

**TEKNIK NUKLIR UNTUK PENELITIAN
HUBUNGAN TANAH – TANAMAN
Perhitungan dan Interpretasi Data**

Oleh :

Elsje L. Sisworo
Komaruddin Idris
Ania Citraresmini
Irawan Sugoro

**BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
2 0 0 6**

Judul : **Teknik Nuklir Untuk Penelitian Hubungan Tanah – Tanaman
*Perhitungan dan Interpretasi Data***
Penulis : Elsje L. Sisworo, Komaruddin Idris, Ania Citraresmini, Irawan Sugono
Redaksi Pelaksana : Ruliyanti Pardewi, Hadi Susilo dan Aswan Edysyah Putra
Tata Letak : Darwono, IG. Ketut Pribadi
Desain Sampul : Moh. Zen
Gambar Sampul : Aplikasi Teknik Nuklir di Bidang Pertanian

© 2006, BATAN. Hak Cipta dilindungi undang-undang
Diterbitkan oleh **Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)**

Pusat Pengembangan Informatika Nuklir (PPIN) Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi (PATIR)
Kawasan Puspiptek, Serpong – Tangerang Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta 12070
Telp. 021-7560905 Telp. 021-7659375
Fax. 021-7560923 Fax. 021-7691607

Dilarang keras memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit.

Perpustakaan Nasional : Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Sisworo, Elsje L., dkk

Teknik Nuklir Untuk Penelitian Hubungan Tanah–Tanaman:
Perhitungan dan Interpretasi Data./ Elsje L Sisworo dkk. -- Jakarta:
BATAN, 2006

ii, 130 hlm; illus., 21 cm

Bibliografi hlm. 125 – 130

ISBN : 979-3558-08-3

1. Pemupukan Tanaman
2. Produksi Tanaman
3. Teknik Nuklir – Isotop
4. Tanah - Pertanian

631.8 + 633 + 621.48

I. Judul



Para penulis, Prof. Ir. Elsje L. Sisworo, MS., Dr. Ir. Komaruddin Idris, MS., Ania Citraresmini, SP., dan Irawan Sugoro, M.Si. Telah menggunakan teknik nuklir untuk berbagai penelitian yang telah dituangkan di sejumlah makalah seperti yang dicantumkan pada daftar pustaka. Data pada makalah dalam daftar pustaka adalah data utama yang digunakan sebagai contoh dalam buku ini.

KATA PENGANTAR

Teknik nuklir yang antara lain menggunakan metode isotop dan radiasi ternyata sangat berguna bagi penelitian dalam bidang pertanian. Metode nuklir ini oleh PATIR – BATAN telah secara rutin digunakan dibidang nutrisi dan kesuburan tanah, pemuliaan mutasi, produksi dan kesehatan hewan, kontrol hama tanaman, pengawetan pangan dan studi residu pestisida.

Bagi para peneliti diluar PATIR – BATAN kendala utama yang dirasakan adalah bagaimana mengaplikasikan teknik nuklir di bidangnya masing-masing sehingga nilai tambah dari teknik ini dapat benar-benar dimanfaatkan.

Berdasarkan hal ini dirasakan perlu untuk menerbitkan Buku Bagi Penelitian Hubungan Tanah–Tanaman. Diharapkan dengan diterbitkannya buku ini, para peneliti di luar Batan terutama untuk penelitian nutrisi dan kesuburan tanah dapat menggunakannya untuk memperoleh hasil penelitian yang lebih bernilai tambah.

Hasil penelitian yang diperoleh ini diharapkan dapat diterapkan di lahan petani untuk mengatasi persoalan terutama dibidang nutrisi dan kesuburan tanaman.

Kepala PATIR – BATAN

Ir. Renaningsih Setjo, M.S.c.

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Daftar Isi	ii
I. PENDAHULUAN	1
II. ISOTOP NITROGEN	2
III. ISOTOP RADIOAKTIF	11
IV. PENGGUNAAN ISOTOP UNTUK PENELITIAN HUBUNGAN TANAH – TANAMAN	20
V. PENGGUNAAN TEKNIK ISOTOP PADA PENELITIAN KESUBURAN TANAH DAN NUTRISI TANAMAN	28
VI. NILAI – A (A – VALUE)	36
VII. PENILAIAN KUANTITATIF PRAKTEK PEMUPUKAN..	43
VIII. BAHAN YANG TIDAK DAPAT DITANDAI (DILABEL)	49
IX. PENGGUNAAN METODE ^{15}N UNTUK MENENTUKAN FIKSASI N-BIOLOGIS	56
X. PENELITIAN OLEH BATAN	61
XI. HAL-HAL KHUSUS	73
DAFTAR PUSTAKA	125

TEKNIK NUKLIR UNTUK PENELITIAN HUBUNGAN TANAH – TANAMAN

Perhitungan dan Interpretasi Data

I. PENDAHULUAN

Hampir semua elemen yang penting dalam penelitian biologi/pertanian paling tidak mempunyai 2 isotop stabil, di mana isotop yang lebih berat (yang mempunyai atom dengan massa yang lebih besar) umumnya ditemukan secara alami dalam jumlah yang kecil.

Isotop dengan jumlah massa yang lebih berat ini yang umumnya digunakan dalam penelitian biologi / pertanian.

Pada Tabel 1 tersaji isotop stabil yang umum digunakan dalam penelitian biologi / pertanian.

Tabel 1. Isotop stabil yang digunakan sebagai pelacak (tracer) dalam penelitian biologi / pertanian.

Unsur	Berat	Ringan
H	² D	¹ H (99.9844%)
N	¹⁵ N	¹⁴ N (99.634%)
C	¹³ C	¹² C (99.892%)
S	³⁶ S	
	³⁴ S	³² S (95.02%)
	³³ S	
O	¹⁸ O	¹⁶ O (99.759%)
	¹⁷ O	

Pada Tabel 1, angka di dalam kurung adalah nilai *natural abundances* (kelimpahan alami). Komposisi dari isotop stabil (rasio / perbandingan antara isotop bermassa ringan dengan berat) berbagai materi biologi dihitung menggunakan spectrometer massa, atau spektrometer emisi optikal. Jumlah dari isotop bermassa lebih berat dinyatakan dalam persen atom kelimpahan alami (*natural abundance*). Ini akan lebih dijelaskan lebih rinci

berikut ini, dengan contoh nitrogen, yang merupakan nutrisi utama bagi tanaman.

II. ISOTOP NITROGEN

Berbagai isotop radioaktif nitrogen (N) dan stabil disajikan pada Tabel 2.

Isotop radioaktif N dengan waktu paruh paling panjang adalah 10.05 menit. Hal inilah yang merupakan penghambat utama bagi penggunaannya dalam penelitian biologi / pertanian, yang umumnya memerlukan waktu paling sedikit 2 – 3 minggu.

Tabel 2. Berbagai Isotop Nitrogen.

Jumlah massa	Kelimpahan alami (%)	Waktu paruh
12	-	0.0216 detik
13	-	10.05 menit
14	99.634	-
15	0.366	-
16	-	7.36 detik
17	-	4.14 detik

Komposisi ^{15}N dalam atmosfer kira-kira 0.366% atom dari seluruh N-total, sehingga ^{14}N dalam atmosfer kira-kira 99.634% atom. Untuk setiap atom ^{15}N dalam atmosfer ada 272 ± 0.3 atom ^{14}N , sehingga dalam atmosfer ditemukan $0.3663 \pm 0.0004\%$ atom ^{15}N .

Rasio $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ yang dapat dikatakan konstan di atmosfer atau bahan-bahan alami, memungkinkan diperkayanya atau diturunkannya ^{15}N dalam berbagai bahan yang dapat digunakan dalam penelitian.

Selain itu ^{15}N atau ^{14}N bukan isotop radioaktif, sehingga penggunaan $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ dalam penelitian tidak akan melibatkan bahaya bagi kesehatan pemakai, dan karena ^{14}N dan ^{15}N merupakan isotop stabil maka penggunaannya dapat diterapkan pada penelitian jangka panjang.

Pada masa lalu penggunaan isotop stabil N dihambat oleh mahalnya peralatan dan materi yang diperkaya dengan ^{15}N . Pada saat ini hambatan ini

sudah dapat diatasi dengan lebih terjangkauanya peralatan analisis ^{15}N seperti spectrometer massa, atau spektrometer emisi optikal, selain itu materi yang diperkaya ^{15}N harganya sudah jauh menurun karena permintaan yang meningkat.

1. Penggunaan pelacak ^{15}N dalam penelitian nitrogen dan hubungan tanah-tanaman

^{15}N merupakan isotop yang digunakan secara luas untuk memahami proses biologi dan kimiawi yang mempengaruhi daur nitrogen dan pergerakan N dalam suatu sistem pertanian.

Dalam program FAO/IAEA yang melibatkan aplikasi nitrogen dalam penelitian sistem tanah-tanaman, di mana digunakan ^{15}N secara intensif dan ekstensif antara lain adalah,

- 1) perombakan N dalam tanah
- 2) distribusi N bahan organik yang diaplikasi pada suatu lahan
- 3) genotype tanaman yang berbeda dalam penggunaan N
- 4) penggunaan pupuk N (utilization) :
 - pengelolaan penggunaan pupuk (waktu pemberian, penempatan pupuk, sumber pupuk, dsb.)
 - interaksi dengan faktor agronomis lainnya (irigasi, spesies tanaman, kultivar, persiapan lahan, dsb.)
 - neraca N
- 5) "Recovery" (temuan kembali) dari N sisa tanaman
- 6) Pergerakan N dalam tanah
- 7) Kehilangan N dalam bentuk gas (volatilisasi, denitrifikasi, dsb.)
- 8) Kehilangan N karena pelindihan ("leaching")
- 9) Aspek lingkungan dari N yang digunakan
- 10) Degradasi bahan kimia organik yang diberikan pada tanah
- 11) Fiksasi N secara biologis (Fiksasi- N_2) untuk : identifikasi dan perbandingan fiksasi – N_2 berbagai sistem, perhitungan secara kuantitatif fiksasi – N_2 di lapangan, perbaikan untuk meningkatkan fiksasi – N_2
- 12) Distribusi N pada berbagai bagian tanaman
- 13) Studi metabolisme N pada tanaman dan hewan.

2. Terminologi dan Stoichiometri Dasar Isotop Nitrogen

2.1. Kelimpahan alami (natural abundance) dan ekses atom (e.a.)

Kelimpahan alami adalah jumlah relatif ^{14}N dan ^{15}N yang ditemukan di alam, sedangkan ekses atom adalah perbedaan antara jumlah relatif ^{14}N dan ^{15}N yang ditemukan dalam suatu materi dengan kelimpahan alami.

Agar semua terminologi ini menjadi jelas maka akan diberikan contoh-contoh seperti berikut ini,

Jadi, a_0 = % ^{15}N kelimpahan alami (natural abundance % atom ^{15}N nitrogen di alam)

$$= 0.3663 \% \text{ } ^{15}\text{N} = 0.366 \% \text{ } ^{15}\text{N}$$

A = total % atom ^{15}N dalam suatu contoh, disebut juga % kelimpahan ^{15}N (% ^{15}N abundance) a ini akan sama dengan a_0 untuk kelimpahan alami, tetapi $a > a_0$ bila contoh diperkaya dengan ^{15}N

maka a_1 = % atom ekses ^{15}N = $a - a_0$

Contoh (1) Total % atom ^{15}N untuk suatu contoh tanaman yang dianalisis dengan spectrometer massa adalah 0.855

Berapa % atom ekses (a.e.) ^{15}N contoh?

$$\% \text{ atom } ^{15}\text{N} \text{ total} = 0.855$$

$$\% \text{ atom kelimpahan alami } ^{15}\text{N} = 0.366$$

$$\% \text{ a.e. } ^{15}\text{N} = 0.855 - 0.366 = 0.489$$

(2) Pupuk urea yang diperkaya mengandung 5.35 % a.e. ^{15}N . Berapa total % atom ^{15}N yang ada pada pupuk urea?

$$\% \text{ a.e. } ^{15}\text{N} \text{ dalam pupuk urea} = 5.35$$

$$\% \text{ atom kelimpahan alami } ^{15}\text{N} = 0.366$$

$$\text{Maka total \% atom } ^{15}\text{N} \text{ dalam pupuk urea} = 5.37 + 0.366 = 5.736$$

2.2. Efek komposisi terhadap berat molekul (BM), massa molekul (M) dan kandungan nitrogen yang sebenarnya (Wn) dalam suatu bahan

Perbedaan komposisi isotop N dari suatu bahan mengubah berat molekul (BM), massa molekul (M) dan kandungan N yang sebenarnya (Wn). Contoh berikut ini akan menggambarkan hal tersebut.

Contoh (1).

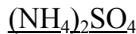
Hitung rata-rata berat atom N (AN), massa molekul (M) dan kandungan N yang sebenarnya (Wn) dalam bahan berikut ini,

- (i) ammonium sulfat / $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ biasa (tidak diperkaya)
- (ii) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dengan kelimpahan 5% ^{15}N
- (iii) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dengan kelimpahan 10% ^{15}N
- (iv) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dengan kelimpahan 50% ^{15}N

Jawaban :

Untuk menghitung (AN) digunakan rumus berikut ini :

$$(\text{AN}) = \frac{a \times 15 + (100 - a) \times 14}{100} \quad a = \% \text{ kelimpahan } ^{15}\text{N}$$



	Biasa	5% $^{15}\text{N}^*$	10% ^{15}N	50% ^{15}N
An (g)	14	$14 + \frac{5}{100} = 14.05$	$14 + \frac{10}{100} = 14.1$	$14 + \frac{50}{100} = 14.5$
M (g/mol)	$2 \times 14 (=28) + 1 \times 8$	$2 \times 14.05 (=28.1) + 8$	$2 \times 14.1 (=28.2) + 8$	$2 \times 14.5 (=29) + 8$
WN (%N)	$\frac{28 \times 100}{132} = 21.21$	$\frac{28.1 \times 100}{132.1} = 21.27$	$\frac{28.2 \times 100}{132.2} = 21.33$	$\frac{29 \times 100}{133} = 21.80$

*kelimpahan ^{15}N

Contoh (2)

Berapa gram ^{15}N terdapat dalam setiap 100 g pupuk ammonium sulfat yang disebut dalam contoh (1)?

Jawab: Persamaan berikut ini digunakan dalam perhitungan yang ditanyakan

$$\begin{aligned}\text{Jumlah molekul} &= \frac{\text{berat bahan}}{\text{berat molekul (M) bahan}} \\ \text{Jumlah atom N} &= (\text{jumlah molekul bahan}) \times (\text{jumlah atom N per molekul materi}) \\ \text{Jumlah atom } ^{15}\text{N} &= \frac{\text{kelimpahan } \%^{15}\text{N}}{100} \times \text{jumlah atom N} \\ \text{Massa } ^{15}\text{N} &= \text{jumlah atom } ^{15}\text{N} \times \text{berat atom isotop } ^{15}\text{N}\end{aligned}$$

- (a) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ biasa / tidak diperkaya
- jumlah molekul dalam 100 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 100/132 = 0.758$ molekul
 - massa N dalam bahan : (jumlah atom per molekul bahan) x (jumlah molekul) x (berat atom isotop N)
 - tetapi, molekul $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ mempunyai 2 atom N, sehingga jumlah atom N = $2 \times 0.758 = 1.516 = 1.52$
 - untuk $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ biasa / tidak diperkaya yang mempunyai kelimpahan alami 0.366% ^{15}N maka jumlah atom $^{15}\text{N} = 0.366/100 \times 1.52 = 0.00555$ dan massa $^{15}\text{N} = 0.00555 \times 15 = 0.0832 \text{ g } ^{15}\text{N}$.
- (b) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dengan 5% kelimpahan ^{15}N
- jumlah molekul 100 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 100/132.1 = 0.757$
 - jumlah atom N = $2 \times 0.757 = 1.51$
 - maka $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dengan 5% kelimpahan ^{15}N mempunyai jumlah atom $^{15}\text{N} = 5/100 \times 1.51 = 0.0757$ dan massa $^{15}\text{N} = 0.0757 \times 15 = 1.136 \text{ g } ^{15}\text{N}$.
- (c) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dengan 10% kelimpahan ^{15}N
- jumlah molekul 100 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 100/132.2 = 0.756$
 - jumlah atom N = $2 \times 0.756 = 1.513$
 - maka $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dengan 10% kelimpahan ^{15}N mempunyai jumlah atom $^{15}\text{N} = 10/100 \times 1.513 = 0.1513$ dan mempunyai massa $^{15}\text{N} = 0.1513 \times 15 = 2.27 \text{ g } ^{15}\text{N}$.
- (d) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dengan 50% kelimpahan ^{15}N
- jumlah molekul 100 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 100/133 = 0.752$
 - jumlah atom N = $2 \times 0.752 = 1.503$
 - maka $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dengan 50% kelimpahan ^{15}N mempunyai jumlah atom $^{15}\text{N} = 50/100 \times 1.503 = 0.7515$ dan mempunyai massa $^{15}\text{N} = 0.7515 \times 15 = 11.27 \text{ g } ^{15}\text{N}$.

2.3. Kesalahan estimasi kandungan ^{15}N dalam materi yang diperkaya dengan ^{15}N .

Dari perhitungan sebelumnya diperlihatkan bahwa berat molekul dan %N dari suatu bahan berbeda, bergantung kepada besar/kecilnya pengkayaan ^{15}N . Juga akan terlihat bahwa kandungan ^{15}N pupuk N dengan pengkayaan yang berbeda akan dapat menyebabkan salah estimasi bila perhitungan didasarkan pada pupuk-N biasa / tidak diperkaya. Contoh berikut ini akan memperlihatkan.

Contoh :

Berapa jauh salah estimasi kandungan ^{15}N dalam $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ yang diperkaya dengan kelimpahan 50% ^{15}N bila perhitungan didasarkan pada $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ tidak diperkaya?

Jawab :

Bila perhitungan kandungan ^{15}N didasarkan pada $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ yang tidak diperkaya maka ditemukan 21.21 g N per 100 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (lihat contoh sebelumnya), maka massa ^{15}N dalam $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ yang diperkaya dengan kelimpahan 50% ^{15}N : $50/100 \times 21.21 \text{ g } ^{15}\text{N} = 10.6 \text{ g } ^{15}\text{N}$.

Namun dari perhitungan 100 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ yang diperkaya dengan kelimpahan 50% ^{15}N mengandung 11.3 g ^{15}N (lihat contoh sebelumnya).

Maka salah asumsi perhitungannya menjadi cukup besar yaitu : $11.3 - 10.6 = 0.7 \text{ g}$ atau $0.7/11.3 \times 100\% = 6.2\%$.

2.4. Memesan pupuk-N

Berdasarkan perhitungan sebelumnya maka pada contoh berikut ini akan diperlihatkan harga yang menjadi berbeda bila % ^{15}N dipesan berdasarkan kelimpahan % ^{15}N atau atom eksek % ^{15}N .

Contoh :

Dua perusahaan yang berbeda menawarkan 100 g N dalam bentuk $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dengan 1% dan 5% atom eksek ^{15}N .

Perusahaan I

a) menawarkan ^{15}N dengan harga \$60/g ^{15}N untuk 1% atom eksis dalam pupuk N.

Kandungan ^{15}N untuk 100 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ yang diperkaya dengan 1% atom eksis
 $^{15}\text{N} = 1 \text{ g atom eksis } ^{15}\text{N} = 1 \text{ g} \times \$60 = \$60$

Perusahaan II

Menawarkan \$50/g ^{15}N dalam pupuk N.

Jumlah ^{15}N dalam 100 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dengan kelimpahan ^{15}N diperkaya + kelimpahan alami ^{15}N 1% atom eksis = 1 g ^{15}N

Kelimpahan alami 0.366% = 0.37%

Dalam 100 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 0.37/100 \times 100 = 0.37 \text{ g } ^{15}\text{N}$

Maka kelimpahan ^{15}N -total 1% + 0.37% = 1.37 g ^{15}N

Maka harga 1 g $^{15}\text{N} = 1.37 \times \$50 = \$68.50$

Bila sekarang $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ yang dipesan 5% ^{15}N

b) kandungan ^{15}N untuk 100 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ yang dipesan dengan 5% atom eksis
 $^{15}\text{N} = 5/100 \times 100 = 5 \text{ g } ^{15}\text{N}$ atom eksis
Penawaran \$60 per 1 g ^{15}N atom eksis maka harga pupuk menjadi $5 \times \$60 = \300

Jumlah N dalam 100 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dengan 5% atom eksis = 5 g ^{15}N

Kelimpahan alami 0.37 maka dalam 100 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ada $0.37/100 \times 100 = 0.37 \text{ g } ^{15}\text{N}$

Total ^{15}N pada pupuk = $5 + 0.37 = 5.37$, harga menjadi $5.37 \times \$50 = \268.50

Dengan menghitung seperti yang diperlihatkan ini maka untuk 1% atom eksis ^{15}N akan menjadi lebih murah daripada kelimpahan 1 % ^{15}N . Tetapi untuk 5% terjadi hal yang sebaliknya.

3. Pengenceran Isotop

3.1. Cara kerja dan persamaan

Uraian berikut ini adalah untuk memperoleh larutan dengan kandungan ^{15}N yang diinginkan. Persamaan berikut ini disebut neraca isotop atau pengenceran isotop dan digunakan untuk memperoleh pengkayaan ^{15}N yang diinginkan bila pupuk-N bertanda ^{15}N dengan pengkayaan yang berbeda dicampur untuk memperoleh pengkayaan yang diinginkan.

$$x(a1) + y(a2) = (x + y) \bar{a} \quad (1)$$

- x = jumlah bahan yang akan diencerkan
- a1 = kelimpahan %¹⁵N dari bahan yang akan diencerkan
- y = berat dari bahan pengencer (dengan pengkayaan yang lebih rendah)
- a2 = kelimpahan %¹⁵N dari bahan pengencer
- \bar{a} = kelimpahan %¹⁵N rata-rata pada campuran dua materi atau (x + y)

Bila bahan pengencer (y) adalah pupuk biasa / tidak diperkaya maka,

$$a2 = a0 = \text{kelimpahan alami } 0.37 \%^{15}\text{N}$$

maka persamaan (1) menjadi :

maka persamaan (1) menjadi :

$$\frac{x(a1')}{x+y} = \bar{a}' \quad (2)$$

dimana a1' = ekses atom %¹⁵N dari materi yang akan diencerkan

\bar{a}' = ekses atom %¹⁵N yang akhirnya diinginkan (dari campuran 2 bahan).

Dari uraian sebelumnya telah diperlihatkan bahwa bahan dengan pengkayaan ¹⁵N akan mempunyai perbedaan, massa molekul dan berat molekul. Namun perbedaan ini akan menjadi kecil bila bahan yang berbeda yang akan dicampur, kecil pula perbedaan pengkayaan kelimpahan ¹⁵N nya.

Bila kedua bahan ini akan dicampur maka M1 dan M2 (di mana M1 dan M2 adalah massa molekul dari kedua bahan yang akan dicampur) dan jumlah x dan y dapat dituliskan sebagai m1 dan m2 dalam gram.

Persamaan 2 ini dapat ditulis ulang :

$$m1 = \frac{(m1 + m2) \bar{a}'}{a1'} \quad (3)$$

Bila kedua bahan yang akan dicampur pengkayaan %¹⁵N perbedaannya besar maka persamaan (2) menjadi :

$$\bar{a}' = \frac{n1 (a'1)}{n1 + N2} \quad (4)$$

atau

$$\bar{a}1 = \frac{m1(a1')M2}{m1M2 + m2M1} \quad (5)$$

dan

$$m1 = \frac{(m1+m2)M1 \bar{a}'}{M2a1' + (M1 - M2) \bar{a}'} \quad (6)$$

3.2. Contoh perhitungan

Contoh 1.

Buat 10 l larutan mengandung 140 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ berkelimpahan 1.2% ^{15}N dari $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dengan kelimpahan 2.4% ^{15}N dan $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ biasa / tanpa pengkayaan.

Perhitungan.

Di sini diasumsikan tidak ada perbedaan pengkayaan antara M1 dan M2 sehingga diasumsikan $M1 = M2$.

Jadi $m1 + m2 = 140 \text{ g } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Kelimpahan 2.4% $^{15}\text{N} = 2.4 - 0.37 = 2.03\%$ eksese atom (e.a.) ^{15}N

Kelimpahan 1.2% ^{15}N yang diinginkan = $1.2 - 0.37 = 0.83\%$ e.a. $^{15}\text{N} = a1'$

Maka $m1 = 140 \times \frac{0.83}{2.03} = 57.2 \text{ g } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dengan kelimpahan 2.4% ^{15}N

dan $m2 = 140 - 57.2 = 82.8 \text{ g } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ biasa / tanpa pengkayaan.

Jadi untuk memperoleh larutan 10 l dengan kelimpahan 1.2% ^{15}N , maka 57.2 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dengan kelimpahan 2.4% ^{15}N harus ditambah 82.8 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ biasa / tanpa pengkayaan dan dilarutkan menjadi 10 l dengan air.

Contoh 2.

Ada 8 petak percobaan, dengan luas tiap petaknya 4 m² akan dipupuk dengan takaran setara 100 kg N/ha menggunakan urea bertanda 1% e.a. ^{15}N . Pupuk yang tersedia untuk digunakan adalah urea dengan kelimpahan 10% ^{15}N . Pupuk akan diaplikasikan dalam bentuk larutan di mana setiap petak akan menerima 200 ml/m². Bagaimana membuat larutan yang diinginkan.

- 100 kg N / ha setara 10 g N / m²
- Tiap petak percobaan membutuhkan 10 g N/m² agar setara dengan 100 kg N/ha
- Kandungan N urea = 46.7%

Maka jumlah urea yang dibutuhkan per m² = $\frac{100}{46.7} \times 10 \text{ g N} = 21.41 \text{ g urea}$

- Urea total yang dibutuhkan adalah 32 m² x 21.4 g = 685.2 g urea
- Larutan total yang dibutuhkan 32 m² x 200 ml / m² = 6400 ml = 6.4 l
- Untuk mengatasi terjadinya kekurangan larutan karena tumpah dsb, jangan membuat larutan tepat 6.4 l tetapi dilebihkan misalnya menjadi 6.6 l
- Karena itu urea yang dibutuhkan sekarang menjadi : $\frac{6.6}{6.4} \times 685.2$
706.9 g = 707 g
- Karena M1 dan M2 dituliskan menjadi m1 + m2 = 707 g
a1' = 10 - 0.37 = 9.63 %e.a.¹⁵N harus dilarutkan menjadi a1 = 1 % e.a.¹⁵N pada larutan yang akan digunakan.

$$m1 = 707 \times \frac{1.00}{9.63} = 73.4 \text{ g}$$

$$m2 = 707 - 73.4 = 633.6 \text{ g}$$

Larutan dengan N = 10 g /m² dengan 1 %e.a.¹⁵N diperoleh dengan melarutkan 73.4 g urea dengan kelimpahan 10 %¹⁵N + 633.6 urea biasa / tanpa pengkayaan dilarutkan dengan air menjadi 6.6 l.

III. ISOTOP RADIOAKTIF

Konsep yang berlaku pada isotop stabil seperti ¹⁵N yang telah diuraikan sebelumnya berlaku juga untuk isotop radioaktif dengan istilah yang berbeda.

Umumnya penelitian yang melibatkan isotop radioaktif lebih murah daripada penggunaan isotop stabil. Ini antara lain disebabkan karena peralatan untuk analisis isotop radioaktif tidak semahal isotop stabil. Sebaliknya adanya peraturan proteksi radiasi yang ketat acapkali

menyebabkan banyak peneliti agak enggan menggunakan isotop radioaktif. Namun dengan bekerja mengikuti peraturan, isotop radioaktif dapat digunakan dengan baik dalam berbagai penelitian.

1.1. Unit

Aktivitas radioaktif atau contoh radionuklida secara definisi adalah kekuatan dan intensitasnya. Dengan perkataan lain, aktivitas adalah jumlah nukleus yang luruh per unit waktu. Unit SI / Standard International untuk radioaktivitas adalah Becquerel (simbol Bq). 1 Bq adalah satu peluruhan per detik (dps). Unit Curie (Ci) digunakan sebelumnya.

Tabel 3. Hubungan antara unit radioaktivitas dan laju peluruhan

Unit radioaktivitas		Laju peluruhan	
Curie	Becquerel	Dps	dpm*
1 Ci	3.7 x 10 ¹⁰ Bq 37 GBq	3.7 x 10 ¹⁰	2.22 x 10 ¹²
1 mCi	3.7 x 10 ⁷ Bq 37 MBq	3.7 x 10 ⁷	2.22 x 10 ⁹
1 μCi	3.7 x 10 ⁴ Bq 37 KBq	3.7 x 10 ⁴	2.22 x 10 ⁶
1 ηCi	3.7 x 10 Bq	3.7 x 10	2.22 x 10 ³
1 Pci	3.7 x 10 ⁻² Bq	3.7 x 10 ⁻²	2.22
27.027 mCi	1 GBq	1 x 10 ⁹	6 x 10 ¹⁰
27.027 μCi	1Mbq	1 x 10 ⁶	6 x 10 ⁷
27.027 ηCi	1 KBq	1 x 10 ³	6 x 10 ⁴

*dpm = desintegrasi per menit
Desintegrasi = peluruhan

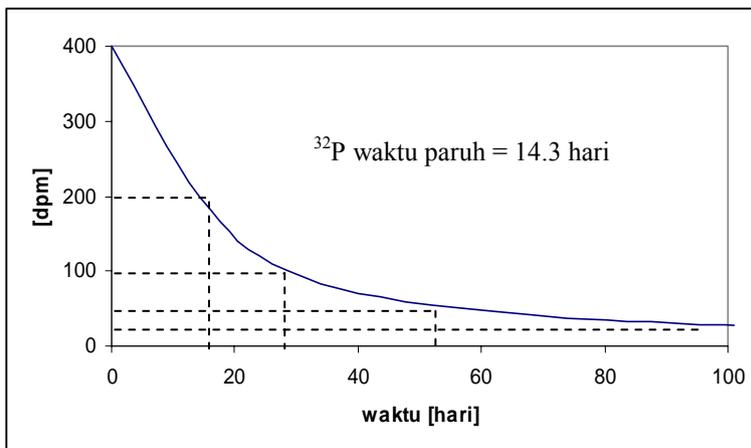
1.2. Hukum peluruhan, waktu paruh

Semua isotop radioaktif meluruh secara eksponensial dengan waktu melalui desintegrasi nukleus, yang menghasilkan radiasi ion dalam bentuk gelombang alpha (α) atau beta (β) atau partikel gamma (γ).

Jadi setiap isotop radioaktif mempunyai ciri-ciri khas sebagai berikut :

- 1) laju peluruhan (λ) yang konstan dan dengan waktu luruh terkait ($t^{1/2}$)
- 2) skema peluruhan dan jenis radiasi (α , β , γ)
- 3) pola energi dari partikel atau gelombang

Laju peluruhan radionuklida pada umumnya dinyatakan dalam waktu paruh ($t^{1/2}$). Waktu paruh dari suatu isotop radioaktif didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan untuk meluruhnya separuh dari atom radioaktif awal atau dengan perkataan lain radionuklida akan “kehilangan separuh dari radioaktivitas asalnya”. Sebagai contoh digambarkan pada waktu paruh ^{32}P .



Gambar 1. Grafik linier dari waktu peluruhan ^{32}P .

Radioaktivitas ^{32}P luruh separuh setiap 14.3 hari, jadi waktu paruh atau $t^{1/2} \text{ } ^{32}\text{P} = 14.3$ hari.

Karena peluruhan radionuklida mempunyai hubungan logaritma, maka garis lurus akan diperoleh bila grafik dipetakan pada kertas log. Peluruhan radionuklida paling tetap didefinisikan dengan istilah matematis.

Jumlah (dN) atom yang luruh (disintegrasi) untuk waktu tertentu (dt), adalah sebanding dengan jumlah (N) atom radioaktif yang ada. Hubungan ini dapat dituliskan sebagai berikut,

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (1)$$

di mana λ adalah konstanta peluruhan.

Bila persamaan diferensial (1) diintegrasikan antara N_0 dan N , dan t_0 dan t , di mana N_0 adalah jumlah atom radioaktif pada waktu 0 (t_0), maka persamaan (1) dapat ditulis sebagai berikut:

$$N_0 \int \frac{dN}{N} = -\lambda \int_{t_0}^t dt \quad \text{dan} \quad \frac{\ln N}{\ln N_0} = -\lambda t \quad (2)$$

Di mana \ln adalah logaritma alami atau

$$\log N = \log N_0 - \left(\frac{\lambda}{2.3} \times t \right)$$

Di mana \log adalah logaritma (basis 10).

Karena aktivitas (A) suatu bahan sebenarnya adalah intensitas peluruhannya dan ini sebanding dengan jumlah radioaktivitas, maka persamaan (2) dapat ditulis menjadi : $\ln A = \ln A_0 - \lambda t$ (3).

