
Al-dd	2,61	*sangat tinggi

Sumber: *Balai Penelitian Tanah (2009) dan Hill Laboratories (2018)

Tabel 3. Rata-rata tinggi tanaman

Biochar (g)	Mikoriza (g)		
	M0 (0)	M1 (2)	M2 (4)
B0 (0)	17,17	24,00	57,10
B1 (300)	67,23	45,47	42,47
B2 (450)	68,10	59,60	44,10
B3 (600)	52,9	38,67	43,63

Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan perlakuan B2M0 memiliki nilai rata-rata tinggi tanaman yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan yang lainnya. Jika dilihat dari kondisi fisik tanaman, tanaman kerdil atau lamban tumbuh, baik dari pertumbuhan atas (pucuk) maupun

bawah (akar). Hal ini dipengaruhi oleh serapan P jaringan tanaman jagung, dimana menurut Suharo dkk (2018), pemupukan organik tidak menyediakan fosfat dalam bentuk tersedia yang dapat secara langsung diserap oleh tanaman seperti pupuk anorganik. Selaras dengan penelitian Gunawan dkk (2014) dalam Suharo dkk (2018) bahwa pemupukan organik cenderung memiliki daya serap hara yang lebih rendah dibandingkan pupuk anorganik. Selain itu, pupuk organik juga cenderung bersifat *slow release* dengan daya kelarutan yang lambat sehingga tidak mudah tersedia bagi tanaman. Tetapi, terlepas dari sifat pupuk organik yang *slow release*, pupuk organik mampu memperbaiki tanah yang tercemar.

Tabel 4. Rata-rata jumlah daun tanaman jagung perlakuan *biochar*

Perlakuan	Rata-Rata (helai)	NP BNJ _{0,05}
B0	8,00 ^d	
B1	10,89 ^b	
B2	11,78 ^a	0,81
B3	9,00 ^c	

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama (a, b, c, d) berarti tidak berbeda nyata pada uji taraf BNJ 5%

Berdasarkan Tabel 4, perlakuan B2 menunjukkan rata-rata jumlah daun tertinggi dengan nilai 11,78 yang berbeda nyata dengan B0, B1, dan B3. Hal ini membuktikan bahwa *biochar* mampu meningkatkan ketersediaan N bagi tanaman, dimana nitrogen berfungsi untuk pertumbuhan vegetatif (tinggi, anakan dan hijau daun) dan sebagai pembentuk klorofil dan daun. Nitrogen diserap tanaman dalam bentuk nitrat (NO_3) dan ammonium (NH_4^+). Yao et al (2012) menunjukkan bahwa *biochar* secara efektif mampu menyerap nitrat sebesar 3,7% dan amonium sebesar 15,7% dibandingkan tanpa *biochar*. Akan tetapi, pemberian *biochar* dengan dosis tertinggi (B3) menunjukkan nilai rata-rata jumlah daun yang rendah dibandingkan dengan B2. Hal ini menandakan bahwa dosis *biochar* sebanyak 450 g sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan N untuk pertumbuhan daun.

Tabel 5. Rata-rata jumlah daun tanaman jagung perlakuan *mikoriza*

Perlakuan	Rata-Rata (helai)	NP BNJ _{0,05}
M0	11,00 ^a	0,69
M1	8,00 ^b	
M2	10,75 ^a	

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama (a, b) berarti tidak berbeda nyata pada uji taraf BNJ 5%

Berdasarkan Tabel 5, perlakuan M0 memiliki rata-rata jumlah daun tertinggi dengan nilai 11,00 yang berbeda nyata dengan M1 tetapi tidak berbeda nyata dengan M2. Hal ini sesuai dengan pendapat Gardner dkk (2008) dalam Abror dan Mauludin (2015) bahwa pemberian mikoriza dapat meningkatkan penyerapan unsur hara terutama fosfat sehingga pertumbuhan dan perkembangan organ seperti jumlah daun dan mengingat bahwa fungi ini dapat meningkatkan penyerapan unsur hara oleh akar tanaman serta menghasilkan enzim fosfatase yang membantu katalis hidrosida kompleks fosfat tidak larut dalam tanah menjadi fosfat larut.

