



# *Sumber Hara Tanaman*

## Berbahan Baku Lokal

*Ladiyani Retno Widowati, dkk*



# *Sumber Hara Tanaman*

Berbahan Baku Lokal

---



# *Sumber Hara Tanaman*

Berbahan Baku Lokal

Ladiyani Retno Widowati, dkk

**Pertanian Press**  
**2023**

# Sumber Hara Tanaman Berbahan Baku Lokal

@2023 Ladiyani Retno Widowati, dkk

## Penanggung Jawab:

Kepala Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk

## Tim Penulis:

Ladiyani Retno Widowati | Adha Fatmah Siregar | Heri Wibowo | Ibrahim Adamy Sipahutar  
Linca Anggria | Septiyana | Tia Rostaman | Arif Budianto | Ratri Ariani | Kiki Zakiah  
Jelly Amalia Santri | Dinihari Indah Kusumawati | Ema Lindawati | Ulfa Mutammimah

## Penalaah Substansi:

Prof. Dr. Ir. Sudadi, M.P.

## Editor Substansi:

Eni Kustanti  
Kusno Hadiutomo

## Editor Ahli :

Yani Trisnawati

## Penyelaras Bahasa (Editor Mekanis):

Ifan Muttaqien  
Suni Triani

## Desain Sampul & Penata Isi:

Muhamar Alwedi

## KDT

SUMBER hara tanaman berbahan baku lokal / Ladiyani Retno Widowati, Adha Fatmah Siregar, Heri Wibowo, Ibrahim Adamy Sipahutar, Linca Anggria [dan 9 lainnya]. -- Jakarta: Pertanian Press, 2023

xiv, 125 hlm. : illus. ; 21 cm.

ISBN 978-979-582-251-6

eISBN 978-979-582-260-8

1. FERTILIZERS 2. ORGANIC FERTILIZERS 3. MANURES

UDC 631.86/.87

## Penerbit:

**Pertanian Press**

Berkedudukan di Sekretariat Jenderal, Kementerian Pertanian

Jl. Harsono RM No.3, Ragunan, Jakarta Selatan

## Alamat Redaksi :

Pusat Perpustakaan dan Literasi Pertanian

Jl. Ir. H. Juanda No.20 Kota Bogor 16122

Hak cipta dilindungi undang-undang

# Kata Pengantar

Ketahanan pangan merupakan kebijakan yang telah dicanangkan oleh pemerintah dalam salah satunya melalui Gerakan Nasional Pengendalian Inflasi Pangan. Ketahanan pangan yang kuat akan mampu menjaga stabilitas ekonomi nasional di tengah dinamika global. Pembangunan di sektor pertanian harus terus digalakkan oleh pemerintah di semua level masyarakat untuk menjaga ketersediaan dan kestabilan harga pangan. Oleh karenanya tingkat produktivitas dan daya saing produk pertanian harus tetap dipertahankan dan ditingkatkan.

Pemerintah akan terus berupaya agar penyediaan sarana produksi pertanian memenuhi prinsip 6T, yakni tepat waktu, tepat mutu, tepat jenis, tepat jumlah, tepat lokasi, dan tepat harga bagi petani. Kebijakan penyediaan pupuk merupakan bentuk kehadiran Pemerintah dalam membantu petani, dimana pupuk merupakan salah satu komponen penting dalam peningkatan produksi dan produktivitas pertanian. Pemerintah berkomitmen untuk terus mendukung dan memperbaiki tata kelola pupuk dalam pembangunan ekonomi di sektor Pertanian yang lebih inovatif dan adaptif terhadap kemajuan teknologi.

Disisi lain adanya kebijakan perampingan subsidi pupuk oleh pemerintah mengakibatkan tidak semua petani dapat memperoleh pupuk sesuai dengan kebutuhan atau rekomendasi yang diperlukan. Pemerintah melalui Kementerian Pertanian harus memberikan edukasi kepada

masyarakat dan petani untuk mencari dan memanfaatkan alternatif dalam upaya mensubstitusi pupuk anorganik yang saat ini sulit diperoleh dan harganya yang mahal di pasaran.

Buku ***Sumber Hara Tanaman Berbahan Baku Lokal*** ini dapat menjadi acuan bagi petani maupun praktisi di dunia pertanian untuk mendapatkan informasi tentang sumber hara bagi tanaman yang ada di sekitar kita. Diharapkan buku ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak dalam rangka mempertahankan atau meningkatkan produktivitas dan kelestarian lingkungan pertanian sebagai wujud nyata menjaga ketahanan dan kedaulatan pangan nasional.

Bogor, Oktober 2023  
Kepala Balai Besar Pengujian Sumber Daya Lahan Pertanian

Dr. Ir. Rahmawati, MM

# Daftar Isi

Kata Pengantar .....	v
Daftar Isi .....	vii
Daftar Gambar .....	ix
Daftar Tabel .....	xiii
I. Pendahuluan .....	1
II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal.....	5
2.1 Sumber Pupuk Nitrogen (N).....	5
2.2 Sumber Pupuk Fosfor (P).....	17
2.3 Sumber pupuk K (Kalium).....	30
2.4 Sumber Pupuk Kalsium (Ca) .....	40
2.5 Sumber Pupuk Magnesium (Mg) .....	50
2.6 Sumber Pupuk Sulfur (S) .....	57
2.7 Sumber pupuk Mikro (Cu, Zn, Fe, Mn, B).....	67
2.8 Sumber pupuk Mikro (Co, Mo, Na) .....	75
2.9 Sumber Hara Benefisial Silikat.....	82
III. Potensi Pengembangan Pupuk Berbahan Baku Lokal .....	89
IV. Penutup.....	95
Daftar Pustaka .....	101
Biodata Tim Penulis .....	119
Ucapan Terima Kasih .....	125



# Daftar Gambar

Gambar 1	(a) Tanaman Padi kekurangan unsur N, (b) Tanaman Jagung kekurangan unsur K, (c) Tanaman Jagung kekurangan unsur P.....	3
Gambar 2	Larutan Urea Amonium Nitrat .....	6
Gambar 3	Pembuatan pupuk organik dari sisa tanaman.....	7
Gambar 4	Pupuk guano yang berasal dari kotoran kelelawar .....	9
Gambar 5	Pengolahan limbah ternak sapi untuk pembuatan pupuk kompos .....	10
Gambar 6	Tanaman legum (kedelai <i>Glycine max</i> ).....	13
Gambar 7	Siklus nitrogen dari udara hingga penyerapannya dalam tanah .....	14
Gambar 8	Proses fiksasi akar tanaman legum .....	16
Gambar 9	Simbiosis <i>Anabaena azollae</i> dengan tanaman azolla.....	17
Gambar 10	Tambang fosfat di Desa Panaongan, Kecamatan Pasongsongan, Madura .....	20
Gambar 11	Batuan fosfat yang terbentuk dari guano di Cijulang, Jawa Barat dan penambangan fosfat tradisional di Sumenep, Madura.....	21
Gambar 12	Cadangan fosfat alam di Indonesia .....	22
Gambar 13	Tepung ikan (kiri) dan tepung tulang ikan(kanan) sumber P .....	24
Gambar 14	Batang pisang sumber P .....	25

Gambar 15 Dikalsium fosfat sebagai sumber hara P .....	27
Gambar 16 Fosfat alam dari Kabupaten Blora .....	28
Gambar 17 Siklus hara fosfor di alam .....	29
Gambar 18 Jerami padi sebagai sumber K.....	31
Gambar 19 Kulit pisang sebagai sumber hara K .....	33
Gambar 20 Limbah kulit kopi sebagai sumber K.....	34
Gambar 21 Janjang sawit sebagai sumber hara K.....	35
Gambar 22 Fotomikrograf .....	39
Gambar 23 Batu gamping dan aplikasi kapur pada tanah kering masam.....	44
Gambar 24 Cangkang telur sebagai bahan baku pupuk .....	46
Gambar 25 Pemanfaatan limbah ikan menjadi pupuk organik.....	47
Gambar 26 Pupuk kandang sapi .....	49
Gambar 27 Pengomposan dari limbah tandan kosong kelapa sawit .....	50
Gambar 28 Dolomit .....	52
Gambar 29 Limbah ikan sebagai pupuk organik .....	54
Gambar 30 Kotoran ternak sebagai pupuk organik (kiri) dan aplikasi pupuk kandang sebagai penutup pada kegiatan tanam jagung (kanan) .....	55
Gambar 31 Pembuatan pupuk organik dari bahan cangkang telur ....	56
Gambar 32 Pupuk organik sumber hara magnesium dari bahan kulit pisang.....	57
Gambar 33 Limbah kepala ikan sebagai sumber S organik.....	62
Gambar 34 Penambangan belerang dari pegunungan .....	63

Gambar 35 Gypsum bahan tambang sumber hara sulfur ..... 64

Gambar 36 *Fly ash* limbah pembakaran batubara..... 72

Gambar 37 Berbagai jenis bahan organik sebagai sumber pupuk mikro. Searah jarum jam: sisa tanaman, kotoran ternak, serasah, dan batang pohon pisang..... 74

Gambar 38 berbagai jenis limbah industri pangan: kulit nanas, limbah kelapa, dan ampas tebu ..... 75

Gambar 39 Rumput sebagai sumber Co..... 76

Gambar 40 Akar kedelai sumber utama Mo..... 78

Gambar 41 Pembuatan garam dari air laut ..... 80

Gambar 42 Keong mas sebagai sumber Na dari sumber organik ..... 81

Gambar 43 Rumput laut sebagai sumber Na dari sumber organik..... 82

Gambar 44 Jerami padi sebagai bahan baku lokal sumber silika..... 85

Gambar 45 Potensi *fly ash* dari industri energi..... 85

Gambar 46 *Fly ash* (kiri) dan abu vulkan (kanan) sumber silika..... 86

Gambar 47 Produk dekomposer BPSI Tanah dan Pupuk ..... 92

Gambar 48 Perangkat uji pupuk organik ..... 93

Gambar 49 Unit pengolah pupuk organik (UPPO) Desa Ngestiharjo, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulonprogo..... 93



# Daftar Tabel

Tabel 1	Sumber Pupuk N untuk Tanaman.....	6
Tabel 2	Kandungan Hara N pada Kotoran Ternak .....	10
Tabel 3	Kandungan Hara N pada Urine Ternak.....	11
Tabel 4	Kandungan Hara N pada Kompos Sisa Limbah Pangan .....	12
Tabel 5	Kandungan Hara N pada Sisa Panen Tanaman Leguminosa .....	13
Tabel 6	Sumber Pupuk P untuk Tanaman .....	19
Tabel 7	Deposit Fosfat Alam di Indonesia.....	22
Tabel 8	Jumlah Unsur P yang Diserap Tanaman Kelapa Sawit dari Tanah dan Distribusinya dalam Tiap Komponen Tanaman .....	25
Tabel 9	Kandungan P dan Ca dalam Bahan Baku Sumber Mineral .....	26
Tabel 10	Kandungan Hara P pada Urine Ternak.....	29
Tabel 11	Kandungan Hara P pada Kotoran Hewan .....	30
Tabel 12	Sumber Pupuk K untuk Tanaman .....	31
Tabel 13	Perbandingan Kualitas Pupuk Kotoran Sapi, Kambing dan Ayam .....	37
Tabel 14	Kandungan Hara pada Kompos yang Berasal dari Kombinasi Kotoran Sapi, Pelepah Sawit dan <i>Trichoderma harzianum</i> .....	38
Tabel 15	Sumber Pupuk Kalsium (Ca) untuk Tanaman .....	41
Tabel 16	Potensi Batu Kapur di Indonesia .....	42

Tabel 17 Hasil Analisis Batu Kapur di Beberapa Lokasi di Indonesia.....	43
Tabel 18 Komposisi Nutrisi Cangkang Telur .....	45
Tabel 19 Komponen Kimia dalam Pupuk Cangkang Telur.....	46
Tabel 20 Kandungan Hara Beberapa Jenis Kotoran Hewan .....	48
Tabel 21 Kandungan Hara pada Kotoran Ternak Ayam, Kambing, Sapi, dan Kerbau .....	48
Tabel 22 Sumber Pupuk Mg untuk Tanaman.....	51
Tabel 23 Kandungan Unsur Hara Ca, Mg, P, dan S pada Kompos Limbah Ikan .....	53
Tabel 24 Sumber Pupuk S untuk Tanaman .....	58
Tabel 25 Kandungan Sulfur dari Kotoran Hewan (Kohe).....	59
Tabel 26 Sulfur Terangkut dari Beberapa Tanaman Panen .....	60
Tabel 27 Sumber Pupuk Cu untuk Tanaman.....	68
Tabel 28 Sumber Pupuk Zn untuk Tanaman .....	69
Tabel 29 Sumber Pupuk Fe untuk Tanaman .....	70
Tabel 30 Sumber Pupuk Mn untuk Tanaman.....	71
Tabel 31 Sumber Pupuk B untuk Tanaman.....	71
Tabel 32 Kandungan Hara Mikro pada Sumber Pupuk Kandang (Pukan) .....	73
Tabel 33 Sumber Pupuk Co untuk Tanaman.....	76
Tabel 34 Sumber Pupuk Mo untuk Tanaman.....	77
Tabel 35 Sumber Pupuk Na untuk Tanaman.....	79
Tabel 36 Pabrik Pupuk Hijau Berupa Produksi Pangkasan Bahan Hijauan Tanaman ( <i>Alley cropping</i> ) .....	98

# I.

## Pendahuluan

Tanaman baik pangan, perkebunan, hortikultura, dan peternakan akan tumbuh baik bila terpenuhi lima faktor produksinya, yaitu varietas yang unggul dan berpotensi produksi tinggi, pengolahan tanah dengan memperbaiki kondisi tanah melalui penerapan pembenah tanah yang baik dan benar, menerapkan pemupukan berimbang, pengendalian organisme pengganggu tanaman, dan pengelolaan pascapanen yang tepat. Dari kelima faktor produksi tersebut, penerapan pemupukan berimbang menyumbangkan sekitar 25-40% keberhasilan produksi.

Pemupukan berimbang adalah menambahkan sejumlah hara ke dalam tanah dengan memperhatikan ketersediaan hara atau kesuburan tanah, kebutuhan tanaman, dan target produksi yang berkesinambungan. Hara tanah dapat berasal dari dalam tanah dan yang ditambahkan ke tanah dalam bentuk pupuk organik dan anorganik. Tanaman mengambil hara dalam bentuk ion atau senyawa. Tanaman akan tumbuh dan berproduksi optimal bila hara tersedia dalam jumlah yang cukup dan waktu yang tepat.

Akhir-akhir ini telah terjadi kelangkaan dan kenaikan harga pupuk akibat perang Rusia dan Ukraina. Hal ini karena sumber hara tanah tersebut merupakan bahan baku impor dan tanaman tidak dapat menunggu selesainya perang karena akan berpengaruh terhadap proses produksi dan peningkatan produksi.

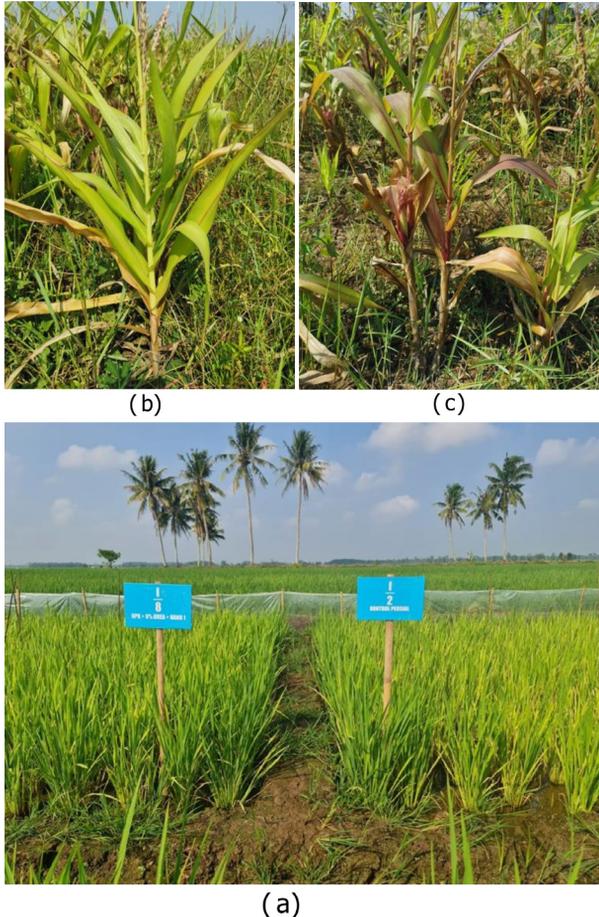
Salah satu kelompok tanaman budidaya yang terkena dampak serius adalah tanaman pangan. Menurut Bulog (2022), pangan merupakan kebutuhan dasar manusia yang harus dipenuhi setiap saat. Hak untuk memperoleh pangan merupakan salah satu hak asasi manusia, sebagaimana tersebut dalam pasal 27 UUD 1945 maupun dalam Deklarasi Roma (1996). Pertimbangan tersebut mendasari terbitnya Undang-Undang Nomor 7 tahun 1996 tentang Pangan. Kemudian Undang-Undang tersebut di perbaharui dengan UU No. 18 tahun 2012 tentang Pangan.

Sebagai kebutuhan dasar dan salah satu hak asasi manusia, pangan mempunyai arti dan peran yang sangat penting bagi kehidupan suatu bangsa. Ketersediaan pangan yang lebih rendah dibandingkan kebutuhannya dapat menciptakan ketidak-stabilan ekonomi. Berbagai gejala sosial dan politik dapat juga terjadi jika ketahanan pangan terganggu. Kondisi pangan yang kritis ini bahkan dapat membahayakan stabilitas ekonomi dan stabilitas nasional.

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 18 tahun 2012 tentang Pangan, pengertian **ketahanan pangan** adalah *“kondisi terpenuhinya pangan bagi negara sampai dengan perseorangan, yang tercermin dari tersedianya pangan yang cukup, baik jumlah maupun mutunya, aman, beragam, bergizi, merata, dan terjangkau serta tidak bertentangan dengan agama, keyakinan, dan budaya masyarakat, untuk dapat hidup sehat, aktif, dan produktif secara berkelanjutan”*.

Kelangkaan dan kenaikan harga pupuk, berdampak pada jumlah produksi dan mutu produk pertanian. Sedangkan mutu produk pangan berkaitan dengan nilai gizi dan juga nilai ekonominya. Sebagai contoh, tanaman padi yang kekurangan unsur N akan tumbuh kerdil akibat terganggunya proses pembelahan sel. Kekurangan unsur N juga menyebabkan daun tanaman berwarna kuning sehingga proses fotosintesis juga terganggu.

Tanaman yang kekurangan unsur P akan tumbuh kerdil dengan pembungaan yang lambat, sedangkan bunga dan buahnya mudah rontok atau untuk tanaman biji-bijian akan banyak yang hampa. Selanjutnya bila tanaman kekurangan hara K, maka akan rentan serangan organisme pengganggu tanaman dan kualitas produknya menurun.



Gambar 1 (a) Tanaman Padi kekurangan unsur N, (b) Tanaman Jagung kekurangan unsur K, (c) Tanaman Jagung kekurangan unsur P.

(Sumber : A.Kasno dan Ladiyani RW ,2023)

Ketidakseimbangan dalam pemberian hara tanah karena tidak mengacu pada prinsip pemupukan berimbang akan mengganggu kesehatan lingkungan pertanian. Kelebihan aplikasi hara menyebabkan pencemaran lingkungan pertanian dan menurunkan kualitas produk. Sebaliknya, bila kekurangan hara yang ditambahkan, akan terjadi proses pengurasan hara tanah oleh tanaman. Kesehatan lingkungan menjadi catatan yang penting. Oleh karenanya, hara tanah baik dari pupuk organik maupun anorganik harus tersedia sesuai kebutuhan. Kelangkaan pupuk anorganik dapat disikapi dengan menggali potensi lokal baik bahan organik dan anorganik.

Indonesia dikaruniai sumber-sumber bahan alternatif untuk pupuk. Walaupun ada jenis hara yang potensi ketersediaannya tidak terlalu besar, namun dengan penerapan sistem bioindustri ataupun *smart farming*, hara tersebut akan berputar dalam suatu siklus yang berkesinambungan. Sumber-sumber hara tersebut tanpa disadari sebenarnya tersedia disekitar kita. Ketidaktahuan menjadi penyebab tidak optimalnya pemanfaatan bahan-bahan tersebut. Buku ini akan mengupas potensi dan memanfaatkan sumber hara bahan baku pupuk yang ada disekitar kita. Diharapkan dengan adanya buku ini dapat memberi tambahan informasi dan wawasan bagi pemangku kepentingan di bidang pupuk.

\*\*\*

## **II.**

# **Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal**

### **2.1 Sumber Pupuk Nitrogen**

Nitrogen (N) merupakan komponen protein yang sangat berperan dalam penyusunan protoplasma, nukleotida, molekul klorofil, asam nukleat, dan asam amino. Unsur N juga berperan dalam peningkatan pertumbuhan, seperti peningkatan tinggi tanaman dan jumlah anakan, ukuran daun, jumlah bulir per malai, dan kandungan protein serta berpengaruh pada hasil produksi tanaman. Menurut Dobermann dan Fairhurst (2000), kandungan N pada daun berkaitan dengan laju fotosintesis dan biomassa tanaman.

Sumber pupuk N cair, seperti larutan Urea Amonium Nitrat (UAN, 28% N) digunakan di beberapa area penanaman padi terutama yang menggunakan teknologi mekanisasi. Penguapan amonia dari berbagai sumber pupuk N dari yang tertinggi ke terendah dengan urutan: amonium sulfat, urea, dan amonium bikarbonat.



Gambar 2 Larutan Urea Amonium Nitrat  
Sumber: <https://santani.id/product/cuan> (2023)

Saat ini strategi untuk mengelola N pada tanaman dapat menggunakan pupuk yang berasal dari sumber N. Namun, penggunaannya saat ini terkendala biaya atau tenaga kerja tambahan untuk pengaplikasian ke dalam lapisan tanah. Doberman dan Fairhurst (2000) menyebutkan bahwa penggunaan dan pelepasan pupuk N yang terkontrol serta mengalami peningkatan untuk beberapa pupuk sumber N dapat dilihat kondisinya pada tabel 1.

Tabel 1 Sumber Pupuk N untuk Tanaman

No.	Nama	Rumus Kimia	Kandungan N (%)	Keterangan
1.	Ammonium nitrate	$NH_4NO_3$	33–34	Asam
2.	Ammonium chloride	$NH_4Cl$	28	Asam
3.	Ammonium sulfate	$(NH_4)_2SO_4$	21	Asam
4.	Ammonium bicarbonate	$NH_4HCO_3$	17	Non-asam, kualitas N rendah
5.	Urea	$CO(NH_2)_2$	46	Asam
6.	Monoammonium phosphate (MAP)	$NH_4H_2PO_4$	11	Larut, cepat terurai, asam
7.	Diammonium phosphate (DAP)	$(NH_4)_2HPO_4$	18–21	Larut, cepat terurai, asam
8.	Urea phosphate	$CO(NH_2)_2 + H_3PO_4$	18	Larut, cepat terurai

Sumber: Dobermann dan Fairhurst, 2000.

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

Untuk mendukung pertanian berkelanjutan dan peningkatan produksi pertanian dalam jangka panjang, diperlukan masukan unsur hara yang baik dan benar agar sistem budidaya pertanian optimal. Unsur hara yang terserap oleh tanaman maupun tercuci akibat proses alam menjadi dasar diperlukannya penambahan hara dari pupuk yang digunakan.

Unsur hara N dapat berasal dari pupuk organik, kimia, atau penambahan  $N_2$  atmosfer (penambahan nitrogen secara biologis atau PNB). Jumlah hara yang ada dalam pupuk organik sangat tergantung pada bahan dasar yang digunakan. Banyak bahan yang dapat digunakan untuk membuat pupuk organik, di antaranya limbah pasar, limbah rumah tangga, dan limbah pabrik, sisa tanaman (jerami, brangkasan, tongkol jagung, bagas tebu, sabut kelapa), serbuk gergaji, serta kotoran hewan. Bahan-bahan yang digunakan tersebut dapat menjadi sumber hara setelah melalui proses pengomposan.



Gambar 3 Pembuatan pupuk organik dari sisa tanaman

(Sumber: Moch Iskandar, 2017)

Salah satu sumber hara organik yang dapat meningkatkan kadar hara N dalam tanah adalah pupuk guano (lihat gambar 2). Guano berasal dari kotoran burung laut ataupun kelelawar yang banyak ditemui di dalam gua. Guano berfungsi efektif untuk penyubur tanah karena kandungan nitrogen dan fosfornya relatif tinggi.

Menurut Rasantika (2009), untuk mendukung pertumbuhan, merangsang akar, memperkuat batang bibit, dan menyediakan unsur hara makro dan mikro yang dibutuhkan tanaman, pupuk guano sebenarnya memiliki kandungan nitrogen, fosfor, dan kalium yang cukup. Bahkan kandungan nitrogennya tinggi, tetapi belum terdekomposisi sepenuhnya sehingga tidak diserap dan tidak dimanfaatkan tanaman dengan baik. Sementara itu, Kotabe (1997) menyebutkan bahwa kadar unsur hara N, P, dan K serta C-organik dalam pupuk guano masing-masing sebesar 7-17% N; 8-15% P; 1,5-2,5% K; dan C-Organik 40-60%.

Perbaikan sifat-sifat tanah juga dapat dilakukan melalui pemberian pupuk guano. Hal ini telah dibuktikan oleh hasil penelitian Suwarno dan Idris (2007) yang menyatakan bahwa sifat tanah, seperti pH tanah, KTK tanah, kadar N, P, K, dan P tersedia dapat meningkat dengan pemberian pupuk guano. Guano yang merupakan produk alamiah ini banyak terdapat di beberapa daerah, diantaranya di Kabupaten Sijunjung yang potensinya mencapai ribuan ton. Kualitas guano di daerah ini menurut Jamilah *et al.* (2009) memiliki kadar fosfat yang sangat tinggi, yaitu 18%  $P_2O_5$ , sebanding dengan kadar fosfat alam di Lamongan, Jawa Timur.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Sofiyani dan Oktabrina (2017) menyebutkan bahwa pupuk guano dari Kabupaten Sijunjung juga memiliki kadar N-total sebesar 1,82% dan dapat meningkatkan kadar N total sebesar 0,20–1,27% pada tanah hasil *tailing* tambang emas dengan dosis pupuk guano tertinggi pada 25 ton/ha.

Daerah lain di Indonesia yang berpotensi menghasilkan pupuk guano adalah Kabupaten Balangan, Kalimantan Selatan. Menurut penelitian Norasyifah, *et al.* (2019) potensi pupuk guano di Kabupaten Balangan

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

sangat baik dikembangkan karena memiliki kandungan N total sebesar 3,71%. Daerah lain yang diprediksi menghasilkan guano adalah gua-gua alam di sekitar pantai selatan Jawa Timur. Hasil observasi Kristanto *et al.* (2009) menunjukkan bahwa pupuk guano yang berasal dari daerah ini kandungan nitrogennya dapat mencapai 7,54%.



Gambar 4 Pupuk guano yang berasal dari kotoran kelelawar

(Sumber: <https://mediatani.co/mengenal-pupuk-guano-pupuk-organik-terbaik-dari-kotoran-kelelawar/>)

Selain bersumber dari guano, hara N dalam tanah juga dapat diperoleh dari sisa industri ternak dan pakan, seperti urine, feses, dan sisa pakan. Urin dan feses memiliki kandungan C-organik dan unsur hara lainnya yang tinggi. Oleh karena itu, sebelum dibuang atau digunakan sebagai pupuk atau pembenah tanah, bahan-bahan tersebut harus dikomposkan terlebih dahulu (lihat Gambar 3). Tindakan ini untuk memastikan bahwa bahan-bahan tersebut tidak mempengaruhi tanaman dan tanah. Menurut Triatmojo *et al.* (2013) kotoran ternak yang akan digunakan sebagai pupuk, sebaiknya diproses terlebih dahulu menjadi zat anorganik dan organik yang dapat digunakan oleh tanaman.