Untuk dapat menggunakan persamaan (2) dan (3), maka konstanta peluruhan (λ) harus diketahui setelah berlakunya waktu yang setara dengan waktu paruh ($t^{1/2}$), maka sisa aktivitas asal dapat dituliskan kembali dari persamaan (3) :

$$\ln \frac{1}{2} = \ln A - \lambda t^{1/2} \quad \text{atau} \quad \ln 2 = \lambda t^{1/2}$$

atau

$$0.693 = \lambda t^{1/2}, \quad \text{karena itu} \quad \lambda = \frac{0.693}{t^{1/2}} \quad (4)$$

Contoh berikut ini menggambarkan penggunaan persamaan (3) untuk menghitung peluruhan contoh ^{32}P .

Suatu contoh mengandung 37 kBq (= 1 μ Ci = 3.7 x 10⁴ dps) dps = desintegrasi per sekon (detik) ³²P pada saat t₀. Berapa radioaktivitas setelah 30 hari?

Jawab : Waktu paruh (t_{1/2}) ³²P = 14.3 hari

$$\ln A = \ln 3.7 \times 10^4 - (\lambda \times 30) \quad (\lambda \text{ lihat persamaan 3})$$

$$\ln A = \ln 3.7 \times 10^4 - \left(\frac{0.693}{14.3 \text{ hari}} \times 30 \text{ hari} \right)$$

Perhatikan bahwa unit waktu paruh dan waktu peluruhan harus sama, dalam hal ini unit adalah hari.

$$\ln A = 10.5186 - 1.4538$$

$$\ln A = 9.0648$$

$$A = 8646 \text{ dps}$$

Dalam 30 hari aktivitas turun dari 3.7 x 10⁴ dps menjadi 8646 dps atau 37 kBq (1 μ Ci) menjadi 8.6 kBq (0.23 μ Ci).

Peluruhan contoh ini secara garis besar dapat diestimasi dengan hubungan seperti ini,

Setelah satu waktu paruh, A/2 (?)

$$\text{dari aktivitas awal tinggal } N = \frac{N_0}{2}$$

Setelah dua waktu paruh,

$$\text{dari aktivitas awal tinggal } N = \frac{N_0}{2^2}$$

Setelah n waktu paruh,

$$\text{dari aktivitas awal tinggal } N = \frac{N_0}{2^n}$$

Maka untuk contoh sebelumnya,

$$\frac{30 \text{ hari}}{14.3 \text{ hari}} = 2.1 \text{ waktu paruh} = n \text{ atau kira-kira } n = 2$$

$$\frac{A}{2^2} = 37 \text{ kBq} = 37 \text{ kBq} = 9.25 \text{ kBq}$$

$$\text{Atau} = \frac{37000}{4} = 9250 \text{ dps}$$

1.3. Aktivitas spesifik

Suatu radioisotop umumnya didampingi oleh isotop stabil dari unsur yang sama. Aktivitas spesifik adalah jumlah radioaktivitas per unit berat (atau volume) dari unsur total yang ada, termasuk radioisotop dan isotop stabil.

Contoh

Dua contoh tanaman dianalisis untuk kandungan ^{32}P dan P-total. Ekstraksi dengan asam dilakukan dan 10 ml larutan ekstraksi digunakan bagi penentuan ^{32}P dan P-total. Digunakan metode Cerenkov untuk kedua contoh ini. Untuk contoh (1) diperoleh cacahan 1000 cpm, dengan efisiensi pencacahan 40%, untuk contoh (2) diperoleh cacahan 1000 cpm, dengan efisiensi pencacahan 20%. Perbedaan efisiensi pencacahan disebabkan adanya perbedaan warna antara contoh (1) dan (2). Kedua contoh ini masing-masing mengandung 10 mg P-total.

Pertanyaan apakah aktivitas jenis sama untuk kedua contoh ini?

Jawab: menggunakan dpm yang tepat bagi kedua contoh ini, berarti koreksi dilaksanakan terhadap efisiensi pencacahan yang berbeda ditemukan hasil sebagai berikut,

Contoh (1) mempunyai 1000 cpm dengan efisiensi pencacahan = 40% = 0.4 (1000 cpm itu hanya 40% dari nilai sebenarnya).

$$1000 \text{ cpm dengan } 40\% \text{ efisiensi pencacahan} = \frac{1000}{0.4} = 2500 \text{ dpm}$$

$$\text{Aktivitas jenis untuk contoh (1)} = \frac{2500}{10 \text{ mg P}} \text{ dpm} = 250 \text{ dpm / mg P}$$

Untuk contoh (2) 1000 cpm dengan efisiensi pencacahan 20% = 0.2

$$\text{Maka dpm sebenarnya} = \frac{1000}{0.2} = 5000 \text{ dpm}$$

$$\text{Aktivitas jenis contoh (2)} = \frac{5000}{10 \text{ mg P}} \text{ dpm} = 500 \text{ dpm / mg P}$$

1.4. Mengestimasi kebutuhan radioisotop untuk percobaan hubungan tanah – tanaman

Dalam berbagai percobaan menggunakan isotop radioaktif, adalah perlu untuk mengestimasi aktivitas spesifik dan kuantitas pupuk bertanda dengan aktivitas yang memadai.

Bila ingin menghitung kebutuhan total isotop radioaktif, aktivitas spesifik adalah yang utama harus ditentukan sehingga ditemukan radioaktivitas yang cukup pada saat panen yang menjamin pencacahan contoh yang memadai.

Untuk berbagai percobaan pencacahan contoh 20 – 30 cps atau 2000 cpm dianggap cukup memadai.

Tiga faktor utama yang akan menentukan aktivitas spesifik dari pupuk yang akan digunakan yaitu :

- (a) efisiensi pencacahan
- (b) kecil / besarnya pengenceran biologis dan kimiawi
- (c) lamanya percobaan dilaksanakan dengan perkataan lain, berapa waktu waktu tumbuh tanaman dalam suatu percobaan.

Untuk dapat mengestimasi jumlah pupuk yang bertanda yang dibutuhkan maka spesifikasi agronomis harus diketahui :

- sumber nutrisi dalam pupuk (pupuk – N atau pupuk – P)
- kandungan nutrisinya (%P, %N dalam pupuk)
- takaran pupuk yang akan digunakan
- total luasan percobaan serta jumlah petak percobaan yang akan digunakan

Jumlah bahan bertanda dalam hal ini pupuk bertanda sebaiknya diledakkan 30% sehingga tersedia cukup bahan untuk standar-cacahan, untuk adanya kehilangan karena terbang / tumpah, dan tersedia cukup waktu bagi persiapan bagi aplikasi pupuk bertanda.

Contoh : Estimasi pupuk bertanda radioisotop yang dibutuhkan untuk suatu percobaan jagung manis dengan data sebagai berikut,

Masa pertumbuhan : dari tanam sampai panen 10 minggu = 70 hari

Dari percobaan sebelumnya: P-total contoh tanaman = 0.25% dan diharapkan %P-berasal dari pupuk : 10.

Diasumsikan efisiensi alat pencacah 40%.

Spesifikasi agronomis

Sumber – P (fosfor) : pupuk organik superphosphate (OSP) mengandung 10 % P. Takaran P yang diaplikasikan : 40 kg P/ha = 4 g P/m². Luas petak : 3 m x 1.5 m = 4.5 m². Jumlah petak : 18 (3 perlakuan x 6 ulangan).

Jawaban :

- Cacahan yang diharapkan 2000 cpm / 2 g contoh tanaman
Efisiensi pencacah 40% = 0.4
Aktivitas akhir dalam contoh tanaman : 2000/0.4 = 5000 dpm / 2g contoh tanaman.
- Percobaan ini akan berlangsung selama 7 minggu = 70 hari = 5 x waktu paruh, maka aktivitas awal (N₀) ;

$$N_0 = N \times 2^n$$

$$N_0 = 5000 \times 2^5$$

$$N_0 = 5000 \times 32 = 160000 \text{ dpm} = 16 \times 10^4 \text{ dpm}$$

$$N_0 = \frac{16 \times 10^4 \text{ dpm}}{2.22 \times 10^9 \text{ dpm/mCi}} \quad 1 \text{ mCi} = 2.22 \times 10^9 \text{ dpm}$$

$$= 7.2 \times 10^{-5} \text{ mCi} = 7.2 \times 10^{-2} \mu\text{Ci}/2\text{g contoh tanaman}$$

Maka jumlah P-pupuk dalam contoh tanaman :

$$= 2 \times \frac{0.25}{100} \times \frac{10}{100} = \frac{5}{10^4} \text{ atau } 5 \times 10^{-4} \text{ g}$$

(Keterangan : 0.25% = %P-total contoh tanaman, 10 = kandungan P pupuk OSP = 10%, 2 = 2g contoh tanaman).

Jumlah ini setara dengan aktivitas spesifik berikut ini :

$$\frac{7.2 \times 10^{-2} \mu\text{Ci}}{5 \times 10^{-4} \text{ g P}} = 144 \mu\text{Ci } ^{32}\text{P per g } ^{31}\text{P dalam OSP}$$

Ini berarti bahwa pupuk-P bertanda ³²P harus mempunyai aktivitas spesifik awal 0.15 mCi/g P.

Perhitungan jumlah pupuk-P bertanda ^{32}P yang dibutuhkan.

Luasan total yang akan ditandai = $18 \times 4.5 \text{ m}^2 = 81 \text{ m}^2$ (4.5 = luasan petak percobaan; 18 = jumlah petak percobaan).

Jumlah total P yang dibutuhkan : $81 \times 4 \text{ g P} = 324 \text{ g P}$.

Pupuk OSP bertanda ^{32}P yang dibutuhkan :

$$324 \times \frac{100}{10} = 3240 \text{ g OSP}$$

Maka sebaiknya bila memesan dibulatkan dari 3240 g OSP menjadi 3500 g OSP = 3.5 kg OSP.

Bila diasumsikan untuk pengiriman pupuk dan untuk sampai ke lapangan dibutuhkan waktu satu waktu paruh maka aktivitas spesifik sebaiknya bukan

$$0.15 \text{ mCi / g P tetapi } \frac{0.15}{0.50} = 0.30 \text{ mCi / g P (0.5 = 1 waktu paruh)}$$

Total aktivitas menjadi $324 \times 0.3 \text{ mCi / g P} = 97 \text{ mCi}$ dibulatkan menjadi $100 \text{ mCi} = 0.1 \text{ Ci}$.

IV. PENGGUNAAN ISOTOP UNTUK PENELITIAN HUBUNGAN TANAH – TANAMAN

Isotop baik stabil maupun radioaktif yang akan digunakan dalam suatu percobaan akan melibatkan bahan bertanda terutama pupuk bertanda sebagai pelacak. Pelacak bertanda ini dapat membantu menentukan bukan saja secara kualitatif tetapi juga kuantitatif terhadap nutrisi tanaman yang akan dilacak sesuai isotop yang digunakan.

Perencanaan penggunaan isotop dalam suatu penelitian hubungan tanah – tanaman membutuhkan pendekatan yang berbeda dengan perencanaan penelitian tanpa penggunaan isotop.

Hal ini disebabkan penggunaan isotop dalam suatu penelitian membutuhkan hal-hal tambahan sebagai berikut;

- pupuk bertanda yang digunakan umumnya harganya jauh di atas harga pupuk biasa
- dibutuhkan peralatan yang canggih bagi analisis isotop yang digunakan sebagai pelacak
- dibutuhkan sumber daya manusia terlatih untuk menangani isotop stabil maupun radioaktif baik di saat aplikasi maupun analisis isotop dalam suatu percobaan.

Sudah terakui bahwa penggunaan teknik nuklir merupakan alat “hebat” dalam penelitian biologis / pertanian. Karena itu sebaiknya keuntungan ini dapat digunakan sebaik mungkin dengan mempertimbangkan dua hal berikut ini,

- (1) penggunaan teknik nuklir dalam hal ini metode isotop adalah satu-satunya metode yang dapat mengatasi persoalan yang ingin dipecahkan dalam suatu penelitian
- (2) ada metode lain yang bukan teknik nuklir yang dapat digunakan, namun untuk memperoleh hasil yang cepat dan tepat diperlukan penggunaan metode isotop untuk memperoleh hasil percobaan, sehingga pada akhirnya banyak biaya yang dapat dihemat.

Karena banyak metode konvensional terkait erat dengan metode isotop, maka sebaiknya anggota tim penelitian yang akan menggunakan metode isotop juga menguasai berbagai metode konvensional tersebut.

Dalam hal menerapkan teknik nuklir dalam suatu penelitian biologis / pertanian selalu ada urutan logis seperti yang selalu ditemukan pada penelitian tanpa teknik nuklir.

Urutan tindakan yang sebaiknya dilakukan adalah,

- (1) definisi dari topik utama yang akan diteliti
- (2) kumpulkan informasi sebanyak mungkin mengenai latar belakang topik penelitian yang akan dilaksanakan
- (3) merinci rencana kerja penelitian, termasuk identifikasi topik atau pertanyaan khusus yang akan dipecahkan menggunakan teknik nuklir.

Ada beberapa peraturan umum yang patut dipertimbangkan untuk diterapkan dalam suatu percobaan menggunakan teknik nuklir, sebagai berikut :

- susun rancangan percobaan sederhana dengan tujuan yang terdefinisi dan konkrit serta jelas
- menurut IAEA (International Atomic Energy Agency) yang berpengalaman melaksanakan Co-ordinated Research Programme (CRP) dalam waktu yang lama, diperoleh hasil bahwa adalah lebih menguntungkan bila digunakan sederet percobaan sederhana daripada menggunakan satu percobaan yang besar dan rumit.

Daur proyek penelitian

Bila digunakan metode isotop maka rancangan percobaan yang rinci harus disusun dan sebaiknya sejak awal penulisan sudah melibatkan anggota tim, sehingga perbaikan dan usulan sudah dapat dilakukan sejak awal. Penulisan panduan akhir menjadi tanggung jawab ketua proyek penelitian.

Daftar berikut ini meliputi hal-hal yang selalu dipertimbangkan dalam suatu panduan percobaan.

1. Pendahuluan

Para peneliti dalam suatu tim penelitian harus menyediakan pendahuluan yang mencakup informasi dasar yang jelas dan runut mengenai topik percobaan yang akan dilakukan. Dan yang terpenting adalah menulis rinci mengenai peranan teknik nuklir dalam percobaan tersebut.

2. Objektif / tujuan

Suatu percobaan sebaiknya selalu harus memiliki satu atau dua tujuan yang jelas.

3. Perlakuan dan rancangan percobaan

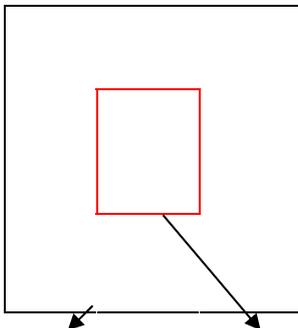
Perlakuan dalam suatu percobaan haruslah mempunyai hubungan yang nyata dan jelas dengan tujuan percobaan. Jumlah perlakuan dan ulangan menampakkan fungsi bagi tercapainya tujuan.

Penentuan perlakuan dan ulangan (yang bila dikalikan menjadi jumlah unit percobaan) harus didasarkan pada pertimbangan ekonomis dan teknis. Jangan merencanakan percobaan hanya berdasarkan pertimbangan ekonomis saja, misalnya tersedianya pupuk bertanda.

Dari pengalaman IAEA menyelenggarakan CRP selama bertahun-tahun, perlakuan optimal dapat berkisar 4 – 6 perlakuan wajib yang harus diikuti oleh tiap peserta CRP dan 2 – 4 pilihan tergantung kepada tiap peserta CRP. Rancangan Acak Kelompok dengan 4 – 6 ulangan adalah yang direkomendasikan untuk suatu percobaan oleh IAEA. Sediakan bagan luasan percobaan yang diisi dengan petak hasil dan isotop, tabel mengenai bobot kering, bobot segar, %N-total, %P-total, misalnya %¹⁵N, aktivitas jenis bagi ³²P.

Diharapkan dengan menyediakan semua yang disebut di atas, maka seluruh anggota tim dapat melaksanakan tugasnya secara optimal.

Pada penggunaan isotop dalam suatu percobaan, selalu ada petak yang disebut petak isotop atau petak mikro. Pada petak inilah isotop diaplikasikan. Petak isotop diusahakan sekecil mungkin, tetapi sah digunakan sebagai parameter bagi penggunaan isotop.



Seperti pada percobaan pertanian umumnya maka selalu dibuatkan petak percobaan dengan luas yang ditentukan berdasarkan jenis tanaman, apakah tanaman setahun atau tanaman tahunan, apakah tanaman pohon atau bukan.

Misalnya untuk tanaman pangan, luas petak yang umum disebut petak hasil dapat 5m x 10m, 5m x 5m, 4m x 5m, dsb.

Sedangkan petak isotop / mikro yang diletakkan dalam petak hasil umumnya $0.8 \text{ m}^2 - 2 \text{ m}^2$, yang umum digunakan adalah 1 m^2 , yang umumnya dapat memuat > 10 tanaman.

Petak hasil akan digunakan untuk parameter :

- tinggi tanaman
- bobot segar / kering
- serapan nutrisi total
- untuk tanaman legum : jumlah bintil, bobot kering bintil, dsb.

Petak isotop digunakan untuk menghitung berbagai parameter isotop seperti:

- menentukan nutrisi berasal dari pupuk, tanah, dan sumber nutrisi lainnya
- untuk tanaman legum; menentukan kemampuan fiksasi-udara (N_2) berbagai jenis tanaman legum, dsb.

Mengapa petak isotop dibuat sekecil mungkin?

Ini antara lain, bila digunakan pupuk-N bertanda ^{15}N yang memang harganya mahal, tidak perlu menggunakan jumlah yang besar, dan untuk isotop radioaktif, dibuat luas area sekecil mungkin untuk memperkecil luasan kontaminasi dari isotop radioaktif.

4. Pupuk bertanda

Pada umumnya dalam suatu percobaan dapat digunakan isotop stabil atau radioaktif atau kedua-duanya sekaligus.

Selanjutnya dalam uraian ini bila diberikan contoh maka isotop stabil digunakan ^{15}N dan untuk radioisotop digunakan ^{32}P . Walaupun juga akan ditunjukkan penggunaan radioisotop ^{65}Zn , ^{86}Rb , ^{35}S untuk berbagai penelitian.

4.1. Isotop stabil : Aplikasi ^{15}N

Aplikasi takaran ^{15}N haruslah cukup pada seluruh atau sebagian dari sistem tanah – tanaman, pada saat panen.

Jumlah ^{15}N yang akan digunakan bergantung kepada,

- takaran N yang akan diterapkan
- kekayaan pupuk-N dengan ^{15}N

Jumlah takaran yang akan digunakan bergantung kepada berbagai faktor, seperti;

- tujuan dari penelitian
- jenis tanaman, misalnya tanaman pangan setahun, tanaman pangan, dsb
- lamanya percobaan berlangsung
- peralatan untuk analisis rasio $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ yang tersedia.

Menurut petunjuk IAEA dan dari pengalaman bertahun-tahun yang diperoleh Batan sendiri, adalah sebagai berikut :

- 1 kg $^{15}\text{N}/\text{ha}$ bila analisis rasio $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ contoh digunakan spektrometer massa (MS)
- 2 kg $^{15}\text{N}/\text{ha}$ bila analisis rasio $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ contoh digunakan spektrometer emisi optikal (SEO).

Ini berlaku untuk tanaman setahun menggunakan pupuk-N bertanda ^{15}N bila ingin diperoleh data mengenai penemuan kembali (“recovery”) N-pupuk yang diberikan.

Dalam hal neraca-N recovery pupuk-N tanaman dan tanah, dibutuhkan 15 kg $^{15}\text{N}/\text{ha}$ dan 20 kg $^{15}\text{N}/\text{ha}$ bila digunakan SM dan SEO.

Untuk penelitian khusus seperti pergerakan pupuk ^{15}N dalam tanah, pelindihan / pencucian N di tanah, volatilisasi – ammonia dsb. dibutuhkan paling sedikit 50 kg $^{15}\text{N}/\text{ha}$.

Sebaiknya untuk berbagai penelitian jumlah ^{15}N yang dibutuhkan haruslah ditentukan oleh peneliti terkait dengan mengikuti rekomendasi IAEA atau dari pengalaman sendiri.

4.2. Isotop radioaktif

Jumlah ^{32}P yang akan diterapkan haruslah cukup tinggi untuk penentuan yang akurat kandungan radioaktivitasnya (laju pencacahan) contoh pada akhir percobaan menggunakan peralatan pencacahan yang tersedia.

Laju cacahan 30 – 50 cps = 2000 cpm dianggap optimum untuk banyak penelitian sistem tanah – tanaman. Tiga faktor utama yang akan menentukan aktivitas spesifik pupuk bertanda yang akan digunakan antara lain adalah,

- (1) efisiensi sistem alat pencacahan
- (2) besar kecilnya pengenceran kimiawi dan biologis yang terjadi pada tanaman

(3) lamanya percobaan yang terkait dengan peluruhan radioaktivitas dan sifat-sifat lain dari suatu isotop.

Menurut IAEA aktivitas jenis yang umum digunakan adalah 0.5 mCi (= 20 MBq) $^{32}\text{P/gP}$ atau 0.05 mCi (= 2 MBq $^{33}\text{P/gP}$). Lebih kecilnya penggunaan aktivitas jenis ^{33}P daripada ^{32}P adalah karena waktu paruh ^{33}P lebih lama daripada ^{32}P (waktu paruh ^{32}P dan ^{33}P berturut-turut adalah 14.3 hari dan 25 hari).

Perencanaan percobaan menggunakan radioisotop memerlukan persiapan dengan jadwal mendetil, terkait dengan adanya waktu peluruhan bagi suatu isotop radioaktif.

Seperti pada percobaan ^{15}N , untuk percobaan isotop radioaktif juga harus ada petak tanpa isotop radioaktif (petak hasil dan petak isotop / mikro). Selain itu dalam hal penggunaan isotop radioaktif semua peraturan keamanan yang diharuskan pada awal sampai akhir percobaan harus diperhatikan dan diterapkan dengan seksama.

Petunjuk bagi penggunaan isotop radioaktif

Bagi penggunaan isotop radioaktif dalam suatu percobaan dibutuhkan perhatian dan kehati-hatian yang sangat berbeda bahkan tidak diperlukan pada penggunaan isotop stabil.

Kehati-hatian ini terkait dengan peraturan keamanan penggunaan radioisotop.

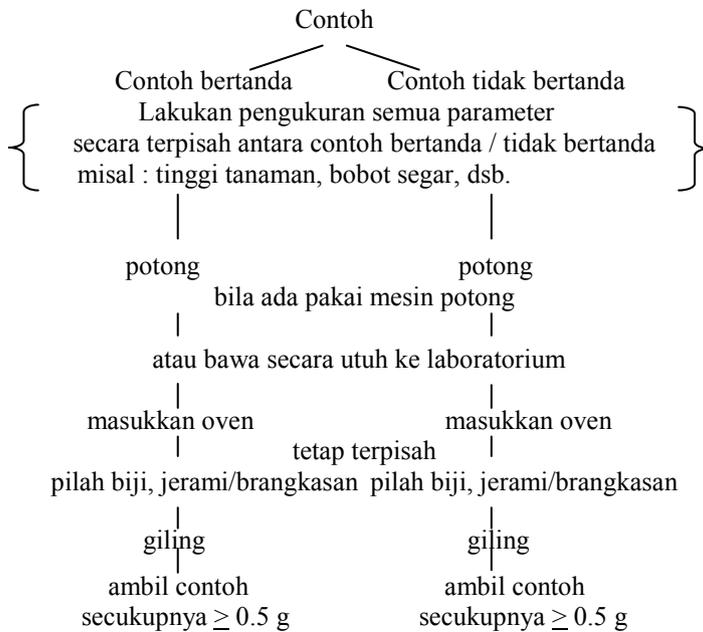
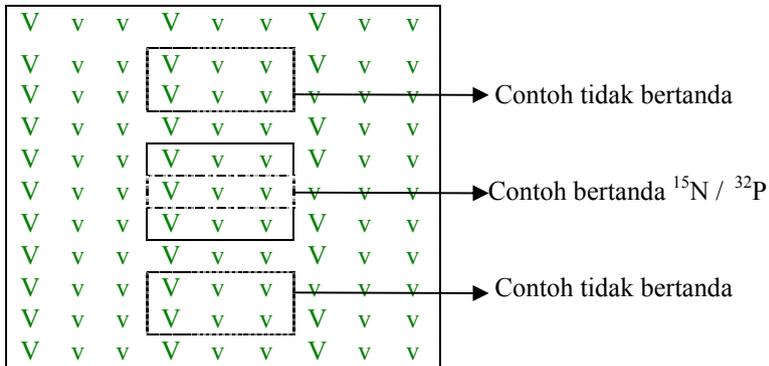
Untuk itu dibutuhkan beberapa petunjuk bagi penggunaan isotop radioaktif dalam suatu percobaan.

Petunjuk-petunjuk ini antara lain adalah,

- (i) kebutuhan jumlah pupuk untuk satu unit percobaan berdasarkan perlakuan yang diterapkan
- (ii) kebutuhan pupuk per petak percobaan atau ulangan
- (iii) seluruh perlakuan yang dibutuhkan dalam satu percobaan
- (iv) pupuk total yang dibutuhkan untuk semua perlakuan
- (v) akhirnya bila mungkin unsur pendanaan pupuk radioaktif yang dibutuhkan saat percobaan.

Aplikasi pupuk-bertanda

Agar dapat menarik kesimpulan langsung dari nutrisi-pupuk dalam suatu percobaan, maka pupuk-bertanda secara kimiawi (carrier / pembawa) dan



Perhatian :

Untuk contoh bertanda, penggilingan, analisis intinya semua penanganan contoh sebaiknya dimulai dari pengkayaan / aktivitas terendah ke tinggi, misalnya :

- pupuk 30 kg N/ha,
- pupuk 60 kg N/ha

maka mulai dulu penanganan dari 30 kg N/ha baru meningkat ke 60 kg N/ha.

V. PENGGUNAAN TEKNIK ISOTOP PADA PENELITIAN KESUBURAN TANAH DAN NUTRISI TANAMAN

Pendahuluan

Pupuk merupakan salah satu masukan paling penting untuk memelihara atau menambah kesuburan tanah. Tujuan utama dari masukan pupuk adalah untuk mensuplai tanaman dengan nutrisi yang dibutuhkan untuk produksi tanaman. Nutrisi tanaman utama yaitu N, P, K harus diberikan secara teratur untuk mengganti kehilangan ketiga unsur ini. Nutrisi lain Ca, Mg, S dan unsur hara mikro seperti Zn, Co, dsb. juga perlu ditambahkan untuk memelihara keberadaan unsur hara ini secara cukup dalam tanah atau untuk mengatasi bila nutrisi tanaman ini mengalami defisiensi.

Pupuk ditambah untuk menyediakan hara tanaman agar tanaman dapat mencukupi menyerap unsur nutrisi tanaman tertentu. Peningkatan ketersediaan suatu nutrisi tanaman menyebabkan terjadinya tanggap / respon tanaman terhadap nutrisi tanaman tsb. bila ia merupakan faktor pembatas pertumbuhan. Adalah penting untuk diperhatikan bahwa pupuk ditambah bukan agar terjadi tanggap tanaman dalam bentuk kenaikan produksi tetapi untuk memberi tanaman “makanan”. Tanggap tanaman adalah konsekuensi disebabkan terjadinya tambahan penyerapan nutrisi tanaman bila unsur tanaman lainnya berada dalam kecukupan.

Kombinasi dari berbagai faktor produksi dan kondisi lingkungan dalam suatu sistem pertanian berbuah dengan adanya hasil / produksi pada tingkat tertentu. Hanya bila semua faktor dioptimalkan (pupuk/nutrisi tanaman, tanah, air, kontrol hama / penyakit, dsb) baru akan tercapai hasil /produksi maksimum.

Efisiensi penggunaan pupuk

Apakah yang disebut efisiensi penggunaan pupuk (EPP)?

EPP adalah ukuran kuantitatif dari jumlah nutrisi berasal dari pupuk (bdp) yang dapat diserap tanaman. Pernyataan umum untuk EPP adalah penemuan kembali / “recovery” atau % penggunaan pupuk yang ditambahkan.

Ini diperlihatkan pada persamaan (1)

$$\begin{array}{l} \% \text{ penggunaan} \\ \text{dari pupuk yang} \\ \text{ditambahkan} \end{array} = \frac{\begin{array}{l} \text{Jumlah pupuk yang berasal dari pupuk} \\ \text{diberikan dalam tanaman} \end{array}}{\begin{array}{l} \text{Jumlah pupuk yang diberikan} \end{array}} \times 100\%$$

Konsep EPP sebenarnya jauh lebih luas daripada yang diperlihatkan pada persamaan (1). EPP bukan hanya ukuran untuk berapa jumlah nutrisi yang berasal dari pupuk yang diambil tanaman tetapi juga memperlihatkan kemampuan tanaman menyerap nutrisi berasal dari pupuk pada berbagai keadaan lingkungan mulai dari paling tidak menguntungkan sampai paling menguntungkan bagi produksi tanaman. Pengaruh pupuk yang dapat menyebabkan polusi lingkungan juga diperhatikan dalam menentukan EPP. Pentingnya mempelajari EPP, karena yang diinginkan adalah hasil maksimum yang mungkin dicapai dengan penggunaan pupuk yang minimum.

Tanaman akan tanggap terhadap aplikasi pupuk yang menyediakan misalnya nitrogen (N) atau fosfor (P) bila tanah memang kekurangan unsur ini. Tujuan utama terkait dengan EPP adalah mengaplikasi nutrisi pupuk bagi tanaman dan bukan bagi tanah. Acapkali dan memang ditemukan di lapangan bahwa nutrisi-pupuk menjadi tidak tersedia bagi tanaman karena terfiksasi oleh tanah (P), atau untuk N: pelindihan nitrat, atau kehilangan N karena volatilisasi, denitrifikasi, dsb. Karena itu sangatlah penting untuk memastikan bahwa pupuk yang diberikan benar-benar dapat dimanfaatkan tanaman semaksimal mungkin. Ini dapat dilaksanakan setelah pemupukan dinilai. Tindakan tersebut adalah untuk menilai praktek pemupukan, seperti jenis pupuk, waktu pemberian pupuk, penempatan pupuk, dilakukan pada sistem pertanian yang berbeda.

Bagaimana mengukur EPP?

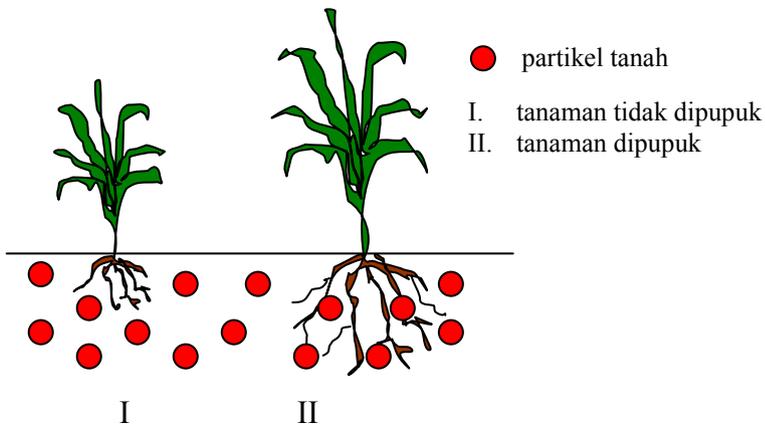
Kombinasi paling tepat bagi praktek pemupukan diperoleh dengan melaksanakan percobaan lapangan pada kondisi lingkungan yang berbeda.

Bila percobaan di berbagai lingkungan yang berbeda telah dilaksanakan dengan rancangan dan takaran pupuk / aplikasi pupuk yang sama, maka barulah mungkin untuk menentukan secara umum praktek pemupukan seperti penempatan, waktu dan jenis pupuk yang menghasilkan penyerapan nutrisi-pupuk oleh tanaman.

Karena itu harus dilakukan beberapa seri percobaan lapangan yang dirancang secara tepat dan saksama di berbagai lahan untuk waktu tertentu (paling sedikit 6 musim tanam) untuk dapat mengestimasi efek dari penempatan, waktu dan jenis pupuk yang akan menghasilkan penyerapan nutrisi-pupuk tertinggi. Untuk petani yang diinginkan / diketahui adalah produksi tanaman yang tinggi dengan investasi pupuk minimum / ongkos produksi minimum.

Cara-cara berikut ini yang dapat digunakan untuk menilai / "to assess" pengaruh dari serentetan praktek pemupukan ;

- a) Metode konvensional yang klasik adalah menerapkan metode respon biologis atau efek dari makin meningkatnya pemupukan terhadap produksi tanaman. Namun bagaimanapun produksi / hasil tanaman bergantung kepada serentetan faktor : sebagian dapat dikontrol sebagian tidak. Faktor-faktor ini yang dapat dikontrol dan tidak sampai tingkat tertentu akan mempengaruhi kuantitas dan kualitas hasil.



Pada tanaman tidak dipupuk (I) akar berkembang tidak luas karena tidak ada cukup nutrisi untuk mendorong pertumbuhan dan perkembangannya. Akibatnya mengurangi kemampuan akar untuk menyentuh partikel-partikel tanah, sehingga kemungkinan tanaman menyerap unsur hara yang "dipegang" oleh partikel tanah menjadi rendah.

