



Cara Bijak Menggunakan

Pupuk Organik dan Anorganik

untuk Pertanian Berkelanjutan



Prof. Dr. Ir. Elli Afrida, M.P

CARA BIJAK MENGGUNAKAN PUPUK ORGANIK DAN ANORGANIK UNTUK PERTANIAN BERKELANJUTAN

Penulis:
Prof. Dr. Ir. Elli Afrida, M.P



GEMILANG PRESS INDONESIA

CARA BIJAK MENGGUNAKAN PUPUK ORGANIK DAN ANORGANIK UNTUK PERTANIAN BERKELANJUTAN

Penulis:

Prof. Dr. Ir. Elli Afrida, M.P

180 hlm: 14,8 cm x 21 cm

ISBN: 978-634-96135-8-3

Editor: Tita Yunia Zalni, S.Pd., M.Pd

Penyunting: Nita Defrilawati, S.IP

Desain Sampul dan Tata Letak: Neza Sartika

Diterbitkan oleh: GEMILANG PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 062/SBA/2024

Talago permai No. 25 RT. 002 RW 004, Ampang Kuranji, Kota
Padang

Website: www.gemilangpress.com

Email: cvgpi.office@gmail.com

Cetakan pertama, Agustus 2025

© Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, buku ini berhasil disusun dengan judul *“Cara Bijak Menggunakan Pupuk Organik dan Anorganik untuk Pertanian Berkelanjutan”*. Buku ini hadir sebagai respons atas pentingnya pemahaman yang utuh dan menyeluruh mengenai praktik pemupukan yang tidak hanya berorientasi pada produktivitas, tetapi juga memperhatikan aspek keberlanjutan ekologi, sosial, dan ekonomi.

Di tengah tantangan krisis iklim dan degradasi lahan, pengetahuan tentang pemupukan bijak menjadi bekal strategis bagi petani, pelaku kebijakan, akademisi, dan masyarakat umum. Isi buku ini mengupas berbagai aspek dasar dan lanjutan dalam pemupukan, mulai dari jenis dan karakteristik pupuk, dampak terhadap tanah dan lingkungan, strategi pemupukan berimbang, hingga inovasi teknologi seperti pupuk hayati, pupuk cair organik, dan pemupukan presisi berbasis smart farming.

Semoga buku ini dapat menjadi referensi bermanfaat dan menginspirasi berbagai kalangan untuk terus memperkuat hubungan harmonis antara manusia dan tanah, antara hasil pertanian dan masa depan planet ini.

Medan, Agustus 2025
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
BAB 1 PUPUK DAN KEHIDUPAN TANAMAN	1
A. Apa Itu Pupuk?	1
B. Peran Pupuk dalam Pertumbuhan Tanaman	6
C. Sejarah Penggunaan Pupuk di Dunia Pertanian	15
BAB 2 MENGENAL PUPUK ORGANIK	23
A. Definisi dan Ciri-Ciri.....	23
B. Jenis-Jenis Pupuk Organik.....	28
C. Penerapan Pupuk Organik.....	37
D. Keunggulan dan Kelemahan Pupuk Organik.....	43
E. Peluang atau Prospek Pupuk Organik	51
BAB 3 MENGENAL PUPUK ANORGANIK.....	57
A. Definisi dan Ciri-Ciri.....	57
B. Jenis-Jenis Pupuk Anorganik.....	62
C. Kandungan Hara Makro dan Mikro	68
D. Cara Produksi Pupuk Anorganik.....	74
E. Keunggulan dan Risiko Penggunaan Pupuk Anorganik.....	78
BAB 4 DAMPAK PENGGUNAAN PUPUK TERHADAP LINGKUNGAN	83
A. Dampak Positif bagi Tanah dan Tanaman	83

B.	Dampak Negatif: Pencemaran, Erosi, dan Penurunan Kualitas Tanah	91
C.	Praktik Ramah Lingkungan dalam Pemupukan.....	99
BAB 5	STRATEGI BIJAK MENGGUNAKAN PUPUK	109
A.	Prinsip Pemupukan Berimbang.....	109
B.	Kombinasi Pupuk Organik dan Anorganik.....	112
C.	Teknik Pemupukan Sesuai Jenis Tanaman	117
D.	Waktu dan Dosis yang Tepat.....	123
E.	Studi Kasus: Petani Sukses dengan Pemupukan Terpadu	127
BAB 6	INOVASI DAN MASA DEPAN PEMUPUKAN	135
A.	Pupuk Organik Cair, Kompos Modern, dan Biofertilizer.....	135
B.	Smart Farming dan Pemupukan Presisi.....	144
C.	Regulasi dan Tren Global Penggunaan Pupuk	152
	DAFTAR PUSTAKA	160
	BIODATA PENULIS.....	170

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pupuk Kandang dari Ayam.....	29
Gambar 2. 2 Pupuk Kandang dari Sapi	29
Gambar 2. 3 Kompos	31
Gambar 2. 4 Pupuk Organik Cair (POC).....	32
Gambar 2. 5 Biofertilizer (Pupuk Hayati).....	34
Gambar 2. 6 Pupuk Hijau	35
Gambar 2. 7 Ecoenzym dan Pupuk dari Limbah Rumah Tangga	37
Gambar 3. 1 Pupuk Nitrogen	62
Gambar 3. 2 Pupuk Fosfat (P)	63
Gambar 3. 3 Pupuk Kalium (K)	65
Gambar 3. 4 Pupuk Majemuk (NPK).....	66
Gambar 3. 5 Pupuk Mikro.....	67
Gambar 5. 1 Tanaman Pangan (Padi, Jagung, Kedelai)	119
Gambar 5. 2 Tanaman Hortikultura (Cabai, Bawang Merah, Tomat)	121
Gambar 5. 3 Tanaman Perkebunan (Kelapa Sawit, Kakao, Kopi)	123
Gambar 6. 1 Smart Farming.....	149

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Fungsi Utama dan Gejala Defisiensi Unsur Hara Tanaman.....	8
Tabel 1. 2 Perkembangan Penggunaan Pupuk dalam Sejarah Pertanian	17
Tabel 2. 1 Keunggulan Pupuk Organik dalam Pertanian Berkelanjutan	46
Tabel 2. 2 Kelemahan Pupuk Organik dalam Aplikasi Pertanian	50
Tabel 3. 1 Ringkasan Jenis dan Cara Produksi Pupuk Anorganik	74

BAB 1

PUPUK DAN KEHIDUPAN TANAMAN

A. Apa Itu Pupuk?

Pupuk merupakan salah satu elemen penting dalam sistem pertanian modern dan tradisional. Pupuk didefinisikan sebagai substansi atau bahan yang ditambahkan ke dalam tanah atau tanaman untuk meningkatkan kandungan unsur hara esensial yang sangat dibutuhkan oleh tanaman agar dapat tumbuh secara optimal. Tanaman, seperti makhluk hidup lainnya, memerlukan nutrisi untuk menjalankan fungsi fisiologis dan biologisnya. Ketika unsur-unsur hara tersebut tidak tersedia dalam jumlah cukup di dalam tanah, maka pertumbuhan tanaman bisa terhambat, bahkan bisa menyebabkan gagal panen.

Unsur hara yang dibutuhkan tanaman secara umum dibedakan menjadi dua kategori, yaitu makronutrien dan mikronutrien. Makronutrien merupakan unsur yang dibutuhkan dalam jumlah besar, contohnya adalah nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Ketiga unsur ini sering disebut sebagai unsur hara utama karena perannya yang vital dalam proses metabolisme tanaman, seperti pembentukan klorofil, pertumbuhan akar, serta pembentukan buah dan biji. Sementara itu, mikronutrien dibutuhkan dalam jumlah yang lebih sedikit, namun tetap esensial bagi kelangsungan hidup tanaman. Mikronutrien tersebut antara lain magnesium (Mg),

Cara Bijak Menggunakan Pupuk Organik Dan Anorganik Untuk Pertanian Berkelanjutan

zat besi (Fe), seng (Zn), dan unsur lainnya yang membantu aktivitas enzimatik dan sintesis protein.