Tabel 6. Rata-rata berat kering tanaman jagung perlakuan interaksi *biochar* dan mikoriza

Mikoriza (g)	Biochar (g)			
	0 (B0)	300 (B1)	450 (B2)	600 (B3)
0 (M0)	3,20 g	29,34 de	59,97 b	19,60 ef
2 (M1)	4,02 fg	19,23 ef	97,63 a	39,60 cd
4 (M2)	49,53 bc	44,70 c	12,73 fg	17,53 efg
NP BNJ _{0,05}	14,81			

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama (a, b, c, d, f, g, h) berarti tidak berbeda nyata pada uji taraf BNJ 5%

Berdasarkan Tabel 6, rata-rata berat kering tanaman jagung tertinggi adalah B2M1 yang berbeda nyata dengan semua perlakuan. Tanaman Jagung merupakan tanaman yang sangat peka dengan kondisi kadar air tanah, dimana aie menjadi faktor pembatasnya. Penelitian Khalili *et al* (2014) menunjukkan bahwa berat biomassa tanaman yang diberi perlakuan stress kekeringan nyata menurun dibandingkan perlakuan kontrol. Penelitian terdahulu juga membuktikan bahwa penurunan biomassa tanaman erat hubungannya dengan berkurangnya kelembaban tanah. Sedangkan, menurut Lehmann *et al* (2006) biochar memiliki kemampuan yang bermanfaat untuk

mempertahankan kelembaban dapat membantu tanaman pada periode periode kekeringan, berperan sebagai pemacu pertumbuhan tanaman dan menahan nutrisi dalam tanah sehingga nutrisi yang ada dalam tanah tidak mudah hilang dalam proses pencucian dalam tanah dan pada akhirnya akan berpengaruh pada peningkatan hasil panen.

Tabel 7. Rata-rata panjang akar tanaman jagung perlakuan interaksi *biochar* dan mikoriza

Mikoriza (g)	Biochar (g)			
	0 (B0)	300 (B1)	450 (B2)	600 (B3)
0 (M0)	29,67 bcd	37,33 abc	41,00 abc	29,33 bcd
2 (M1)	26,67 cd	18,00 d	48,00 a	45,33 ab
4 (M2)	39,33 abc	52,67 a	30,67 bcd	49,00 a
NP BNJ _{0,05}	16,34			

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama (a,b,c,d,e) berarti tidak berbeda nyata pada uji taraf BNJ 5%

Berdasarkan Tabel 7, perlakuan B1M2 menunjukkan perlakuan terbaik dengan nilai rata-rata panjang akar sebesar 52,67 cm yang berbeda nyata dengan B0M0, B0M1, B1M1, B2M2, B3M0 tetapi tidak berbeda nyata dengan B0M2, B1M0, B2M0, B2M1, B3M1, DAN B3M2. Hal ini sesuai dengan pendapat Dewi (2007) yang menyatakan bahwa adanya CMA dapat memperpanjang dan memperluas akar dalam tanah sehingga jangkauan jelajah akar untuk menyerap hara meningkat. Kolonisasi mikoriza dapat meningkatkan densitas panjang akar atau mengubah sistem perakaran yang memungkinkan tanaman terinfeksi mengeksplorasi volume tanah dan ekstrak air lebih luas dari tanaman tanpa mikoriza pada musim kemarau.

