

Identifikasi Senyawa Nitrogen Organik Tanah Sebagai Indikator Respons Tanaman Kakao Terhadap Pemupukan Nitrogen

Identification of Soil Organic Nitrogen Substance Acting as Indicator of Response of Cocoa Plants to Nitrogen Fertilizer

John Bako Baon¹⁾

Ringkasan

Perlunya suatu indikator untuk menduga akan adanya respons tanaman kakao (*Theobroma cacao*) terhadap pemupukan nitrogen telah lama diketahui, namun masih sedikit kemajuan yang telah dilakukan sehubungan dengan mengidentifikasi fraksi N organik tertentu yang mempengaruhi tanggapan tanaman kakao terhadap pemupukan N. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi fraksi-fraksi N organik tanah yang berhubungan erat dengan besarnya tanggapan tanaman kakao terhadap pemupukan N. Hidrolisis dilakukan terhadap 23 contoh tanah yang diambil dari perkebunan kakao baik di kabupaten Banyuwangi (12 contoh) maupun kabupaten Jember (11 contoh). Analisis fraksi-fraksi N organik yang meliputi N terhidrolisis total, N amonium, N gula amino, N asam amino serta kombinasi dari fraksi-fraksi tersebut. Untuk mengkaji besarnya tanggapan tanaman kakao terhadap pemupukan N, maka bibit kakao ditanam dalam pot plastik dengan perlakuan dipupuk urea dan tidak dipupuk urea sebagai sumber N. Besarnya tanggapan tanaman terhadap pemupukan N diukur berdasarkan parameter pertumbuhan seperti tinggi tanaman, jumlah daun, lilit batang, berat segar batang, daun dan tajuk serta berat kering batang, daun dan tajuk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata respons tanaman kakao terbesar ditunjukkan oleh parameter bobot kering daun yakni 29,22% (dengan kisaran -17,43% – 95,98%), sedangkan rata-rata respons terendah ditunjukkan oleh parameter bobot kering batang dengan rata-rata -1,04 (dengan kisaran -26,16 – 47,54). Dari seluruh fraksi N organik yang dianalisis, hanya N amonium yang tidak menunjukkan adanya korelasi yang signifikan dengan seluruh parameter pertumbuhan yang diamati. Bobot kering daun adalah parameter yang paling erat hubungannya dengan hampir seluruh fraksi N organik diikuti dengan bobot kering tajuk dan diameter batang. Fraksi N organik yang paling erat hubungannya dengan respons tanaman kakao adalah kandungan N terhidrolisis total. Dengan menggunakan metode Cate-Nelson, dapat diketahui bahwa kebun kakao yang memiliki kandungan N terhidrolisis total sebesar kurang dari 1273 mg/kg adalah kebun yang responsif terhadap pemupukan N.

1) Peneliti (*Researcher*); Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jl. P.B. Sudirman 90, Jember 68118, Indonesia.

Summary

*An indicator needed for estimating the presence of response of cocoa (*Theobroma cacao*) trees to nitrogen (N) fertilizer has been well understood, however there is still little progress on the work on identification of organic N fraction which regulates the response of cocoa to N fertilizer. The objective of this study is to identify a fraction of soil organic N which is very closely related with degree of cocoa response to N fertilizer. Hydrolyses were performed on soil samples derived from 23 sites of cocoa plantations distributed both in Banyuwangi district (12 sites) and in Jember district (11 sites). Analysis of organic N fractions consisted of total hydrolysable N, ammonium N, amino sugar N, amino acid N and combinations of those fractions. To investigate the level of cocoa plants response to N fertilizer, seedlings of cocoa were planted in plastic pots treated with and without urea as source of N. Degree of response of cocoa plants to N fertilizer was measured based on growth parameters, such as plant height, leaf number, stem girth, fresh weight of stem, leaf and shoot; and dry weight of stem, leaf and shoot. Results of this study showed that biggest response of cocoa was shown by dry weight of leaf at the level of 29,22% (in the range of -17,43% – 95,98%), whereas the smallest response was shown by stem dry weight at the level of -1,04 (in the range of -26,16 – 47,54). From those of organic N fractions analyzed, only N ammonium did not show any significant correlations with all the growth parameters observed. Leaf dry weight was the most closely related parameter with nearly all organic N fractions followed by shoot dry weight and stem girth. The soil organic N fraction which had very significant relation with cocoa plant response was total hydrolysable N. Using the method of Cate-Nelson, it was revealed that cocoa gardens contain total hydrolysable N less than 1273 mg/kg were classified as responsive to N fertilizer.*

Key words: plant response, *Theobroma cacao*, soil organic nitrogen, N fertilizer, soil testing, fertilization, soil variability, soil hydrolysis

PENDAHULUAN

Untuk tahun 2006 produksi pupuk urea nasional direncanakan sebanyak 5,5 juta ton, sedangkan produksi pupuk non-urea (ZA, SP-36 dan NPK) keseluruhannya adalah hanya sebesar 1,8 juta ton (PT Pusri, 2006). Penggunaan pupuk urea sebesar itu adalah 6 kali lipat penggunaan pupuk tersebut pada tahun 1970, sedangkan peningkatan produksi

hanya 3 kali lipat. Ini menunjukkan bahwa aplikasi pupuk pada paling tidak satu dasa warsa terakhir tidak memberikan respons tanaman terhadap pemberian pupuk urea ke dalam tanah. Tidak adanya respons tanaman terhadap perlakuan pemupukan urea merupakan suatu langkah pemborosan, baik terhadap devisa negara maupun terhadap sumber energi.

Penggunaan pupuk urea yang sangat besar tersebut menunjukkan adanya kemungkinan penggunaan pupuk yang tidak seimbang, sudah terjadinya *minced* pupuk urea pada kalangan petani, atau adanya faktor pembatas yang belum diketahui. Beberapa upaya efisiensi pemupukan yang sudah dilakukan di antaranya adalah dengan menambahkan sejenis bahan pembenah tanah (Baon *et al.*, 2003), dan pemberian pupuk dalam bentuk yang pelepasannya terkendali (Baon *et al.*, 2001). Langkah efisiensi pemupukan yang perlu ditempuh adalah dengan melakukan aplikasi pupuk hanya pada lahan pertanian yang akan memberikan respons terhadap pemberian pupuk (Stevens *et al.*, 2005a). Dengan demikian diperlukan suatu indikator yang mampu menunjukkan bahwa suatu lahan akan respons atau tidak terhadap pemupukan nitrogen sebagai suatu dasar rekomendasi dalam pemberian pupuk.