Keseimbangan unsur hara yang tersedia di dalam tanah menjadi kunci utama untuk menjamin pertumbuhan dan produktivitas tanaman yang optimal. Dalam kondisi tanah yang miskin akan nutrisi atau mengalami degradasi, pemberian pupuk menjadi salah satu cara paling efektif untuk mengatasi kekurangan tersebut. Tanah yang telah lama digunakan untuk bercocok tanam tanpa perlakuan pemupukan yang memadai akan kehilangan kesuburannya, baik dari segi kandungan unsur hara maupun struktur tanahnya.

Secara umum pupuk terbagi ke dalam dua kategori utama berdasarkan sumber dan proses pembuatannya, yaitu pupuk organik dan pupuk anorganik. Pupuk organik berasal dari bahan-bahan alami atau hayati, seperti limbah tumbuhan, kotoran hewan, kompos, serta residu hasil pertanian lainnya. Karena berasal dari sumber alami, pupuk organik biasanya mengandung unsur hara dalam kadar yang lebih rendah dibandingkan pupuk anorganik. Namun demikian, pupuk organik memiliki keunggulan jangka panjang dalam memperbaiki struktur tanah, meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah, serta menjaga keseimbangan ekosistem tanah (Hartatik et al., 2015; Roidah, 2013).

Pupuk anorganik merupakan hasil rekayasa kimia melalui proses industri yang menghasilkan senyawa-senyawa yang mengandung unsur hara dalam konsentrasi tinggi. Pupuk jenis ini dirancang sedemikian rupa agar unsur hara yang dikandungnya mudah larut dan langsung tersedia bagi tanaman. Karena itu, pupuk anorganik sangat efektif digunakan untuk memberikan hasil cepat pada tanaman, terutama dalam

sistem pertanian intensif yang menuntut produktivitas tinggi dalam waktu singkat (Simanungkalit et al., 2006).

Meskipun demikian, penggunaan pupuk, baik organik maupun anorganik, harus dilakukan secara bijak dan terukur. Kombinasi keduanya dapat memberikan hasil yang optimal, yakni manfaat jangka pendek dari pupuk anorganik yang langsung tersedia bagi tanaman, serta manfaat jangka panjang dari pupuk organik yang memperbaiki kondisi tanah secara menyeluruh. Dengan pendekatan ini, praktik pertanian berkelanjutan dapat diwujudkan melalui penggunaan pupuk yang efisien, ramah lingkungan, dan berdampak positif terhadap kesuburan tanah dalam jangka panjang.

Pentingnya memahami jenis pupuk dan karakteristiknya menjadi semakin relevan dalam konteks pertanian berkelanjutan. Dalam upaya meningkatkan produktivitas pertanian tanpa merusak lingkungan, petani dan pelaku pertanian dituntut untuk lebih bijak dalam memilih dan menggunakan pupuk. Pengetahuan yang baik mengenai perbedaan antara pupuk organik dan anorganik, termasuk manfaat dan keterbatasannya masing-masing, menjadi fondasi penting dalam penerapan praktik pertanian yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Pupuk organik, dalam hal ini, memiliki sejumlah keunggulan yang tidak hanya terbatas pada manfaat agronomis, tetapi juga mencakup aspek sosial dan ekonomi. Salah satu keunggulan utama pupuk organik adalah sifatnya yang ramah lingkungan. Karena berasal dari bahan alami seperti limbah pertanian, kompos, dan kotoran hewan, pupuk organik tidak meninggalkan residu kimia berbahaya di dalam tanah maupun air. Hal ini sangat penting dalam menjaga keseimbangan

ekosistem pertanian serta mengurangi risiko pencemaran lingkungan akibat penggunaan bahan kimia sintetis yang berlebihan.

Widowati et al. (2022) menyatakan bahwa pupuk organik tidak hanya aman bagi lingkungan, tetapi juga dapat dibuat sendiri oleh petani. Kemampuan ini memberikan nilai tambah tersendiri karena memungkinkan petani untuk mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia pabrikan yang harganya cenderung fluktuatif dan terkadang sulit diakses. Dengan memanfaatkan limbah organik yang tersedia di sekitar lahan pertanian, petani dapat memproduksi pupuk secara mandiri, sehingga tercipta efisiensi biaya produksi sekaligus meningkatkan kemandirian dalam pengelolaan usaha tani.

Kemampuan petani dalam memproduksi pupuk organik sendiri juga dapat menjadi bentuk pemberdayaan ekonomi lokal. Selain menekan pengeluaran, kegiatan ini bisa mendorong terbentuknya sistem pertanian terpadu yang lebih efisien dan berkelanjutan. Limbah dari peternakan atau pertanian yang sebelumnya dianggap tidak berguna kini bisa dikonversi menjadi sumber daya yang bernilai tinggi bagi kesuburan tanah.

Pemahaman yang mendalam mengenai jenis-jenis pupuk dan karakteristik masing-masing bukan hanya menjadi kebutuhan teknis, tetapi juga menjadi bagian dari strategi jangka panjang untuk menciptakan sistem pertanian yang berdaya tahan, ramah lingkungan, dan berorientasi pada keberlanjutan.

Meskipun pupuk anorganik dikenal luas karena keunggulannya dalam hal kecepatan reaksi dan efektivitas pada jangka pendek, penggunaannya yang tidak terkendali dapat

menimbulkan berbagai dampak negatif terhadap lingkungan. Pupuk anorganik diformulasikan secara kimia untuk langsung tersedia bagi tanaman, sehingga hasilnya dapat terlihat dalam waktu singkat, terutama dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil panen. Keunggulan ini membuat pupuk anorganik menjadi pilihan utama dalam sistem pertanian intensif yang menuntut produktivitas tinggi.

Di balik manfaat instannya tersebut, terdapat risiko yang tidak dapat diabaikan. Penggunaan pupuk anorganik secara berlebihan dan terus-menerus dapat mengganggu keseimbangan biologis tanah. Salah satu dampaknya adalah menurunnya populasi mikroba tanah yang berperan penting dalam proses dekomposisi bahan organik, fiksasi nitrogen, dan pelapukan mineral. Mikroba tanah merupakan elemen vital dalam menjaga kesuburan alami tanah, dan kerusakan komunitas ini dapat mengarah pada penurunan kualitas tanah secara keseluruhan (Fikri, 2014).

Penggunaan pupuk kimia yang tidak bijak juga berisiko merusak struktur tanah. Struktur tanah yang sehat terdiri dari agregat tanah yang stabil, mampu menahan air dan udara, serta mendukung pertumbuhan akar. Akumulasi residu kimia dari pupuk anorganik dapat menyebabkan tanah menjadi keras dan kurang porus, yang pada akhirnya mengganggu pergerakan air dan udara dalam tanah. Selain itu, pelindian (leaching) unsur hara dari pupuk anorganik yang tidak terserap tanaman dapat mencemari air tanah dan badan air di sekitarnya, mengakibatkan eutrofikasi dan merusak ekosistem perairan (Pahlepi et al., 2023).

Dalam praktik pertanian masa kini, sangat penting untuk menerapkan pendekatan yang bijak dan seimbang dalam

penggunaan pupuk. Petani perlu mempertimbangkan jenis, dosis, waktu, dan cara aplikasi pupuk agar kebutuhan nutrisi tanaman dapat terpenuhi secara optimal tanpa menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan. Pendekatan ini mencakup penggabungan pupuk organik dan anorganik secara proporsional, pemanfaatan pupuk hayati, serta pengelolaan kesuburan tanah berbasis konservasi.

