

**Keselarasan Penyediaan Nitrogen dari Pupuk Hijau dan Urea
dengan Pertumbuhan Jagung pada Inceptisol Darmaga**

*Synchronization of Nitrogen Supply from Green
Manures and Urea with Corn Growth in Inceptisol Darmaga*

Wawan^{1*}, S. Sabiham², K. Idris³, G. Djajakirana³, S. Anwar³

Diterima 13 Juli 2007/Disetujui 19 Oktober 2007

ABSTRACT

*Increasing N use efficiency and decreasing N pollution can be achieved by synchronization between supplying pattern of N and crop N demand. Leaching-incubation experiment had been carried out for evaluating supplying pattern of N from 14 treatments of green manure (*Flemingia* and *Gliricidia*), urea and their combinations. Only 5 treatments of the split application of *Gliricidia*, urea and their combinations, and single application of combination of urea and *Gliricidia* synchronize with corn N uptake model. These five fertilization treatments were further examined in the greenhouse and in the field experiment. The synchronization between supplying pattern of N and corn growth in treatment without leaching was resulted by application of urea at planting followed by *Gliricidia* at 3 weeks after planting (WAP) and urea at planting and 3 WAP, whereas in treatment with leaching were resulted by split application of *Gliricidia* at planting and 3 WAP, urea at planting followed by *Gliricidia* at 3 WAP, and single application of urea and *Gliricidia* at planting. Urea applied at planting followed by *Gliricidia* at 3 WAP resulted in the high production of seed dry-weight with low N inorganic leaching.*

Key words: Synchronization, nitrogen, green manure, urea, corn

PENDAHULUAN

Pada umumnya tanah-tanah di daerah tropika basah kekurangan unsur hara N dan mengandung bahan organik rendah. Nitrogen adalah unsur hara esensial yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar dan pada tanah pertanian yang tidak dipupuk, tanaman sering menunjukkan gejala defisiensi. Oleh karena itu, pemupukan N sangat diperlukan untuk mendapatkan produksi tanaman yang optimal.

Pengelolaan pemupukan N sering dihadapkan pada rendahnya efisiensi yang disebabkan oleh besarnya kehilangan N melalui pencucian, volatilisasi dan denitrifikasi. Kehilangan N tersebut sering berakibat buruk terhadap lingkungan. Besarnya kehilangan N tersebut terutama terjadi akibat ketidakselarasan antara penyediaan N dengan permintaan N tanaman. Oleh karena itu, salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan penyelarasan antara penyediaan N dan permintaan tanaman yang menyangkut waktu dan jumlahnya.

Usaha untuk mencapai keselarasan telah menyertakan perbandingan pola pelepasan N dari bahan organik kualitas berbeda (Constantinides dan Fownes, 1994), pencampuran bahan organik kualitas

berbeda (Handayanto *et al.*, 1997), pengkombinasian sumber hara organik dan mineral (Jones *et al.*, 1997), dan pengaturan waktu dan penempatan aplikasi (Mafongoya *et al.*, 1997). Hasil-hasil penelitian tersebut saling bertentangan karena perbedaan tempat penelitian. Selain itu, penelitian-penelitian yang telah dilakukan masih bersifat parsial. Padahal keselarasan berpeluang besar dapat dicapai melalui pengaturan jumlah dan kombinasi sumber N yang dilakukan secara simultan dengan waktu aplikasinya. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dicoba dua jenis pupuk hijau yaitu *Gliricidia* dan *Flemingia* tanpa atau dengan kombinasi di antara keduanya atau dikombinasi dengan urea yang diberikan sekaligus saat tanam atau dipisah 2 kali yaitu saat tanam dan 3 minggu setelah tanam.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menentukan sumber N dan pengaturan aplikasinya yang memiliki pola penyediaan N selaras dengan model pola serapan N jagung, (2) menentukan sumber N dan pengaturan aplikasinya yang menghasilkan keselarasan penyediaan N dengan pertumbuhan jagung pada kondisi tanpa dan dengan pencucian, dan (3) menentukan sumber N dan pengaturan aplikasinya yang menghasilkan pertumbuhan dan produksi jagung optimal dengan pencucian N rendah.