Proses penguraian bahan organik dapat dilakukan dalam dua cara. Pertama, fermentasi anaerob yang menghasilkan gas metan dan *sludge* yang digunakan sebagai pupuk. Kedua, pengomposan atau fermentasi aerob. Kotoran hewan merupakan bahan yang banyak digunakan untuk membuat kompos. Umur, jumlah, dan jenis pakan hewan menentukan komposisi hara dalam kotoran hewan. Kotoran hewan yang umum digunakan sebagai bahan pembuatan kompos yaitu dari ayam, sapi, kerbau, dan kambing. Hartatik dan Widowati (2006) menyatakan bahwa kandungan hara N pada 100 g kotoran ternak padat/segar berkisar 1,41–1,53% dan dapat meningkat setelah terjadinya pengomposan (lihat tabel 2).

Tabel 2 Kandungan Hara N pada Kotoran Ternak

Sumber Pukan	Kadar Air*	Kandungan Hara N (Segar)	Kandungan Hara N (Kompos)
	-----%-----		
Sapi	80	1,53	2,34
Kambing	64	1,41	1,85
Ayam	57	1,5	1,7

Sumber: Hartatik dan Widowati, 2006.



Gambar 5 Pengolahan limbah ternak sapi untuk pembuatan pupuk kompos

Sumber: BPSI Tanah dan Pupuk (2023)

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

Alternatif lain dari limbah ternak yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber hara N adalah urine ternak. Dalam pertumbuhan tanaman, peningkatan hara tanah dapat dilakukan dengan menambahkan urine ternak. Urine merupakan residu pemecahan nitrogen dan sisa bahan tubuh, yaitu urea, *uric acid*, dan kreatinin yang merupakan produk metabolisme protein. Hartatik dan Widowati (2006) menyajikan data yang diolah dari Sundstøl *et al.* (1993) yang menginformasikan bahwa urine ternak memiliki kandungan bahan organik dan N urine cukup tinggi seperti tersaji pada tabel 3. Urine ternak mengandung N yang sebagian besar berbentuk urea dengan kadar N sebesar  $\pm 10$  g/liter.

Tabel 3 Kandungan Hara N pada Urine Ternak

Sumber Pukan	Kadar Air	Kandungan Hara N
	-----%-----	
Sapi	92,0	1,21
Kerbau	81,0	0,60
Kambing	86,3	1,47
Babi	96,6	0,38
Kuda	89,6	1,29

Sumber: Sundstøl *et al.* (1993) dalam Hartatik dan Widowati (2006)

Penambahan hara N juga dapat dilakukan dengan mengolah limbah makanan yang dihasilkan oleh manusia. Limbah makanan yang berlebihan dapat menyebabkan dampak negatif pada aspek ekonomi dan lingkungan. Limbah makanan yang dibuang tanpa diolah atau yang dibiarkan menumpuk dapat menimbulkan bau yang tidak sedap akibat proses penguraian oleh mikroorganisme. Menurut Darhamsyah (1994), sisa makanan yang tidak diolah juga menimbulkan penyakit yang mempengaruhi kesehatan manusia.

Langkah-langkah pemrosesan tambahan harus diterapkan untuk mengurangi peningkatan limbah makanan serta menjadikan lingkungan lebih bersih dan sehat. Salah satu cara memanfaatkan limbah tersebut adalah dengan menjadikannya sebagai bahan utama dalam pembuatan pupuk organik cair.

Pupuk organik cair dapat digunakan sebagai pelengkap pupuk kimia yang dapat meningkatkan efisiensi biaya pupuk. Keunggulan lain dari pupuk organik cair adalah kaya akan berbagai mineral dan zat esensial dalam bentuk cair yang dapat dengan mudah diserap tanaman.

Penggunaan pupuk organik cair juga dapat memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Menurut Parnata (2005), peningkatan porositas tanah dengan pengaplikasian pupuk organik cair dapat memperbaiki aerasi dan drainase tanah serta meningkatkan struktur tanah. Penelitian Manullang *et al.* (2014) juga menunjukkan bahwa konsentrasi nitrogen dalam pupuk organik cair sangat mempengaruhi parameter, jumlah daun, tinggi tanaman, serta berat hasil tanaman pada umur 21 hari setelah tanam (HST) dan saat panen. Beberapa penelitian (lihat tabel 4) menyebutkan bahwa kandungan hara N dari kompos sisa limbah pangan sebesar 1,37 – 3,14% tergantung dari jenisnya.

Tabel 4 Kandungan Hara N pada Kompos Sisa Limbah Pangan

Sumber	Kandungan Hara N (%)	Proses	Sumber
Kompos sisa limbah pangan	1,918	Pengomposan	Qurrotul <i>et al.</i> , 2019
	1,5		Hamdiani <i>et al.</i> , 2018
	1,37		Sipayung <i>et al.</i> , 2016
	3,14		Tyaswati <i>et al.</i> , 2005

Untuk mendapatkan tambahan unsur N dapat dilakukan melalui pembenaman bahan sisa panen dari tanaman yang masih hijau maupun yang telah dikomposkan. Penambahan pupuk hijau dengan cara tersebut dapat meningkatkan kandungan bahan organik dan unsur hara dalam tanah, sifat fisik, kimia, dan biologi tanah sehingga dapat meningkatkan produktivitas tanah dan daya tahan terhadap erosi.

Jenis tanaman legum memiliki kandungan hara terutama nitrogen yang tinggi, sehingga banyak dipilih sebagai sumber pupuk hijau. Jenis legum juga dipilih sebagai pupuk hijau karena tanaman dan sisa tanaman legum

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

ini lebih mudah terdekomposisi. Agus dan Widiyanto (2004) menyatakan bahwa kandungan hara N pada sisa panen tanaman leguminosa berkisar 15–70 kg/ha seperti yang tersaji pada tabel 5.



Gambar 6 Tanaman legum (kedelai *Glycine max*)

Sumber: Balittanah (2012)

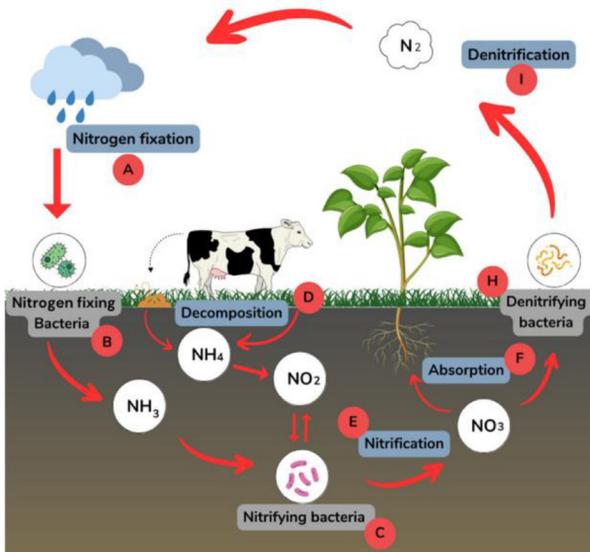
Tabel 5 Kandungan Hara N pada Sisa Panen Tanaman Leguminosa

Sumber Tanaman (Tanpa Akar)	Kandungan Hara N (Kg/Ha)	Sumber
Kacang Tunggak	25	Agus dan Widiyanto (2004)
Kacang Hijau	35	
Kacang Kedelai	15	
Kacang Panjang	65	
Kacang Tanah	70	
Kacang Tanah	24–50	Sumarni <i>et al.</i> , 2009

Nitrogen merupakan unsur yang tersedia dalam jumlah besar di atmosfer, bahkan ketersediaannya mencapai 80% dari komposisi udara di atmosfer yang siklusnya ditunjukkan pada gambar 4. Namun, ketersediaan nitrogen di atmosfer tidak dapat langsung diserap oleh tanaman untuk memenuhi kebutuhannya. Nitrogen bisa masuk ke

tanah dalam bentuk amonia dan nitrat ( $\text{NH}_3$ ) bersama air hujan, sebagai hasil penambatan  $\text{N}_2$  oleh mikroba simbiosis dan non-simbiosis, atau sebagai pupuk sintesis dan organik yang ditambahkan.

Adanya nitrogen dalam tanah diantaranya berasal dari beberapa mikroba untuk memfiksasi nitrogen secara simbiosis dengan tanaman ataupun yang hidup bebas di dalam tanah. Bakteri penambat  $\text{N}_2$  udara mengubah  $\text{N}_2$  menjadi bentuk  $\text{NH}_3$  atau  $\text{NH}_4^+$  yang kemudian menjadi N organik setelah melalui proses aminasi pada sintesis senyawa-senyawa organik, seperti asam amino. Menurut Nasikah (2007), unsur N organik yang terbentuk kemudian diubah menjadi amonia melalui proses deaminasi. Hal ini karena amonia dapat langsung diasimilasikan oleh mikroba atau diubah terlebih dahulu menjadi senyawa nitrat secara nitrifikasi. Lebih lanjut Bhat *et al.*, (2015) menjelaskan bahwa terdapat beberapa bakteri termasuk *Azotobacter*, *Clostridium*, *Cyanobacteria*, *Rhodospirillum*, dan *Rhizobium* yang memiliki kemampuan untuk mengikat  $\text{N}_2$  di udara.



Gambar 7 Siklus nitrogen dari udara hingga penyerapannya dalam tanah

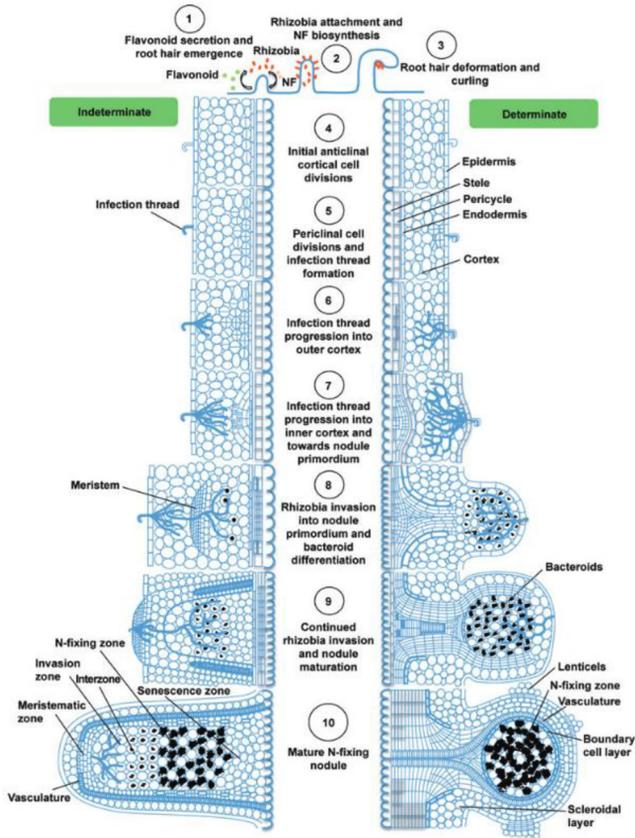
Sumber: Brochado *et al*, 2003

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

Salah satu kelompok bakteri yang memiliki kemampuan untuk memberikan hara kepada tanaman adalah bakteri *Rhizobium*. Kelompok bakteri ini bersimbiosis dengan tanaman legum dan menginfeksi akar tanaman, selanjutnya membentuk bintil akar di dalam tanaman. Bintil akar merupakan tonjolan kecil di akar yang terbentuk akibat infeksi bakteri pengikat nitrogen yang bersimbiosis secara mutualistik dengan tumbuhan. Tanaman memperoleh N dari hasil penambatan  $N_2$  udara oleh bakteri, sedangkan bakteri memperoleh karbohidrat dari tanaman yang diperoleh dari hasil fotosintesis.

Sesuai dengan Gambar 5, Sari dan Prayudyaningsih (2015) menjelaskan bahwa seiring bertambahnya usia bintil akar setelah periode fiksasi nitrogen, maka akan terjadi degradasi jaringan yang dilanjutkan dengan pelepasan bentuk aktif *Rhizobium* ke dalam tanah. *Rhizobium* ini biasanya berfungsi sebagai sumber inokulum untuk tanaman berikutnya dari spesies legum tertentu.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Rahmawati (2005) menginformasikan bahwa tanah yang telah ditumbuhi tanaman legum menyisakan nitrogen dalam jumlah tertentu akibat dari adanya *Rhizobium* yang berasosiasi dengan legum tertentu. Kondisi tersebut dapat memfiksasi 100-300 kg Nitrogen per hektar selama satu musim tanam.



Gambar 8 Proses fiksasi akar tanaman legum

(Sumber: Ferguson *et al.*, 2012)

Selain *Rhizobium*, *Cyanobacteria* juga dikenal sebagai bakteri penambat nitrogen. *Cyanobacteria* yang dikenal dengan nama *Anabaena azollae* bersimbiosis dengan tanaman azolla atau yang biasa dikenal dengan tanaman paku air (lihat gambar 6). Simbiosis tersebut terjadi dalam rongga daun tanaman paku air. Menurut Suarsana (2011), dengan enzim nitrogenase yang dimiliki oleh *Cyanobacteria* tersebut,  $N_2$  dari udara bebas dapat diubah menjadi amonia ( $NH_3$ ).

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

Lestari *et al.* (2007) juga menemukan adanya penambat nitrogen lainnya berupa *Azospirillum* sp. yang diberikan pada padi yang ditanam di dalam pot dan kultur *in vitro* memberikan pengaruh yang nyata dalam meningkatkan jumlah anakan, bobot kering tajuk dan akar. Hasil penelitian lain yang dilakukan Widiyawati *et al.* (2014) menyatakan bahwa pada tanaman padi dengan pemberian isolat bakteri *Azospirillum* sp. dan konsorsium isolat bakteri *Azospirillum* sp. dengan *Azotobacter* sp. menghasilkan jumlah gabah isi per malai lebih banyak.

Bakteri penambat nitrogen khususnya bakteri konsorsium dapat meningkatkan dan memenuhi kebutuhan nitrogen sehingga meningkatkan jumlah gabah isi. Munarso, (2011) menemukan bahwa ada faktor lain seperti percabangan, eksersi, banyaknya malai, perbedaan bulir selama antesis, dan intensitas radiasi surya yang juga mempengaruhi jumlah gabah per malai.



Gambar 9 Simbiosis *Anabaena azollae* dengan tanaman azolla  
(Sumber: Samal *et al.*, 2020)

## 2.2 Sumber Pupuk Fosfor (P)

Salah satu unsur yang dibutuhkan tanaman adalah fosfor (P). Beberapa senyawa yang mengandung P diantaranya Adenosin trifosfat (ATP), fosfolipid, nukleotida, dan asam nukleat. Unsur P berfungsi memelihara integritas membran pada tanaman. Penambahan pupuk mineral P, diperlukan pada saat sistem perakaran tanaman belum berkembang

sempurna dan persediaan P di tanah sedikit. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Dobermann dan Fairhurst (2000) yang menyebutkan bahwa pada tahap pertumbuhan terjadi pergerakan P didalam tanaman.

Semua pupuk komersial yang mengandung unsur P adalah baik untuk tanaman. Oleh karena itu, diperlukan pemilihan bahan pupuk P yang berdasarkan pada efektivitas biaya per kilogram fospor total ( $P_2O_5$ ), kandungan nutrisi tambahan, dan kelarutan atau reaktivitas pupuk P dalam tanah. Beberapa jenis pupuk P juga dapat menyediakan sulfur (S) sehingga perlu perhatian khusus terkait pemberian pupuk ini.

Beberapa contoh pupuk P yang mengandung sumber S, yakni superfosfat tunggal dan triple superphosphate. Selain itu, Dobermann dan Fairhurst (2000) menemukan bahwa hasil dari pelarutan superfosfat dalam tanah memiliki pH mendekati 1, sedangkan diammonium fosfat memiliki pH mendekati 8.

Batuan fosfat yang dihancurkan sampai halus merupakan sumber pupuk P yang efektif dan termurah untuk tanah yang sangat masam (pH < 4,5). Pada lingkungan tropis, efektivitas fosfat alam bergantung pada kemampuan mempertahankan laju serapan P yang dibutuhkan oleh tanaman dengan cara melarutkan P batuan fosfat di dalam tanah. Menurut Dobermann dan Fairhurst (2000), batuan fosfat juga mengandung kalsium (Ca) yang dapat membantu mengurangi keasaman tanah dan defisiensi Ca pada tanah tropis. Beberapa sumber pupuk P dan sifatnya dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6 Sumber Pupuk P untuk Tanaman

No.	Nama	Rumus Kimia	Kandungan (%)	Keterangan
1.	Single Superphosphate	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	7-9% P, 13-20% Ca, 12% S	Larut, netral (16-21% $\text{P}_2\text{O}_5$ )
2.	Triple Superphosphate	$\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	18-22% P, 9-14% Ca, 1.4% s	Larut, netral (41-50% $\text{P}_2\text{O}_5$ )
3.	Monoammonium phosphate (MAP)	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	22% P, 11% N	Larut, Asam (51% $\text{P}_2\text{O}_5$ )
4.	Diammonium phosphate (DAP)	$(\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$	20-23% P, 18-21% N (umumnya 20% P)	Larut, Asam (46-53% $\text{P}_2\text{O}_5$ )
5.	Urea phosphate (UP)	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_3\text{PO}_4$	20% P, 18% N	Larut (46% $\text{P}_2\text{O}_5$ )
6.	Partly acidulated rock phosphate	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	10-11% P	>1/3 Larut air (23-26% $\text{P}_2\text{O}_5$ )
7.	Rock phosphate, finely powdered	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	11-17% P, 33-36% Ca	Sangat rendah terurai (25-39% $\text{P}_2\text{O}_5$ )

Sumber: Dobermann dan Fairhurst, 2000.

## Fosfat Alam

Endapan fosfat atau fosfat alam (*rock phosphate*) merupakan sumber daya alam yang sangat penting dalam industri pupuk fosfat pertanian. Fosfat alami terdiri dari mineral fosfat, yang merupakan sumber utama nutrisi fosfat (P). Endapan fosfat ditemukan di berbagai formasi geologi, seperti batuan sedimen, batuan beku, batuan metamorf, dan guano (lihat gambar 7). Menurut Yusuf (2000), sesuai proses pembentukannya maka fosfat alami dapat dibagi menjadi tiga jenis sebagai berikut.

### 1. Fosfat primer

Terbentuk dari pembekuan magma alkali dengan kandungan mineral fosfat apatit terutama *fluor apatite*  $\{\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}\}$  murni yang mengandung 42%  $\text{P}_2\text{O}_5$  dan 3,8%  $\text{F}_2$ .

2. Fosfat sedimenter (marin)

Endapan fosfat sedimen yang terendapkan di laut dalam pada lingkungan alkali dan suasana tenang. Mineral fosfat yang terbentuk didominasi oleh jenis *francolite*.

3. Fosfat guano

Akumulasi sekresi burung dan kelelawar pemakan ikan akan larut dan bereaksi dengan batu kapur di bawah pengaruh hujan dan air tanah. Tergantung pada tempat asalnya, endapan guanofosfat dibagi menjadi endapan permukaan, bawah tanah, dan gua.



Gambar 10 Tambang fosfat di Desa Panaongan, Kecamatan Pasongsongan, Madura

(Sumber: Moh. Junaidi/Radar Madura.id, 2022)

Menurut Van Straaten (2002), dari semua batuan fosfat yang ditambang, hanya 1-2% yang berasal dari guano, yang merupakan akumulasi hasil ekskresi burung dan kelelawar. Sekitar 80-90% batuan fosfat yang ditambang berasal dari batuan sedimen, 10-20% berasal dari batuan beku (FAO, 2004). Deposit fosfat alam yang berasal dari batuan

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

beku (10-20%) ditemukan dengan ketebalan antara puluhan sampai ratusan meter dan kadar  $P_2O_5$  sampai 35% yang digolongkan sebagai fosfat alam berkualitas tinggi.

Hampir semua deposit batuan sedimen berupa *carbonate-flourapatite* yang disebut *francolite*, mengandung banyak karbonat untuk substitusi fosfat yang sangat reaktif dan cocok digunakan langsung untuk pupuk atau amelioran. Menurut Yusuf (2000), 90% produksi fosfat alam dalam bentuk  $Ca_3(PO_4)_2$  digunakan di industri pupuk buatan dan pupuk alam di Indonesia. Contoh batuan fosfat yang terbentuk dari guano tersaji pada gambar 8.



Gambar 11 Batuan fosfat yang terbentuk dari guano di Cijulang, Jawa Barat dan penambangan fosfat tradisional di Sumenep, Madura

(Sumber: Wahyudi dan Faizal, 2016 & Pena Madura)

Endapan fosfat alam di Indonesia menurut Geologi (2008) tidak dapat dijumpai di seluruh pulau Indonesia (lihat gambar 9). Pulau-pulau yang mempunyai sumber batuan P terbesar ada di Jawa dan Sulawesi. Keberadaan batuan fosfat terbesar terdapat di Kabupaten Sampang, Jawa Timur sebesar 15.000.000 ton, diikuti oleh Ciamis, Jawa Barat dengan potensi kurang lebih dari 2.000.000 ton, dan daerah lain dalam jumlah yang kecil-kecil. Potensi deposit fosfat alam lainnya disajikan pada tabel 7.



Gambar 12 Cadangan fosfat alam di Indonesia

(Sumber: MUSAAD, 2018)

Tabel 7 Deposit Fosfat Alam di Indonesia

No	Lokasi	Deposit (t)	Kadar P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)
1.	Jawa Barat		
	Bogor	30.000	33,04
	Sukabumi	40.000	33-39
	Ciamis	2.516.100	14,55-39
2.	Jawa Tengah		
	Sukolilo, Pati	85.000	25-35
	Salaman, Magelang	225.000	-
	Ayah, Buayan, Kebumen	285.000	10,0-28,0
	Grobogan	90.750	30
	Batuwarno, Giritontro, Pracimantoro, Wonogiri	20.400	14,65-35
3.	Jawa Timur		
	Dander, Bojonegoro	1.870	31,32
	Paceng, Sedayu, Gresik	2.500	-
	Babat, Brondong, Lamongan	7.100	-
	Pacitan	77.000	-
	Tuban	80.400	33,4-49,3
	Bangkalan	312.500	-
	Sampang	15.000.000	9,79-43,14
4.	Aceh	21.000	6,25-40,91
5.	Kalimantan Selatan	166.200	8,82-11,18
6.	Kalimantan Timur	800	-

Sumber: Pusat Sumber Daya Geologi, 2008.

Deposit fosfat alam di Indonesia memiliki kandungan total  $P_2O_5$  sangat bervariasi dari rendah sampai sedang dan ada beberapa deposit yang mencapai kadar sampai 40%  $P_2O_5$ . Reaktivitas fosfat alam atau sering disebut kelarutan fosfat alam, yang menggambarkan kemampuan fosfat alam melepaskan P untuk tanaman juga sangat bervariasi, yaitu <1–18%  $P_2O_5$ .

Deposit batuan fosfat di Jawa Timur terdapat di Sumenep, Malang, Tuban, dan Lamongan, sedangkan di Jawa Tengah terdapat di Pati dan Grobogan, untuk wilayah Jawa Barat terdapat di Ciamis dan Bogor dengan kandungan total P bervariasi dari 8,79–31,88%  $P_2O_5$  dan kandungan Ca bervariasi dari 0,6–57,50%. Kandungan  $P_2O_5$  di Sampang antara 2,28–7,09%; di Pamekasan 5,61–37,79%; dan di Sumenep 6,20–44,23%.

### Fosfat Organik

Fosfat berbentuk organik dan anorganik dapat ditemukan di dalam tanah, dan keduanya merupakan sumber fosfat penting bagi tanaman. Fosfat anorganik berasal dari mineral-mineral yang mengandung fosfat, sedangkan fosfat organik berasal dari bahan organik. Senyawa fosfat yang larut oleh mikroorganisme berlangsung secara kimia dan biologis, baik untuk pembentukan fosfat organik maupun anorganik. Mikroorganisme pelarut fosfat membutuhkan fosfat dalam bentuk tersedia dalam tanah untuk pertumbuhannya.

Asam organik dapat meningkatkan ketersediaan P di dalam tanah melalui beberapa mekanisme, diantaranya: (1) anion organik bersaing dengan ortofosfat pada permukaan tapak jerapan koloid tanah yang bermuatan positif, sehingga memperbesar peluang ortofosfat dapat diserap oleh tanaman; (2) pelepasan ortofosfat dari ikatan logam P menurut Beaucamp dan Hume(1997) melalui pembentukan kompleks logam organik; dan (3) menurut Havlin *et al.*(1999) melalui modifikasi muatan permukaan tapak jerapan oleh ligan organik.

## Sisa Industri Pakan dan Ternak

Tepung ikan merupakan salah satu penghasil fosfat. Di Indonesia biasa digunakan dari hasil samping pengolahan ikan, sehingga kualitasnya masih rendah. Kandungan protein kasarnya antara 50-58% serta sebagai sumber mineral fosfor (P) dan kalsium (Ca). Tepung tulang ikan mengandung mineral Ca sekitar 24% dan P 12% (lihat gambar 10). Tepung ini mulai jarang digunakan seiring banyak ditemukannya sumber mineral sintetis yang diproduksi oleh pabrik pakan maupun farmasi.

Batang pisang sebagai pakan ternak mengandung 92,50% air; 0,35% protein kasar, 4,60% karbohidrat, dan kaya akan mineral, antara lain mengandung fosfor 135 mg, kalsium 122 mg, kalium 213 mg; dan zat besi 0,70 mg (lihat gambar 11). Kandungan mineral utama pada batang pisang dan diharapkan paling banyak perannya adalah mineral Zn yang jumlahnya berkisar 37-163 ppm.

Limbah rumah pemotongan ternak, yang merupakan campuran tulang dan sisa daging yang masih melekat (*meat and bone meat*), adalah bahan lain yang dapat digunakan sebagai pakan ternak. Kandungan protein kasar bahan pakan ini dapat mencapai 55-60% dalam produk internasional. Bahan pakan ini adalah sumber mineral kalsium dan fosfor yang sangat baik. Ini biasanya digunakan antara 2,5-10% dalam ransum unggas.



Gambar 13 Tepung ikan (kiri) dan tepung tulang ikan(kanan) sumber P  
(Sumber: Solusi ternak ID & Agus Setiawan/Nusantaranews)

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal



Gambar 14 Batang pisang sumber P

(Sumber: Tribunjabar/Hilda Rubiah & Tarsisius Sutomoaio)

Potensi bahan organik dari tanaman kelapa sawit mempunyai jumlah unsur P yang diserap pada setiap bagian tanaman seperti yang tersaji pada tabel 8.

Tabel 8 Jumlah Unsur P yang Diserap Tanaman Kelapa Sawit dari Tanah dan Distribusinya dalam Tiap Komponen Tanaman

Komponen Tanaman	Sebaran Unsur P yang Diserap Kg/ha/tahun
Bagian vegetatif	3,1 (11,9 %)
Pelepah yang dipangkas secara rutin	8,9 (34,2 %)
TBS (25 tonper ha)	11,6 (44,6 %)
Bunga jantan	2,4 (9,2 %)
<b>Total</b>	<b>26,0 (100 %)</b>

Sumber: Nurjaya *et al.*, 2009.

Bunga jantan dapat dikomposkan menjadi sumber P organik. Selain itu, bahan baku sumber mineral juga dapat menyumbangkan hara P dan Ca setelah melalui proses rekayasa seperti yang tersaji pada tabel 9.