Tabel 8. Rata-rata volume akar tanaman jagung perlakuan interaksi *biochar* dan mikoriza

Mikoriza (g)	Biochar (g)			
	0 (B0)	300 (B1)	450 (B2)	600 (B3)
0 (M0)	5,83 e	49,33 b	49,67 b	35,33 c
2 (M1)	5,33 e	27,50 cd	71,00 a	35,67 c
4 (M2)	24,67 cd	34,33 c	15,67 de	25,33 cd
NP BNJ _{0,05}	13,36			

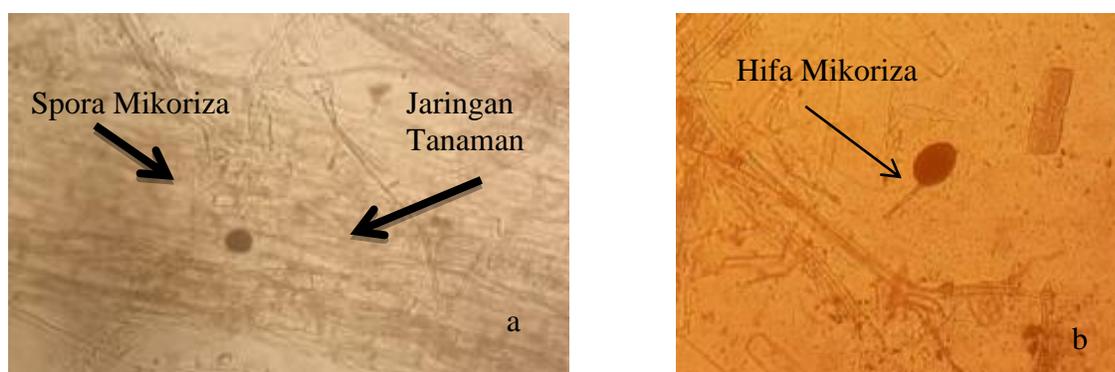
Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama (a, b, c, d, e) berarti tidak berbeda nyata pada uji taraf BNJ 5%

Berdasarkan Tabel 8, perlakuan B2M1 menunjukkan perlakuan dengan rata-rata terbaik dengan nilai rata-rata volume akar 71,00 ml (71,00 cm³) yang berbeda nyata dengan semua perlakuan lainnya. Peningkatan volume akar oleh CMA diduga karena CMA mampu menyerap unsur hara yang tersedia didalam tanah lebih banyak. Hasil penelitian Nasaruddin (2012) menunjukkan hasil yang sama bahwa volume akar tanaman jagung meningkat hingga pemberian dosis CMA 150 g/plot. Namun, pemberian mikoriza dengan dosis M2 menunjukkan rata-rata volume akar yang tidak lebih tinggi daripada pemberian dosis M1. Hal ini diduga karena bahan mikoriza yang digunakan dalam bentuk granular.

Tabel 9. Rata-rata persentase infeksi mikoriza perlakuan interaksi *biochar* dan mikoriza

Mikoriza (g)	Biochar (g)			
	0 (B0)	300 (B1)	0 (B0)	600 (B3)
0 (M0)	46,67 b	0 (M0)	46,67 b	0 (M0)
2 (M1)	80,00 a	2 (M1)	80,00 a	2 (M1)
4 (M2)	73,33 a	4 (M2)	73,33 a	4 (M2)
NP BNJ _{0,05}	20,09			

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama (a, dan b) berarti tidak berbeda nyata pada uji taraf BNJ 5%



Gambar 1. Hasil Identifikasi spora mikoriza (a); hifa (b) pada mikroskop dengan pembesaran 100x

Berdasarkan Tabel 9, perlakuan dengan rata-rata persentase infeksi mikoriza tertinggi adalah B0M1 yang berbeda nyata dengan B0M0, B1M0, B1M2, B2M1, dan B3M0 tetapi tidak berbeda nyata dengan B0M2, B1M1, B2M0, B3M1 dan B3M2. Hal ini sejalan dengan

bertambahnya panjang akar pada unit percobaan dengan perlakuan mikoriza. Besarnya persentase infeksi mikoriza akan memperpanjang dan memperluas akar dalam tanah sehingga jangkauan jelajah akar untuk menyerap hara meningkat (Dewi, 2007)

Tabel 10. Rata-rata C-Organik perlakuan *biochar*

Perlakuan	Rata-Rata	NP BNJ _{0,05}
B0	0,90 ^c	0,06
B1	1,24 ^b	
B2	1,19 ^b	
B3	1,40 ^a	