Tujuan utama dari pendekatan ini adalah untuk memastikan bahwa praktik pertanian tidak hanya menghasilkan produksi yang tinggi, tetapi juga menjaga keberlanjutan lahan pertanian untuk generasi mendatang. Dengan demikian, pemilihan dan penggunaan pupuk tidak semata-mata menjadi aspek teknis dalam budidaya tanaman, melainkan juga bagian integral dari strategi pembangunan pertanian yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan.

B. Peran Pupuk dalam Pertumbuhan Tanaman

Tanaman adalah organisme autotrof, yang berarti mereka memiliki kemampuan untuk memproduksi makanannya sendiri melalui proses fotosintesis. Dalam proses ini, tanaman memanfaatkan energi cahaya matahari untuk mengubah karbon dioksida (CO_2) dari udara dan air (H_2O) dari tanah menjadi senyawa organik yang diperlukan untuk pertumbuhan. Meskipun terlihat mandiri, kenyataannya tanaman tidak dapat melakukan semua proses metabolisme penting hanya dengan air, cahaya, dan karbon dioksida saja. Mereka tetap memerlukan sejumlah unsur hara dari luar, yang berfungsi sebagai bahan baku dalam berbagai reaksi biokimia yang terjadi dalam jaringan tanaman.

Ini adalah alasan mengapa pupuk memainkan peran yang sangat vital dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Pupuk menjadi sumber utama bagi unsur hara esensial yang dibutuhkan tanaman untuk menjalankan fungsi fisiologisnya secara optimal. Tanpa keberadaan unsur-unsur tersebut dalam jumlah yang memadai, proses fotosintesis tidak akan berlangsung dengan efisien, dan pertumbuhan tanaman pun akan terganggu.

Unsur hara yang disuplai oleh pupuk mencakup makronutrien seperti nitrogen (N), yang penting untuk pembentukan klorofil dan pertumbuhan vegetatif; fosfor (P), yang berperan dalam pembentukan akar, bunga, dan biji; serta kalium (K), yang mendukung ketahanan tanaman terhadap penyakit dan meningkatkan kualitas hasil panen. Di samping itu, mikronutrien seperti zat besi (Fe), boron (B), dan mangan (Mn) juga diperlukan dalam jumlah kecil tetapi memiliki peranan yang sangat penting dalam proses enzimatik dan pembentukan hormon tanaman.

Ketika tanaman tidak memperoleh unsur hara dalam jumlah yang cukup, berbagai gejala defisiensi akan muncul. Daun tanaman dapat menguning (klorosis) akibat kekurangan nitrogen, batang menjadi rapuh dan mudah patah karena kurangnya kalsium, serta sistem akar melemah karena ketidakseimbangan unsur fosfor. Dalam jangka panjang, defisiensi ini akan berdampak pada penurunan hasil panen secara drastis dan merugikan petani (Rika, 2022).

Tabel 1. 1 Fungsi Utama dan Gejala Defisiensi Unsur Hara Tanaman

Unsur Hara	Kategori	Fungsi Utama	Gejala Defisiensi
Nitrogen (N)	Makro	Pembentukan klorofil & protein	Daun menguning, pertumbuhan lambat
Fosfor (P)	Makro	Perkembangan akar, bunga, buah	Akar lemah, daun keunguan
Kalium (K)	Makro	Ketahanan stres, kualitas hasil	Tepi daun kering, rentan penyakit
Kalsium (Ca)	Makro	Struktur dinding sel, pertumbuhan jaringan	Batang rapuh, ujung daun mati
Magnesium (Mg)	Makro	Inti klorofil, aktivasi enzim	Daun tua klorosis
Zat Besi (Fe)	Mikro	Sintesis klorofil, enzim fotosintesis	Daun muda pucat
Boron (B)	Mikro	Pembentukan dinding sel, perkembangan buah	Ujung tanaman mati
Mangan (Mn)	Mikro	Aktivator enzim fotosintesis	Bintik klorosis pada daun

Dengan demikian, pemberian pupuk yang tepat, baik dari segi jenis, jumlah, maupun waktu aplikasi, sangat menentukan keberhasilan budidaya tanaman. Pupuk bukan hanya sebagai penunjang pertumbuhan, tetapi juga sebagai penentu produktivitas dan kualitas hasil panen. Oleh karena itu, pemahaman tentang kebutuhan hara tanaman serta kemampuan tanah dalam menyediakannya menjadi dasar penting dalam perencanaan pemupukan yang efisien dan berkelanjutan.

Nitrogen, fosfor, dan kalium adalah tiga unsur makro yang paling dibutuhkan oleh tanaman, dan masing-masing memiliki fungsi spesifik yang sangat krusial dalam siklus hidup tanaman. **Nitrogen**, misalnya, berperan besar dalam pembentukan protein dan klorofil. Klorofil adalah pigmen utama yang berperan dalam fotosintesis, sehingga kekurangan nitrogen akan berdampak langsung pada efisiensi fotosintesis dan pertumbuhan tanaman. Selain itu, nitrogen juga terlibat dalam pembentukan asam amino, enzim, dan hormon pertumbuhan, menjadikannya unsur kunci dalam tahap awal pertumbuhan vegetatif.

Fosfor memiliki peranan penting dalam mendukung pertumbuhan akar dan proses reproduktif tanaman. Fosfor diperlukan dalam jumlah cukup tinggi pada fase awal pertumbuhan tanaman karena membantu dalam perkembangan sistem perakaran yang kuat dan efisien dalam menyerap air serta nutrisi dari tanah. Di samping itu, fosfor juga penting dalam pembentukan bunga, buah, dan biji, serta berperan dalam proses transfer energi di dalam sel tanaman melalui senyawa-senyawa seperti ATP (adenosin trifosfat).

Adapun **kalium**, berfungsi untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan seperti kekeringan, serangan hama, dan penyakit. Kalium juga berperan dalam mengatur tekanan osmotik sel, membuka dan menutup stomata, serta memperkuat dinding sel, sehingga sangat menentukan kualitas hasil panen baik dari segi ukuran, rasa, maupun daya simpan (Simanungkalit et al., 2006). Ketiga unsur ini sering digabung dalam bentuk pupuk majemuk seperti pupuk NPK karena saling melengkapi dalam menunjang pertumbuhan tanaman secara menyeluruh.

Efektivitas pemberian pupuk NPK telah dibuktikan dalam berbagai penelitian. Salah satunya adalah studi oleh Hardiyanti et al. (2022) yang menunjukkan bahwa aplikasi pupuk NPK mampu meningkatkan tinggi dan diameter batang bibit merbau darat (*Intsia palembanica*), sejenis pohon hutan tropis yang memiliki nilai ekonomis tinggi. Hasil penelitian ini memperkuat pemahaman bahwa kombinasi nutrisi yang tepat tidak hanya penting bagi tanaman pangan, tetapi juga berdampak signifikan dalam budidaya tanaman kehutanan. Pertumbuhan vegetatif yang optimal merupakan indikator keberhasilan awal dalam fase pembibitan, yang kemudian berpengaruh terhadap ketahanan dan produktivitas tanaman pada tahap selanjutnya.

Dengan demikian, pengetahuan mengenai fungsi spesifik dari masing-masing unsur hara serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman menjadi landasan penting dalam perencanaan pemupukan. Pemilihan jenis dan dosis pupuk yang sesuai tidak hanya meningkatkan efisiensi budidaya, tetapi juga membantu menjaga keseimbangan nutrisi dalam tanah, sehingga mendukung keberlanjutan sistem pertanian secara keseluruhan.

Pupuk organik memainkan peran yang jauh lebih luas daripada sekadar sebagai sumber nutrisi bagi tanaman. Meskipun kandungan hara dalam pupuk organik umumnya lebih rendah dibandingkan pupuk anorganik, manfaatnya tidak hanya terletak pada penyediaan unsur hara, tetapi juga dalam memperbaiki dan menjaga kualitas tanah secara menyeluruh. Dengan kata lain, pupuk organik memiliki peran ganda: sebagai penyedia nutrisi sekaligus sebagai pembenah tanah.