Sampai saat ini rekomendasi pemupukan nitrogen didasarkan pada produktivitas tanaman, target kenaikan hasil, warna daun, kandungan N-nitrat tanah, kandungan N total dalam jaringan daun dan kandungan N total tanah. Namun, metode-metode tersebut ternyata masih kurang mampu memenuhi tujuan pemupukan yang tepat, karena masih banyak dijumpai aplikasi pupuk tidak berdampak pada produksi tanaman, seperti pada karet (Sihotang & Tampubolon, 1985; Hardjono *et al.*, 1981), kakao (Puslitkoka, tidak dipublikasi); jagung (Sugiyono *et al.*, 1986), padi (Hakim *et al.*, 1986), kedelai (Sholeh, 1986) dan kelapa sawit (Pandia & Wibowo, 1971). Walaupun mampu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kemarau panjang (Baon & Abdoellah, 2002).

Upaya untuk memproduksi tanaman berdasarkan rekomendasi pemupukan memiliki manfaat jangka panjang, tetapi pemupukan yang kurang atau berlebih dapat terjadi dalam suatu musim tanam karena ketersediaan N tanah tidak dipertimbangkan berhubung dalam analisis N tanah sering ditujukan pada kandungan N total tanah. Aplikasi pupuk N yang kurang dapat berdampak ekonomis bagi petani karena kurangnya hasil, sedangkan pemupukan N yang berlebihan dapat berpengaruh pada peningkatan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu kepedulian akan ketepatan rekomendasi pemupukan N sangat dibutuhkan karena tanggapan tanaman terhadap pemupukan N dapat sangat bervariasi walaupun dalam satu hamparan yang sama.

Nitrogen anorganik dalam tanah yang tersedia bagi tanaman utamanya terdapat dalam bentuk nitrat dan amonium. Analisis kandungan nitrat dalam tanah saat sebelum tanam telah digunakan sebagai dasar rekomendasi pemupukan N (Sholeh, 1986; Bundy & Meisinger, 1994). Di lain pihak, Magdoff *et al.* (1984) menggunakan hasil analisis kandungan nitrat tanah pasca-tanam dan Vetsch & Randall (2004) serta Ma *et al.* (2005) menggunakan *chlorophyll meter* untuk menentukan kebutuhan pupuk N. Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk menyusun rekomendasi pupuk untuk kakao. Sebagian besar rekomendasi pupuk N disusun berdasarkan hasil analisis N tanah total dan terkadang juga dikombinasikan dengan analisis daun (Hardjono & Goenadi, 1992; Abdoellah & Pujiyanto, 1992).

Kelemahan penentuan pupuk berdasarkan kandungan nitrat bahwa terdapat variasi kandungan nitrat yang sangat besar dalam suatu hamparan yang walaupun sempit disebabkan oleh berbagai proses yang berperan dalam daur hara N yakni mineralisasi, imobilisasi, nitrifikasi, denitrifikasi, pelindian dan penyerapan oleh tanaman (Sholeh, 1986). Akibatnya, suatu hasil analisis kandungan nitrat tanah berpeluang kurang bermanfaat untuk memprediksi ketersediaan hara N bagi tanaman selama musim tanam, utamanya untuk daerah tropis tempat tersebarnya tanaman kakao, karena proses-proses tersebut berlangsung sangat intensif.

Dalam tanah, hara nitrogen selain terdapat dalam bentuk anorganik juga terdapat dalam bentuk organik yang merupakan fungsi dari N yang terasimilasi oleh mikrobia tanah, N anorganik tanah, terserap tanaman, terlindi dan terdenitrifikasi. Bahan organik tanah yang mengandung N dapat melepaskan senyawa N yang tersedia bagi tanaman setelah mengalami proses mineralisasi. Maka, idealnya suatu uji N tanah mampu memperkirakan besarnya fraksi organik labil yang dapat menyediakan hara N melalui proses mineralisasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi senyawa organik N tanah tertentu yang dapat digunakan sebagai indikator kemampuan tanaman kakao pada suatu tanah tertentu dalam merespons pemupukan nitrogen.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan dalam bentuk kajian di laboratorium, rumah kaca, dan lapangan. Contoh tanah dari berbagai tingkat kesuburan diambil dari beberapa kebun kakao yang berada di kabupaten Jember dan Banyuwangi. Karakter fisik dan kimia tanah, vegetasi serta bentuk muka bumi juga diamati pada lokasi setempat. Contoh tanah diambil dari 23 lokasi kebun kakao masing-masing sebanyak 25 kg kering angin diambil dari beberapa perkebunan kakao yang berada di kabupaten Jember dan Banyuwangi. Dari kabupaten Jember jumlah contoh tanah yang diambil adalah sebanyak 11 lokasi sedangkan dari kabupaten Banyuwangi 12 lokasi. Contoh tanah tersebut diambil berdasarkan variasi kesuburannya dari yang rendah sampai tinggi dengan menggunakan data hasil analisis tanah yang ada serta informasi pihak kebun, termasuk bahwa lokasi kebun yang digunakan penelitian ini belum dipupuk dalam dua bulan terakhir. Tanah diambil pada kedalaman sampai dengan 30 cm, kemudian dikering-anginkan dan selanjutnya disaring melewati saringan diameter 2 mm yang selanjutnya siap untuk digunakan dalam penelitian lebih lanjut. Untuk keperluan analisis senyawa N organik dalam tanah maka untuk membuat hidrolisat tanah, contoh tanah yang digunakan adalah yang lolos saringan 0,15 mm. Data yang dikumpulkan dari setiap lokasi pengambilan contoh adalah struktur dan tekstur tanah, sejarah pemupukan, pengolahan tanah,

vegetasi saat itu dan sebelumnya. Di laboratorium, setiap contoh tanah diamati pH (nisbah tanah:air = 1:1), kandungan C organik, N total, P tersedia, basa-basa (K, Ca, dan Mg) tertukar dan KPK.