Sebaliknya dengan adanya unsur hara (pupuk) yang diberikan (tanaman II) perakaran didorong untuk tumbuh dan berkembang, hal ini disebut “primary effect”. Akibatnya perakaran dapat menyentuh partikel tanah dengan lebih baik sehingga tanaman dapat menyerap lebih banyak nutrisi yang dipegang oleh partikel tanah. Ini berarti tanaman II menyerap nutrisi > tanaman I. Jadi ini menunjukkan bahwa nutrisi berasal dari tanah menjadi tidak dapat disamakan untuk tanaman I dan II. Ini berarti nutrisi berasal dari tanah pada tanaman I sebenarnya tidak dapat digunakan sebagai kontrol.

b) Metode isotop.

Satu-satunya cara menghitung penyerapan nutrisi dari pupuk yang diaplikasi adalah dengan menggunakan isotop / metode isotop. Kegiatan penelitian yang sangat banyak telah dilakukan menggunakan ^{15}N dan $^{32}\text{P}/^{33}\text{P}$. Ini bukan berarti bahwa nutrisi seperti K, Ca, S dan nutrisi mikro seperti Zn, Mg dsb. tidak penting, namun acapkali seolah-olah menunjukkan bahwa nutrisi tersebut tidak berada dalam keadaan untuk perlu diteliti. Contoh seperti K, bukan K tidak perlu diteliti namun tidak ada isotop K yang tersedia yang dapat digunakan dalam suatu penelitian. Namun ^{86}Rb (isotop radioaktif) yang kelakuan fisiologisnya seperti K dapat digunakan sebagai pengganti. IAEA yang merupakan salah satu pelopor menggunakan N dan P bertanda dalam penelitian lapangan maupun rumah kaca mampu mendorong dilakukannya penelitian-penelitian serupa di berbagai negara yang makin lama makin meningkat kemampuannya menggunakan metode isotop.

Pada Tabel I, tercantum berbagai isotop yang umum digunakan dalam berbagai penelitian.

1. Penyerapan Nutrisi berasal dari Pupuk

Bila pupuk diberikan pada tanah, tanaman akan menyerap nutrisi dari 2 sumber yaitu pupuk dan tanah. Bila pemberian pupuk ditingkatkan pada suatu tanah tertentu, suatu kurva tanggap (response curve) akan diperoleh. Kurva nutrisi dibuat berdasarkan hukum pengambilan terkecil (Law of Deminishing Returns) berupa kurva fungsi tidak terputus (kurva kuadratik, akar atau model logaritme), di mana penambahan pupuk yang sama secara

teratur, akan menghasilkan tanggap / respon yang secara teratur semakin kecil.

Penyerapan nutrisi relatif (penyerapan nutrisi dinyatakan sebagai persentase (%) dari penyerapan maksimum) daripada jumlah nutrisi yang diserap yang biasanya diplotkan pada ordinat. Pada suatu titik tertentu tercapai apa yang disebut penyerapan maksimum, setelah titik ini tidak ada lagi nutrisi pupuk yang dapat diserap. Kurva mengandung baik penyerapan nutrisi berasal dari pupuk dan tanah, dan keduanya tidak dapat dibedakan, berapa nutrisi yang berasal dari tanah dan berapa yang berasal dari pupuk.

2. Jumlah Nutrisi Tersedia

Bila ingin membandingkan antara nutrisi yang berasal dari pupuk dan tanah, maka patutlah “jumlah nutrisi tersedia” harus didefinisikan dengan jelas. Hanya tanaman yang dapat menunjukkan nutrisi yang tersedia. Karena ekstraksi kimia apapun tidak dapat membedakan antara nutrisi berasal dari tanah atau pupuk. Bila tanaman ingin digunakan untuk menentukan unsur N dan P yang berasal dari pupuk atau tanah, maka sumber nutrisi dari suatu sumber tertentu harus dapat ditandai dengan isotop.

Bila ingin membandingkan berbagai sumber nutrisi, umumnya yang ingin diketahui berapa N atau P yang tersedia oleh suatu sumber nutrisi, dibandingkan dengan sumber nutrisi yang sama yang sudah diketahui kandungannya. Jadi bila fosfat alam (FA), yang ingin diketahui adalah berapa P-tersedia dalam FA setara dengan unit P dalam TSP atau SP-36; berapa kg FA harus diaplikasi agar setara dengan 1 kg TSP atau SP-36. Sekecil apapun nutrisi berasal dari tanah (misalnya P) yang tersedia, pertanyaan pertama yang harus ditanyakan, berapa jumlah P-tersedia dalam tanah setara dengan P-TSP atau P-SP36, atau berapa jumlah N-tanah yang tersedia setara dengan N-urea atau N-ammonium sulfat.

Dengan menggunakan sumber nutrisi bertanda maka adalah mungkin untuk menentukan jumlah nutrisi dalam tanah dan jumlah ini dinyatakan secara relatif setara dengan jumlah nutrisi-pupuk yang digunakan.

Sebagai contoh, bila 100 kg N dalam bentuk ammonium sulfat bertanda ^{15}N diberikan kepada tanah dan analisis tanaman memberikan bahwa 50%N-berasal dari pupuk (N-bdp) dan 50% berasal dari tanah (N-bdt). Hasil ini dapat dinyatakan sbb : jumlah N-tersedia dalam tanah sama dengan jumlah

N-tersedia dalam pupuk yang diberikan dalam bentuk 100 kg N-ammonium sulfat bertanda ^{15}N . Apa yang terjadi bila sekarang 200 kg N/ha ammonium sulfat diletakkan pada tanah yang sama?

Karena dari perhitungan sebelumnya dapat ditentukan bahwa 100 kg N/ha berasal dari tanah. Sekarang perbandingan relatif menjadi $2/3$ N-akan bdp dan $1/3$ N-akan bdt.

Bagaimana bila sekarang ditaruh 300 kg N-ammonium sulfat, maka perbandingan relatif menjadi $3/4$ N-akan bdp dan $1/4$ N-akan bdt.

Jadi suatu asumsi dapat dirumuskan sbb : Bila tanaman dihadapkan pada dua sumber nutrisi, maka penyerapan nutrisi dari setiap sumber sebanding dengan jumlah nutrisi yang dikandung setiap sumber nutrisi.

Hubungan yang disebut di atas ini disebut rasio penggunaan fraksionisasi dan dapat dinyatakan dalam suatu persamaan.

Jadi dalam keadaan di mana pupuk dan tanah merupakan sumber nutrisi dengan catatan tidak ada sumber lainnya, maka jumlah nutrisi tersedia dapat dituliskan sbb :

$$\frac{\text{Nutrisi-total tanaman}}{\text{Suplai nutrisi-total}} = \frac{\text{Nutrisi-pupuk dalam tanaman}}{\text{Suplai nutrisi pupuk}} = \frac{\text{Nutrisi-tanah dalam tanaman}}{\text{Suplai nutrisi-tanah}}$$

Contoh untuk nitrogen (N)

$$\frac{\text{Total N-tanaman}}{\text{Suplai total-N}} = \frac{\text{N-bdp tanaman}}{\text{Suplai N-bdp}} = \frac{\text{N-bdt tanaman}}{\text{Suplai N-bdt}}$$

$$\frac{\text{Total N-tanaman}}{\text{Suplai total-N}} = \frac{\text{N-bdp tanaman} + \text{N-bdt tanaman}}{\text{Suplai N-bdp} + \text{suplai N-bdt}}$$

*N-bdp = N-berasal dari pupuk

**N-bdt = N-berasal dari tanah

Dari persamaan ini suplai N-bdp ekuivalen dengan takaran N yang diaplikasi dalam bentuk pupuk. Suplai N-bdt setara dengan jumlah N-bdt yang dinyatakan dalam unit pupuk yang tersedia selama pertumbuhan tanaman.

Kedua sumber N-bdp dan N-bdt, dan juga suplai N-pupuk harus dinyatakan dalam unit yang sama, yaitu ekuivalen dengan unit pupuk yang disuplai.

Contoh N-bdt dinyatakan dalam kg N/ha unit ammonium sulfat yang digunakan dalam suatu penelitian. Untuk mempermudah menjelaskan konsep ini akan diberikan beberapa contoh sbb.

Contoh 1

Pupuk superfosfat bertanda ³²P diberikan dengan takaran 40 mg P/pot. Pot terisi dengan 1 kg tanah kering udara. Jagung digunakan sebagai tanaman uji. Lima minggu kemudian tanaman dipanen dan dianalisis, aktivitas jenis ³²P yang dikandung tanaman.

Hasil analisis memperlihatkan bahwa aktivitas spesifik tanaman P-bdp = 20%.

Berapa jumlah P-tanah yang tersedia dinyatakan dalam unit super-fosfat?

%P-bdp = 20% maka %P-bdt = 100 – 20 = 80

Rasio penggunaan fraksionisasi dapat dituliskan sbb :

$$\frac{20\%}{40 \text{ mg P-dalam bentuk}} = \frac{80\%}{X} \rightarrow X = \frac{80\% \times 40 \text{ mg P}}{20\%} = 160 \text{ mg P super fosfat}$$

Dapat disimpulkan dalam tanah tersedia 160 mg P/kg tanah ekuivalen unit superfosfat.

Contoh 2

Untuk menentukan jumlah N-tanah tersedia, digunakan urea bertanda ¹⁵N (dengan 1% e.a. ¹⁵N) yang diberikan dengan takaran 80 mg N/pot. Tiap pot diisi dengan 1 kg tanah kering udara. Tanaman padi lahan kering digunakan sebagai tanaman uji. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa contoh tanaman mempunyai 0.25% e.a. ¹⁵N.

- %N-bdp contoh tanaman = $\frac{0.25}{1.00} \times 100\% = 25\%$

- maka N-bdt = 100 – 25 = 75%

- fraksionisasi rasio hubungan pupuk :

$$\frac{25\%}{80 \text{ mg N-urea}} = \frac{75\%}{X}$$

$$X = \frac{75\% \times 80 \text{ mg N-urea}}{25\%} = 240 \text{ mg N-sebagai urea}$$

Dari perhitungan ini dapat dikemukakan bahwa tanah mempunyai N-tersebut sebesar 240 mg N/kg tanah setara dengan unit urea.

Contoh 3

100 kg N/ha ZA (ammonium sulfat) bertanda ^{15}N diberikan pada tanaman sorgum. Setelah panen, contoh tanaman dianalisis untuk N-total dan kandungan ^{15}N . Ditemukan bahwa tanaman sorgum mengandung 120 kg N-total/ha dan 40 kg N-bdp/ha.

Pertanyaan :

1. Berapa N-tanah tersedia setara dengan unit ZA?
2. Berapa % N-bdp dalam contoh tanaman?

Perhitungan

1. Total N = 120 kg N-total/ha
N-bdp = 40 kg N-bdp/ha
N-bdt = 80 kg N-bdt/ha

Maka dapat ditulis persamaan sebagai berikut :

$$\frac{40 \text{ kg N/ha (pupuk)}}{100 \text{ kg N/ha - ZA}} = \frac{80 \text{ kg N/ha (tanah)}}{X}$$

$$\text{N-tanah tersedia} = X = 200 \text{ kg N/ha setara unit ZA}$$

2. Dalam contoh tanaman : $40/120 = 1/3$ dari N yang ditemukan pada contoh tanaman-bdp, sedangkan $1 - 1/3 = 2/3$ N dari seluruh contoh tanaman berasal dari tanah (bdt).

Bila perhitungan dilakukan menggunakan nilai N-bdp dan N-bdt maka fraksionisasi rasio hubungan pupuk :

$$\frac{1/3}{100} = \frac{2/3}{X} \rightarrow X = \text{N-bdt tersedia} = 200 \text{ kg N/ha}$$

VI. NILAI – A (A – VALUE)

Ketersediaan jumlah nutrisi dalam tanah atau suplai nutrisi tanah yang disetarakan dengan unit pupuk standar, dinyatakan dalam NILAI – A.

Dalam suatu kasus sederhana, bila tanaman dihadapkan pada 2 sumber nutrisi yang berbeda, yaitu nutrisi alam (n-bdt) dan dari pupuk bertanda (n-bdp) yang disuplai dengan takaran tertentu.

Jadi : %n-bdt + %n-bdp = 100 dan %n-bdt = 100 – %n-bdp

Seperti sudah disebutkan sebelumnya, karena perhitungan didasarkan pada fraksionisasi rasio hubungan pupuk maka,

$$\frac{\text{Nutrisi – pupuk dalam tanaman}}{\text{Jumlah nutrisi – pupuk tersedia atau jumlah nutrisi - pupuk yang diaplikasi (B)}} = \frac{\text{Nutrisi – tanah dalam tanaman}}{\text{Jumlah nutrisi – tanah tersedia (A)}}$$

Di mana :

- nutrisi pupuk dan tanah yang ditemukan dalam contoh tanaman merupakan perbandingan antara nutrisi – pupuk dengan nutrisi – tanaman. %n-bdp diukur menggunakan pupuk bertanda
- jumlah nutrisi-bdp tersedia (B) adalah takaran nutrisi-bdp yang diaplikasi sebagai pupuk standar. Patut diperhatikan bagi tanaman, satu unit pupuk sama dengan satu unit pupuk lainnya. Jadi dapat dikatakan 2 unit pupuk mengandung 2 kali satu unit pupuk tersedia.
- jumlah nutrisi tersedia-bdt atau yang disebut Nilai-A tanah untuk nutrisi tertentu (misalnya N atau P) yang dipelajari dinyatakan dalam unit setara dengan pupuk yang diaplikasi.

Persamaan sebelumnya dapat ditulis menjadi :

$$\frac{\%n\text{- bdp}}{B} = \frac{100 - \%n\text{-bdp}}{A} \rightarrow \%n\text{-bdt} = 100 - \%n\text{-bdp}$$

Maka

$$A = \frac{100 \% - \% n \text{-bdp}}{\% n - bdp} = x B$$

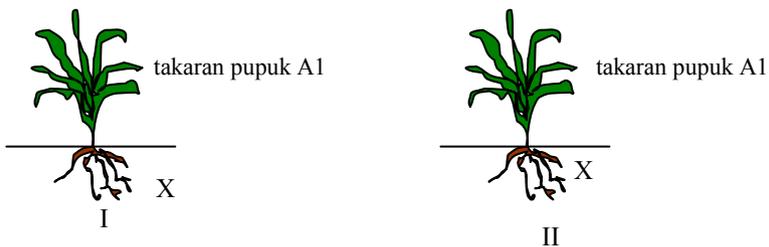
Dalam menentukan Nilai – A, adalah penting untuk memperhatikan beberapa catatan :

- 1) Karena jumlah nutrisi – tanah (n-bdt) merupakan sesuatu yang sudah melekat (artinya sudah terwarisi), maka n-bdt akan konstan untuk suatu tanah tertentu yang digunakan dalam satu perangkat percobaan
- 2) Nilai – A tidak bergantung kepada parameter hasil / produksi tanaman. Untuk menentukan Nilai – A adalah cukup dengan mengetahui proporsi / rasio dari setiap nutrisi yang berasal dari berbagai sumber nutrisi. Tidak dibutuhkan data produksi tanaman, dan jumlah absolut nutrisi yang diserap tanaman.

Ingat! A (= nilai A) =
$$\frac{100\% - \%n\text{-bdp}}{\%n\text{-bdp}} \times B$$

Jadi dari rumus ini terlihat yang dibutuhkan hanya %n-bdp dan takaran n-bdp yang diaplikasi dan biasanya digunakan pupuk bertanda sehingga A dapat dihitung.

- 3) Nilai A-tanah bagi suatu tanah tertentu konstan walaupun diaplikasi pupuk dengan takaran yang berbeda. Di pihak lain, nutrisi-tanah tersedia tidak bergantung kepada berbagai takaran pupuk yang ditambahkan pada tanah tsb. Jadi dalam studi mengenai nilai A, cukup digunakan 1 takaran pupuk untuk dapat menentukan Nilai-A.



X = nutrisi tanah tersedia
 X pada II = X pada I

- 4) Perubahan yang dilakukan pada kondisi suatu percobaan akan mempengaruhi besar / kecilnya nilai-A. Contoh : perubahan yang dilakukan pada aplikasi pupuk bertanda (misal : sifat padat / cair,

sumber, tempat aplikasi, waktu pemberian, dsb) akan mempengaruhi besaran nilai-A.

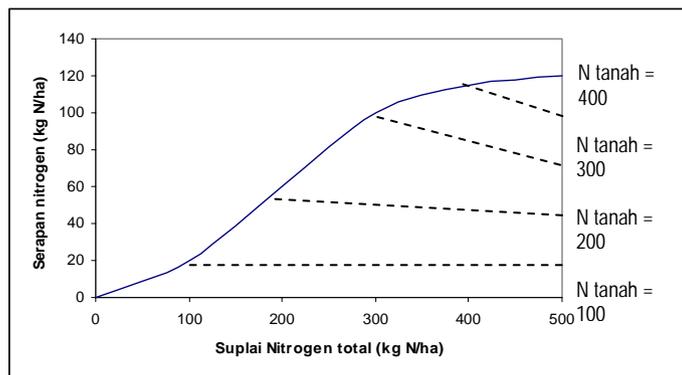
Sedangkan mengenai tanamannya sendiri yang dapat mengubah nilai-A adalah, perubahan kondisi pertumbuhan, perubahan waktu panen. Perubahan nilai-A karena pertumbuhan tanaman dapat dengan mudah diamati dengan melakukan panen pada berbagai waktu, mulai dari tanam sampai panen.

- 5) Penentuan nilai-A mempunyai berbagai penggunaan praktis seperti, penilaian, efisiensi, berbagai praktek pemupukan secara kuantitatif, terutama yang melibatkan jenis pupuk yang berbeda, dan meliputi rancangan bagi percobaan lain yang menggunakan pupuk bertanda.
- 6) Kegiatan penelitian yang ekstensif telah dilakukan dalam hal penggunaan nilai-A, baik untuk makro maupun mikro.

Hubungan antara tanah dan penyerapan nutrisi berasal dari pupuk (n-bdp)

Bila rasio dari penyerapan nutrisi berbagai sumber-nutrisi dan nutrisi-total yang diserap diketahui, maka n-bd berbagai sumber dapat dihitung.

Juga diasumsikan bahwa bila tanaman dihadapkan pada dua sumber yang berbeda maka tanaman akan menyerap nutrisi dari tiap sumber sebanding dengan tersedianya (banyak / sedikitnya) nutrisi yang dikandung tiap sumber. Keadaan ini tergambar pada gambar di bawah ini :



Gambar 2. Serapan nitrogen tanaman sebagai fungsi suplai nitrogen.

Pada gambar ini melukiskan kurva penyerapan N-total yang diplotkan sebagai fungsi dari suplai nitrogen. Banyak kenyataan yang diperoleh dari berbagai penelitian menggunakan pupuk bertanda yang mendukung kebenaran asumsi yang digambarkan pada gambar di atas. Kurva untuk N-tanah = 100, 200, 300, dan 400 merupakan gambaran jumlah penyerapan N-tanah oleh tanaman sebanding dengan aplikasi jumlah N-pupuk.

Nutrisi-tanah yang diserap tanaman merupakan fungsi jumlah relatif nutrisi-tanah (suplai nutrisi tanah) dan nutrisi-pupuk (suplai nutrisi pupuk).

Merupakan kenyataan bahwa penyerapan nutrisi-bdt akan berubah bila ada perubahan takaran nutrisi-bdp (suplai nutrisi pupuk) walaupun nilai A tetap. Perubahan penyerapan N-bdt karena aplikasi pupuk disebut sebagai “primary effect”. Selanjutnya juga diketahui bahwa jumlah nutrisi sebenarnya yang diserap tanaman-bdt dapat lebih tinggi, sama atau lebih rendah daripada jumlah yang diserap oleh suatu perlakuan kontrol.

Contoh berikut ini akan lebih menjelaskan keterangan di atas, satuan kg N/ha.

Contoh berikut ini akan lebih menjelaskan keterangan di atas, satuan kg N/ha (lihat Gambar 2).

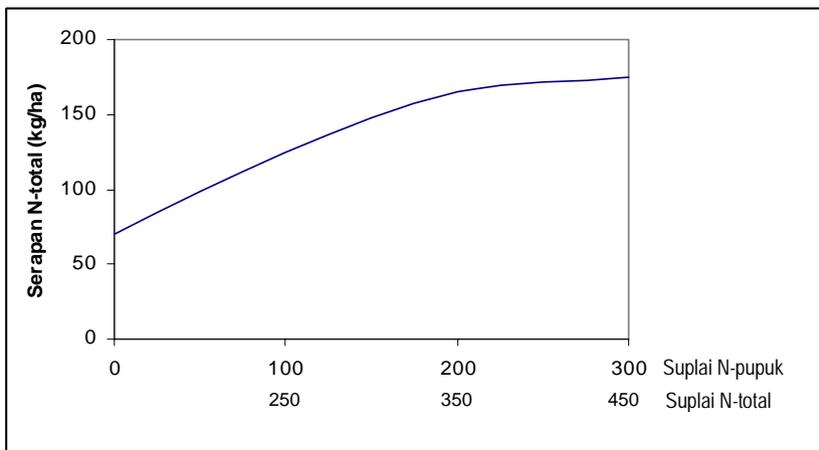
	<u>Contoh 1</u>		<u>Contoh 2</u>	
Suplai N-tanah	100	100	300	300
Suplai N-pupuk	0	100	0	100
Suplai N-total	100	200	300	400
Penyerapan N-total	20	64	98	116
Penyerapan N-pupuk	0	$100/200 \times 64 = 32$	0	$100/400 \times 116 = 29$
Penyerapan N-tanah	20	$20/200 \times 64 = 32$	98	$300/400 \times 116 = 87$

Penyerapan N-bdt meningkat dari 20 kg N/ha pada perlakuan menjadi 32 kg N/ha pada perlakuan pemupukan karena adanya pemupukan. Ini disebut “positive priming”. Umumnya ini hanya akan terjadi bila ada peningkatan penyerapan nutrisi dalam hal ini N yang sangat nyata, ini disebut tanggap N, karena tanah mempunyai kandungan N yang rendah.

Hal yang sebaliknya terjadi seperti pada contoh 2, di sini penyerapan N-bdt dari 98 kg N/ha menurun menjadi 87 kg N/ha, akibat adanya pemupukan. Ini disebut “negative priming”. Dalam hal ini tidak ada tanggap N, karena tanah mengandung nutrisi (N) yang tinggi.

Contoh 2 : Untuk memperlihatkan efek takaran pupuk yang diaplikasi terhadap penyerapan nutrisi-bdt. Suatu tanah tertentu, mempunyai N-bdt tersedia sebesar 70 kg N/ha. Apa efek yang timbul bila dilakukan pemupukan dengan ZA pada takaran 100, 200, 300 kg N/ha terhadap penyerapan N-bdt?

	Perlakuan kontrol	Perlakuan pemupukan		
		I	II	III
Suplai N-bdt	150	150	150	150
Suplai N-bdp	0	100	200	300
Suplai N-total	150	250	350	450
Penyerapan N-total	70	135	168	184
Penyerapan N-bdp	0	$100/250 \times 135 = 54$	$200/350 \times 168 = 96$	$300/450 \times 184 = 12.3$
Penyerapan N-bdt	70	$150/250 \times 135 = 81$	$150/350 \times 168 = 72$	$150/450 \times 184 = 61$



Gambar 3. Penyerapan N oleh tanaman sebagai fungsi aplikasi N-pupuk

Hasil yang tertera pada Tabel sebelumnya secara grafis diperlihatkan pada Gambar 3.

Beberapa catatan yang dapat dikemukakan adalah,

Perlakuan 1 : dengan diaplikasikan 100 kg N-bdp maka terjadi peningkatan N-bdt di atas kontrol; 70 menjadi 81 kg N/ha (positive priming)

Perlakuan 2 : bila 200 kg N/ha-bdp dilakukan, maka tidak terjadi peningkatan terhadap N-bdt di atas kontrol; 70 menjadi 72 kg N/ha (no priming)

Perlakuan 3 : bila sekarang 300 kg N/ha-bdp diterapkan terlihat penurunan N-bdt di bawah kontrol; 70 menjadi 61 kg N/ha (negative priming).

Kesimpulan :

- (1) Tanaman akan menyerap N-bdp dan bdt sebanding secara proporsional dari setiap sumber N (N-bdp dan N-bdt). Untuk hal ini tersedia banyak bukti melalui percobaan.
- (2) Tidak ada efek dari aplikasi N-bdp terhadap suplai N-bdt. Di pihak lain nilai-A tidak bergantung / bebas dari takaran N-bdp seperti yang diperlihatkan pada Tabel sebelumnya.
- (3) Penyerapan N-bdt bila ada aplikasi pupuk-N dapat menjadi lebih tinggi, sama atau lebih rendah dibanding dengan kontrol (tanpa aplikasi pupuk). Ini dapat terjadi walaupun nilai-A konstan. Jadi apa yang disebut “priming effect” hanya merupakan refleksi / cerminan perubahan penyerapan N-bdt karena konsekuensi matematis karena adanya aplikasi pupuk pada sistem tanah-tanaman. Tidak dibutuhkan keterangan tentang mekanisme terjadinya hal ini.
- (4) Hal ini akan dapat mengemukakan asumsi bahwa penyerapan nutrisi-bdt konstan / tidak berubah walaupun ada aplikasi pupuk (ini yang terjadi pada metode perbedaan).
- (5) Metode perbedaan yaitu perbedaan antara perlakuan yang dipupuk dikurangi perlakuan kontrol (tidak dipupuk):

$$\begin{aligned} \text{N-bdp} &= \text{N-perlakuan} - \text{N-kontrol} \\ &= (\text{N-bdp} + \text{N-bdt}) - (\text{N-bdt}) \end{aligned}$$

N-bdt pada perlakuan pupuk dianggap sama dengan N-bdt kontrol.

Metode ini dapat menyebabkan terjadinya “under-estimate” atau “over-estimate” N-bdp oleh tanaman.

- (6) Penyerapan nutrisi-bdp dapat ditentukan secara langsung secara kuantitatif menggunakan pupuk bertanda. Jadi proporsi nutrisi-bdp dalam tanaman ditentukan melalui percobaan, dan sebagai ikutan nutrisi-bdt dapat sekaligus ditentukan. Nutrisi-bdt tersedia dapat dihitung secara kuantitatif dinyatakan setara unit pupuk. Dengan dapat ditentukannya proporsi penyerapan nutrisi dari berbagai sumber dan penyerapan nutrisi-total oleh tanaman, maka jumlah nutrisi sebenarnya dari setiap sumber dapat ditentukan.

VII. PENILAIAN KUANTITATIF PRAKTEK PEMUPUKAN

Beberapa penelitian yang dapat dinilai secara kuantitatif menggunakan teknik isotop antara lain,

- 1) Metode penempatan pupuk
- 2) Waktu aplikasi pupuk
- 3) Sifat fisik dan kimiawi sumber nutrisi, termasuk fiksasi N₂-udara oleh tanaman
- 4) Interaksi antara 1, 2, 3 dan interaksi topik-topik di atas dengan berbagai praktek budidaya seperti irigasi, mulsa, "tillage".

Misalnya ada keingintahuan antara penempatan pupuk dengan cara A akan lebih baik daripada cara B. Juga untuk membandingkan nutrisi dari sumber berbeda, misalnya N-urea dengan N-ZA, P-TSP dengan P-SP36.

Contoh-contoh berikut ini adalah penilaian kuantitatif praktek pemupukan untuk tanaman setahun. Adalah sangat penting untuk diperhatikan bahwa persamaan selalu didasarkan pada jumlah nutrisi dalam tanah, yang diasumsikan sama untuk semua perlakuan dalam satu percobaan, dan dinyatakan dalam unit pupuk yang digunakan. Ini memungkinkan adanya perbandingan langsung antara berbagai sumber nutrisi dengan nutrisi pupuk dalam satu percobaan.

A

Contoh 1. Metode penempatan pupuk

Pada suatu percobaan menggunakan tanaman jagung ingin dibandingkan keuntungan antara penempatan pupuk secara alur (banded) dengan penempatan pupuk secara tebar-permukaan (broadcast).

Pupuk yang digunakan adalah ZA (ammonium sulfat) bertanda ¹⁵N, dengan takaran 120 kg N/ha.

Hasil

	Cara alur	Cara tebar permukaan
%N-bdp (diperoleh dari contoh tanaman percobaan)	65	46
% penggunaan N-bdp (utilization)	78	48

$$\% \text{ penggunaan N-bdp} = \frac{\text{serapan N-bdp}}{\text{N-bdp yang diaplikasikan}} \times 100\%$$

Petani pada umumnya menggunakan cara tebar-permukaan. Bila di masa yang akan datang ingin melakukan cara alur, maka seharusnya berapa N yang harus diaplikasi agar N yang diserap dengan cara alur sama dengan cara tebar-permukaan?

Asumsi dasar

N-bdt yang dihadapi tanaman dalam percobaan ini tanaman jagung, adalah sama baik bila digunakan cara alur maupun cara tebar-permukaan.

Dengan asumsi dasar ini maka dimungkinkan untuk N-bdp di mana pupuk diberi secara alur atau tebar-permukaan.

Cara alur

%N-bdp = 65%, maka %N-bdt = $100 - 65 = 35\%$

Menggunakan fraksionisasi rasio hubungan pupuk-sumber lain,

$$\frac{65}{120} = \frac{35}{X} \quad 120 = \text{ZA diaplikasi pada takaran tsb.}$$

X = jumlah N-bdt tersedia = 65 kg N/ha (dibulatkan)

Cara tebar-permukaan

%N-bdp = 46%, maka %N-bdt = $100 - 46 = 54\%$

Fraksionisasi rasio hubungan pupuk-sumber lainnya

$$\frac{46}{120} = \frac{54}{X} \quad X = \text{jumlah N-bdt tersedia} = 141 \text{ kg N/ha}$$

Cara alur : N-bdt tersedia = 65 kg N/ha setara dengan unit ZA

Cara tebar-permukaan N-bdt tersedia = 161 kg N/ha setara dengan unit ZA

65 kg N (-cara alur) = 141 kg N (cara tebar-permukaan)

$$X = 1 \text{ kg N}$$

$$X = \frac{65}{141} = 0.46 \text{ kg N}$$

Jadi bila ingin mengganti cara tebar-permukaan bertakaran 120 kg N/ha dengan cara alur hanya dibutuhkan $0.46 \times 120 = 55 \text{ kg N/ha}$.

Di pihak lain dengan cara alur hanya dibutuhkan 55 kg N/ha dibanding cara sebar-permukaan (120 kg N/ha) untuk memperoleh serapan N-total, yang setara

Contoh 2. Waktu penempatan pupuk

Suatu percobaan lapangan dilakukan untuk membandingkan N-bdp tersedia dari urea pada tanaman padi sawah, bila pemberian dilakukan satu kali pada 3 minggu setelah tanam, dan dua kali yaitu pemberian I pada saat tiga minggu setelah tanam dan pemberian II dilakukan satu bulan setelah pemberian I.

Dalam percobaan ini digunakan urea bertanda ^{15}N 100 kg N/ha. Pada pemberian satu kali 100 kg N/ha diberi sekaligus, dan pada pemberian dua kali, 50 diberikan pada pemberian I, dan 50 kg N/ha sisanya diberikan pada pemberian II.

Hasil

	Pemberian <u>satu</u> kali	Pemberian <u>dua</u> kali
%N-bdp	37	47
Nilai A	170	127

Ditemukan bahwa sumbangan N-bdp lebih tinggi (47%) bila urea diberikan dua kali dibandingkan bila diberi satu kali (37%).

Pertanyaan : bila dikuantitatifkan, sebaik berapakah pemberian urea dua kali dibandingkan bila urea diberikan satu kali?

N-bdp pada dua kali pemberian setara dengan 127 kg N/ha unit urea.

Sedangkan pada satu kali pemberian setara dengan 170 kg N/ha unit urea.

Dengan fraksionisasi rasio penggunaan pupuk dengan sumber lain,

170 kg N-bdt satu kali pemberian = 127 kg N-bdt dua kali pemberian

$$1 \text{ kg N} = X$$

Maka 1 kg N-satu kali pemberian = $127/170 = 0.75$ kg N dua kali pemberian

Di pihak lain 100 kg N-satu kali pemberian = 75 kg N dua kali pemberian
Atau bila urea diberi dalam dua kali pemberian maka hanya dibutuhkan 75 kg N/ha dibanding 100 kg N/ha bila dilakukan satu kali urea atau dapat dihemat bila diberi dua kali.

$$\frac{100 - 75}{75} \times 100\% = 33\% \text{ dari } 100 \text{ kg N/ha urea}$$

Contoh 3. Sumber nutrisi yang berbeda

Urea : diaplikasi dengan 100 kg N/ha

Serapan N-total tanaman = 120 kg N/ha

Contoh tanaman : 1.2% eksles atom (e.a.) ^{15}N

Contoh pupuk : 2.0% e.a. ^{15}N

$$\% \text{N-bdU} = 1.2/2.0 \times 100 = 60\%$$

$$\text{Maka N-bdt} = 100 - 60 = 40\%$$

Dari fraksionisasi rasio hubungan pupuk – sumber lainnya;

$$\frac{60}{100} = \frac{40}{X} \quad X = \text{jumlah N-bdt tersedia, ternyata setara dengan } 66.7 \text{ kg N/ha unit urea}$$

ZA : diaplikasi dengan 100 kg N/ha

Serapan N-total : 105 kg N/ha

Contoh tanaman : 0.6% e.a. ^{15}N

Contoh pupuk : 1.2% e.a. ^{15}N

$$\% \text{N-bdp} = 0.6/1.2 \times 100\% = 50\%$$

$$\text{Maka } \% \text{N-bdt} = 100 - 50 = 50\%$$

Dari fraksionisasi rasio hubungan pupuk – sumber lainnya;

$$\frac{50}{100} = \frac{50}{X} \quad X = \text{jumlah N-bdt tersedia} = 100 \text{ kg N/ha setara dengan unit ZA}$$

Perbandingan antara urea dengan ZA secara kuantitatif adalah,

66.7 kg N sebagai urea = 100 kg N sebagai ZA

X kg N sebagai urea = 1 kg N sebagai ZA

1 kg N sebagai ZA setara dengan $67/100 = 0.67$ kg N sebagai urea.

