

Respons Tanaman Kopi Arabika pada Tanah Andisol Terhadap Aplikasi Bahan Organik

Response of Arabica Coffee Cultivated on Andisols on Organic Matter Applications

Pujiyanto^{1*)}

¹⁾Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jl. PB. Sudirman No. 90, Jember, Indonesia

^{*)}Alamat penulis (*corresponding author*): pujiyantosoil@yahoo.co.id

Naskah diterima (*received*) 21 Agustus 2013, disetujui (*accepted*) 1 September 2013

Abstrak

Andisol merupakan tanah dengan karakteristik khusus berupa dominasi mineral-mineral non-kristalin yang membentuk ikatan sangat kuat dan stabil dengan bahan organik, sehingga Andisol memiliki kadar bahan organik tinggi. Oleh karena itu, tanaman kopi pada tanah Andisol umumnya tidak diberi pupuk organik karena diasumsikan bahwa aplikasi pupuk organik pada tanah Andisol tidak akan memberikan respons positif bagi pertumbuhan, maupun produksi tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi respons tanaman kopi Arabika yang ditanam pada tanah Andisol terhadap aplikasi bahan organik pupuk kandang. Penelitian ini dilakukan pada pertanaman kopi Arabika varietas Kartika 1 umur tujuh tahun di Kebun Percobaan Andungsari di wilayah Kabupaten Bondowoso pada elevasi 1.150 m dpl., tipe curah hujan C menurut klasifikasi Schmidt & Fergusson. Penelitian ini menguji sembilan perlakuan kombinasi dosis pupuk kandang dengan dosis aplikasi 0 - 13,5 kg/pohon/tahun pada jarak aplikasi 50 cm, 100 cm, dan 150 cm yang disusun dengan rancangan acak kelompok lengkap dengan empat ulangan. Tiap petak penelitian terdiri atas 20 tanaman. Bahan organik yang dipakai dalam penelitian ini merupakan kotoran sapi yang telah mengalami dekomposisi dan dalam keadaan kering. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi bahan organik pupuk kandang pada tanah Andisol mampu meningkatkan jumlah buah kopi Arabika dan hasil biji kopi pasar sebesar rata-rata 33%, namun tidak berpengaruh nyata terhadap defisit kejemuhan air daun, kadar air tanah pada musim kemarau, dan kepadatan akar tanaman. Pada jarak aplikasi pupuk kandang 50 - 150 cm, makin dalam jarak aplikasi bahan organik maka respons produksi tanaman kopi makin besar.

Kata kunci: Andisol, kopi Arabika, bahan organik, pupuk kandang sapi

Abstract

Andisols are characterized by dominance of amorphous minerals which form strong and stable bonding with organic matter, therefore Andisols always contain high organic matter. For that reason, organic fertilizer is generally not applied on Andisols, because it is assumed that it will not give any positive effect on growth or yield. The experiment was aimed to evaluate response of mature Kartika 1 Arabica coffee variety (seven years old) cultivated on Andisols applied with organic matter derived from cow dung manure. The experiment was carried out at Andungsari Experimental Station located in Bondowoso District, East Java. Elevation of the site was 1,150 m asl., with rainfall type of C (Schmidt

& Fergusson). The experiment was arranged according to completely randomized block design with four replications to evaluate effect of nine combination treatments of application rates at application depths of 50, 100, and 150 cm. The range of organic fertilizers rates were 0 - 13.5 kg/tree/year. The experiment revealed that cow dung manure applications on Arabica coffee cultivated on Andisols significantly increased yield at the average of 33% compared to the untreated crop. No significant effect of the treatment on variables of leaf water deficit and soil moisture content during dry season and root density. At range of application depths of 50 - 150 cm, the deeper the organic matter applications, the higher the yield will be.

Key words: Andisols, Arabica coffee, organic matter, cow dung manure

PENDAHULUAN

Luas areal kopi Arabika di Indonesia saat ini mencapai 252.645 ha atau 19% dari total areal kopi (Ditjenbun, 2012). Pada awal pengembangannya, kopi Arabika dibudidayakan di lahan dataran rendah sampai dataran tinggi, tetapi sejak berkembangnya penyakit karat daun yang disebabkan oleh jamur *Hemileia vastatrix* B et Br., tanaman ini hanya dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik pada lahan dataran tinggi. Penyakit karat daun merupakan pembatas utama bagi pengembangan kopi Arabika ke wilayah yang lebih luas. Mawardi *et al.* (1985) menunjukkan bahwa jamur karat daun memiliki beberapa macam ras fisiologik, dan khusus di dataran tinggi Ijen telah diidentifikasi sekurang-kurangnya tiga ras fisiologik.

Areal kopi Arabika di Indonesia (utamanya di Jawa) cukup banyak yang diusahakan pada tanah Andisol. Andisol merupakan salah satu jenis tanah yang umumnya terdapat di wilayah pegunungan di dataran tinggi yang terbentuk dari bahan induk abu vulkanik yang belum terdekomposisi lanjut dan mengandung mineral-mineral non-kristalin seperti allofan dan imogolit. Kedua jenis mineral amorf tersebut mampu membentuk ikatan yang

sangat kuat dan stabil dengan bahan organik, sehingga kadar bahan organik pada tanah Andisol tergolong tinggi. Sifak fisik tanah Andisol umumnya gembur, mudah diolah dan memiliki daya retensi air yang tinggi. Andisol yang mengandung banyak allofan dan imogolit memiliki kemasaman sedang sampai tinggi dan kadar K terekstrak rendah, serta memiliki kapasitas jerapan yang tinggi terhadap anion fosfat dan molibdat. Kedua anion tersebut saling berkompetisi pada permukaan kompleks jerapan. Kapasitas jerapan anion yang tinggi tersebut menyebabkan rendahnya mobilitas dan ketersedian hara yang berada dalam bentuk anion (Vistoso *et al.*, 2012). Andisol sering dipandang tidak memerlukan pupuk organik karena diasumsikan bahwa aplikasi bahan organik pada tanah Andisol tidak akan memberikan dampak positif bagi pertumbuhan maupun produksi.