¹ Mahasiswa Program Studi Ilmu Tanah Sekolah Pascasarjana IPB (*Penulis untuk korespondensi)

² Guru Besar Departemen Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan Faperta IPB

³ Staf Pengajar Departemen Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan Faperta IPB

BAHAN DAN METODE

Percobaan pencucian-inkubasi dilaksanakan di Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah, dan percobaan pot dilakukan di rumah kaca Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor. Percobaan lapangan dilaksanakan di kebun percobaan Pusat Studi Pemuliaan Tanaman, Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor, Cikabayan Darmaga. Penelitian berlangsung dari bulan Juli 2004 sampai Agustus 2005.

Percobaan Pencucian-Inkubasi di Laboratorium

Contoh tanah permukaan diambil sampai kedalaman lapisan olah (15–20 cm), langsung dikeringudarkan, ditumbuk dan diayak hingga lolos saringan 5 mm. Pupuk hijau *Flemingia congesta* dan *Gliricidia sepium* dikeringkan, kemudian dihaluskan lalu diayak hingga lolos saringan 250 µm.

Untuk menentukan pola penyediaan N dari *Flemingia*, *Glirisidia*, urea dan kombinasinya yang

diaplikasi tunggal atau dipisah telah dilakukan percobaan laboratorium mengikuti teknik pencucian-inkubasi Stanford dan Smith (1972).

Lima puluh gram tanah dengan pupuk hijau sesuai perlakuan (Tabel 1) ditambah 50 g pasir kuarsa dilembabkan dengan air destilasi, dicampur merata, dan ditransfer ke tabung pencucian kemudian diinkubasi. Empat belas perlakuan (13 perlakuan sumber N beserta pengaturan aplikasinya dan 1 kontrol) diulang 3 kali dan disusun dalam rancangan acak lengkap. Pada 1, 3, 4, 6, 7, 8, 10 dan 14 minggu setelah Inkubasi (MSI) dilakukan pencucian dengan 100 ml CaCl₂ 0.01 M diikuti dengan 25 ml larutan hara bebas N. Air hasil pencucian ditampung untuk dianalisis konsentrasi NH₄⁺ dan NO₃⁻ (sebagai N mineral dilepaskan) dengan menggunakan “*Flow Injection Autoanalyzer*”. Pola penyediaan N digambarkan dalam bentuk kurva N kumulatif yang dilepaskan.

Tabel 1. Perlakuan dan simbolnya yang digunakan dalam penelitian

No.	Perlakuan	Simbol
1.	Tanpa pemberian pupuk N (0 N)	P0
2.	Pupuk hijau flemingia 100% daun diberikan sekaligus saat inkubasi	P1
3.	Pupuk hijau flemingia 65% daun dan 35% batang diberikan sekaligus saat inkubasi	P2
4.	Pupuk hijau flemingia 50% daun dan 50% batang diberikan sekaligus saat inkubasi	P3
5.	Pupuk hijau glirisidia 100% daun diberikan sekaligus saat inkubasi	P4
6.	Pupuk hijau glirisidia 85% daun dan 15% batang diberikan sekaligus saat inkubasi	P5
7.	Pupuk hijau glirisidia 70% daun dan 30% batang diberikan sekaligus saat inkubasi	P6
8.	Flemingia 100% daun dan glirisidia 100% daun diberikan sekaligus saat inkubasi	P7
9.	Flemingia 100% daun saat inkubasi dan glirisidia 100% daun 3 minggu setelah inkubasi	P8
10.	Glirisidia 100% daun dan glirisidia 100% daun 3 minggu setelah inkubasi/tanam*	P9
11.	Glirisidia 100% daun saat inkubasi/tanam* dan urea 3 minggu setelah inkubasi/tanam*	P10
12.	Urea saat inkubasi/tanam* dan glirisidia 100% daun 0 minggu setelah inkubasi/tanam*	P11
13.	Urea saat inkubasi/tanam* dan glirisidia 100% daun 3 minggu setelah inkubasi/tanam*	P12
14.	Urea saat inkubasi/tanam* dan urea 3 minggu setelah inkubasi/tanam*.	P13

Keterangan : Pemisahan pemberian sumber N terdiri dari saat tanam 20% dan pada 3 minggu setelah inkubasi/tanam 80% dari takaran N yang digunakan. * : Berlaku untuk percobaan rumah kaca dan lapangan.