Pupuk organik bekerja dengan cara meningkatkan aktivitas biologi tanah, yakni merangsang pertumbuhan dan keberagaman mikroorganisme tanah yang berperan penting dalam dekomposisi bahan organik, pelapukan mineral, serta siklus hara. Tanah yang kaya akan mikroorganisme aktif akan memiliki kesuburan yang lebih stabil dan berkelanjutan. Mikroba tanah juga berperan dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman, menjadikan sistem pertanian lebih efisien secara alami.

Pupuk organik berkontribusi dalam memperbaiki struktur fisik tanah, terutama dalam hal pembentukan pori-pori tanah. Struktur tanah yang baik memungkinkan sirkulasi udara dan air berlangsung lebih lancar, serta meningkatkan penetrasi akar ke dalam tanah. Dengan adanya pori-pori tanah yang lebih stabil dan terbuka, daya simpan air juga meningkat, sehingga tanaman menjadi lebih tahan terhadap kekeringan atau fluktuasi curah hujan yang tidak menentu.

Manfaat penting lainnya dari penggunaan pupuk organik adalah kemampuannya dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit. Studi oleh Bahramisharif & Rose (2019) menunjukkan bahwa penggunaan agen hayati seperti mikroorganisme bermanfaat, yang dikombinasikan dengan

kompos, mampu meningkatkan resistensi tanaman tomat terhadap penyakit hawar daun. Hasil ini memperlihatkan bahwa pupuk organik tidak hanya berperan dalam aspek nutrisi dan kesuburan tanah, tetapi juga dapat menjadi bagian dari strategi pengendalian hayati yang alami dan ramah lingkungan.

Hal ini menjadi sangat relevan dalam konteks pertanian berkelanjutan, di mana efisiensi penggunaan input dan pengurangan residu kimia menjadi prioritas utama. Dengan memanfaatkan pupuk organik, petani dapat mengurangi ketergantungan terhadap pestisida sintetis dan pupuk kimia berlebih, sehingga tidak hanya menekan biaya produksi, tetapi juga menjaga kesehatan tanah dan keamanan pangan dalam jangka panjang.

Pupuk organik juga terbukti memberikan kontribusi besar terhadap keberlanjutan ekosistem mikroba tanah, yang merupakan komponen esensial dalam menjaga siklus nutrisi secara alami. Keberadaan mikroorganisme tanah, seperti bakteri, jamur, aktinomisetes, dan mikroba pelarut fosfat, memiliki peranan penting dalam menguraikan bahan organik menjadi bentuk yang tersedia bagi tanaman. Mereka juga berperan dalam mempercepat proses pelapukan mineral dan fiksasi nitrogen, yang kesemuanya mendukung ketersediaan unsur hara dalam jangka panjang.

Pupuk organik, karena berasal dari bahan-bahan alami seperti sisa tanaman, kotoran hewan, dan limbah organik rumah tangga, memberikan substrat yang kaya akan karbon organik sebagai sumber energi bagi mikroorganisme tersebut. Dengan demikian, penggunaannya tidak hanya memberi manfaat secara langsung pada tanaman, tetapi juga membangun lingkungan tanah yang lebih hidup dan dinamis,

yang pada akhirnya menciptakan sistem pertanian yang lebih stabil dan tahan terhadap gangguan.

Penelitian oleh Dauda et al. (2009) memperkuat bukti mengenai manfaat agronomis dari pupuk organik. Dalam studi tersebut, penggunaan pupuk kandang ayam secara signifikan meningkatkan hasil panen semangka di Nigeria. Hasil ini menjadi contoh nyata bahwa bahan organik yang relatif sederhana dan mudah diperoleh pun mampu memberikan dampak nyata terhadap peningkatan produktivitas tanaman. Keberhasilan tersebut bukan hanya berasal dari suplai nutrisi langsung, tetapi juga dari peningkatan aktivitas biologi tanah dan perbaikan sifat fisik serta kimia tanah.

Hal ini menegaskan bahwa pupuk organik memiliki nilai agronomis yang tinggi, khususnya dalam sistem pertanian yang mengutamakan efisiensi, kemandirian petani, dan keberlanjutan lingkungan. Penggunaan pupuk organik tidak hanya relevan di lahan-lahan marjinal atau dalam praktik pertanian tradisional, tetapi juga sangat aplikatif dalam sistem pertanian modern yang mulai beralih pada pendekatan agroekologi dan pertanian regeneratif.

Dengan demikian, memasukkan pupuk organik sebagai bagian dari strategi pemupukan tidak hanya berfungsi sebagai solusi teknis terhadap masalah kesuburan tanah, tetapi juga sebagai langkah strategis untuk membangun ekosistem pertanian yang sehat dan produktif dalam jangka panjang.

Menariknya penggunaan kombinasi antara pupuk organik dan anorganik telah terbukti mampu menghasilkan efek sinergis yang lebih besar dibandingkan penggunaan masing-masing secara terpisah. Pendekatan ini tidak hanya menggabungkan keunggulan masing-masing jenis pupuk,

tetapi juga saling menutupi kekurangan satu sama lain, sehingga menciptakan kondisi pertumbuhan tanaman yang lebih ideal dan berkelanjutan.

Pupuk anorganik memiliki keunggulan dalam hal ketersediaan unsur hara yang cepat diserap tanaman, terutama pada fase awal pertumbuhan. Di sisi lain, pupuk organik bekerja lebih lambat, tetapi memberikan manfaat jangka panjang dalam meningkatkan kualitas tanah, memperbaiki struktur dan retensi air, serta merangsang aktivitas mikroorganisme. Ketika kedua jenis pupuk ini digunakan bersama, tanaman memperoleh nutrisi secara efisien dalam jangka pendek dan berkelanjutan dalam jangka panjang.

Studi oleh Prasetyo et al. (2013) menunjukkan bahwa kombinasi pupuk kandang dan NPK mampu meningkatkan hasil tanaman jagung manis secara signifikan dibandingkan penggunaan pupuk organik atau anorganik secara tunggal. Hasil tersebut menegaskan bahwa strategi pemupukan terpadu tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga memperbaiki kondisi tanah dan mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia dalam jangka panjang. Ini sangat penting dalam menghadapi tantangan degradasi lahan dan naiknya harga input pertanian.

Maka dari itu, pendekatan pemupukan terpadu (*integrated fertilization*) menjadi strategi yang semakin relevan dalam sistem pertanian modern. Strategi ini tidak hanya menekankan pada efisiensi produksi, tetapi juga pada konservasi sumber daya tanah, pengurangan emisi, dan peningkatan keberlanjutan sistem pertanian secara keseluruhan. Dalam jangka panjang, pendekatan ini membantu petani menciptakan sistem produksi yang ekonomis, ramah lingkungan, dan produktif.

Dengan semakin banyaknya bukti ilmiah yang mendukung, pendekatan terpadu bukan lagi sekadar alternatif, melainkan telah menjadi kebutuhan dalam upaya menghadapi tantangan global pertanian saat ini seperti perubahan iklim, penurunan kualitas tanah, dan kebutuhan pangan yang terus meningkat.

C. Sejarah Penggunaan Pupuk di Dunia Pertanian

Penggunaan pupuk dalam dunia pertanian bukanlah praktik baru yang muncul bersamaan dengan kemajuan teknologi modern. Sebaliknya, jejak awal penggunaan pupuk sudah dapat ditelusuri sejak ribuan tahun yang lalu, bahkan jauh sebelum ilmu pertanian dikembangkan secara ilmiah. Bukti arkeologis dan catatan sejarah menunjukkan bahwa berbagai peradaban kuno telah memiliki pemahaman praktis mengenai pentingnya menjaga kesuburan tanah melalui penambahan bahan-bahan alami.