Kajian Tanggapan Tanah dan Tanaman Kakao Terhadap Pemupukan N

Sebuah percobaan rumah kaca dengan menggunakan media pot plastik digunakan dalam penelitian ini. Perlakuannya adalah faktor tanah dengan 23 aras (yakni 23 contoh tanah tersebut) dan dikombinasikan dengan perlakuan pupuk N sebanyak dua aras (tanpa dan dipupuk urea) yang ditata dalam rancangan acak lengkap berfaktorial dengan ulangan sebanyak tiga. Dalam setiap plot terdapat tiga pot tanaman kakao. Setiap contoh tanah dari 23 lokasi dimasukkan dalam pot plastik sebanyak 3 kg berat kering angin. Ke dalam setiap pot kemudian ditanam satu kecambah kakao yang berasal dari klon kakao (*Theobroma cacao* L.) ICS 60 dengan persarian terbuka. Parameter pertumbuhan tanaman yang diamati setiap bulan adalah tinggi, diameter batang dan jumlah daun. Tanaman dipelihara selama lima bulan menurut budidaya pembibitan standar, meliputi penyiraman setiap hari dua kali sampai kondisi lengas tanah mencapai kapasitas lapang. Tanaman dipupuk dengan pupuk N dan K sesuai standar budidaya. Umur tanaman kakao 5 bulan adalah fase bibit yang siap ditanam di lapangan. Pada akhir penelitian parameter pertumbuhan lain yang diamati adalah bobot segar dan kering baik daun, batang, tajuk, akar maupun tanaman. Besarnya tanggapan pertumbuhan tanaman dihitung menurut persamaan:

$$\frac{\{(Biomassa + N - Biomassa - N)\}}{Biomassa - N} \times 100\%$$

Biomassa + N adalah biomassa tanaman kakao yang dipupuk N, sedangkan Biomassa - N adalah biomassa tanaman tanpa dipupuk N.

Analisis Fraksi-Fraksi Nitrogen Organik

Preparasi ekstrak hidrolisis pada contoh tanah

Dalam percobaan ini bentuk-bentuk N organik yang akan dianalisis adalah total N terhidrolisis, ammonium-N, (ammonium + gula amino)-N dan N asam amino. Metode yang digunakan untuk menganalisis senyawa-senyawa tersebut dalam hidrolisat tanah adalah seperti yang diuraikan oleh Mulvaney & Khan (2002). Ditimbang 15 gram contoh tanah \leq 100 mesh dimasukkan dalam labu ukur 250 ml. Tambahkan 60 ml HCl 6 M serta 6 tetes *octyl alcohol* dan labu ukur ditutup dengan rapat dan dipanaskan pada penangas air pada suhu 110°C selama 12 jam. Proses analisis dibantu dengan kipas angin untuk mengurangi suhu panas di atas permukaan penangas air dengan demikian leher labu tetap pada kondisi dingin sehingga akan terjadi uap balik sehingga berfungsi seperti fungsi refluks. Setelah waktu pemanasan tercapai labu ukur diangkat dan didinginkan sampai benar-benar dingin, kemudian disaring dengan kertas saring dan hasil saringan ditampung untuk mendapatkan ekstrak contoh.

Ekstrak contoh diukur volumenya untuk menghitung faktor pengenceran dalam

perhitungan kemudian. Ekstrak contoh diatur pH-nya hingga 6,5 dengan larutan NaOH 6 M dan kebutuhan NaOH dicatat volumenya karena pada dasarnya juga akan menambah pengenceran. Perlu kehati-hatian pada saat pengaturan pH karena akan terjadi panas tinggi dan perubahan warna maupun bentuk fisik larutan termasuk gumpalan pekat akan terjadi pada sekitar pH 4,5 walaupun akan encer kembali setelah pH 5 terlewati. Setelah tercapai pH yang diharapkan yaitu pH 6,5 - 6,8, ekstrak didinginkan dalam kondisi tertutup untuk persiapan analisis berikutnya.

Nitrogen total terhidrolisis

Dipipet 5 ml ekstrak hidrolisat ke dalam tabung nesler, tambahkan 0,5 g katalis (200 g K_2SO_4 + 20 g $CuSO_4$ + 2 g Se), serta 2 ml H_2SO_4 18 M kemudian didestruksi hingga jernih (warna larutan tetap), setelah itu didinginkan dan ditambah sedikit air suling. Langkah selanjutnya dilakukan distilasi secara keseluruhan dengan penambahan 10 ml larutan NaOH 10 M dan distilat ditampung dengan 10 ml larutan H_3BO_3 1% dan 6 tetes indikator campuran *metyl red dan bromo cresol green*. Distilasi dilakukan hingga penampung distilat mencapai volume 75 ml yang biasanya memerlukan waktu sekitar 6 menit. Distilat dititrasi dengan $KH(IO_3)_2$ dengan normalitas 0,01N hingga terjadi perubahan warna dari hijau ke warna merah.

Nitrogen Amonium

Sebanyak 10 ml ekstrak hidrolisat didistilasi dengan penambahan 0,05 g MgO dengan penampung distilat 10 ml H_3BO_3 1%

+ 6 tetes indikator. Distilasi dilakukan hingga volume penampung distilat mencapai 75 ml. Distilat dititrasi dengan $KH(IO_3)_2$ 0,01N, hingga terjadi perubahan warna dari hijau ke warna merah.

Nitrogen Amonium + Gula Amino

Sebanyak 10 ml ekstrak hidrolisat didistilasi dengan 10 ml *buffer borate phosphate* dengan penampung distilat 10 ml H_3BO_3 1% + 6 tetes indikator. Distilasi dilakukan hingga volume distilat mencapai 75 ml atau sekitar 6 menit. Distilat dititrasi dengan $KH(IO_3)_2$ 0,01N hingga terjadi perubahan warna dari hijau ke warna merah. Untuk menghitung kandungan N gula amino hanya dengan mengurangi kandungan N amonium dan gula amino dengan N amonium.

Nitrogen Asam Amino

Sebanyak 5 ml ekstrak hidrolisat dimasukkan dalam labu takar 50 ml dan ditambahkan 1 ml NaOH 0,5N. Panaskan hingga volume larutan tinggal kurang lebih 2 ml, dinginkan dan setelah dingin tambahkan 500 mg asam sitrat, 100 mg ninhidrin dan panaskan lagi pada penangas air hingga warna jadi jernih. Hidrolisat tersebut selanjutnya didinginkan dan ditambah 10 ml bufer fosfat boraks, didistilasi dengan penambahan 1 ml NaOH 5 N dengan penampung distilat 10 ml H_3BO_3 1%.

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran untuk semua ulangan kemudian dihitung untuk diperoleh nilai rata-rata, dan bila diperlukan uji lebih lanjut dilakukan

perhitungan standar deviasi, sedangkan untuk membandingkan rata-rata antar-perlakuan akan didasarkan pada LSD aras 0,01.

Identifikasi Senyawa N Organik Indikator Untuk Efisiensi Pemupukan N

Berdasarkan hasil analisis senyawa N organik yang diperoleh dari percobaan sebelumnya diperoleh informasi mengenai macam dan jumlah senyawa N organik yang terdapat dalam setiap contoh tanah. Berdasarkan hasil pengamatan tanggapan tanah dan tanaman kakao terhadap pemupukan N, selanjutnya dibuat analisis korelasi sederhananya dengan kandungan berbagai senyawa N organik tersebut. Fraksi senyawa N organik yang sangat berkorelasi dengan tanggapan tanaman kakao terhadap pemupukan dianggap sebagai indikator respon tanah dan tanaman terhadap pemupukan kakao dan selanjutnya dalam penelitian ini senyawa hipotetik tersebut diberi kode **Nox**.