Hasil penelitian pada tanah Alfisol di dataran rendah menunjukkan bahwa pemberian bahan organik dapat memperbaiki sifat tanah dan kondisi tanaman serta meningkatkan produksi kopi Robusta. Respons positif tersebut disebabkan oleh fungsi bahan organik dalam memperbaiki status nutrisi, meningkatkan daya retensi air, dan memperbaiki kesehatan tanah (Pujiyanto, 2011). Hasil penelitian Lazcano *et al.* (2012) menunjukkan bahwa pemberian

bahan organik menstimulasi pertumbuhan mikroba tanah, mengubah struktur mikroba tanah dan meningkatkan aktivitas enzim. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi respons tanaman kopi Arabika yang ditanam pada tanah Andisol berkadar bahan organik tinggi terhadap aplikasi bahan organik pupuk kandang.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan pada pertanaman kopi Arabika umur tujuh tahun di Kebun Percobaan Andungsari, Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia yang berlokasi di Kabupaten Bondowoso. Elevasi pada lokasi penelitian adalah 1.150 m dpl., dengan jenis tanah Andisol dan tipe curah hujan C menurut klasifikasi Schmidt & Fergusson. Drainase eksternal maupun internal baik, dan tidak ada pembatas pertumbuhan akar secara vertikal ke dalam profil tanah. Hasil analisis contoh tanah menunjukkan bahwa kadar C organik 7,29%; N 0,28%; P total 170 ppm; P Bray I 14 ppm; Na 0,36 me%; K 3,21 me%; Ca 10,38 me%; Mg 2,99 me%; KTK 30,96 me%; KB 55%; dan pH 5,14.

Penelitian disusun menurut rancangan acak kelompok lengkap dengan empat ulangan sebagai blok. Penelitian ini terdiri atas 10 perlakuan untuk menguji sembilan

perlakuan kombinasi antara jeluk dan dosis aplikasi bahan organik terhadap produksi kopi Arabika dengan satu perlakuan kontrol. Tiap petak penelitian terdiri atas 20 tanaman kopi Arabika umur tujuh tahun varietas Kartika 1 dengan jarak tanam 2 m x 2,5 m. Pada masing-masing petak ditentukan lima tanaman contoh untuk pengamatan produksi, kadar air daun maupun kadar air tanah. Bahan organik yang dipakai dalam penelitian ini merupakan kotoran sapi yang telah mengalami dekomposisi dan diaplikasikan dalam keadaan kering. Berat jenis bahan organik yang dipakai adalah 0,38 g/cm³. Perlakuan yang diberikan seperti tercantum dalam Tabel 1.

Aplikasi bahan organik dilakukan dengan cara membuat lubang bor dengan jeluk 50 cm, 100 cm, dan 150 cm menggunakan bor tanah dengan diameter 10 cm. Pembuatan lubang bor dilakukan pada jarak 10 cm dari pokok tanaman kopi Arabika. Selanjutnya lubang hasil pengeboran diisi dengan pupuk kandang sampai penuh. Aplikasi bahan organik pupuk kandang dilakukan setiap tahun atau tiga kali aplikasi selama penelitian berlangsung. Aplikasi pupuk anorganik diberikan dengan dosis, jenis, dan metode aplikasi standar kebun.

Variabel yang diamati adalah kadar air daun relatif, defisit kejemuhan air daun pada musim kemarau, kadar air tanah, bobot dan jumlah akar, jumlah buah, rendemen buah

Tabel 1. Perlakuan jumlah bahan organik dan jeluk aplikasi

Table 1. Treatment of organic matter rates and application depth

Kode code	Perlakuan treatment
A	Kontrol tanpa bahan organik (<i>Control with no organic matter</i>)
B	Bahan organik dengan jeluk aplikasi 0 - 50 cm dosis 1,5 kg/pohon (<i>Application depth of 0 - 50 cm at rates of 1.5 kg/tree</i>)
C	Bahan organik dengan jeluk aplikasi 0 - 50 cm dosis 3,0 kg/pohon (<i>Application depth of 0 - 50 cm at rates of 3.0 kg/tree</i>)
D	Bahan organik dengan jeluk aplikasi 0 - 50 cm dosis 4,5 kg/pohon (<i>Application depth of 0 - 50 cm at rates of 4.5 kg/tree</i>)
E	Bahan organik dengan jeluk aplikasi 0 - 100 cm dosis 3,0 kg/pohon (<i>Application depth of 0 - 100 cm at rates of 3.0 kg/tree</i>)
F	Bahan organik dengan jeluk aplikasi 0 - 100 cm dosis 6,0 kg/pohon (<i>Application depth of 0 - 100 cm at rates of 6.0 kg/tree</i>)
G	Bahan organik dengan jeluk aplikasi 0 - 100 cm dosis 9,0 kg/pohon (<i>Application depth of 0 - 100 cm at rates of 9.0 kg/tree</i>)
H	Bahan organik dengan jeluk aplikasi 0 - 150 cm dosis 4,5 kg/pohon (<i>Application depth of 0 - 150 cm at rates of 4.5 kg/tree</i>)
I	Bahan organik dengan jeluk aplikasi 0 - 150 cm dosis 9,0 kg/pohon (<i>Application depth of 0 - 150 cm at rates of 9.0 kg/tree</i>)
J	Bahan organik dengan jeluk aplikasi 0 - 150 cm dosis 13,5 kg/pohon (<i>Application depth of 0 - 150 cm at rates of 13.5 kg/tree</i>)

kopi, dan bobot kopi pasar. Pengambilan contoh daun untuk penetapan kadar air daun relatif dilakukan dua kali pada pertengahan musim kemarau. Dari setiap pohon kopi diambil delapan helai daun yang merupakan pasangan daun ketiga dari ujung daun digunakan sebagai contoh sesuai dengan prosedur pengambilan contoh daun kopi. Kadar air daun relatif merupakan persentase antara kadar air daun dalam keadaan lapang dengan kadar air daun dalam keadaan jenuh, sedangkan defisit kejenuhan air daun adalah merupakan perbedaan antara kadar air dalam keadaan lapang dengan kadar air daun dalam keadaan jenuhnya. Produksi buah kopi dihitung berdasarkan jumlah buahnya. Data produksi kopi pasar ditentukan berdasarkan jumlah buah, berat buah contoh dan rendemennya. Pengamatan berat akar dilakukan dengan mengambil contoh tanah beserta akarnya pada jeluk 0 - 20 cm dan 20 - 40 cm menggunakan bor tanah. Akar yang berada dalam contoh tanah dalam bor tersebut selanjutnya dihitung dan ditentukan beratnya. Analisis varian dan uji jarak dilakukan menggunakan perangkat lunak SX3 dengan taraf nyata 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Defisit Kejenuhan Air Daun

Defisit kejenuhan air daun merepresentasikan status air daun pada waktu pengukuran dan merupakan respons tanaman terhadap status air tanah. Oleh karena itu, variabel defisit kejenuhan air dapat digunakan sebagai indikator status air tanaman. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa defisit kejenuhan air daun kopi Arabika pada musim kemarau di tanah Andisol tidak menunjukkan adanya perbedaan yang nyata antara perlakuan kontrol dibandingkan perlakuan bahan organik (Tabel 2). Pengamatan selama tiga tahun musim kemarau menunjukkan bahwa

status air daun pada saat musim kemarau tersebut masih cukup tinggi yang ditunjukkan oleh kadar air daun rata-rata masih di atas 80% dan defisit kejenuhan air kurang dari 20% (Tabel 3). Hal ini berarti bahwa suplai air dari tanah pada saat musim kemarau relatif masih mencukupi bagi kebutuhan tanaman, sehingga cekaman air yang dialami tanaman pokok tersebut tidak terlalu berat. Kondisi ini disebabkan oleh masih tersedianya cadangan air di dalam tanah. Suplai air yang cukup dari media akan menyebabkan turunnya potensial air daun yang berarti berkurangnya cekaman air (Barreto *et al.*, 2009)