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama (a, b, c) berarti tidak berbeda nyata pada uji taraf BNJ 5%

Tabel 10 menunjukkan bahwa perlakuan yang memiliki kandungan C-Organik tertinggi terdapat pada B3 sebesar 1,40%. Perlakuan B3 berbeda nyata dengan B0, B1 dan B2. Berdasarkan staf pusat penelitian tanah (1983), kandungan C-Organik 1%-2% masih tergolong rendah. Jika dibandingkan dengan analisis awal tanah purna tambang nikel sebelum perlakuan yakni 0,93%, terjadi peningkatan C-Organik. Hal ini sesuai dengan pendapat Widiastuti (2016) yang menyatakan bahwa *biochar* bersifat persistensi dalam tanah karena mengandung karbon (C) yang tinggi, lebih dari 50% dan tidak mengalami pelapukan lanjut sehingga stabil sampai puluhan tahun di dalam tanah. Sifat afinitas *biochar* terletak pada permukaan yang luas dan mengandung banyak pori sehingga memiliki densitas yang tinggi. Sifat fisik demikian memungkinkan *biochar* memiliki kemampuan mengikat air dan pupuk yang cukup tinggi.

Tabel 11. Rata-rata pH H₂O perlakuan *biochar*

Perlakuan	Rata-Rata	NP BNJ _{0,05}
B0	5,30 ^c	0,13
B1	5,50 ^b	
B2	5,77 ^a	
B3	5,86 ^a	

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama (a, b, c) berarti tidak berbeda nyata pada uji taraf BNJ 5%

Tabel 11 menunjukkan bahwa pH tanah tertinggi terdapat pada perlakuan B3 yakni 5,86. Perlakuan B3 berbeda nyata dengan B1 dan B0, namun tidak berbeda nyata dengan B2. Dari pH sebelum perlakuan yakni 5,40 yang tergolong masam menandakan bahwa rata-rata pH perlakuan

B1, B0, dan B3 mengalami peningkatan sehingga tanah tergolong kedalam pH agak masam. Hal ini sesuai dengan pendapat Kresnawati (2017) bahwa proses pirolisis TKKS sebanyak 6 kg menghasilkan 1,9 kg arang hayati dimana nilai pHnya 9. Hal inipun selaras dengan pendapat Lehman (2007) yang menyatakan bahwa secara umum biochar bersifat netral sampai alkalin sehingga dapat digunakan untuk meningkatkan tanah masam.

Tabel 12. Rata-rata pH KCl perlakuan *biochar*

Perlakuan	Rata-Rata	NP BNJ
B0	5,03 ^c	0,12
B1	5,35 ^b	
B2	5,68 ^a	
B3	5,65 ^a	

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama (a, b, c) berarti tidak berbeda nyata pada uji taraf BNJ 5%

Tabel 12 menunjukkan bahwa pH tanah tertinggi terdapat pada perlakuan B2 yakni 5,68. Perlakuan B2 berbeda nyata dengan B1 dan B0, namun tidak berbeda nyata dengan B3. Dari pH sebelum perlakuan yakni 5,20 yang tergolong masam menandakan bahwa rata-rata pH perlakuan B1 dan B3 mengalami peningkatan sehingga tanah tergolong kedalam pH agak masam. Hal ini sesuai dengan pendapat Kresnawati (2017) bahwa proses pirolisis TKKS sebanyak 6 kg menghasilkan 1,9 kg arang hayati dimana nilai pHnya 9.