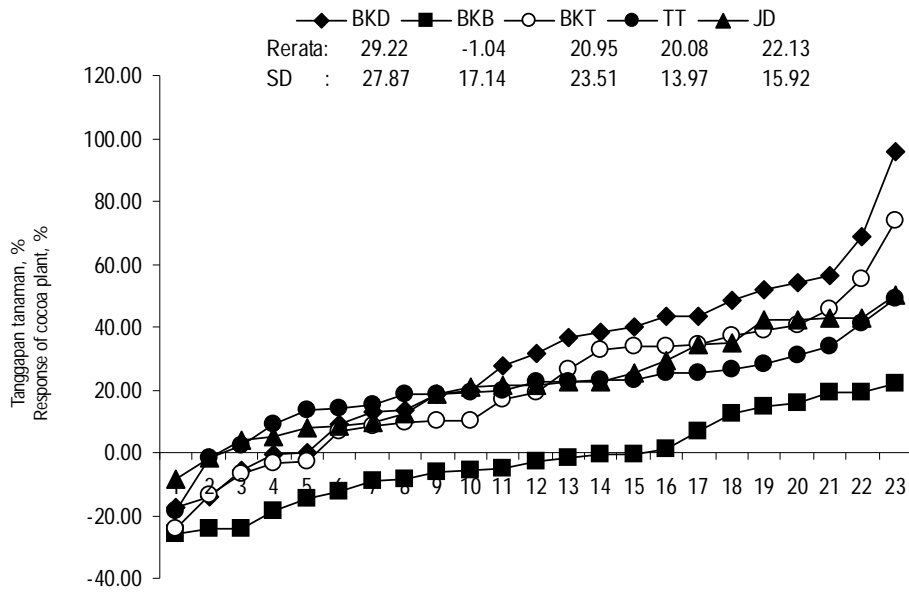
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tanggapan Tanaman Terhadap Pemupukan N

Interpretasi hasil uji N tanah tidak selalu bersifat langsung dapat digunakan. Namun demikian, hasil uji dapat digunakan sebagai alat untuk mengidentifikasi atau memonitor kecukupan dosis pupuk N bahkan pada sistem tanam dengan berbagai variabel (Dahnke & Johnson, 1990).

Ketika penyediaan dan ketersediaan faktor pertumbuhan seperti cahaya, air dan hara mineral meningkat, maka tanggapan tanaman berupa laju pertumbuhan dan hasil tanaman meningkat, walaupun mengikuti hukum peningkatan hasil yang berkurang seperti yang dirumuskan oleh Mitscherlich (Marschner, 1986). Dari hasil penelitian ini tampak bahwa tanggapan dari seluruh contoh tanah yang diambil dari 10 perkebunan besar di wilayah Banyuwangi dan Jember sangat bervariasi dan kontinu baik berdasarkan berat kering tajuk (-24,20 – 73,95%), batang (-26,16 – 47,54%) dan daun (-17,43 – 95,98%), tinggi tanaman (-18,57 – 49,24%) dan jumlah daun (-8,29 – 50,00%) (Gambar 1).

Variasi tanggapan tanaman kakao terhadap pemupukan N terbesar terlihat dari parameter bobot kering daun dan bobot kering tajuk, sedangkan variasi terkecil dijumpai pada parameter tinggi tanaman dan bobot kering batang. Demikian pula apabila berdasarkan besarnya rerata persentase tanggapan tanaman maka tampak bahwa parameter bobot kering batang memiliki persentase tanggapan terendah, sedangkan yang tertinggi adalah pada bobot kering daun. Dari lima parameter pertumbuhan terlihat bahwa hanya yang berdasarkan parameter bobot kering batang 65% dari jumlah total tanah yang diuji memiliki tanggapan yang negatif terhadap pemupukan nitrogen, sedangkan dengan parameter yang lain berkisar 9–22% yang tanggapannya negatif. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa sebaiknya dalam mengkaji tanggapan tanaman terhadap pemupukan N tidak berdasarkan bobot kering batang, namun sebaliknya



Gambar 1. Respons tanaman kakao (%) berdasarkan bobot kering daun (BKD), batang (BKB), tajuk (BKT), tinggi tanaman (TT) dan jumlah daun (JD) yang tersusun menurut besarnya.

Figure 1. Response of cocoa plants (%) based on leaf (BKD), stem (BKB) and shoot (BKT) dry weight, plant height (TT) and leaf number (JD) in order of response degree.

menggunakan parameter bobot kering daun atau bobot kering tajuk. Bobot kering tajuk dapat juga dipertimbangkan berhubung dalam komponennya juga mencakup bobot kering daun dan bobot kering batang.

Fraksi-fraksi N Total dan N Organik dan Tanggapan Tanaman

Rekomendasi pemberian pupuk N pada tanaman kakao selama ini berdasarkan kandungan N total dalam tanah. Dalam Tabel 1 disajikan hubungan antara kandungan N total tanaman dengan tanggapan tanaman kakao dalam bentuk beberapa parameter pertumbuhan terhadap pemupukan N. Adapun parameter yang diamati adalah

jumlah daun, tinggi tanaman, bobot kering daun, bobot kering batang dan bobot kering tajuk. Dari hasil ini terlihat bahwa dalam hal ini parameter tanggapan tanaman dalam bentuk bobot kering daun memiliki korelasi yang sangat erat dengan besarnya kandungan N total dalam tanah kemudian diikuti dengan bobot kering tajuk. Di lain pihak, parameter tanggapan tanaman dalam bentuk jumlah daun dan tinggi tanaman dapat dikatakan tidak memiliki korelasi dengan kandungan N total tanah.