Hasil pengamatan secara visual terhadap kondisi daun tanaman kopi Arabika di lapangan menunjukkan bahwa pada semua perlakuan yang diuji maupun pada perlakuan kontrol tidak menunjukkan adanya gejala visual kekurangan air berupa terkulainya daun yang diikuti oleh layu. Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa pada musim kemarau cekaman kekeringan tidak terjadi pada pertanaman kopi Arabika tersebut. Meskipun sebagian besar perakaran hara tanaman kopi Arabika (lebih dari 94%) berada pada jeluk tanah kurang dari 40 cm (Pujiyanto *et al.*, 1993), tanaman kopi Arabika tersebut masih tercukupi kebutuhan airnya. Hal ini disebabkan oleh kapasitas retensi air tanah yang tinggi pada tanah Andisol tersebut, yang berarti volume air tersedia juga lebih tinggi. Selain itu, adanya gerakan air kapiler dalam profil tanah Andisol yang tidak terhambat akan menyebabkan terjadinya suplai air dari lapisan tanah yang lebih dalam ke zona perakaran sehingga dapat dimanfaatkan oleh tanaman kopi. Hasil ini berbeda dengan hasil penelitian pada kopi yang ditanam pada tanah Alfisol di dataran rendah, yang menunjukkan adanya penurunan defisit kejenuhan air daun signifikan akibat aplikasi bahan organik (Pujiyanto, 2011). Defisit

kejemuhan air daun kopi pada musim kemarau di tanah Alfisol mencapai lebih dari 30% dan pada defisit kejemuhan air tersebut tanaman kopi telah menunjukkan gejala visual cekaman air berupa terkulainya daun akibat berkurangnya turgor sel-sel daun. Tidak adanya gejala cekaman air yang berat

saat musim kemarau di lokasi penelitian ini menunjukkan bahwa laju pasokan air dari tanah ke tanaman masih mencukupi bagi kebutuhan fisiologi yang normal tanaman kopi Arabika. Tanah Andisol di lokasi penelitian memiliki kadar karbon organik 7,29% dengan densitas kamba (*bulk*

Tabel 2. Kadar air daun relatif (%) tanaman kopi Arabika pada beberapa macam perlakuan jeluk dan dosis aplikasi bahan organik pupuk kandang

Table 2. *Relative water content of leaves of Arabica coffee (%) on several treatments of application depths and rates of manure organic matter*

Perlakuan (<i>Treatments</i>) [*]	Tahun I (1 st year)	Tahun II (2 nd year)	Tahun III (3 rd year)	Rata-rata (Average)
	Kadar air daun relatif, % <i>Relative leaf water content, %</i>			
A	81.3 b	83.3 a	77.0 a	80.5 a
B	82.5 ab	83.1 a	76.3 a	80.6 a
C	82.5 ab	84.0 a	79.0 a	82.2 a
D	84.3 ab	84.8 a	77.4 a	82.7 a
E	83.5 ab	82.6 a	77.5 a	80.5 a
F	85.5 ab	87.4 a	76.1 a	83.0 a
G	84.3 ab	84.9 a	78.6 a	80.3 a
H	85.8 ab	85.7 a	78.5 a	82.8 a
I	87.5 a	85.7 a	77.0 a	82.3 a
J	87.3 a	85.3 a	76.5 a	83.1 a

Keterangan (*notes*): * Sama dengan Tabel 1 (*The same as Table 1*)

** Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menurut kolom menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji Tukey pada taraf 5% (*Figures in the same column followed by the same letter (s) are not significantly different according to Tukey's Test at 5% significant levels*).

Tabel 3. Defisit kejemuhan air daun relatif (%) tanaman kopi Arabika pada beberapa macam perlakuan jeluk dan dosis aplikasi bahan organik pupuk kandang

Table 3. *Relative water content deficit (%) of Arabica coffee leaves on several treatments of application depths and rates of manure organic matter*

Perlakuan (<i>Treatments</i>)	Tahun I (1 st year)	Tahun II (2 nd year)	Tahun III (3 rd year)	Rata-rata (Average)
	Defisit kejemuhan air daun relatif, % <i>Relative water content deficit, %</i>			
A	18.8 a	16.7 a	23.0 a	19.5 a
B	17.8 ab	16.9 a	23.7 a	19.4 a
C	17.8 ab	16.0 a	21.0 a	17.8 a
D	15.8 ab	15.2 a	22.6 a	17.3 a
E	16.5 ab	17.4 a	22.5 a	19.5 a
F	14.8 ab	12.6 a	23.9 a	17.0 a
G	15.8 ab	15.1 a	21.4 a	19.7 a
H	14.3 ab	14.3 a	21.5 a	17.2 a
I	12.5 b	14.3 a	23.0 a	17.7 a
J	12.6 b	14.7 a	23.5 a	16.9 a

Keterangan (*note*): sama dengan Tabel 2 (*the same as Table 2*).

density) 0,382 g/cm³. Bahan organik yang tinggi tersebut menyebabkan adanya daya retensi air yang tinggi. Dengan demikian cadangan air tanah juga tinggi. Bahan organik memiliki kapasitas retensi air sangat tinggi yang mencapai 20 kali dari partikel tanah. Selain itu, bahan organik juga mendorong pembentukan agregat tanah yang berakibat pada tersedianya ruang-ruang pori yang lebih besar untuk menyimpan air (Pujiyanto *et al.*, 2003). Dengan tersedianya cadangan air yang lebih banyak pada musim kemarau, masih cukup tersedia air di dalam tanah bagi kebutuhan tanaman kopi pada lahan tersebut.