Percobaan di Rumah Kaca

Percobaan ini merupakan percobaan faktorial 2 x 6 dengan 3 ulangan dan disusun dalam rancangan acak lengkap. Faktor pertama adalah pencucian terdiri dari 2 taraf yaitu tanpa pencucian (L₀) dan dengan pencucian (L₁). Faktor ke dua adalah pemupukan terdiri dari 6 taraf yaitu 5 perlakuan aplikasi *Glirisidia*, urea dan kombinasinya terpilih dari percobaan laboratorium dan 1 kontrol.

Enam kilogram tanah kering udara (Ø <5 mm) ditambah sumber N sesuai perlakuan. Untuk membuat kadar P, K, Ca, dan Mg sama pada masing-masing

perlakuan, maka ke dalam tanah ditambahkan unsur-unsur tersebut dalam bentuk SP-36, KCl, CaCO₃ dan kiserit. Tanah, pupuk hijau, SP-36, KCl, CaCO₃ dan kiserit dicampur merata, kemudian dimasukkan ke dalam ember plastik. Lima belas ember plastik dipersiapkan untuk masing-masing perlakuan dari 12 kombinasi perlakuan. Bagian dasar ember diberi lubang dan kasa plastik. Ke dalam masing-masing ember plastik ditanami 3 benih jagung. Satu minggu setelah tanam (MST) dipilih bibit yang relatif seragam dan ditinggalkan satu bibit per ember.

Kelembaban tanah dijaga pada kondisi kapasitas lapang dengan menambahkan air bebas ion. Pada

ember yang mendapat perlakuan pencucian setiap satu minggu sekali sampai minggu ke 7 dilakukan pencucian dengan air hujan yang ditampung setelah 20 menit turun hujan (komunikasi pribadi penulis pertama dengan Dr. Gunawan Djajakirana). Jumlah air yang ditambahkan setengah dari rata-rata jumlah curah hujan di lokasi percobaan. Air cucian ditampung kemudian ditetapkan kadar N-(NH₄⁺ + NO₃⁻) dengan “*Flow Injections Auto analyzer*”. Kegiatan pemeliharaan tanaman yang meliputi penyiangan dan pengendalian hama dan penyakit dilakukan sesuai kebutuhan.

Pada umur 4, 5, 6, 7, dan 8 MST dilakukan pengambilan contoh tanaman dan tanah. Pengambilan contoh tanaman dilakukan dengan memanen seluruh bagian tanaman. Selanjutnya tanaman dicuci, ditiriskan dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 72 jam. Tanaman yang telah dioven ditimbang, kemudian diambil contoh untuk penetapan serapan N tanaman. Kadar N tanaman ditetapkan dengan metode Kjeldahl (Anderson dan Ingram, 1993). Serapan N tanaman dihitung dengan mengalikan kadar N total tanaman dengan total berat kering tanaman setelah dioven pada suhu 105°C.

Pengambilan contoh tanah dilakukan dengan cara mencampur rata tanah dalam ember kemudian mengambil sebagian tanah sebagai contoh. Contoh tanah selanjutnya disimpan dalam lemari es atau langsung dianalisis kadar N-NH₄⁺ dan N-(NO₃⁻ + NO₂⁻) melalui pengekstrakan dengan 2N KCl lalu diukur dengan menggunakan “*Flow Injections Autoanalyzer*”.

Percobaan di Lapangan

Rancangan kelompok teracak lengkap dengan 6 sumber N beserta pengaturan aplikasinya dan 1 kontrol dengan 3 ulangan digunakan untuk mengevaluasi respon tanaman jagung terhadap aplikasi pupuk hijau Gliricidia, urea dan kombinasinya.

Lahan yang akan digunakan untuk percobaan dibersihkan, dicangkul, dibuat 3 kelompok dengan masing-masing kelompok dibuat 6 petak berukuran 3.6 m x 5 m. Perlakuan ditempatkan pada masing-masing kelompok melalui pengacakan. Pada seluruh petak diberikan pupuk SP-36, KCl, kapur dan kiserit dengan takaran ditentukan berdasarkan kadar unsur P, K, Ca, dan Mg dalam tanah dan pupuk hijau, bahan kapur dan kiserit yang akan ditambahkan. Pemberian pupuk dilakukan pada saat tanam kecuali pupuk N sesuai perlakuan. Dengan menggunakan tugal, 3 benih jagung ditanam pada setiap lubang tugal yang berjarak tanam 90 cm x 40 cm. Seminggu setelah tanam dipilih bibit yang relatif seragam dan ditinggalkan 2 bibit per

lubang. Penyiangan dan pengendalian hama dan penyakit dilakukan sesuai kebutuhan.