B

Contoh 1. Membandingkan pupuk TSP terhadap SP-36

Perlakuan : digunakan TSP dan SP-36 bertanda ^{32}P .

Hasil :

TSP : diaplikasi dengan takaran 50 mg P/kg tanah

%P-bdp = 20% maka %P-bdt = $100 - 20 = 80\%$

Fraksionisasi rasio hubungan pupuk-sumber lainnya menghasilkan,

$$\frac{20}{50} = \frac{80}{X} \quad X = \text{jumlah P-bdt tersedia} = 200 \text{ mg P setara dengan unit TSP}$$

SP-36 : diaplikasi dengan takaran 50 mg P/kg tanah

%P-bdp = 10%, maka P-bdt = $100 - 10 = 90\%$

Fraksionisasi rasio hubungan pupuk-sumber lainnya memperlihatkan

$$\frac{10}{50} = \frac{90}{X} \quad X = \text{P-bdt tersedia} = 450 \text{ mg P setara dengan unit ZA Perbandingan kuantitatif :}$$

$$200 \text{ mg P-TSP} = 450 \text{ mg P} - \text{SP-36}$$

$$1 \text{ kg P-TSP} = X \text{ kg SP-36}$$

$$1 \text{ kg P-TSP setara dengan } 450/200 = 2.25 \text{ kg P-SP36}$$

Contoh 2.

Percobaan dilakukan untuk menentukan untuk TSP yang lebih efisien apakah bubuk atau butiran (granular).

Perlakuan : TSP bentuk bubuk bertanda ^{32}P

TSP bentuk butiran bertanda ^{32}P

Takaran yang digunakan 40 kg P/ha baik untuk TSP bentuk bubuk maupun butiran.

Hasil

TSP-bubuk

%P-bdp = 15% maka %P-bdt = $100 - 15 = 85\%$

Dari fraksionisasi rasio hubungan pupuk dengan sumber lainnya, diperoleh

$$\frac{15}{40} = \frac{85}{X} \quad X = \text{jumlah P-tanah tersedia} = 227 \text{ kg P/ha setara dengan unit TSP-bubuk}$$

TSP-granuler

%N-bdp = 20% maka %N-bds = $100 - 20 = 80\%$

Fraksionisasi rasio hubungan pupuk sumber lain,

$$\frac{20}{40} = \frac{80}{X} \quad X = \text{jumlah P-bdt tersedia} = 160 \text{ kg P/ha setara dengan unit TSP-granuler}$$

Perbandingan kuantitatif TSP-bubuk / TSP-granuler

$$227 \text{ kg P-TSP-bubuk} = 160 \text{ kg P-TSP-granuler}$$

$$1 \text{ kg p-TSP-bubuk} = X \text{ TSP-granuler}$$

$$1 \text{ kg TSP-bubuk setara } \frac{160}{227} = 0.70 \text{ kg TSP-granuler.}$$

Bila petani yang biasanya menggunakan TSP-bubuk dengan takaran 40 kg P/ha akan mengganti menggunakan TSP-granuler, di mana hara P-pupuk tetap sumbangannya kepada tanaman, petani cukup menggunakan $0.70 \times 40 = 28$ kg P-TSP granuler.

VIII. BAHAN YANG TIDAK DAPAT DITANDAI (DILABEL)

Pupuk / bahan bertanda dalam penggunaannya kemudian dalam perhitungannya dilakukan melalui 2 metode,

- I. Metode langsung,
- II. Metode tidak langsung;
 - metode nilai-A
 - metode pengenceran

Metode langsung (metode I) contohnya sudah diperlihatkan pada contoh-contoh perhitungan sebelumnya. Sedangkan metode II yaitu metode tidak langsung, digunakan bila,

- a. bila adalah tidak mungkin untuk menandai (melabel) bahan yang ingin digunakan dengan isotop stabil atau radioisotop. Berbagai bahan tersebut contohnya adalah, misalnya pupuk hijau (Azolla, Sesbania, dsb) bahan pupuk alami seperti fosfat alam guano, dsb.
- b. bila adalah tidak praktis untuk melabel sumber nutrisi, seperti N_2 -udara yang langsung dapat digunakan berbagai tanaman, seperti legum; kedelai, kacang hijau, pohon legum dsb. dan non legum; Azolla, dsb.
- c. bila untuk pupuk bertanda dibutuhkan dana yang besar dan ketersediaannya tidak memadai. Bila hal ini yang dihadapi maka dapat digunakan pupuk bertanda dalam jumlah kecil yang cukup dapat diserap tanaman sehingga dapat dianalisis.

Untuk lebih memahami mengenai metode ini, maka akan diberikan beberapa contoh yang langsung menunjukkan bagaimana penggunaan 2 metode ini.

I. Metode langsung

Suatu percobaan dilaksanakan untuk menetapkan P-berasal dari pupuk (P-bdp) pada tanah masam berasal dari Sitiung.

P dalam bentuk TSP diberikan dengan takaran 30 (P1), 60 (P2), 90(P3) kg P/ha. Percobaan adalah percobaan lapang dengan petak hasil yang diberi TSP-biasa (TSP-tidak bertanda) 10 m². Di dalam petak hasil diletakkan petak isotop (diberi TSP-bertanda ³²P) yang luasnya 1 m². Tanaman uji

yang digunakan adalah kedelai var. Wilis, dan dipanen pada saat fisiologis matang. Tanaman dipilah menjadi: biji dan brangkasan.

Brangkasan = batang + daun + kulit + polong. Kemudian semua parameter seperti persentase (%) dan serapan N-bdp dan N-bdt, efisiensi TSP dsb. dalam tanaman ditetapkan. Tetapi perhitungannya harus dilakukan secara terpilah yaitu biji dan brangkasan.

Data yang diperoleh ditabulasi sebagai berikut;

Biji

	Bobot Kering (g/m ²)	% P-total	Serapan P-total (mgP/m ²)	Aktivitas Jenis Pupuk (μCi/mgP)	Aktivitas Spesifik Contoh Tanaman (μCi/g)	%P-bdp	%P-bdt	Serapan P-bdp (mgP/m ²)	Serapan P-bdt (mgP/m ²)
P1	90	0.51	459	10	2.1	$\frac{2.1}{10} \times 100 = 21$	$100 - 21 = 79$	$0.21 \times 459 = 96.39$	$459 - 96.39 = 362.61$
P2	110	0.60	660	10	3.3	33	67	442.20	217.80
P3	130	0.65	845	10	4.0	40	60	507.00	338.00

*atau $0.79 \times 459 = 362.61$

P-bdp = P-berasal dari pupuk (TSP-bertanda ³²P)

P-bdt = P-berasal dari tanah

Brangkasan

	Bobot Kering (g/m ²)	% P-total	Serapan P-total mgP/m ²	Aktivitas Jenis Pupuk (μCi/mgP)	Aktivitas Jenis Limbah (μCi/g)	%P-bdp	%P-bdt	Serapan P-bdp mgP/m ²	Serapan P-bdt mgP/m ²
P1	120	0.19	228	10	1.9	19	81	43.32	184.68
P2	180	0.21	378	10	2.2	22	78	83.16	294.84
P3	210	0.28	588	10	3.4	34	66	199.92	388.08

Tanaman : biji + brangkasan

Bobot kering P1 = $90 + 120 = 210 \text{ g/m}^2$

Serapan P-bdp P1 = $96.39 + 43.32 = 139.71 \text{ mgP/m}^2$

Serapan P-bdt P1 = $362.61 + 184.68 = 547.29 \text{ mgP/m}^2$

Kemudian data untuk tanaman ditabulasikan sebagai berikut,

Tanaman

	Bobot kering (g/m ²)	Serapan P-total (mgP/m ²)	Serapan P-bdp (mgP/m ²)	Serapan P-bdt (mgP/m ²)	%P-bdp	%P-bdt	% Efisiensi SP-36
P1	210	687	139.71	547.29	20.34	79.66	4.66
P2	290	1038	525.36	512.64	50.61	49.39	8.76
P3	340	1433	706.92	726.08	49.33	50.67	7.83

P1, P2, P3 = 3000, 6000, 9000 mgP/m²

$$\% \text{ Efisiensi TSP riel} = \frac{\text{Serapan P-bdp}}{\text{Aplikasi TSP}} \times 100\% \rightarrow P1 = \frac{139.71}{3000} \times 100 = 4.66\%$$

II. Metode Tidak Langsung

1. Nilai-A (A-value)

Ketersediaan N-Azolla

Tujuan : menentukan sumbangan N-bdAz (berasal dari Azolla) pada padi sawah.

Perlakuan I (Pk I) : tanah + urea bertanda ¹⁵N (100 kg N/ha)

Perlakuan II (Pk II) : tanah + urea bertanda ¹⁵N (100 kg N/ha) + Az-tidak bertanda (250 kg N/ha).

Hasil percobaan

Per-lakuan	Bagian tanaman	Bobot Kering (t/ha)	%N-Total	Serapan N-total (kgN/ha)	%N-bd U/Az	U = Urea Az = Azolla
Pk I	Jerami	7.5	0.6	45	25.4	Catatan : urea bertanda ¹⁵ N untuk Pk I & PkII harus sama jumlahnya (di sini 100 kg N/ha) yang didapat dari percobaan adalah %N-bdU/Az
	Biji	4.5	1.38	62	24.1	
	Total atau tanaman	12.0		107		
Pk II	Jerami	13.3	1.02	136	15.1	
	Biji	8.2	1.49	122	13.6	
	Total atau tanaman	21.5		258		

Pk I

$$\%N\text{-bdu tanaman} = \frac{(45 \times 25.4/100) + (62 \times 24.1/400)}{107} = 24.6\%$$

u = urea

$$\%N\text{-bdt tanaman} = 100 - 24.6 = 75.4\%$$

t = tanah

Berdasarkan fraksionisasi rasio penggunaan pupuk :

$$\frac{24.6}{100*} = \frac{75.4}{A_{\text{tanah}}} \quad * = 100 \text{ kg N/ha urea bertanda yang diaplikasi}$$

Atanah = 307 kg N/ha setara unit urea.

Pk II

$$\%N\text{-bdU} + A_z = \frac{(136 \times 15.1/100) + (122 \times 13.6/100)}{258} \times 100 = 14.4\%$$

$$\%N\text{-bdU} + A_z = 14.4\%$$

$$\%N\text{-bdt} = 100 - 14.4 = 85.6\%$$

Berdasarkan fraksionisasi rasio penggunaan pupuk,

$$\frac{14.4}{100*} = \frac{85.8}{A_{\text{tanah}}} \quad * = 100 \text{ kg N/ha urea bertanda yang diaplikasi}$$

$A_{\text{tanah}} = A_t + A_{Az} = 596 \text{ kg N/ha setara unit urea}$

Pk I : $A_t = 307 \text{ kg N/ha setara unit urea}$

Pk II : $A_t + A_{Az} = 596 \text{ kg N/ha setara unit urea}$

$$A_{Az} = 596 - 307 = 289 \text{ kg N/ha setara unit urea}$$

$$\%N\text{-bdt} = 307 \times 14.4/100 = 44.2\%$$

$$\%N\text{-Az} = 289 \times 14.4/100 = 41.6\%$$

$$\text{Perhatikan } \%N\text{-bdp} = 14.4\% \rightarrow 14.4 + 44.2 + 41.6 = 100.2\% = 100\%$$

Untuk Pk II : Sumbangan N-bdU = 14.4%

Sumbangan N-bdAz = 41.6%

Sumbangan N-bdt = 44.3%

Serapan : N-bdAz = $41.6/100 \times 258 = 107 \text{ kg N/ha}$
 N-bdt = $44.2/100 \times 258 = 114 \text{ kg N/ha}$
 N-bdU = $14.4/100 \times 258 = 37 \text{ kg N/ha}$

Efisiensi : Azolla = $107/250 \times 100\% = 42.8\%$
 Urea = $37/100 \times 100\% = 37.0\%$

Perbandingan kuantitatif Azolla :

250 kg Naz = 287 kg NU
 X = 1 kg NU
 X = 0.87 kg NAz
 1 kg NU = 0.87 kg NAz
 1 x 100/46 kg N urea = 0.87 x 100/4.45 kg N sebagai Az

Keterangan : 46 = kandungan urea 46% N
 4.45 = kandungan Az 4.45%
 2.17 kg urea = 19.6 kg Azolla
 1 kg urea = 9 kg Azolla

2. Pengenceran

Tujuan : evaluasi agronomis FA (fosfat alam)

Misalnya : perbandingan kuantitatif FA dengan TSP.

Perlakuan : I. Tanah + larutan ^{32}P + OP (tanpa P)
 II. Tanah + larutan ^{32}P + TSP (60 kg P/ha)
 III. Tanah + larutan ^{32}P + FA (200 kg P/ha)

Catatan larutan ^{32}P untuk perlakuan I, II dan III harus sama aktivitas jenisnya (a.j.) misalnya 10 mCi/10 ml dijadikan 10 mCi/1000 ml kemudian larutan ini misalnya diberikan 10 ml per pot sama untuk I, II, III.

Hasil : aktivitas jenis (a.j.)

I : a.j. contoh tanaman = 2000 dpm / mg P
 II : a.j. contoh tanaman = 1200 dpm / mg P
 III : a.j. contoh tanaman = 1400 dpm / mg P.

Perhatikan : a.j. tanaman kontrol (OP) selalu harus lebih rendah daripada a.j. tanaman II dan III, di mana berturut-turut ada aplikasi TSP, FA.

Ini karena diasumsikan, pada II dan III, ^{32}P dilarutkan oleh P-tanah + P-TSP dan P=tanah + P-FA, sedangkan I (OP), P^{32} hanya dilarutkan / diencerkan oleh P-tanah, akibatnya ^{32}P pada II dan III akan lebih rendah daripada ^{32}P -I.

Perhitungan

$$\%P\text{-bdp} = \frac{\text{a.j. contoh tanaman}}{\text{a.j. pupuk bertanda}} \times 100\%$$

$$\%P\text{-bd}_{s^*} = \frac{\text{a.j. contoh tanaman}}{\text{a.j. sumber}^*} \times 100\%$$

$$s^* = \text{sumber bertanda}$$

Karena a.j. sumber bertanda (s^*) = a.j. tanah bertanda

Ingat : ^{32}P dicampur dengan tanah sehingga merata sehingga tanah menjadi sumber bertanda.

$$\%P\text{-bd}_{s^*} = \frac{\text{a.j. contoh tanaman}}{\text{a.j. tanah-bertanda}}$$

a.j. tanah bertanda = a.j. tanaman pada perlakuan I

Ini karena : ^{32}P yang diserap tanaman adalah diasumsikan merupakan serupa ^{32}P dari tanah bertanda, karena tidak ada sumber P selain P-tanah.

Perlakuan II

$$\%P\text{-bd}_{s^*} = \frac{1200}{2000} \times 100 = 60\%$$

$$\%P\text{-bdTSPtidak bertanda} = 100 - 60 = 40\%$$

Dari fraksionisasi rasio hubungan pupuk dengan sumber lain;

$$\frac{40}{60} = \frac{60}{X} \quad \begin{array}{l} 60 = 60 \text{ kg P-TSP yang diaplikasi} \\ X = \text{jumlah P-tanah tersedia atau } 90 \text{ kgP/ha} \\ \text{sebagai TSP} \end{array}$$

Perlakuan III

$$\%P\text{-bd}_{s^*} = \frac{1400}{2000} \times 100 = 70\%$$

$$\%P\text{-bdTSP tidak bertanda} = 100 - 70 = 30\%$$

Dari fraksionisasi rasio hubungan pupuk dengan sumber lain;

$$\frac{30}{200} = \frac{70}{X} \quad \begin{array}{l} 200 = \text{kg P-FA yang diaplikasi} \\ X = \text{jumlah P-tanah tersedia atau 467} \\ \text{kgP sebagai FA} \end{array}$$

Perbandingan kuantitatif antara TSP dengan FA :

$$90 \text{ kg P-TSP} = 467 \text{ kg P-FA}$$

$$1 \text{ kg P-TSP} = X \text{ kg -FA}$$

$$\text{Maka 1 kg P-TSP setara dengan } \frac{467}{90} = 5.2 \text{ kg P-FA}$$

IX. PENGGUNAAN METODE ^{15}N UNTUK MENENTUKAN FIKSASI N-BIOLOGIS

Tanaman legum baik setahun maupun tahunan (perennial) semakin lama semakin menjadi tanaman yang penting baik untuk dikonsumsi maupun untuk digunakan memperbaiki kesuburan lahan marginal; sebagai penyumbang berbagai nutrisi tanaman.

Salah satu ciri khas utama dari tanaman legum adalah kemampuannya untuk bersimbiose dengan *Rhizobium* yang memungkinkan tanaman ini memperoleh N dari udara.

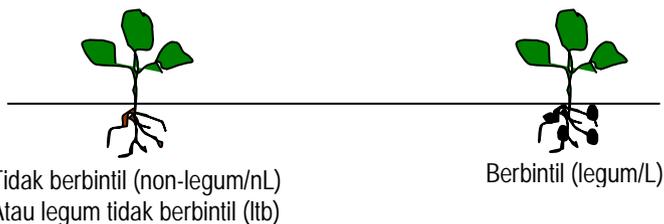
Agar tanaman ini dapat dikelola dengan baik dan untuk memperoleh gambaran yang jelas keuntungan dari asosiasi legum-mikroba, maka penentuan kemampuan legum memfiksasi N_2 -udara menjadi penting. Berdasarkan hal ini maka metode yang sesuai bagi penentuan N_2 -udara sangat dibutuhkan.

Ada berbagai metode yang dapat digunakan bagi penentuan fiksasi N_2 -udara tanaman legum. Metode-metode ini adalah,

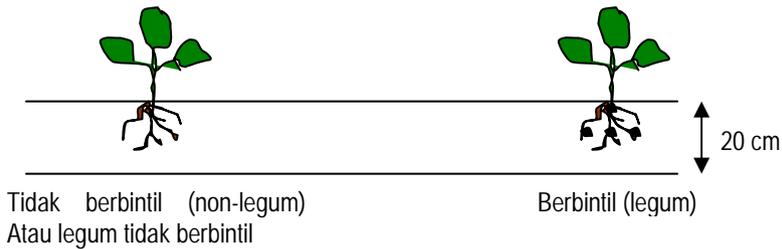
1. Pertambahan pertumbuhan pada tanaman legum
2. Neraca N
3. Acetylene Reduction Assay
4. Penggunaan isotop N

Di sini hanya akan diuraikan mengenai metode isotop. Persyaratan yang harus dipenuhi agar metode ^{15}N dapat digunakan,

1. Harus tersedia tanaman standar yang benar-benar tidak berbintil berarti tidak berfiksasi.



2. Kedalaman akar legum dan non-legum harus sama dalamnya atau kedua jenis tanaman memperoleh N dari zona kedalaman tanah yang sama.



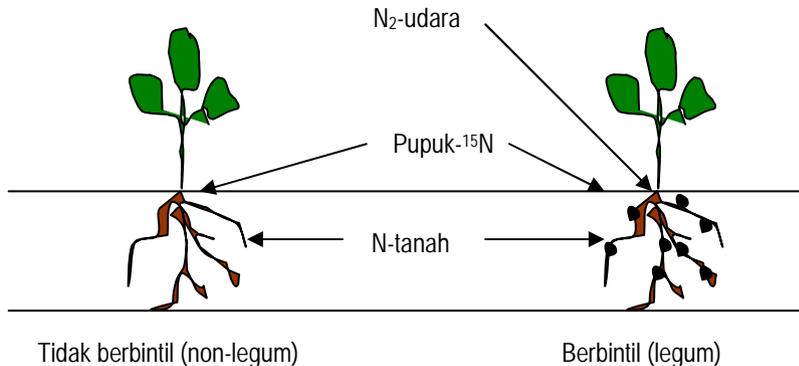
3. Kedua jenis tanaman legum dan non-legum/legum tidak berbintil harus mempunyai stadia fisiologis yang sama, artinya stadia vegetatif, generatif dan saat panen harus bersamaan.
4. Kedua jenis tanaman legum dan non-legum/legum tidak berbintil harus ditanam dan dipanen pada saat yang sama.
5. Kedua jenis tanaman legum dan non-legum/legum tidak berbintil harus dihadapkan pada kondisi lingkungan yang sama.

Metode untuk menentukan fiksasi N_2 -udara oleh tanaman legum ada 2:

1. Metode pengenceran isotop
2. Metode nilai A.

1. Metode pengenceran isotop

Metode ini digunakan bila pada tanaman legum (L) dan non-legum/legum tidak berbintil (nL/ltb) diberikan pupuk bertanda ^{15}N dalam jumlah yang sama. Prinsip dari metode ini adalah pada tanaman non-legum yang diberi ^{15}N maka perbandingan $^{15}N/^{14}N$ hanya ditentukan oleh pupuk ^{15}N dan oleh tanah tempat tanaman tumbuh. Sedangkan pada tanaman legum ratio $^{15}N/^{14}N$ ditentukan oleh N-tanah dan N berasal dari udara. Karena itu pada umumnya rasion $^{15}N/^{14}N$ tanaman legum lebih kecil daripada ratio $^{15}N/^{14}N$ tanaman non-legum.



Contoh.

Dalam suatu percobaan lapang ditambahkan 20 kg N urea bertanda ¹⁵N (atom eksek 5.231%) pada tanaman legum (L) dan non-legum (nL). Contoh tanaman yang dipanen memberi hasil sebagai berikut :

% atom eksek L = 0.702%, % atom eksek nL = 1.251%

$$\%N\text{-bdp L} : \frac{0.702}{5.321} \times 100 = 13.4\%$$

$$\%N\text{-bdp nL} : \frac{1.251}{5.321} \times 100 = 23.9\%$$

Pada tanaman nL, 76.1% N berasal dari tanah.

Untuk tanaman L : %N-bdp + %N-bdt + %N-bdfik = 100.

Sekarang yang harus dihitung adalah perbandingan antara N-bdt/N-bdfik pada tanaman L. Untuk itu harus diasumsikan bahwa baik tanaman L maupun nL akan menyerap N-tanah dan N-pupuk dengan perbandingan yang sama.

Pada tanaman nL, 76.1% N berasal dari tanah.

Untuk tanaman L : %N-bdp + %N-bdt + %N-bdfik = 100.

Sekarang yang harus dihitung adalah perbandingan antara N-bdt/N-bdfik pada tanaman L. Untuk itu harus diasumsikan bahwa baik tanaman L

maupun nL akan menyerap N-tanah dan N-pupuk dengan perbandingan yang sama.

$$\frac{\%N\text{-bdp nL}}{\%N\text{-bdt nL}} = \frac{\%N\text{-bdp L}}{\%N\text{-bdt L}}$$

$$\frac{23.9}{76.1} = 0.314 = \frac{\%N\text{-bdp L}}{\%N\text{-bdt L}} = \frac{13.4}{\%N\text{-bdt L}}$$

$$\%N\text{-bdt L} = \frac{13.4}{0.314} = 42.7$$

Maka : $\%N\text{-bdp L} + \%N\text{-bdt L} + \%N\text{-bdfik L} = 100\%$
 $13.4\% + 42.7\% + \%N\text{-bdfik L} = 100\%$
 $\%N\text{-bdfik L} = 43.9\%$

	nL	L
%N-bdp	23.9	13.4
%N-bdt	76.1	42.7
%N-bdfik	-	43.9

Rumus umum untuk menghitung %N-bdfik dengan metode pengenceran adalah:

$$\%N\text{-bdfik} = \left(1 - \frac{\%N \text{ a.e. L}}{\%N \text{ a.e. nL}}\right) \times 100\%$$

atau

$$\%N\text{-bdfik} = \left(1 - \frac{\%^{15}\text{N-bdp L}}{\%^{15}\text{N-bdp nL}}\right) \times 100\%$$

Serapan N-bdfik = (%N-bdfik) x (serapan N-total)

2. Metode Nilai-A

Metode ini digunakan bila kepada tanaman L dan nL diberi jumlah ^{15}N -pupuk yang tidak sama. Ini acapkali dibutuhkan karena :

- bila pada tanaman L dan nL diberikan jumlah pupuk ^{15}N yang rendah (20 kg N/ha) maka takaran ini tidak cukup untuk menyokong pertumbuhan tanaman nL sampai saat panen produksi.
- bila pada tanaman L dan nL diberikan jumlah pupuk ^{15}N yang besar (100 kg N/ha) maka takaran yang tinggi ini dapat meniadakan kerja Rhizobium untuk menambat N-udara bagi tanaman L.

Jalan keluar :

- pada tanaman L diberikan ^{15}N -pupuk takaran rendah (20 kg N/ha)
- pada tanaman NL diberikan ^{15}N -pupuk takaran tinggi (100 kg N/ha)

Contoh :

	Takaran N (kg N/ha)	%a.e. ^{15}N -pupuk	%a.e. ^{15}N -contoh tan.	%N-bdp	%N-bdt	$\frac{\%N-bdp}{\%N-bdt}$ (n)	%N-bdfik
NL	60	2.50	0.40	16	84	0.063	-
L	20	5.60	0.08	1.4	22.1	0.063	76.5

$$\frac{n \times \%N-bdp L}{\%N-bdt nL} = \frac{20/60 \times 16}{84} = 0.063 = \frac{\%N-bdp L}{\%N-bdt nL}$$

$$\%N-bdt L = \frac{1.4}{0.063} = 22.1\%$$

Rumus umum :

$$\%N-bdfik L = 100 \left(1 - \frac{\%N-bdp L}{N \times \%N-bdp nL} \right) + \%^{15}\text{N-bdp L} (1/n - 1)$$

Serapan N-bdfik L = (%N-bdfik) x (serapan N-total)

X. PENELITIAN OLEH BATAN

Disini akan diperlihatkan beberapa dari banyak penelitian yang telah dilakukan Batan.

1. Kelapa Sawit

- 1) Penentuan akar aktif
- 2) Penentuan efisiensi urea sebagai pupuk N utama.

1) Penentuan akar aktif.

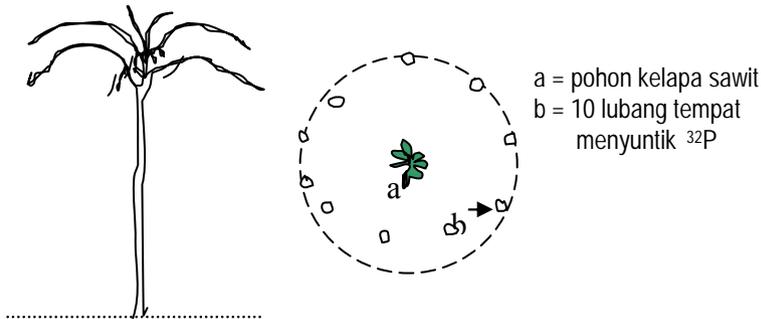
Tujuan : Menentukan zona / daerah akar yang paling aktif menyerap unsur hara.

Asumsi : Bila radioisotop yang diberikan pada berbagai zona perakaran menunjukkan tingkat radioaktivitas yang tinggi pada satu zona perakaran tertentu, dapat diasumsikan bila pupuk diletakkan pada zona tersebut maka pupuk / hara-pupuk akan diserap banyak.

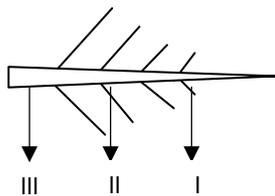
Tanaman : - kelapa sawit berumur 8 tahun dengan tinggi rata-rata 2.5 m, dan mempunyai daun sekitar 25 buah
- ^{32}P disuntikkan di sekeliling pohon pada jarak 1.5 dan 2.5 m dengan kedalaman 5 dan 15 cm (lihat gambar)
- ^{32}P disuntikkan di 10 lubang sekeliling pohon
- tiap lubang menerima 10 ml, sehingga satu pohon menerima 100 ml dengan aktivitas total 24.5 mCi.

- jarak dari batang pohon (m) kedalaman (cm)
 a. 1.5 5 (1) dan 15 (2)
 b. 2.5

Untuk tiap perlakuan digunakan 3 pohon, jadi pohon yang digunakan adalah 12 buah.

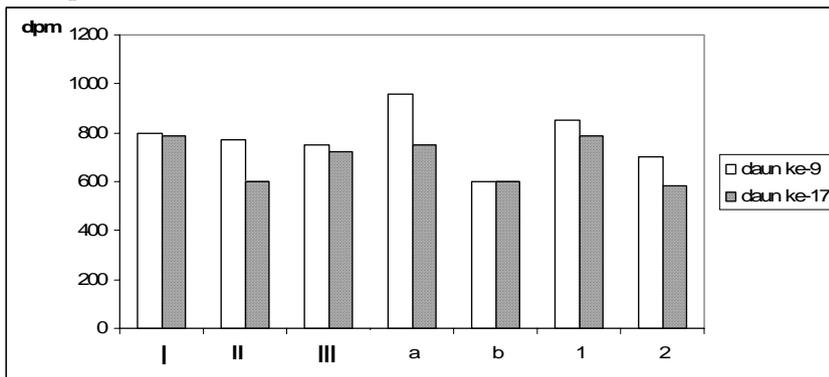


Untuk analisis digunakan pelepah dan anak daun, daun ke-9 dan ke-17



Daun ke 9 atau ke 17
 Daun dibagi dalam 3 bagian
 - bagian atas (I)
 - bagian tengah (II)
 - bagian bawah (III)

Hasil percobaan :

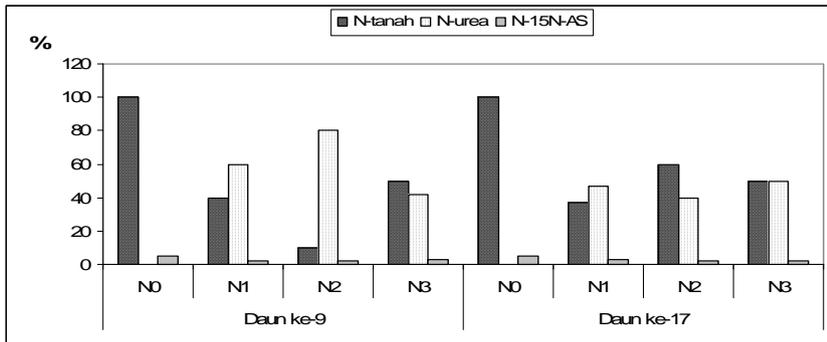


Gambar 4. Nilai dpm contoh daun tanaman kelapa sawit.

Dari gambar 4 dapat diambil kesimpulan :

- dpm untuk daun ke-9 hampir tidak berbeda
- dpm untuk daun ke-17 ada yang berbeda
- untuk jarak $a > b$ baik untuk daun ke-9 dan ke-17
- untuk kedalaman $5 > 15$ baik untuk daun ke-9 dan ke-17

- Dilakukan 2 panen yaitu 4 minggu dan 8 minggu setelah pemberian ke 3.
- Daun yang dipanen seperti pada penentuan zona perakaran aktif adalah daun ke 9 dan 17.



Gambar 5. Fraksionisasi N contoh daun.

- Hasil yang dapat dikemukakan adalah %¹⁵N kecil, karena diencerkan oleh volume tanaman yang sangat besar
- Dua kali pemberian memberikan efisiensi tertinggi
- Efisiensi rendah atau tinggi dalam hal ini hanya dinyatakan dalam %N-urea bertanda ¹⁵N. Ini karena N-urea yang diberikan adalah sama, hanya waktu yang berbeda. Semua ini diperlihatkan pada gambar di atas.

Penentuan Fiksasi N₂-udara pada Pohon Legum

Di daerah tropis seperti di Indonesia, lahan kering yang digunakan adalah tanah jenis Ultisols dan Oxisols yang memang rendah kesuburannya dan ber-pH masam. Tanah demikian bila ingin digunakan untuk ditanami tanaman pangan maka adalah mutlak perlu untuk meningkatkan kesuburan tanah dan mengatasi pH rendah yang bersifat masam. Penggunaan pupuk kimia N, P, K dapat mengatasi rendahnya kesuburan tanah, namun ongkos produksi menjadi sangat tinggi dan oleh petani umumnya sulit dipenuhi karena kekurangan dana. Selain itu dalam jangka waktu lama pupuk kimia sumber N, P dan K akan menjadi sumber polusi bagi lingkungan disertai perubahan fisik dan kimia tanah menuju ke menurunnya kesuburan tanah.