Dalam Tabel 2 disajikan korelasi antara kandungan N terhidrolisis total dalam tanah dengan tanggapan tanaman kakao yang ditanam pada berbagai macam tanah terhadap pemupukan N. Tanggapan tanaman dalam

Tabel 1. Hubungan antara kandungan N total tanah dengan respons tanaman kakao terhadap pemupukan N berdasarkan beberapa parameter pertumbuhan, pada umur tanaman 5 bulan

Table 1. Correlation between total soil N content and response of cocoa plants to N fertilizer based on several growth parameters, at the age of 5 months

| Parameter pertumbuhan tanaman <i>Plant growth parameter</i> | Korelasi (<i>Correlation</i>) | |
|--|---------------------------------|---------------------|
| Jumlah daun (<i>Leaf number</i>) | $y = -0.002x + 21.71$ | $R^2 = 0.0047$ |
| Tinggi tanaman (<i>Plant height</i>) | $y = -0.002x + 18.53$ | $R^2 = 0.0037$ |
| Diameter batang (<i>Stem girth</i>) | $y = -0.0066x + 4.173$ | $R^2 = 0.2027^*$ |
| Bobot kering tajuk (<i>Shoot dry weight</i>) | $y = -0.033x + 88.94$ | $R^2 = 0.3354^{**}$ |
| Bobot kering batang (<i>Stem dry weight</i>) | $y = -0.0079x + 15.253$ | $R^2 = 0.0362$ |
| Bobot kering daun (<i>Leaf dry weight</i>) | $y = -0.041x + 113.9$ | $R^2 = 0.3704^{**}$ |

Tabel 2. Hubungan antara kandungan N terhidrolisis total tanah dengan respons tanaman berdasarkan beberapa parameter pertumbuhan, pada umur tanaman 5 bulan

Table 2. Correlation between total soil hydrolysable N content and response of cocoa plants to N fertilizer based on several growth parameters, at the age of 5 months

| Parameter pertumbuhan tanaman <i>Plant growth parameter</i> | Korelasi (<i>Correlation</i>) | |
|--|---------------------------------|---------------------|
| Jumlah daun (<i>Leaf number</i>) | $y = -0.014x + 34.56$ | $R^2 = 0.0914$ |
| Tinggi tanaman (<i>Plant height</i>) | $y = -0.012x + 29.77$ | $R^2 = 0.0743$ |
| Diameter batang (<i>Stem girth</i>) | $y = -0.0108x + 4.7825$ | $R^2 = 0.409^{**}$ |
| Bobot kering tajuk (<i>Shoot dry weight</i>) | $y = -0.052x + 88.75$ | $R^2 = 0.6164^{**}$ |
| Bobot kering batang (<i>Stem dry weight</i>) | $y = -0.0141x + 17.393$ | $R^2 = 0.0857$ |
| Bobot kering daun (<i>Leaf dry weight</i>) | $y = -0.061x + 108.7$ | $R^2 = 0.6027^{**}$ |

bentuk berbagai parameter pertumbuhan seperti halnya pada pengamatan hubungannya dengan fraksi N total. Dari hasil ini terlihat bahwa korelasi antara kandungan fraksi N terhidrolisis total dengan tanggapan tanaman yang sangat nyata adalah dengan parameter bobot kering tajuk dan bobot kering daun kakao. Untuk parameter pertumbuhan lainnya, tidak menunjukkan adanya korelasi. Namun demikian dibandingkan dengan korelasinya untuk parameter N total, nilai korelasi N terhidrolisis total umumnya lebih tinggi. Hasil penelitian Nguyen *et al.* (2004) menunjukkan bahwa fraksi asam humat

merupakan sumber yang signifikan terhadap mineralisasi N dalam tanah dengan menggunakan prosedur inkubasi anaerobik.

Sekitar 20-40% dari N total dari kebanyakan tanah atas (*top soil*) terdapat dalam bentuk asam amino. Namun, estimasi proporsi N tanah dalam bentuk N yang terikat asam amino berdasar pada penentuan kandungan asam amino dengan teknik hidrolisis tanah secara asam adalah jumlah yang minimum, sebab beberapa pengrusakan asam amino terjadi selama hidrolisis. Seperti halnya pada pengamatan N total dan N terhidrolisis total dalam tanah, pada

Tabel 3. Hubungan antara kandungan N asam amino tanah dengan respons tanaman berdasarkan beberapa parameter pertumbuhan, pada umur tanaman 5 bulan

Table 3. Correlation between soil amino acid N content and response of cocoa plants to N fertilizer based on several growth parameters, at the age of 5 months

| Parameter pertumbuhan tanaman <i>Plant growth parameter</i> | Korelasi (<i>Correlation</i>) | |
|--|---------------------------------|---------------------|
| Jumlah daun (<i>Leaf number</i>) | $y = -0.002x + 17.92$ | $R^2 = 0.0002$ |
| Tinggi tanaman (<i>Plant height</i>) | $y = -0.009x + 18.43$ | $R^2 = 0.0064$ |
| Diameter batang (<i>Stem girth</i>) | $y = -0.0236x + 1.6011$ | $R^2 = 0.2381^*$ |
| Bobot kering tajuk (<i>Shoot dry weight</i>) | $y = -0.123x + 78.14$ | $R^2 = 0.4249^{**}$ |
| Bobot kering batang (<i>Stem dry weight</i>) | $y = -0.0093x + 3.2773$ | $R^2 = 0.0046$ |
| Bobot kering daun (<i>Leaf dry weight</i>) | $y = -0.144x + 96.0$ | $R^2 = 0.4124^{**}$ |

Tabel 4. Hubungan antara kandungan N amonium tanah dengan respons tanaman berdasarkan beberapa parameter pertumbuhan, pada umur tanaman 5 bulan

Table 4. Correlation between soil ammonium N content and response of cocoa plants to N fertilizer based on several growth parameters, at the age of 5 months

| Parameter pertumbuhan tanaman <i>Plant growth parameter</i> | Korelasi (<i>Correlation</i>) | |
|--|---------------------------------|----------------|
| Jumlah daun (<i>Leaf number</i>) | $y = -0.053x + 27.20$ | $R^2 = 0.0351$ |
| Tinggi tanaman (<i>Plant height</i>) | $y = -0.082x + 30.23$ | $R^2 = 0.0909$ |
| Diameter batang (<i>Stem girth</i>) | $y = -0.0344x - 2.7706$ | $R^2 = 0.1003$ |
| Bobot kering tajuk (<i>Shoot dry weight</i>) | $y = -0.117x + 43.36$ | $R^2 = 0.0759$ |
| Bobot kering batang (<i>Stem dry weight</i>) | $y = -0.0138x + 1.6102$ | $R^2 = 0.0020$ |
| Bobot kering daun (<i>Leaf dry weight</i>) | $y = -0.134x + 54.9$ | $R^2 = 0.0709$ |

pengamatan kandungan fraksi N dalam bentuk asam amino, kandungan fraksi N organik ini berkorelasi secara sangat nyata dengan bobot kering tajuk dan bobot kering daun (Tabel 3). Tanggapan tanaman dalam bentuk tinggi tanaman, jumlah daun dan bobot kering batang tidak berkorelasi dengan kandungan N asam amino. Nilai korelasi untuk fraksi N asam amino ini tampaknya masih lebih rendah dibandingkan N terhidrolisis total, khususnya pada parameter bobot kering daun dan tajuk, namun masih lebih tinggi dibandingkan N total.