Peradaban besar seperti Mesir Kuno, Cina, dan Romawi diketahui telah menggunakan berbagai bahan organik untuk memperkaya lahan pertanian mereka. Mereka memanfaatkan limbah hewan, abu dari pembakaran kayu atau tanaman, serta lumpur sungai yang kaya akan mineral sebagai bahan utama untuk meningkatkan kesuburan tanah. Meskipun belum memahami unsur hara secara spesifik, petani zaman dahulu telah mengamati bahwa praktik-praktik tersebut dapat meningkatkan hasil panen secara nyata.

Namun, pemahaman ilmiah tentang unsur hara tanaman baru berkembang secara signifikan pada abad ke-19, terutama berkat kontribusi pemikiran dari Justus von Liebig, seorang

ahli kimia asal Jerman yang dikenal sebagai bapak kimia pertanian. Dalam karyanya yang monumental berjudul "*Chemistry in Its Application to Agriculture and Physiology*" (Von Liebig, 1843), ia merumuskan suatu prinsip yang dikenal sebagai Hukum Minimum Liebig.

Menurut prinsip tersebut, pertumbuhan tanaman tidak ditentukan oleh jumlah total nutrisi yang tersedia, tetapi oleh unsur hara yang jumlahnya paling sedikit (menjadi faktor pembatas). Artinya, sekalipun semua unsur hara lain tersedia dalam jumlah melimpah, tanaman tidak akan tumbuh optimal jika satu unsur penting berada dalam kondisi defisit. Konsep ini menjadi landasan penting dalam pengembangan strategi pemupukan yang lebih rasional dan terukur.

Kontribusi Liebig menjadi tonggak penting dalam sejarah pertanian modern, karena dari sanalah muncul pemahaman bahwa tanaman membutuhkan unsur-unsur kimia tertentu dalam proporsi tertentu untuk bisa tumbuh dengan baik. Sejak saat itu, ilmu tanah dan ilmu nutrisi tanaman berkembang pesat, disusul dengan kemunculan industri pupuk anorganik pada akhir abad ke-19 hingga awal abad ke-20.

Dengan demikian, sejarah penggunaan pupuk mencerminkan perjalanan panjang umat manusia dalam memahami hubungan antara tanah, nutrisi, dan pertumbuhan tanaman. Dari praktik tradisional berbasis pengalaman turun-temurun hingga pada pemahaman ilmiah yang berbasis penelitian, semua itu membentuk dasar bagi pengembangan sistem pemupukan modern yang kita kenal saat ini.

Cara Bijak Menggunakan Pupuk Organik Dan Anorganik Untuk Pertanian Berkelanjutan

Tabel 1. 2 Perkembangan Penggunaan Pupuk dalam Sejarah Pertanian

Periode	Jenis Pupuk yang Digunakan	Karakteristik dan Kontribusi Utama
Zaman Kuno (hingga abad 18)	Pupuk alami: kotoran hewan, abu, lumpur sungai	Berdasar pengalaman; meningkatkan kesuburan tanpa pemahaman unsur hara
Abad ke-19	Pupuk mineral (guano, batuan fosfat); awal pupuk kimia	Didorong teori Justus von Liebig; awal ilmu nutrisi tanaman
Awal abad ke-20	Pupuk anorganik sintetik (ammonium nitrat, superfosfat)	Revolusi industri; skala besar; efisiensi tinggi; muncul setelah Perang Dunia I
Pertengahan abad ke-20	Pupuk kimia + pestisida (Revolusi Hijau)	Meningkatkan hasil pangan; ketergantungan tinggi pada input kimia
Akhir abad ke-20 – kini	Kombinasi pupuk organik & anorganik (pemupukan berimbang)	Fokus keberlanjutan; efisiensi pupuk; munculnya pertanian organik dan agroekologi

Revolusi industri menandai titik balik yang sangat penting dalam sejarah penggunaan pupuk, khususnya dalam pengembangan dan pemanfaatan pupuk anorganik secara masif. Periode ini membawa kemajuan besar dalam bidang ilmu pengetahuan, teknologi, dan produksi industri, yang secara langsung berpengaruh terhadap sektor pertanian. Salah satu dampak terbesarnya adalah kemampuan untuk memproduksi pupuk sintetis dalam skala besar dan lebih terjangkau.

Menurut Curtis (1923), lonjakan produksi dan distribusi pupuk sintetis mengalami percepatan luar biasa pasca Perang Dunia I. Hal ini terjadi seiring dengan konversi industri amunisi menjadi industri pupuk nitrogen. Fasilitas-fasilitas yang sebelumnya digunakan untuk memproduksi bahan peledak, seperti ammonium nitrat dan senyawa berbasis nitrogen lainnya, kemudian dialihfungsikan untuk memproduksi pupuk yang kaya akan unsur hara esensial, khususnya nitrogen (N) yang sangat dibutuhkan tanaman untuk pertumbuhan vegetatif.

Peralihan ini bukan sekadar langkah ekonomi, melainkan juga memiliki dimensi strategis yang lebih luas. Brand (1945) bahkan menyebut bahwa produksi pupuk merupakan bagian dari “strategi geopolitik” dalam upaya menjaga ketahanan pangan pascaperang. Negara-negara pemenang perang menyadari bahwa penguatan sektor pertanian adalah langkah krusial untuk menstabilkan ekonomi, membangun kembali populasi yang terdampak, dan menjaga keamanan nasional. Dalam konteks ini, pupuk kimia menjadi alat vital untuk mencapai produktivitas pertanian yang tinggi dalam waktu singkat.

Sejak saat itu penggunaan pupuk kimia atau anorganik meningkat secara eksponensial di seluruh dunia. Revolusi hijau pada pertengahan abad ke-20 semakin memperkuat tren ini, dengan promosi besar-besaran terhadap varietas unggul berproduktivitas tinggi yang sangat tergantung pada input kimia seperti pupuk dan pestisida. Negara-negara berkembang, termasuk Indonesia, juga turut mengadopsi pendekatan ini sebagai bagian dari strategi modernisasi pertanian untuk meningkatkan ketahanan pangan nasional.

Namun, di balik peningkatan produksi yang pesat, muncul pula tantangan baru. Ketergantungan berlebih pada pupuk kimia, tanpa diimbangi dengan pengelolaan tanah yang baik, mulai menunjukkan dampak negatif terhadap keseimbangan ekosistem tanah, kualitas lingkungan, serta keberlanjutan produksi pertanian jangka panjang. Kesadaran akan hal ini menjadi pendorong munculnya gerakan kembali ke pupuk organik dan pendekatan pertanian berkelanjutan di masa kini.

Di balik keberhasilan revolusi hijau dan peningkatan produksi pangan global, muncul berbagai dampak lingkungan yang tidak dapat diabaikan. Penggunaan pupuk kimia yang tidak bijak dan cenderung berlebihan telah membawa konsekuensi serius terhadap keseimbangan ekosistem pertanian. Alih-alih memperkuat fondasi pertanian jangka panjang, praktik ini justru memicu degradasi tanah, mengurangi kesuburan alami, serta menyebabkan akumulasi residu kimia dalam tanah.

Salah satu dampak nyata dari praktik tersebut adalah pencemaran air tanah akibat leaching (peresapan) unsur nitrogen dan fosfat yang tidak terserap tanaman. Unsur-unsur

ini dapat mencemari sumber air dan memicu ledakan alga (eutrofikasi) di badan air, yang pada akhirnya merusak kehidupan akuatik. Selain itu, penggunaan pupuk anorganik dalam jangka panjang juga dapat menyebabkan hilangnya keanekaragaman hayati mikroorganisme tanah, yang justru sangat penting dalam menjaga siklus nutrisi dan struktur tanah yang sehat.