Pengukuran pencucian N mineral ke lapisan bawah dilakukan pada minggu ke 1 dan ke 6 setelah tanam. Dua contoh tanah diambil pada setiap petak dengan menggunakan bor tanah berdiameter 3.8 cm pada kedalaman 20-40 cm, kemudian digabungkan untuk membentuk satu contoh komposit. Contoh tanah langsung dianalisis N-NH₄⁺ dan N-(NO₃⁻ + NO₂⁻) dengan menggunakan “*Flow Injections Autoanalyzer*”.

Tinggi tanaman diukur pada 3 sampai 7 MST, sedangkan berat kering tanaman diukur pada 4 sampai 8 MST. Pengukuran tinggi tanaman dilakukan dari leher akar sampai helaian daun tertinggi. Contoh tanaman jagung diambil melalui pemanenan 4 tanaman (2 lubang tanam) setiap petak dengan cara memotong sekitar 1 cm di atas leher akar. Contoh dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 72 jam, kemudian ditetapkan berat keringnya. Sebagian contoh dianalisis kadar N totalnya. Hasil biji jagung ditaksir melalui pemanenan tanaman yang tidak digunakan untuk contoh dalam analisis serapan N oleh tanaman.

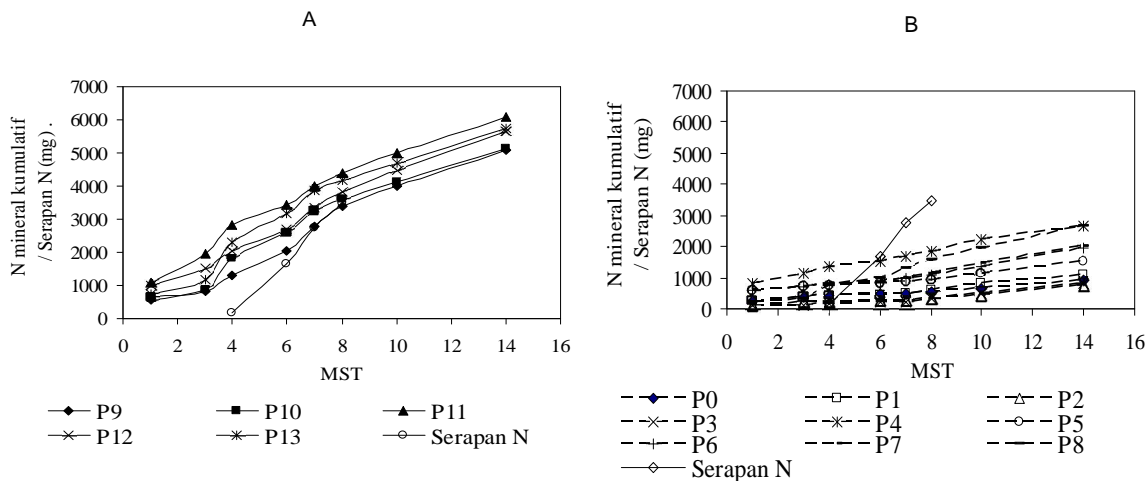
Analisis Statistik

Data kadar N-NH₄⁺ dan N-(NO₃⁻ + NO₂⁻) yang dilepaskan (percobaan pencucian-inkubasi), serapan N oleh tanaman jagung dan kadar N-NH₄⁺ dan N-(NO₃⁻ + NO₂⁻) tanah pada waktu pengambilan contoh berbeda, tinggi dan berat kering tanaman, serta berat pipilan kering jagung (percobaan lapangan) dianalisis dengan menggunakan sidik ragam. Nilai rata-rata pengaruh perlakuan dibandingkan dengan menggunakan uji DMRT pada taraf nyata 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keselarasn Pola Penyediaan N dengan Model Pola Pengambilan N