Kadar Air Tanah

Hasil pengamatan kadar air tanah pada musim kemarau disajikan dalam Tabel 4. Kadar air tanah pada jeluk 0 - 20 cm maupun 20 - 40 cm tidak berbeda nyata pada semua perlakuan. Hal ini terjadi karena kapasitas retensi air pada tanah di lokasi

penelitian sudah tergolong tinggi, sehingga aplikasi bahan organik tidak berpengaruh terhadap daya retensi air oleh tanah. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kadar air tanah pada kapasitas lapang adalah 47,8% untuk jeluk 0 - 20 cm. Dengan demikian, setiap ton tanah mampu meretensi air sebanyak 478 L. Volume air tersebut akan mampu memenuhi kebutuhan air tanaman kopi selama musim kemarau, yang diindikasikan tidak adanya gejala visual cekaman air dalam periode musim kemarau tersebut. Daya retensi air yang tinggi tersebut disebabkan terutama oleh kadar bahan organik awal pada tanah tersebut yang tinggi, yaitu 7,29%. Jika diperhitungkan bobot tanah untuk setiap satu tanaman kopi Arabika sebanyak 194 kg, maka perlakuan bahan organik pupuk kandang yang diberikan setara dengan 1 - 7% dari bobot tanahnya, sehingga pengaruhnya terhadap daya retensi air tidak signifikan. Da Matta *et al.* (1997) menyatakan bahwa respons antar jenis tanaman kopi terhadap cekaman air dapat

Tabel 4. Kadar air tanah (%) pada beberapa macam perlakuan jeluk dan dosis aplikasi bahan organik pupuk kandang

Table 4. *Soil water content (%) on several treatments of application depths and rates of manure organic matter*

Perlakuan <i>Treatments</i>	Jeluk tanah (<i>Soil depth</i>)	
	0 - 20 cm	Kadar air tanah, % <i>Soil water content, %</i>
A	19.7 a	18.8 a
B	19.7 a	17.3 a
C	17.5 a	18.9 a
D	17.2 a	15.6 a
E	18.3 a	16.0 a
F	19.8 a	19.4 a
G	16.7 a	16.4 a
H	19.1 a	17.5 a
I	15.9 a	17.6 a
J	19.0 a	17.5 a

Keterangan (*note*): Sama dengan Tabel 2 (*the same as Table 2*).

berbeda-beda. Dalam kondisi cekaman air sedang, laju fotosintesis netto tanaman kopi Robusta menurun karena hambatan penutupan stomata, sedangkan pada kopi Arabika penurunan laju fotosintesis bukan karena penutupan stomata. Dalam kondisi cekaman air berat, akan terjadi penurunan produksi hasil fotosintesis yang lebih besar pada kopi Arabika dibandingkan dengan kopi Robusta. Dalam kondisi kekeringan, kadar khlorofil kedua jenis tanaman kopi tersebut tidak mengalami perubahan, tetapi kadar gulanya meningkat dan kadar patinya menurun. Meinzer *et al.*, (1990) membuktikan bahwa terhambatnya fotosintesis pada tanaman kopi yang mengalami cekaman air terjadi karena menurunnya volume khloroplas dalam daun.

Kepadatan Akar

Variabel kepadatan akar per satuan berat tanah merupakan refleksi dari pertumbuhan akar. Jika kondisi lingkungan tumbuh media tanah menjadi lebih baik, akar tanaman kopi akan tumbuh lebih banyak sehingga kepadatan akar akan semakin meningkat. Kepadatan akar diukur berdasarkan berat akar per satuan bobot tanah dan jumlah akar per satuan berat tanah. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa berat akar per 100 g tanah pada jeluk 0 - 20 cm berkisar antara 0,042 g akar/100 g tanah sampai 0,152 g akar/100 g tanah. Di antara semua perlakuan yang diuji, hanya perlakuan aplikasi bahan organik jeluk 0 - 150 cm dengan dosis 13,5 kg/pohon cenderung memiliki berat akar yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Pada jeluk 20 - 40 cm, aplikasi bahan organik pupuk kandang tidak berpengaruh nyata terhadap berat akar tanaman kopi. Rata-rata berat akar pada jeluk 0 - 20 cm adalah 0,07 g akar/100 g tanah lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata berat akar pada jeluk 20 - 40 cm sebesar 0,06 g akar/100 g tanah.

Kepadatan akar penting diketahui dalam kaitannya dengan proses mineralisasi bahan organik dari tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa akar berpengaruh besar terhadap laju mineralisasi bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah. Pada umumnya, akar akan mendorong pengaruh priming positif, yaitu menyebabkan percepatan mineralisasi bahan organik tanah. Selain itu, akar tanaman juga menurunkan sensitifitas laju mineralisasi terhadap perubahan suhu lingkungan, sehingga laju mineralisasi bahan organiknya menjadi lebih stabil (Bader & Cheng, 2007; Kusyakov, 2002). Selanjutnya Cheng *et al.* (2003) menunjukkan bahwa akar tanaman mampu meningkatkan laju dekomposisi bahan organik hampir empat kali lipat dibandingkan kontrol. Peningkatan laju dekomposisi tersebut terjadi karena akar tanaman secara terus menerus mengeluarkan eksudat dan sekresi bahan organik lainnya yang merupakan bahan organik labil sebagai sumber energi untuk meningkatkan aktivitas bagi biota tanah. Proses tersebut dikenal sebagai pengaruh priming pada zona perakaran. Hasil penelitian lanjutan Dijkstra *et al.* (2009) menunjukkan bahwa peningkatan laju dekomposisi bahan organik akibat induksi pengaruh priming oleh akar berkorelasi positif dengan laju mineralisasi unsur nitrogen, sedangkan nitrogen biomassa tidak dipengaruhi oleh adanya akar. Dengan demikian, akar tanaman cenderung meningkatkan laju penyediaan unsur hara.

Ditinjau dari jumlah akar pada jeluk 0 - 20 cm, aplikasi bahan organik pada semua jeluk dan dosis yang diuji tidak menunjukkan adanya pengaruh nyata. Jumlah akar pada jeluk 20 - 40 cm berkisar antara 13,1 - 28,8 akar/100 g tanah. Pada jeluk 20 - 40 cm, jumlah akar tertinggi terjadi pada perlakuan aplikasi bahan organik sampai jeluk 150 cm dengan dosis 4,5 kg/pohon (Perlakuan H). Pada Perlakuan H, meskipun jumlah akar

Tabel 5. Kepadatan akar kopi Arabika pada beberapa macam perlakuan jeluk dan dosis aplikasi pupuk kandang pada Andisol di Kebun Percobaan Andungsari

Table 5. Root density of Arabica coffee on several treatments of application depths and rates of manure on Andisols at Andungsari Experimental Station

Perlakuan <i>Treatments</i>	Bobot akar per 100 g tanah, g <i>Root weight per 100 g soil, g</i>		Jumlah akar per 100 g tanah, g <i>Root numbers per 100 g soil, g</i>	
	0 - 20 cm	20 - 40 cm	0 - 20 cm	20 - 40 cm
A	0.045 a	0.054 a	13.8 a	13.1 b
B	0.051 a	0.062 a	20.0 a	19.9 ab
C	0.050 a	0.049 a	15.9 a	15.7 b
D	0.072 a	0.082 a	24.7 a	13.5 b
E	0.042 a	0.052 a	19.9 a	17.4 ab
F	0.056 a	0.044 a	16.8 a	16.4 b
G	0.073 a	0.062 a	22.9 a	22.5 ab
H	0.052 a	0.044 a	21.6 a	28.8 a
I	0.067 a	0.086 a	23.0 a	21.1 ab
J	0.152 a	0.055 a	20.9 a	18.7 ab

Keterangan (note): sama dengan Tabel 2 (*the same as Table 2*).

cenderung lebih tinggi, tampak bahwa beratnya cenderung sebaliknya. Diduga hal ini disebabkan oleh dominasi akar-akar muda yang kadar seratnya masih rendah. Tingkat keragaman kondisi contoh akar sangat tinggi karena ukuran dan umur akar yang terambil saat sampling pengeboran bervariasi dari akar-akar muda yang sukulen sampai akar yang berkayu.