Kondisi ini kemudian mendorong munculnya kembali gerakan pertanian organik, sebagai bentuk kritik dan koreksi terhadap model pertanian intensif berbasis input kimia. Pertanian organik menekankan pada prinsip harmoni antara manusia dan alam, serta menjaga keseimbangan ekologis dalam setiap aspek budidaya. Gerakan ini tidak hanya tumbuh di negara-negara maju, tetapi juga berkembang pesat di berbagai wilayah dunia, termasuk Indonesia.

Di Indonesia sendiri, upaya untuk mendorong pertanian organik telah mendapatkan dukungan dari kebijakan nasional. Salah satu tonggak pentingnya adalah diluncurkannya program “Go Organik 2010”, yang bertujuan menjadikan Indonesia sebagai produsen utama produk organik di Asia. Selain itu, program “Seribu Desa Pertanian Organik” digagas untuk memperluas penerapan praktik pertanian ramah lingkungan hingga ke tingkat pedesaan, sekaligus membangun kesadaran petani akan pentingnya pengelolaan lahan secara lestari (Aji et al., 2019).

Melalui kebijakan-kebijakan tersebut, pemerintah berupaya menciptakan sistem pertanian yang tidak hanya berorientasi pada hasil jangka pendek, tetapi juga menjamin kesehatan tanah, keamanan pangan, dan kelestarian lingkungan dalam jangka panjang. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan pupuk organik tidak hanya merupakan pilihan

teknis, tetapi juga bagian dari strategi nasional untuk mewujudkan pertanian berkelanjutan yang menjawab tantangan masa depan.

Pada masa kini, tantangan yang dihadapi sektor pertanian menjadi semakin kompleks dan multidimensional. Salah satu tantangan terbesar adalah krisis iklim global, yang berdampak langsung pada produktivitas lahan, pola tanam, dan ketersediaan air. Di sisi lain, degradasi sumber daya lahan akibat eksploitasi berlebihan, deforestasi, dan penggunaan input pertanian yang tidak ramah lingkungan semakin mempersempit ruang bagi pertanian yang berdaya tahan dan berkelanjutan.

Dalam menghadapi situasi tersebut, pendekatan pertanian berkelanjutan menjadi semakin relevan dan mendesak. Salah satu prinsip utamanya adalah praktik pemupukan berimbang, yaitu pemberian pupuk dengan memperhatikan empat aspek utama: tepat jenis, tepat dosis, tepat waktu, dan tepat cara. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, tetapi juga mengurangi risiko pencemaran dan kerusakan ekosistem.

Konsep pemupukan berimbang ini terus diperkuat melalui berbagai program penyuluhan dan pelatihan pertanian di berbagai daerah. Studi seperti yang dilakukan oleh Ina et al. (2022), Melati & Wijayati (2023), serta Pahlepi et al. (2023) menekankan bahwa edukasi petani dalam hal penggunaan pupuk yang cermat dan terukur merupakan kunci keberhasilan pertanian masa depan. Melalui peningkatan kapasitas pengetahuan dan keterampilan, petani diajak untuk menjadi pelaku aktif dalam mewujudkan sistem produksi yang ramah lingkungan, efisien, dan produktif.

Pupuk pada era kini tidak lagi dipandang sekadar sebagai input agronomis, tetapi telah menjadi elemen strategis dalam menjaga berbagai aspek penting kehidupan. Pupuk berperan langsung dalam mendukung ketahanan dan keamanan pangan, mengingat bahwa produktivitas lahan sangat bergantung pada ketersediaan unsur hara yang cukup. Di saat yang sama, penggunaan pupuk yang bijak turut mendukung kelestarian lingkungan serta memberikan manfaat ekonomi bagi petani, terutama ketika dikombinasikan dengan pendekatan pertanian terpadu dan organik.

Maka dari itu, mengenal sejarah dan dinamika pupuk bukanlah semata-mata bentuk pelajaran masa lalu. Sebaliknya, pemahaman yang mendalam terhadap evolusi pupuk, dampaknya, serta potensi sinergis dari berbagai jenis pupuk menjadi pijakan penting dalam menentukan arah pertanian masa depan. Sebuah masa depan yang menyeimbangkan produktivitas dan keberlanjutan, antara kebutuhan manusia dan keseimbangan alam.

BAB 2

MENGENAL PUPUK ORGANIK

A. Definisi dan Ciri-Ciri

Pupuk organik merupakan salah satu jenis pupuk yang berasal dari bahan-bahan alami. Sumber utama pupuk organik berasal dari pelapukan sisa-sisa makhluk hidup, seperti limbah tanaman, kotoran hewan, sisa dapur rumah tangga, hingga mikroorganisme yang mengalami proses fermentasi. Proses pelapukan ini dikenal sebagai dekomposisi, yaitu proses biologis yang memecah bahan organik menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana yang dapat digunakan oleh tanaman.

Berbeda dengan pupuk kimia atau anorganik yang kandungan unsur haranya sangat tinggi dan langsung tersedia bagi tanaman, pupuk organik umumnya memiliki kandungan unsur hara yang lebih rendah. Meski demikian, pupuk organik memiliki keunggulan tersendiri yang sangat penting dalam jangka panjang, yaitu kemampuannya dalam memperbaiki struktur tanah. Struktur tanah yang baik akan meningkatkan porositas dan aerasi, serta memudahkan akar tanaman dalam menyerap air dan nutrisi.

Pupuk organik juga mampu meningkatkan aktivitas biologi tanah. Tanah yang aktif secara biologis adalah tanah yang kaya akan mikroorganisme, seperti bakteri, jamur, dan fauna tanah lainnya, yang semuanya berperan penting dalam siklus hara dan kesehatan tanaman. Mikroorganisme ini

membantu dalam menguraikan bahan organik dan melepaskan nutrisi penting yang dibutuhkan oleh tanaman.

Menurut pendapat Simanungkalit et al. (2006), pupuk organik memiliki manfaat yang lebih luas daripada sekadar penyedia nutrisi bagi tanaman. Pupuk ini juga berperan besar dalam memperbaiki sifat fisika, kimia, dan biologi tanah secara berkelanjutan. Sifat fisika tanah yang membaik mencakup peningkatan struktur dan tekstur tanah, sementara perbaikan sifat kimia meliputi peningkatan kapasitas tukar kation dan pH tanah yang lebih stabil. Di sisi lain, aspek biologi tanah juga terdorong oleh meningkatnya populasi dan aktivitas mikroorganisme tanah.

Dengan keunggulan-keunggulan tersebut, pupuk organik menjadi salah satu fondasi penting dalam mewujudkan sistem pertanian yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penggunaan pupuk ini tidak hanya memberikan manfaat jangka pendek dalam pertumbuhan tanaman, tetapi juga mendukung kelestarian sumber daya tanah dan lingkungan dalam jangka panjang.

Meskipun pupuk organik memiliki kandungan nutrisi yang lebih rendah dibandingkan pupuk kimia, kelebihanannya dalam memperbaiki kondisi tanah dan mendukung pertanian berkelanjutan menjadikannya pilihan yang bijak bagi para petani yang ingin menjaga keseimbangan ekosistem. Oleh karena itu, pemahaman tentang pupuk organik dan penerapannya dalam praktik pertanian sangat penting untuk mendukung sistem produksi pertanian yang sehat dan berkelanjutan (Simanungkalit et al., 2006).

Ciri khas pupuk organik dapat dikenali dari berbagai aspek fisik dan kandungan kimianya. Secara umum, pupuk

organik hadir dalam dua bentuk utama, yaitu padat dan cair. Pupuk padat biasanya berupa kompos, pupuk kandang, atau pupuk hijau yang telah mengalami proses pelapukan, sedangkan pupuk cair seringkali berasal dari hasil fermentasi bahan organik yang difermentasi dalam air, seperti pupuk cair dari kotoran ternak atau limbah dapur rumah tangga.