Keselarasn antara pola penyediaan N dengan model pola serapan N jagung ditentukan dengan perbandingan kurva dan uji korelasi. Hasilnya menunjukkan bahwa pola penyediaan N dengan model pola serapan N jagung yang selaras dihasilkan oleh perlakuan P9 sampai P13 (Gambar 1A), sedangkan yang tidak selaras dihasilkan oleh perlakuan P0 sampai P8 (Gambar 1B). Hal itu terjadi karena perlakuan P9 sampai P13 menghasilkan lonjakan pelepasan N pada 1 minggu setelah aplikasi, sedangkan perlakuan P0 sampai P8 tidak, sehingga menghasilkan pola penyediaan N mirip dengan model pola serapan N jagung dibandingkan perlakuan P0 sampai P8.

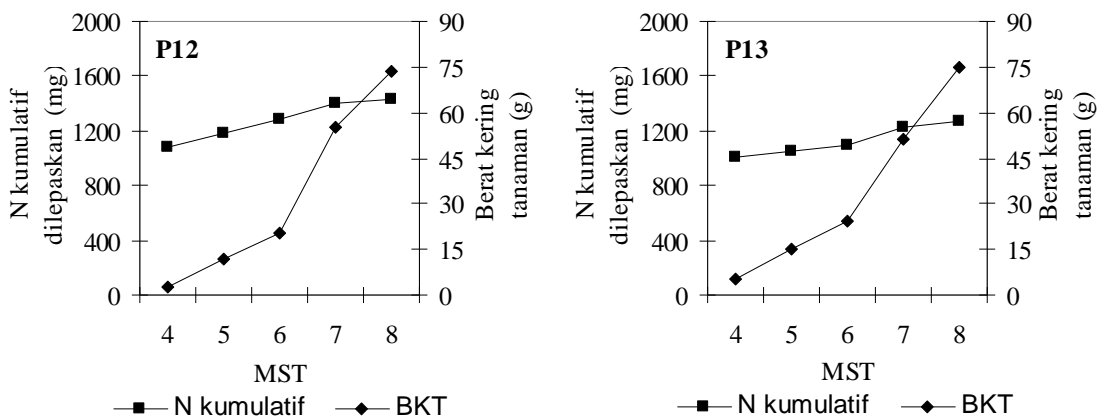


Gambar 1. Kurva N mineral kumulatif yang selaras (A), dan tidak selaras (B) dengan model serapan N jagung

Keselarasan Penyediaan N dengan Pertumbuhan Jagung

Hasil uji korelasi antara penyediaan N dengan pertumbuhan jagung (TT dan BKT) menunjukkan bahwa keselarasan antara penyediaan N dengan