Rata-rata kepadatan akar pada jeluk 0 - 20 cm adalah 19,9 akar/100 g tanah, tidak jauh berbeda dibandingkan dengan jeluk 20 - 40 cm sebanyak 18,7 akar/100 g tanah. Hasil penelitian Pujiyanto *et al.* (1993) menunjukkan adanya kecenderungan makin menurunnya kepadatan akar tanaman kopi Arabika dengan makin meningkatnya jeluk tanah. Kepadatan akar maksimal terjadi pada jeluk 0 - 20 cm dan terus menurun kepadatannya secara signifikan dengan makin bertambahnya jeluk tanah.

Produksi

Hasil pengamatan variabel jumlah buah disajikan dalam Tabel 6 yang menunjukkan adanya pengaruh yang nyata aplikasi bahan organik pupuk kandang terhadap jumlah rata-

rata buah kopi Arabika selama tiga tahun pengamatan. Pada tahun pertama, pengaruh aplikasi bahan organik pupuk kandang pada semua dosis dan jeluk yang diuji tidak berpengaruh nyata, namun pada pengamatan tahun kedua dan ketiga respons jumlah buah kopi nyata meningkat. Makin dalam jeluk aplikasi bahan organik pupuk kandang dan makin tinggi dosis aplikasinya, respons jumlah buah kopi Arabika juga makin besar. Pada tahun kedua rata-rata jumlah buah meningkat 28% dari 610 buah/pohon menjadi 780 buah/pohon. Peningkatan tertinggi terjadi pada perlakuan jeluk aplikasi 150 cm dengan dosis 13,5 kg/pohon (Perlakuan J). Pada pengamatan tahun ketiga, terjadi peningkatan respons rata-rata 36%. Seperti halnya dengan tahun kedua, respons tertinggi terjadi pada perlakuan jeluk aplikasi 150 cm dengan dosis 13,5 kg/pohon. Peningkatan jumlah buah akibat aplikasi bahan organik rata-rata selama tiga tahun pengamatan adalah 25%, yaitu dari rata-rata 782 buah/pohon pada perlakuan kontrol menjadi 978 buah per pohon pada perlakuan bahan organik. Adanya peningkatan jumlah buah akibat aplikasi bahan organik pupuk kandang tersebut menunjukkan adanya perbaikan lingkungan

tumbuh tanaman kopi Arabika sehingga menstimulasi tanaman memberikan respons yang positif. Perbaikan lingkungan tumbuh dapat terjadi melalui perbaikan sifat-sifat tanahnya baik sifat fisik, kimia maupun biologinya.

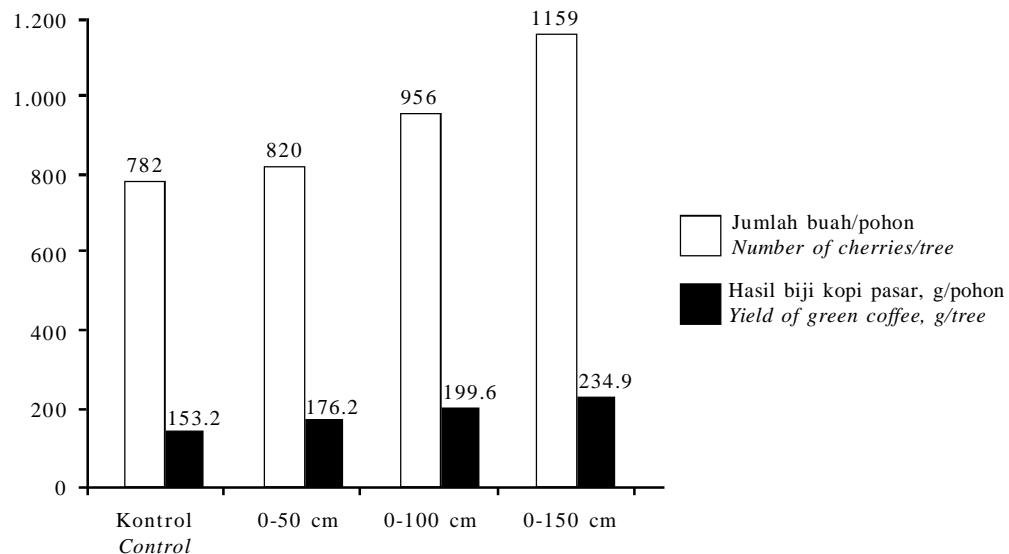
Jika dibandingkan jumlah buah pada masing-masing perlakuan antarjeluk aplikasi dapat dilihat bahwa makin dalam jeluk aplikasi bahan organik pupuk kandang, makin banyak jumlah buah kopi Arabika yang dihasilkan (Gambar 1). Rata-rata jumlah buah

Tabel 6. Pengaruh jeluk dan dosis aplikasi bahan organik pupuk kandang terhadap jumlah buah per pohon kopi Arabika yang ditanam pada tanah Andisol di Kebun Percobaan Andungsari

Table 6. Effect of application depths and rates of manure organic matter on cherry numbers per tree of Arabica coffee cultivated on Andisols at Andungsari Experimental Station

Perlakuan Treatments	Tahun I 1 st year	Tahun II 2 nd year	Tahun III 3 rd year	Rata-rata Average
	Jumlah buah kopi/pohon Coffee cherry number/tree			
A	801 a	610 d	934 c	782 d
B	804 a	614 d	951 c	790 d
C	761 a	630 cd	1,067 bc	819 cd
D	798 a	631 cd	1,126 bc	852 cd
E	742 a	756 bc	1,222 bc	907 cd
F	832 a	800 b	1,214 bc	949 bcd
G	997 a	812 b	1,225 bc	1,011 bcd
H	1,033 a	826 b	1,285 bc	1,048 abc
I	1,007 a	967 a	1,483 ab	1,152 ab
J	1,030 a	980 a	1,825 a	1,278 a

Keterangan (note): sama dengan Tabel 2 (The same as Table 2)



Gambar 1. Jumlah buah dan hasil biji kopi Arabika pasar selama tiga tahun panen akibat aplikasi bahan organik pupuk kandang pada beberapa macam jeluk aplikasi