Warna pupuk organik umumnya coklat hingga kehitaman. Warna ini menunjukkan tingginya kandungan bahan organik hasil dekomposisi yang matang, dan biasanya disertai dengan bau khas yang menyerupai bau tanah. Aroma ini menandakan bahwa proses fermentasi atau pelapukan telah berlangsung dengan baik dan pupuk siap digunakan di lahan pertanian. Pupuk yang belum matang biasanya memiliki bau menyengat dan belum stabil, sehingga berpotensi merusak tanaman bila langsung diaplikasikan.

Menurut Widowati et al. (2022), salah satu ciri penting pupuk organik adalah tingginya kandungan bahan organik, terutama karbon, nitrogen, serta mineral alami lainnya. Kandungan karbon organik dalam pupuk ini berfungsi sebagai sumber energi bagi mikroorganisme tanah, sedangkan nitrogen berperan penting dalam pertumbuhan vegetatif tanaman. Selain itu, mineral alami seperti fosfor, kalium, dan unsur hara mikro lainnya juga tersedia dalam bentuk yang lebih lambat terurai, sehingga memberikan suplai nutrisi yang stabil dan berkelanjutan bagi tanaman.

Lebih dari sekadar sebagai sumber nutrisi, pupuk organik juga memiliki peran penting dalam konteks pertanian berkelanjutan. Dalam pandangan Hartatik et al. (2015), pupuk organik berfungsi sebagai agen restoratif yang tidak hanya menyuburkan tanah, tetapi juga memelihara dan

mengembalikan fungsi ekologisnya. Fungsi ekologis tanah meliputi kemampuannya dalam mendukung kehidupan mikroba tanah, menjaga struktur tanah yang sehat, meningkatkan kapasitas tanah dalam menahan air, serta mengurangi risiko erosi dan degradasi.

Penggunaan pupuk organik dalam sistem pertanian modern tidak dapat dipandang semata-mata sebagai upaya untuk menyediakan nutrisi bagi tanaman. Lebih dari itu, pupuk organik merupakan komponen penting dalam menjaga kelestarian ekosistem tanah dan meningkatkan keberlanjutan sistem pertanian secara keseluruhan. Dengan peran multifungsinya tersebut, pupuk organik menjadi bagian integral dari strategi pertanian yang tidak hanya produktif, tetapi juga ramah lingkungan dan berorientasi jangka panjang (Hartatik et al., 2015).

Roidah (2013) menegaskan bahwa pupuk organik memiliki keunggulan penting dalam hal kandungan nutrisinya. Pupuk ini mengandung unsur hara makro dan mikro yang dibutuhkan oleh tanaman, seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), serta unsur-unsur mikro seperti kalsium (Ca), magnesium (Mg), besi (Fe), seng (Zn), dan tembaga (Cu). Yang menarik, seluruh unsur ini hadir dalam bentuk kompleks yang berasal dari bahan organik alami, bukan senyawa sintetis seperti yang ditemukan pada pupuk anorganik.

Kandungan unsur hara dalam pupuk organik dilepaskan ke dalam tanah secara bertahap, seiring dengan proses dekomposisi oleh mikroorganisme tanah. Pelepasan yang lambat ini memiliki nilai strategis dalam pertanian karena mampu menyesuaikan dengan ritme penyerapan nutrisi oleh tanaman. Dengan demikian, tanaman tidak mengalami

kelebihan unsur hara yang bisa merusak jaringan tanaman atau mencemari lingkungan.

Salah satu keuntungan utama dari mekanisme pelepasan lambat ini adalah kemampuannya untuk mengurangi risiko pencucian hara. Pada pupuk anorganik, unsur hara yang cepat larut sering kali tidak sepenuhnya diserap oleh tanaman. Akibatnya, kelebihan nutrisi ini akan tercuci oleh air hujan atau irigasi dan terbawa ke lapisan tanah yang lebih dalam, bahkan bisa mencemari air tanah. Proses pencucian ini tidak hanya menyebabkan pemborosan pupuk, tetapi juga berdampak buruk terhadap lingkungan, seperti eutrofikasi perairan dan penurunan kualitas tanah.

Sebaliknya, pupuk organik memberikan solusi yang lebih berkelanjutan. Karena unsur haranya dilepaskan secara perlahan dan lebih stabil dalam tanah, pupuk organik mampu memberikan pasokan nutrisi yang konsisten dan jangka panjang bagi tanaman. Ini sangat bermanfaat terutama bagi sistem pertanian organik atau pertanian terpadu yang menekankan efisiensi input dan kesehatan ekosistem.

Dengan sifat tersebut, pupuk organik tidak hanya menyediakan kebutuhan hara tanaman, tetapi juga membantu menciptakan sistem pertanian yang lebih efisien, hemat biaya, dan ramah lingkungan. Pandangan Roidah (2013) ini memperkuat argumen bahwa pemanfaatan pupuk organik sejalan dengan prinsip-prinsip pertanian berkelanjutan yang mendukung produktivitas sekaligus menjaga kelestarian sumber daya alam.

B. Jenis-Jenis Pupuk Organik

Pupuk organik memiliki banyak ragam yang dapat dibedakan berdasarkan asal bahan baku, metode pengolahan, serta tujuan penggunaannya di lapangan. Setiap jenis memiliki kelebihan spesifik yang bermanfaat bagi tanah dan tanaman, serta mendukung praktik pertanian berkelanjutan. Berikut ini adalah jenis-jenis pupuk organik beserta penjelasan panjangnya:

1. Pupuk Kandang

Pupuk kandang merupakan salah satu jenis pupuk organik yang paling umum digunakan dalam pertanian dan berasal dari kotoran hewan ternak seperti sapi, kambing, ayam, atau kerbau. Pupuk ini mengandung berbagai unsur hara penting, seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah cukup untuk mendukung proses pertumbuhan dan perkembangan secara optimal. Selain menyediakan nutrisi esensial, salah satu keunggulan utama pupuk kandang adalah kemampuannya dalam memperbaiki struktur tanah secara fisik, sehingga tekstur tanah menjadi lebih gembur, tidak mudah padat, memiliki pori-pori yang memadai untuk menunjang sirkulasi udara dan pergerakan air, serta mendukung peningkatan aktivitas mikroorganisme tanah yang berperan penting dalam proses dekomposisi bahan organik dan penyediaan unsur hara bagi tanaman.

Studi oleh Dauda et al. (2009) menunjukkan bahwa penggunaan pupuk kandang ayam secara signifikan dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil panen tanaman semangka. Peningkatan ini terjadi karena pupuk kandang tidak hanya berfungsi sebagai sumber unsur hara penting bagi tanaman, tetapi juga mengandung bahan organik yang mampu memperbaiki kualitas tanah secara menyeluruh, baik dari segi

Cara Bijak Menggunakan Pupuk Organik Dan Anorganik Untuk Pertanian Berkelanjutan

kesuburan kimia, struktur fisik, maupun aktivitas biologis tanah, sehingga menciptakan lingkungan tumbuh yang lebih ideal bagi perkembangan tanaman.



Gambar 2. 1 Pupuk Kandang dari Ayam



Gambar 2. 2 Pupuk Kandang dari Sapi

2. Kompos

Kompos dihasilkan dari proses dekomposisi atau penguraian bahan organik seperti sisa makanan, daun kering, jerami, dan limbah kebun yang dilakukan oleh mikroorganisme dalam kondisi tertentu. Proses ini dapat berlangsung secara alami dalam waktu yang relatif lama, namun juga bisa dipercepat dengan bantuan mikroorganisme pengurai atau penambahan aktivator kompos yang mempercepat reaksi biologis. Hasil akhir dari proses tersebut berupa bahan organik yang telah matang dan stabil, kaya akan humus, berwarna coklat tua hingga kehitaman, memiliki tekstur remah yang gembur, serta mengeluarkan aroma khas tanah yang menandakan bahwa proses dekomposisi telah berjalan sempurna dan kompos siap digunakan sebagai pupuk organik yang ramah lingkungan.