Metode kerja

Bahan tanaman yang digunakan adalah pohon legum, yang mampu memfiksasi N₂-udara :

- F1 *Gliricidia sepium*
- F2 *Sesbania sesban*
- F3 *Caliandra tetragona*
- F4 *Flemengia congesta*
- F5 *Acacia mangium*
- F6 *Leucena leucocephala*

Pohon non legum sebagai tanaman standar yang tidak memfiksasi N₂-udara:

- R1 *Eucalyptus alba*
- R2 *Swietenia mahagoni*
- R3 *Carica papaya*

Petak percobaan di lapangan

F3	R3	F1	F2	F4	F5	F6	R2	F1	F5
F2	F5	F3	F5	F3	R1	F1	F6	F2	F4
R2	F3	F5	R1	F5	R2	F3	R3	F6	F5
F3	F2	R2	F1	R2	F4	R1	F2	F1	R2
R3	F4	F4	R2	F2	R1	F4	R3	R1	F6
F4	F5	R3	F3	R2	F5	R2	F6	F4	F2
F1	R2	F2	R1	F1	R3	F6	R2	F1	F3
F5	F6	R2	F1	R1	F6	R2	F3	F5	F2
F5	F1	F3	F6	F4	R3	F6	F2	F4	F1
F3	F4	F6	F2	F1	F3	F4	R2	F2	F6

→ Petak isotop

Keterangan :

- = petak percobaan yang ditanami tanaman legum dan non-legum sebanyak 100 tanaman secara acak dengan jarak tanam 1 m x 1 m
- = petak isotop yang terisi 36 tanaman yaitu dari F1 sampai dengan F6 dan tanaman standar R1 sampai dengan R3

Semua pohon baik legum maupun standar dipupuk dengan 0.1 kg TSP dan 0.1 kg KCl. Untuk petak isotop tiap pohon baik legum maupun standar diberi 12 g Ammonium Sulfat (AS) bertanda ^{15}N , dalam 3 kali pemberian (12 g Ammonium Sulfat/pohon setara dengan 25 kg N/ha).

Cara penanaman pohon legum dan standar :

- biji dikecambahkan dalam bak plastik berisi pasir bersih
- setelah kecambah berumur 1 bulan, bibit pohon dipindah ke dalam kantong plastik yang telah terisi dengan tanah sebanyak 1 kg dan 100 g pupuk kandang
- setelah satu bulan bibit berada dalam kantong plastik, kemudian bibit dipindah ke lapangan
- setelah penanaman di lapangan berumur 4 bulan tanaman dipupuk dengan P (TSP), K (KCl) dan pemberian AS bertanda ^{15}N pertama diberikan
- 1 bulan setelah pemberian ^{15}N -AS pertama dilakukan pemberian ^{15}N -AS kedua disusul dengan pemberian ^{15}N -AS terakhir sebulan setelah pemberian ^{15}N -AS kedua.

Hasil yang diperoleh

Persentase N_2 -udara dilakukan seperti pada cara tanaman kedelai yang sudah dikemukakan sebelumnya.

Di sini harus diperhatikan bahwa ^{15}N diberikan pada tanaman legum dan standar dalam jumlah yang sama, sehingga memudahkan perhitungan, yaitu:

$$\% \text{N}_2\text{-fiksasi} = \frac{\% \text{N-berasal dari AS contoh tanaman}}{\% \text{N-pupuk AS}} \times 100\%$$

atau

$$\frac{\% \text{atom eksek } ^{15}\text{N-contoh tanaman}}{\% \text{atom eksek } ^{15}\text{N-AS}} \times 100\%$$

Tabel 1.

	Bobot kering (g)				%N-total				Serapan N-total (g N)			
	A	B	Ca	D	A	B	Ca	D	A	B	Ca	D
F1	339	557	247	438	1.180	0.620	1.212	2.868	3.900	3.428	2.453	22.658
F2	257	1149	624	3807	0.838	0.428	1.022	3.924	2.134	4.933	6.510	25.679
F3	156	769	417	664	1.016	0.563	1.163	3.217	1.603	4.214	6.038	33.147
F4	45	258	107	86	1.200	0.730	1.262	3.040	0.559	1.854	1.307	6.324
F5	21	155	78	175	0.944	0.599	0.946	3.231	0.198	0.930	0.720	7.529
F6	205	879	425	371	1.139	0.592	1.004	3.806	2.414	5.359	4.284	25.203
R1	65	403	224	241	0.664	0.616	0.544	2.039	0.358	2.494	1.136	8.575
R2	6	28	-	36	0.617	0.499	-	1.621	0.039	0.139	-	0.739
R3	43	115	-	149	1.223	1.246	-	3.802	0.527	1.114	-	7.365

- Semua nilai di atas adalah rata-rata dari 4 ulangan

- A = akar, B = batang, Ca = cabang, D = daun

Tabel 2.

	A		B		Ca		D	
	% a.e.	%Z- ¹⁵ N						
F1	0.906	9.29	0.703	7.28	0.866	8.87	0.934	9.37
F2	0.877	8.98	0.544	5.57	0.719	7.37	0.862	8.84
F3	0.870	8.92	0.582	5.96	0.672	6.89	0.716	7.49
F4	1.037	10.64	0.855	8.77	1.000	10.27	0.893	9.15
F5	1.015	10.49	0.612	6.28	0.831	8.55	1.108	9.59
F6	0.734	7.60	0.447	4.58	0.536	5.49	0.501	5.14
R1	1.638	16.89	1.645	15.67	1.840	18.69	2.836	20.51
R2	2.180	22.35	2.613	23.02	-	-	3.045	31.12
R3	2.289	23.47	1.742	19.07	-	-	2.000	24.64

- Semua nilai adalah rata-rata 4 ulangan

- A = akar, B = batang, Ca = cabang, D = daun

- % a.e. = % atom eksek; % Z-¹⁵N = $\frac{\% \text{ a.e. contoh tanaman}}{\% \text{ a.e. pupuk Za - }^{15}\text{N}} \times 100 \%$

Dari tabel 2. serapan Z-N₂ (gN) dapat dihitung; % Z-N₂ x serapan N-total

Tabel 3.

	Pohon				
	Bobot Kering (g)	Serapan N-total (gN/pohon)	Serapan N-berasal dari AS (gN/pohon)	Serapan Z-N ₂ (gN/pohon)	% Z-N ₂
F1	1581	22.658	1.996	11.640	52.44
F2	2338	25.679	2.016	14.823	57.48
F3	2106	33.149	2.455	19.926	59.48
F4	496	6.324	0.576	3.223	51.05
F5	430	7.259	0.719	3.710	52.05
F6	1881	25.203	1.456	17.361	70.03
R1	934	8.575	1.335		
R2	70	0.739	0.211		
R3	307	7.365	1.721		

$$\% Z-N_2 = \% \text{-fiksasi } N_2$$

Untuk bobot kering, serapan N-total, serapan N-pupuk AS, serapan N-Z-N₂ : akar + batang + cabang + daun

Dari Tabel 3 dapat dihitung %N-berasal dari pupuk (AS) :

$$\frac{\text{Serapan N-berasal dari AS (mg N)}}{\text{Serapan N-total (mg N)}} \times 100\%$$

$$\% Z-N_2 = 1 - \left(\frac{\%N \text{ bdp} - AS \text{ pohon}}{\%N - AS \text{ pupuk bertanda } ^{15}N} \right) \times 100\%$$

bdp = berasal dari pupuk As bertanda ¹⁵N

Dengan dapat ditentukannya kemampuan fiksasi N₂-udara oleh setiap pohon legum yang berbeda, dapat dipilih pohon legum yang cukup tinggi memfiksasi N₂-udara untuk digunakan bagi perbaikan kesuburan lahan marginal.

Untuk contoh percobaan perbaikan lahan marginal dengan pohon legum akan diperlihatkan pada contoh berikut ini.

Tanaman lorong sebagai sumber nitrogen dan bahan organik untuk memperbaiki kesuburan tanah.

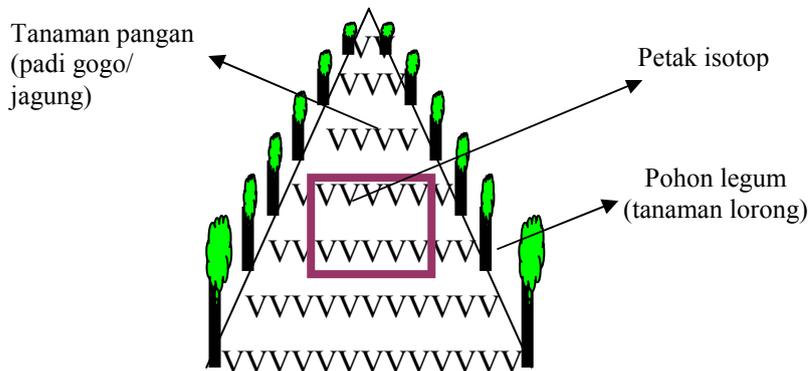
Setelah melakukan percobaan bagi penentuan kemampuan fiksasi N₂-udara maka dapat dipilih pohon legum yang akan digunakan bagi perbaikan kesuburan tanaman di lahan marginal.

Pemilihan pohon legum bukan hanya ditentukan oleh tingginya kemampuan fiksasi N₂-udara si pohon legum tetapi juga berdasarkan bahwa pohon legum yang terpilih harus mudah tumbuh di lahan marginal dengan ongkos tanam yang tidak mahal. Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan ini terpilih dua pohon legum yaitu, *Gliricidia sepium* (F1), *Flemengia congesta* (F4).

G.sepium (F1) dipilih karena dapat diperbanyak dengan stek yang mudah dilakukan tanpa perlu persiapan sebelumnya.

Selanjutnya *F. congesta* (F4) berbiji banyak dan biji mudah tumbuh dengan hanya disebar di lahan.

Menentukan sumbangan N pangkasan tanaman lorong pada tanaman pangan.



Gambar 6. Bagan tanaman lorong yang mengapit tanaman pangan.

- Tanaman lorong telah berumur sekitar 1,5 tahun
- Tinggi sekitar 1,5 m dengan tajuk yang cukup rindang
- Perlakuan :

Perlakuan	N-urea (kg/ha)	N-pangkasan tanaman lorong (± tahun/ha)
N0 (kontrol)	0	0
N1	0	15 (100% ph) setara 56.4 kg N/ha
N2	33.75 (50%)	7.5 (50% ph) setara 28.2 kg N/ha
N3	67.50 (100%)	0

ph = pupuk hijau = pangkasan tanaman lorong

100% = 100% ph, 100%=urea, 50% ph, 50% urea

- Kegiatan ini berlangsung selama 3 tahun
- Di tiap tahun dibagi menjadi 2 musim
 - Musim I : awal musim hujan samapi akhir musim hujan, ditanam padi gogo
 - Musim II : akhir musim hujan sampai panen akhir, ditanam dengan jagung
- Pada petak isotop diaplikasi ZA bertanda ¹⁵N diberi 3 kali
- Hasil yang duperoleh yang ditulis di sini adalah padi gogo, musim I, tahun I.

Perlakuan	Bobot Kering (kg/ha)			%N total			% a.e.			% ¹⁵ N			Serapan N total		
	G	J	Tan	G	J	Tan	G	J	Tan	G	J	Tan	G	J	Tan
N0	765.50	765.25	1521.75	0.95	0.51	1.6885	1.3202	1.6885	1.3202	17.31	13.54	17.31	7.163	3.913	11.075
N1	765.75	884.50	1850.25	0.98	0.53	1.2205	0.9920	1.2205	0.9920	12.51	10.17	12.51	9.403	4.650	14.053
N2	1328.25	1144.25	2472.50	1.02	0.53	0.9440	0.8983	0.9440	0.8983	9.68	9.31	9.68	13.508	6.090	19.598
N3	2084.24	1901.50	3986.25	1.02	0.59	0.8815	0.4455	0.8815	0.4455	9.30	4.57	9.30	21.198	11.130	32.238

Dengan adanya data % ¹⁵N maka data di bawah ini dapat dihitung dan dinyatakan untuk seluruh tanaman (g + j).

Perlakuan	% N-distribusi (%)			Sumbangan N dari (kg N/ha)		
	% ¹⁵ N	% N-tanah	% N-pupuk	% ¹⁵ N	% N-tanah	% N-pupuk
N0	16.06	83.93	0	1.783	9.293	0
N1	11.74	61.52	26.74	1.650	8.623	3.780
N2	9.55	50.15	40.30	1.863	9.623	7.938
N3	7.65	40.24	52.11	2.445	12.840	16.953

Catatan : % ¹⁵N = $\frac{\% \text{atom eksres (a.e.)} \times 100}{\% \text{ a.e. pupuk}}$ G = gabah J = jerami Tan = tanaman (g + j)

XI. HAL-HAL KHUSUS

Penerapan Penggunaan Metode Pengenceran dan Nilai-A

Dalam beberapa hal ada kalanya sesuatu bahan tidak dapat ditandai dengan isotop baik stabil maupun radioisotop.

Misalnya yang dapat ditandai tanpa harus mengalami perubahan adalah *Azolla* yang ditumbuhkan di media ^{15}N atau ^{32}P , kemudian digunakan sebagai sumber ^{15}N atau ^{32}P .

Tetapi sebaliknya ada beberapa materi yang tak dapat ditandai. Misalnya fosfat alam (f.a.) bila ditandai seperti TSP maka f.a. harus dicampur misalnya dengan : f.a. + larutan $\text{KH}_2^{32}\text{PO}_4$. Bila terjadi pencampuran ini maka f.a. sudah berubah menjadi f.a. yang diberi P-sebagian. Akibatnya sifat kimiawi berubah, yang paling utama adalah %P-total akan berubah, misalnya “f.a. asli” %P-total = 15% maka bila dicampur maka ada kemungkinan peningkatan %P-total menjadi misalnya 20%. Tentunya hal ini menyebabkan perubahan kimiawi yang sangat besar pada f.a. sebagai sumber P. Sehingga dengan demikian bila ingin mempelajari kemampuan f.a. “asli” sebagai sumber P bagi tanaman tidak mungkin ditandai dengan ^{32}P . Atau ingin mempelajari kemampuan mikro organisme (m.o.) pelarut N-tanah atau P-tanah, tidak mungkin menandai m.o. karena yang ingin dipelajari adalah apakah N atau P tanah meningkat atau tidak bila pada tanah tersebut ditambahkan m.o. pelarut N atau P tanah.

Untuk hal ini dapat digunakan dua teknik, yaitu :

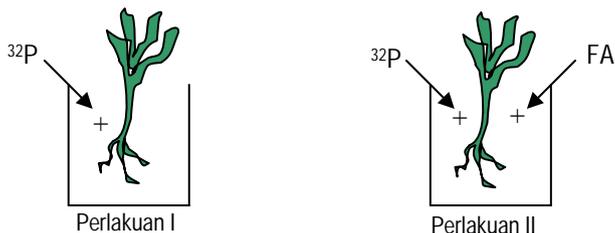
1. Teknik pengenceran isotop
2. Teknik nilai A

1. Teknik pengenceran isotop

Misalnya diinginkan mengetahui sumbangan P-berasal dari F.A. (fosfat alam) terhadap tanaman. Maka pada teknik pengenceran yang ditandai

dengan isotop stabil atau radioisotope adalah media tumbuh tanaman dan setelah ditandai dianggap sebagai sumber bertanda.

Cara kerja:



Perlakuan I : OP + ³²P - TSP

Perlakuan II : FA + ³²P - TSP

Tiap pot diisi dengan 3 kg tanah kering udara dan dipupuk dengan 60 kg P₂O₅/ha. Setelah 6 minggu tanaman dipanen. Tiap perlakuan diulang 5x.

Hasil perhitungan diperoleh data sebagai berikut :

Pupuk-P	Kandungan		Jumlah/pot	
	% P ₂ O ₅	%P=0.43x% P ₂ O ₅	mgP	Pupuk (mg)
TSP- ³² P	46	19.78	50	252.8
FA-asal Ind.	25	10.75	250	2325.6
Kontrol : OP				

Selanjutnya P-bdFA (P-berasal dari FA) diperoleh secara langsung menggunakan konsep metode pengenceran isotop, di mana,

$$\%P\text{-bdFA} = \left(1 - \frac{AJ \text{ tanaman-yang diaplikasi dengan FA}}{AJ \text{ tanaman-tanpa diaplikasi dengan FA}}\right) \times 100\%$$

AJ : Aktivitas jenis

Perhitungan ini dengan asumsi bahwa tanaman akan menyerap P sebanding dengan P-tanah tersedia dan senyawa bertanda ³²P tidak terpengaruh oleh adanya aplikasi FA.

P-tanah tersedia pada tanah yang bertanda dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{\%P - \text{bd FA}}{\text{Takaran P - FA}} = \frac{\%P - \text{bd L}}{A_L}$$

A_L = jumlah P – tanah tersedia dinyatakan dalam equivalen unit FA

2. Teknik Nilai – A

Seperti pada teknik pengenceran isotop, maka disini akan digunakan FA sebagai contoh.

Jadi, evaluasi bahan FA bila ingin disetarakan misalnya dengan TSP atau SP-36, dapat diperoleh dengan adanya perbedaan penyerapan P dari TSP-³²P oleh tanaman tanpa dan dengan FA.

Karena penyerapan sebanding dengan P-tersedia bila dihitung dengan unit-P yang tersedia. Berdasarkan ini dapat ditulis hubungan antara P-tanah dan P-pupuk yang merupakan sumber P sebagai berikut,

$$\frac{P - bdP}{A_p} = \frac{P - bdT}{A_T} \quad \text{di mana (1)}$$

- P-bdP	Adalah bagian P yang ditemukan di dalam tubuh tanaman yang berasal dari pupuk. Parameter ini ditentukan dengan suatu percobaan menggunakan teknik isotop.
- A_p	Adalah jumlah P yang tersedia berasal dari pupuk. Nilai ini adalah nilai takaran P-pupuk bertanda ³² P yang diaplikasi.
- P-bdT	Adalah bagian P yang ditentukan di dalam tubuh tanaman yang berasal dari tanah. Nilai ini setara dengan (1 – P-bdP).
- A_T	P-tanah tersedia. Nilai ini dinyatakan dalam unit yang setara dengan P-pupuk yang diaplikasi. Nilai ini dapat dihitung dari persamaan (1).

Bila pupuk bertanda ³²P dan sumber-P yang tidak bertanda (FA) diaplikasi pada pot, dengan demikian tanaman yang tumbuh dalam pot pada tanah tersebut mempunyai tiga sumber P yaitu P-tanah, P-pupuk, dan P-FA, sehingga diperoleh hubungan sebagai berikut :

$$\frac{P - bdP}{A_p} = \frac{1 - P - bdP}{A_T + A_{FA}}$$

Untuk lebih mempermudah pengertian mengenai kedua teknik isotop ini akan diberikan beberapa contoh untuk P dan N.

Berikut adalah penggunaan kedua teknik ini dalam perhitungan hasil suatu percobaan.

1. Teknik pengenceran isotop

Pada teknik pengenceran isotop, larutan bebas pengemban ion (*carrier free*) bertanda ^{32}P dengan aktivitas jenis (AJ) / *specific activity* yang cukup tinggi digunakan, misalnya larutan AJ sebesar $100 \mu\text{Ci/ml}$. Untuk tujuan ini umumnya digunakan ^{32}P -bebas pengemban ion di dalam larutan pembawa dengan volume yang diketahui, misalnya KH_2PO_4 atau senyawa P lainnya dengan kandungan P yang rendah (10 – 50 ppm P). Karena nilai P yang rendah maka jenis sumber P dari senyawa bertanda ^{32}P yang akan ditambahkan pada tanah tidak perlu diketahui demikian juga jumlah P dalam senyawa itu tidak perlu diketahui.

Misalnya yang diinginkan adalah mengetahui sumbangan P-berasal dari fosfat alam (FA) di dalam tanaman. Prinsip dari teknik pengenceran ini adalah penandaan dengan radioisotop atau isotop stabil ditujukan pada media tumbuh. Dalam contoh ini yang ditandai adalah tanah, karena tanaman ditumbuhkan pada tanah.

Secara definisi, telah diketahui bahwa :

$$\%P\text{-berasal dari pupuk} = \% P - \text{bdp} \frac{\text{AJ - bahan tanaman}}{\text{AJ - pupuk bertanda}} \times 100 \quad (1)$$

Di mana,

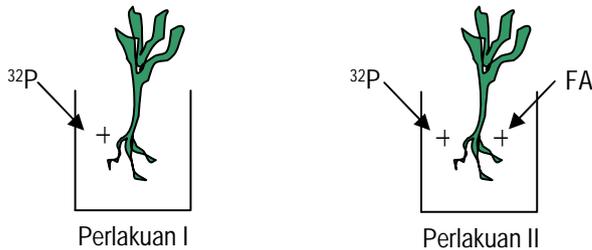
$\%P\text{-bdp}$ = fosfor dalam tanaman yang berasal dari pupuk bertanda

AJ = aktivitas jenis, yang ditentukan melalui percobaan untuk tanaman dan pupuk.

Bila diasumsikan, L = sembarang sumber bertanda, maka persamaan (1) menjadi :

$$\%P - \text{bdL} = \frac{\text{AJ - bahan tanaman}}{\text{AJ - sumber bertanda}} \times 100 \quad (2)$$

Untuk lebih jelas langsung diberi contoh sbb :



Perlakuan I : tidak diberi pupuk hanya diberi ^{32}P

Perlakuan II : P-FA + ^{32}P

^{32}P di perlakuan I dan II harus sama; jumlahnya, aktivitas jenisnya dan jenis larutannya.

Pada perlakuan I dan II tanahnya ditandai dengan ^{32}P , caranya adalah mencampur sehomogen mungkin dengan larutan ^{32}P . Sekarang tanah dianggap sebagai sumber bertanda ^{32}P . Karena adalah tidak mungkin untuk menandai seluruh tanah dengan ^{32}P , seperti yang menjadi prinsip dari teknik pengenceran isotop.

Pada teknik ini konsep dasarnya, diasumsikan bahwa tanaman secara efektif mengambil P dari media tumbuh.

Pada perlakuan I di mana tidak ditambahkan FA, maka AJ tanaman adalah nilai untuk AJ sumber bertanda (L).

$$\text{AJ tanaman} - \text{tanpa FA} = \text{AJ sumber bertanda} \quad (3)$$

Untuk perlakuan II, di mana dilakukan aplikasi FA, maka dianggap tanaman menghadapi dua sumber-P, yaitu P dari sumber bertanda (L) dan P dari FA. Maka adalah mungkin untuk dapat menentukan AJ tanaman dengan adanya aplikasi FA. Semakin besar ketersediaan P berasal dari FA, maka AJ bahan tanaman akan semakin diencerkan.

Untuk mudahnya, umumnya : AJ tanaman perlakuan I > AJ tanaman perlakuan II.

Jadi dari persamaan (2) maka %P-berasal dari sumber bertanda menjadi sebagai berikut :

$$\%P - \text{bdL} = \frac{\text{AJ bahan tanaman} - \text{yang diaplikasi FA}}{\text{AJ} - \text{sumber bertanda}} \times 100 \quad (4)$$

Memasukkan persamaan (3) ke dalam persamaan (4) maka :

$$\%P - \text{bdL} = \frac{\text{AJ tanaman} - \text{yang diaplikasi dengan FA}}{\text{AJ tanaman} - \text{tanpa diaplikasi dengan FA}} \times 100 \quad (5)$$

Contoh 1.

Dilaksanakan suatu percobaan rumah kaca menggunakan pot yang telah diisi 3 kg tanah kering udara jenis Inceptisol.

Perlakuan tersebut adalah,

1. Tanah + larutan $\text{KH}_2^{32}\text{PO}_4$
2. Tanah + SP-36 (setara 60 kg P/ha) + larutan $\text{KH}_2^{32}\text{PO}_4$
3. Tanah + FA (setara 60 kg P/ha) + larutan $\text{KH}_2^{32}\text{PO}_4$

Perhatian :

- larutan $\text{KH}_2^{32}\text{PO}_4$ yang ditambahkan adalah sebanyak 50 ml, dengan aktivitas jenis 100 $\mu\text{Ci/ml}$.
- semua perlakuan menerima $\text{KH}_2^{32}\text{PO}_4$ dalam jumlah yang sama.

$$- \%P_2O_5 - \text{SP36} = 36\% \quad \rightarrow \quad \%P\text{-SP36} = 0.43 \times 36 = 15.48\%$$

$$- \% P_2O_5 - \text{FA} = 20\% \quad \rightarrow \quad \%P\text{-FA} = 0.43 \times 20 = 8.60\%$$

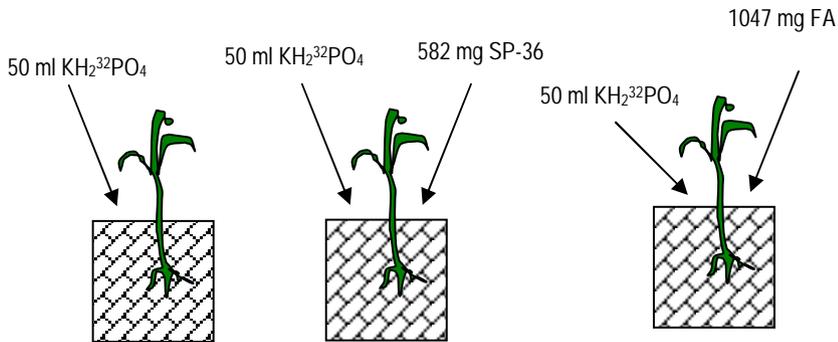
$$\text{SP-36} - 60 \text{ kg P/ha maka} \quad \frac{100}{15.48} \times 60 = 388 \text{ kg SP-36/ha}$$

$$\text{Jadi per pot} = 582 \text{ mg SP} - 36$$

$$\text{FA} - 60 \text{ P/ha maka} \quad \frac{100}{8.6} \times 60 = 698 \text{ kg FA/ha}$$

$$\text{Jadi per pot} = 1047 \text{ mg FA}$$

Secara skematis dapat digambarkan sebagai berikut :



Buat tabel sebagai berikut :

	Pupuk – P aplikasi (mgP)	%P	Bobot kering (g)	Serapan P-total (mgP)	AJ/g (dpm)
Perlakuan I	0	0.20	15	30	2500
Perlakuan II	90	0.25	30	75	1500
Perlakuan III	90	0.22	25	55	2000

Untuk memperoleh dpm : larutan tanaman dicacah pada alat Liquid Scintillation Counter, dari alat ini diperoleh cpm (cacahan per menit / g tanaman).

$$\text{dpm} = \frac{\text{Cpm}}{\text{efisiensi alat}} \quad \text{Efisiensi alat umumnya mulai 40\% - 70\% bila digunakan metoda Cerenkov.}$$

$$\%P - \text{bdP} = \frac{\text{AJ} - \text{contoh tanaman}}{\text{AJ} - \text{pupuk bertanda}} \quad (1)$$

Ini dapat disubstitusi menjadi

$$\%P - \text{bdL} = \frac{\text{AJ} - \text{contoh tanaman}}{\text{AJ} - \text{sumber bertanda}} \quad (2)$$

Karena AJ sumber bertanda = AJ tanah bertanda,

$$\%P - \text{bdL} = \frac{\text{AJ} - \text{contoh tanaman}}{\text{AJ} - \text{tanah bertanda}} \quad (3)$$

AJ tanah bertanda = AJ contoh tanaman dari perlakuan I.

Perlakuan II

$$\%P\text{-bdL} = 1500/2500 \times 100 = 60\% = \%P\text{-bdT}$$

$$\%P\text{-bdSP36} = 100 - 60 = 40$$

Dari hubungan fraksional :

$$\frac{40}{\text{Jml. SP-36 yang diaplikasi}} = \frac{60}{X} \longrightarrow \frac{40}{90} = \frac{60}{X}$$

$$\begin{aligned} X &= \text{P-tanah tersedia} \\ &= 135 \text{ mg P/pot setara unit SP-36} \end{aligned}$$

Perlakuan III

$$\%P\text{-bdL} = 2000/2500 = 80$$

$$\%P\text{-bdFA} = 100\% - 80\% = 20\%$$

Dari hubungan fraksional :

$$\frac{40}{90} = \frac{60}{X} \quad \begin{aligned} X &= \text{P-tanah tersedia dalam unit FA} \\ &= 360 \text{ P setara unit FA/pot.} \end{aligned}$$

Perlakuan I :

dianggap semua P-berasal dari tanah maka pada tanaman serapan P – berasal dari tanah = 30 mg P/tanaman.

Perlakuan II :

40% P – bdSP-36 dan 60% P – bdT

maka Serapan P : 40% x 30 = 12 mg P-berasal dari SP-36

60% x 30 = 18 mg P-berasal dari tanah.

Perlakuan III :

20% P – bdFA dan 80% P – bdT

maka Serapan P : 20% x 25 = 5 mg P-berasal dari FA

80% x 25 = 20 mg P-berasal dari tanah.

Contoh 2.

Pot diisi dengan 2 kg tanah kering udara kemudian disawahkan. Pot ditanam dengan padi var. Diah Suci.

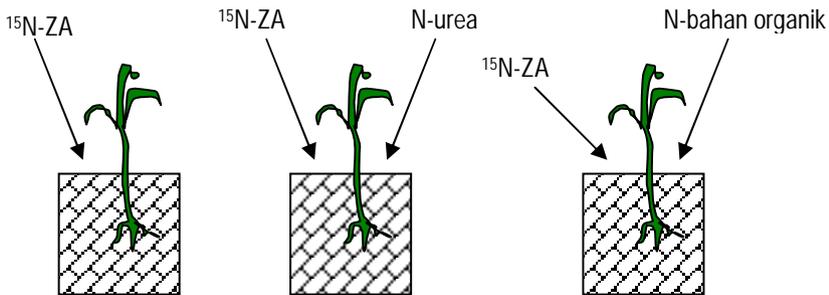
Perlakuan yang diterapkan :

1. tanah + ^{15}N – ammonium sulfat / ZA (100 mgN/pot)
2. tanah + urea (200 mgN/pot) + ^{15}N -ZA (100 mgN/pot)
- III. tanah + bahan organik (400 mgN/pot) + ^{15}N -ZA (100 mgN/pot)

Catatan : ^{15}N -ZA dapat diberikan dalam bentuk larutan atau padat.

Pada percobaan ini ^{15}N -ZA diberikan dalam bentuk padat. Setelah tanaman berumur 30 hari tanaman dipanen .

Jika dideskripsikan maka perlakuan tersebut adalah sebagai berikut :



Buat Tabel sebagai berikut :

Perlakuan	B. Kering (g)	%N-to	Serapan N-to (mgN)	% eksek atom (a.e)	%N-bd ^{15}N -ZA
I.tanah + ^{15}N -ZA	6.00	1.38	82.80	3	60
II.tanah+urea+ ^{15}N -ZA	9.00	1.45	130.50	1.5	30
III.tanah+bahan organik+ ^{15}N -ZA	7.50	1.28	96.00	2	40

Catatan : %e.a. dihitung dengan spektrometer optikal

$$\%e.a. \text{ } ^{15}\text{N-ZA} = 5\%$$

$$\%^{15}\text{N-ZA} ; \text{I} = 3/5 \times 100 ; \text{II} = 1.5/5 \times 100 ; \text{III} = 2/5 \times 100$$

Seperti pada contoh-P.

Perlakuan I

$$\%N\text{-bdL} = \frac{\%^{15}\text{N e.a. contoh tanaman}}{\%^{15}\text{N e.a. tanah - bertanda}}$$

$$\begin{aligned} \%^{15}\text{N e.a. tanah - bertanda} &= \%^{15}\text{N e.a. tanaman perlakuan I} \\ \text{Di sini } \%^{15}\text{N e.a.} &= 3\% \end{aligned}$$

Perlakuan II

Dalam perlakuan II, pada tanaman ditambahkan urea tidak bertanda,

$$\%N\text{-bdL} = \frac{\%^{15}\text{N e.a. contoh tanaman + urea}}{\%^{15}\text{N e.a. contoh tanaman perlakuan I}}$$

$$= 1.5/3 \times 100\% = 50\%$$

$$\%N - \text{bd urea} = 100\% - \%N \text{ bdL} = 100\% - 50\% = 50\%$$

Atau

$$\%N\text{-bd b.o.} = \left(1 - \frac{\%^{15}\text{N e.a. - contoh tanaman + b.o.}}{\%^{15}\text{N e.a. contoh tanaman perlakuan I}} \right)$$

$$= (1 - 2/3) \times 100 = 33.3\%$$

Kemudian perhitungan N-tanah tersedia untuk perlakuan II dan III dapat dilakukan.

Perlakuan II

$\%N\text{-bd urea} = 50\%$, maka $N - \text{bdt} = 100 - 50 = 50\%$.

N-urea yang diaplikasi = 200 mgN/pot.

Dari hubungan penggunaan fraksionisasi :

$$\frac{\%N - \text{bd urea}}{N - \text{urea diaplikasi}} = \frac{\%N\text{-bdt}}{X} \longrightarrow \frac{50}{200} = \frac{50}{X}$$

$$X = 200$$

X = N-tanah tersedia atau 200 mgN/pot setara unit ZA

Perlakuan III

$\%N - \text{bd b.o.} = 33.3$, maka $N\text{-bdt} = 66.7\%$

N b.o. yang diaplikasi = 400 mgN

$$\frac{33.3}{400} = \frac{66.7}{X} \quad X = 801.2 = N\text{-tanah tersedia atau } 801.2 \text{ mgN/pot setara unit ZA}$$

Teknik Nilai – A

Sama seperti Teknik Pengenceran Isotop, maka teknik Nilai-A diterapkan bagi bahan yang tidak dapat ditandai, seperti fosfat alam (FA), bahan organik, pupuk hijau seperti Azolla, dsb.