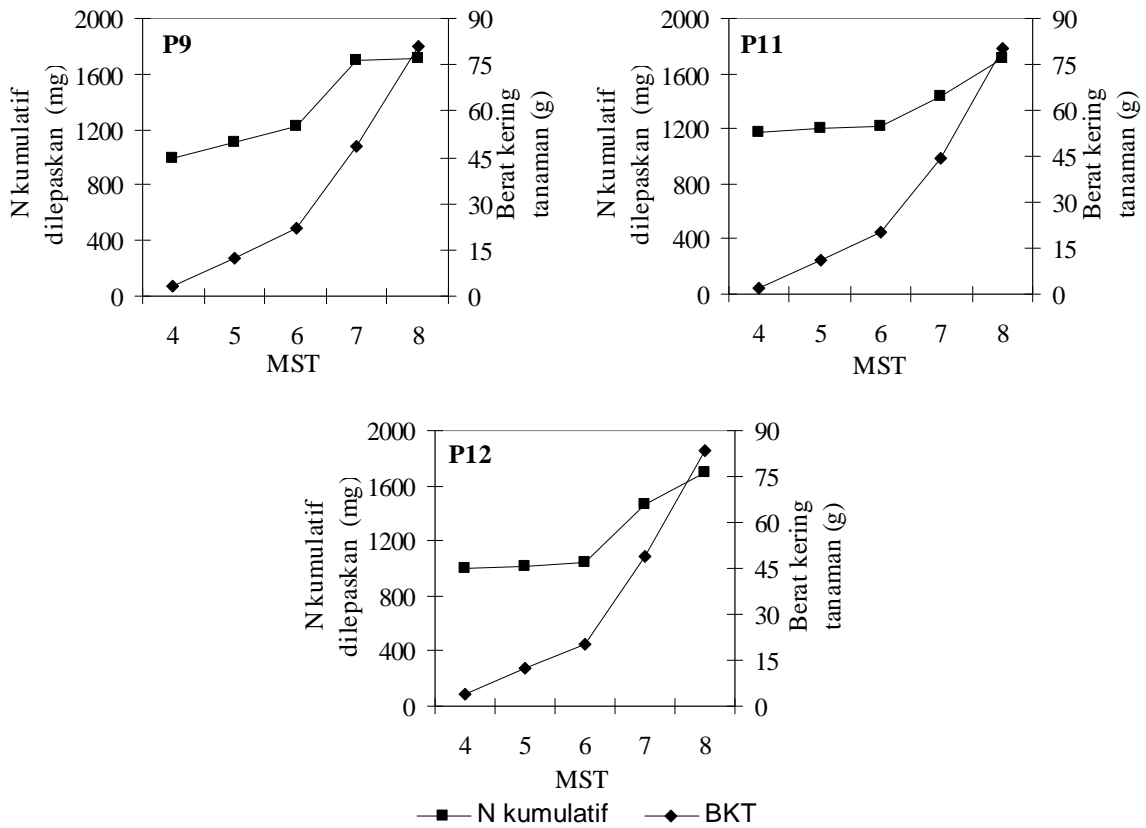
pertumbuhan jagung pada tanah tanpa pencucian dihasilkan perlakuan P12 dan P13 (Gambar 2), sedangkan pada tanah dengan pencucian dihasilkan perlakuan P9, P11 dan P12 (Gambar 3).



Gambar 2. Pola penyediaan N yang selaras dengan berat kering tanaman jagung yang dihasilkan perlakuan P12 dan P13 pada perlakuan tanpa pencucian

Pada perlakuan tanpa pencucian, aplikasi urea saat tanam (P12 dan P13) menghasilkan penyediaan N yang sama atau lebih rendah dan pertumbuhan jagung yang lebih besar dibanding aplikasi Glirisidia saat tanam (P9 dan P10) dan aplikasi tunggal urea dan Glirisidia saat tanam (P11). Berbeda dengan itu, pada perlakuan

dengan pencucian aplikasi Glirisidia 80% N pada 3 MST (P9, P11 dan P12) menghasilkan serapan N dan pertumbuhan jagung lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya, sehingga menghasilkan penyediaan N lebih selaras dengan pertumbuhan jagung dibanding perlakuan P10 dan P13.



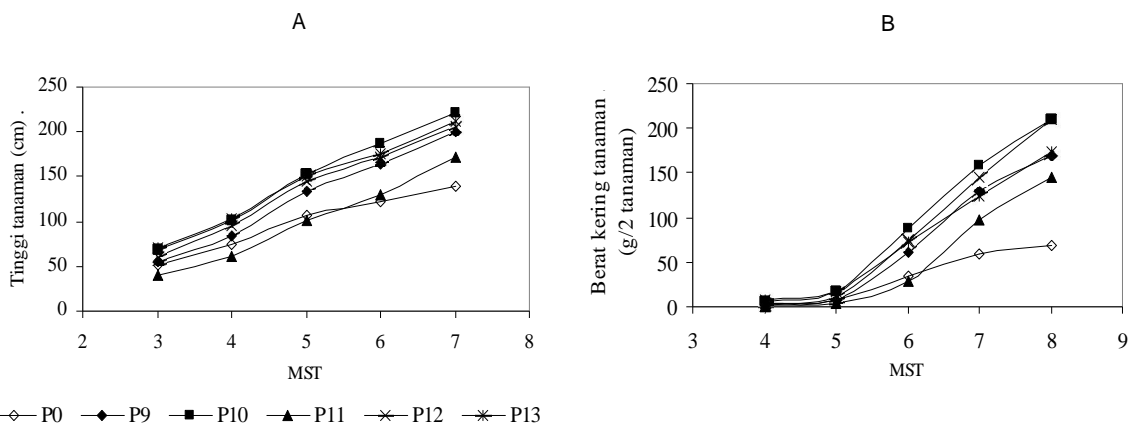
Gambar 3. Pola penyediaan N yang selaras dengan berat kering tanaman jagung yang dihasilkan perlakuan P9, P11 dan P12 pada perlakuan dengan pencucian