Tabel 13. Rata-rata Al-dd perlakuan interaksi *biochar* dan mikoriza

Mikoriza (g)	Biochar (g)			
	0 (B0)	300 (B1)	450 (B2)	600 (B3)
0 (M0)	2,41 ^{bcd}	2,52 ^{ab}	2,39 ^{cd}	1,99 ^g
2 (M1)	2,54 ^a	2,50 ^{abc}	2,22 ^e	1,84 ^h
4 (M2)	2,38 ^d	2,36 ^d	2,10 ^f	1,58 ⁱ
NP BNJ _{0,05}	0,11			

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama (a, b, c, d, e, f, g, h, i) berarti tidak berbeda nyata pada uji taraf BNJ 5%

Berdasarkan nilai Al-dd pada Tabel 13, perlakuan B3M1 menunjukkan nilai Al-dd tanah terendah, yaitu 1,58 cmol/kg yang berbeda nyata dengan semua perlakuan lainnya. Hal ini sejalan dengan peningkatan pH setelah perlakuan dimana pH tanah yang rendah menandakan

berkurangnya ion Al didalam tanah (Allo, 2016). Seiring dengan menurunnya pH, kelarutan dan daya *toxic* aluminium (Al) meningkat dalam tanah. Al-dd pun berhubungan dengan tingkat P tersedia dalam tanah untuk tanaman. Proses kimia yang terjadi adalah Al dan Fe oksida meningkatkan retensi P. Reaksi ini terjadi tergantung dari kemasaman tanah, P terikat oleh energi serap kuat seperti oksida besi/aluminium dan hidroksida Fe/Al sehingga terjadi ikatan Al-P (Ohno dan Amirbahman, 2010).

Tabel 14. Rata-rata fosfor tersedia bagi tanaman perlakuan *biochar*

Perlakuan	Rata-Rata	NP BNJ _{0,05}
B0	6,71 ^d	0,63
B1	11,03 ^c	
B2	14,34 ^b	
B3	19,08 ^a	

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama (a, b) berarti tidak berbeda nyata pada uji taraf BNJ 5%

Tabel 15. Rata-rata Fosfor tersedia bagi tanaman perlakuan mikoriza

Perlakuan	Rata-Rata	NP BNJ _{0,05}
M0	11,46 ^b	0,54
M1	13,58 ^a	
M2	13,33 ^a	

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama (a, b, c, d) berarti tidak berbeda nyata pada uji taraf BNJ 5%

Tabel 15 menunjukkan bahwa P tersedia tertinggi terdapat pada perlakuan M1 dengan nilai 13,58 ppm. Akan tetapi, perlakuan M1 tidak berbeda nyata dengan M2. Hal ini karena perlakuan tersebut hanya berbeda dosis tetapi memberikan efek yang sama. Tetapi, M1 dan M2 berbeda nyata dengan M0. Begitupula dengan Tabel 14 dimana perlakuan B3 menunjukkan perlakuan terbaik dengan nilai P tersedia 19,08 ppm. Perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan B0, B1 dan B2. Hal ini sejalan dengan penurunan Al-dd dan peningkatan pH setelah perlakuan. Hal ini sesuai dengan pendapat Allo (2016) yang menyatakan bahwa pH tanah yang tinggi menandakan menurunnya ion Al dalam tanah sehingga unsur-unsur hara yang diperlukan jumlahnya makin banyak. Hal ini disebabkan unsur hara tersebut tidak mudah larut. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa interaksi antara biochar dan mikoriza mampu meningkatkan

ketersediaan P dalam tanah. Hal ini sejalan dengan penelitian Dariah dan Nuridah (2012) yang menyatakan bahwa interaksi antara biochar dan mikroiza akan menghasilkan hifa pada permukaan biochar yang akan memutus ikatan Al-P sehingga P menjadi tersedia bagi tanaman.