Seperti pada Teknik Pengenceran Isotop, maka untuk lebih memudahkan pengertian teknik Nilai – A akan diberikan dalam contoh-contoh.

Contoh 1.

Penentuan sumbangan P – FA pada tanaman.

Seperti pada Teknik Pengenceran Isotop, maka pada Teknik Nilai – A dibutuhkan perlakuan di mana tidak ada aplikasi P – pupuk.

Dalam suatu percobaan diterapkan 3 perlakuan,

Perlakuan I : tanah + ^{32}P – TSP (50 mgP/pot)

Perlakuan II : tanah + SP – 36 (60 mgP/pot) + ^{32}P – TSP (50 mgP/pot)

Perlakuan III : tanah + FA (600 mgP/pot) + ^{32}P – TSP (50 mgP/pot)

Buat Tabel seperti berikut :

Perlakuan	B. Kering (g)	%P-to	Serapan P-to (mgN)	% ^{32}P - bdp
Perlakuan I	60	0.25	150	40
Perlakuan II	90	0.20	180	30
Perlakuan III	75	0.22	165	20

Perlakuan I :

$$\frac{\%P - \text{bd}^{32}\text{P} - \text{TSP}}{\text{Jumlah } ^{32}\text{P} - \text{TSP yang diaplikasi}} = \frac{\%P - \text{tanah}}{A - \text{tanah}} \rightarrow \frac{40}{50} = \frac{100 - 40}{A - \text{tanah}}$$

A tanah = 75 mg P

Perlakuan II :

%P-bd ^{32}TSP = 20% %P-bdP = 100 – 20 = 80%

Dari hubungan fraksionisasi

$$\frac{20}{\text{Jumlah SP-36 yang diaplikasi}} = \frac{100 - 20}{A - \text{tanah} + A_{\text{SP36}}} \rightarrow \frac{20}{600} = \frac{80}{A - \text{tanah} + A_{\text{SP36}}}$$

$$A\text{-tanah} + A_{SP36} = 2400 \text{ mgP}$$

$$A\text{-tanah} = 75 \text{ mgP}$$

$$A_{SP36} = 2400 - 75 = 2325 \text{ mgP/kg tanah setara dengan unit TSP}$$

Perlakuan III :

$$\%P\text{-bd TSP} = 30\% \quad \%P\text{-bdP} = 100 - 30 = 70\%$$

Dari hubungan fraksionisasi

$$\frac{30}{\text{Jumlah FA yang diaplikasi}} = \frac{100 - 30}{A\text{-tanah} + A_{FA}} \rightarrow \frac{30}{600} = \frac{70}{A\text{-tanah} + A_{FA}}$$

$$A\text{-tanah} + A_{FA} = 1400 \text{ mgP/kg tanah setara dengan unit TSP}$$

$$A\text{-tanah} = 75 \text{ mgP} \rightarrow A = 1400 - 75 = 1325 \text{ mgP}$$

Contoh untuk N

Pada padi sawah menggunakan var. Atomita - 4 diterapkan perlakuan sebagai berikut :

Perlakuan 1 : tanah + ¹⁵N-urea (275 kg urea/ha = 123.75 kgN/ha)

Perlakuan 2 : tanah + ¹⁵N-urea (123.75 kgN/ha) + Azolla (200 kgN/ha)

Hasil perlakuan

Perlakuan	B. Kering (kg)	%N-to	Serapan N-to (gN/ha)	% ¹⁵ N-bdp
Perlakuan 1				
Gabah (G)	5699	1.19	67.82	25.69
Jerami (J)	3772	0.61	23.01	17.77
Tanaman (G + J)	9471	-	90.83	-
Perlakuan 2				
Gabah (G)	6464	1.14	73.69	15.64
Jerami (J)	4462	0.54	24.09	15.12
Tanaman (G + J)	10926	-	97.78	-

$$\% \text{ e.a. urea} = 10\%$$

$$\% \text{ }^{15}\text{N} - \text{bdp} = \frac{\% \text{ e.a. contoh tanaman}}{\% \text{ e.a. }^{15}\text{N} - \text{urea}} \times 100\%$$

Perlakuan 1

$$\text{Serapan } ^{15}\text{N gabah} : 67.82 \times 25.69/100 = 17.42 \text{ kgN/ha}$$

$$\text{Serapan } ^{15}\text{N jerami} : 23.01 \times 17.77/100 = 4.09 \text{ kgN/ha}$$

$$\text{Serapan } ^{15}\text{N tanaman} : 17.42 + 4.09 = 21.51 \text{ kgN/ha}$$

$$\% \text{N - bd } ^{15}\text{N-urea tanaman} = 21.51/90.83 \times 100\% = 23.68\%$$

$$\% \text{N-bdt} = 100 - 23.68 = 76.32\%$$

Perlakuan 2

$$\text{Serapan } ^{15}\text{N gabah} : 73.69 \times 15.64/100 = 11.53$$

$$\text{Serapan } ^{15}\text{N jerami} : 24.09 \times 15.12/100 = 3.64$$

$$\text{Serapan } ^{15}\text{N tanaman} : 11.53 + 3.64 = 15.17 \text{ kgN/ha}$$

$$\% \text{N - bd } ^{15}\text{N-urea tanaman} = 15.17/97.78 \times 100 = 15.51\%$$

$$\% \text{N-bdt} + \text{Azolla} = 84.49$$

Dari perlakuan 1 diperoleh untuk tanaman (G + J)

$$\% ^{15}\text{N-urea tanaman} = 23.68\%$$

$$\% ^{15}\text{N-tanah} = 76.32\%$$

Dari hubungan fraksionisasi:

$$\frac{23.68}{123.75} = \frac{76.32}{\text{A-tanah}} \quad \text{A-tanah} = 398.84 \text{ setara dengan unit urea}$$

Perlakuan 2 menunjukkan

$$\% ^{15}\text{N-urea tanaman} = 15.51\%$$

$$\% ^{15}\text{N-tanah} + \text{Azolla} = 84.49\%$$

Dari hubungan fraksionisasi

$$\frac{15.51}{123.75} = \frac{84.49}{\text{A-tanah} + \text{A-Azolla}}$$

$$\text{A-tanah} + \text{A-Azolla} = 674.12 \text{ setara dengan unit urea}$$

$$\text{A-Azolla} = 674.12 - 398.84 = 275.28$$

%N – Azolla dihitung dari hubungan fraksionisasi sebagai berikut :

$$\frac{15.51}{123.75} = \frac{\% \text{N-bdt}}{398.84} = \frac{\% \text{N-bd Azolla}}{275.28}$$

$$\% ^{15}\text{N-urea tanaman} = 15.51\%$$

$$\% \text{N - bdt} = 49.99\%$$

$$\% \text{N - bd Azolla} = \frac{34.50\% +}{100\%}$$

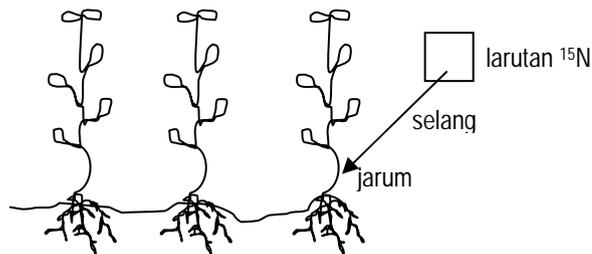
3. Penentuan sumbangan N dan P berasal dari biomassa bawah tanah (BBT)

Sumbangan BBT bagi tanaman, terutama N dan P dapat mencapai 60 – 100 kgN/ha dan sekitar 40 – 50 kgP/ha. Adalah sangat menguntungkan bila N dan P-berasal dari BBT dapat ditentukan sehingga aplikasi N dan P-pupuk kimia dapat dikurangi sampai takaran yang serendah mungkin, namun cukup bagi pertumbuhan tanaman yang optimum.

Cara menghitung sumbangan N atau P-BBT dilaksanakan dengan :

1. Cara langsung
2. Cara teknik nilai-A

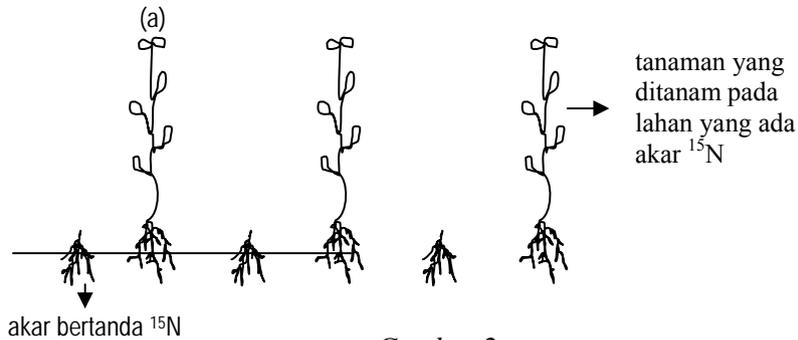
1. Cara langsung



Gambar 1.

Gambar 1.

1. Tanaman sudah agak besar sehingga dapat ditusuk dengan jarum
2. Tanaman “diinfus”, mirip dengan “infus” yang dilakukan pada manusia
3. Infus dilakukan untuk menandai akar dengan ^{15}N
4. Infus dapat berlangsung dari 10 – 30 hari bergantung kepada keperluan tujuan percobaan
5. Setelah dianggap akar cukup tertandai, bagian atas tanaman dipotong.



Gambar 2.

Gambar 2.

1. Bagian atas tanaman dipanen, tetapi akar ditinggalkan dan sudah bertanda ^{15}N
2. Ditanam tanaman (a) pada lahan yang sudah mengandung akar ^{15}N
3. Tanaman (a) ini yang nanti dapat “dibaca” berapa N-BBT yang sudah diserap.

Keuntungan dari cara ini adalah bahwa tanaman dapat langsung ditentukan berapa N-BBT dalam tubuh tanaman, karena akar sudah bertanda ^{15}N .

Kerugian dari cara ini terutama untuk lingkungan tropis :

- ^{15}N yang akan digunakan harus tinggi %e.a. ^{15}N -nya, yaitu harus sekitar $\geq 90\%$ e.a. ^{15}N . Tingginya %e.a. ^{15}N ini dibutuhkan agar akar benar-benar dapat tertandai.

Sebagai contoh adalah dalam suatu percobaan BATAN, Azolla yang ditandai di lapang dengan menambah ^{15}N dengan %e.a. 90%, maka Azolla yang ditandai hanya mempunyai %e.a. ^{15}N 3 – 5%.

Harga senyawa ^{15}N akan semakin tinggi dengan meningkatnya %e.a. ^{15}N . Pada tahun 2000, harga ^{15}N -urea dengan %e.a. ^{15}N 90% dapat mencapai \$300/g. Untuk percobaan rumah kaca dibutuhkan paling sedikit 10 g, untuk percobaan lapang dibutuhkan paling sedikit 50g. Untuk laboratorium dengan dana terbatas maka penggunaan ^{15}N dengan %e.a. tinggi menjadi mahal.

- Kerugian yang dapat terjadi, adalah untuk mengelola, peralatan infus di rumah kaca, yang cukup panas dan terbuka, akan terjadi banyak

gangguan, macetnya saluran, terlalu cepat alirannya karena suhu tinggi sehingga malah melimpah keluar.

- Di lapangan gangguan akan cukup banyak, peralatan infus dapat diganggu burung, tikus, dll, serta adanya hujan tropis yang lebat.

Mengingat bahwa untuk lab kami hambatan untuk menerapkan “infus” tanaman cukup besar, maka kami mencoba untuk menerapkan nilai-A pada penentuan sumbangan BBT.

2. Cara teknik nilai – A

Percobaan pot dengan ^{15}N

Perlakuan : I. tanah, tanpa akar + ^{15}N

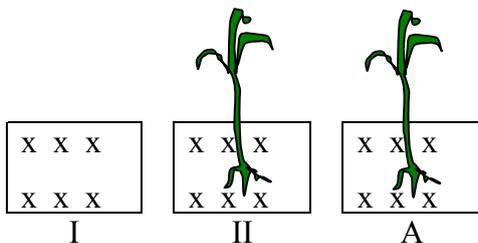
II. tanah + akar + ^{15}N

Tiap pot diisi dengan 3 kg tanah kering udara.

Sambil menyiapkan pot untuk perlakuan I dan II, disiapkan juga 4 – 5 pot (A) untuk menentukan bobot kering akar, %N-to akar.

Sebelum tanah yang telah dikeringanginkan dimasukkan, tanah diayak melalui ayakan 2 mm, agar residu tanaman, akar dsb dapat dibersihkan.

Tahap I.

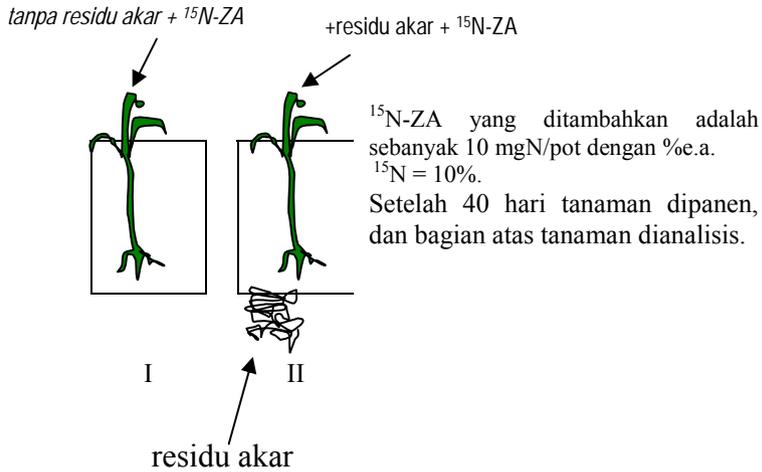


Pada perlakuan I, II dan A ditambah N, P dan K tidak bertanda, berturut-turut dengan takaran 100 kgN/ha, 60 kgP/ha dan 60 kgK/ha.

Setelah tanaman berbunga, tanaman dipanen bagian atas dan ditinggalkan akarnya.

Untuk perlakuan A digunakan bagi penentuan bobot kering akar dan %N-total (%N-to). Misalnya dari 5 pot diperoleh data bahwa bobot kering rata-rata = 2 g dengan %N-to = 1.2, maka serapan N-total = $2 \text{ g} \times 1.2\% = 24 \text{ mgN}$.

Tahap II.



Pada tahap I dan II digunakan tanaman jagung. Seperti sebelumnya dibuat tabel sebagai berikut :

	Residu akar (mgN)	^{15}N -ZA yang ditambahkan (mgN)	Bobot kering (g)	%N-to	Serapan N-to (mgN)	% ^{15}N - bdZA
Perlakuan I	0	10	30	1.35	40.5	40
Perlakuan II	24 ^x	10	50	1.15	57.5	25

^x berasal dari perlakuan A

Perhitungan

Perlakuan I

$$\%N\text{-bd}^{15}\text{N-ZA} = 40 ; \%N\text{-bdt} = 100 - 40 = 60$$

Maka

$$\frac{40}{10} = \frac{60}{\text{A-tanah}}$$

$$\text{A-tanah} = 15 \text{ mgN/pot setara unit ZA}$$

Perlakuan II

$$\%N\text{-bd}^{15}\text{N-ZA} = 25 ; \%N\text{-bdt} + \text{bd akar} = 100 - 25 = 75$$

$$\frac{25}{10} = \frac{75}{A\text{-tanah} + A\text{-akar}} \rightarrow \begin{aligned} A\text{-tanah} + A\text{-akar} &= 30 \text{ mgN/pot setara unit ZA} \\ A\text{-akar} &= 30 - 15 = 15 \text{ mgN/pot setara ZA} \end{aligned}$$

Maka

Dari perhitungan fraksionisasi :

$$\frac{25}{10} = \frac{\%N\text{-bd tanah}}{15} = \frac{\%N\text{-bd akar}}{15}$$

$$\%N\text{-bd tanah} = 37.5$$

$$\%N\text{-bd akar} = 37.5$$

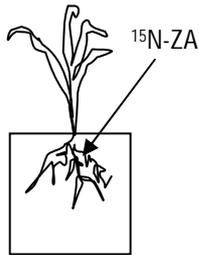
$$\%^{15}\text{N-ZA} = \frac{25.0}{100\%} +$$

Pada tubuh tanaman akan ditentukan

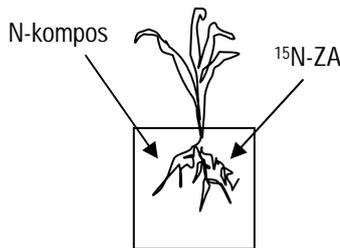
$$\text{Serapan N - bd}^{15}\text{N-ZA} = 25\% \times 57.5 = 14.375$$

$$\text{Serapan N - bd tanah} = 37.5\% \times 57.5 = 21.563$$

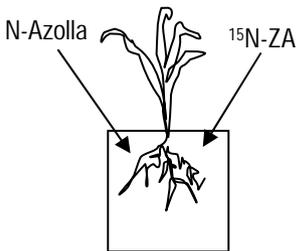
$$\text{Serapan N - bd akar} = 37.5\% \times 57.5 = \underline{21.563} + 57.501 = 57.5$$



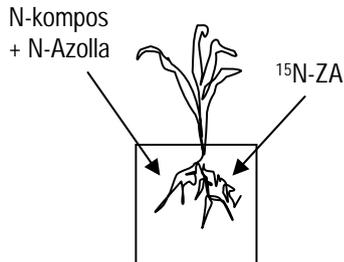
Perlakuan I



Perlakuan II



Perlakuan III



Perlakuan IV

Perlakuan I : tanpa kompos + tanpa Azolla + N-tanah + ¹⁵N-ZA (20 mgN/pot)

Perlakuan II : N-tanah + N-kompos + ¹⁵N-ZA (20 mgN/pot)

Perlakuan III : N-tanah + N-Azolla + ¹⁵N-ZA (20 mgN/pot)

Perlakuan IV : N-tanah + N-kompos + N-Azolla + ¹⁵N-ZA (20 mgN/pot)

Buatkan Tabel sebagai berikut :

	Bobot kering (g)	%N-total	Serapan N-total (mgN/pot)	% ¹⁵ N-bdAS
Perlakuan I	20	1.8	32	40
Perlakuan II	30	1.6	48	30
Perlakuan III	35	1.6	56	25
Perlakuan IV	50	1.3	65	15

Perlakuan I

$$\frac{\%N\text{-bd}^{15}\text{N-ZA}}{\text{mg}^{15}\text{N-ZA yang diaplikasi}} = \frac{100 - \%N\text{-bd}^{15}\text{N-ZA}}{\text{A-tanah}} \rightarrow \frac{40}{20} = \frac{60}{\text{A-tanah}}$$

A-tanah = 30 mg N setara dengan unit mg N-ZA

Perlakuan II

$$\frac{\%N\text{-bd}^{15}\text{N-ZA}}{\text{mg}^{15}\text{N-ZA yang diaplikasi}} = \frac{100 - \%N\text{-bd}^{15}\text{N-ZA}}{\text{A-tanah} + \text{A-kompos}} \rightarrow \frac{30}{20} = \frac{70}{\text{A-tanah} + \text{A-kompos}}$$

A-tanah + A-kompos = 46.67 → A-kompos = 46.67 – 30 = 16.67 mg N setara mg N-ZA

Dari hubungan fraksionisasi :

$$\frac{30}{20} = \frac{\%N\text{-bdt}}{\text{A-tanah}} = \frac{\%N\text{-kompos}}{\text{A-kompos}} \rightarrow \frac{30}{20} = \frac{\%N\text{-bdt}}{30} = \frac{\%N\text{-bd kompos}}{16.67}$$

$$\%^{15}\text{N-ZA} = 30\%$$

$$\%N\text{-bdt} = 45\%$$

$$\%N\text{-bd kompos} = 25\%$$

Perlakuan III

$$\frac{\%N\text{-bd}^{15}\text{N-ZA}}{\text{mg}^{15}\text{N-ZA yang diaplikasi}} = \frac{100 - \%N\text{-bd}^{15}\text{N-ZA}}{\text{A-tanah} + \text{A-Azolla}} \rightarrow \frac{25}{20} = \frac{75}{\text{A-tanah} + \text{A-Azolla}}$$

A-tanah + A-Azolla = 60 mg N setara unit mg N-ZA

A-Azolla = 60 – 30 = 30 mg N setara unit ZA

Dari hubungan fraksionisasi :

$$\frac{30}{20} = \frac{\%N\text{-bdt}}{\text{A-tanah}} = \frac{\%N\text{-kompos}}{\text{A-kompos}}$$

$\%^{15}\text{N-ZA} = 25\%$

$\%N\text{-bdt} = 37.5\%$

$\%N\text{-bd Azolla} = 37.5\%$

Perlakuan IV

$$\frac{\%N\text{-bd}^{15}\text{N-ZA}}{\text{mg}^{15}\text{N-ZA yang diaplikasi}} = \frac{100 - \%N\text{-bd}^{15}\text{N-ZA}}{\text{A-tanah} + \text{A-kompos} + \text{A-Azolla}} \rightarrow \frac{15}{20} = \frac{100 - 15}{\text{A-tanah} + \text{A-kompos} + \text{A-Azolla}}$$

A-tanah + A-kompos + A-Azolla = 113.33

A-kompos + A-Azolla = 113.33 – 30 = 83.33

Karena diasumsikan unit kompos dan Azolla diserap tanaman dalam perbandingan unit yang tetap maka,

$$\text{A-kompos} = \frac{\text{A-kompos (perlakuan II)}}{\text{A-kompos (perlakuan II) + A-Azolla (perlakuan II)}} \times 83.33$$

$$\text{A-kompos} = \frac{16.67}{16.67 + 30} \times 83.33 = 29.76 \text{ mg N setara unit mg N-ZA}$$

Maka A-Azolla = 83.33 – 29.76 = 53.57 mg N setara mg N-ZA atau

A-Azolla = 30/46.67 x 83.33 = 53.57 mg N setara mg N-ZA

Dari hubungan fraksionisasi :

$$\frac{30}{20} = \frac{\%N\text{-bdt}}{30} = \frac{\%N\text{-bd kompos}}{29.76} = \frac{\%N\text{-bd Azolla}}{53.57}$$

$$\begin{aligned}
 \%^{15}\text{N-ZA} &= 15\% \\
 \% \text{N-bdt} &= 22.50\% \\
 \% \text{N-bd kompos} &= 22.32\% \\
 \% \text{N-bd Azolla} &= \frac{40.18\% +}{100\%}
 \end{aligned}$$

4. Penggunaan Autoradiografi

Kadangkala dalam hal hubungan tanah – tanaman tidak dibutuhkan perhitungan berdasarkan cpm atau dpm. Dalam beberapa hal yang ingin diketahui misalnya adalah bagaimana erapan P pada agregat tanah yang telah ditambahkan dengan bahan organik atau untuk melihat apakah satu akar (dari satu bagian perakaran) atau perakaran utuh dapat membawa nutrisi tanaman yang sama ke bagian atas. Dalam hal ini ^{32}P sama baiknya ke bagian atas tanaman.

Di bawah ini ada beberapa contoh.

Serapan P oleh agregat utuh dengan menggunakan ^{32}P

Kegiatan ini menguji apakah terjadi pengurangan kepadatan agregat setelah menerima pupuk.

Pada percobaan ini digunakan 3 ukuran agregat yaitu,

1. > 4.8 mm
2. 2.8 – 4.8 mm
3. 2.0 – 2.8 mm

Sedangkan pada tanah dari mana contoh tanah untuk agregat diambil telah diberikan ;

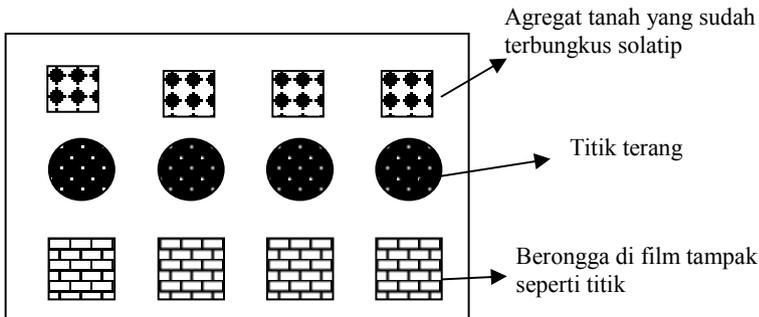
- A. tanpa pemberian bahan organik (kontrol)
- B. pemberian bahan organik 5 ton / ha
- C. pemberian bahan organik 10 ton / ha

Kemampuan Akar Menyerap Unsur Hara

Acapkali timbul pertanyaan apakah untuk menyerap nutrisi, tanaman memerlukan seluruh sistem perakarannya, ataukah cukup sebagian, atau malah hanya “satu” akar sudah mencukupi untuk menyerap nutrisi untuk seluruh tanaman. Untuk hal ini dapat digunakan autoradiografi. Caranya akan diterangkan sebagai berikut :

Cara kerja,

1. Contoh agregat tanah yang sudah dikering udarakan dengan ukuran tertentu 2 – 4 ; 8 mm direndam dalam larutan ^{32}P yang diketahui aktivitasnya selama 24 jam
2. Agregat yang sudah direndam dalam larutan ^{32}P dikering-udarakan di atas kertas saring.
3. Setelah cukup kering, agregat dibungkus dengan parafin cair dan dibiarkan memadat
4. Kemudian agregat yang telah terbungkus parafin diiris dengan ukuran sekitar 0.5 mm.
5. Irisan agregat tanah dibungkus pada solatip bening.
6. Contoh agregat tanah yang sudah terbungkus solatip ditempelkan pada film radiografi selama 24 jam

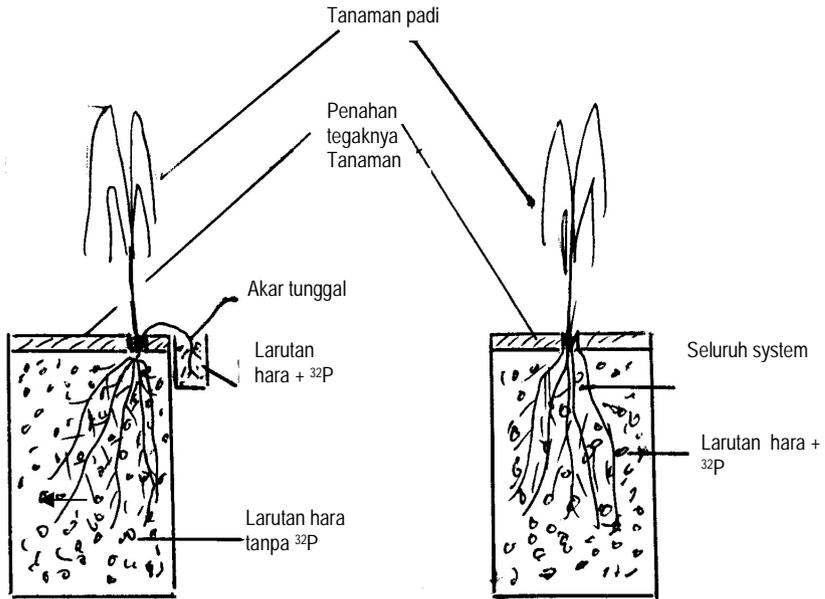


Gambar. Foto agregat pada film autoradiografi.

Makin banyak titik terang, makin tidak padat agregat, karena makin berongga

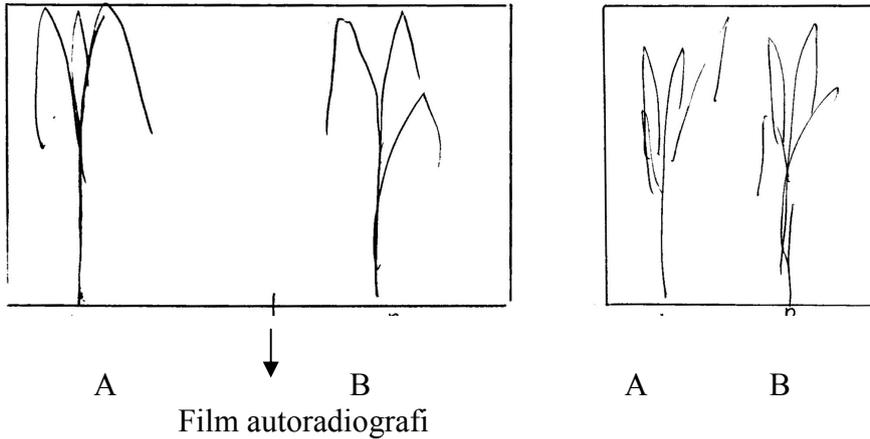
Penggunaan autoradiografi untuk menguji penyerapan P oleh akar tunggal dan seluruh akar

Pada kegiatan ini di uji apakah tanaman padi dengan akar tunggal dapat menyerap unsur hara P sama baiknya dengan serapan oleh seluruh sistem perakaran. Gambar di bawah ini menunjukkan bagaimana kegiatan ini dilakukan.



Gambar : Bagan kegiatan membuat tanaman padi memperoleh P-32 dari satu dan seluruh sistem akar

Hasil autoradiografi menunjukkan bahwa satu akar tanaman mampu menyerap ^{32}P sama seperti seluruh akar.



Bagian atas tanaman ditempel pada film selama 24 jam

Setelah itu film dicuci diperoleh hasil bagian tanaman atas seluruhnya hitam dengan latar belakang terang

- A : tanaman padi yang menyerap ^{32}P dengan satu akar
- B. Tanaman padi yang menyerap ^{32}P dengan seluruh sistem akar

Hasil yang diperoleh dari foto autoradiografi menunjukkan bahwa satu akar tanaman maupun seluruh sistem akar dapat menyerap ^{32}P dan menyalurkannya ke bagian atas tanaman dengan memperlihatkan bagian atas tanaman menjadi hitam pada film yang telah dicuci . tetapi dari aktivitas jenis (cpm/g) terlihat hal yang berbeda

Cpm memperlihatkan hal sebagai berikut :

	T 1	T 2	T 3
	Cpm/g		
B	685	1060	1807
A	74	137	234

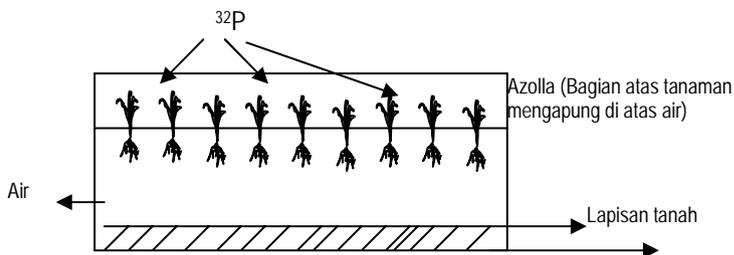
Keterangan : B = tanaman padi yang seluruh sistem akar diaplikasikan dengan ^{32}P
 A = tanaman padi yang hanya satu akar diaplikasikan dengan ^{32}P
 T 1, T 2, T3 = berturut-turut adalah tanaman dipanen 1,3 dan 24 hari setelah aplikasi ^{32}P

Terlihat bahwa seluruh akar lebih banyak menyerap ^{32}P dibanding satu akar. Arti uji coba ini untuk praktek sehari-hari pembenam pupuk jangan bertumpuk di satu tempat, harap diberikan seputar tanaman, atau di kiri-kanan tanaman.

Penggunaan ^{32}P bagi pengujian konsumsi Azolla oleh ikan

1. Penandaan Azolla segar dengan ^{32}P

- Azolla yang telah ditumbuhkan selama satu tahun dalam dua bak semen dengan ukuran 3 m x 1 m x 0,5 m ditandai dengan larutan $\text{KH}^{32}\text{PO}_4$ bebas pengemban ion.
- Larutan $\text{KH}_2^{32}\text{PO}_4$ sebanyak 500 ml ditebar di 25 titik ke dalam bak kemudian di aduk secara perlahan.
- Setelah penmbarian larutan $\text{KH}_2^{32}\text{PO}_4$ pertama, pemberian di ulang sebulan kemudian dengan volume larutan $\text{KH}_2^{32}\text{PO}_4$ yang sama dan cara pemberian yang sama.
- Sebulan setelah pemberian larutan $\text{KH}_2^{32}\text{PO}_4$, Azolla bertanda P-32 dibawa kelapangan untuk dijadikan pakan ikan



Gambar. Bagan bak semen tempat tumbuh Azolla.

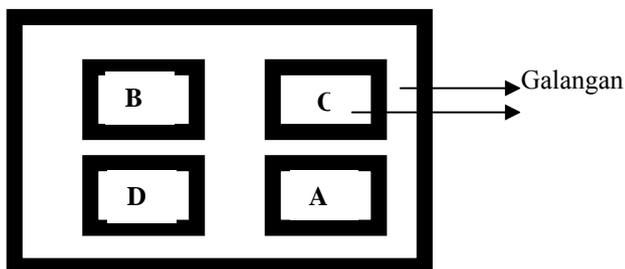
2. Penggunaan Azolla bertanda ^{32}P di lapang

- Sebelum azolla bertanda ^{32}P di bawa ke lapang secara cepat dilaksanakan perhitungan cacahan per menit (cpm) per bobot segar Azolla
- Hasil cacahan adalah sebagai berikut

Bobot Segar (g)	Ulangan I	Ulangan II	Ulangan III
 (cpm)		
1	74160	73213	84626
10	613420	575240	587160
20	1107240	1145660	1126780
30	1685960	1726920	1671180
50	2165729	2371720	2187420
Bg 1	43	28	45
Bg 2	31	46	26

Catatan Bg “Back ground”, untuk Bg digunakan 15 ml air suling
 Tempat uji coba di lapang
 Tempat uji coba terletak di Pusaka Negara, di Kebun Percobaan Departemen Pertanian.
 Dalam uji coba ini di gunakan 4 kolom dengan ukuran 2 m x 2 m.