Tabel 9 Kandungan P dan Ca dalam Bahan Baku Sumber Mineral

Bahan Baku Mineral	Kandungan Ca	Kandungan P-Total	Kandungan P-Tersedia
Tepung Batu	34 %	0,02 %	-
TepungKulit Kerang	35 %	0,01 %	-
Tepung Tulang	24 %	12 %	12 %
DCP	22 %	18,5 %	18,5 %
MCP	16 %	21 %	21 %

Sumber: Boff Magazine Feed Camposition (2015), Feed Reference Standards (2003), Feedstuff Reference (2011)

Definisi dari *American Geological Institute* yang disampaikan oleh Gary *et al.* (1974) menyatakan bahwa fosfat alam adalah batuan sedimen yang sebagian besar terdiri dari mineral fosfat. Menurut McClellan dan Gremillon (1980), mineral ini dibedakan menjadi fosfat Ca, fosfat CaAl-Fe, dan fosfat Fe-Al berdasarkan komposisi mineral batuan sedimen fosfat. Dengan kandungan unsur  $P_2O_5$  sebesar 15,70%, pupuk fosfor alam diharapkan dapat memenuhi kebutuhan unsur hara tanaman yang terlihat pada peningkatan pertumbuhan dan produksi tanaman.

## Sisa Industri Pakan Ternak

### DCP (Dikalsium Fosfat)

Dikalsium Fosfat merupakan sumber suplemen mineral fosfor (P) untuk pakan ayam petelur dan berpotensi sebagai sumber hara P tanaman (gambar 12). Bahan ini biasanya berbentuk serbuk atau granul berwarna putih, bahkan putih keabuan, dan tidak memiliki bau tertentu.

Sebenarnya, DCP dapat dibuat dari batuan mineral alami, juga dikenal sebagai batuan fosfat, yang dipanaskan terlebih dahulu untuk menghilangkan zat beracun di dalamnya. Kelebihan DCP ini adalah bebas dari zat lain atau aman (telah dimurnikan) sehingga mudah menyerap Ca dan P serta memberikan hasil yang lebih baik dibanding sumber mineral lainnya.



Gambar 15 Dikalsium fosfat sebagai sumber hara P  
(Sumber: midifeed.com)

### Proses diperolehnya hara P

#### Fosfat Alam

Fosfat alam merupakan salah satu sumber hara P yang berasal dari batuan mineral fosfat. Berdasarkan proses pembentukannya, fosfat alam dibedakan atas tiga jenis yakni fosfat primer, fosfat sedimenter, dan fosfat guano. Deposit fosfat alam di Indonesia dapat ditemukan di Ciamis, Bumiayu, Tasikmalaya, Cileungsi, Blora, Bangkalan, dan Sumenep. Contoh sumber P alam yang berasal dari Kabupaten Blora dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 16 Fosfat alam dari Kabupaten Blora

(Sumber: blorakab.go.id)

## P Organik

Untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk fosfat maka dapat digunakan kelompok mikroorganisme pelarut fosfat yang dapat melarutkan fosfat tidak tersedia menjadi fosfat tersedia sehingga dapat diserap oleh tanaman. Rao dan Sinha (1963), Asea *et al.* (1988), Saleh *et al.* (1989) sama-sama membuktikan bahwa pemanfaatan mikro-organisme pelarut fosfat menjadi salah satu alternatif mengatasi masalah P pada tanah masam.

Sumber fosfat yang dapat digunakan mikroba pelarut P antara lain  $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{FePO}_4$ ,  $\text{AlPO}_4$ , apatit, fosfat alam, atau senyawa fosfat tidak larut yang lainnya. Kemampuan tiap mikroorganisme pelarut fosfat tumbuh dan melarutkan fosfat berbeda-beda. Selain dari batuan yang terdapat di alam, sumber dari hara P juga berasal dari kotoran hewan dan urine (lihat gambar 14).

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal



Gambar 17 Siklus hara fosfor di alam

(Sumber: Siswapedia.com/Desi Lestari)

Balai Penelitian Ternak (2005) menyampaikan hasil riset pada hewan ternak terkait kandungan hara P. Hasil riset tersebut menyimpulkan bahwa urine kelinci lebih tinggi kadar P-nya dibandingkan dengan urine hewan lain, seperti sapi, kambing, domba, kuda, dan babi seperti yang tersaji pada tabel 10.

Tabel 10 Kandungan Hara P pada Urine Ternak

No.	Sumber Pupuk kandang	Kadar Air (%)	Kandungan Hara P (%)
1.	Kuda (padat)	75	0,30
2.	Kerbau (padat)	85	0,34
3.	Sapi (padat)	85	0,20
4.	Babi (padat)	80	0,35
5.	Kelinci muda	32,5–44,7	0,10
6.	Kelinci dewasa	55,3	1,1

Sumber: Balai Penelitian Ternak (2005).

Hasil fermentasi kotoran padat dan cair (urine) berasal dari pupuk kandang yang berasal dari mamalia dan unggas paling umum digunakan petani untuk menyuburkan tanah. Jumlah kotoran padat dan cair dari masing-masing ternak berbeda-beda. Pada Tabel 11. disajikan persentase kandungan hara P dari beberapa jenis ternak.

Tabel 11 Kandungan Hara P pada Kotoran Hewan

No.	Jenis Ternak	Kandungan Hara P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Sumber
1.	Kambing	0,35 – 0,51	Effi (2009)
2.	Sapi	0,64 – 1,15	
3.	Ayam	2,80 – 6,00	
4.	Kuda	0,81 – 0,25	
5.	Babi	0,35 – 0,41	

Sumber: Effi (2009)

## 2.3 Sumber pupuk K (Kalium)

Unsur hara kalium (K) berfungsi dalam osmoregulasi, aktivasi enzim, pengaturan pH seluler, keseimbangan seluler dari kation-anion, pengaturan transpirasi pada stomata, dan pengangkutan asimilasi (produk fotosintesis). Unsur K berperan dalam penyusunan dinding sel serta lignifikasi jaringan sklerenkim. Dobermann dan Fairhurst (2000) menyatakan bahwa secara keseluruhan, pada tingkat tanaman, K mampu meningkatkan luas daun serta kandungan klorofil daun, menunda penuaan daun, dan berperan dalam proses fotosintesis.

Beberapa sumber pupuk K yang tersedia di pasaran komersial disajikan pada Tabel 12. Masing-masing sumber pupuk K mempunyai kadar yang bervariasi. Indonesia mempunyai potensi sumber mineral K yang rendah. Bahan baku ataupun pupuk hara K diimpor dari Rusia, Jerman, dan Kanada. Harga pupuk K dipengaruhi kadar hara K. Sebagai contoh Pupuk K yang mengandung hara Cl tidak cocok bagi tanaman tembakau dan kentang, sehingga pupuk KCl digantikan oleh KNO<sub>3</sub>.

Tabel 12 Sumber Pupuk K untuk Tanaman

No.	Nama	Rumus Kimia	Kandungan (%)	Keterangan
1.	Potassium chloride	KCl	50% K	muriate of potash (60% K <sub>2</sub> O)
2.	Potassium nitrate	KNO <sub>3</sub>	37%K, 13% N	dalam kandungan (44% K <sub>2</sub> O)
3.	Potassium sulfate	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	40-43% K, 18% S	dalam kandungan (50% K <sub>2</sub> O)
4.	Langbeinite	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .MgSO <sub>4</sub>	18%K, 11% Mg, 22% S	cepat terurai
5.	Compound fertilizers	N + P + K	Variable	umumnya untuk padi

Sumber: Dobermann dan Fairhurst, 2000.

## Sumber Hara Kalium dari Bahan Organik

### Jerami

Salah satu bahan baku pupuk K dari bahan organik adalah jerami padi yang merupakan hasil samping tanaman padi (lihat gambar 15). Ketersediaan jerami cukup banyak di lahan sentra produksi padi sehingga dapat digunakan sebagai sumber pupuk organik. Sentra produksi padi di Indonesia terbanyak di provinsi Jawa Timur, Jawa Tengah, Jawa Barat, Sulawesi Selatan, Bali, Lombok, dan Mataram. Menurut Yanuartono *et al.* (2019), jerami memiliki kandungan K dan Mg tertinggi pada awal musim panen (2,21% dan 0,91% dari bahan kering). Menurut Sukarjo *et al.* (2018), kandungan K dalam jerami bervariasi antara 0,43 sampai 0,89%.



Gambar 18 Jerami padi sebagai sumber K  
(Sumber: Santri, 2016)

Abu jerami padi juga mengandung kalium karbonat, kalium bikarbonat, kalsium, silika, besi, dan aluminium yang bersifat sangat higroskopis. Potensi kalium dari jerami ini berpeluang sebagai sumber bahan baku pupuk kalium, baik untuk skala rumah tangga maupun industri. Salah satu contoh pembuatan pupuk K pada skala industri, yaitu pupuk dari abu jerami yang ditambah gipsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) sehingga menjadi pupuk kalium sulfat.

Proses pembentukan kalium karbonat ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) yang terdapat dalam abu jerami dan penambahan gipsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ke dalam reaktor sehingga terbentuk kalium sulfat ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) dan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) adalah dengan persamaan kimia sebagai berikut:



## Kulit Pisang

Sumber hara kalium yang berasal dari bahan organik lainnya, yaitu kulit pisang. Adapun sentra limbah kulit pisang terbesar berada di wilayah perkebunan pisang, seperti Lampung Selatan, Banyuwangi, Lumajang, Bantul, Solok, dan Kutai Timur. Sebagai contoh kandungan hara pupuk padat yang berasal dari kulit pisang kepek, yaitu C-organik 6,19%; N total 1,34%;  $\text{P}_2\text{O}_5$  0,05%;  $\text{K}_2\text{O}$  1,478%; C/N 4,62, dan pH 4,8, sedangkan menurut Nasution (2013), pupuk cair dari kulit pisang kepek mengandung C-organik 0,55%; N total 0,18%;  $\text{P}_2\text{O}_5$  0,043%;  $\text{K}_2\text{O}$  1,137%; C/N 3,06, dan pH 4,5.

Hasil penelitian Akbari *et al.* (2015) menemukan bahwa kompos dari kulit pisang kepek dan tumbuhan *Mucuna bracteate* mengandung N 3,44%, P 0,35%, dan K 9,85%, yang dicapai pada waktu optimal pada hari ke-21. Sementara itu, menurut Ekawandani *et al.* (2018), limbah kulit pisang yang dikombinasikan dengan tanaman kubis mengandung kadar K sebesar 2,11% (lihat gambar 16).



Gambar 19 Kulit pisang sebagai sumber hara K  
(Sumber: Dinas Kominfo Klaten, 2021)

### Kulit Kopi

Kulit kopi termasuk limbah organik yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber K dan bahan ini tidak terlalu berbahaya bagi lingkungan (lihat Gambar 17). Potensi limbah kulit kopi robusta tahun 2021-2025 sebesar 1.425.923 ton/tahun dan arabika 533.225 ton/tahun. Tarmiji (2020) menyatakan bahwa hasil kompos dari limbah kulit kopi robusta jumlahnya 648.795,15 ton/tahun dan 247.949,61 ton/tahun.

Data dari Direktorat Jenderal Perkebunan (2019) menyebutkan bahwa potensi limbah kopi terdapat di wilayah sentra perkebunan kopi, seperti Aceh (124,236 ribu ha), Sumatera Utara (93,695 ribu ha), Sumatera Selatan (251,027 ribu ha), Bengkulu (87,927 ribu ha), Lampung (156,919 ribu ha), Jawa Timur (109,758 ribu ha). Zainuddin dan Murtisari (1995) menemukan bahwa limbah hasil pengolahan kopi sebagian besar berupa ampas, dengan komposisi fisik mencapai 48%, terdiri dari kulit buah 42% dan kulit biji 6%. Sementara Bahri *et al.* (2020) menekankan bahwa kandungan kalium tertinggi terdapat pada kulit kopi.



Gambar 20 Limbah kulit kopi sebagai sumber K  
(Sumber: <https://news.unair.ac.id>)

Metode refluks ekstraksi sering digunakan untuk mengekstraksi senyawa yang berupa padatan. Ekstraksi K dari kulit kopi dilakukan dengan pemanasan. Pelarut yang digunakan akan menguap pada suhu tinggi, lalu didinginkan melalui kondensor, sehingga uap pelarut mengembun di kondensor dan jatuh kembali ke bejana reaksi. Pelarut akan menembus abu kulit biji kopi dan menghasilkan ekstrak kalium.

### **Limbah Kelapa Sawit**

Limbah kelapa sawit adalah residu dari tanaman kelapa sawit yang tidak termasuk dalam produk utama atau merupakan hasil sampingan dari proses pengolahan minyak kelapa sawit. Berdasarkan tempat dihasilkan, limbah kelapa sawit terbagi atas limbah dari perkebunan kelapa sawit dan limbah dari industri kelapa sawit. Menurut Aji (2020), salah satu jenis limbah dari industri kelapa sawit adalah tandan kosong sawit yang disebut janjang kosong (lihat Gambar 21).

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal



Gambar 21 Janjang sawit sebagai sumber hara K  
(Sumber: Ratri Ariani, 2022)

Data dari Direktorat Jenderal Perkebunan (2019), menyatakan bahwa sumber limbah sawit dapat ditemukan pada sentra kelapa sawit di Indonesia, seperti Sumatera Utara (1.551.603 ha), Riau (2.706.892 ha), Jambi (1.032.145 ha), Sumatera Selatan (1.137.642 ha), Kalimantan Barat (1.815.133 ha), Kalimantan Timur (1.434.485 ha), dan Kalimantan Tengah (1.640.883 ha).

Handajaningsih (2009), menemukan bahwa kandungan unsur hara yang diperoleh dari janjang kelapa sawit di salah satu perkebunan kelapa sawit di Bengkulu Utara menunjukkan nilai K sebesar 26,3% dan P 13,74%. Sedangkan menurut Pahan (2007), unsur hara yang terkandung dalam abu janjang kelapa sawit yaitu  $K_2O$  35-47%;  $P_2O_5$  3,5%;  $MgO$  6-9,5%;  $CaO$  4-6%, dan sejumlah mikro nutrien. Studi lain oleh Susanto *et al.* (2005) menemukan bahwa tandan kosong sawit merupakan bahan organik yang mengandung 0,80% N, 0,22%  $P_2O_5$ , 2,90%  $K_2O$ , 42,8% Ca, dan 0,30%  $MgO$ .

Abu janjang kelapa sawit kaya akan unsur kalium, sehingga dapat digunakan untuk meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Biasanya abu janjang kelapa sawit direaksikan dengan sulfat sehingga membentuk pupuk kalium sulfat seperti percobaan yang

dilakukan oleh Andini *et al.* (2020), yaitu pembuatan kalium sulfat ( $K_2SO_4$ ) dengan mereaksikan kalium oksida ( $K_2O$ ) dalam ekstrak abu janjang sawit dengan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa janjang kelapa sawit merupakan bahan baku lokal yang dapat digunakan sebagai alternatif pupuk sumber kalium.

## **Pupuk Kandang**

Pupuk kandang merupakan salah satu jenis pupuk organik yang berasal dari kotoran hewan, jerami, daun, dan alas kandang lainnya. Pupuk kandang dari hewan, seperti sapi, kambing, domba, dan ayam mengandung kalium (K). Kotoran hewan ini mengandung nutrisi yang berasal dari makanan yang mereka konsumsi, termasuk K. Jumlah kalium dalam pupuk kandang bervariasi tergantung pada jenis hewan, pakan dan metode pengolahan pupuk kandang.

Ketika hewan mencerna makanan, mereka menyerap nutrisi tertentu dari makanan dan sisanya dikeluarkan sebagai kotoran. Kotoran hewan mengandung berbagai zat hara, termasuk kalium (K), yang merupakan salah satu nutrisi esensial bagi pertumbuhan tanaman. Sumber K dalam pupuk kandang berasal dari dua komponen utama, yaitu urine dan feses hewan. Urine hewan mengandung konsentrasi K yang lebih tinggi dibandingkan dengan feses.

Dalam proses pengomposan pupuk kandang, mikroorganisme pengurai akan menguraikan bahan organik tersebut. Proses pengomposan ini akan mempercepat pelepasan nutrisi, termasuk kalium, dari bahan organik menjadi bentuk yang dapat diserap oleh tanaman. Selain itu, beberapa jenis pupuk kandang seperti pupuk kandang ayam atau kambing, dapat dihasilkan melalui proses pengeringan dan pemrosesan yang lebih lanjut. Dalam proses tersebut, kandungan kalium dalam pupuk kandang dapat ditingkatkan dengan cara menambahkan bahan tambahan yang mengandung kalium, seperti abu kayu atau limbah tumbuhan yang kaya akan kalium.

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

Hasil percobaan Melsasai *et al.*, (2018) mengenai kandungan  $K_2O$  (%) kotoran sapi dari dataran tinggi dan dataran rendah, menunjukkan bahwa nilai persentase  $K_2O$  tertinggi diperoleh dari kotoran sapi di dataran rendah (Kalasey 1), yaitu 0,56%. Sedangkan nilai persentase  $K_2O$  terendah diperoleh dari lahan pada wilayah Tomohon, yaitu 0,4%. Untuk menghitung potensi sumbangan  $K_2O$ , satu ekor sapi dapat menghasilkan kotoran antara 8-10 kg basah/hari.

Penelitian mengenai perbandingan kualitas pupuk yang berasal dari kotoran sapi, kambing, dan ayam telah dilakukan oleh Novitasari *et al.*, (2021). Dari informasi ini, petani dan praktisi pertanian mendapatkan gambaran berapa hara yang akan diperoleh pada saat mengaplikasikan pupuk kandang tersebut. Berikut perbandingan kualitas pupuk dari kotoran sapi, kambing, dan ayam.

Tabel 13 Perbandingan Kualitas Pupuk Kotoran Sapi, Kambing dan Ayam

No	Parameter	Kotoran			SNI19-7030-2004	
		Sapi	Kambing	Ayam	Minimum	Maksimum
1.	C-Organik	14,78%	23,19%	13,38%	9,80%	32%
2.	Nitrogen	1,53%	1,99%	1,27%	0,40%	-
3.	Fosfor	1,18%	1,35%	1,76%	0,10%	-
4.	Kalium	1,30%	1,82%	1,18%	0,20%	-
5.	RasioC/N	14,32	13,38	11,85	10	20
6.	KadarAir	28,73%	34,41%	35,67%	-	50

Sumber: Novitasari, *et al.*, 2021.

Menurut Sakiah *et al.*, (2019), kandungan unsur hara yang berasal dari kompos kotoran sapi yang dicampur dengan pelepah kelapa sawit dan *Trichoderma harzianum* menghasilkan sejumlah hara termasuk kalium yang sesuai dengan persyaratan baku mutu SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik.

Tabel 14 Kandungan Hara pada Kompos yang Berasal dari Kombinasi Kotoran Sapi, Pelepah Sawit dan *Trichoderma harzianum*

No.	Parameter	SNI19-7030-2004		Hasil Pengamatan	Keterangan
		Minimum	Maksimum		
1.	C-organik	9,80%	32%	22%–25%	Memenuhi standar
2.	Nitrogen	0,40%	-	1,88%–2,06%	Memenuhi standar
3.	Fosfor	0,10%	-	0,26%–0,31%	Memenuhi standar
4.	Kalium	0,20%	-	0,18%–0,20%	Memenuhi standar
5.	RasioC/N	-	20	11,65–12,17	Memenuhi standar

Sumber: Sakiah *et al.*, 2019.

## Sumber Pupuk K dari Bahan Anorganik

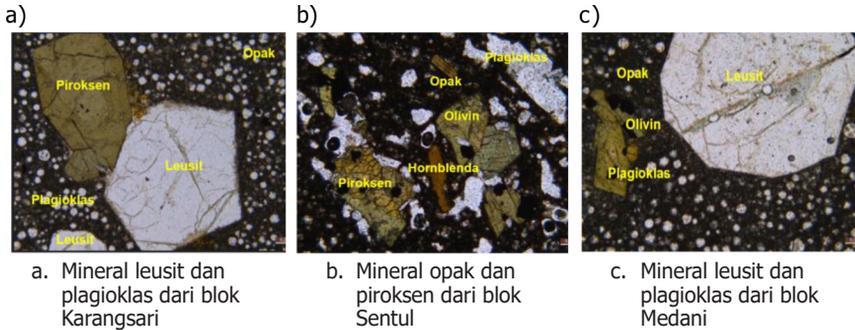
Sumber kalium dari bahan anorganik berasal dari batuan pembawa kalium. Potensi batuan kalium terdapat di Kecamatan Cluwak (Kabupaten Pati), Kabupaten Jepara, dan Kabupaten Kudus, Provinsi Jawa Tengah. Batas toleransi minimal yang dipersyaratkan untuk pupuk NPK padat dengan kandungan kalium sebagai  $K_2O$  minimal 8%. Stratigrafi wilayah Kecamatan Cluwak (Kabupaten Pati) terdiri dari satuan batuan Gunung Muria dan satuan batu gamping yang merupakan batuan yang mengandung kalium dari lava, breksi dan tuf yang tersingkap di bagian utara.

Hasil penelitian Eddy dan Muksin (2019) menunjukkan bahwa batuan kalium dapat dibagi menjadi tiga blok distribusi: blok Karang Sari (kadar  $K_2O$  bervariasi dari 1,94% hingga 6,93%), blok Sentul (kadar  $K_2O$  bervariasi dari 0,55% hingga 7,95%), dan blok Medani (kadar  $K_2O$  bervariasi dari 1,92% hingga 8,77%, relatif lebih tinggi dibandingkan blok lainnya).

Jenis batumannya adalah batuan alkali, dan beberapa jenis batuan yang tergolong sub-alkali, yaitu batuan basaltik. Selain itu, terlihat juga adanya jenis batuan dari deret alkalin yang rendah silika dan sangat alkali. Batuan ini terbagi menjadi *absarokite* dan *shoshonite*, yang juga termasuk dalam deret kalium (*Potassic Series*) sampai deret Kalium tinggi (*High-K-Series*).

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

Leusit mengandung kalium dan aluminium tektosilikat  $K(AlSi_2O_6)$ . Hasil penelitian Agung *et al.* (2019) menunjukkan bahwa mineral ini dijumpai di Kabupaten Jepara, Pati, dan Kudus. Daerah Medani, Jepara tercatat memiliki potensi sebanyak 190.400.000 ton dengan kandungan  $K_2O$  antara 1,92-8,77% (lihat Gambar 22).



Gambar 22 Fotomikrograf

(Sumber: Eddy dan Muksin, 2019)

Berdasarkan parameter tanah  $K_2O$  dengan HCl 25%, menghasilkan lima kategori, yaitu kriteria sangat rendah dengan nilai 9,1%, rendah (13,6%), sedang (18,2%), tinggi (16,4%), dan sangat tinggi (51,8%), sedangkan pada parameter tanah dengan asam sitrat 2% Bray mencapai hasil 100% (kategori sangat tinggi).

Eddy dan Muksin (2019) menyatakan bahwa metode yang digunakan untuk analisis batuan yang menunjukkan adanya batuan kalium adalah dengan analisis kimia unsur esensial, berat jenis, petrografi batuan, dan raman spektroskopi terhadap sampel permukaan dan bawah permukaan.

## 2.4 Sumber Pupuk Kalsium (Ca)

Kalsium (Ca) merupakan unsur hara esensial bagi tanaman. Unsur ini memiliki dua fungsi utama dalam pertumbuhan tanaman, yaitu mengatur tekanan osmotik dari sel dan mengatur metabolisme tanaman. Kalsium sangat penting untuk pertumbuhan meristem tanaman, terutama untuk fungsi ujung akar. Kalsium adalah komponen kalsium pektat, yang terdapat pada lamela tengah dinding sel. Tumbuhan menyerap kalsium dalam bentuk  $\text{Ca}^{2+}$ . Kalsium ditemukan paling banyak di daun dan mengendap di sel beberapa tanaman sebagai kalsium oksalat.

Hasil penelitian Afandi (2005) menunjukkan bahwa kekurangan kalsium menyebabkan kuncup tidak dapat membuka, sehingga tetap menggulung terutama pada tanaman kacang-kacangan, ketela, bawang, dan kentang. Sedangkan untuk tanaman lain kekurangan Ca dapat menyebabkan gejala pada ujung akar. Hanafiah (2005) mengemukakan kekurangan unsur Ca akan menyebabkan terhentinya pertumbuhan tanaman akibat terganggunya pertumbuhan pucuk tanaman dan ujung-ujung akar (titik-titik tumbuh), serta jaringan penyimpanan. Hal ini disebabkan oleh rusaknya jaringan meristematik akibat rusaknya permeabilitas dan struktur membran sel-sel.

*Kahat* Ca mungkin terjadi jika Ca dapat ditukar dalam tanah  $<1$  cmol/kg, atau jika kejenuhan  $\text{Ca} < 8\%$  dari Kapasitas Tukar Kation (KTK). Dobermann dan Fairhurst (2000) menemukan bahwa untuk pertumbuhan optimal maka kejenuhan Ca dari KTK harus  $>20\%$  dan rasio Ca:Mg dapat ditukar pada tanah harus  $>3-4:1$  serta 1:1 dalam larutan tanah. Beberapa sumber pupuk Kalsium (Ca) untuk tanaman disajikan pada Tabel 15.

Tabel 15 Sumber Pupuk Kalsium (Ca) untuk Tanaman

No	Nama	Rumus Kimia	Kandungan (%)	Keterangan
1.	Calcium chloride	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	18% Ca	Larut, cepat tersedia, dan tidak menaikkan Ph
2.	Gypsum	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	23% Ca, 18% S	Sedikit larut, lambat tersedia, untuk tanah salin dan alkalin
3.	Dolomite	$\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$	13% Mg, 21% Ca	Lambat tersedia, mengandung Ca dan Mg dengan kadar yang berbeda
4.	Lime	$\text{CaCO}_3$	40% Ca	Lambat tersedia dan untuk tanah masam

Sumber: Dobermann dan Fairhurst, 2000.

Kalsium umumnya diperoleh dari bahan organik dan anorganik. Sumber Ca dari bahan anorganik, didapatkan dari pelapukan mineral dan batuan yang sangat dominan, meliputi: *feldspar*, *apatit*, *limestone*, dan gipsum. Jumlah dari mineral-mineral ini sangat melimpah, sehingga sebagian besar tanah mengandung kalsium yang cukup untuk memenuhi kebutuhan kalsium tanaman. Menurut Poerwowidodo (1995), tanah yang terbentuk dari bahan induk yang berkadar kapur tinggi memiliki tingkat kandungan kapur yang lebih tinggi dari kapur bebas. Terdapat beberapa sumber Ca dari bahan organik, seperti dari cangkang telur, limbah ikan, kotoran hewan/pukan, dan kompos tandan kosong kelapa sawit.

### Batu Gamping atau Batu Kapur ( $\text{CaCO}_3$ )

Potensi sumber pupuk kalsium di Indonesia dapat berasal dari batu gamping/batu kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) dengan sebaran seperti yang tercantum pada Tabel 16. Batu kapur mudah ditemukan dan digunakan sebagai bahan baku untuk keperluan industri. Batu gamping mempengaruhi kualitas bahan baku. Campuran beberapa senyawa kimia dapat sangat berpengaruh terhadap kualitas bahan baku batu kapur seperti tampak pada Tabel 17.

Batu kapur adalah mineral non-logam yang terdiri dari mineral kalsit dan aragonit. Jenis batuan ini biasanya kaya akan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang merupakan mineral metastabil. Kalsium karbonat adalah senyawa yang ditemukan dalam jumlah besar di batu kapur (lihat Gambar 20). Senyawa ini merupakan mineral paling sederhana yang tidak mengandung silikon dan merupakan sumber senyawa kalsium komersial terbesar.

Mutu dari bahan batu kapur sendiri sebagai sumber Ca telah dikaji melalui beberapa penelitian, salah satunya oleh Megawati *et al.* (2019) menemukan bahwa kandungan  $\text{CaCO}_3$  yang terkalsinasi 28,16% dan tidak terkalsinasi 32,8%. Hasil penelitian Laraebi (2017) mengenai karakteristik kandungan mineral dan unsur penyusun batu gamping di PT. Semen Tonasa menggunakan metode XRF menunjukkan bahwa batu gamping tersebut mengandung  $\text{CaCO}_3$  sebesar 54,94%.