Tabel 16. Rata-rata KTK perlakuan interaksi *biochar* dan mikoriza

Mikoriza (g)	Biochar (g)			
	0 (B0)	300 (B1)	450 (B2)	600 (B3)
0 (M0)	5,49 ^f	11,02 ^c	11,8 ^c	15,82 ^a
2 (M1)	7,95 ^e	11,51 ^c	13,13 ^b	16,24 ^a
4 (M2)	9,05 ^d	12,73 ^b	13,47 ^b	15,88 ^a
NP BNJ _{0,05}	0,83			

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama (a, b, c, d, e, f) berarti tidak berbeda nyata pada uji taraf BNJ 5%

Berdasarkan Tabel 16, KTK tertinggi ditunjukkan pada perlakuan B3M1 yakni sebesar 15,88 cmol/kg yang berbeda nyata dengan B0M0, B0M1, B0M2, B1M0, B1M1, B1M2, B2M0 B2M1, B2M2 tetapi tidak berbeda nyata dengan B3M0 dan B3M2. Banyak studi terkait menunjukkan bahwa nilai kapasitas tukar kation tanah dapat menjadi parameter tingkat toksisitas aluminium (Al) (Abruna-Rodriquez *et al*, 1982; Brenes dan Pearson, 1973; Farina *et al*, 1980; Fox, 1979; Gonzalez-Erico *et al*, 1979; Pavan *et al*, 1982 dalam Jones, 2008) sehingga meningkatnya nilai KTK disebabkan oleh kandungan aluminium dapat ditukar yang tergolong rendah setelah perlakuan. Hal ini selaras dengan pendapat Verheijen *et al*. (2010) yang menyatakan bahwa kapasitas tukar kation biochar dapat mencapai 40 cmol/g dan akan meningkat setelah ditanamkan ketanah karena adanya pengaruh oksidasi.

Tabel 17. Rata-rata Ca-dd perlakuan interaksi *biochar* dan mikoriza

Mikoriza (g)	Biochar (g)			
	0 (B0)	300 (B1)	450 (B2)	600 (B3)
0 (M0)	2,61 ^{cde}	2,88 ^{bcde}	2,26 ^e	2,92 ^{bcde}
2 (M1)	3,56 ^{ab}	2,99 ^{bcde}	3,21 ^{abc}	3,56 ^{ab}
4 (M2)	3,83 ^a	3,46 ^{ab}	2,38 ^{de}	3,37 ^{ab}
NP BNJ _{0,05}	0,69			

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama (a, b, c, d, e) berarti tidak berbeda nyata pada uji taraf BNJ 5%

Berdasarkan Tabel 17, perlakuan B0M2 merupakan perlakuan terbaik yakni dengan rata-rata nilai Ca 3,83 cmol/kg tetapi tidak berbeda nyata dengan B0M1, B1M2, B2M1, B3M1, dan B3M2 serta berbeda nyata dengan B0M0, B1M0, B1M1, B2M0, B2M2, B3M0. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa pemberian biochar mampu meningkatkan ketersediaan Ca dalam tanah. Ketersediaan Ca dipengaruhi oleh nilai KTK yang meningkat akibat pemberian biochar kedalam tanah (Allo, 2016). KTK menggambarkan kemampuan tanah memegang unsur hara dan melepaskannya untuk tanaman. Hal ini juga selaras dengan pendapat Glaser et al. (2002) yang menyatakan bahwa *biochar* secara langsung menambahkan beberapa elemen makro seperti P, K, N, Ca, Mg dan mikro nutrisi seperti Cu, Zn, Fe, dan Mn ke tanah yang dibutuhkan untuk pertanian berkelanjutan.

Tabel 18. Rata-rata Mg-dd perlakuan interaksi *biochar*

Perlakuan	Rata-Rata	NP BNJ _{0,05}
B0	4,59 ^b	
B1	5,11 ^b	
B2	4,55 ^b	1,74
B3	7,86 ^a	

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama (a,b,c,d) berarti tidak berbeda nyata pada uji taraf BNJ 5%

Berdasarkan Tabel 18, perlakuan B3 menunjukkan perlakuan terbaik dengan nilai rata-rata Mg 7,86 cmol/kg. Perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa pemberian biochar mampu meningkatkan ketersediaan Mg dalam tanah. Ketersediaan Mg sama halnya dengan nilai Ca yang dipengaruhi oleh nilai KTK yang meningkat akibat pemberian biochar kedalam tanah (Allo, 2016). Hal ini selaras dengan pendapat Deenik et al. (2011) yang menyatakan bahwa biochar dapat menyediakan nutrisi bagi tanaman, khususnya kation seperti K, Ca, dan Mg serta menjamin ketersediaan hara bagi tanaman.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Penggunaan *bio-amelioran* limbah tandan kosong kelapa sawit dengan dosis 120g/kg tanah nyata meningkatkan pertumbuhan tanaman dan nyata memperbaiki kualitas kimia tanah

purna tambang nikel (C-organik, pH, fosfor tersedia, kapasitas tukar kation, aluminium dapat tukar, Ca-dd dan Mg-dd).