Ion amonium dalam tanah dijumpai dalam larutan tanah sebagai bagian dari kompleks pertukaran dan dalam posisi yang terbatas pertukarannya, yang sering disebut sebagai yang terfiksasi atau yang tak tertukar. Dalam larutan, amonium jumlahnya sangat kecil dan dalam keseimbangan yang dinamis dengan bentuk amonium tertukar dan juga tak tertukar. Berbeda dengan fraksi N total, N terhidrolisis total dan N asam amino, maka N amonium dalam tanah tidak menunjukkan adanya korelasi dengan tanggapan tanaman kakao terhadap pemupukan N baik berdasarkan jumlah

Tabel 5. Hubungan antara kandungan N gula amino tanah dengan respons tanaman berdasarkan beberapa parameter pertumbuhan, pada umur tanaman 5 bulan

Table 5. Correlation between soil amino sugar N content and response of cocoa plants to N fertilizer based on several growth parameters, at the age of 5 months

| Parameter pertumbuhan tanaman <i>Plant growth parameter</i> | Korelasi (<i>Correlation</i>) | |
|--|---------------------------------|---------------------|
| Jumlah daun (<i>Leaf number</i>) | $y = -0.019x + 20.66$ | $R^2 = 0.0093$ |
| Tinggi tanaman (<i>Plant height</i>) | $y = -0.012x + 16.85$ | $R^2 = 0.0041$ |
| Diameter batang (<i>Stem girth</i>) | $y = -0.0359x - 2.1687$ | $R^2 = 0.2459^*$ |
| Bobot kering tajuk (<i>Shoot dry weight</i>) | $y = -0.170x + 55.05$ | $R^2 = 0.3619^{**}$ |
| Bobot kering batang (<i>Stem dry weight</i>) | $y = -0.046x + 8.1969$ | $R^2 = 0.0499$ |
| Bobot kering daun (<i>Leaf dry weight</i>) | $y = -0.202x + 69.8$ | $R^2 = 0.3643^{**}$ |

Tabel 6. Hubungan antara kandungan N amonium dan gula amino tanah dengan respons tanaman berdasarkan beberapa parameter pertumbuhan, pada umur tanaman 5 bulan

Table 6. Correlation between soil ammonium and amino sugar N content and response of cocoa plants to N fertilizer based on several growth parameters, at the age of 5 months

| Parameter pertumbuhan tanaman <i>Plant growth parameter</i> | Korelasi (<i>Correlation</i>) | |
|--|---------------------------------|---------------------|
| Jumlah daun (<i>Leaf number</i>) | $y = -0.036x + 30.48$ | $R^2 = 0.0415$ |
| Tinggi tanaman (<i>Plant height</i>) | $y = -0.042x + 30.14$ | $R^2 = 0.0604$ |
| Diameter batang (<i>Stem girth</i>) | $y = -0.0384x + 5.7048$ | $R^2 = 0.3761^{**}$ |
| Bobot kering tajuk (<i>Shoot dry weight</i>) | $y = -0.167x + 86.29$ | $R^2 = 0.4640^{**}$ |
| Bobot kering batang (<i>Stem dry weight</i>) | $y = -0.0391x + 14.304$ | $R^2 = 0.0481$ |
| Bobot kering daun (<i>Leaf dry weight</i>) | $y = -0.196x + 106.2$ | $R^2 = 0.4586^{**}$ |

daun, tinggi tanaman maupun bobot kering tajuk, batang dan daun (Tabel 4). Dalam tanah N dalam bentuk amonium sangat labil seperti halnya N nitrat, sehingga ketersediaannya bagi tanaman tidak dapat bertahan dalam waktu yang lama. Walau demikian menurut hasil penelitian Scherer & Weimar (1993) menunjukkan bahwa N amonium tak tertukar merupakan kelompok fraksi N tanah yang penting bagi nutrisi tanaman *ryegrass*. Lebih jauh ditunjukkan bahwa jumlah amonium yang dilepas dari lapisan mineral lempung tidak berkorelasi

dengan kandungan N amonium tak tertukar. Pelepasan fraksi N ini selama masa pertumbuhan tanaman didorong oleh adanya perlakuan pupuk nitrat.

Sekitar 5-10% dari total N tanah terdapat dalam bentuk-bentuk hexosamina, utamanya sebagai glukosamina dan galaktosamina. Nisbah glukosamina dan galaktosamina adalah bervariasi pada 1,6 - 4,1 dengan yang tertinggi dijumpai pada tanah podzol. Nisbah ini juga cenderung meningkat dengan menurunnya pH tanah dan

Tabel 7. Hubungan antara kandungan N (asam amino, ammonium dan gula amino) tanah dengan respons tanaman berdasarkan beberapa parameter pertumbuhan, pada umur tanaman 5 bulan

Table 7. Correlation between soil amino acid, ammonium and amino sugar N content and response of cocoa plants to N fertilizer based on several growth parameters, at the age of 5 months

| Parameter pertumbuhan tanaman <i>Plant growth parameter</i> | Korelasi (<i>Correlation</i>) | |
|--|---------------------------------|---------------------|
| Jumlah daun (<i>Leaf number</i>) | $y = -0.007 x + 22.62$ | $R^2 = 0.0089$ |
| Tinggi tanaman (<i>Plant height</i>) | $y = -0.011 x + 23.11$ | $R^2 = 0.0231$ |
| Diameter batang (<i>Stem girth</i>) | $y = -0.0158x + 4.1898$ | $R^2 = 0.3142^*$ |
| Bobot kering tajuk (<i>Shoot dry weight</i>) | $y = -0.083 x + 92.99$ | $R^2 = 0.5198^{**}$ |
| Bobot kering batang (<i>Stem dry weight</i>) | $y = -0.011x + 8.4031$ | $R^2 = 0.0188$ |
| Bobot kering daun (<i>Leaf dry weight</i>) | $y = -0.089 x + 105.2$ | $R^2 = 0.4616^{**}$ |