Bagan dari letak kolom diperlihatkan dibawah ini.



Gambar . Bagan letak kolam padi lapang

Perlakuan untuk tiap kolom adalah sebagai berikut

Kolom	Azolla bertanda ³² P	Dedak padi
A	-	-
B	+	-
C	+	+
D	-	+

Catatan : - dan + berturut-turut berarti, tidak diberi dan diberi Azolla bertanda P-32 atau dedak padi
 - dedak padi adalah pakan ikan yang umum digunakan petani.

- Pada tiap kolom ditanam 6 ekor ikan mas (*Cyprinus carpio*) dengan berat rata-rata 100 g per ekor
- Pada kolom yang menerima Azolla bertanda P-32 dan dedak , di beri 500 g Azolla dan 20 g dedak setiap setiap hari selama satu minggu
- Panen ikan pertama dilaksanakan tiga minggu setelah ikan ditanam. Kemudian disusul dengan panen kedua dan ketiga yang dilaksanakan berturut-turut satu minggu dan dua minggu setelah panen pertama.

3. Data yang dikumpulkan

Data yang dikumpulkan adalah antara lain,

- kandungan radioaktivitas Azolla segar dinyatakan dalam cpm/g bobot kering
- kandungan radioaktivitas air kolam (cpm/15 ml)
- kandungan radioaktivitas badan ikan yang dilakukan per bagian badan, yaitu daging, usus dan tulang dinyatakan dalam cpm/bobot kering.

Data yang diperoleh adalah

	Panen I	Panen II	Panen III
Air (cpm/15 ml)			
A	362	Bg*	B6
B	59	102	90
C	42	712	110
D	160	Bg	Bg
Azolla tersisa (cpm/g bobot kering)			
A	69	TS	TS
B	TS **	TS	TS
C	TS	TS	TS
D	498	TS	TS
Ikan (cpm/g bobot kering)			
A daging	211	859	Bg
Usus	261	621	Bg
tulang	281	644	Bg
B daging	3280	16243	4361
Usus	56645	15976	1345
tulang	44376	13964	10763

C	daging	35513	18636	4987
	Usus	34660	7637	8289
	tulang	58720	42836	12638
D	daging	246	442	Bg
	Usus	297	1772	Bg
	tulang	181	375	Bg
	Bg-1	35	30	31
	Bg-2	36	46	26

- Catatan : * BG = Back ground nilai berkisar antara 20 – 47

**Ts = tidak tersisa, Azolla tidak tampak lagi di permukaan air kolam

Adanya radioaktivitas pada kolam yang tidak diberi Azolla bertanda ^{32}P diduga disebabkan melimpahnya air dari kolam B dan C (diberi Azolla bertanda ^{32}P) kedalam kolam-kolam A dan D

Dari uji coba ini terbukti ikan mas memakan Azolla, dengan ditemukannya radioaktivitas di dalam usus dan tertumpuk di tulang.

Kesimpulan : ^{32}P dengan mudah dan baik dapat digunakan untuk membuktikan ikan mas memang mengkonsumsi Azolla walaupun juga diberikan bersama dedak.

3. Penggunaan ^{32}P bagi penentuan tanggap P tanaman pangan dalam simulasi dari suatu sistem tumpang-gilir.

P-pupuk yang diaplikasikan adalah sebagai berikut,

	Takaran (mg P pot ⁻¹)	Persentase P-total %P ₂ O ₅
OP	0	0
FA 1 (impor)	348.3	27
FA 2 (lokal)	335.3	26
FA 3 (lokal)	335.3	26
TSP	58.05	45

Catatan : FA 1 = fosfat alam impor dari Maroko,

FA 2 dan FA 3 = fosfat alam lokal berturut-turut berasal dari Lumajang dan Bojonegoro

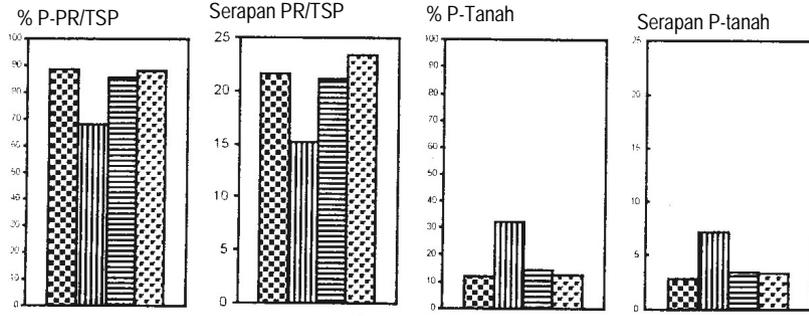
Semua takaran P mulai 0 P sampai dengan TSP di tambah ^{32}P dengan aktivitas jenis yang sama yaitu : 225 $\mu\text{Ci/ml}^{-1}\text{pot}^{-1}$

Simulasi tumpang gilir sebagai berikut

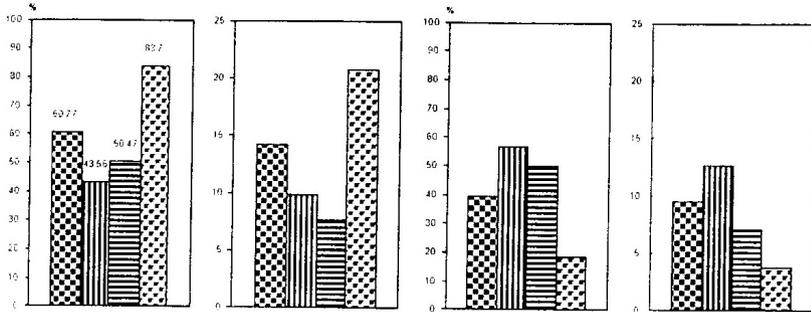
	Padi gogo	Kedelai	Kacang hijau
Aplikasi larutan $\text{KH}_2^{32}\text{PO}_4$ bebas pengemban ion P	1-8-1995	2-11-1995	20-3-1996
Penanaman tanaman + N + K	8-8-1995	7-11-1995	1-4-1996
Panen	25-9-1995	2-1-1996	10-5-1996

Catatan : setelah padi dipanen dilangsungkan menanam kedelai setelah kedelai dipanen dilangsungkan dengan menanam kacang hijau

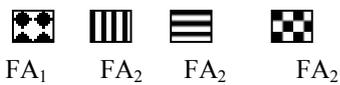
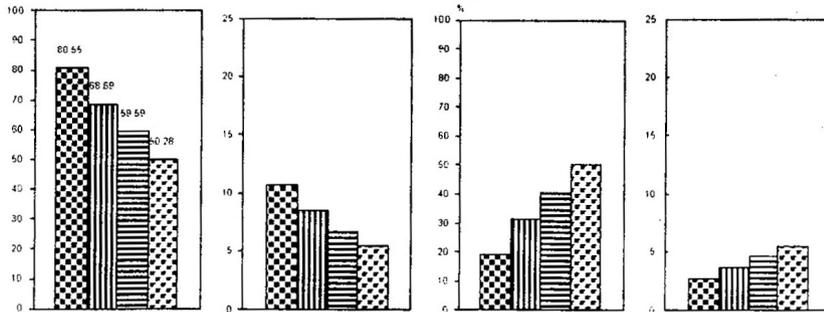
Padi gogo



Kedelai

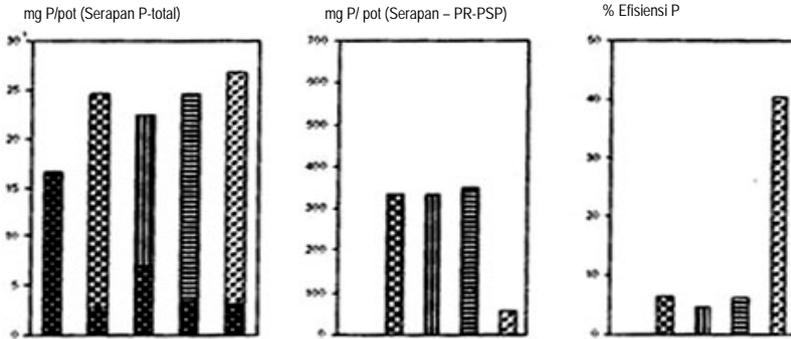


Kacang hijau

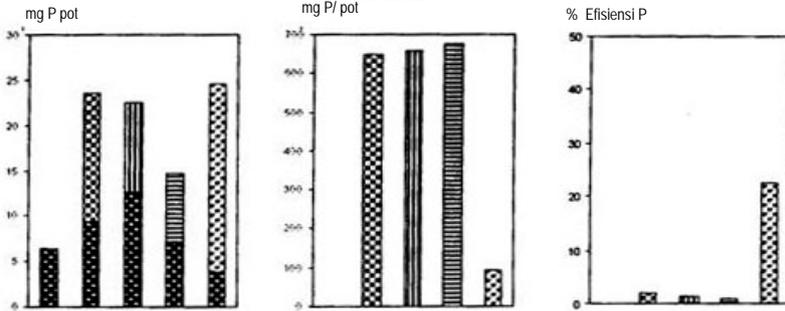


Gambar. Persentase serapan P-PR/TSP dan tanah.

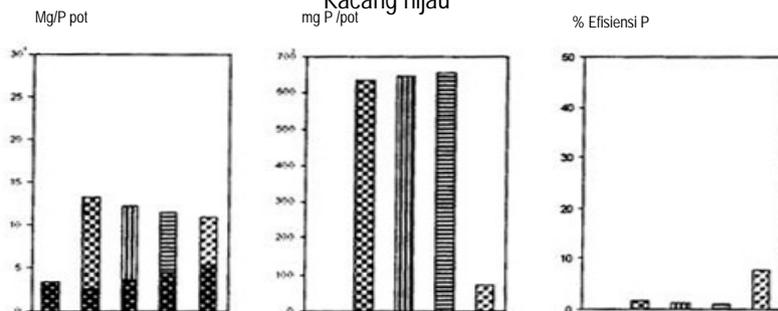
Padi gogo



Kedelai



Kacang hijau



FA₁ FA₂ FA₂ FA₂ P-tanah

Gambar. Serapan dan efisiensi P-PR/TSP dan tanah

Dari gambar bahwa dengan melanjutnya tumpang gilir P-pupuk yang diberikan makin tinggi menumpuk dalam tanah, tetapi penyerapan P-pupuk semakin menurun. Akibatnya P-efisiensi makin menurun pula.

Penggunaan Rb-86 sebagai pelacak kalium

Rb-86 adalah pengganti pelacak bagi K sifat fisiologis Rb-86 menyerupai sifat fisiologi K.

Untuk ini maka penelitian mengenai K dapat menggunakan Rb-86 sebagai pelacak

Contoh kegiatan : melacak respon tanaman jagung terhadap pemupukan K

- 48 polibag yang telah diisi 2 kg kering udara
- Perlakuan : Ko = 0ppm K
K1 = 100 ppmK
K2 = 200 ppm K
K3 = 300 ppm K
- Setelah tanah dicampur dengan K, kemudian ditanami 5 biji jagung
- Setelah 1 minggu tanaman diperjarang menjadi 1 tanaman
- Setelah tanaman berumur 10 hari seluruh polibag ditambahkan 100 ml Rb-86 dengan aktivitas jenis 10 $\mu\text{Ci}/5\text{ ml}$
- Setelah tanaman berumur 40 hari, tanaman dipanen untuk kemudian diproses sampai siap cacah bagi Rb-86
- Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut :

Kalium (ppm)	Ulangan	Kadar K (%)	Serapan K-Total (mgK/pot)	Serapan K berasal dari pupuk		Efisiensi K (%)
				(%)	(mgK/pot)	
0	1	0.094	22.212	0	0	0
	2	0.108	19.753	0	0	0
	3	0.095	21.489	0	0	0
	Rerata	0.029	210151			
100	1	0.147	31.065	21.51	6.798	3.40
	2	0.159	29.097	16.28	4.737	2.37
	3	0.129	26.639	4.36	1.161	0.58
	Rerata	0.145	28.934	14.050	4.232	2.116
200	1	0.167	34.319	36.82	12.636	3.16
	2	0.162	41.861	26.91	11.265	2.82
	3	0.150	37.650	12.03	4.529	1.13
	Rerata	0.160	37.943	25.253	9.477	2.369
300	1	0.170	49.266	26.11	12.863	2.54
	2	0.170	40.417	27.31	11.151	1.86
	3	0.170	40.885	37.10	15.168	2.53
	Rerata	0.170	45.523	30.173	13.061	2.177

Catatan :

- Perhitungan K-berasal dari pupuk dilakukan menggunakan metode nilai A
- Kadar K, serapan K-total, persentase K-berasal dari pupuk, serapan K-berasal dari pupuk meningkat dengan meningkatnya aplikasi K
- Efisiensi K-pupuk tidak berubah yaitu setara 2%

Penggunaan Zn-65 bagi penentuan ketersediaan Zn-tanah

Di daerah Pasir Pangairan Riau yang sebelumnya merupakan daerah penghasil jeruk yang cukup memadai, pada tahun 2000 mulai tampak penurunan produksi. Dari berbagai pengamatan salah satu penyebabnya diduga adalah terjadinya kekahatan Zn-tanah. Penyebabnya antara lain diduga pemupukan dengan N, P dan K selama bertahun-tahun dengan dosis yang cukup tinggi telah menyebabkan terkurasnya Zn tanah oleh tanaman jeruk.

Catatan : ^{86}Rb dan ^{65}Zn adalah radioisotop pemancar sinar γ , maka contoh yang mengandung ^{86}Rb dan ^{65}Zn dicacah menggunakan 'gamma counter'.

Contoh kegiatan

- tanah jenis inceptisol berasal dari daerah Pasir Pangairan, Riau yang merupakan daerah penghasil jeruk dikering-udarkan. Enam puluh polibag diisi dengan tanah kering udara.
- Polibag ditanami dengan stek jeruk yang rata-rata berumur sama dan mempunyai tinggi dan jumlah daun yang hampir sama.
- Pada saat bibit jeruk berumur 4 hari, Zn-65 diaplikasikan dalam bentuk larutan $^{65}\text{ZnSO}_4$ bebas pengemban ion sebanyak $100\text{ }\mu\text{Ci/ml}$ sebanyak 10 ml untuk setiap polibag
- Hasil yang diperoleh adalah,

Serapan Zn dari berbagai sumber

Pupuk-Zn	Zn-65			Zn-pupuk			Zn-tanah			Efisiensi		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
A ₁ :10 ppm	0.764	10.49	0.940	85.708	93.023	75.991	72.748	72.367	88.611	6.50	8.84	7.35
A ₂ :20 ppm	0.546	1.220	0.806	117.083	136.041	119.505	53.118	84.593	76.276	3.76	4.17	4.78
A ₃ :30 ppm	0.694	0.749	0.532	105.714	130.168	115.644	67.150	51.723	50.194	3.59	3.59	2.91
A ₄ :40 ppm	0.877	0.588	0.833	110.071	66.232	97.202	84.041	38.541	79.211	2.47	2.57	2.51

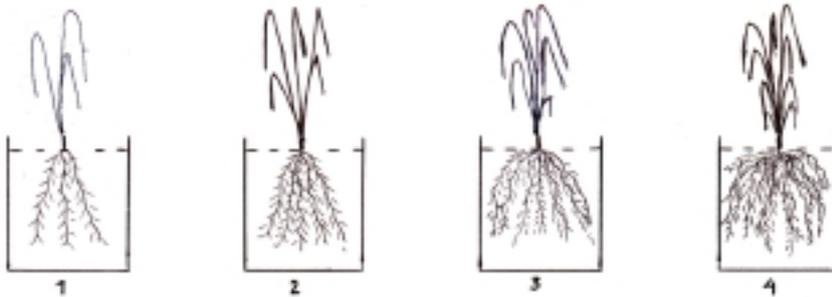
Catatan

- Zn pupuk dan Zn-tanah dihitung menggunakan metode nilai A
- Zn pupuk yang digunakan adalah ZnSO₄ > H₂O
- Dari data di atas terlihat bahwa tanaman lebih banyak menggunakan Zn-pupuk dari pada Zn-tanah.

Penggunaan ^{15}N untuk Menghitung Sumbangan N mikroba Pelarut N

Pada saat ini untuk mengurangi penggunaan pupuk kimia seperti urea atau SP-36 dicarikan alternatif penggunaan mikroba yang mampu melarutkan N atau P yang “dipegang” partikel tanah sehingga tidak tersedia bagi tanaman. Dengan memasukan mikroba pelarut N atau P yang semula tidak tersedia bagi tanaman menjadi tersedia.

Penggunaan mikroba pelarut N



Pot 1 = perlakuan 1 = tanpa mikroba pelarut N dan tanpa urea = $0\text{ M} + 0\text{ U}$

Pot 2 = perlakuan 2 = dengan mikroba pelarut N dan tanpa urea = $\text{M} + 0\text{ U}$

Pot 3 = perlakuan 3 = tanpa mikroba pelarut N dengan urea = $0\text{ M} + \text{U}$

Pot 4 = perlakuan 4 = dengan mikroba pelarut N dengan urea = $\text{M} + \text{U}$

Seperti telah diajukan, untuk hal ini digunakan metode nilai – A .

Untuk hal ini pada setiap pot diberi ^{15}N dengan jumlah yang sama.

Setiap pot : diberi 333 mg urea $^{15}\text{N} = 150\text{ mg }^{15}\text{N}$ aturan eksekusi 10%

- Pada pot yang diberi mikroba (M) diberi dalam jumlah yang tertentu untuk perlakuan 1 dan 4 sama jumlahnya.
- Pada pot yang menerima urea (U) di beri urea yang sama jumlahnya yaitu setara 90 kg N/ha

Data yang harus dikumpulkan adalah :

- bobot kering
- %N-total
- Serapan N-total
- %N-berasal dari urea bertanda ^{15}N

	Bobot kering (g)	% N-to	Serapan N-to (mg N)	% a.e Urea ¹⁵ N	% a.e tanaman	% ¹⁵ N tanaman
OM + OU	10	2.12	212	10	2.011	20.11
M+ OU	12	2.70	324	10	1.519	15.19
O + U	17	2.95	501.5	10	1.012	10.12
M + U	25	2.07	517.5	10	0.725	7.95

N-to = N-total

- * Urea bertanda ¹⁵N diberikan sebanyak 150 mg ¹⁵N pada tiap pot

- % a.e tanaman diperoleh melalui analisis

- % ¹⁵N = $\frac{\% \text{ a.e tanaman}}{\% \text{ urea } ^{15}\text{N}} \times 100$ contoh : $\frac{2.001}{10} \times 100 = 20.11$

Perhitungan selanjutnya :

Perlakuan 1

% ¹⁵N = 20.11; % N berasal dari tanah (% N-bdt): 100 – 20.11 = 79.89

$$\frac{\% \text{ } ^{15}\text{N}}{\text{ } ^{15}\text{N aplikasi}} \quad \frac{\% \text{ N bdt}}{\text{A-tanah}} \quad \rightarrow \quad \frac{20.11}{150} \quad \frac{79.89}{\text{A-tanah}}$$

A tanah = 595.90 mgN – setara mg N urea

Perlakuan 2

% N = 15.19; % N berasal dari tanah + mikroba

% N – bd(t+m) = 100 – 15.19 = 84.81

$$\frac{\% \text{ } ^{15}\text{N}}{\text{ } ^{15}\text{N aplikasi}} \quad \frac{\% \text{N-bd(t+m)}}{\text{A – bd(t+m)}} \quad \frac{15.1}{9} \quad \frac{84.81}{\text{A – t + m}}$$

A-t + m = 837.49 Am = A – t + m – A.t

Am = 837.49 – 595.90 = 241.59 mg N setara mg N urea

Perlakuan 3

% ¹⁵N = 10.12; % N berasal dari tanah + urea

% N bd(t+u) = 100 – 10.12 = 89.82

$$\frac{\% \text{ } ^{15}\text{N}}{\text{ } ^{15}\text{N aplikasi}} \quad \frac{\% \text{ N bd (t+u)}}{\text{A – bd(t= u)}} \quad \rightarrow \quad \frac{10.12}{150} \quad \frac{89.88}{\text{A – t + u}}$$

A – t + u = 1332.21 Au = A – t + u – A u

Au = 1332.21 – 595.90 = 736.31 mg N setara mg N urea

Perlakuan 4

$$\% \text{ }^{15}\text{N} = 7.95;$$

% N –berasal dari tanah + mikroba + urea

$$A \text{ bd } (t + m + u) = 100 - 7.95 = 92.05$$

$$\frac{\% \text{ }^{15}\text{N}}{\text{}^{15}\text{N aplikasi}} \quad \frac{\% \text{ N-bd}(t + m + u)}{A\text{-bd } (t + m + u)} \rightarrow \frac{7.95}{150} \quad \frac{92.05}{A - (t + m + u)}$$

$$A - (t + m + u) = 1736.79$$

$$A - (m + u) = 1736.76 - 595.90 = 1140.89 \text{ setara mg N urea}$$

Rekapitulasi data nilai A

	Nilai A (setara mg N urea)			
	A – tanah	A – mikroba	A – urea	A –kikroba + urea
OM + OU	595.90	0	0	0
M+ OU	595.90	241.59	0	0
O + U	595.90	0	736.31	0
M + U	595.50			1140.89

Perlakuan 1

$$\% \text{ }^{15}\text{N} = 20.11; \quad \% \text{ N –bdt} = 100 - 20.11 = 78.89$$

Pada perlakuan ini hanya ada 2 sumber yaitu sumber dari ^{15}N dan N-bdt.

Perlakuan 2

$\% \text{ }^{15}\text{N} = 15.19$; maka dari hubungan

$$\frac{\% \text{ }^{15}\text{N}}{\text{}^{15}\text{N aplikasi}} \quad \frac{\% \text{ N-tanah}}{595.90} \quad \frac{\% \text{ N – M}}{241.59} \quad \frac{15.19}{150} \quad \frac{\% \text{ N-t}}{959.90} \quad \frac{\% \text{ N – M}}{241.59}$$

$$\text{}^{15}\text{N} = 15.19; \quad \% \text{ N-t} = 60.34; \quad \% \text{ N –M} = 24.47$$

Perlakuan 3

$$\% \text{ }^{15}\text{N} = 10.12;$$

$$\frac{\% \text{ }^{15}\text{N}}{\text{}^{15}\text{N aplikasi}} \quad \frac{\% \text{ N-tanah}}{\% \text{ N –tanah}} \quad \frac{\% \text{ N – U}}{736.31}$$

$$\frac{10.12}{150} \quad \frac{\% N-t}{595.90} \quad \frac{\% N-U}{736.31}$$

$$\% ^{15}N = 10.12; \% N-t = 40.20; \% N-u = 49.68$$

Perlakuan 4

$$\% ^{15}N = 7,95$$

$$\frac{\% ^{15}N}{^{15}N \text{ aplikasi}} \quad \frac{\% N\text{-tanah}}{595.90} \quad \frac{\% N + m + U}{1140.89} \quad \frac{7.95}{150} = \frac{\% N-t}{595.90} = \frac{\% N - M + U}{1140.89}$$

$$\% ^{15}N = 7.95; \% N-t = 31.58; \% N - M + U = 60.47$$

Rekapitulasi % N – dari berbagai sumber

	% N berasal dari				
	Tanah	Mikroba	Urea	M + U	% ¹⁵ N
OM + OU	79.89	0	0	0	20.11
M+ OU	60.34	24.47	0	0	15.19
O + U	40.20	0	49.68	0	10.12
M + U	31.58	0	0	60.47	7.95

Khusus untuk perlakuan 4 :

$$\% ^{15}N = 7.95 \rightarrow \frac{7.95}{150} \frac{\% N\text{-bd}(M+U)}{A (M = U)} \quad \frac{7.95}{150} = \frac{92.05}{A - M + U}$$

$$A - M + V = 1140.89$$

Asumsi A-urea adalah suatu yang tetap maka $A - U = 736.31$ mg N (lihat Tabel 1)

$$\text{Maka } AM = AM+ U - AU = 1140.89 - 736.31 = 404.58$$

$$\frac{7.95}{150} = \frac{\% N-t}{595.5} = \frac{\% N-M}{404.58} = \frac{\% N-U}{736.31}$$

$$\% N-15 = 7.95$$

$$\% N-t = 31.58$$

$$\% N - M = 21.44$$

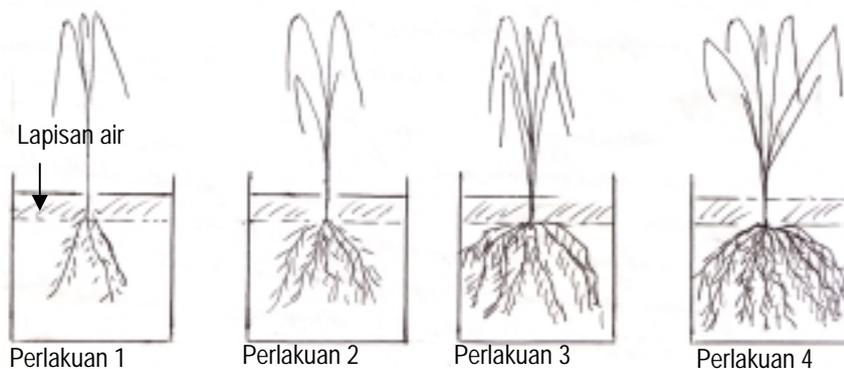
$$\% N - U = 39.03$$

Menghitung kemampuan bakteri pelarut-P sebagai penyumbang P bagi tanaman.

Menurut banyak peneliti di Indonesia tanah dilahan pertanian terutama di Pulau Jawa mengandung P yang cukup tinggi. Hal ini disebabkan karena lahan pertanian telah diaplikasi dengan pupuk kimia sumber P selama puluhan tahun. Namun sayangnya residu-P berasal dari pupuk menjadi P yang terikat sehingga tidak tersedia bagi tanaman.

Berbagai cara telah dilakukan untuk membuat P yang tidak tersedia menjadi tersedia. Hal yang dapat dilakukan adalah “memancing” P tidak tersedia dengan mendorong pertumbuhan akar menjadi lebat. Di asumsikan bila akar menjadi lebat, maka diharapkan akar akan mampu lebih banyak menyentuh partikel tanah. Dengan demikian akar dapat “membongkar” P yang tidak tersedia menjadi tersedia. Cara lain yang akhir-akhir ini menarik perhatian, yaitu penggunaan bakteri pelarut P diharapkan bakteri pelarut P ini dapat melarutkan P tidak tersedia menjadi tersedia seberapa besar bakteri pelarut-P dapat melaksanakan tugasnya secara kuantitatif dapat diukur dengan metode isotop.

Pelaksanaan kegiatan : Padi sawah



Perlakuan yang diterapkan

	Bakteri Pelarut P	Pupuk-P SP-36	³² P
Perlakuan 1	-	-	+
Perlakuan 2	+	-	+
Perlakuan 3	-	+	+
Perlakuan 4	+	+	+

Keterangan

- = tanpa

+ = dengan

- semua perlakuan diberi ³²P dengan jumlah yang sama = 300 μ Ci/100 mg P (100 mg/kg tanah)
- ³²P yang digunakan adalah TSP-bertanda ³²P
- Hasil yang diperoleh :

	Cpm	Dpm
Perlakuan 1	3219/ mg P	8047.5 /mg P
Perlakuan 2	2621 mg P	6552.5/mg P
Perlakuan 3	2300/mg P	5750.0/mg P
Perlakuan 4	2100 /mg P	5250.0/mg P

$$\text{Dpm} = \frac{\text{cpm}}{\text{Efisiensi alat}}$$

Efisiensi alat = 40 % (0.4) untuk pengukuran ³²P dengan metode Cerenkov.

Perlakuan 1 : cpm = 3219/mg P → dpm = 3219/0.4 = 8047.5 / mg P.

Perhitungan % P untuk tiap sumber P.

Dpm TSP –bertanda ³²P = 30000/mg P/kg tanah.

Perlakuan 1

$$\% \text{ P-bd pupuk (\% P-bdp)} = \frac{8047.5}{30000} \times 100 \% = 26.83$$

cacahan pupuk = TSP-bertanda ³²P.

% P-bdp = 26.83; % P-bd tanah (% P-bdp) = 100 – 26.83 = 73.17

dari hubungan penggunaan fraksional :

$$\frac{6.83}{100} = \frac{73.17}{A\text{-tanah}} ; A \text{ tanah} = 272.72 \text{ mg P/kg tanah setara TSP}$$

Perlakuan 2

$$\% \text{ P-bdp} = \frac{6552.5}{30000} \times 100 \% = 21.84$$

$$\% \text{ P-bd tanah + mikroba} = 100 - 21.84 = 78.16$$

Dari hubungan fraksional

$$\frac{21.8}{100} = \frac{78.16}{A \text{ tanah + mikroba}} ; A \text{ tanah + mikroba} = 357.88$$

$$A \text{ mikroba} = A_{\text{mikroba + tanah}} - A \text{ tanah} = 357.88 - 272.72 = 85.16 \text{ mg P/kg tanah setara TSP}$$

Perlakuan 3

$$\% \text{ P-bdp} = \frac{57500}{30000} \times 100 \% = 19.17$$

$$\% \text{ P-bd tanah + SP-36} = 100 - 19.17 = 80.83$$

Dari hubungan fraksional

$$\frac{19.17}{100} = \frac{80.83}{A \text{ tanah + SP-36}} ; A \text{ tanah + TSP} = 421.65$$

$$A \text{ SP-36} = A \text{ tanah + SP-36} - A \text{ SP-36} = 421.65 - 272.72 = 148.93 \text{ mg P/kg tanah setara TSP}$$

Perlakuan 4

$$\% \text{ P-bdp} = \frac{5250.0}{30000} \times 100 \% = 17.50$$

$$\% (\text{P tanah + SP-36 + mikroba}) = 100 - 17.50 = 82.50$$

A-tanah + SP-36 + mikroba

$$A (\text{tanah + SP-36 + mikroba}) = 471.43 \text{ mg P/kg tanah setara TSP}$$

$$A (\text{SP-36 + mikroba}) = 471.43 - 272.72 = 198.71$$

Persentase P-berasal dari berbagai sumber

Perlakuan 2

Hubungan fraksional :

$$\frac{21.84}{100} = \frac{\%P-t}{272.72} = \frac{\% P-m}{85.16} \quad \begin{array}{l} t = \text{tanah} \\ m = \text{mikroba} \end{array}$$

$$\% P\text{-bdp} = 21.84$$

$$\% P\text{-bdt} = 59.56$$

$$\frac{\% P\text{-bdm}}{100.00\%} = 18.60 +$$

Perlakuan 3

$$\text{Hubungan fraksional} \quad \frac{19.17}{100} = \frac{\% P\text{-dt}}{272.72} = \frac{\% P\text{-SP36}}{148.93}$$

$$\% p\text{-bdp} = 19.17$$

$$\% P\text{-bdt} = 52.28$$

$$\frac{\% P\text{-bd Sp36}}{100.00\%} = 28.55 +$$

Perlakuan 4

$$\text{Hubungan fraksional} \quad \frac{17.50}{100} = \frac{\% P\text{-bdt}}{272.72} = \frac{\% P\text{-mt + SP36}}{198.71}$$

$$\% P\text{-bdp} = 17.50$$

$$\% P\text{-bdt} = 47.73$$

$$\frac{\% P\text{-bd - m + SP36}}{100.00\%} = 34.77 +$$

Catatan khusus untuk perlakuan 4

Asumsi P-SP36 > P-m

A SP-36 = 148.93 (perlakuan 3)

Maka A M = 198.71 - 148.93 = 49.78

$$\frac{17.50}{100} = \frac{\% P\text{-bdt}}{272.72} = \frac{\% P\text{-bdSP36}}{148.93} = \frac{\% P\text{-bdm}}{49.78}$$

% P-bdp	=	17.50
% P-bdt	=	47.73
% P-SP36	=	26.06
% P – m	=	8.71 +
		100.00%

Rekapitulasi data persentase berbagai sumber P

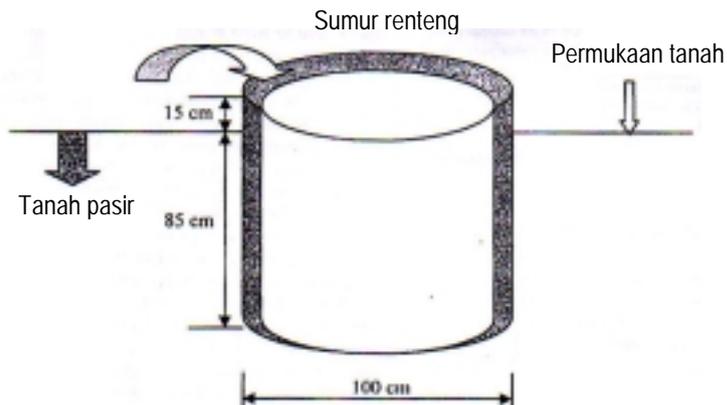
		% P-berasal dari			
		TSP-P32*	Tanah	Mikroba	SP-36
Perlakuan 1 = OP	+ P-32	26.83	73.17	0	0
Perlakuan 2 = P – m	+ P-32	21.84	59.56	18.60	0
Perlakuan 3 = P – SP36	+ P-32	19.17	52.28	0	28.55
Perlakuan 4 = a) P – m + P-SP36	+ P-32	17.50	47.73	34.77	
	b) f	17.50	47.73	8.71	26.06

- TSP bertanda ³²P
- Semua data % diperoleh dari tanaman

Penggunaan neutron probe dalam percobaan pertanian

Lokasi : Percobaan dilaksanakan di Pantai Selatan Daerah Khusus Yogyakarta (DIY), Kabupaten Bantul Kecamatan Patihan Sanden, Desa Srigading. Keadaan lahan dengan luas 1 ha adalah pasir 97%, lempung 0 %, liat 3 %.