2. Pemberian mikoriza 0,4 g/kg tanah nyata meningkatkan volume akar, panjang akar dan persentase infeksi akar dan perbaikan sifat kimia tanah pada parameter fosfor tersedia bagi tanaman dan penurunan aluminium dapat tukar.
3. Perlakuan *biochar* dengan dosis 120g/kg tanah dan pemberian mikoriza 0,4 g/ kg tanah merupakan interaksi terbaik mikoriza dan *biochar* tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan ameliorasi tanah bekas tambang yang ditandai dengan menurunnya nilai aluminium dapat tukar.

Penggunaan *biochar* tandan kosong kelapa sawit sebagai *bio-amelioran* yang dikombinasikan dengan mikoriza dapat dilakukan uji coba langsung di lapangan direkomendasikan untuk memperbaiki kualitas tanah purna tambang nikel.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullahi dan Sheriff. 2013. *Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Chemical Fertilizer on Growth and shoot nutrients content of Onion under Field Condition in Northern Sudan Savanna of Nigeria*. Journal of Agriculture and Veterinary Science Vol. 3 No. 5; 85-90.
- Abror, M dan M. Mauludin. 2015. *Pengaruh Pemberian Mikoriza Vesikular Arbuskula Terhadap Efisiensi Penyerapan Fosfat pada Pertumbuhan dan Produksi Cabai Rawit*. Vol 12, No 1.
- Allo, M. Kidding. 2016. *Kondisi Sifat Fisik dan Kimia Tanah pada Bekas Tambang Nikkel serta Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan Trengguli dan Manohi*. Jurnal Hutan Tropis Volume 4 No. 2. Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Makassar.
- Anne, N, A. Yuniarti, dan Sungkono. 2017. *Peningkatan Kualitas Tanah Bekas Tambang Pasir Melalui Penambahan Amelioran Biologis*. Jurnal Agrikultura 2017, 28 (1) :21-26. Departemen Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Padjajaran.
- Ch'ng, H. Y., O. Haruna., N. M. A. Majid. *Improving Phosphorus Availability, Nutrient Uptake And Dry Matter Production Of Zea Mays L. On A Tropical Acid Soil Using Poultry Manure Biochar And Pineapple Leaves Compost*. *Expl Agric.* (2016), volume 52 (3), pp. 447–465.
- Dariah, A., N.L. Nurida. 2012. *Pemanfaatan Biochar untuk Meningkatkan Produktivitas Lahan Kering Beriklim Kering*. Buana Sains Vol 12 No.1:33-38, 2012. Balai Penelitian Tanah, Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Litbang Pertanian, Bogor.