Hasil penelitian Noviyanti *et al.* (2015) menemukan bahwa kandungan kalsium karbonat pada batu gamping dapat diubah menjadi kalsium oksida untuk mendapatkan kadar kalsiumnya. Kalsium karbonat biasanya diperoleh dari suspensi kapur tohor dalam air dan gas karbon dioksida.

Batu kapur terlebih dahulu dikalsinasi pada suhu  $1.050^\circ\text{C} \pm 500^\circ\text{C}$  dan kalsium oksida yang diperoleh dipadamkan dan diencerkan dengan air. Kemudian disaring melalui saringan bukaan khusus, untuk mendapatkan suspensi yang memenuhi syarat. Kalsinasi batu kapur juga menghasilkan gas karbon dioksida, yang digelembungkan ke dalam suspensi kapur padam dalam reaktor karbonatasi untuk membentuk kalsium karbonat.

Tabel 16 Potensi Batu Kapur di Indonesia

No.	Provinsi	Potensi Batu Kapur (Juta Ton)
1.	Nanggro Aceh Darussalam	131.120
2.	Sumatera Utara	3.240
3.	Sumatera Barat	68.100
4.	Riau	53,2
5.	Bengkulu	137,1
6.	Jambi	157
7.	Sumatera Selatan	294

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

Tabel 16. Potensi Batu Kapur di Indonesia (lanjutan)

No.	Provinsi	Potensi Batu Kapur (Juta Ton)
8.	Lampung	2,0
9.	Banten	61,6
10.	Jawa Barat	660,3
11.	Jawa Tengah	6.000
12.	Daerah Istimewa Yogyakarta	10 Juta
13.	Jawa Timur	3. 069
14.	Bali	154.640
15.	Nusa Tenggara Barat	1.200
16.	Nusa Tenggara Timur	132.820
17.	Kalimantan Tengah	449
18.	Kalimantan Selatan	8.330
19.	Kalimantan Timur	57.000
20.	Sulawesi Utara	18,8
21.	Gorontalo	18.500
22.	Sulawesi Tengah	696
23.	Sulawesi Selatan	31.330
24.	Sulawesi Tenggara	1.527.000
25.	Maluku Utara	8.870
26.	Papua	2.600

Sumber: Direktorat Inventarisasi Mineral, 2004.

Tabel 17 Hasil Analisis Batu Kapur di Beberapa Lokasi di Indonesia

No	Lokasi Batu Kapur	Analisis (% Berat)						Kadar Air
		CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	
1	Jawa Timur 1	53,49	0,03	1,5	1,18	0,99	-	-
2	Jawa Barat	56,20	0,10	0,50	0,20	0,10	-	-
3	Jawa Tengah	55,51	0,13	0,12	0,23	0,06	-	0,13
4	Madura	41,30	0,03	5,2	26,6	0,04		
5	Sumatera Barat 1	52,60	2,12	3,77	3,86	ttd	-	-
6	Sumatera Utara	55,00	0,32	0,11	0,30	-	-	-
7	Kalimantan Timur	50,27	1,75	1,0	0,97	0,18	0,03	-
8	Sulawesi Tenggara	51,66	1,77	TT	1,01	1,43	-	-

Sumber: Garinas, 2019.



Gambar 23 Batu gamping dan aplikasi kapur pada tanah kering masam (Sumber: shutterstock.com dalam dunia tambang.co.id dan Keg. Lapang KP. Taman Bogo)

## Kompos dari Bahan Organik

Kompos adalah bahan organik, seperti daun-daunan, jerami, alang-alang, rumput-rumputan, dedak padi, batang jagung, limbah ikan, serta kotoran hewan yang telah mengalami proses dekomposisi oleh mikroorganisme pengurai, sehingga dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah. Kompos mengandung hara mineral esensial bagi tanaman, hara makro dan mikro, seperti N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, B, Zn, Mo, dan Si. Berikut ini bahan baku kompos yang menjadi sumber Kalsium (Ca).

### Cangkang Telur

Zulti (2008), menyatakan bahwa cangkang telur tergolong sisa organik yang mudah diurai menjadi kompos. Cangkang telur dapat digunakan sebagai pupuk organik karena mengandung unsur hara yang dibutuhkan tanaman, seperti kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), nitrogen, kalium dan fosfat. Sedangkan menurut Butcher (2012), cangkang telur mengandung 97% kalsium bikarbonat dan 3% fosfor, magnesium, natrium, kalium, seng, mangan, besi, dan tembaga. Cangkang telur merupakan limbah rumah tangga, rumah makan, catering, dan industri roti atau kue yang belum dimanfaatkan secara optimal.

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

Data BPS (2016) menyebutkan bahwa produksi cangkang telur di Indonesia dapat mencapai sekitar 150.000 ton per tahun. Sementara itu, hasil penelitian Ernawati *et al.* (2019) menyimpulkan bahwa cangkang telur juga dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan pasta komposit, karena kandungan garam organik mencapai 95,1%, senyawa organik (terutama protein) 3,3%, dan 1,6% air. Komposisi nutrisi lengkap dari cangkang telur ditunjukkan pada Tabel 18.

Tabel 18 Komposisi Nutrisi Cangkang Telur

No	Nutrisi	Cangkang Telur (% Berat)
1.	Air	29 – 35
2.	Protein	1,4 – 4
3.	Lemak murni	0,10 - 0,20
4.	Abu	89,9-91,1
5.	Kalsium	35,1 - 36,4
6.	Kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ )	90,9
7.	Fosfor	0,12
8.	Sodium	0,15 – 0,17
9.	Magnesium	0,37 – 0,40
10.	Pottasium	0,10 – 0,13
11.	Sulfur	0,09 – 0,19
12.	Alanin	0,45
13.	Arginin	0,56 – 0,57

Sumber: Syam, 2016.

Penggunaan pupuk organik berbahan cangkang telur mengandung unsur hara esensial bagi tanaman yaitu nitrogen, fosfor, kalium, magnesium, kalsium, belerang, seng dan klorida juga diperkuat oleh Brun *et al.* (2013). Sementara itu, hasil penelitian Wijaya (2019) selain menyebutkan bahwa cangkang telur juga mengandung klor. Jenis dan jumlah kandungan nutrisi dalam pupuk cangkang telur disajikan pada tabel 19.

Tabel 19 Komponen Kimia dalam Pupuk Cangkang Telur

No	Kandungan Nutrien Cangkang Telur	Jumlah Kandungan Nutrien
1.	Nitrogen	0,004 ppm
2.	Fosfor	4,5 ppm
3.	Kalium	116,8 ppm
4.	Kalsium	78,8 ppm
5.	Klorida	64,8 ppm
6.	Sulfur	10 ppm
7.	Magnesium	23,5 ppm

Sumber: Wijaya, 2019.

Menurut Emi *et al.* (2017), proses pembuatan serbuk cangkang telur (kalsium karbonat) sebagai berikut:

1. Cangkang telur dibersihkan, lalu direndam dalam air panas.
2. Cangkang telur dikeringkan dalam oven dengan suhu 105 °C selama 30 menit.
3. Cangkang telur kemudian dihancurkan dengan mortal sampai menjadi serbuk lalu di ayak dengan ayakan ukuran 100 mesh (lihat gambar 24).



Gambar 24 Cangkang telur sebagai bahan baku pupuk

(Sumber: Hasibuan *et al.*, 2021)

### Limbah Ikan

Kekayaan ikan di perairan Indonesia berlimpah. Usaha untuk meningkatkan hasil tangkapannya juga terus-menerus dilakukan. Dari setiap musim tangkapan ikan terdapat 25-30% limbah ikan (lihat gambar 25). Limbah ikan sangat baik digunakan sebagai bahan baku pupuk organik. Hasil uji Tehubijuluw (2014), menunjukkan bahwa kandungan unsur hara yang terdapat pada kompos limbah ikan, yaitu Ca 9,58 %; Mg 2,97%; P 7,40%, dan Sulfur 6,81%. Proses pengomposan melalui dekomposisi alami oleh mikroorganisme secara *aerob* (memerlukan oksigen). Produk kompos seperti ini memiliki muatan negatif yang ketika diimplementasikan ke tanah akan berinteraksi dengan kation-kation dan partikel tanah membentuk agregat tanah.



Gambar 25 Pemanfaatan limbah ikan menjadi pupuk organik

(Sumber: <https://www.kampustani.com/cara-membuat-pupuk-organik-cair-dari-limbah-ikan/>; <https://perikanan.probolinggokab.go.id/download/pemanfaatan-limbah-pengolahan-hasil-perikanan/>)

### Pupuk kandang

Pupuk kandang adalah semua produk hasil buangan hewan peliharaan yang berguna untuk menambah unsur hara serta memperbaiki sifat fisik dan biologi tanah. Kotoran hewan (kohe) dari peternakan, seperti kotoran ayam, sapi, kambing, kerbau, dan kuda. Meskipun kandungan unsur hara pupuk kandang tidak sebesar pupuk buatan, namun memiliki fungsi

yang menguntungkan di dalam tanah, antara lain dapat memperbaiki kemampuan tanah dalam mengikat air, mengurangi erosi, memberikan lingkungan tumbuh yang baik bagi kecambah dan merupakan sumber nutrisi tanaman.

Pupuk kandang juga menjadikan tanah lebih subur, gembur, dan lebih mudah diolah. Kandungan unsur hara pupuk kandang tergantung dari sumber bahan bakunya. Pupuk kandang ternak memiliki kandungan hara nitrogen, fosfor, kalium, dan hara lainnya seperti magnesium dan kalsium. Hasil analisis kandungan hara, termasuk kandungan kalsium dan magnesium pada beberapa jenis kotoran hewan disajikan pada tabel 20 dan tabel 21 serta gambar 26.

Tabel 20 Kandungan Hara Beberapa Jenis Kotoran Hewan

Sumber	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe
	-----(%)-----						
Sapi perah	0,53	0,35	0,41	0,28	0,11	0,05	0,004
Sapi daging	0,65	0,15	0,30	0,12	0,10	0,09	0,004
Kuda	0,70	0,10	0,58	0,79	0,14	0,07	0,010
Unggas	1,50	0,77	0,89	0,30	0,88	0,00	0,100
Domba	1,28	0,19	0,93	0,59	0,19	0,09	0,020

Sumber: Tan, 1993.

Tabel 21 Kandungan Hara pada Kotoran Ternak Ayam, Kambing, Sapi, dan Kerbau

No	Hewan Ternak	Kadar air	Bahan Organik	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Rasio C/N
		-----%-----						
1	Ayam	57	29	1,5	1,3	0,8	4,0	9-11
2	Kambing	64	31	0,7	0,4	0,25	0,4	20-25
3	Sapi	80	16	0,3	0,2	0,15	0,2	20-25
4	Kerbau	81	12,7	0,25	0,18	0,17	0,4	25-28

Sumber: Lingga, 1991.



Gambar 26 Pupuk kandang sapi

(Sumber: Kebun Percobaan Taman Bogo, Balai Penelitian Tanah)

### Kompos Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) merupakan biomassa sisa pemisahan tandan dan biji kelapa sawit, jumlahnya mencapai 21–23% dari berat total Tandan Buah Segar (TBS). Mengutip data dari BPS (2019), tampak bahwa potensi TKKS sangat besar mengingat Indonesia memiliki kebun kelapa sawit terluas di dunia dengan luasan mencapai 15,08 juta hektar pada tahun 2021.

Limbah yang berupa TKKS adalah bahan organik kompleks yang kaya akan unsur karbon, yaitu selulosa 42,7%, hemiselulosa 27,3%, dan lignin 17,2%. Kompos TKKS memiliki kandungan kalium yang tinggi dan mengandung unsur hara, seperti K (4-6%), P (0,2-0,4%), N (2-3%), Ca (1-2%), Mg (0,8-1,0%), dan C/N (15,03%). Proses pengomposan TKKS memerlukan waktu yang cukup lama dan membutuhkan setidaknya tiga jenis enzim: *exoglucanase*, *endoglucanase*, dan  $\beta$ -*glucosidase* (*cellulose complex*).

Menurut Darnoko *et al.* (2005), untuk mempercepat waktu dekomposisi dapat ditambahkan mikroorganisme *Trichoderma sp.* Untuk memperkaya kompos hasil penelitian Ridwan (2003) menyarankan tambahan bahan baku berupa kohe sapi yang memiliki kandungan N (0,65%), P (0,15%), K (0,03%), Ca (0,12%), Mg (0,10%), S (0,09%), dan Fe (0,004%).



Gambar 27 Pengomposan dari limbah tandan kosong kelapa sawit  
(Sumber: Gatra.com dan Tribun.com)

## 2.5 Sumber Pupuk Magnesium

Magnesium (Mg) adalah makronutrien esensial sekunder. Magnesium mengaktifkan beberapa enzim, yang merupakan komponen klorofil berperan dalam asimilasi  $\text{CO}_2$  dan sintesis protein, pengaturan pH seluler dan keseimbangan anion-kation. Magnesium dalam tanah berasal dari dekomposisi batuan yang mengandung mineral *biotit*, *hornblende*, *serpentin*, *empsonit*, dan mineral pembawa *olivine*. Selain itu, magnesium juga terdapat pada mineral lempung sekunder, seperti *klorit*, *ilit*, *montmorillonit*, dan *vermikulit*. Sumber utama pembuatan pupuk magnesium adalah senyawa alam dan mineral yang mengandung unsur magnesium (lihat tabel 22).

Terdapat lebih dari 200 mineral magnesium yang dapat dimanfaatkan langsung sebagai sumber magnesium atau diolah menjadi pupuk. Magnesium dalam pupuk biasanya terikat pada sulfat, karbonat, oksida, atau nitrat dan unsur campuran lainnya.

Menurut Dobermann dan Fairhurst (2000), magnesium sulfat adalah zat yang mudah larut dan bekerja cepat, baik diaplikasikan pada tanah sebagai kieserit dan sebagai larutan yang disemprotkan ke daun, seperti

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

garam Epsom atau Bittersalz. Seperti unsur hara lainnya, magnesium terdapat pada tanaman dalam bentuk  $Mg^{2+}$  yang dapat dipertukarkan ( $Mg-dd$ ) dan dalam bentuk  $Mg^{2+}$  yang terdapat dalam larutan tanah.

Tabel 22 Sumber Pupuk Mg untuk Tanaman

No	Nama	Rumus Kimia	Kandungan (%)	Keterangan
1	Kieserite	$MgSO_4 \cdot H_2O$	17% Mg, 23% S	Larut, cepat tersedia
2	Langbeinite	$K_2SO_4 \cdot MgSO_4$	18% K, 11% Mg, 22% S	Cepat tersedia
3	Magnesium chloride	$MgCl_2$	9% Mg	Larut, cepat tersedia
4	Magnesia (Mg oxide)	$MgO$	55 – 60% Mg	Lambat tersedia, untuk diberikan di daun
5	Magnesite	$MgCO_3$	25 – 28% Mg	Lambat tersedia
6	Dolomite	$MgCO_3 \cdot CaCO_3$	13% Mg, 21% Ca	Lambat tersedia, mengandung Ca dan Mg dengan kadar yang berbeda

Sumber: Dobermann dan Fairhurst, 2000.

Dolomit ( $(CaMg(CO_3)_2)$ ) merupakan jenis kapur yang mengandung unsur hara kalsium karbonat ( $CaCO_3$ ) dan magnesium karbonat ( $MgCO_3$ ). Menurut Natasha (2019), kapur dolomit mengandung MgO (18,34%), CaO (33,54%),  $SiO_2$  (0,58%),  $Fe_2O_3$  (0,37%) dan LOI (*Lost of Ignition*) (47,09%). Selain dolomit, amelioran KCa juga bisa digunakan sebagai pengganti dolomit.

Amelioran KCa adalah jenis pupuk organik berasal dari limbah industri pengolahan kertas dan campuran bahan-bahan organik lain yang telah disterilkan dari logam-logam berat. Amelioran KCa digunakan sebagai pengganti dolomit karena memiliki unsur hara yang mengandung Ca dan Mg, hara makro, seperti N, P, K, dan S, dan hara mikro, seperti Zn, Fe, Bo, dan Al serta mengandung mikroorganisme yang baik untuk pertumbuhan dan perkembangan tanah.

Mengutip data dari Direktorat Inventarisasi Mineral (2004), batu kapur merupakan sumber daya mineral yang berlimpah di Indonesia, jumlahnya diperkirakan 2,160 miliar ton. Kapur karbonat adalah kapur yang dihasilkan bukan melalui proses pembakaran tetapi digiling langsung. Kapur karbonat ini mengandung kalsium oksida dan magnesium oksida (47%) serta kalsium karbonat dan magnesium karbonat (85%). Sulistiyono (2010) menemukan bahwa deposit magnesit alam banyak ditemukan di Indonesia salah satunya ada di pulau Padamarang di Sulawesi.

Bentuk alami magnesium karbonat diantaranya *Proterozoic chrystaline* (mineral magnesit padatan yang keras dan stabil akibat peristiwa tektonik), dan mineral dolomit. Dolomit adalah mineral yang bersifat rapuh yang mengandung senyawa kalsium dan magnesium karbonat. Dolomit di Indonesia banyak ditemukan di sepanjang pantai utara Jawa bagian Timur dan Madura (lihat gambar 28).



Gambar 28 Dolomit  
(Sumber: A.Kasno (2018))

## Kompos Bahan Organik

Kompos merupakan hasil dari pelapukan bahan-bahan berupa dedaunan, jerami, alang-alang, rumput, kotoran hewan, sampah, dan sebagainya. Proses pelapukan bahan-bahan tersebut dapat dipercepat dengan bantuan manusia. Pembuatan kompos merangsang perkembangan bakteri (mikroorganisme) untuk menghancurkan atau menguraikan bahan baku kompos hingga terurai menjadi senyawa lain.

Menurut Murbandono (2004), proses dekomposisi mengubah unsur hara yang terikat pada senyawa organik sukar larut menjadi senyawa organik larut yang berguna bagi tanaman. Kompos merupakan sumber hara makro dan mikro secara lengkap meskipun dalam jumlah yang relatif kecil (N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, B, Zn, Mo, dan Si). Berikut ini beberapa bahan baku kompos yang menjadi sumber magnesium (Mg).

## Limbah Ikan

Limbah ikan terdiri dari ikan yang rusak secara fisik, tidak bernilai ekonomis, sisa dari olahan ikan, dan ikan yang tidak lagi segar untuk dikonsumsi manusia. Salah satu pemanfaatan limbah ikan adalah sebagai bahan baku pupuk organik (lihat gambar 29). Berdasarkan hasil penelitian Tehubijuluw (2014), kandungan Mg pada kompos limbah ikan dapat dilihat pada tabel 23.

Tabel 23 Kandungan Unsur Hara Ca, Mg, P, dan S pada Kompos Limbah Ikan

Sampel	Kadar Unsur Hara (%) B/B			
	Ca	Mg	P	S
Kompos Limbah Ikan	9,58	2,97	7,40	6,81

Sumber: Tehubijuluw, 2014.

Pada penelitian ini pengomposan dilakukan dengan mencampurkan limbah ikan dengan kompos dan *Effective Microorganism 4* (EM-4). *Effective Microorganism 4* adalah kultur campuran dari mikroorganisme yang bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman, sebagian besar mengandung mikroorganisme bakteri penghasil asam laktat (*Lactobacillus* sp.), sejumlah kecil bakteri fotosintetik (*Streptomyces* sp.) dan ragi (yeast). Menurut Marsono dan Sigit (2001), keuntungan dan manfaat EM-4 antara lain:

1. memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah,
2. meningkatkan ketersediaan nutrisi tanaman dan memperlambat aktivitas hama dan mikroorganisme patogen,
3. meningkatkan dan menjaga kestabilan produksi tanaman,serta
4. mempercepat proses fermentasi selama pengomposan.



Gambar 29 Limbah ikan sebagai pupuk organik  
(Sumber: JPM video)

## Kotoran Hewan

Usaha produksi peternakan menghasilkan limbah berupa kotoran ternak (*feces, urine*) dan sisa pakan berupa potongan rumput, jerami, daun, gandum, dan konsentrat. Limbah kotoran ternak dapat diolah

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

menjadi kompos. Pupuk kandang merupakan sumber bahan organik tanah yang berperan untuk merangsang granulasi, mengurangi plastisitas dan kohesi tanah, memperbaiki struktur tanah menjadi lebih remah, dan meningkatkan kemampuan tanah untuk menahan air mencegah drainase yang berlebihan, serta menjaga kelembapan dan suhu tanah menjadi stabil.

Kandungan unsur hara pupuk kandang tergantung dari sumber bahan bakunya. Pupuk kandang ternak memiliki kandungan hara nitrogen, fosfor, kalium, dan hara lainnya, seperti magnesium dan kalsium. Hasil penelitian Tan (1993) menemukan ragam kadar hara magnesium (Mg) pada beberapa jenis kotoran hewan, antara lain pada: sapi perah (0,11%), sapi daging (0,10%), kuda (0,14%), unggas (0,88%), dan domba (0,19%).



Gambar 30 Kotoran ternak sebagai pupuk organik (kiri) dan aplikasi pupuk kandang sebagai penutup pada kegiatan tanam jagung (kanan)

Sumber : KP Taman Bogo, Balittanah (2020)

### Cangkang Telur

Cangkang telur termasuk limbah organik yang mudah diurai menjadi kompos. Cangkang telur sebagai pupuk organik mengandung beberapa unsur hara yang dibutuhkan tanaman, seperti kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), nitrogen, kalium, fosfat, natrium, dan magnesium. Hasil penelitian Wijaya (2019) menunjukkan bahwa kandungan magnesium pada pupuk cangkang

telur adalah sebesar 23,5 ppm. Kadar tersebut cukup besar. Bila 100 kg tepung cangkang telur diaplikasikan ke dalam tanah, berarti terdapat 23,5 kg Mg/ha yang memperkaya tanah dan dapat memenuhi kebutuhan Mg tanaman.



Gambar 31 Pembuatan pupuk organik dari bahan cangkang telur  
(Sumber: Kampus Tani dan Mechtade era.com)

## **Kulit Pisang**

Meningkatnya produktivitas dan minat konsumen terhadap pisang, erat kaitannya dengan limbah pisang. Menurut Nasution (2014), kulit pisang merupakan 1/3 bagian dari buah pisang. Kulit pisang biasanya dimanfaatkan untuk pakan ternak atau hanya dibuang begitu saja. Sebenarnya kulit pisang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik.

Menurut Okorie *et al.* (2015), kulit pisang matang mengandung kalsium (6,01 mg/100g), magnesium (2,31 mg/100g), kalium (9,83 mg/100g), natrium (6,09 mg/100g), dan fosfor (0,49 mg/100g). Sementara kulit pisang mentah mengandung kalsium (11,02 mg/100g), magnesium (3,04 mg/100g), kalium (9,89 mg/100g), natrium (6,18 mg/100g), dan fosfor (0,61 mg/100g).



Gambar 32 Pupuk organik sumber hara magnesium dari bahan kulit pisang

(sumber: Nuansa tani.com dan Kompas.com)

### 2.6 Sumber Pupuk S

Sulfur (S) yang dikenal dengan nama belerang merupakan salah satu penyusun asam amino esensial (sistein, metionin, dan sistin) yang terlibat dalam produksi klorofil dan diperlukan untuk sintesis protein serta fungsi serta struktur tanaman. Selain itu, sulfur seperti yang ditemukan oleh Dobermann dan Fairhurst (2000) merupakan bagian koenzim yang diperlukan untuk sintesis protein dan penyusun hormon tiamin dan biotin yang keduanya terlibat dalam metabolisme karbohidrat serta terlibat juga dalam beberapa reaksi oksidasi-reduksi.

Jones Jr. (2012) menemukan bahwa sulfur terdapat dalam glutathione peptida, koenzim A, vitamin B1, dan glukosida, seperti minyak mustard dan tiol yang memberikan bau dan rasa yang khas pada jenis kubis-kubisan dan bawang-bawangan; serta mengurangi timbulnya penyakit pada banyak tanaman.

Sumber pupuk sulfur dapat berasal dari mineral yang ditambang dan dibuat. Mineral yang ditambang selanjutnya mengalami rekayasa menjadi pupuk anorganik dalam bentuk pupuk tunggal maupun kombinasi dengan hara lain, seperti N, P, K, dan Mg seperti tersaji pada tabel 24. Oleh karena S berada dalam kombinasi dengan unsur lainnya, penggunaan sulfur lebih banyak menjadi sumber hara ikutan, seperti  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , dan  $\text{K}_2\text{SO}_4$ .

Sumber sulfat yang murah adalah gipsum. Gipsum di alam ditemukan dalam bentuk sebagai berikut.

1. gipsum berbentuk butiran berwarna buram yang mengandung sejumlah kecil dolomit, batu gamping, dan 85%  $\text{CaSO}_4$ ;
2. gipsum selenite berupa kristal transparan dan tidak berwarna;
3. gipsum alabaster berwarna putih agak kekuningan;
4. gypsite, yang bercampur dengan tanah liat dan berbentuk kristal, dan
5. gipsum satinspar yang berupa serat dan terletak di lapisan tipis kristal.

Bahan gipsum dapat diperoleh dari hasil tambang. Sumber tambang gipsum yang besar terdapat di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam, tepatnya di daerah Cot Paru, Pante Raja, Kecamatan Trieng Gadeng, Kabupaten Pidie. Menurut Maulinda *et al.* (2012) gipsum dari Aceh ini kualitasnya sangat baik dan dapat digunakan untuk ekstraksi sulfat dengan konsentrasi tinggi.

Tabel 24 Sumber Pupuk S untuk Tanaman

No	Nama	Rumus Kimia	Kandungan (%)	Keterangan
1.	Ammonium sulfate	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	24% S	Cepat tersedia
2.	Single superphosphate	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	12%, 7-9% P, 13 – 20% Ca	Larut, cepat tersedia
3.	Potassium sulfate	$\text{K}_2\text{SO}_4$	18% S	Cepat tersedia
4.	Magnesium sulfate (Epsom salt)	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	13% S, 10% Mg	Sangat cepat tersedia
5.	Kieserite	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	23% S, 17% Mg	Cepat tersedia
6.	Langbeinite	$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4$	18% K, 11% Mg, 22% S	Cepat tersedia
7.	Gypsum	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	17% S	Lambat tersedia
8.	Elemental S	S	97% S	Lambat tersedia
9.	S-coated urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{S}$	6 – 30% S, 30 – 40% N	Lambat tersedia

Sumber: Dobermann dan Fairhurst, 2000.

## Sumber Sulfur (S) dari Bahan Organik

Belerang (sulfur) merupakan nutrisi tanaman utama pada urutan keempat setelah N, P, dan K. Hasil penelitian Prasad & Shivay (2018) menemukan bahwa belerang dalam tanah berasal dari mineral yang mengandung belerang yang ada dalam bahan induk tempat tanah berasal serta dari residu tumbuhan dan hewan atau dari penambahan eksternal unsur S atau mineralnya. Temuan tersebut diperkuat oleh Aisyah (2016) yang menemukan sekitar 95% dari total belerang dalam tanah ada dalam bahan organik.

Kotoran hewan adalah sumber belerang yang sangat baik dan seimbang. Menurut Dadrasnia *et al.* (2021), selain mengandung potasium, nitrogen, dan fosfor dalam jumlah yang signifikan, kotoran hewan merupakan sumber hara lain berupa kalsium, magnesium, dan belerang.

Hasil penelitian Schulte dan Kelling (1998) menunjukkan kandungan sulfur pada kohe sapi sekitar 0,8 kg /ton, kohe sapi perah 0,7 kg/ton, kohe unggas 1,4 kg/ton, dan kohe babi 1,2 kg/ton. Sedangkan menurut Almeida *et al.* (2019), kandungan S dalam kohe ayam sebesar 0,3 kg/ton, kohe kalkun 0,3 kg/ton, serta kohe sapi sebesar 0,1 kg/ton (lihat tabel 25).