Tinggi Tanaman dan Berat Kering Tanaman

Pola pertumbuhan tinggi tanaman yang mengikuti semua perlakuan pemupukan (P9 sampai P13) mirip satu sama lain, yaitu berbentuk hampir linier (Gambar 4A). Pola tersebut berbeda dengan yang dihasilkan perlakuan P0 yang berbentuk hampir sigmoid. Pola

pertumbuhan tinggi tanaman yang mirip juga ditemukan oleh Karlen *et al.* (1987).

Pola pertumbuhan BKT yang mengikuti semua aplikasi pupuk (P9 sampai P13) mirip satu sama lain yaitu berupa kurva sigmoid (Gambar 4B). Pola demikian juga ditemukan oleh Gregory (1988).



Gambar 4. Tinggi tanaman (A) dan berat kering tanaman (B) jagung yang mengikuti aplikasi Glirisidia, urea dan kombinasinya di lapangan

Aplikasi dipisah urea, Glirisidia dan kombinasinya (P9, P10, P12 dan P13) memiliki pertumbuhan tanaman (TT dan BKT) lebih tinggi daripada aplikasi sekaligus kombinasi urea dan Glirisidia saat tanam (P11) dan tanpa pemupukan N (P0) ((Gambar 4) A dan B). Gambar 4 juga menunjukkan bahwa perlakuan P11 memiliki TT (pada 3 sampai 5 MST) dan BKT (pada 4 sampai 6 MST) lebih rendah daripada P0. Hal itu berarti terjadi penghambatan pertumbuhan bibit akibat aplikasi urea dan Glirisidia sekaligus saat tanam.

Berat Pipilan Kering

Semua perlakuan aplikasi pupuk hijau Glirisidia, urea dan kombinasinya secara nyata meningkatkan hasil

biji jagung (Tabel 2). Besarnya peningkatan tersebut berkisar dari 212% sampai 283%. Peningkatan hasil ini jauh lebih tinggi daripada yang ditemukan oleh Akinnifesi *et al.* (1997) akibat aplikasi pangkasan lamtorogung. Hal itu disebabkan tanah yang digunakan dalam penelitian ini mengandung hara khususnya N yang lebih rendah daripada yang digunakan Akinnifesi *et al.* (1997), sehingga sangat tanggap terhadap pemupukan N.

Berat pipilan kering tertinggi dihasilkan perlakuan P10 disusul P12, P9, P13 dan P11. Hal tersebut ditunjang oleh pertumbuhan tanaman (TT dan BKT) dan serapan N yang dihasilkan perlakuan P10 dan P12 lebih tinggi daripada yang dihasilkan perlakuan lainnya.

Tabel 2. Rata-rata berat pipilan kering (BPK) yang mengikuti aplikasi Glirisidia, urea dan kombinasinya

Perakuan	Berat Pipilan Kering (kg)	Peningkatan terhadap perlakuan 0 N (%)
P0	1422 a	-
P9	4774 bc	236
P10	5449 c	283
P11	4440 bc	212
P12	5208 c	266
P13	4577 bc	222

Nilai dalam kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji DMRT pada taraf nyata 5%

Pencucian N Mineral

Tabel 3 menunjukkan bahwa pada 1 MST terjadi pencucian N-NH₄⁺ dan total N mineral, dan pada 6 MST terjadi pencucian N-NO₃⁻ dan total N mineral yang

mengikuti perlakuan P11. Selain itu pada 6 MST juga terjadi pencucian total N mineral yang mengikuti perlakuan P10.

Tabel 3. Rata-rata konsentrasi N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ dan total N mineral tanah lapisan 20-40 cm yang mengikuti aplikasi Glirisidia, urea dan kombinasinya

Perlakuan	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Total N mineral
----- µg/g -----			
1 MST			
P0	11.6 a	8.0 ab	19.6 a
P9	19.0 ab	6.0 ab	25.0 ab
P10	17.2 a	14.2 b	31.3 ab
P11	35.6 b	10.5 ab	46.0 b
P12	11.9 a	11.8 ab	23.7 ab
P13	18.8 ab	9.5 ab	28.2 ab
6 MST			
P0	14.6 a	5.3 a	19.9 a
P9	14.7 a	15.3 a	30.0 a
P10	73.5 a	56.2 a	129.7 b
P11	32.2 a	146.6 b	178.8 b
P12	17.9 a	7.9 a	25.9 a
P13	35.4 a	15.8 a	51.3 a

Nilai dalam kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji DMRT pada taraf nyata 5%.