- Dewi A. 2007. *Peran, Prospek dan Kendala dalam Pemanfaatan Endomikoriza*. Jurusan Budidaya Pertanian, Program Studi Agronomi, Fakultas Pertanian Universitas Pajajaran, Jatinangor, Bandung.
- Dewi, T. M., A. Nurbaity., P. Suryatmana dan E. T. Sofyan. 2017. *Efek Sterilisasi Dan Komposisi Media Produksi Inokulan Fungi Mikoriza Arbuskula Terhadap Kolonisasi Akar, Panjang Akar Dan Bobot Kering Akar Sorgum*. Jurnal Agro Vol. 4 No.1; 24-31.
- Endriani, Sunarti, Ajidirman. 2013. *Pemanfaatan Biochar Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Soil Amandement Ultisol Sungai Bahar-Jambi*. Volume 15, Nomor 1, Hal. 39-46 Fakultas Pertanian Universitas Jambi.
- Glaser, B., Lehman, J., dan Zech, W. 2002. *Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal- areview*. *Biology and Fertility of Soil*, 35(4) :219-230.
- Hartanti, Ima. 2013. *Pengaruh Pemberian Pupuk Hayati Mikoriza dan Rock Phosphate Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung Manis (Zea mays saccharata Sturt)*. Fakultas Pertanian Universitas Riau.
- Jones, C. A., 2008. *Estimation of percent aluminum saturation from soil chemical data*. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15:3, 327-335.
- Khaili, M., Naghavi., M.R., Alireza Pour Aboughadareh, A.P., Rad, H.N., 2013. *Effect of Drought Stress on Yield and Yield Components in Maize cultivates (Zea mays L.)*. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. Vol., 4 (4) :809-812.
- Lehman, J. & Rondon, M. 2006. *Bio-char soil management on highly weathered soils in the humid tropics*. *Biological approaches to sustainable soil system*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 517-530.
- Ohno, T dan Amirbahman A. 2010. *Phosphorus availability in boreal forest soils: a geochemical and nutrient uptake modeling approach*. *Geoderma* 155(2):46-54.
- Putri, V. Islami., Mukhlis, B.H. 2017. *Pemberian Beberapa Jenis Biochar untuk Memperbaiki Sifat Kimia Tanah Ultisol dan Pertumbuhan Tanaman Jagung*. *Jurnal Agroekoteknologi* Vol.5. No. 4, Oktober 2017 (107): 824- 828. Fakultas Pertanian, USU Medan.
- Saputra, R. Linda dan Irwan. 2015. *Jamur Mikoriza Vesikular Arbuskular (MVA) pada Tiga Jenis Tanah Rhizosfer Tanaman Pisang Nipah (Musa paradisiaca L. var. nipah) Di Kabupaten Pontianak*. *Jurnal Protobiont* Vol. 4 No. 1;160-169.

- Sariwahyuni. 2012. *Rehabilitasi Lahan Bekas Tambang PT. Incosorowako dengan Bahan Organik, Bakteri Pelarut Fosfat dan Bakteri Pereduksi Nikel*. Jurnal Riset Industri Vol. VI No. 2, 2012, Hal. 149-155. Akademi Teknik Industri Makassar, Makassar.
- Suharo, T. R. Oceananda, T. C. Setiawati, S. Winarto. 2018. *Peningkatan Ketersediaan dan Serapan P pada Tanaman Jagung di Lahan Tercemar Limbah Padat Kapur (Lime Mud) Melalui Penambahan Bahan Organik*. Program Studi Agrteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Jember/
- Tambunan, Sonia, B.S., E. H. 2014. *Pengaruh Aplikasi Bahan Organik Segar dan Biochar terhadap Ketersediaan P dalam Tanah di Lahan Kering Malang Selatan*. Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan Vol 1 No 1: 85-92, 2014. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya.
- Utami, N. Hikmah. 2009. *Kajian Sifat Fisik, Sifat Kimia, dan Sifat Biologi Tanah Paska Tambang Galian C pada Tiga Penutupan Lahan (Studi Kasus Pertambangan Pasir (Galian C) di Desa Gumulung Tonggoh, Kecamatan Astanajapura, Kabupaten Cirebon, Provinsi Jawa Barat)*. Institut Pertanian Bogor.
- Verheijen, F.G.A., Jefferey, S., Bastos, A.C., V.D. velde., & Diafas, I. 2009. *Biochar Application to Soil- A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Function*. JRC Scientific and Technical Report EUR 24009 EN. Luxembourg: Office for the Official Publication of the European Communities 149 pp.
- Yao, Y., G.B., Z.M, I.M., Z. AR (2012). *Effect of Biochar Amaendent on Sorption and Leaching of Nitrate, Ammonium and Phosphat in a Sandys Soil*. *Chemosphere*. 89: 1467-1471.