Tabel 25 Kandungan Sulfur dari Kotoran Hewan (Kohe)

Sumber	Fasa Padatan		Fasa Cairan	
	kg/ton		Kg/1000 liter	
	Total	Tersedia	Total	Tersedia
Kohe Sapi	0,8	0,4	0,6	2,1
Kohe Sapi perah	0,7	0,4	0,5	2,1
Kohe Unggas	1,4	0,8	1,1	2,1
Kohe Babi	1,2	0,7	0,9	2,1
Kohe Kalkun	0,3			
Kohe Ayam	0,3			

Sumber: Schulte, 1981; Almeida, *et al.*, 2019.

Kompos hijauan tanaman juga merupakan salah satu sumber hara sulfur tanah. Menurut Saviozzi *et al.* (2006), secara umum kandungan sulfur pada kohe sapi lebih tinggi dari kompos hijauan tanaman, namun pengaruh mineralisasi sulfur pada tanah kompos hijauan tanaman lebih tinggi dari kohe sapi. Beberapa hara sulfur terangkut oleh proses panen tanaman seperti yang tersaji pada tabel 26.

Tabel 26 Sulfur Terangkut dari Beberapa Tanaman Panen

Sumber Tanaman	Kandungan Sulfur (g S/ton bahan)
Silase jagung	349,27
Biji jagung	707,60
Hay Alfalfa	2.222,60
Silase Alfalfa	771,11
Hay Rumput	1.406,14
Haylage Rumput	635,03
Kedelai	2.059,31
Kompos sisa tanaman	2.500
Jerami padi	500-1.000

Sumber: Charlie White, 2021; Cardelli *et al.*, 2008; Dobermann dan Fairhurst, 2002.

Enceng gondok (*Eichornia crassipes* Mart. Solm) merupakan salah satu sumber sulfur dari bahan organik. Potensi enceng gondok berada pada daerah perairan sungai, danau, waduk, dan sebagainya, misal Danau Rawa Pening di Lereng Gunung Ungaran, Jawa Tengah dan Waduk Borong di Kota Makasar.

Hasil penelitian Wardini (2008) menunjukkan bahwa kandungan hara pada enceng gondok segar, terdiri dari bahan organik 36,59%, C-organik 21,23%, N total 0,28%, P total 0,0011%, K total 0,016%, dan S 0,02% sedangkan bokashi enceng gondok memiliki kandungan sulfur yang cukup tinggi, yaitu sebesar 178,01 mg/kg. Adapun prosesnya melalui dekomposisi bahan organik sehingga dapat meningkatkan kandungan S-total dalam tanah seperti yang disimpulkan dari hasil penelitian Sofyan (2014).

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

Bokashi eceng gondok merupakan bahan organik yang unggul dengan kelebihan unsur belerang yang dimilikinya. Terjadi interaksi antara pupuk S dengan bokashi eceng gondok terhadap S-Total,  $\text{SO}_2$ --Tersedia, N-Total, C-Organik, P- Tersedia, Zn, serapan S. Sulfur dan bokashi eceng gondok mempengaruhi ketersediaan P tanah. Bahan organik tanah dikenal sebagai penyumbang utama sulfur bagi tanaman, menurunnya kandungan bahan organik tanah sering dianggap sebagai faktor yang menyumbang berkurangnya belerang.

Kelebihan dari bokashi dengan bahan baku eceng gondok memiliki kandungan unsur sulfur yang nilainya lebih tinggi dibandingkan bokashi dengan bahan baku yang beraneka ragam. Kandungan sulfur pada lahan pertanian di daerah humid dan semi-humid sekitar 100--500 mg/kg atau 0,01--0,05% S, sedangkan pada tanah di daerah tropis kandungan sulfur rendah dikarenakan rendahnya kandungan bahan organik.

Sumber sulfur organik lainnya adalah limbah ikan. Potensi daerah yang menghasilkan limbah ikan, yaitu Jawa Timur (Lamongan dan Banyuwangi), Jawa Tengah (Tegal dan Cilacap), Nusa Tenggara Timur, Maluku Utara, Sulawesi Selatan, dan Sulawesi Tengah. Limbah ikan memiliki proporsi sekitar 30%-40% dari total berat ikan yang terdiri dari bagian kepala (12,0%), tulang (11,7%), sirip (3,4%), kulit (4,0%), duri (2,0%), dan isi perut atau jeroan (4,8%).

Kandungan unsur hara dari kompos limbah ikan (b/b), yakni Ca 9,58%, Mg 2,79%, P 7,40%, dan S 6,81%. Tehubijuluw (2014), menyatakan bahwa proses pengomposan dilakukan dengan cara mencampurkan limbah ikan dengan bahan organik lainnya dan diberi EM-4.



Gambar 33 Limbah kepala ikan sebagai sumber S organik

(Sumber: Trisno Utomo, 2016)

## **Sumber S dari Bahan Anorganik atau Mineral Bebatuan Alam**

Sulfur alami dapat ditemui dalam komposisi murni atau dalam kombinasi dengan senyawa lain dalam bentuk mineral yang ditemukan di daerah vulkanik. Mineral yang mengandung belerang dikenal dengan nama mineral sulfida, yaitu kelompok mineral yang terdiri dari gabungan logam atau semi-logam dengan unsur S, contohnya adalah pirit, galena, kalkopirit, dan kalkosist.

Hasil penelitian Sumarti (2010), memetakan daerah-daerah yang berpotensi menghasilkan belerang, yaitu Jawa Barat dari Gunung Tangkuban Perahu, Danau Putri, Galunggung, Ceremai, dan Telaga Bodas; Jawa Tengah dari Gunung Dieng; Jawa Timur dari Gunung Arjuno, Gunung Welirang dan Gunung Ijen; Sumatera Utara dari Gunung Namora; Sulawesi Utara dari Gunung Mahawu, Sopotan, dan Gunung Sorek Merapi, serta Maluku dari Pulau Damar.

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal



Gambar 34 Penambangan belerang dari pegunungan

(Sumber: Fadly 2019 dan Bramasti 2017)

Kusumawati *et al.* (2014), menemukan bahwa mineral sulfida mengandung Fe 46,6%, S 53,4% dan dengan jumlah kecil mengandung unsur Co, Ni, As, Al, Cu, Au dan Ag. Selain potensi dari mineral alam, belerang juga dapat berasal dari bahan anorganik, misal gipsum. Menurut Suriya (2014), kandungan nutrisi gipsum terdiri dari Ca (23,28%), H (2,34%), CaO (32,57%), H<sub>2</sub>O (20,93%), dan S (18,62%).

Sementara itu, gipsum yang berasal dari limbah PT. Petrokimia Gresik mengandung SiO<sub>2</sub> (2,4%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,07%), CaO (52,39%), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,85%), SO<sub>3</sub> (43,59%), TiO<sub>2</sub> (0,08%), CuO (0,03%) dan SrO (0,45%) (Ardhi 2014). Silaban (2019) menyatakan komposisi gipsum adalah Ca 23,28%, H 2,34%, CaO 32,57%, air 20,93%, juga S 18,62%, sehingga gipsum dapat digunakan sebagai salah satu sumber sulfur khususnya dari bahan anorganik.



Gambar 35 Gypsum bahan tambang sumber hara sulfur  
(Sumber: Autumnal Equinox, 2016)

Menurut Juliantara (2013), proses penambangan belerang (sulfur) di Gunung Ijen (Jawa Timur) sangat sederhana. Temuan tersebut diperkuat oleh Sumarti (2010) yang menggambarkan pengambilan sulfur dilakukan penambang dengan turun ke area dekat danau kawah dan mengangkutnya dengan keranjang pikul ke tempat pengumpulan. Sulfur hasil penambangan ini menjadi bahan baku asam sulfat, dengan komposisi sebesar (56%), senyawa pirit atau batuan sulfida/sulfat lainnya (19%), dan emisi dari industri minyak, tambang/batubara (25%).

Sumber sulfur lainnya berupa mineral pirit dan gas hidrogen sulfida yang disuling dari sumur gas alam seperti yang terdapat di Timur Tengah dan Kanada. Sulfur adalah konstituen umum minyak mentah. Banyak mineral lain yang mengandung sulfur, contoh anhidrit (kalsium sulfat), *barit* (barium sulfat), *kalkosit* (tembaga sulfida), *kalkopirit*, *cinnabar* (merkuri sulfida), *galena* (timbal sulfida), *kieserit* (magnesium sulfat), *sfalerit* (seng sulfida), dan *stibnit* (antimon sulfida).

Mineral anhidrit (kalsium sulfat), adalah salah satu jenis mineral evaporit yang dapat terbentuk secara luas di cekungan sedimen yang terisi oleh sejumlah air laut yang telah menguap. Mineral ini biasanya

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

terbentuk bersama-sama dengan batu gamping (*limestone*), halit, dan gipsum. Mineral anhidrit mempunyai rumus kimia  $\text{CaSO}_4$ , yang disebut juga sebagai mineral sulfat anhidrat. Mineral ini sangat terkait dengan mineral gipsum yang komposisi kimianya adalah  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Akan tetapi, fakta membuktikan bahwa kelimpahan gipsum di seluruh dunia ternyata lebih banyak dibandingkan anhidrit.

Barit adalah salah satu bahan non-logam dengan rumus kimia  $\text{BaSO}_4$  yang tidak larut dalam air dan asam, tidak mudah bereaksi, dan dapat menyerap radiasi. Kalkosit adalah kelompok mineral sulfida yang banyak dimanfaatkan sebagai bijih tembaga. Rumus kimia kalkosit adalah  $\text{Cu}_2\text{S}$ , atau masuk dalam kelompok tembaga sulfida. Mineral ini terbentuk pada tingkatan suhu yang relatif rendah. Kandungan dalam batuan kalkosit adalah Cu (79,85%), dan S (20,15%) dengan berat molekul 159,6 g (geolognesia).

Kalkopirit adalah mineral berwarna kekuningan dengan rumus kimia  $\text{CuFeS}_2$ . Mineral ini hadir pada sebagian besar deposit mineral sulfida di seluruh dunia, dan selama ribuan tahun telah menjadi bijih tembaga yang paling penting di dunia.

Galena adalah mineral timbal sulfida dengan komposisi kimia  $\text{PbS}$  yang dinilai sebagai bijih timah utama dunia dan ditambang di banyak negara. Galena ditemukan di batuan beku dan metamorf dalam vena hidrotermal suhu sedang hingga rendah. Menurut Geology (2023), pada batuan sedimen terjadi sebagai urat, semen breksi, butiran terisolasi, dan sebagai pengganti batu gamping dan dolostone. Galena mengandung Pb sekitar 86% dan sulfur sebesar 13%.

Kieserite (magnesium sulfat) merupakan salah satu sumber unsur hara magnesium dan belerang terbanyak. Mineral ini banyak digunakan pada tanaman hortikultura karena pupuk ini cocok dengan hampir semua jenis tanaman dan jenis tanah. Kieserite termasuk pupuk yang terurai dan bereaksi dengan cepat dan merupakan pilihan yang tepat ketika unsur hara magnesium dibutuhkan segera. Contoh sumber kieserite dari hasil

tambang alam terdapat di Jerman, sedangkan yang berasal dari proses pemurnian produksi terdapat di Cina. keduanya memiliki kandungan yang sama, yaitu magnesium sulfat ( $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ).

Sfalerit ((Zn.Fe)S) adalah mineral yang merupakan bijih utama dari seng. Sebagian besar terdiri dari seng sulfida dalam bentuk garis kristal, tetapi hampir selalu mengandung besi dengan jumlah bervariasi. Ketika kandungan besi cukup tinggi mineral ini berwarna hitam buram, marmatit. Mineral ini biasanya ditemukan bersama dengan galena, pirit, dan sulfida lainnya bersama dengan kalsit, dolomit, dan fluorit. Penambang juga merujuk sfalerit sebagai *zinc blende*, *black-jack*, dan *ruby jack*.

Stibnite merupakan salah satu jenis mineral dengan rumus kimia  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ . Ini adalah batu mulia utama dari antimon. Geologyscience (2023), menyebutkan contoh kristal stibnit raksasa terdapat museum Sejarah Alam Amerika. Mineral ini termasuk mineral yang halus, dengan tingkat kekerasan 2 Mohs, sehingga berpotensi sebagai sumber pupuk sulfur.

Sinabar merupakan bebatuan berwarna bata merah berunsur merkuri(II) sulfida,  $\text{HgS}$ , yang merupakan sumber bijih paling umum untuk mendapatkan unsur merkuri. Sinabar digunakan sebagai pewarna sejak zaman kuno di wilayah Asia barat. Geologinesia (2023), menginformasikan bahwa mineral sinabar banyak berasosiasi dengan mineral lain, seperti merkuri, realgar, pirit, marcasite, stibnit, opal, kalsedon, barit, dolomit, serta kalsit.

## Sumber Sulfur dari Pupuk Anorganik (S-berasal dari Bahan Anorganik)

Pupuk amonium sulfat merupakan pupuk buatan berbentuk kristal dengan rumus kimia  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  yang mengandung unsur hara nitrogen dan belerang, yang juga disebut sebagai pupuk ZA (Zwavelzuur Ammoniak). Pupuk ZA mengandung 21% nitrogen (N) dalam bentuk amonium dan 24% sulfur atau belerang (S). Pupuk ZA merupakan salah satu pupuk

yang sering digunakan oleh minimal 20,8%; S minimal 23,8%; kadar air maksimal 1%; kadar asam bebas sebagai  $H_2SO_4$  maksimal 0,1%; bentuk kristal; warna putih dan warna oranye untuk ZA bersubsidi.

Kalium magnesium sulfat adalah garam ganda dan mengandung 18% K (22%  $K_2O$ ), 11% Mg, dan 22% S. Sebagai sumber hara K, Mg, dan S dengan beberapa spesifikasinya, yaitu N pupuk campuran untuk tujuan pada tanah yang kekurangan ketiga hara ini. Banyak diperlukan untuk kebutuhan pupuk dengan kadar klorida yang rendah, seperti yang sering terjadi pada tanaman seperti tembakau, kentang, persik, beberapa kacang-kacangan dan rumput rumput. Pupuk kalium sulfat dengan rumus kimia  $K_2SO_4$  atau disebut juga ZK (Zwavelzuur Kalium) mengandung kalium sebesar 50% sebagai  $K_2O$  serta minimal 17% sebagai sulfur. Pupuk magnesium sulfat yang mengandung 13% S dan 9,8% Mg banyak digunakan sebagai sumber Mg dalam pupuk cair.

Pupuk yang mengandung sulfur lainnya antara lain pupuk superfosfat tunggal, dengan kandungan minimal 5% sebagai sulfur. Pupuk SP-36 mengandung minimal 5% sebagai sulfur. Pupuk SP-36 plus Zn juga mengandung minimal 17% sebagai sulfur. Pupuk mikronutrien sulfat juga sebagai pembawa hara sulfur. Misalnya, dalam pupuk mikro yang terdiri dari Cu, Fe, Mn, dan Zn, konsentrasi S bervariasi bisa sampai 13% dan 21%.

Selain itu, beberapa produsen memproduksi pupuk majemuk makro dengan memasukkan hara sulfur dalam formulanya, misalkan pupuk Phonska yang mengandung 15% N (nitrogen), 15%  $P_2O_5$  (fosfat), 15% K (kalium), serta 10% S (sulfur), atau Phonska Plus yang diperkaya sulfur dan Zn.

### 2.7 Sumber pupuk Mikro (Cu, Zn, Fe, Mn, B)

Pupuk mikro adalah pupuk yang terdiri dari unsur hara Fe, Mn, Cu, dan Zn. Unsur-unsur ini dibutuhkan tanaman dalam jumlah sedikit, jika kelebihan akan mengakibatkan tanaman mengalami keracunan. Walaupun

dibutuhkan dalam jumlah yang sedikit, unsur hara mikro memiliki peranan atau fungsi yang sangat penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

## Tembaga (Cu)

Tembaga atau cuprum (Cu) berperan dalam mensintesis lignin dan mekanisme pertahanan seluler, penyusun asam askorbat, enzim oksidase dan fenolase, dan plastosianin. Selain itu, Cu sebagai faktor pengatur dalam reaksi enzim misalnya efektor, stabilizer, dan inhibitor serta katalis reaksi oksidasi. Menurut Dobermann dan Fairhurst (2000), Cu juga peran dalam proses metabolisme N, protein, dan hormon, fotosintesis dan respirasi serta membentuk dan berperan dalam pembuahan serbuk sari. Terdapat dua jenis sumber Cu yang memiliki jenis kelarutan berbeda-beda dan kadar yang berbeda pula. Sumber pupuk Cu disajikan pada tabel 27.

Tabel 27 Sumber Pupuk Cu untuk Tanaman

No	Nama	Rumus Kimia	Kandungan (% Cu)	Keterangan
1	Cupric sulfate	$\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	35	Larut, cepat tersedia, biaya rendah
		$\text{CuO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	25	
2	Cu oksida	$\text{CuO}$	75	Tidak larut, lambat tersedia

Sumber: Dobermann dan Fairhurst, 2000.

## Zinc (Zn)

Zinc atau biasa disebut seng memiliki peran penting pada beberapa proses biokimia di tanaman, yaitu pembentukan sitokrom dan inti sel (nukleotida), metabolisme auksin, produksi klorofil, aktivasi enzim-enzim dan perbaikan membran sel tanaman. Zn terakumulasi di akar, namun dapat mengalami translokasi dari akar ke tanaman yang sedang berkembang.

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

Retranslokasi Zn sedikit terjadi di dalam kanopi daun, terutama pada tanaman yang kekurangan N. Hasil penelitian Dobermann dan Fairhurst (2000) menunjukkan bahwa gejala kekurangan Zn juga lebih sering terjadi pada daun muda. Kandungan Zn sebagai sumber pupuk Zn untuk tanaman disajikan pada tabel 28.

Tabel 28 Sumber Pupuk Zn untuk Tanaman

No	Nama	Rumus kimia	Kandungan (%) Zn	Keterangan
1.	Zinc sulfate	$ZnSO_4 \cdot H_2O$	36	Mudah larut, bereaksi cepat
		$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	23	
2.	Zinc carbonate	$ZnCO_3$	52-56	Bereaksi cepat
3.	Zinc chloride	$ZnCl_2$	48-50	Mudah larut, bereaksi cepat
4.	Zinc chelate	$Na_2Zn-EDTA$	14	Bereaksi cepat
		$Na_2Zn-HEDTA$	9	Bereaksi cepat
5.	Zinc oxide	$ZnO$	60-80	Tidak mudah larut, sulit bereaksi

Sumber: Dobermann dan Fairhurst, 2000.

### Besi (Fe)

Besi diperlukan untuk transfer elektron dalam fotosintesis dan merupakan konstituen besi porfirin dan feredoksin, keduanya merupakan komponen penting dalam fase fotosintesis terang (lihat Tabel 29). Fe adalah akseptor elektron yang berperan reaksi redoks dan aktivator beberapa enzim (misalnya: katalase, suksinat dehidrogenase, dan aconitase).

Defisiensi Fe dapat menghambat absorpsi K. Menurut Dobermann dan Fairhurst (2000), pada tanah alkalin, Fe diimobilisasi di akar oleh pengendapan. Oleh karena Fe tidak bergerak di dalam tanaman padi, akibatnya daun muda akan terpengaruh terlebih dahulu.

Tabel 29 Sumber Pupuk Fe untuk Tanaman

No	Nama	Rumus Kimia	Kandungan (% Fe)	Keterangan
1.	Ferrous sulfate	$\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	33	Cepat tersedia, larut
2.	Ferrous ammonium sulfate	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	20	Cepat tersedia, larut
3.	Fe chelate	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	14	Cepat tersedia
4.	Fe chelate	NaFeDTPA	10	Cepat tersedia
5.	Fe chelate	NaFeEDTA	5-14	Cepat tersedia
6.	Dolomite	NaFeEDDHA	6	Lebih stabil di tanah dengan reaksi netral

Sumber: Dobermann dan Fairhurst, 2000.

## Mangan (Mn)

Hara mangan (Mn) berperan dalam proses reaksi oksidasi-reduksi dalam sistem transpor elektron, dan perubahan  $\text{O}_2$  dalam fotosintesis. Hara Mn juga mengaktifkan beberapa enzim, seperti oksidase, peroksidase, dehidrogenase, dekarboksilase, dan kinase. Hara Mn diperlukan untuk proses reduksi  $\text{NO}_3$  dan siklus TCA (asam trikarboksilat), pembentukan kloroplas dan stabilitas kloroplas, sintesis protein.

Mangan juga berperan dalam proses katalis saat pembentukan asam fosfatidat dalam sintesis fosfolipid untuk pembentukan membran sel. Hara ini juga mengurangi toksisitas Fe dan diperlukan untuk mempertahankan pasokan  $\text{O}_2$  yang rendah dalam proses fotosintesis (lihat Tabel 30). Menurut Dobermann dan Fairhurst (2000), Mn terakumulasi di akar sebelum pindah ke pucuk dan terjadi translokasi Mn dari daun tua ke daun muda.

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

Tabel 30 Sumber Pupuk Mn untuk Tanaman

No	Nama	Rumus Kimia	Kandungan (% Mn)	Keterangan
1.	Mn sulfat	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	24-30	Larut, cepat tersedia
2.	Mn klorida	$\text{MnCl}_2$	17	Larut, cepat tersedia
3.	Mn karbonat	$\text{MnCO}_3$	31	Tidak larut, lambat tersedia
4.	Mn kelat	$\text{Na}_2\text{MnEDTA}$	5-12	Cepat tersedia
5.	Mn oksida	$\text{MnO}_2$	40	Tidak larut, lambat tersedia

Sumber: Dobermann dan Fairhurst, 2000.

### Boron (B)

Boron (B) memiliki peran utama dalam biosintesis dinding sel dan integritas struktur dan membran plasma. Selain itu, boron juga diperlukan untuk metabolisme karbohidrat, respirasi, transportasi gula, sintesis nukleotida, dan lignifikasi. Defisiensi B menyebabkan viabilitas serbuk sari berkurang, selain itu B bukan konstituen enzim dan tidak mempengaruhi aktivitas enzim. Menurut Dobermann dan Fairhurst (2000), gejala defisiensi B biasanya muncul pertama pada daun muda. Sumber pupuk B ada beberapa jenis dengan kelarutan berbeda-beda seperti yang ditunjukkan pada Tabel 31.

Tabel 31 Sumber Pupuk B untuk Tanaman

No	Nama	Rumus Kimia	Kandungan (% B)	Keterangan
1.	Anhydrous borax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	20	Larut, cepat tersedia
2.	Pupuk borate	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	14	Larut, cepat tersedia
3.	Borax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	11	Larut, cepat tersedia
4.	Colemanite	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	10	Tidak larut, lambat tersedia

Sumber: Dobermann dan Fairhurst, 2000.

Hara mikro biasanya terdapat pada sisa pengolahan tambang, bahan organik, dan sisa industri pangan. Contoh produk sisa pengolahan tambang yang dapat menjadi sumber pupuk mikro adalah *fly ash*, yang merupakan sisa pengolahan tambang batubara. Kadar unsur mikro dari *fly ash*, yakni Cu 381,07 ppm, Zn 9,29 ppm, dan Fe 71,2% dengan sebaran potensi di pembangkit listrik tenaga diesel dan pabrik-pabrik.

Menurut Damanik *et al.* (2010), sumber boron yang berada di dalam tanah umumnya berasal dari batuan seperti batuan granit (15 ppm), batuan endapan seperti batuan kapur (20 ppm), dan batuan basalt (5 ppm), batu pasir (35 ppm), dan batu liat (100 ppm).



Gambar 36 *Fly ash* limbah pembakaran batubara

Sumber: <https://lauwtjunnji.weebly.com/fly-ash--overview.html>

Sumber pupuk mikro selanjutnya adalah pupuk organik. Pupuk organik yang dapat dijadikan pupuk mikro bersumber dari pupuk kandang ayam, sapi, dan kambing; pelepah dan batang pisang; jerami; tanaman pagar (*Titonia*); limbah serasah; *vermicompost*; rumput laut; limbah abu janjang kelapa sawit; limbah cair kelapa sawit (POME); dan limbah tandan kosong. Kadar unsur mikro dari bahan-bahan organik tersebut berbeda-beda.

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

Kadar Fe terendah adalah 33,40 ppm, terdapat pada vermikompost, sedangkan kadar Fe tertinggi terdapat pada kotoran sapi segar, yakni sebesar 1.487,667 ppm. Kadar Mn terendah terdapat pada vermikompost, yakni 27,80 ppm, sedangkan kadar Mn tertinggi terdapat pada kotoran sapi segar dengan nilai 354,667 ppm. Untuk kadar Cu, kadar terendah terdapat pada jerami, yakni 11 ppm, dan kadar tertinggi terdapat pada limbah serasah yang sebesar 79,9 ppm.

Selain itu, Zaitun *et al.* (2009), menemukan bahwa Cu juga terdapat pada pupuk kandang sapi sebesar 22,33 ppm (lihat gambar 37). Limbah serasah mempunyai kandungan Zn sebesar 718,7 mg/kg. Unsur hara B terdapat pada tanaman apel dengan kadar 0,66 mg/100 g berat basah dan tanaman kacang sebesar 0,46 mg/100 g tanaman kering (lihat tabel 23).

Tabel 32 Kandungan Hara Mikro pada Sumber Pupuk Kandang (Pukan)

Sumber Pukan	Kandungan Hara				Sumber
	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Fe (%)	Mn (ppm)	
Sapi	22,33	70,5	0,004	179	(Wiriyanta dan Bernardinus, 2002)
Kambing	-	90,8	0,02	233	(Semekto, 2006)
Ayam	-	315	0,10	250	(Wiriyanta dan Bernardinus, 2002) (Tan 1994)



Sumber: BPSI Tanah dan Pupuk (2023)



Sumber: BPSI Tanah dan Pupuk (2023)



Sumber: BPSI Tanah dan Pupuk (2023)



Sumber: Balittanah

**Gambar 37** Berbagai jenis bahan organik sebagai sumber pupuk mikro.  
Searah jarum jam: sisa tanaman, kotoran ternak, serasah,  
dan batang pohon pisang

Sisa industri pangan yang dapat menjadi sumber pupuk mikro, yaitu limbah kulit nanas, limbah padat nata de coco, dan ampas tebu. Kadar hara yang terdapat dalam limbah kulit nanas adalah Fe senilai 1,27 ppm, Mn sejumlah 28,75 ppm, Cu sebesar 0,17 ppm, dan Zn sejumlah 0,53 ppm. Sebaran potensi sisa industri kulit nanas terdapat di Lampung.

Kadar hara yang terdapat dalam limbah padat nata de coco adalah Fe senilai 166 ppm, Mn senilai 245 ppm, Cu sebesar 114 ppm dan Zn berjumlah 23,33 ppm. Limbah industri ampas tebu memiliki kadar Fe sebesar 0,054%, Zn sebesar 0,018%, dan kadar abu sebesar 31,17%. Sedangkan B terkandung dalam limbah kulit pisang sebanyak 0,24 mg/100 g. Daerah yang berpotensi besar menjadi sumber ampas tebu dan limbah pisang adalah Lampung, Sumatera Selatan, Jawa Barat, dan Jawa Timur.

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

Setiap jenis sumber pupuk mikro memiliki kandungan hara dan kecepatan dalam proses perombakan yang beragam. Kondisi ini menjadikan pertimbangan dalam pemilihannya, sehingga pupuk yang diberikan dapat optimal dalam mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman (lihat gambar 38).



Sumber: BPSI Tanah dan Pupuk (2023)



<https://www.kompasiana.com/bangauky/6153186201019046382a3432/jangan-buang-ampas-kelapa-banyak-manfaatnya-loh>



Gambar 38 berbagai jenis limbah industri pangan: kulit nanas, limbah kelapa, dan ampas tebu

## 2.8 Sumber Pupuk Mikro (Co, Mo, Na)

### Cobalt (Co)

Sekitar 50% cobalt (kobalt, Co) pada tumbuhan berbentuk ionik, 20% bentuk senyawa cobamida dan sisanya bagian dari vitamin B12. Unsur Co menjadi penyusun Cobaltnmethyl corrinoid yang berfungsi sebagai donor gugus metil untuk metilasi t-RNA dan koenzim Cobamida yang terlibat dalam sintesis DNA dan pembelahan sel.