Hasil percobaan Laboratorium menunjukkan bahwa aplikasi sekaligus urea dan Glirisida saat tanam (P11) melepaskan $N-NH_4^+$ dan total N mineral tinggi. Demikian pula aplikasi Glirisida saat tanam dan urea 3 MST (P10) melepaskan total N mineral tinggi. Oleh karena ditunjang permeabilitas tanah dan curah hujan tinggi, maka sangat logis terjadi pencucian N mineral ke lapisan bawah yang dihasilkan kedua perlakuan tersebut.

KESIMPULAN

1. Glirisida, urea dan kombinasinya yang diaplikasi dipisah dan kombinasi urea dan Glirisida yang diaplikasi sekaligus menghasilkan pola penyediaan N selaras dengan model pola serapan N jagung.
2. Untuk mencapai keselarasan penyediaan N dengan serapan N tanaman semusim sebaiknya tidak menggunakan Flemingia.
3. Keselarasan penyediaan N dengan pertumbuhan jagung pada perlakuan tanpa pencucian dihasilkan oleh perlakuan aplikasi urea saat tanam diikuti Glirisida 3 MST (P12) dan aplikasi urea saat tanam diikuti urea 3 MST (P13).
4. Keselarasan antara penyediaan N dengan pertumbuhan jagung pada perlakuan dengan pencucian dihasilkan oleh perlakuan aplikasi dipisah Glirisida saat tanam dan 3 MST (P9), aplikasi sekaligus urea dan Glirisida saat tanam (P11) dan urea saat tanam diikuti Glirisida 3 MST (P12).
5. Aplikasi urea 20% N saat tanam dan Glirisida 80% N pada 3 MST (P12) menghasilkan berat pipilan kering jagung tinggi dengan pencucian N amonium dan nitrat rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BPPS Ditjen Dikti yang telah memberikan dana untuk kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akinnifesi, F.K., B.T. Kang, N. Sanginga, H. Tijani-Eniola. 1997. Nitrogen use efficiency and N-competition between *Leucaena* hedgerows and maize in an alley cropping system. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 47: 71-80.
- Anderson, J.M., J.S.I. Ingram. 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility: A Hand-book of Methods*. CAB International, Wallingford, UK. 171p.
- Constantinides, M., J.H. Fownes. 1994. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: Relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. *Soil Biol. Biochem.* 26 (1): 49-55.
- Gregory, P.J. 1988. Crop growth and development. *In* A. Wild (ed). *Russell's Soil Condition and Plant Growth*. Longman Scientific and Technical. England.
- Handayanto, E., K.E. Giller, G. Cadish. 1997. Regulating N release from legume tree prunings by mixing residues of different quality. *Soil Biol. Biochem.* 29 (9/10): 1417-1426.
- Jones, R.B., S.S. Snapp, H.S.K. Phombeya. 1997. Management of leguminous leaf residues to improve nutrient use efficiency in the Sub-humid tropics. *In*: Cadish, G and K.E. Giller (eds) *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 239-250.
- Karlen, D.L., R.L. Flannery, E.F. Sadler. 1987. Nutrient and dry matter accumulation rates for high yielding maize. *J. Plant Nutrition* 10:1409-1417.
- Mafongoya, P.L., P.K.R. Nair, B.H. Dzwowela. 1997. Multipurposes tree prunings as a source of nitrogen to maize under semiarid condition in Zimbabwe. 2. Nitrogen recovery rates and crop growth as influenced by mixtures and prunings. *Agroforest. Sys.* 35: 47-56.
- Palm, C.A., K.E. Giller, P.L. Mafongoya, M.J. Swift. 2001. Management of organic matter in the tropics: translating theory into practice. *Nutrient Cycl. Agroecosys.* 61: 63-75.
- Stanford G., S.J. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 36: 465-472.