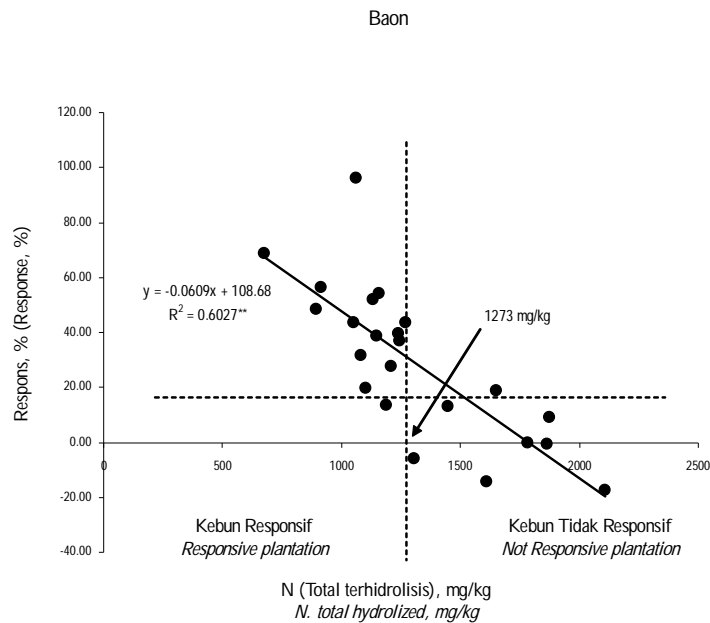
nilai tertinggi dijumpai pada tanah yang didominasi oleh jamur dibandingkan bakteri. Hasil penelitian yang ditunjukkan dalam Tabel 5 menunjukkan bahwa terdapat korelasi yang nyata antara kandungan N dalam bentuk gula amino di tanah dengan respons tanaman kakao terhadap pemupukan N berdasarkan parameter pertumbuhan tanaman yang meliputi bobot kering daun dan tajuk. Untuk parameter jumlah daun dan tinggi tanaman tampaknya serupa dengan yang ditemukan pada fraksi N total.

Dalam Tabel 6 disajikan korelasi antara kandungan N dalam bentuk amonium dan gula amino pada tanah dengan respons tanaman kakao terhadap pemupukan N yang dijumpai pada sejumlah tanah. Dari hasil ini terlihat bahwa korelasi yang sangat nyata dijumpai pada parameter bobot kering tajuk dan bobot kering daun, sedangkan untuk parameter jumlah daun, tinggi tanaman dan bobot kering batang korelasinya tidak nyata. Berdasarkan besar angka koefisien korelasi ini dapat diduga bahwa korelasi yang sangat nyata ini disumbangkan oleh koefisien

korelasi yang cukup besar yang dijumpai pada parameter fraksi N gula amino, mengingat bahwa nilai ini untuk fraksi amonium tidak nyata atau sangat kecil.

Korelasi antara tanggapan tanaman kakao menurut berbagai parameter pertumbuhan dengan kandungan berbagai fraksi N organik dalam bentuk amonium, asam amino dan gula amino disajikan dalam Tabel 7. Dari nilai koefisien korelasi tampak bahwa untuk fraksi N organik ini memiliki korelasi yang sangat signifikan dengan bobot kering tajuk kemudian diikuti oleh bobot kering daun. Angka korelasi terendah dijumpai pada parameter jumlah daun.

Berdasarkan nilai korelasi antara berbagai fraksi N organik dengan berbagai parameter pertumbuhan tanaman kakao, terlihat bahwa secara konsisten parameter pertumbuhan bobot kering daun menghasilkan nilai koefisien yang tertinggi untuk hampir semua fraksi N organik yang dianalisis. Oleh karena itu, untuk mengidentifikasi senyawa fraksi N organik tertentu yang berkaitan erat dengan respons



Gambar 2. Hubungan antara respons tanaman kakao dalam bentuk berat kering daun dengan kandungan N terhidrolisis total dalam tanah. Dengan menggunakan metode Cate-Nelson diketahui bahwa kandungan N (total terhidrolisis tanah) sebesar 1273 mg/kg adalah titik kritis yakni bahwa di atas titik ini tidak memberikan respons kepada tanaman.

Figure 2. Relationship between cocoa plant response on the basis of leaf dry weight and total soil hydrolysable N content. By using the Cate-Nelson method, it is known that the content of 1273 mg total soil hydrolysable N per kg soil is a critical point, where above this point the sites are non-responsive.

tanaman kakao, maka parameter bobot kering daun yang akan digunakan. Gambar 2 menyajikan hubungan antara respons tanaman kakao berdasarkan bobot kering daun dengan kandungan fraksi N terhidrolisis total dalam tanah.

Dari data yang disajikan dalam Gambar 2 tersebut dapat diketahui bahwa semakin tinggi kandungan N total terhidrolisis maka semakin rendah respons tanaman (dalam bentuk bobot kering daun) terhadap pemupukan. Untuk mengetahui konsentrasi kritis fraksi N organik ini, analisis yang digunakan penelitian ini adalah metode Cate & Nelson (1971). Dengan menggunakan metode ini diketahui bahwa nilai kritis N

total terhidrolisis adalah sebesar 1273 mg/kg tanah. Hal ini berarti bahwa kebun kakao yang dalam tanahnya mengandung N total terhidrolisis lebih dari 1273 mg/kg tidak akan memberikan respons (kebun tidak responsif) terhadap pemupukan, demikian pula sebaliknya (kebun responsif). Penelitian selanjutnya yang sedang dilakukan adalah untuk mengkaji hubungan antara sifat-sifat tanah serta tindakan budidaya kakao terhadap kandungan fraksi N organik tanah tersebut.

Berbeda dari hasil penelitian ini, Mulvaney *et al.* (2001) dan Khan *et al.* (2001) mendapatkan kandungan N gula amino dalam tanah merupakan indikator terbaik untuk mengetahui respon tanaman

jagung terhadap pemupukan N. Dari hasil penelitian tersebut diketahui bahwa kandungan N gula amino dalam tanah sebesar 250 mg/kg merupakan titik kritis, yakni bahwa lahan dengan kandungan senyawa ini lebih besar dari pada angka tersebut tergolong tidak responsif.

KESIMPULAN

1. Parameter bobot kering daun lebih besar rata-rata respons dan lebih lebar variasi responsnya terhadap pemupukan N dibandingkan parameter pertumbuhan lainnya, sehingga digunakan untuk menganalisis respons tanaman kakao terhadap pemupukan N.
2. Dengan menggunakan parameter bobot kering daun kakao dalam mengukur respons tanaman terhadap pemupukan dikaitkan dengan kandungan berbagai fraksi N organik di dalam berbagai macam tanah kebun kakao yang diuji dapat diketahui bahwa fraksi N terhidrolisis total berkorelasi negatif sangat signifikan dengan respons bobot kering tanaman.
3. N terhidrolisis total dapat digunakan sebagai indikator akan ada atau tidaknya respons tanaman kakao terhadap pemupukan N dalam bentuk urea (kebun responsif dan kebun tidak responsif).
4. Titik kritis kandungan N terhidrolisis total adalah sebesar 1273 mg/kg tanah, yakni bahwa kebun dengan kandungan N terhidrolisis total di atas titik kritis ini tidak akan memberikan respons terhadap pemupukan urea.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya Laporan Akhir ini, penanggung jawab penelitian ini mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Negara Riset dan Teknologi yang telah memberikan bantuan dana penelitian melalui Program Insentif Riset Terapan untuk tahun Anggaran 2007 sehingga penelitian ini dapat dilakukan sampai tahap ini.