Unsur Co juga berperan pada fiksasi nitrogen dan sintesis leghemoglobin sehingga dapat meningkatkan aktivitas dehidrogenase, hidrogenase, nitrat reduktase, meningkatkan kandungan klorofil, total hematin dan terkait dengan klorofil vitamin E, serta penting dalam produksi etilen pada tanaman. Menurut Mineev *et al.* (2017), dampak positif dari Co lainnya, yakni pada perkembangan batang, pemanjangan koleoptil, dan pembentukan tunas.

Tabel 33 Sumber Pupuk Co untuk Tanaman

No	Nama	Rumus Kimia	Kandungan (% Co)	Keterangan
1.	Cobalt sulfate	$\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	20-21	-
2.	Cobalt chloride	$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	24,8	-
3.	Cobalt nitrate	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	20,3	-

Sumber: Karcz, 2020;University Agro, The Soviet School of Farming, 2022.

Hara mikro Co banyak ditemukan pada spesies rumput dengan konsentrasi yang bervariasi. Secara umum tanaman semanggi mengandung lebih banyak Co dibanding rumput (lihat Gambar 39). Menurut Reith dan Mitchell (1964), di antara rerumputan itu sendiri, ryegrass (*Lolium spp.*) biasanya mengandung lebih banyak Co dibanding spesies lain, seperti cocksfoot (*Dactylis*) dan timothy (*Phleum*). Namun, Fleming *et al.* (1963) telah membuktikan bahwa tingkat kadar Co secara umum rendah (lihat Tabel 33).



Gambar 39 Rumput sebagai sumber Co

Sumber : BPSI Tanah dan Pupuk (2023)

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

Tanaman kedelai juga sebagai sumber Fe, Mo, dan Co dengan rincian Fe sebesar 496 mg/kg, Mo sebesar 3 mg/kg, dan Co sebesar 1 mg/kg tanaman kering. Limbah ikan terdiri dari tulang, sirip, kepala, sisik, kulit, dan jeroan dapat digunakan sebagai sumber pupuk mikro karena kaya akan sumber protein, lemak, vitamin D, B2 (Riboflavin), dan B12 (Kobalamin). Kobalamin dapat digunakan sebagai sumber pupuk Co untuk tanaman.

### Molibdenum (Mo)

Molibdenum (Mo) bagian dari penyusun enzim nitrat reduktase yang berperan dalam reduksi nitrat dan reduksi nitrat menjadi nitrit. Mineral Mo juga berperan dalam biosintesis asam nukleat, fotosintesis, respirasi, sintesis pigmen, dan vitamin. Peran molibdenum dalam proses fiksasi nitrogen dapat meningkatkan nutrisi nitrogen pada tanaman legum sehingga meningkatkan efisiensi pupuk fosfor kalium. Menurut Mineev *et al.* (2017), kekurangan Mo pada tanaman mengakibatkan terganggunya metabolisme nitrogen dan akumulasi nitrat dalam jaringan.

Tabel 34 Sumber Pupuk Mo untuk Tanaman

No	Nama	Rumus Kimia	Kandungan (%)	Keterangan
1.	Ammonium molybdate	$((\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4)$	52 Mo	Larut dalam air
2.	Simple granulated superphosphate with molybdenum		20 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; 0,1 Mo	Larut dalam air
3.	Double granulated superphosphate with molybdenum		43 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; 0,2 Mo	Larut dalam air

Sumber: University Agro, The Soviet School of Farming, 2022.

Mineral Mo banyak ditemukan pada tanaman legum, rumput, semanggi, alfalfa, kedelai, kacang polong, buncis, lobak, dan beberapa tanaman sayuran, seperti selada, bayam, kembang kol, dan tomat (lihat tabel 34).

Bintil legum mengandung 0,5--20,0 mg Mo per 1 kg berat kering dan sereal 0,2-1,0 mg per 1 kg berat kering. Secara umum, kandungan Mo pada tanaman dapat bervariasi pada kisaran 0,1--300 mg per 1 kg berat kering. Tanaman legum banyak mengandung Mo karena dipengaruhi oleh fiksasi nitrogen oleh *Rhizobium*. Mineral Mo sendiri berperan penting dalam proses fiksasi nitrogen.

Mineral Mo merupakan unsur utama dalam enzim nitrogenase sehingga setiap bakteri yang memiliki kemampuan memfiksasi nitrogen membutuhkan Mo selama proses fiksasi. Selain itu, Mo berperan dalam pembentukan nodul akar dan aktivitas nitrogenase sehingga Mo banyak ditemukan pada nodul akar. Pemberian pupuk Mo efektif dan efisien untuk meningkatkan hasil tanaman legum (lihat Gambar 40).



Gambar 40 Akar kedelai sumber utama Mo

[https://www.researchgate.net/figure/The-mutualistic-association-between-nitrogen-fixing-bacteria-and-leguminous-plants-Left\\_fig2\\_333682261](https://www.researchgate.net/figure/The-mutualistic-association-between-nitrogen-fixing-bacteria-and-leguminous-plants-Left_fig2_333682261)

<https://bappeda.jatimprov.go.id/2015/06/10/jatim-dukung-swasembada-kedelai-2018/>

Ketersediaan Mo di dalam tanah dipengaruhi oleh perubahan kondisi reduksi oksidasi oleh mikroorganisme dan pengapuran. Menurut Gardner *et al.* (1991), peningkatan pH tanah mengakibatkan ketersediaan Mo meningkat. Dengan demikian, penambahan kapur di tanah mengakibatkan peningkatan ketersediaan Mo. Akar tanaman menyerap Mo dalam bentuk anion divalen ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ) yang berasal dari pelapukan beberapa jenis mineral seperti  $\text{MoS}_2$  (tereduksi), kompleks oksida ( $\text{CaMoO}_4$ ) dan bentuk terhidrasi.

### Natrium (Na)

Tingginya konsentrasi natrium atau sodium di dalam tanah dapat menghambat pertumbuhan tanaman karena nilai osmosisnya naik sehingga mengakibatkan plasmolisis. Dari segi fisikokimia tanah, tingginya konsentrasi Na dapat mengakibatkan kerusakan struktur tanah (sodik) sehingga tanah menjadi padat. Pada tanaman tertentu, Na menggantikan peran K, yaitu meningkatkan tekanan turgor pada sel tanaman.

Unsur Na memiliki sifat mudah bereaksi dengan air sehingga memperbesar peluang pertukaran kation berbagai unsur hara dalam tanah dan unsur esensial untuk beberapa tanaman C4. Menurut hasil penelitian Mineev *et al.* (2017), Na dari sodium tetraphenyl boron dapat melepaskan K terfiksasi menjadi K tersedia di tanah alfisols, vertisols, dan aluvial (inceptisols dan alfisols) sehingga dapat mengurangi sebagian kebutuhan pupuk K (lihat Tabel 35).

Tabel 35 Sumber Pupuk Na untuk Tanaman

No	Nama	Rumus Kimia	Kandungan %)	Keterangan
1.	Sodium oxide	Na <sub>2</sub> O	50 Na	Mudah larut
2.	Natrium nitrat	NaNO <sub>3</sub>	16 NO <sub>3</sub> ; 26 Na	Mudah larut
3.	Natrium Klorida	NaCl	94,7 Na	Mudah larut

Sumber: pda.org.uk ; IPNI 13028; Salman *et al.*, 2019.

Hara Na ditemukan dialam dalam bentuk pelapukan vulkanik dan dari sumber air laut. Menurut dokumen Peta Geologi lembar Magelang-Semarang 1408-5 1409-2, di Jawa Tengah, sumber ketersediaan unsur hara Na berasal dari geologi Gunung Sindoro dan Sumbing yang menghasilkan mineral andesit augit olivine, andesit hipertens augit, dan breksi hipertens augit. Hasil penelitian Hanafiah (2005) menyebutkan bahwa augit dan olivine mengandung mineral Na<sub>2</sub>O yang telah mengalami pelapukan sebesar 0,14%.

Penelitian Fiantis (2006) memperlihatkan bahwa hasil pelapukan lanjut dari debu vulkanik yang menyebabkan terjadinya penambahan kadar kation tanah, seperti Ca, Mg, Na, dan K hampir 50% dari kondisi semula. Kondisi ini didukung dengan sifat K dan Na yang sangat *mobile* dan mudah tercuci oleh air. Unsur Na juga ditemukan pada limbah abu sekam padi, yakni  $\text{SiO}_2$  80,25% ;  $\text{Na}_2\text{O}$  0,05% ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  3,01%,  $\text{CaO}$  0,7%, dan  $\text{SO}_3$  0,3%.

Selain itu, potensi Na juga ditemukan di air laut yang dimanfaatkan juga sebagai bahan dasar pembuatan garam (natrium klorida). Garam sebagian besar mempunyai kandungan natrium, klorida, dan senyawa lainnya, seperti magnesium dan kalsium. Penelitian Salman *et al.* (2019), menemukan bahwa garam dapur yang digunakan sebagai bahan penyedap makanan mengandung komponen utama NaCl sebesar 94,7% yang dapat digunakan sebagai pupuk untuk sumber Na (lihat Gambar 41).



Gambar 41 Pembuatan garam dari air laut

(Sumber: <https://maritimbisnis.com/2021/01/24/kriteria-penentuan-lokasi-lahan-produksi-garam-di-indonesia/>)

Salah satu sumber Na dari bahan organik adalah keong mas (*Pomacea canaliculata*). Kandungan daging keong mas mempunyai Na sebanyak 40 g/100 g daging (lihat Gambar 42). Selanjutnya rumput laut yang terdiri dari air (27,8%), protein (5,4%), karbohidrat (33,3%), lemak (8,6%), serat kasar (3%), dan abu (22,25%), serta mikro mineral, seperti zat besi, magnesium, dan natrium.

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

Rumput laut (*Caulerpa lentilifera*) juga menjadi sumber Na organik seperti yang terdapat di Kabupaten Sumba Timur dengan kandungan fosfor 1.030 mg/100 g, kalsium 780-1874 mg/100 g, kalium 700–1.142 mg/100 g, magnesium 630 mg/100 g, dan natrium 3,90 mg/100 g. Hasil penelitian Ratana dan Chirapart (2006) membuktikan bahwa *Caulerpa lentilifera* juga memiliki kandungan mineral mikro, seperti iodium 1.424 mg/100 g, besi 9,3-21,4 mg/100 g, mangan 7,9 mg/100 g, tembaga 7,9 mg/100 g, dan seng 2,6-21,4 mg/100g.



Gambar 42 Keong mas sebagai sumber Na dari sumber organik

(Sumber: Hui *et al.*, 2014)

Jenis rumput laut yang keberadaannya melimpah, yakni *Euchema sp.*, *Hypena sp.*, *Gracilaria sp.*, *Gelidium sp.*, dan *Sargassum sp* (lihat Gambar 43) yang memiliki sebaran luas dan bervariasi. Ragam rumput laut tergolong sebagai tumbuhan yang dominan dan tersebar di seluruh perairan sepanjang perairan barat hingga timur di Indonesia, seperti di Selat Sunda, Perairan Bangka Belitung, Karimun Jawa, Pantai Selatan Pulau Jawa, Pantai Bali, Pantai Lombok, Kupang, Kalimantan Timur, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Utara, Ternate, Ambon, Teluk Lampung, dan Perairan Natuna.



Gambar 43 Rumput laut sebagai sumber Na dari sumber organik  
(sumber: Kiki Zakiah, 2021)

Metode yang digunakan untuk mendapatkan ion Na adalah metode ekstraksi dengan agitasi dan non-agitasi pada suhu antara 70--120°C. Menurut Chhabra dan Richardson (2011) dan Patel *et al.* (2019), proses agitasi dapat meningkatkan perpindahan massa karena adanya reaksi kimia, sedangkan penggunaan suhu dapat menghasilkan katalis reaksi kimia, menurunkan viskositas, dan tegangan permukaan sehingga didapatkan kadar Na dalam jumlah yang tinggi.

## 2.9 Sumber Hara Benefisial Silikat

Unsur hara Si termasuk dalam kelompok unsur hara benefisial. Ini karena Si memiliki fungsi dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman biotik, seperti penyakit akibat jamur, serta abiotik seperti salinitas dan rebah. Menurut Brunings *et al.* (2009), tanaman Graminae termasuk padi memerlukan unsur hara silika ( $\text{SiO}_2$ ) dalam jumlah banyak. Sementara itu, Kyuma (2004) juga menemukan bahwa unsur hara silika diserap oleh tanaman padi antara 100-300kg/ha setiap dipanen.

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

Ketahanan tanaman padi terhadap serangan penyakit *blast* dan rebah batang (*lodging*) dapat ditingkatkan dengan penambahan pupuk silika. Selanjutnya menurut Massey dan Hartley (2009), unsur hara silika juga dapat membuat dinding sel menjadi lebih tebal sehingga penetrasi penyakit dan hama akan sulit menembus sel tanaman.

Wedepohl (1995), menyatakan bahwa silikon (Si) adalah elemen kedua dari kerak bumi. Selanjutnya penelitian Guntzer *et al.* (2012) menemukan bahwa mineral silika yang telah mengalami pelapukan kimia dan fisik akan melepaskan Si ke dalam larutan yang digabungkan dengan unsur lain untuk membentuk mineral tanah liat atau diserap oleh tanaman.

Bentuk Si yang diserap oleh akar tanaman menurut Datnoff *et al.* (2001) berbentuk asam silikat. Selanjutnya, menurut Matichenkov dan Bocharnikova (2001), asam monosilikat, asam polisilikat, senyawa organo-silikon dan senyawa kompleks dengan zat organik dan anorganik adalah Si *mobile*.

Hasil penelitian Raleigh (1953), menemukan bahwa penyerapan hara P dan S oleh tanaman pada keadaan tertentu saling mempengaruhi. Peningkatan serapan P dengan adanya aplikasi Si, hanya terjadi pada tanah yang kekurangan unsur hara P. Sedangkan menurut Ma dan Takahashi (1990), pada tanah dengan kadar P tinggi, Si bermanfaat bagi tanaman dengan mengurangi serapan P dan dengan demikian mengurangi P anorganik di dalam tanaman.

Menurut Tubana dan Heckman (2015), pupuk Si meningkatkan jumlah pelepasan Si dalam larutan tanah. Pada tahun 2012 Guntzer *et al.* menemukan bahwa silika yang berasal dari sumber alam baik dalam bentuk organik maupun anorganik memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber hara. Menurut Gascho (2001), banyak material yang berpotensi sebagai sumber Si bagi tanaman yang penting material tersebut memiliki Si yang mudah larut dalam tanah.

Sumber-sumber Si yang termasuk kategori bahan organik yang dapat dimanfaatkan diantaranya jerami padi, sekam padi, bagasse (ampas tebu), daun bambu, cangkang kelapa sawit. Jerami padi memiliki potensi sebagai sumber hara Si serta bahan baku lokal ini tersedia dalam jumlah yang besar dan mudah diperoleh di area persawahan (lihat Gambar 44).

Dobermann dan Fairhurst (2000), serta Ghosh dan Bhattacharjee (2013), membuktikan bahwa kandungan Si pada jerami antara 5-6%, sedangkan silika dalam sekam padi antara 17%-20% dalam bentuk kompleks. Kadar silika tertinggi pada tanaman padi ada dalam abu sekam (*rice husk ash*), yaitu antara 85%-95% silika amorf. Dari hasil panen padi sebesar 6 ton/ha, terangkut kurang lebih 480 kg/ha Si melalui tanaman padi dan sekitar 80% Si tersebut terdapat pada jerami padi.

Sumber silika berikutnya yang banyak ditemui adalah baggase. Bagasse adalah limbah utama yang dihasilkan dari proses penggilingan industri tebu. Menurut Affandi *et al.* (2009), abu ampas tebu yang dihasilkan melalui proses pembakaran bagasse di dalam boiler memiliki kandungan silika yang tinggi.

Di Indonesia, diperkirakan setiap hektar tanaman tebu mampu memproduksi 100 ton ampas tebu. Menurut data Direktorat Jenderal Perkebunan (2019), produksi tebu nasional pada tahun 2021 diperkirakan mencapai 2.364.321 ton.

Bahan baku lokal lainnya yang kaya akan Si adalah daun bambu. Menurut Ding *et al.*, (2008) dan Li *et al.* (2006), bambu sebagai akumulator Si memiliki kandungan Si sebanyak 3--410 mg  $\text{SiO}_2/\text{g}$ . Dikutip dari *ekon.go.id*, Indonesia memiliki 1 juta ha tanaman bambu, namun baru 25.000 ha yang sudah dikelola dalam bentuk hutan/kebun bambu.

Imaizumi (1958) menyatakan bahwa bahan baku lokal lainnya yang berpotensi menjadi sumber Si adalah tanah yang berasal dari bahan induk abu vulkanik yang mengandung Si tinggi. Menurut Haynes *et al.*

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

(2013), *wollastonite* atau mineral kalsium inosilikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) termasuk sumber pupuk Si yang paling terkenal dan harganya relatif mahal. Namun, sebenarnya terdapat bahan baku lokal sumber Si, yaitu limbah industri, yang berupa *steel slag*, *fly ash* dan *bottom ash*.



Gambar 44 Jerami padi sebagai bahan baku lokal sumber silika



Gambar 45 Potensi *fly ash* dari industri energi

Sumber: BPSI Tanah dan Pupuk (2023)



Gambar 46 *Fly ash* (kiri) dan abu vulkan (kanan) sumber silika  
Sumber: Linca Anggria (2017)

Teir *et al.* (2005), mendefinisikan *steel slag* sebagai produk sampingan non-logam yang berasal dari pembuatan besi dan baja yang terdiri dari silikat Ca, Mg, dan Al dalam berbagai kombinasi. Menurut Haynes *et al.* (2013), *steel slag* terdiri dari Si sebagai semikristalin larnite  $\text{Ca}_2(\text{SiO}_4)$  yang sedikit larut. Konsentrasi Si dalam pengekstrakan HCl 0,5 N pada *fly ash* diketahui lebih rendah dibandingkan *steel slag*. Hal ini dimungkinkan karena *fly ash* terdiri dari partikel mirip kaca yang sangat tidak larut dan terdiri dari ferro-aluminosilikat dan kuarsa amorf.

Terkait penggunaannya, sumber hara silika yang berasal dari bahan organik dapat langsung digunakan atau diproses terlebih dahulu melalui pengomposan, pemanasan, penambahan bahan kimia, dan pembakaran dengan suhu tinggi. Seperti cangkang sawit dan sekam padi yang melalui proses pembakaran terlebih dahulu sehingga menjadi abu. Sedangkan jerami padi dikomposkan dahulu.

## II. Sumber Bahan Baku Pupuk Berbahan Baku Lokal

Proses pemurnian sekam padi melalui ekstraksi dengan bahan kimia dan pemanasan menghasilkan kadar silika yang lebih tinggi, tetapi sayangnya juga menghasilkan cemaran bahan kimia sisa ekstraksi. Sumber hara silika dari limbah industri dapat diaplikasi langsung ke dalam tanah, contoh *fly ash* dan *steel slag*. Namun untuk mendapatkan kadar silika yang lebih tinggi, limbah tersebut dapat diproses lebih dahulu melalui ekstraksi dengan bahan kimia dan pemanasan.

Lebih lanjut Raleigh (1953) menemukan bahwa ketersediaan P meningkat pada tanah yang mengandung kadar P rendah dengan penambahan silika. Selain itu, menurut Ma dan Takahashi (1990), silika juga bermanfaat untuk tanaman pada tanah yang memiliki kadar P tersedia yang tinggi, dengan demikian mengurangi serapan P sehingga dapat mengurangi P anorganik di dalam tanaman.

\*\*\*



### III.

## Potensi Pengembangan Pupuk Berbahan Baku Lokal

Pupuk anorganik, organik, dan pupuk hayati merupakan salah satu faktor produksi yang berperan penting dalam meningkatkan produktivitas tanaman. Saat ini petani Indonesia sudah familiar dengan penggunaan pupuk terutama pupuk anorganik di antaranya Urea, SP-36, dan KCl.

Namun, dengan adanya perang Rusia-Ukraina di tahun 2023 sektor pertanian jadi terdampak. Dampak yang mulai dirasakan adalah langkanya ketersediaan pupuk anorganik di pasaran. Saat ini ketersediaan bahan baku terbatas karena masing-masing negara produsennya menahan ketersediaannya untuk kepentingan negerinya sendiri.

Melihat kondisi tersebut maka diperlukan solusi untuk mengatasi minimnya ketersediaan serta tingginya harga jual pupuk anorganik di pasaran. Mengoptimalkan alternatif bahan baku lokal sebagai sumber hara yang tersedia *in situ* di Indonesia sebagai salah satu solusinya.

Sumber hara berbahan baku lokal dapat berasal dari hasil tambang, seperti fosfat alam, bahan organik (legum), sisa industri ternak dan pangan, penambat N, dan sumber-sumber lainnya. Pada penjelasan sebelumnya telah diidentifikasi berbagai bahan baku lokal yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber hara yang dibutuhkan dalam pertumbuhan tanaman.

Berbagai jenis sumber bahan baku lokal tersebut tersebar di berbagai daerah, seperti fosfat alam sebagai sumber P terdapat di Ciamis, Jepara, dan Gresik. Sumber bahan baku lokal lainnya adalah jerami padi yang kaya unsur hara kalium (K) dan silika (Si). Sebagai ilustrasi, potensi jerami sebagai sumber hara sangatlah besar, dengan asumsi 1 ha lahan sawah dapat menyediakan sekitar 7,5 ton jerami, dengan kadar hara K sekitar 0,7% dan kadar air 30%, maka bila jerami tersebut dikembalikan ke lahan dapat menyumbang sekitar 36,75 kg K.

Ketersediaan bahan baku lokal umumnya tidak tersebar merata di seluruh wilayah Indonesia dan memiliki kualitas yang beragam sehingga pemanfaatan *in situ* (pemanfaatan di lokasi) lebih direkomendasikan. Cara ini akan lebih efisien dalam hal rekayasa (pengomposan) dan mengubah ukuran bagi bahan tambang sehingga efisien biaya transportasinya. Selain itu, kandungan hara pada bahan baku lokal umumnya rendah, sehingga diperlukan dalam jumlah banyak. Dengan beragamnya sumber juga dituntut adanya pengawasan mutu bahan baku yang lebih intensif.

Terdapat berbagai bahan baku lokal yang dapat dimanfaatkan secara langsung seperti fosfat alam, namun ada juga yang memerlukan pengolahan lebih lanjut, misalnya limbah pertanian dan limbah industri. Guna mengoptimalkan pemanfaatan bahan baku lokal ini diperlukan sumber daya manusia yang menguasai teknik pengolahan yang aplikatif.

Sebagai contoh, saat ini Kementerian Pertanian melalui UK/UPT terkaitnya telah banyak melakukan pelatihan, bimbingan teknis terkait pemanfaatan bahan baku lokal sumber hara, seperti bimbingan teknis pengomposan jerami, kotoran hewan, pembuatan mikroorganisme lokal (MOL) kepada para penyuluh, petani, serta praktisi pertanian lainnya. Kegiatan bimtek dan kegiatan serupa lainnya bertujuan untuk meningkatkan kapasitas SDM yang mampu memanfaatkan bahan baku lokal yang tersedia.

### III. Potensi Pengembangan Pupuk Berbahan Baku Lokal

Selain bimbingan teknis, pemerintah juga telah memberikan berbagai bantuan terkait hal ini diantaranya fasilitas unit pengolahan pupuk organik (UPPO) dari Kementerian Pertanian. Melalui bantuan UPPO ini, kelompok tani secara mandiri mengolah bahan baku lokal berupa kohe dan sisa tanaman menjadi pupuk organik.

Pemerintah juga terus menghasilkan inovasi teknologi yang dapat mengoptimalkan kualitas dan proses pengolahan bahan baku lokal ini sebagai sumber hara. Beberapa inovasi yang telah dihasilkan untuk mendukung pemanfaatan bahan baku lokal sebagai sumber hara diantaranya dekomposer super aktif (DSA), M-DEC (inokulan perombak bahan organik), biodekomposer dekoligen (dekomposer perombak bahan organik yang mengandung lignin rendah hingga lignin tinggi seperti ranting tanaman), paket teknologi pembuatan MOL (mikro organisme lokal), (*dekomposer*).

Penggunaan dekomposer ini dapat mempercepat proses pengomposan bahan baku lokal sehingga tidak memakan waktu lama. Inovasi lainnya yang telah dihasilkan adalah Perangkat Uji Pupuk Organik (PUPO). PUPO adalah alat untuk mendeteksi dengan cepat kandungan nutrisi pupuk organik di lapangan. Adapun parameter yang dapat dianalisis dengan PUPO meliputi pH, C, N, P, K, dan Fe. Inovasi teknologi yang telah dihasilkan ini adalah yang aplikatif sehingga petani dapat langsung mengaplikasikannya.



Gambar 47 Produk dekomposer BPSI tanah dan pupuk

Sumber: BPSI Tanah dan Pupuk (2023)

Peningkatan kapasitas pemanfaatan bahan baku lokal sebagai sumber hara dapat terjadi jika dikelola secara bersama oleh gabungan kelompok tani (Gapoktan) dan akan dapat menjadi alternatif sumber pendapatan. Hasil pengolahan dari bahan baku lokal berupa pupuk organik ini dapat dimanfaatkan oleh petani lain.

Peraturan terkait pemanfaatan hasil pengolahan mandiri oleh petani atau gapoktan diatur dalam UU No 22 Tahun 2019 mengenai Sistem Budi Daya Pertanian Berkelanjutan, yang dalam pasal 72 dijelaskan bahwa pupuk yang diproduksi oleh petani skala kecil dapat didistribusikan secara terbatas dalam satu kabupaten/kota.

Berdasarkan peraturan yang berlaku ini, maka hasil pengolahan bahan baku lokal oleh petani atau gapoktan di suatu kabupaten atau kota dapat diedarkan di wilayah produksi (dalam satu kabupaten/kota) tanpa memerlukan ijin edar dari Kementerian Pertanian (gambar 47 dan 48).

### III. Potensi Pengembangan Pupuk Berbahan Baku Lokal



Gambar 48 Perangkat uji pupuk organik

Sumber : BPSI Tanah dan Pupuk (2023)



Gambar 49 Unit pengolah pupuk organik (UPPO) Desa Ngestiharjo, Kecamatan Wates, Kabupaten Kulonprogo

Sumber: AF Siregar (2021)

Lebih lanjut, dengan manajemen yang lebih terorganisir, gapoktan pun dapat memproduksi pupuk organik yang dapat dikomersialisasikan. Untuk mencapai tahapan ini, pupuk organik yang diproduksi harus memenuhi syarat mutu seperti yang tercantum pada Kepmentan Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 mengenai Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenh Tanah serta lulus uji efektivitas dan didaftarkan sesuai peraturan yang berlaku. Dengan demikian tidak menutup kemungkinan pemanfaatan sumber bahan baku lokal sebagai peluang usaha berbasis kemandirian lokal.

\*\*\*

## IV. Penutup

Pemanfaatan sumber daya *in situ* untuk substitusi atau mengganti sebagian hara tanaman mempunyai peluang yang cukup besar, baik dalam bentuk bahan organik, tambang, sisa industri, sisa pembakaran batubara, dan bahan lainnya. Sumber hara alternatif ini memang tidak besar, tetapi pemanfaatannya juga berguna untuk pembenah tanah yang akan memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kemampuan memegang air, menekan penguapan air, pH, menjerap sementara unsur yang toksik, menghasilkan hormon tumbuh, enzim, senyawa organik bermanfaat, mineral, dan yang utama membantu meningkatkan efisiensi biaya pupuk anorganik.

Dalam upaya manfaat bahan baku *in situ* tersebut, strategi penanganan sebagai berikut.