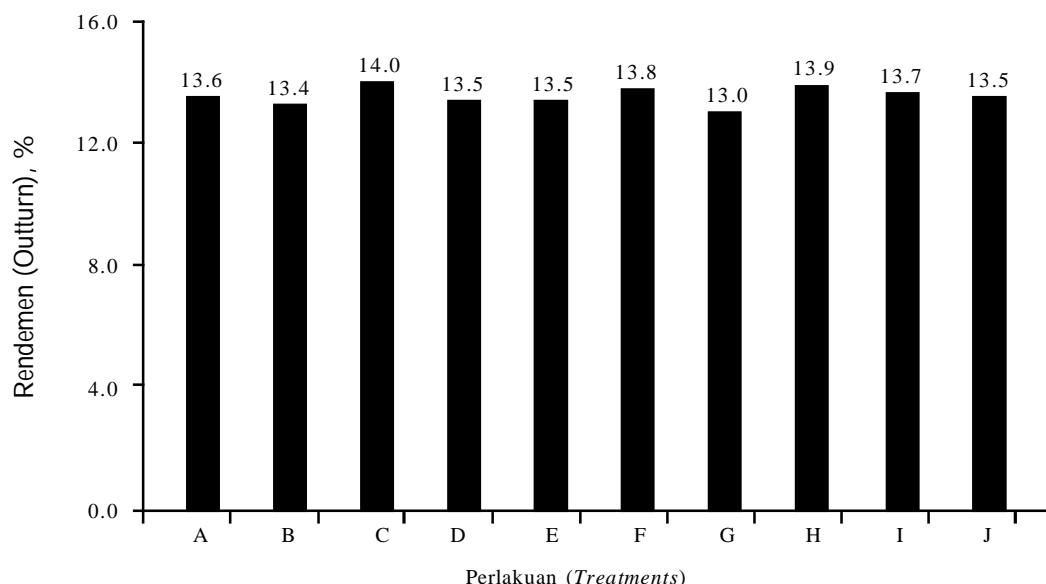
Figure 1. Number of cherries and yield of Arabica green beans during three crop years due to manure organic matter at several application depths

pada jeluk aplikasi bahan organik 50 cm adalah 820 buah/pohon, meningkat menjadi 956 buah/pohon untuk jeluk aplikasi 100 cm dan 1.156 buah/pohon untuk jeluk aplikasi 150 cm. Makin besarnya respons variabel jumlah buah kopi dengan makin dalamnya jeluk aplikasi disebabkan oleh makin besarnya volume media tumbuh tanaman yang diperbaiki atau ditingkatkan kualitasnya oleh bahan organik yang diaplikasikan. Makin bertambah jeluk aplikasi bahan organik berarti makin bertambah jumlah bahan organik yang diberikan dan makin bertambah juga volume tanah yang dipengaruhinya.

Berbeda dengan variabel jumlah buah, aplikasi bahan organik pupuk kandang tidak berpengaruh nyata terhadap rendemen. Rendemen kopi Arabika pada semua perlakuan relatif tetap dan bervariasi sangat sempit di sekitar nilai rendemen rata-rata umum. Kisaran rendemen kopi Arabika pada semua perlakuan yang diuji adalah 13,0-

14,0% (Gambar 2). Rendemen pada perlakuan kontrol adalah 13,6% yang tergolong normal untuk kopi Arabika. Hal ini menunjukkan bahwa pada perlakuan tersebut kondisi lingkungan tumbuh tanaman telah mampu mendukung perkembangan buah menjadi cukup beras. Aplikasi bahan organik yang berpengaruh positif terhadap jumlah buah, tidak menyebabkan buah-buah kopi Arabika menjadi lebih beras. Dengan demikian, rendemen kopi merupakan variabel yang kurang responsif dibandingkan variabel jumlah buah.

Secara umum, bobot kopi pasar meningkat akibat aplikasi pupuk kandang. Kecenderungan adanya respons positif produksi biji kopi akibat aplikasi bahan organik terjadi mulai panen tahun pertama. Pada tahun pertama, rata-rata produksi kopi pasar perlakuan kontrol adalah 159,4 g/pohon, sedangkan pada perlakuan pupuk kandang meningkat 11%. Pada tahun kedua



Gambar 2. Rendemen kopi Arabika pada beberapa macam perlakuan jeluk dan dosis aplikasi bahan organik pupuk kandang

Figure 2. Outturn of Arabica coffee on several treatments of application depths and rates of manure organic matter

Keterangan (Note): lihat Tabel 1 (see Table 1)

rata-rata peningkatan produksi adalah 47% dan pada tahun ketiga 41%. Rata-rata peningkatan produksi biji kopi pasar untuk tiga tahun panen akibat aplikasi bahan organik pupuk kandang adalah 33% setara dengan peningkatan sebesar 101 kg kopi pasar/ha. Respons tertinggi terjadi pada perlakuan aplikasi jeluk 0 - 150 cm dengan dosis 13,5 kg/pohon yang menyebabkan peningkatan produksi rata-rata sebesar 244 kg/ha/th (Tabel 7).

Selain itu, terdapat kecenderungan makin tinggi dosis aplikasi dan makin dalam jeluk aplikasinya, produksi kopi makin meningkat (Gambar 1). Rata-rata produksi pada jeluk aplikasi 0 - 50 cm meningkat 15%, pada jeluk aplikasi 0 - 100 cm meningkat 30% dan pada jeluk aplikasi 0 - 150 cm meningkat 53%. Peningkatan produksi biji kopi merupakan respons tanaman terhadap perbaikan kondisi lingkungan tumbuh akibat aplikasi bahan organik meskipun media tumbuh tanah di lokasi penelitian telah mengandung bahan organik yang tinggi. Peningkatan produksi tersebut ditengarai disebabkan oleh perbaikan status kesuburan tanah disebabkan oleh meningkatnya ketersediaan hara akibat dekomposisi bahan organik yang diberikan. Makin dalam

aplikasi dan makin tinggi dosis aplikasi pupuk kandang berarti makin besar proporsi ruang tumbuh tanaman yang kondisinya menjadi lebih baik, sehingga respons tanaman makin besar.

Pada kondisi keseimbangan, kadar bahan organik cenderung tetap pada setiap kondisi penggunaan lahan (Soedarsono, 1991). Dengan demikian seluruh bahan organik yang ditambahkan akan mengalami dekomposisi untuk mencapai kondisi keseimbangan pada kadar C organik awal sebesar 7,29%. Pujiyanto *et al.* (2003) menunjukkan bahwa 10 bulan setelah aplikasi bahan organik, C organik tanah telah kembali ke kadar semula sebelum aplikasi bahan organik, yang berarti bahwa hampir seluruh bahan organik yang ditambahkan telah didekomposisi menjadi unsur-unsur hara yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman pokok. Bahan organik yang didekomposisi akan melepaskan mineral sebagai sumber nutrisi tanaman. Tejada *et al.* (2008) menunjukkan efek positif pemberian bahan organik terhadap sifat-sifat biologi tanah dan pertumbuhan maupun produksi tanaman. Neill & Gignoux (2006) telah mengembangkan model dekomposisi bahan organik oleh mikrobia tanah yang