Terima kasih pula disampaikan kepada Direktur Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Direktur Eksekutif Lembaga Riset Perkebunan Indonesia dan Dekan Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan ijin bagi kami untuk melaksanakan penelitian ini. Demikian juga kepada Direksi PT Perkebunan Nusantara XII yang telah memberikan ijin penggunaan kebun-kebun kakaonya untuk lokasi penelitian.

Tidak lupa kami juga menyampaikan terima kasih kepada staf peneliti Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia serta staf pengajar Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada dalam memberikan saran-saran penyempurnaan dalam pelaksanaan penelitian ini. Demikian pula kepada para staf teknis dari kedua lembaga ini yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini di laboratorium dan lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdoellah, A. & Pujiyanto (1992). Beberapa metode penentuan jenis dan dosis pupuk untuk kakao dan kopi. *Prosiding Seminar Optimasi Penge-lolaan Kesuburan Tanah Perkebunan Kopi dan Kakao*. Puslitbun Jember, 54–70.

- Baon, J.B.; F. Inayah; B. Suhartono & S. Winarso (2003). Efisiensi pemupukan nitrogen, sifat kimiawi tanah dan pertumbuhan kakao akibat dosis dan ukuran zeolit. *Pelita Perkebunan*, 19, 126–139.
- Baon, J.B. & S. Abdoellah (2002). Status lengas tanah dan hara pertanaman kopi Robusta saat kemarau akibat penambahan pupuk nitrogen dan bahan organik. *Pelita Perkebunan*, 18, 84–98.
- Baon, J.B.; S. Abdoellah; R. Erwiyono; Pujiyanto & A. Wibawa (2001). Penelitian penggunaan pupuk majemuk lepas terkendali dan pupuk organik alami pada perkebunan kakao. *Warta Puslit Kopi dan Kakao*, 17, 69–77.
- Bundy, L.G. & J.J. Meisinger (1994). Nitrogen availability indices. p. 951–984. In: R.W. Weaver *et al.* (Ed.). *Methods of Soil Analysis*. Part 2. SSSA Book Series. 5. SSSA, Madison, WI.
- Cate, Jr., R.B. & L.A. Nelson (1971). A simple statistical procedure for partitioning soil test data into two classes. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35, 658–660.
- Dahnke, W.C. & G.V. Johnson (1990). Testing soils for available nitrogen. p. 127–139. In: R.L. Westerman (Ed.). *Soil Testing and Plant Analysis*. SSSA Book Series No. 3. SSSA, Madison, WI.
- Hakim, L.S.; Sugiyono; S. Moersidi & M. Sudjadi (1986). Perbandingan berbagai pupuk nitrogen pada tanaman padi sawah dan gogo. *Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah*, Puslit Tanah, 195–211.
- Hardjono, A. & D.H. Goenadi (1992). Analisis tanah dan daun untuk rekomendasi pemupukan tanaman kakao. *Prosiding Seminar Optimalisasi Pengelolaan Kesuburan Tanah Perkebunan Kopi dan Kakao*, Puslitbun Jember, 54–70.
- Hardjono, A.; S. Tonapa; G. Soepardi & O. Koswara (1981). Pengaruh pupuk N, P, K dan Mg terhadap pertumbuhan semai karet GT 1 pada tanah podzolik merah kuning di Sumatera Selatan. *Menara Perkebunan*, 49, 121–127.
- Khan, S.A.; R.L. Mulvaney & R.G. Hoelt (2001). A simple soil test for detecting sites that are nonresponsive to nitrogen fertilization. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 65, 1751–1760.
- Ma, B.L.; K.D. Subedi & C. Costa (2005). Comparison of crop-based indicators with soil nitrate test for corn nitrogen requirement. *Agron. J.*, 97, 462–471.
- Magdoff, F.; D. Ross & J. Amadon (1984). A soil test for nitrogen availability to corn. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 48, 1301–1304.
- Marschner, H. (1986). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, London.
- Mulvaney, R.L. & S.A. Khan (2001). Diffusion methods to determine different forms of nitrogen in soil hydrolysates. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 65, 1284–1292.
- Mulvaney, R.L.; S.A. Khan; R.G. Hoelt & H.M. Brown (2001). A soil organic fraction that reduces the need for nitrogen fertilization. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 65, 1164–1172.
- Nguyen, V.B.; D.C. Oik & K.G. Cassman (2004). Characterization of humic acid fractions improves estimates of nitrogen mineralization kinetics for lowland rice soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 68, 1266–1277.
- Pandia, T. & P. Wibowo (1971). Percobaan pemupukan kelapa sawit di kebun Gunung Melayu. *Bulletin BPPM*, 2, 73–82.

- Pujiyanto; Sudarsono; A. Rachim; S. Sabiham; A. Sastiono & J.B. Baon (2003). Pengaruh bahan organik dan jenis tanaman penutup tanah terhadap bentuk bahan organik tanah, distribusi agregat dan pertumbuhan kakao. *Jurnal Tanah Tropika*, 17, 75–87.
- Scherer, H.W. & S. Weimar (1993). Release of nonexchangeable $\text{NH}_4\text{-N}$ after planting of ryegrass in relation to soil content and as affected by nitrate supply. *J. Plant Nut. Soil Sci.*, 156, 143–148.
- Sholeh (1986). Hubungan antara N-NO_3 dalam tanah ladang dengan produksi bahan kering dan N diserap tanaman. *Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah*, Puslit Tanah, 213–222.
- Sihotang, U.T.B. & M. Tampubolon (1985). Percobaan pemupukan pembibitan karet. *Berita P4TM*, 32, 44–54.
- Stevens, W.B.; R.G. Hoefl & R.L. Mulvaney (2005). Fate of nitrogen-15 in a long term nitrogen rate study: I. Interaction with soil nitrogen. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 97, 1037–1045.
- Sugiyono; M. Supartini & J. Prawirasumantri (1986). Pengaruh pemupukan nitrogen dan fosfat terhadap produksi jagung pada tanah Hydric Dystrandept Jawa Barat dan Typic Paleudult Lampung. *Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah*, Puslit Tanah, 169–178.
- Vetsch, J.A. & G.W. Randall (2004). Corn production as affected by nitrogen application timing and tillage. *Agron. J.*, 96, 502–509.