Fasilitas irigasi : 65 sumur rentang disebar pada luasan 1 ha dengan bagan sebagai berikut.



Gambar. Diagram sumur rentang

Neutron probe :

- Neutron probe yang digunakan adalah Troxler Model 3430
- Pembacaan data menggunakan neutron probe dilakukan dari pukul 09.00 – 14.00, dengan interval 30 menit

Perlakuan

Perlakuan yang diterapkan adalah

K = kontrol tanpa tanaman

A = pupuk kandang + pupuk kimia

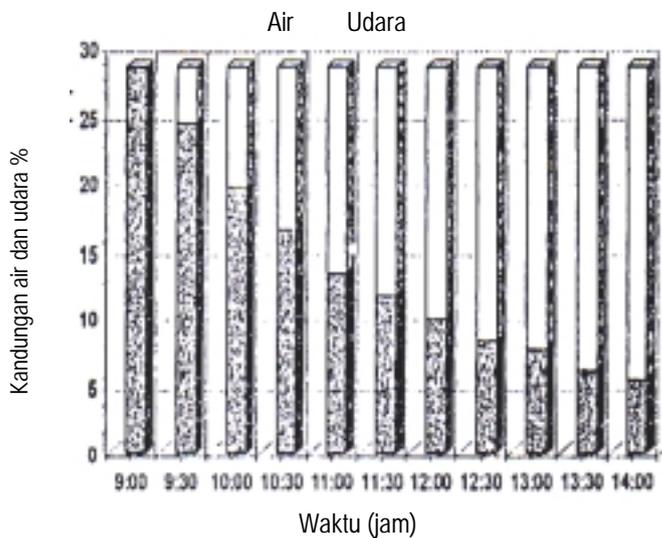
B = pupuk kandang + pupuk hijau

C = pupuk kandang + abu vulkanik

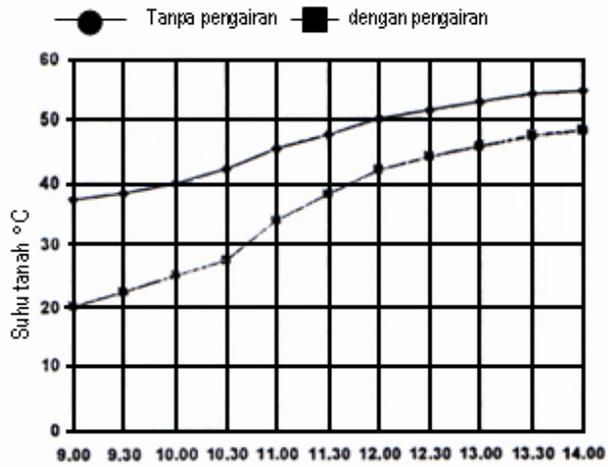
D = pupuk kandang + A + B + C

E = pupuk kandang

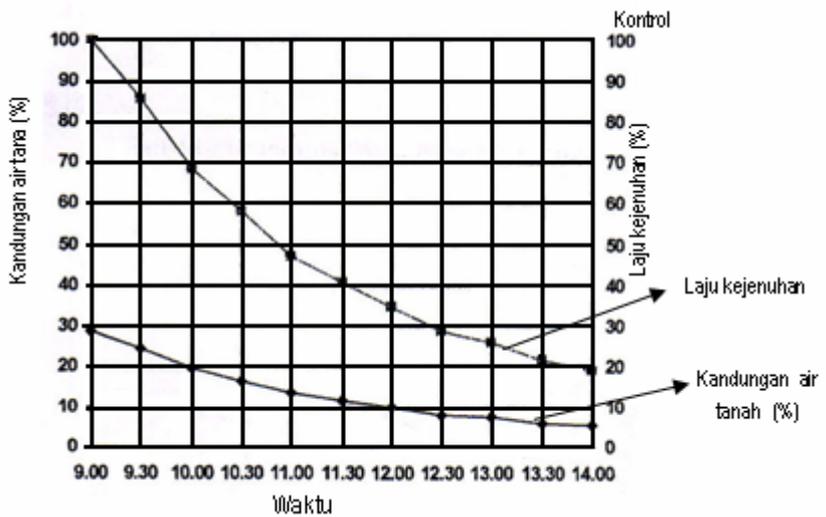
Hasil yang diperoleh :



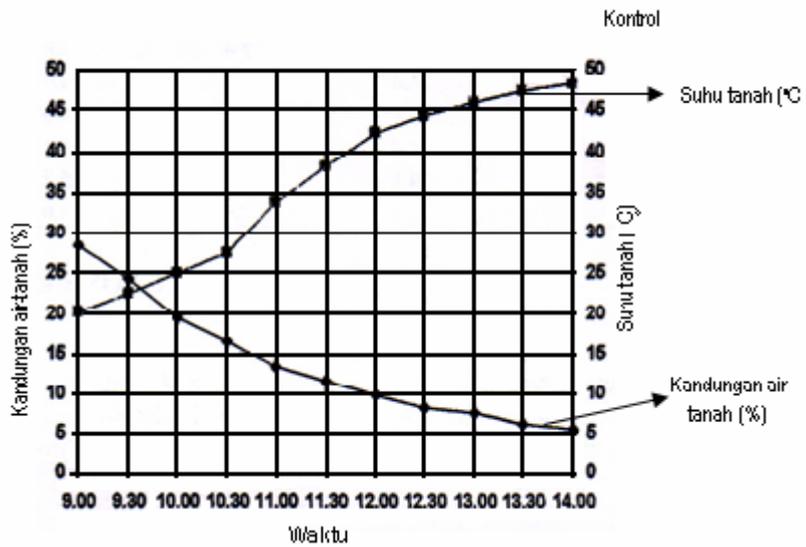
Gambar. Perubahan kandungan tanah-udara dengan bertambahnya waktu



Gambar. Perubahan suhu tanah dengan bertambahnya waktu



Gambar kandungan laju air tanah serta kejenuhan dengan bertambahnya waktu



Gambar. Hubungan antara kandungan air-tanah dan suhu tanah

Catatan :

Data yang disajikan pada 3 gambar di atas berasal dari petak kontrol, yaitu petak tanpa tanaman

Tabel. Kandungan air tanah (%) pada petak yang ditanami tanaman pada waktu yang berbeda

	Kandungan air-tanah (%) pada waktu pembacaan yang berbeda					
	I		II		III	
	g	s	g	s	g	s
K	28.5 (9.00)	25.5 (9.01)	21.8 (9.51)	19.8 (9.52)	10.2 (11.55)	9.6 (12.06)
B	18.7 (9.05)	15.8 (9.10)	10.1 (10.25)	9.2 (10.30)	7.3 (11.12)	7.0 (11.15)
A	17.6 (9.20)	16.5 (9.25)	12.4 (10.40)	11.8 (10.45)	8.8 (11.40)	8.2 (11.45)
E	18.00 (9.30)	16.6 (9.35)	15.6 (9.55)	14.8 (14.08)	9.6 (11.00)	9.4 (11.05)
C	25.7 (9.40)	23.6 (9.42)	21.2 (10.10)	18.6 (10.35)	13.8 (11.00)	14.6 (11.17)
D	22.06 (9.45)	21.6 (9.50)	16.8 (10.05)	16.8 (10.07)	11.4 (11.30)	10.2 (11.35)

Catatan :

K = petak kelompok tanpa tanaman

A, B, C, D, E = Perlakuan yang diterapkan

I, II, III = ulangan (petak ulangan)

Angka dalam kurung () = adalah waktu pembacaan neutron probe

Nilai petak percobaan B, A, E, C, D adalah petak yang ditanami dengan sorgum.

Tabel. Kapasitas kejenuhan, kapasitas lapang, koefisien layu, dan ketersediaan air pada petak percobaan

Perlakuan	Kapasitas		Koefisien	Ketersediaan
	Kejenuhan (%)	Lapang (%)	Layu (%)	Air (%)
Kontrol : petak tanpa tanaman	28.5	9.0	4.0	5.0
A : pupuk kandang + pupuk kimia	25.0	9.1	4.0	5.1
B : pupuk kandang + pupuk hijau	20.6	8.5	4.0	4.5
C : pupuk kandang + abu vulkanis	34.5	15.2	7.1	8.1
D : pupuk kandang + A + B + C	30.5	11.2	5.2	6.0
E = pupuk kandang	26.1	8.9	4.0	4.9

Tabel 1. Isotop pelacak utama yang digunakan dalam penelitian hubungan tanah-tanaman

Unsur	Kelimpahan isotop utama	Isotop pelacak	Sifat isotop	Aplikasi khusus
Carbon	¹² C	¹¹ C	Radioaktif (R) T ½ = 20.5 menit (m) Pemancar β(1 MeV)	Penggunaan terbatas, karena waktu paruh
		¹² C	Stabil (S), kelimpahan (KA) = 98.892%	Mekanisme reaksi bahan organik (b.o) - studi b.o. tanah (b.o.t) - translokasi C
		¹³ C	S, KA = 1.108 % Deteksi rasio ¹³ C/ ¹² C menggunakan spectrometer massa (SM)	
		¹⁴ C	R, T ½ = 5720 tahun (t) Pemancar β (0.156 MeV) dicacah menggunakan Liquid scintillator counter (LSC)	Studi fotosintesis dan translokasi C, studi b.o.t. dan neraca C
Hidrogen	¹ H	² H Deuterium	S, KA = 0.0149% Deteksi rasio ² H/ ¹ H dengan SM	Studi pergerakan air dan biokimia
		³ H Tritium	- R, T ½ = 12.3 t Pemancar β lemah (0.0181 MeV) dicacah menggunakan LSC	- studi pergerakan air, metabolisme
Oksigen	¹⁶ O	¹⁶ O		Studi : fotosintesis,

Unsur	Kelimpahan isotop utama	Isotop pelacak	Sifat isotop	Aplikasi khusus	
Nitrogen	¹⁴ N	¹⁷ O	S, KA = 0.037 %	respirasi, b.o.t, ekologi	
		¹⁸ O	S, KA = 0.204 % deteksi semua isotop oksigen dilakukan menggunakan SM		
		¹³ N	R, T $\frac{1}{2}$ = 10 m Pemancar β (1.2 MeV) dan γ (0.511 MeV)		- penggunaan terbatas karena waktu paruh pendek - Studi fiksasi N ₂ dan denitrifikasi dalam jangka waktu pendek
		¹⁴ N	S, KA = 99.634 %, deteksi rasio ¹⁵ N/ ¹⁴ N dengan SM atau spectrometer optikal (SO)		- studi : efisiensi penggunaan pupuk dengan penekanan pengkayaan ¹⁵ N
Fosfor	³¹ P	¹⁵ N	S, KA = 0.366 %, deteksi rasio ¹⁵ N/ ¹⁴ N dengan SM atau SO	- studi : efisiensi penggunaan N, fiksasi N ₂ biologis, neraca N, dalam tanah, ketersediaan N-berasal dari b.o., nutrisi hewan	
		³² P	R, T $\frac{1}{2}$ = 14.3 h Pemancar β kuat (1.71 MeV) dicacah menggunakan LSC atau Geiger Muller (GM)	Studi : efisiensi penggunaan P, residu P tanah, pertukaran P dalam tanah, pola perakaran tanaman semusim dan tahunan (pohon), distribusi akar dalam tanah, evaluasi agronomis fosfat alam (FA), ketersediaan P-residu, kerekatan partikel tanah	
		³³ P	R, T $\frac{1}{2}$ = 25 h Pemancar β kuat (0.248 MeV) dicacah menggunakan LSC	Studi : autoradiografi akar, difusi P dalam tanah, penandaan ganda (³² P dan ³³ P) untuk pola perakaran, efisiensi penggunaan pupuk	

Unsur	Kelimpahan isotop utama	Isotop pelacak	Sifat isotop	Aplikasi khusus
Kalium	³⁹ K	⁴⁰ K	R, T $\frac{1}{2}$ = 1.3×10^9 t β (1.3 MeV), pencacahan dengan metode Cerenkov menggunakan LSC; γ (1.46 MeV) pencacahan dengan γ counter S, kelimpahan alami = 6.77 %	- pertukaran K dalam tanah Secara potensial dapat berguna Mekanisme penyerapan ion, terbatas karena waktu paruh pendek dalam hitungan jam
		⁴¹ K		
		⁴² K	R, T $\frac{1}{2}$ = 12.4 jam (J) β (3.5 dan 2.0 MeV) metode cerenkov menggunakan LSC γ (1.52 MeV) cacahan menggunakan γ counter	
		⁸⁶ Rb	R, T $\frac{1}{2}$ = 18.7 t β (1.8 dan 0.7 MeV) dicacah dengan metode Cerenkov menggunakan LSC dan γ (1.08 MeV) pencacahan GM atau γ counter	Substitusi untuk pelacak K
Calcium	⁴⁰ Ca	⁴⁵ Ca	R, T _{1/2} = 165 h β (0.252 MeV), pencacahan menggunakan LSC	Studi : Ca-tanah (penyerapan ion, pertukaran Ca) dan pergerakan Ca dalam tanah (dengan autoradiografi) KTK, mekanisme penyerapan air
		⁸⁵ Sr	R, T $\frac{1}{2}$ = 64 h γ (0.514 MeV) pencacahan menggunakan LSC-Cerenkov	
		⁸⁹ Sr	R, T $\frac{1}{2}$ = 52.7 h β (1.463 MeV) pencacahan menggunakan LSC-Cerenkov	Substitusi bagi pelacak Ca
Magnesium	²⁴ Mg	²⁶ Mg	S, kelimpahan alami = 11.29 %	Secara potensial berguna polusi lingkungan, Penelitian ekologi dan kedokteran
		²⁸ Mg	R, T $\frac{1}{2}$ = 21.3 h, β (0.5 MeV) dan juga γ (0.03; 0.4; 0.95; 1.35 MeV)	Pergerakan dalam tanaman

Unsur	Kelimpahan isotop utama	Isotop pelacak	Sifat isotop	Aplikasi khusus
Sulfur	³² S	³⁴ S	S, kelimpahan alami = 4.25%	Secara potensial berguna polusi lingkungan, Penelitian ekologi dan kedokteran
Nutrisi Mikro Besi	⁵⁶ Fe	³⁵ S	R, T $\frac{1}{2}$ = 87 h, β (0.165 MeV) dicacah dengan LSC	Penyerapan dari atmosfer (SO ₂), "recycling di padang rumput, ketersediaan dalam tanah
		⁵⁵ Fe	R, T $\frac{1}{2}$ = 2.6 t pencacahan dengan LSC	Studi : kesuburan dan erosi tanah, pergerakan di dalam tanaman dan tanah, ketersediaan dalam tanah
		⁵⁹ Fe	R, T $\frac{1}{2}$ = 45.6 h β (0.475; 0.273 MeV) dan γ (1.1, 1.29 MeV) pencacahan dengan LSC dan γ -Counter	
Tembaga	⁶³ Cu	⁶⁴ Cu	R, T $\frac{1}{2}$ = 12.8 h β (0.6 dan 0.7 MeV) dan γ (1.34 MeV) pencacahan dengan LSC dan γ -Counter	- mempelajari keberadaannya dalam larutan tanah - pergerakan air dalam tanaman dan tanah
		⁶⁵ Cu	S, kelimpahan alami 30.9 %	Dapat digunakan secara potensial untuk studi nutrisi tanah
		⁶⁷ Cu	R, T $\frac{1}{2}$ = 5 – 7 h β (0.6 MeV) dan γ (1.43; 0.94; 0.74; 0.84 MeV) pencacahan dengan LSC dan γ -Counter	
Seng	⁶⁴ Zn	⁶⁵ Zn	R, T $\frac{1}{2}$ = 245 h β (0.327 MeV) dan γ (1.115 MeV) pencacahan pakai γ -Counter	- Khelat dalam larutan tanah - ketersediaan Zn tanah - pergerakan Zn dalam tanaman dan tanah

Unsur	Kelimpahan isotop utama	Isotop pelacak	Sifat isotop	Aplikasi khusus
Mangan	⁵⁵ Mn	⁵² Mn ⁵⁴ Mn	R, T $\frac{1}{2}$ = 5.7 h β (0.6 MeV) dan γ (1.43; 0.94; 0.74; 0.86 MeV) R, T $\frac{1}{2}$ = 314 h γ (0.835 MeV)	- Khelat dalam larutan tanah - Ketersediaan dari tanah - Pergerakan dalam tanaman dan tanah
Molybdenum	⁹⁶ Mo	⁹⁶ Mo	R, T $\frac{1}{2}$ = 66.7 j β (1.2; 0.45 MeV) dan γ (0.74, 0.18, 0.78, 0.37 dan 0.041 MeV)	Nutrisi tanaman
Nutrisi lain Sodium	²³ Na	²² Na ²⁴ Na	R, T $\frac{1}{2}$ = 2.6 t β (0.5 MeV) dan γ (1.27 MeV) R, T $\frac{1}{2}$ = 15 j β (1.4 MeV) dan γ (2.75, 1.35 MeV)	
Cesium	¹³³ Cs	¹³⁴ Cs ¹³⁷ Cs	R, T $\frac{1}{2}$ = 2.046 t β (0.662, 0.089 MeV) dan γ (0.57, 0.605, 0.662 MeV) R, T $\frac{1}{2}$ = 30 t β (1.176, 0.514 MeV) dan γ (0.514 MeV)	- Erosi dan kesuburan tanah - Pergerakan sedimen - Erosi dan kesuburan tanah ("radioactive fallout")
Aluminium	²⁷ Al	²⁶ Al	R, T $\frac{1}{2}$ = 7.4×10^5 t β (3.21, 1.16 MeV) dan γ (1.83, 1.12 MeV)	

DAFTAR PUSTAKA

1. **SISWORO, E.L.**, Pengaruh pemberian nitrat pada pertumbuhan *barley* yang tergenang. Hasil Penelitian 1975 – 1976, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, badan Tenaga Atom Nasional, 72 -78
2. **SISWORO, E.L.**, Pengaruh penggenangan terhadap susunan tanah dan pertumbuhan tanaman. I. Pengaruh terhadap perkembangan akar dan pertumbuhan *barley*, Majalah BATAN Vol. VIII No. 1 (1975) 34 – 43.
3. **SISWORO, E.L.**, Pengaruh penggenangan terhadap susunan tanah dan pertumbuhan tanaman. II. Pengaruh terhadap perubahan bagian-bagian tanah, Majalah BATAN Vol. VIII No. 2 (1975) 12-25
4. **SISWORO, E.L.**, Pengaruh penggenangan terhadap susunan tanah dan pertumbuhan tanaman. III. Pengaruh Penyemprotan 6-(Benzyl amino) purine terhadap pertumbuhan tanaman *barley* yang digenangi, Pusat Penelitian Pasar Jumat (PPJ/T.54/1975)
5. **SISWORO, E.L.**, Peranan akar dan cara mempelajarinya dengan teknik isotop, Majalah BATAN, Vol. IX, No. 1 (1976) 56-67 (Tinjauan Pustaka)
6. **SISWORO, E.L.**, Influence of water logging on root development and growth of barley, Proc 3rd ASEAN Soil Conf., Kuala Lumpur (Government of Malaysia) *1975) 505 – 513.
7. **SISWORO, E.L.**, Root and growth of rice variety Pelita I/1 in relation to different fertilizers placement in the soil, Atom Indonesia, Vol. 6, No. 1 (1980) 15 – 28
8. **SISWORO, E.L.**, Pengaruh penempatan pupuk pada pertumbuhan akar dan bagian atas tanaman kedelai, Majalah BATAN XVI No. 1 (1983) 46-66
9. **SISWORO, E.L.**, Menghitung kemampuan fiksasi tanaman kedelai dengan metode ¹⁵N, Hasil Penelitian 1981 – 1987, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Atom Nasional.
10. **SISWORO, E.L.**, Penentuan fiksasi N₂-udara dengan metode perbedaan dan teknik ¹⁵N pada kedelai, Majalah BATAN, Vol. XXI, No. 1 / 2 (1988) 15 – 23.

11. **PATTIRADJAWANE, E.L., dan SISWORO, W.H.**, Pemberian bahan organik tanaman pada kondisi reduktif II. Pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan penyerapan unsur hara fosfor oleh tanaman padi, Pusat Penelitian Pasar Jumat (p2PSJ/T.20/1973)
12. **SISWORO, E.L., SUMANGGONA, A.M.R, dan SISWORO, W.H.**, Pengaruh kekeringan dan penempatan pupuk terhadap pertumbuhan dua varietas padi. Hasil Penelitian 1988 – 1990, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN, 321 – 334
13. **SISWORO, E.L., RASJID, H., SUMANGGONO, A.M.R., dan SISWORO, W.H.**, Influence of changing the soil conditions on growth of two rice varieties, Hasil Penelitian 1981 – 1987, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN, 406-419 ISSN 0215-9576.
14. **SISWORO, E.L., DARMAWIJAYA, M.I. ABDULLAH, N., dan RASJID, H.**, Mempelajari distribusi akar tanaman teh dengan teknik nuklir, Aplikasi Teknik Nuklir di Bidang Pertanian dan Peternakan, Ris. Pert. Ilmiah, BATAN, Jakarta (1985) 279 – 290.
15. **SISWORO, E.L., dan RASJID, H.**, mempelajari pertumbuhan dan perkembangan sistem perakaran tanaman dengan teknik isotop, Majalah BATAN Vol, X, No. 3, (1977) 41 – 52
16. **SISWORO, E.L., SIAWORO, W.H., and RASJID, H.**, The use of nuclear technique for determination of root distribution in the field, Atom Indonesia, Vol. X, No. 1 (1984) 12 – 22
17. **SISWORO, E.L., RASJID, H., SISWORO, W.H., SANTOSO, J., SUKASMONO, and WIBOWO, S.**, Choosing plant parts to be used in root pattern determination of Chinchona ledgeriana, Moens, Indon. J. Trop. Agric. Vol. I (1) (1989) 17 – 19
18. **SISWORO, E.L., ESKEW, D.L., SISWORO, W.H., RASJID, H., KADARUSMAN, H., SOLAHUDIN, S., and SOEPARDI, G.**, Studies on the ability of *Azolla*-N to for rice growth using ¹⁵N, Plant and Soil 128 (1990) 209 - 220
19. **SISWORO, E.L., SISWORO, W.H., RASJID, H.**, Contribution of *Azolla*-N and N-urea residues for the increase of rice production, Atom Indonesia, Vol. 16 (112), January/July (1990) 16-36
20. **SISWORO, E.L., SISWORO, W.H., RASJID, H., and SOLAHUDIN, S.**, Ability of *Azolla*-N and urea-N to increase rice yield using ¹⁵N as a tracer, Indon. J. Trop. Agric. 3 (1) (1981) 16-26

21. **SISWORO, E.L., SISWORO, W.H., RASJID, H., HENDRATNO, K., and DJAWANAS, M.**, The use of nuclear techniques to study fertilization and N₂-fixation of soybean, WIMAYA No. 14 Vol. VII, Desember 1992, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, 44-63. ISSN 0215-4579
22. **SISWORO, E.L., RASJID, H., SISWORO, W.H., WEMAY, J., HARYANTO, and HENDRATNO.** Penggunaan Azolla dalam budidaya Mina-Padi, Aplikasi Isotop dan Radiasi dalam Bidang Pertanian, Peternakan dan Biologi, Ris. Pert. Ilmiah, Jakarta, 9 – 10 Desember 1992, BATAN (1993) 31 – 54.
23. **SISWORO, E.L., RASJID, H., SISWORO, W.H., WEMAY, J., dan DJAWANAS, A.**, Menentukan efisiensi agronomis dan efisiensi fisiologis N-*Azolla* dan N-urea pada padi sawah. Disajikan pada Seminar Biologi Nasional XI, Ujung Pandang, Juli 1993.
24. **SISWORO, E.L., RASJID, H., SISWORO, W.H., WEMAY, J., and HARYANTO** The use of ¹⁵N to determine the N-balance of *Azolla*-N and Urea-N applied to wetland rice, Paper presented at the FAO/IAEA Seminar for Asia and Pacific on the Nuclear Related Methods in Soil/Plant Relation Aspect of Sustainable Agriculture, 5-9 April 1993, Colombo, Sri Lanka, 23 pp.
25. **SISWORO, E.L., GANDANEGARA, S., MITROSUHARDJO, M., RASJID, H., HARYANTO, dan SISWORO, W.H.**, Penerapan teknik nuklir dalam tanah dan nutrisi, Simp. Pen Tan. Pangan III, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Jakarta/Bogor, 23-25 Agustus 1993.
26. **SISWORO, E.L., SISWORO, W.H., MITROSUHARDJO, M., and RASJID, H.**, Prospects of rock phosphate utilization in lowland and upland soils to meet requirement of crops, First Research co-ordination Meeting of the FAO/IAEA/French Government co-ordinated Research Programme on “The use of Nuclear and Related Techniques for Evaluating the Agoronomic Effectiveness of Phosporous Fertilizer in Particular Rock Phosphate, 1 – 5 November 1993, Report D1-RC-567-575
27. **DREW, M.C., and SISWORO, E.L.**, Early effects of flooding on nitrogen deficiency and leaf chlorosis in barley, New Phytol. 29 (1977) 567-575.

28. **DREW, M.C., and SISWORO, E.L.**, The development of waterlogging damage in young barley plants in relation to plant nutrient status and changes in soil properties, *New Phytol.* 82 (1979) 301-314
29. **DREW, M.C., SISWORO, E.L., and SAKER, L.R.**, Alleviation of waterlogging damage to young barley plants by application of nitrate and a synthetic cytokinin, and comparison between the effects of waterlogging, nitrogen deficiency and root excision.
30. **HENDRATNO, SISWORO, E.L. dan GANDANEGARA, S.**, Fiksasi N secara simbiotik pada beberapa galur mutan dan varietas kedelai, *Aplikasi Isotop dan Radiasi*, Ris. Simp. III, BATAN, Jakarta, 16-17 Desember 1987
31. **SANTOSO, J., SUKASMONO, WIBOWO, S., SISWORO, E.L., dan RASJID, H.**, Mempelajari pola perakaran aktif tanaman kina, *Aplikasi Isotop dan Radiasi*, Ris. Simposium IV, Jakarta, 13-15 Desember 1989, BATAN (1990) 515-524
32. **RASJID, H., SISWORO, W.H., dan SISWORO, E.L.**, Pengaruh sisa panen terhadap kontribusi pupuk sebagai sumber N dan serapan N dalam pergiliran tanaman, *Hasil Penelitian 1988-1990*, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN, 197-206
33. **DARMAWIDJAYA, M.I., SISWORO, E.L., dan RASJID, H.**, Pola kegiatan akar perdu teh produktif Klon TRI 2025 pada jenis tanah latosol, *Aplikasi Isotop dan Radiasi dalam Bidang Pertanian, Peternakan dan Biologi*, Ris. Pert. Ilmiah, Jakarta 30-31 Oktober 1990, BATAN (1991) 237-245.
34. **DARMAWIJAYA, M.I., SISWORO, E.L., RASJID, H., DAN SISWORO, W.H.**, Pengaruh Kompos Organik terhadap Pertumbuhan Akar aktif perdu The Produktif Klon TRI 2025 pada Jenis Tanah Latosol, *Aplikasi Isotop dan Radiasi dalam Bidang Pertanian, Peternakan dan Biologi*, Ris. Pert. Ilmiah, 9 – 10 Desember 1992 BATAN (1993) 205 – 218
35. **SISWORO, E.L.** Teknik Meneliti Akar Tanaman, *Teknologi dan Bisnis*, Tahun V, No.55 (1991), 74 –75
36. **SISWORO, W.H., dan SISWORO, E.L.**, Pengujian Pupuk Alam dengan Teknik Isotop, *Buletin BATAN*, Vol. VI, (1985) 6 –11

37. **SANTOSO, J., SUKSMONO, SISWORO, E.L. RASJID, H., DAN WIBOWO, S.** Pola Pertumbuhan Aktif Tanaman Kina setelah Stumping, Aplikasi Isotop dan Radiasi dalam Bidang Pertanian, Peternakan dan Biologi, Ris. Pert. Ilmiah, 30 – 31 Oktober 1990 BATAN (1993) 205 – 218
38. **SISWORO, W.H., H.Z. PRELOENGAN, R. MARTOYO, E.L. SISWORO H. RASJID DAN S.RIZAL.** Penentuan efisiensi SP – 36 pada Kelapa Sawit Menggunakan Kandungan ³²P pada Contoh Tanaman dalam Jumlah Kecil, Jurnal Stigma, VIII (2000) 173 – 179.
39. **SISWORO, E.L dan SISWORO, W.H., CITRARESMINI, A.,** Estimation of N₂ Fixation in Legume Trees Using Different Reference Trees, Jurnal Stigma, XI (4) (2003) 322 – 331.
40. **SISWORO, E.L, SISWORO, W.H., CITRARESMINI, A. and IDRIS, K.,** The Use of ¹⁵N to Determine the N-contribution of Alley Crop Cutting to Food Crops, Jurnal Stigma, XIII (2) (2005) 169 – 176
41. **SIMON, P.G., SISWORO, E.L dan RASJID, H.,** Use of a Neutron Probe to Determine Water Characteristics on Sandy Soil in The South Coastal Areas of Special Province Yogyakarta, Jurnal Stigma, XIII (3) (2005) 177 – 183
42. **SISWORO, E.L., CITRARESMINI, A. and IDRIS, K.,** Determination of Below Ground Biomass by Using a Values Methods of ¹⁵N Isotope Techniques, Jurnal Stigma, XIII (3) (2005) 363 – 370
43. **SISWORO, E.L, RASJID, H., SISWORO, W.H., SOLAHUDIN, S., and WEMAY, J.,** Nitrogen Fixation in Legume Trees : Measurement based on ¹⁵N Isotope Techniques, Journal of Nuclear Agriculture and Biology, 28 (3) (1999) 145 – 156
44. **SISWORO, E.L, RASJID, H., IDRIS, K., and RIZAL, S.,** The Response of P derived from Phosphat Rock and TSP by Crops Grown in Simulated Crop Rotation system, Atom Indonesia 26 (1) (2002) 19 – 30
45. **SISWORO, E.L, RASJID, H., SISWORO, W.H., and HARYANTO,** Direct Use of Phosphate Rock to Improve Crop Production in Indonesia , In : Assesment of Soil Phosphorus Status and Management of Phosphorus Fertilizers to Optimize Production, IAEA – TECDOC – 1272 (2002) 275 – 293

46. **KUSUMADEWI, A.A.I., ANAS, I, SANTOSO, D.A., dan SISWORO, E.L.**, Proposi Sumbangan Nitrogen oleh Tanah, Pupuk, dan *Pseudomonas putida* dalam tanaman Sorghum pada Inceptisol Sumatera Selatan, Risalah Pertemuan Ilmiah Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN (2002) 95 – 102
47. **PURNOMO, J., IDRIS, K., SUWARNO, SISWORO, E.L.** Pengaruh Fosfat Alam dan Pupuk kandang terhadap Efisiensi pemupukan P pada Tanah Oxisol Sumatera Barat, Risalah Pertemuan Ilmiah Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN (2002) 305 – 312
48. **SISWORO, E.L., dan SISWORO, W.H.,** The Use of ^{32}P Labelled Azolla to Test Its Consumption by Fish, Indonesian Journal of Tropical Agriculture, 6 (1) (1995) 13 – 16
49. **SISWORO, E.L., SISWORO, W.H., and SYAUKAT, S.H.,** The Use of ^{32}P to Study Root Growth of Soybean as Affected by Soil Compaction, *Aotom Indonesia* 22 (1) (1996) 25 – 39
50. **JULIATI, S., IDRIS, K., RAHIM, R.A., SISWORO, E.L.** Evaluasi Status Zn dan P pada Inceptisol dari Pasir Pangairan dikaitkan dengan Pertumbuhan Jarak, Risalah Pertemuan Ilmiah Pen. Dan Peng. Apl. Isot, dan Rad., BATAN (2005) 125 - 132
51. **MULYATRI,** Pengaruh Pemberian Ammonium dan kalium terhadap Fiksasi dan Ketersediaan K serta Respon Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) pada Tanah Vertisol. Program Pasca sarjana IPB (2003)
52. **International Atomic Energy Agency,** Use of Nuclear Techniques in Studies of Soil – Plant Relationship, Training Course Series No.2, (1990) 2230 pp