1. Pertama, perlu diterbitkan aturan pemanfaatan sumber-sumber alternatif *in situ* sebagai sumber hara, dan selanjutnya dibuat petunjuk teknis (juknis) atau standar operasional prosedur (SOP) metode seleksi bahan baku, pemrosesan, hasil produksi, kontrol kualitas, dan cara penggunaannya.

2. Kedua, melakukan gerakan masal tentang pengembalian sisa biomassa panen, seperti jerami padi, jerami jagung, jerami sorgum, blotong tebu lahan. Hasil penelitian mengungkap bahwa rata-rata nisbah hasil gabah padi dengan jerami sebesar 150%, sehingga ketika hasil gabah kering panen 5 ton per ha, maka bobot jerami segar yang dihasilkan mencapai 7,5 ton per ha. Jerami dapat langsung dikembalikan ke lahan dan disemprot dekomposer sebelum pengolahan tanah pertanian (walik jerami), atau dikomposkan terlebih dahulu di sisi lahan. Kompos jerami mengandung K 2,21% dan C-organik 7–8% dari bahan kering.
3. Ketiga, melakukan gerakan identifikasi sumber hara, selain sisa biomassa di masing-masing daerah, seperti bahan mineral dan tambang. Potensi ini menjadi *database* daerah untuk perencanaan dan pengembangan pemanfaatan sumber *in situ*. Misalkan di daerah tersebut ada gua-gua tempat hidup kelelawar dan burung-burung yang menghasilkan kotoran berupa guano, sumber garam, sumber sulfur, dan lainnya.
4. Keempat, melakukan inventarisasi sumber sisa produksi industri baik berupa limbah organik (industri makanan dan minuman, produk antara) berupa blotong, bagas, tandan kosong, kulit kopi dan kakao, juga *flay ash* dan *bottom ash* (FABA) dari PLTU. Untuk kedua produk terakhir, Balai Penelitian Tanah Kementerian Pertanian (2022) menyatakan, aplikasi FABA dapat meningkatkan efisiensi pemupukan serta memperbaiki lingkungan perakaran tanaman. Sebagaimana diketahui FABA pada tahun 2021 telah didelisting dalam Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan. Material FABA yang merupakan limbah hasil sisa pembakaran di PLTU menjadi limbah

non-B3. Hal tersebut karena pembakaran batubara di kegiatan PLTU dilakukan pada temperatur tinggi sehingga kandungan *unburnt carbon* di dalam FABA menjadi minimum dan lebih stabil saat disimpan.

5. Kelima, pemanfaatan gulma sebagai sumber hara. Selama ini gulma atau tanaman yang tumbuh di lahan selain tanaman utama dapat berfungsi sebagai penyedia hara setelah terdekomposisi. Tumbuhan azolla, kiambang, dan eceng gondok yang biasa tumbuh di lahan sawah jangan dibuang, tetapi ditanam ke dalam tanah. Demikian pula tanaman liar di sekitar lahan, seperti titonia (*Tithonia diversifolia*), kirinyu (*Chromolaena odorata*), gamal (*Gliricidia sepium*), dan orok-orok (*Crotalaria juncea*) dapat juga dimasukkan ke dalam lahan.
6. Keenam, melakukan bera atau mengistirahatkan lahan selama 1 musim tanam untuk ditanami tumbuhan *cover crop*, seperti orok-orok (*Crotalaria juncea*). Penanaman *cover crop* itu dalam jangka waktu 4 bulan sudah dapat menutup lahan sehingga ketika tanah diolah (dibajak) *cover crop* dapat ditanam sebagai penyumbang unsur N, C-organik tanah, dan unsur hara lainnya.
7. Ketujuh, membangun “pabrik pupuk hijau gratis” di lahan dengan menyediakan lorong untuk tanaman penghasil biomassa, seperti *Flemingia congesta*, *Leucena glauca*, *Gliricidia sepium*, *Setaria splendida*, dan *Panicum maximum*. Tanaman berkayu tersebut ditanam di lorong lalu dipangkas setiap 2—3 bulan untuk disebar ke lahan. Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk mencatat bahwa tanaman tersebut dapat menghasilkan 30—70 ton biomassa segar per ha per tahun. Data tersebut dapat dilihat pada tabel 36.

Tabel 36 Pabrik Pupuk Hijau Berupa Produksi Pangkasan Bahan Hijauan Tanaman (*Alley cropping*)

No.	Perlakuan	Produksi Pangkasan Tanaman Alley Cropping (T Basah/Ha/Tahun)	
		2018	2019
1.	<i>Flemingia congesta</i>	30,0	56,3
2.	<i>Leucena glauca</i> L.	56,7	34,7
3.	<i>Gliresidia sepium</i>	65,0	37,3
4.	<i>Setaria splendida</i>	67,7	52,3
5.	<i>Panikum maximum</i>	70,0	71,7

Sumber: Kebun Percobaan Taman Bogo, BPSI Tanah dan Pupuk, 2023.

8. Kedelapan, melakukan penerapan pengelolaan hara terpadu melalui peningkatan efisiensi pupuk dan performa tanaman yang diawali dengan perbaikan tanah melalui menambahkan pembenah tanah organik yang tepat, serta memberi pupuk anorganik dan organik, serta pupuk hayati yang berkualitas dengan jumlah dan cara yang tepat. Budidaya dengan merotasi tanaman pangan utama dan hortikultura dengan tanaman kacang-kacangan juga mampu memperkaya tanah melalui mekanisme menambat nitrogen bebas yang sekaligus meningkatkan C-organik tanah. Proses penguraian akan berjalan baik bila ekosistem tanah tidak terganggu oleh herbisida dan pestisida yang digunakan dengan prinsip tepat sasaran, jumlah, jenis, dan waktu.
9. Kesembilan, meningkatkan kemampuan SDM pertanian baik penyuluh dan petani melalui pelatihan, percontohan, pendampingan, dan pengawalan. Seorang penyuluh dan petani yang menguasai informasi pemanfaatan sumber bahan baku pengganti dan substitusi sebagian hara tanaman akan membantu menyelesaikan sebagian permasalahan kelangkaan dan harga pupuk anorganik yang tinggi.

Langkah-langkah strategis tersebut, tidak hanya berfungsi menyumbang hara, tetapi juga meningkatkan efisiensi dan menyehatkan lingkungan pertanian dengan tetap berproduksi tinggi, berkualitas, dan berkelanjutan.

\*\*\*



# Daftar Pustaka

- Afandi, R.N.W. (2005). Ilmu Kesuburan Tanah. Penerbit Kansius. Yogyakarta.
- Affandi, S., (2009). A Facile Method for Production of High-Purity Silica Xerogels from Bagasse Ash. *Advanced Powder Technology* 20, 468–472.
- Aisyah, N. (Ed.). (2016). Memproduksi Kompos dan Mikro Organisme Lokal (MOL). Bibit Publisher.
- Agung, B. –(2019). Pengaruh Temperatur dan Ukuran Butir Terhadap Kelarutan Kalium pada Batuan Leusitik Gunung Muria, Jawa Tengah. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 15(2), pp.119–131.
- Agus, F. dan Widiyanto. (2004). Petunjuk Praktis Konservasi Tanah Pertanian Lahan Kering. World Agroforestry Centre. ICRAF. Southeast Asia.
- Aji, Seno. Pengaruh Pupuk Cair Kalium Sulfat dari Abu Janjang Kelapa Sawit pada Pertumbuhan *Mucuna bracteata* DC. *Jurnal Prima Agri Sustainability (PASUS)* Volume 1 (2), Agustus 2020.
- Akbari, W. A., Fitriyaningsih, Y., dan Jati, D.R.(2015). Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang dan Tanaman *Mucuna bracteata* sebagai Pupuk Kompos. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah* Vol 3, No 1 (2015).

- Almeida, R. F., Queiroz, I. D. S., Mikhael, J. E. R., Oliveira, R. C., & Borges, E. N. Enriched Animal Manure as a Source of Phosphorus in Sustainable Agriculture. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8, 203–210. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-00291-x>.
- Andini, M. T., Darwati, dan Dewati, R. (2020). Kinetika Reaksi Pembentukan Kalium Sulfat dari Ekstrak Abu Janjang Kelapa Sawit dan Asam Sulfat. *Journal of Chemical and Process Engineering* Vol. 1 No. 02 (2020): Juli 2020.
- Anonim. (1982). Balai Penelitian dan Pengembangan Industri Jawa Timur. <http://manfaatdankandungan.com>.
- Asea, P. E. A., Kucey, R. M. N., & Stewart, J. W. B. (1988). Inorganic phosphate solubilization by two *Penicillium* species in solution culture and soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 20(4), 459–464.
- Autumnal Equinox. Mengenal Gypsum Sebagai Barang Tambang. (2016). <https://doubleuniverse.wordpress.com/2016/09/21/mengenal-gypsum-sebagai-barang-tambang/>.
- Badan Pusat Statistik. (2019). Statistik Kelapa Sawit Indonesia.
- Badan Pusat Statistik. (2016). Produksi Telur di Indonesia pada Tahun 2015. -----.. (2016). *Produksi Telur di Indonesia pada Tahun 2015*. Jakarta. Badan Pusat Statistik Nasional.
- Bahri, S., (2020). Ekstraksi Kalium dari Limbah Kulit Biji Kopi (*Coffea sp*) Menggunakan Metode Reflux. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal* 9:1 (Mei 2020) 24–31.
- Balitnak. (2005). Riset Penelitian Ternak.
- Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. (2010). Peranan Unsur Hara N,P,K dalam Proses Metabolisme Tanaman Padi. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.

- Beauchamp, E. G., & Hume, D. J. (1997). Agricultural Soil Manipulation: the Use of Bacteria, Manuring, and Plowing. *Modern soil microbiology*, 643–664.
- Bhat, T.A., (2015). Nitrogen Fixing Biofertilizers; Mechanism and Growth Promotion: A Review. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, June 2015. Vol. 9(2), p. 1675–1690.
- Bramasti I.P. (2017). Meskipun Baunya yang Sangat Menyengat, Ini 3 Manfaat Belerang untuk Obat Penyakit Kulit - TribunStyle.com. <https://style.tribunnews.com/2017/06/15/meskipun-baunya-yang-sangat-menyengat-ini-3-manfaat-belerang-untuk-obat-penyakit-kulit>
- Brochado, M. G. D. S., & K. F. Herbicides versus Nitrogen Cycle: Assessing the Trade-Offs for Soil Integrity and Crop Yield—An In-Depth Systematic Review. *Nitrogen 4*(3): 296–310.
- Brunings, A. M., Y., (2009). Differential Gene Expression of Rice in Response to Silicon and Rice Blast Fungus *Magnaporthe Oryzae*. *Annals of Applied Biology*, 155(2), 161–170.
- Bulog. (2022). Ketahanan Pangan. <https://www.bulog.co.id/beraspangan/ketahanan-pangan/>
- Burn. L.R., (2013). Chicken Eggshell as Suitable Calcium Source at Home. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 64(6), 740–743.
- Butcher, G.D., M. Richard. (2012). Concepts of Eggshell Quality. 1–2.
- Cardelli, R., (2008). Compost and cattle manure as sources of inorganic sulphur to soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 54(2), 139–147. <https://doi.org/10.1080/03650340701793595>.
- Charlie White, J. S. H. W. Z. S. T. R. and D. B. (2021). Sulfur Fertility Management for Grain and Forage Crops. <https://extension.psu.edu/sulfur-fertility-management-for-grain-and-forage-crops>.

- Chhabra, R. P., & Richardson, J. F. (2011). *Non-Newtonian flow and Applied Rheology: Engineering Applications*. Butterworth-Heinemann.
- Dadrasnia, A., (2021). Sustainable Nutrient Recovery from Animal Manure: A Review of Current Best Practice Technology and the Potential for Freeze Concentration. *In Journal of Cleaner Production* (Vol. 315). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128106>
- Damanik M.M.B., B.E. Hasibuan., Fauzi., Sarifuddin., Hamidah, H. (2010). *Kesuburan Tanah dan Pemupukan*. USU Press.
- Danoko, D dan T. Sembiring. (2005). Sinergi antara Perkebunan Kelapa Sawit dan Pertanian Tanaman Pangan Melalui Aplikasi Kompos TKS untuk Tanaman Padi. Pertemuan Teknis Kelapa Sawit 2005. Peningkatan Produktivitas Kelapa Sawit melalui Pemupukan dan Pemanfaatan Limbah TKS. Medan 19–20 April.
- Darhamsyah A.(1994). *Mikroba Patogen pada Makanan dan Sumber Pencemarnya*. Medan: Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sumatera Utara.
- Datnoff, L.E., G. (2001). *Silicon in agriculture*. Elsevier, New York.
- Dinas Komunikasi dan Informasi Kabupaten Blora. (2017). *Phosphat*. Phosphat - Website Pemerintah Kab Blora ([blorakab.go.id](http://blorakab.go.id))
- Dinas Komunikasi dan Informasi Kabupaten Klaten (2012). *Sampah Kulit Pisang Direbus Jadi Pupuk Mujarab Bagi Tanaman Kesayangan*-Website Pemerintah Kab Klaten ([klatenkab.go.id](http://klatenkab.go.id))
- Ding, T.P., J.X. Zhou., D.F. Wan., Z.Y. Chen., C.Y. Wang, and F. Zhang. (2008). Silicon Isotope Fractionation in Bamboo and its Significance to the Biogeochemical Cycle of Silicon. *Geochim Cosmochim Acta* 72 (5): 1381-1395. In: Collin, B., Doesch, E., Keller, C, Panfili, F, and Meunier, J.D. (2012). Distribution and Variability of Silicon, Copper and Zinc in Different Bamboo Species. *Plant soil*. 351: 377–387.

- Direktorat Inventarisasi Mineral. (2004). DESDM. Bandung.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. (2019). *Statistik Perkebunan Indonesia 2018-2020; Kelapa Sawit*. Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian RI.
- Dobermann, A. and Fairhurst, T. (2000). Rice: Nutrient Disorders & Nutrient Management. Handbook Series, Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC) and International Rice Research Institute, Philippine, 191.
- Dobermann, A., & Fairhurst, T. H. (2002). Rice Straw Management. In Better Crops International (Vol. 16).
- Eddy, H. R., & Muksin, I. (2019). Karakteristik Batuan Pembawa Kalium di Kecamatan Cluwak, Kabupaten Pati, Provinsi Jawa Tengah. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 14(1), 1–20.
- Effi I M. (2009). Pupuk Organik, Cair dan Padat, Pembuatan, Aplikasi, Penebar Swadaya. Jakarta.
- Ekawandani, N., dan Kusuma, A. A. (2018). Pengomposan Sampah Organik (Kubis dan Kulit Pisang) dengan Menggunakan EM4. *Jurnal TEDC* Vol. 12 No. 1, Januari 2018.
- Emi, Eka, dan Harmoko. (2017). Pengaruh Pupuk Serbuk Cangkang Telur Ayam Ras Terhadap Pertumbuhan Tanaman Sawi Caisim (*Brassica juncea* L.). STKI-PGRI Lubuk Linggau, Lubuk Linggau. h.1.
- Ernawati, E.E., A.R. Noviyati., Y.B. Yuliyati. (2019). Potensi Cangkang Telur sebagai Pupuk pada Tanaman Cabai di Desa Sayang Kabupaten Jatinangor. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. Vol.4 No. 5. Hal 123–125.
- Ester Ruly Nomleni, Krisman Umbu Henggu, Firat Meiyasa. Ekstraksi Garam Dari Rumput Laut *Caulerpa Lentilifera* Dengan Kombinasi Perlakuan Agitasi dan Non Agitasi pada Suhu yang Berbeda. *Journal of Marine Research* Vol 11, No. 4 November 2022, pp. 609–619.

- Fadly I. (2019). Belerang Ijen Travelink Magazine. <http://travelinkmagz.com/2019/12/belerang-ijen/>
- FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, & World Health Organization. (2004). *Evaluation of certain food additives and contaminants: sixty-first report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives* (Vol. 61). World Health Organization.
- Ferguson, B. J., A. (2012). Molecular analysis of legume nodule development and autoregulation. *Journal of Integrative Plant Biology*, 52 (1): 61–76
- FFTC [Food and Fertilizer Technology Center]. (1995). Soil Conservation Handbook. English Edition. Prepared by the Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region. Taipei, Taiwan. ROC.
- Fifia Zulti. (2008). “Spektroskopi Inframerah, Serapan Atomik, Serapan Sinar Tampak dan Ultraviolet Hidroksiapatit dari Cangkang telur” (Skripsi Institut Pertanian Bogor)
- Fleming, G. A., Gardiner, M. J., & Ryan, P. (1963). Influence of parent material on the physical and chemical composition of three Wexford soils. *Irish Journal of Agricultural Research*, 37–48.
- Imaizumi, T. (1958). Recherches sur l’Expression des Facteurs Létaux Héréditaires chez l’Embryon de la Drosophile V. Sur l’embryogénèse et le mode des létalités au cours du développement embryonnaire. *Cytologia*, 23(3), 270–285.
- International Plant Nutrition Institute (IPNI). 13028. Nutrient Source Specifics. USA
- Gardner, F.P., R.B. Pearce and R.L. Mitchell. (1991). *Fisiologi Tanaman Budi Daya*. Diterjemahkan oleh Susilo, H. Terjemahan dari: *Physiology Of Crop Plants*. Universitas Indonesia Press.

- Garinas, W. (2019). Karakteristik Batu Kapur dalam Negeri untuk Bahan Baku Pendukung Pengolahan Bijih Besi. Prosiding TPT XXVIII Perhapi.
- Gary, M., R. McAfee Jr., and C. L. Walf (eds). (1974). *Glossary of Geology*. Amer. Geolog. Ins. Washington D.C.
- Gascho, G.J. (2001). Silicon Sources for Agriculture. In: Datnoff, L.E., Snyder, G.H., and Korndorfer, G.H. *Silicon in agriculture*. Elsevier science B.V. First edition. p. 198.
- Geologinesia. n.d.-a. (2023). "Mineral Kalkopirit (Chalcopyrite) : Definisi, Sifat dan Kegunaan." Retrieved May 21, (<https://www.geologinesia.com/2020/07/mineral-kalkopirit.html>).
- Geologinesia. n.d.-d. (2023). "Sinabar - Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia Bebas." Retrieved May 21, (<https://id.wikipedia.org/wiki/Sinabar>).
- Geology. n.d.-a. (2023). "Galena Mineral | Uses and Properties." Retrieved May 21, 2023 (<https://geology.com/minerals/galena.shtml>).
- Geologi, P. S. D. (2008). Neraca Sumber Daya Mineral Logam dan Non-Logam.
- Geologyscience. n.d.-b. (2023). "Stibnite | Physical - Optical Properties, Occurrence, Uses." Retrieved May 21, 2023 (<https://geologyscience.com/minerals/stibnite/>).
- Ghosh R. and Bhattacharjee S. (2013). A Review Study on Precipitated Silica and Activated Carbon from Rice Husk. *J Chem Eng Process Technol*. 4:4. <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7048.1000156>.
- Guntzer, F., C. Keller, and J.D. Meunier. (2012). Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agron. Sustain. Dev*. 32: 201–213. <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-011-0039-8>.

- Hanafiah, K.A. (2005). Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Divisi Buku Perguruan Tinggi. Jakarta.PT. Raja Grafindo Persada.
- Handajaningsih, M. dan T. Wibisono. (2009). Pertumbuhan dan Perkembangan Krisan dengan Pemberian Abu Janjang Kelapa Sawit Sebagai Sumber Kalium. *Jurnal Akta Agrosia*. 12(1):8–14.
- Hartatik W dan Widowati L R. (2006). Pupuk Kompos. *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*, 59–82.
- Hasibuan S,. (2021). Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur sebagai Pupuk Organik Cair di Kecamatan Rumbai Bukit. *PRIMA: Journal of Community Empowering and Services*. 5(2), 154–160.
- Haynes, R.J., O.N. Belyaeva, and G. Kingston. (2013). Evaluation of Industrial Wastes as sources of fertilizer silicon using chemical extractions and plant uptake. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 176, 238–248. <http://dx.doi.org/10.1002/jpln.201200372>
- <https://mediatani.co/mengenal-pupuk-guano-pupuk-organik-terbaik-dari-kotoran-kelelawar/>.
- <https://www.mongabay.co.id/2020/10/18/konsep-zero-waste-dalam-pemanfaatan-limbah-ternak-di-pinrang/>
- <https://radarmadura.jawapos.com/sumenep/74917016/pemkab-sumenep-tegaskan-belum-ada-tambang-fosfat-berizin>
- <https://www.ekon.go.id/publikasi/detail/2966/pengembangan-bambu-berkelanjutan>
- <https://www.sawitsetara.net/yuk-kenali-manfaat-janjang-kosong/>
- <http://cybex.pertanian.go.id/mobile/artikel/85737/Cara-Membuat-Pupuk-Organik-Dari-Cangkang-Telur/>
- <https://www.kompas.com/homey/read/2022/01/28/082800376/mudah-cara-membuat-pupuk-organik-dari-kulit-pisang?page=all>

- <https://news.unair.ac.id/2021/11/23/inovasi-pembuatan-pupuk-dari-limbah-kulit-kopi-di-wilayah-bondowoso/?lang=id>
- <https://www.midifeed.com/>
- <https://www.siswapedia.com/proses-terjadinya-daur-fosfor-beserta-gambarnya/>
- <http://cybex.pertanian.go.id/mobile/artikel/92059/MEMBUAT-KOMPOS-DARI-LIMBAH-TANDAN-KOSONG-KELAPA-SAWIT/>
- <https://perikanan.probolinggakab.go.id/download/pemanfaatan-limbah-pengolahan-hasil-perikanan/>
- <https://www.kampustani.com/cara-membuat-pupuk-organik-cair-dari-limbah-ikan/>
- Jamilah, Usman, M., dan Haryoko, W. (2009). Pengaruh Takaran Pupuk Guano terhadap Pertumbuhan dan Produksi Jagung (*Zea mays* L.). *Jurnal IPTEKS Terapan*, Vol. 3 No. 1 Agustus 2009.
- Joner Jr., J. B. (2012). *Plant Nutrition and Soil Fertility Manual*.
- JPM TV. (2022). Limbah Ikan Menjadi Pakan Ternak dan Pupuk Tanaman. <https://www.youtube.com/watch?v=r3BktXCmQiU>
- Kotabe, H. (1997). *Batuan Fosfat dan Sumberdaya Fosfat*. Pusat Penelitian Sumberdaya Fosfat Jepang, Kanagawa. (Dalam Bahasa Jepang).
- Karcz, J. F. (Ed.). (2022). *Soviet and East European Agriculture*. Amerika. Univ of California Press.
- Khairani. (2007). Produksi Bioetanol Berbahan Baku Biomassa. Online di <http://isro.wordpress.com>. Diakses 13 Januari 2014.
- Kompas. (2023). Manfaat Pemberian Kapur Dolomit Setelah Hujan. <https://agri.kompas.com/read/2023/03/02/135539784/manfaat-pemberian-kapur-dolomit-setelah-hujan>.

- Kristanto, B. A, Kurniantono R, Widjajanto D. W. (2009). Karakteristik Fotosintesis Rumput Gajah (*Pennisetum purpureum*) dengan Aplikasi Pupuk Organik Guano (Photosynthesis Characteristic of Elephant Grass (*Pennisetum purpureum*) with the Application of Guano Organic fertilizer). In: *Prosiding Seminar Nasional Kebangkitan Peternakan–Semarang, 20 Mei 2009*. Fakultas Peternakan UNDIP Semarang, p. 310-317.
- Kyuma, K. (2004). *Paddy soil science*. Jepang. Kyoto University Press.
- Laraebi, G. (2017). Karakteristik Kandungan Mineral dan Unsur Penyusun Batu Gamping pada PT. Semen Tonasa. (Skripsi, UIN Alauddin).
- Lestari P, Susilowati D N, Riyanti E I. (2007). Pengaruh hormon asam indolasetat yang dihasilkan *Azospirillum sp.* terhadap perkembangan akar padi. *J. Agrobiogen* 3:66–72
- Lingga, P. (1991). Jenis Kandungan Hara pada Beberapa Kotoran Ternak. Pusat Penelitian Pertanian dan Pedesaan Swadaya (P4S). ANTANAN. Bogor.
- Ma, J.F. and E. Takahashi. (1990). Effect of Silicon on the Growth and Phosphorus Uptake of Rice. *Plant and Soil* 126, 115–119.
- Manullang GS, Abdul R, dan Puji A. (2014). Pengaruh Jenis dan Konsentrasi Pupuk Organik Cair Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Sawi (*Brassica juncea* L.) Varietas Tosakan. *Jurnal Agrifor*. XIII (1): 33–40.
- Manullang, G. S., A. Rahmi., P. Astuti. (2014). Pengaruh Jenis dan Konsentrasi Pupuk Organik Cair Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Sawi (*Brassica juncea* L.) Varietas Tosakan. *Agrifor: Jurnal Ilmu Pertanian dan Kehutanan*, Vol. 13, No. 1 (2014).
- Massey, F. P., & Hartley, S. E. (2009). Physical defences wear you down: progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores. *Journal of Animal Ecology*, 78(1), 281–291.

- Marsono dan Sigit P. (2001). *Pupuk Akar*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Matichenkov, V.V. and E.A. Bocharnikova. (2001). The relationship between silicon and soil physical and chemical properties. In: Datnoff, L.E., Snyder, G.H., and Korndorfer, G.H. (2001). *Silicon in agriculture. Studies in plant science*, v. 8. Elsevier. Amsterdam. p. 209–219.
- Maulinda, L., dan Jalaluddin. (2012). Pemanfaatan Abu Jerami Padi sebagai Pembuatan Pupuk Kalium. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal* 1:1 (November 2012) 12–22.
- Megawati, Alimuddin, L.A. Kadir. (2019). Komposisi Batu Kapur Alam dari Industri Kapur Kabupaten Kolaka Sulawesi Tenggara. Saintifik. *Jurnal Matematika, Sains, dan Pembelajarannya*. Vol. 5. No.2 PP 104–108.
- Melsasail, L., Ch. Warouw, V. R., dan Kamagi, Y. E. B. (2018). Analisis Kandungan Unsur Hara Pada Kotoran Sapi di Daerah Dataran Tinggi dan Dataran Rendah. *Jurnal Cocos* Vol. 10 No. 8 (2018). <https://doi.org/10.35791/cocos.v2i6.26095>
- Mineev, V.G. Sychev, G.P. Gamzikov *et al.* – M. (2017). *Agrochemistry*. Publishing house of the All-Russian Scientific and Research Institute named after D.N. Pryanishnikov, – 854 c.
- Munarso Y.P. (2011). Keragaan Hasil Beberapa Varietas Padi Hibrida pada Beberapa Teknik Pengairan. *J. Agron. Indonesia* 39:147–152.
- Musaad, I. (2018). Potensi dan Teknologi Pemanfaatan Fosfat Alam Sebagai Pupuk Fosfat-Plus. *Brainy Bee*. Malang.
- Nasikah. (2007). *Pengaruh Inokulasi Rhizobium dan Waktu Pemberian Pupuk N (Urea) terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kedelai di Lahan Sawah 39 setelah Kedelai (Glycine max (L) Merril.)*. Skripsi pada Jurusan Biologi. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Malang. Malang.