Tabel 7. Pengaruh jeluk dan dosis aplikasi bahan organik pupuk kandang terhadap produksi biji berasan kopi Arabika (g/pohon) pada tanah Andisol di Kebun Percobaan Andungsari

Table 7. *Effect of application depths and rates of manure organic matter on yield of green beans of Arabica coffee (g/tree) on Andisols at Andungsari Experimental Station*

Perlakuan <i>Treatments</i>	Tahun I <i>1st year</i>	Tahun II <i>2nd year</i>	Tahun III <i>3rd year</i>	Rata-rata <i>Average</i>
	Produksi kopi beras, g/pohon <i>Coffee green bean yield, g/tree</i>			
A	159.4 c	116.6 e	183.5 e	153.2 e
B	157.0 cd	125.7 de	191.5 de	158.1 e
C	154.2 cd	156.2 cd	227.8 cde	179.4 de
D	182.0 bc	146.1 cde	245.5 bcd	191.2 cd
E	122.3 d	120.8 cde	263.6 bc	178.9 de
F	185.7 bc	179.2 bc	247.3 bcd	204.1 bcd
G	201.4 B	197.7 ab	248.5 bcd	215.9 bc
H	151.2 cd	199.1 ab	248.6 bcd	199.6 cd
I	195.2 b	199.0 ab	296.2 b	230.1 b
J	239.6 a	219.6 a	365.5 a	274.9 a

Keterangan (*note*): sama dengan Tabel 2 (*the same as Table 2*)

cukup baik untuk memprediksi konsentrasi biomassa mikrobia. Lazcano *et al.* (2012) menunjukkan bahwa pemberian bahan organik menstimulasi pertumbuhan mikroba tanah, mengubah struktur mikroba tanah dan meningkatkan aktivitas enzim. Perkembangan bakteri terutama jenis bakteri gram negatif dipengaruhi oleh jenis pupuk organik yang diberikan sedangkan perkembangan fungi ditentukan oleh jumlahnya.

Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa meskipun kadar bahan organik tanah sudah tinggi, aplikasi bahan organik tetap mampu memperbaiki kondisi tanah. Pada kondisi penggunaan lahan yang tetap sebagai kebun kopi Arabika, diduga sebagian besar atau seluruh bahan organik yang diaplikasikan akan didekomposisi oleh biota tanah sehingga menyediakan jenis hara yang lengkap bagi tanaman pokok kopi Arabika. Bahan organik pupuk kandang mengandung 22,94% C; 2,30% N; 0,41% P; 0,40% K; 2,84% Ca; 0,59% Mg; 0,36% S; dan unsur-unsur mikro Fe, Cu, Zn, dan Mn yang merupakan unsur-unsur hara esensial bagi tanaman kopi Arabika. Ketersediaan hara yang lebih baik tersebut ditengarai akan meningkatkan produksi biji. Haron (2003) menunjukkan adanya perbaikan status kimia tanah dan respons positif tanaman kelapa sawit terhadap aplikasi bahan organik, sedangkan Lorion (2004) membuktikan bahwa produksi kentang yang diberi pupuk organik saja dapat setara dengan produksi yang diberi pupuk anorganik. Selain karena perbaikan sifat kimia tanah, respons positif produksi kopi ditengarai juga disebabkan oleh perbaikan sifat tanah lainnya karena bahan organik yang diberikan juga dapat berpengaruh positif terhadap sifat fisik dan biologi tanah.

Dari Tabel 7 diketahui bahwa rata-rata produksi kopi pasar berfluktuasi dari tahun

ke tahun. Pada tahun pertama, rata-rata produksi kopi pasar adalah 174,7 g/pohon, pada tahun kedua turun 5% dari tahun pertama dan pada tahun ketiga meningkat lagi 52% dari tahun kedua. Fluktuasi rata-rata produksi tersebut terjadi pada semua perlakuan pupuk kandang maupun kontrolnya yang mengindikasikan terjadinya fenomena *biannual bearing*. Dengan demikian, peningkatan produksi yang tinggi pada tahun ketiga dibandingkan tahun sebelumnya merupakan akumulasi dari pengaruh aplikasi bahan organik pupuk kandang dan *biannual bearing* yang merupakan karakteristik khusus pembuahan tanaman kopi.

Tiap jenis tanaman dapat memberikan pengaruh yang berbeda terhadap laju dekomposisi bahan organik tanah. Makin tinggi kadar N dalam akar tanaman, makin tinggi laju mineralisasi N dari bahan organik tanah dan demikian pula laju nitrifikasi (Hobbie *et al.*, 2007). Peningkatan kadar bahan organik secara cukup permanen untuk jangka panjang dapat dilakukan dengan menambahkan biochar yang dapat menstabilkan bahan organik yang diberikan (Qoyyum, 2012).

Hasil-hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa adanya input bahan organik akan mendorong terjadinya pengaruh priming yaitu peningkatan dekomposisi bahan organik di dalam tanah akibat adanya tambahan bahan organik baru yang disebabkan oleh peningkatan aktivitas mikroba tanah karena ketersediaan energi yang lebih tinggi dari hasil dekomposisi bahan organik baru tersebut (Fontaine *et al.*, 2003). Pengaruh priming dapat positif atau negatif tergantung pada kondisi tanah dan jenis maupun jumlah bahan organik yang ditambahkan. Pengaruh priming positif jika bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah merupakan karbon organik labil yang mudah didekomposisi dengan jumlah yang jauh lebih

sedikit (kurang dari 8%) dibandingkan karbon biomassa tanah. Sebaliknya, jika karbon organik labil diberikan dalam jumlah berlebihan maka akan terjadi pengaruh priming yang negatif, karena organisme tanah memilih menggunakan bahan organik yang diberikan sebagai sumber energinya dan bukan mendekomposisi bahan organik yang ada dalam tanah (Blagodatskaya *et al.*, 2007; Kuzyakov & Bol, 2006). Akar tanaman mempercepat laju dekomposisi bahan organik tanah lebih dari dua kali lipat, sehingga laju kehilangan bahan organik tanah akan dipercepat dengan adanya akar tanaman (Dijkstra & Cheng, 2007; Pauscha *et al.*, 2012). Dengan adanya pengaruh priming, maka lebih banyak bahan organik yang terdekomposisi yang berarti lebih banyak unsur hara yang tersedia untuk mendukung pertumbuhan dan produksi tanaman pokok kopi Arabika. Selain menyediakan unsur hara bagi tanaman pokok, aplikasi bahan organik juga mendorong perbaikan kesehatan tanah maupun aktivitas biota tanah. Peningkatan aktivitas biota tanah tersebut, juga mampu meningkatkan kadar zat pengatur tumbuh BAP yang bersama dengan unsur-unsur hara dalam tanah secara simultan mendorong peningkatan pertumbuhan dan produksi (Pujiyanto *et al.*, 2003).