- Nasution, F. J., Mawarni, L., dan Meiriani. (2014). Aplikasi Pupuk Organik Padat dan Cair dari Kulit Pisang Kepok untuk Pertumbuhan dan Produksi Sawi (*Brassica juncea* L.). *Jurnal Online Agroekoteknologi*. 2 (3): 1029–1037.
- Norasyifah., Ilyas, M., Herlinawati, T., Kani, dan Mahdiannoor. 2019. Pertumbuhan dan Hasil Pisang Muli (*Mussa acuminata* L.) dengan Pemberian Pupuk Organik Guano. *Ziraa'ah*, Volume 44 Nomor 2, Juni 2019, Halaman 192–204.
- Novitasari, D., Caroline, J. (2021). Kajian Efektivitas Pupuk dari Berbagai Kotoran Sapi, Kambing dan Ayam. Prosiding Seminar Teknologi Perencanaan, Perancangan, Lingkungan dan InfrastrukturII. FTSP ITATS - Surabaya, 20 Februari 2021.
- Noviyanti, Jasruddin, E.H. Sujiono. (2015). Karakteristik Kalsium Karbonat ( $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ ) dari Batu Kapur Kelurahan Tellu Limpoe Kec. Suppa. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*. Jilid 11, No 2, Agustus 2015, hal 169–172.
- Nurjaya, I. K. K. (2009). Peranan KPPU dalam Menegakkan Undang-undang Nomor 5 Tahun 1999 Tentang Larangan Praktek Monopoli dan Persaingan USAha Tidak Sehat. *Jurnal Dinamika Hukum*, 9(1), 83–90.
- Okorie, D. O., Eleazu, C. O., dan Nwosu, P. (2015). Nutrient and Heavy Metal Composition of Plantain (*Musa paradisiaca*) and Banana (*Musa paradisiaca*) Peels. *Journal of Nutrition & Food Sciences*. 5 (370): 1–3.\
- Pahan, I. (2007). Panduan Lengkap Kelapa Sawit Managemen Agribisnis dari Hulu Hingga Hilir. Penebar Swadaya.
- Parnata A.S. (2005). Pupuk Organik Cair, Aplikasi dan Manfaatnya. PT. agromedia Pustaka.

- Patel, M., Kumar, R., Kishor, K., Mlsna, T., Pittman Jr, C. U., & Mohan, D. (2019). Pharmaceuticals of emerging concern in aquatic systems: chemistry, occurrence, effects, and removal methods. *Chemical reviews*, 119(6), 3510–3673.
- Poerwowidodo, (1995). *Telaah Kesuburan Tanah*. Bandung. Angkasa.
- Prasad, R., & Shivay, Y. S. (2018). Sulphur in Soil, Plant and Human Nutrition. In Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences (Vol. 88, Issue 2, pp. 429–434). Springer India. <https://doi.org/10.1007/s40011-016-0769-0>.
- Rahmawati N. (2005). *Pemanfaatan Biofertilizer pada Pertanian Organik*. Medan. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera utara.
- Raleigh, G.J. 1953. *Some Effects of Various Silicates, Lime and Gypsum on Growth of Tomato Plants in Western and Eastern Soils of Low Levels of Phosphorus Nutrition*. Conell Agric. Exp. Sta. Memo. 326, p. 78. In: Roy, A.C. (1969). *Phosphorus-silicon interaction in soils and plants*. PhD dissertation. University of Hawaii.
- Ratana-Arporn P, Chirapart A. (2006). Nutritional Evaluation of Tropical Green Seaweeds *Caulerpa lentillifera* and *Ulva reticulata*. *Kas J (Nat Sci)* 40(Suppl):75–83.
- Rao, S., & Sinha, M. K. (1963). Phosphate-dissolving Microorganism in the Rhizosphere and Soil. *India J. Agric. S*, 33(4), 272–278.
- Reith, J. W. S., & Mitchell, R. L. (1964). The effect of soil treatment on trace element uptake by plants. *Plant analysis and fertilizer problems IV*, 241, 254.
- Ridwan. (2003). Pengaruh Bahan Organik pada Tanaman. Penebar Swadaya.

- Rubiah, H.(2019). Suka Diabaikan Padahal Daun Pisang Ini Memberikan 8 Manfaat Luar Biasa Bagi Kesehatan dan Kecantikan. Artikel ini telah tayang di TribunJabar.id dengan judul Suka Diabaikan Padahal Daun Pisang Ini Memberikan 8 Manfaat Luar Biasa Bagi Kesehatan dan Kecantikan. <https://jabar.tribunnews.com/2019/11/08/suka-diabaikan-padaahal-daun-pisang-ini-memberikan-8-manfaat-luar-biasa-bagi-kesehatan-dan-kecantikan>. <https://jabar.tribunnews.com/>
- Sanchez, P. A. (1977). Properties and Management of Soils in the Tropics. *Soil science*, 124(3), 187.
- Sakiah, Dibisono, M. Y., Susanti. (2019). Uji Kadar Hara Nitrogen, Fosfor, dan Kalium pada Kompos Pelepah Kelapa Sawit dengan Pemberian *Trichoderma harzianum* dan Kotoran Sapi. *Jurnal Agro Industri Perkebunan Volume 7* No. 2, Oktober 2019: 87–95. DOI: <http://dx.doi.org/10.25181/jaip.v7i2.1118>
- Saleh F, Parkerton T F, Lewis R V, Huang J H and Dickson K L.(1989). Kinetics of Chromium Transformations in the Environment. *Sci. Total Environ.* 86, 25–41
- Salman, Y., Herbiati, S., & Yasmin, F. 2019. Analisis Penggunaan Garam Low Sodium Salt terhadap Kadar Natrium dan Daya Terima Mandai Goreng. *Jurnal Kedokteran dan Kesehatan*, 15(1), 63–69.
- Samal KC, Saha JP, Behera B.(2020).Azolla Biofertilizer – The Nature’sMiracle Gift forSustainable Rice Production.*Biotica Research Today* 2(9): 971–973.
- Samekto. R. 2006. *Pupuk Kandang*. PT. Yogyakarta.Citra Aji Parama.
- Sari. R dan R. Prayudyaningsih. (2015). *Rhizobium*: Pemanfaatannya Sebagai Bakteri Penambat Nitrogen. *Info Teknis EBONI*. Vol. 12 No.1:51–64.

- Saviozzi, A., Cardelli, R., Cipolli, S., Levi-Minzi, R., & Riffaldi, R. (2006). Sulphur Mineralization Kinetics of Cattle Manure and Green Waste Compost in Soils. *Waste Management and Research*, 24(6), 545–551. <https://doi.org/10.1177/0734242X06068517>.
- Schulte, E. E. (1981). *Soil and Applied Sulfur*. Publication-Cooperative Extension Programs, University of Wisconsin (USA).
- Schulte, E.E. dan K.A. Kelling. (1998): *Organic Soil Conditioner*. Extension A2305. University of Wisconsin. Wisconsin, USA.
- Sofyan ET. (2014). Potensi Belerang dari Bokashi Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes (martt.)solm*) dalam Meningkatkan Mutu Serta Hasil Padi pada Inceptisols. *Jurnal Agrifor Volume XIII Nomor 2*, Oktober 2014 ISSN : 1412–6885.
- Susanto, A., Sudharto, P. S., & Purba, R. Y. (2005). Enhancing Biological Control of Basal Stem Rot Disease (*Ganoderma boninense*) in oil palm plantations. *Mycopathologia*, 159(1), 153–157.
- Syofiani, R., & Oktabrina, G. (2017). Aplikasi Pupuk Guano dalam Meningkatkan Unsur Hara N, P, K, dan Pertumbuhan Tanaman Kedelai pada Media Tanam Tailing Emas. *Jalan Agus Salim*, (17).
- Suarsana M. (2011). *Habitat dan Niche Paku Air Tawar (Azolla pinnata Linn.) Suatu Kajian Komponen Penyusun Ekosistem*. 11(2). Medan. Fakultas Pertanian UNIPAS Singaraja.
- Sukarjo, Hidayah, A., dan Zulaehah, I. (2018). Keseimbangan dan Ketersediaan Kalium dalam Tanah dengan Berbagai Input Pupuk pada Sistem Sawah Tadah Hujan. Prosiding Seminar Nasional Fakultas Pertanian UNS .
- Sulistiyono E., B. Adjiantoro. (2010). Proses Pemanasan Temperatur 700°C Mineral Magnesit dari Padamarang. *Majalah Metalurgi*. Volume 25. NO.1. ISSN 0126-3188, Hal 13–18.

- Sumarni, N. (2009). Budi Daya Sayuran: Cabai, Terung, Buncis, dan Kacang Panjang. Makalah Linkages ACIAR-SADI. Balai Penelitian Tanaman Sayuran, Lembang. 18 hlm.
- Sumarti, S. (2010). Kawah Ijen Penghasil Belerang Terbesar.
- Sundstøl F, Norges Landbrukshoegskole A dan Owe E. (1993). Urine: a Wasted, Renewable Natural Resource. The Potential of Urine for Supplementing and Upgrading Low Quality Roughages for Ruminants and for Use as Fertilizer. *Norwegia. Noragric.*
- Suwarno dan Idris, K. (2017). Potensi dan Kemungkinan Penggunaan Guano Secara Langsung sebagai Pupuk di Indonesia. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*, Vol. 9 No. 1, April 2007: 37–43.
- Syam, W. M. (2016). Optimalisasi Kalsium Karbonat dari Cangkang Telur untuk Produksi Pasta Komposit. UIN Alauddin
- Tan, K.H. (1993). *Environmental Soil Science*. New York: Marcel Dekker. Inc.
- Tan, K.H. (1994). *Environmental Soil Science*. Marcel Dekker. Inc. New York. 304 pp.
- Tarmiji, M. 2020. *Studi Literatur Pengomposan Limbah Kulit Kopi Sebagai Potensi Pupuk Tanaman Kopi*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Tehubijuluw, H., I.W. Sutapa, P. Patty. (2014). Analisis Kandungan Unsur Hara Ca, Mg, P, dan S pada Kompos Limbah Ikan. *Jurnal Teknik Industri*. Vol 08, No.1. hal 41–52.
- Teir, S., Eloneva, S., Fogelholm, C.J., Zevenhoven, R. (2005). Dissolution of Steelmaking Slags in Acetic Acid for Precipitation Calcium Carbonate Production. *Energy*; 32. 528–539. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2006.06.023>.
- Triatmojo, S. et al. (2013). Bahan Ajar Teknologi Penanganan Limbah Peternakan Dasar, Jurusan Teknologi Hasil Ternak, Fakultas Peternakan, Universitas Gadjah Mada. Tidak Diterbitkan.

- Trisno Utomo. (2016). *Pemanfaatan Limbah Pengolahan Hasil Perikanan Halaman 1 - Kompasiana.com*. <https://www.kompasiana.com/lhapiye/56a5bda580afbd33115b8a95/pemanfaatan-limbah-pengolahan-hasil-perikanan>
- Tubana, B.S. and J.R. Heckman. (2015). *Silicon in Soils and Plants*. In F.A. Rodrigue, L.E. Datnoff (Eds.), *Silicon and Plant diseases*. Switzerland: Springer International Publishing. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-22930-0\\_2](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-22930-0_2).
- Wahyudi, T. dan Faizal, E. (2016). Mineralogic Characters of Cijulang Phosphate Rocks Related to Bioleaching Process. *Indonesian Mining Journal* 19(2): 65–77.
- Wedepohl, K.H. (1995). The Composition of the Continental Crust. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59: 1217–1232.
- Wardini. (2008). Analisis Kandungan Nutrisi pada Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) sebagai Bahan Pakan Alternatif bagi Ternak. Bandung:ITB.
- Widiyawati I, Junaedi A, dan Widyastuti R. (2014). Peran Bakteri Penambat Nitrogen untuk Mengurangi Dosis Pupuk Nitrogen Anorganik pada Padi Sawah. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 42(2) : 96–102.
- Wijaya, V., T.S., (2019). Evaluatiion of Eggshell as Organic Fertilizer on Sweet Basil. *International Journal of Sustainable Agricultural Research*, 6(2), 79-86. <https://doi.org/10.18488/journal.70.2019.62.79.86>.
- Wikipedia. (2022). Dolomit. <https://id.wikipedia.org/wiki/Dolomit>.
- Wiryanta. W dan Bernardinus .T. (2002). *Bertanam Cabai Pada Musim Hujan*. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Van Straaten, P. (2002). *Rocks for Crops: Agrominerals of Sub-Saharan Africa*.

- Yagodin B.A., Zhukov Y.P., Kobzarenko. (2002). V.I. Agrochemistry/Under ed. B.A. Yagodin. – M.: Kolos,. – 584 p.
- Yanuartono, (2019). Potensi Jerami sebagai Pakan Ternak Ruminansia. *Jurnal Ilmu-Ilmu Peternakan* 27 (1): 40–62.
- Yusuf, A.F. Endapan Fosfat Daerah Madura. (2000). Kolokium Hasil Kegiatan lapangan DSM.
- Zainuddin, D dan Murtisari, T. (1995). Penggunaan Limbah Agro-Industri Buah Kopi (Kulit Buah Kopi) Dalam Ransum Ayam Pedaging (Broiler). Pros. 29 Pertemuan Ilmiah Komunikasi dan Penyaluran Hasil Penelitian. Sub-Balai Penelitian Klepu, Puslitbang Peternakan, Bogor. Hal 71–78.

# Biodata Tim Penulis

**Dr. Ladiyani Retno Widowati, MSc.**, saat ini menjabat sebagai Kepala Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk dengan jabatan fungsional sebagai Analis Kebijakan Ahli Madya. Beliau saat ini juga menjabat sebagai Ketua Himpunan Ilmu Tanah Indonesia (HITI) Komda Bogor-Jakarta. Lahir di Banyuwangi pada tanggal 3 Maret 1969 dan memiliki latar belakang pendidikan S1 Ilmu Tanah dari IPB, S2 Soil Science, University of the Philippines Los Banos (UPLB)-Filipina, dan S3 Soil Care and Management, University of Ghent, Belgia. Dalam kurun waktu tahun 2021 hingga 2023, Dr. Ladiyani telah mempublikasikan karya tulis ilmiah pada jurnal internasional, jurnal nasional, prosiding internasional, dan buku sebanyak lebih dari 20 judul artikel dan buku. Buku terbaru hasil karya Ladiyani berjudul *Pupuk Organik : Dibuatnya Mudah, Hasil Tanam Melimpah* yang diterbitkan oleh Kementerian Pertanian. Bidang kajian yang bersangkutan berkaitan dengan rekomendasi pemupukan pada berbagai jenis tanaman pangan, hortikultura, perkebunan, serta terkait pupuk anorganik, organik, dan pembenah tanah.

**Dr. Adha Fatmah Siregar, M.Si., M.Sc**, saat ini menjabat sebagai Sub-Koordinator Pelayanan Teknis dengan jabatan fungsional sebagai Analis Standardisasi Ahli Madya di Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk. Adha Fatmah Siregar lahir di Jakarta pada tanggal 25 Oktober 1981, setelah menyelesaikan pendidikan S1 jurusan Ilmu Tanah

di Universitas Sriwijaya, selanjutnya pada 2004 ia melanjutkan pendidikan S2 di bidang Pengelolaan Lahan, Universitas Sriwijaya. Pada 2012 beliau mengambil S2 di Environmental Science and Technology, Shimane University, Jepang. Ketertarikannya untuk mempelajari lahan kering membawanya melanjutkan pendidikan S3 bidang Global Arid Land Science di Tottori University, Jepang. Publikasi karya ilmiah dan hasil penelitian yang bersangkutan telah diterbitkan dalam Bahasa Indonesia maupun Inggris pada jurnal internasional, jurnal nasional, prosiding nasional serta dalam bentuk buku sebanyak 17 judul baik sebagai penulis utama dan co-author dalam kurun waktu 5 tahun terakhir. Fokus keahlian sebagian besar mengenai pengaruh hara silika dan pemanfaatan beberapa jenis pembenah tanah untuk meningkatkan hasil pertanian.

**Heri Wibowo, ST., M.Sc**, saat ini menjabat sebagai Sub-Koordinator Pelayanan Jasa di Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk dengan jabatan fungsional sebagai Analis Standardisasi Ahli Muda. Heri Wibowo lahir di Gunungkidul pada tanggal 21 Januari 1977 dengan latar belakang Pendidikan S1 di Teknik Kimia dan melanjutkan S2 Ilmu Tanah di Universitas Gadjah Mada. Publikasi karya ilmiah dan hasil penelitian yang bersangkutan telah diterbitkan dalam Bahasa Indonesia maupun Inggris pada jurnal internasional, jurnal nasional, prosiding internasional, dan prosiding nasional sebanyak 13 judul artikel sebagai penulis utama dan co-author dalam kurun waktu 9 tahun terakhir dengan fokus keahlian sebagian besar mengenai pemupukan dan kesuburan tanah.

**Ibrahim Adamy Sipahutar, SP., M.Sc** merupakan salah satu staf di BPSI Tanah dan Pupuk yang saat ini sedang menempuh pendidikan doktor di IPB. Lahir di Hutapuli pada tanggal 05 Maret 1974 dengan latar belakang pendidikan S2 bidang Life and Environmental Science di Jepang. Ibrahim telah menulis dan mempublikasikan puluhan karya tulis ilmiah dalam bentuk prosiding, jurnal nasional, dan jurnal internasional dengan bidang kesuburan tanah, *water management*, dan emisi CO<sub>2</sub> sejak bekerja di BPSI Tanah dan Pupuk tahun 2007 hingga saat ini.

**Dr. Linca Anggria, S.Si., M.Sc.**, saat ini menjadi Manajer Mutu di Laboratorium Kimia di Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk dengan jabatan Analis Standarisasi Ahli Muda setelah sebelumnya menjadi Peneliti di Balai Penelitian Tanah. Lahir di Palembang pada tanggal 5 Juli 1970. Dr. Linca Anggria menyelesaikan Pendidikan di Akademi Kimia Analis, Bogor, melanjutkan S1 Kimia di Universitas Nusa Bangsa, selanjutnya yang bersangkutan melanjutkan S2 Ilmu Tanah di Gent University, Belgia dan S3 Global Arid Land Science di Tottori University, Jepang. Dalam kurun waktu tahun 2001–2022, sebanyak 35 judul artikel karyanya telah diterbitkan di jurnal internasional, jurnal nasional, prosiding internasional, dan prosiding internasional dengan bidang kajian terkait pemupukan dan kesuburan hara makro dan mikro tanaman sebagai penulis utama dan co-author.

**Tia Rostaman, S.Si., M.Si**, saat ini menjabat sebagai Analis Sarana dan Prasarana Pertanian Ahli Pertama di Balai Pengujian Standardisasi Instrumen Tanah dan Pupuk. Lahir di Bandung pada tanggal 12 November 1979. Saat ini yang bersangkutan baru saja menyelesaikan Pendidikan S2 di jurusan Ilmu Pengelolaan Sumber Daya Alam, di Institut Pertanian Bogor dengan latar belakang Pendidikan S1 Analis Kimia di Universitas Pakuan. Lebih dari 20 judul artikel berupa jurnal ilmiah nasional dan prosiding internasional telah dipublikasikan oleh yang bersangkutan sejak 2011 hingga saat ini dengan bidang konsentrasi pada peningkatan kesuburan dan pemupukan padi di lahan sawah sebagai penulis utama dan co-author.

**Septiyana, SP.,M.Si**, merupakan salah satu staf Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk. Saat ini yang bersangkutan menjabat sebagai Analis Sarana dan Prasarana Pertanian Ahli Pertama dan mendapat gelar Sarjana Pertanian di bidang Ilmu Tanah dari Universitas Lampung pada tahun 2007, serta gelar Magister Pertanian pada bidang Ilmu Tanah dari Institut Pertanian Bogor (IPB) pada tahun 2017. Septiyana lahir di Sukaraja pada tanggal 28 September 1982. Beberapa karya tulisnya telah dipublikasikan di jurnal nasional, jurnal internasional, dan prosiding, baik sebagai penulis utama maupun co-author, dengan fokus utama tentang

efektivitas ameliorant dan pemupukan pada padi, jagung dan kedelai sejak tahun 2012. Fokus bidang keahlian di bidang Kimia dan Kesuburan Tanah.

**Kiki Zakiah S.P.,M.P.**, merupakan salah satu staf Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk. Saat ini yang bersangkutan menjabat sebagai Analis Sarana dan Prasarana Pertanian Ahli Pertama dan mendapatkan gelar Sarjana Pertanian di bidang Ilmu Tanah dari Universitas Padjadjaran Bandung pada tahun 2011 serta Gelar Magister Pertanian pada bidang Ilmu Tanah tahun 2014 dari universitas yang sama. Kiki lahir di Garut pada tanggal 6 November 1987. Lebih dari 14 judul artikel berupa jurnal ilmiah nasional dan internasional serta prosiding internasional telah dipublikasikan oleh yang bersangkutan sejak tahun 2015 hingga saat ini dengan bidang konsentrasi pada kesuburan tanah baik sebagai penulis utama maupun co-author. Fokus bidang keahlian Kiki di bidang kimia dan kesuburan tanah.

**Ratri Ariani, S.P.**, merupakan salah satu staf Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk. Saat ini yang bersangkutan menjabat sebagai Analis Sarana dan Prasarana Pertanian Ahli Pertama dan sedang menyelesaikan Pendidikan S2 di almamaternya di jurusan Ilmu Tanah Institut Pertanian Bogor (IPB). Ratri lahir di Bogor pada tanggal 7 Januari 1989. Sebelumnya, Ratri pernah menjabat sebagai Kepala Laboratorium Fisika Tanah, Balai Penelitian Tanah. Sebanyak 11 judul artikel telah dipublikasikan dalam jurnal nasional, prosiding internasional, dan buku dalam rentang waktu 2015–2021 sebagai penulis utama dan co-author. Fokus bidang keahlian Ratri di bidang fisika tanah mencakup konservasi tanah, *water quality* dan *peat soil carbon*.

**Arif Budiyanto, S.Si**, merupakan salah satu staf di Laboratorium Fisika Tanah di Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk. Saat ini yang bersangkutan sedang menyelesaikan pendidikan S2 di Institut Pertanian Bogor. Lahir di Bogor pada tanggal 27 November 1972 dengan latar belakang pendidikan S1 Kimia di Universitas Nusa Bangsa. Publikasi

karya ilmiah dan hasil penelitian yang bersangkutan telah dipublikasikan terkait peningkatan kualitas lahan menggunakan pupuk organik untuk pertanian berkelanjutan.

**Jelly Amalia Santri, S.P., M.Sc**, saat ini bertugas sebagai Kepala Laboratorium Fisika Tanah di Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk. Jelly lahir di Palembang pada tanggal 22 Juli 1987. Setelah menyelesaikan Pendidikan S1 Ilmu Tanah di Universitas Sriwijaya, ia melanjutkan S2 Ilmu Tanah di Universitas Gadjah Mada melalui beasiswa dari Kementerian Keuangan (LPDP) hanya dalam waktu 1,5 tahun. Publikasi karya ilmiah dan hasil penelitian yang bersangkutan telah dipublikasikan pada jurnal nasional dan prosiding internasional dalam kurun waktu antara 2021 – 2022 dengan bidang kajian berfokus pada tanah sulfat masam dan lahan gambut/rawa.

**Dinihari Indah Kusumawati, S.P., M.Biotech**, merupakan salah satu staf di Laboratorium Biologi Tanah di Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk. Lahir di Kebumen pada tanggal 23 Agustus 1987 dengan latar belakang pendidikan S1 di jurusan Ilmu Tanah Universitas Gadjah Mada konsentrasi kesuburan tanah dan melanjutkan S2 di Bioteknologi konsentrasi bioteknologi pertanian di almamater yang sama. Pengalaman mengikuti program Exchange Student di Laboratorium Plant Physiology di Shizuoka University, Jepang tahun 2014 terkait penelitian gen NRT2.1 (gen yang mengkode serapan nitrat) pada bawang merah dan sebagai Research Assistant bidang mikroorganisme di BRIN membawanya mendalami bidang biologi molekuler pada tanaman dan mikroorganisme terutama PGPR, bakteri asam laktat dan taksonomi mikroorganisme. Beberapa karya publikasi telah dihasilkan berupa jurnal nasional, jurnal internasional dan prosiding internasional sebagai penulis utama dan co-author.

**Emalindawati, S.Si., M.Biotech**, merupakan salah satu staf di Balai Pengujian Standar dan Instrumen Tanah dan Pupuk. Emal lahir di Lampung Timur pada tanggal 12 Desember 1992 dan memiliki latar belakang pendidikan S1 Biokimia di Institut Pertanian Bogor dan S2 Bioteknologi di

Universitas Gadjah Mada. Sebelumnya, ia memiliki pengalaman bekerja bidang pertanian di PT Great Giant Pineapple Company, Lampung. Karya publikasi berupa prosiding internasional telah diterbitkan pada tahun 2017. Bidang keahlian yang bersangkutan berfokus pada enzim yang berasal dari jamur/kapang dan gen NRT 2.1 (gen yang mengkode serapan nitrat) pada bawang merah.

**Ulfa Mutammimah, S.P., MP**, saat ini merupakan salah satu staf di Laboratorium Mineralogi, Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk. Ulfa lahir di Rembang pada tanggal 29 Maret 1996 dengan latar belakang Pendidikan S1 di jurusan Agroteknologi di Universitas Sebelas Maret dan S2 di jurusan Ilmu Tanah di almamater yang sama. Karya publikasi yang telah ditulis dan dipublikasikannya terdiri dari jurnal internasional dan prosiding nasional dengan fokus pada bidang pemupukan dan kesuburan tanah pada lahan marginal dan tanah masam sebagai penulis utama dan co-author.

# Ucapan Terima Kasih

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga buku ini dapat diselesaikan dan diterbitkan terselesaikan. Buku ini berisi tentang kajian tentang terhadap potensi sumber hara yang berasal dari bahan baku lokal, seperti limbah pertanian, bahan tambang, dan limbah rumah tangga.

Atas diterbitkannya terselesaikannya buku ini kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu baik secara moril maupun materil serta saran dan masukan yang sifatnya membangun terhadap pengayaan substansi buku ini. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Kepala BBPSI SDLP, BSIP atas arahannya dalam penyusunan buku ini. Selanjutnya kami juga mengucapkan terima kasih kepada editor yang telah membantu kami dalam penyelesaian buku ini.

Dengan terbitnya buku ini, diharapkan dapat memperkaya informasi tentang sumber hara tanaman dari bahan baku lokal yang bermanfaat bagi petani, penyuluh dan masyarakat. Semoga penggunaan bahan baku lokal sumber hara dapat dioptimalkan untuk meningkatkan produktivitas tanah, tanaman dan produksi pertanian dalam mewujudkan ketahanan dan kedaulatan pangan nasional.

Bogor, 28 April 2023  
Tim Penulis



# Sumber Hara Tanaman

## Berbahan Baku Lokal

### SUMBER HARA TANAMAN BERBAHAN BAKU LOKAL

Tanaman budi daya akan tumbuh baik bila diberikan pemupukan berimbang. Faktor produksi tersebut menyumbangkan sekitar 25–40% keberhasilan produksi. Pemupukan berimbang dilakukan dengan menambahkan sejumlah hara ke dalam tanah dengan memperhatikan ketersediaan hara atau kesuburan tanah, kebutuhan tanaman, dan target produksi yang berkesinambungan. Hara tanah dapat diberikan dalam bentuk pupuk organik dan anorganik. Tanaman mengambil hara dalam bentuk ion atau senyawa.

Akhir-akhir ini telah terjadi kelangkaan dan kenaikan harga pupuk. Ketidakseimbangan dalam pemberian hara tanah karena tidak mengacu pada prinsip pemupukan berimbang akan mengganggu kesehatan lingkungan pertanian. Oleh karenanya, hara tanah baik dari pupuk organik maupun anorganik harus tersedia sesuai kebutuhan. Indonesia mempunyai sumber-sumber bahan alternatif untuk pupuk. Sumber-sumber hara tersebut tersedia di sekitar kita.

Buku ini menginformasikan SUMBER-SUMBER BAHAN BAKU PUPUK BERBAHAN BAKU LOKAL sebagai sumber hara bagi tanaman seperti Sumber Pupuk N, Pupuk fosfor (P), Pupuk K (kalium), Pupuk kalsium (Ca), Pupuk magnesium (Mg), Pupuk S, Pupuk mikro (Cu, Zn, Fe, Mn, B), Pupuk mikro (Co, Mo, Na), dan Hara Benefisial Silikat. Selain itu, buku ini juga menjelaskan POTENSI PENGEMBANGAN PUPUK BERBAHAN BAKU LOKAL.



**Redaksi Pertanian Press**

Pusat Perpustakaan dan Literasi Pertanian  
Jalan Ir. H Juanda No. 20, Bogor. 16122

ISBN : 978-979-682-251-6



9 789795 822516

eISBN : 978-979-682-260-8



9 789795 822608