Cara aplikasi bahan organik pupuk kandang dalam lubang tanah yang dibor membawa konsekuensi pada peningkatan kebutuhan tenaga kerja untuk aplikasi dibandingkan aplikasi konvensional. Kebutuhan tenaga kerja untuk aplikasi bahan organik dengan cara ditabur pada permukaan tanah dan kecrah pada piringan tanaman adalah 33 HOK/ha, sedangkan aplikasi bahan organik dengan cara dimasukkan dalam lubang bor ini membutuhkan 62,5 HOK/ha. Dengan demikian, kebutuhan tenaga aplikasi pupuk kandang meningkat sebanyak 29,5 HOK/ha.

KESIMPULAN

1. Aplikasi pupuk kandang meningkatkan produksi biji kopi pasar sebesar rata-rata sebesar 33% per tahun. Respons tertinggi terjadi pada perlakuan aplikasi bahan organik pupuk kandang jeluk 0 - 150 cm dengan dosis 13,5 kg/pohon yang menyebabkan produksi rata-rata meningkat 244 kg/ha/th dibanding kontrol.
2. Pada selang jeluk aplikasi pupuk kandang 0 - 150 cm, makin dalam jeluk aplikasi bahan organik maka respons produksi tanaman kopi makin besar.
3. Defisit kejemuhan air daun, kadar air tanah pada musim kemarau dan kepadatan akar tanaman tidak dipengaruhi secara signifikan oleh pupuk kandang.

DAFTAR PUSTAKA

- Bader, N.E. & W. Cheng (2007). Rhizosphere priming effect of *Populus fremontii* obscures the temperature sensitivity of soil organic carbon respiration. *Soil Biology and Biochemistry*, 39, 600-606.
- Barreto, C.V.G.; E. Sakai; F.B. Arruda; R.C.M. Pires & E.A. Silva (2009). Effect of instalation depth and distance of drip emitter on coffee leaf water potential in a tropical soil. *Coffee Science*, 4, 114-125.
- Blagodatskaya, E.V.; S.A. Blagodatsky; T.H. Anderson & Y. Kuzyakov (2009). Priming effects in Chernozem induced by glucose and N in relation to microbial growth strategies. *Applied Soil Ecology*, 37, 95-105.
- Cheng, W.; D.W. Johnson & S.L. Wu (2003). Rhizosphere effects on decomposition: control of plant species, phenology, and fertilization. *Soil Science Society of America Journal*, 67, 1418-1427.
- Da Matta, F.M.; M. Maestri & R.S. Barros (1997). Photosynthetic performance of

- two coffee species under drought. *Photosynthetica*, 34, 257-264.
- Dijkstra, F.A. & W. Cheng (2007). Interactions between soil and tree roots accelerate long-term soil carbon decomposition. *Ecology Letters*, 10, 1046-1053.
- Dijkstra, F.A.; N.E. Bader; D.W. Johnson & W. Cheng (2009). Does accelerated soil organic matter decomposition in the presence of plants increase plant N availability? *Soil Biology and Biochemistry*, 41, 1080-1087.
- Ditjenbun (2012). *Statistik Perkebunan Indonesia 2010-2012, Kopi*. Direktorat Jenderal Perkebunan, Jakarta.
- Fontaine, S.; A. Mariotti & L. Abbadie (2003). The priming effect of organic matter: a question of microbial competition? *Soil Biology and Biochemistry*, 35, 837-843.
- Haron, K. (2003). Inorganic and organic fertilizers combined for efficient use of fertilizers in oil palm. *Proceeding of Agriculture Conference PIPOC, Putrajaya*, 167-180.
- Hobbie, S.E.; M. Ogdahl; J. Chorover; O.A. Chadwick; J. Oleksyn; R. Zytkowiak & P.B. Reich (2007). Tree species effects on soil organic matter dynamics: The role of soil cation composition. *Ecosystems*, 10, 999-1018.
- Kuzyakov, Y. (2002). Factors affecting rhizosphere priming effect. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 165, 382-396.
- Kuzyakov, Y. & R. Bol (2006). Sources and mechanisms of priming effect induced in two grassland soils amended with slurry and sugar. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 747-758.
- Lazcano, C.; M. Gómez-Brandón; P. Revilla & J. Domínguez (2012). Short-term effects of organic and inorganic fertilizers on soil microbial community structure and function. A field study with sweet corn. *Biology and Fertility of Soils*.
- Lorion, R.M. (2004). *Rock Phosphate, Manure and Compost Use in Garlic and Potato System in a High Intermontane Valley of Bolivia*. MSc thesis. Washington State University.
- Mawardi, S.; H.S. Modjo; S. Djojodirdjo & H. Hartiko (1985). Ketahanan varietas-varietas kopi Arabika terhadap karat daun (*Hemileia vastatrix* B. et Br.). *Pelita Perkebunan*, 1, 74-82.
- Meinzer, F.C.; D.A. Grantz; G. Goldstein & N.Z. Saliendra (1990). Leaf water relations and maintenance of gas exchange in coffee cultivars grown in drying soil. *Plant Physiology*, 94, 1781-1787.
- Neill, C. & J. Gignoux (2006). Soil organic matter decomposition driven by microbial growth: A simple model for a complex network of interactions. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 803-811.
- Pauscha, J.; B. Zhub; Y. Kuzyakov & W. Cheng (2012). Plant inter-species effects on rhizosphere priming of soil organic matter decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, 30, 1-9.
- Pujiyanto; S. Mawardhi & A.M. Nur (1993). Kajian sebaran akar rambut kopi Arabika tipe kate BP 453A dan BP 454A. *Pelita Perkebunan*, 8, 79-84.
- Pujiyanto; Sudarsono; A. Rachim; S. Sabiham; A. Sastiono & J.B. Baon (2003). Pengaruh bahan organik dan jenis tanaman penutup tanah terhadap bentuk-bentuk bahan organik tanah, distribusi agregat dan pertumbuhan tanaman kakao. *Jurnal Tanah Tropika*, 9, 73-86.
- Pujiyanto (2011). Use of sub-surface soil water in Robusta coffee field through organic matter wicks. *Pelita Perkebunan*, 27, 191-203.
- Qayyum, M.F. (2012). *Possibilities to Stabilize Organic Matter in Soil Using*

- Various Biochars*. Faculty of Agricultural Sciences, Nutritional Sciences, and Environmental Management, Justus Liebig University-Giessen. Disertasi.
- Sudarsono (1991). Pengaruh tiga cara pengembalian jerami ke dalam tanah Rendzina terhadap: (1) komposisi bahan organik tanah. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 1, 79-84.
- Tejada, M.; J.L. Gonzalez; A.M. García-Martínez & J. Parrado (2008). Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. *Bioresource Technology*, 99, 1758-1767.
- Vistoso, E.; B.K.G. Theng; N.S. Bolan; R.L. Parfitt & M.L. Mora (2012). Competitive sorption of molybdate and phosphate in Andisols. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12, 59-72.