Kompos dikenal memiliki berbagai manfaat penting bagi tanah, di antaranya adalah kemampuannya dalam meningkatkan daya tahan tanah untuk menyimpan air, memperbaiki struktur fisik tanah agar lebih gembur dan aeratif, serta mendukung pertumbuhan mikroba menguntungkan yang berperan dalam proses dekomposisi dan penyediaan unsur hara. Selain itu, kompos juga tergolong aman untuk digunakan pada semua jenis tanaman karena sifatnya yang stabil dan tidak mudah menyebabkan keracunan, berbeda dengan beberapa pupuk kimia yang bisa menimbulkan efek samping jika tidak digunakan dengan tepat. Simanungkalit et al. (2006) juga menekankan bahwa kompos merupakan sumber bahan organik yang sangat baik dalam mempertahankan dan meningkatkan kesuburan tanah secara berkelanjutan dalam jangka panjang, sehingga sangat direkomendasikan dalam praktik pertanian ramah lingkungan.



Gambar 2. 3 Kompos

3. Pupuk Organik Cair (POC)

Pupuk organik cair (POC) merupakan hasil dari proses fermentasi limbah organik yang diolah menjadi bentuk cair, sehingga mudah diserap oleh tanaman. Bahan baku pembuatan POC bisa berasal dari berbagai sumber organik seperti sisa buah-buahan, kulit pisang, ampas dapur, hingga urin ternak, yang kemudian difermentasi dengan bantuan mikroorganisme dan tambahan molase atau gula sebagai sumber energi bagi mikroba. Keunggulan utama POC terletak pada fleksibilitasnya dalam penggunaannya, karena dapat diaplikasikan langsung ke permukaan daun melalui metode foliar spray untuk penyerapan cepat, maupun disiramkan ke tanah di sekitar akar guna memperbaiki kondisi tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman secara bertahap.

Cara Bijak Menggunakan Pupuk Organik Dan Anorganik Untuk Pertanian Berkelanjutan

Sari et al. (2024) menunjukkan bahwa fermentasi limbah kulit pisang menjadi pupuk organik cair tidak hanya menghasilkan senyawa yang menyediakan nutrisi penting bagi tanaman, tetapi juga mengandung zat aktif yang berfungsi sebagai anti hama alami yang efektif. Temuan ini menjadikan POC sebagai pilihan yang efisien dan multifungsi dalam praktik pertanian organik, karena mampu menggantikan peran pupuk dan pestisida sekaligus dalam satu aplikasi, tanpa menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Dengan demikian, penggunaan POC dari limbah kulit pisang tidak hanya mengurangi ketergantungan pada bahan kimia sintetis, tetapi juga mendukung sistem budidaya yang lebih ramah lingkungan, berkelanjutan, dan berbasis pada pemanfaatan sumber daya lokal secara optimal.



Gambar 2. 4 Pupuk Organik Cair (POC)

4. Biofertilizer (Pupuk Hayati)

Biofertilizer atau pupuk hayati merupakan jenis pupuk organik yang mengandung mikroorganisme hidup seperti Azospirillum,

Rhizobium, dan jamur mikoriza yang secara aktif berperan dalam meningkatkan ketersediaan dan penyerapan unsur hara oleh tanaman melalui mekanisme biologis yang beragam. Misalnya, bakteri Rhizobium mampu bersimbiosis dengan akar tanaman legum untuk menangkap nitrogen dari udara bebas dan mengubahnya menjadi senyawa yang dapat langsung dimanfaatkan oleh tanaman, sementara jamur mikoriza membentuk jaringan hifa yang memperluas jangkauan akar dalam menyerap fosfat serta unsur hara lain dari tanah. Dengan kemampuan tersebut, biofertilizer tidak hanya mendorong pertumbuhan tanaman secara alami dan efisien, tetapi juga berkontribusi dalam memperbaiki struktur dan kesehatan tanah secara berkelanjutan, tanpa memberikan dampak negatif terhadap lingkungan seperti yang sering terjadi pada penggunaan pupuk kimia sintetis.

Biofertilizer tidak hanya membantu tanaman dalam menyerap unsur hara penting, tetapi juga memainkan peran vital dalam meningkatkan kesehatan tanah melalui peningkatan populasi mikroba baik yang mampu bersaing dengan dan menekan pertumbuhan patogen penyebab penyakit tanaman. Kehadiran mikroorganisme bermanfaat ini menciptakan lingkungan tanah yang lebih seimbang dan tahan terhadap gangguan biologis. Penelitian oleh Anggraini et al. (2022) yang mengembangkan biofertilizer dari limbah organik menunjukkan bahwa aplikasi pupuk hayati ini mampu mendorong pertumbuhan tanaman secara signifikan dibandingkan dengan perlakuan tanpa biofertilizer, menegaskan bahwa biofertilizer tidak hanya efektif sebagai penyedia nutrisi, tetapi juga sebagai agen biologis yang mendukung keberlanjutan ekosistem tanah dan produktivitas pertanian secara menyeluruh.



Gambar 2. 5 Biofertilizer (Pupuk Hayati)

5. Pupuk Hijau

Pupuk hijau dibuat dari tanaman tertentu umumnya berasal dari jenis legum seperti kacang-kacangan, lamtoro, atau tanaman penutup tanah lainnya yang sengaja ditanam kemudian dibenamkan ke dalam tanah saat menjelang fase berbunga untuk memberikan manfaat maksimal. Tanaman-tanaman ini berfungsi sebagai penambah bahan organik dan sumber nitrogen alami bagi tanah, berkat kemampuannya bersimbiosis dengan bakteri pengikat nitrogen yang hidup di

akar. Selain meningkatkan kesuburan tanah, pupuk hijau juga berperan penting dalam menjaga struktur tanah, mengurangi erosi akibat hujan atau angin, menekan pertumbuhan gulma yang bersaing dengan tanaman utama, serta membantu mempertahankan kelembaban tanah melalui penutupan permukaan tanah yang efektif.

Penggunaan pupuk hijau merupakan salah satu praktik pertanian konservatif yang telah diterapkan sejak lama untuk menjaga dan meningkatkan kesuburan tanah secara alami. Sistem ini sangat cocok digunakan dalam pola rotasi tanaman, pada lahan kering yang rentan degradasi, maupun dalam pertanian ekologis yang mengutamakan prinsip keberlanjutan, karena mampu mempertahankan keseimbangan unsur hara tanah tanpa memerlukan input eksternal yang tinggi seperti pupuk kimia. Selain itu, pemanfaatan pupuk hijau juga mendukung pengelolaan tanah yang lebih sehat dan efisien, sekaligus memperkuat ketahanan agroekosistem terhadap gangguan lingkungan.



Gambar 2. 6 Pupuk Hijau

6. Ecoenzym dan Pupuk dari Limbah Rumah Tangga

Ecoenzym merupakan larutan organik yang dihasilkan melalui proses fermentasi limbah rumah tangga seperti kulit buah, sayuran busuk, dan sisa makanan lainnya yang dicampur dengan gula (molase atau gula merah) dan air, kemudian dibiarkan selama beberapa bulan hingga proses fermentasi selesai. Proses ini menghasilkan cairan beraroma asam manis yang mengandung berbagai enzim aktif, hormon tumbuhan alami seperti auksin dan sitokinin yang merangsang pertumbuhan tanaman, serta mikroorganisme bermanfaat yang mendukung kesehatan tanah. Kandungan tersebut menjadikan ecoenzym sebagai bahan multifungsi yang tidak hanya menutrisi tanaman, tetapi juga membantu memperbaiki struktur tanah, meningkatkan aktivitas mikroba tanah, dan secara tidak langsung berkontribusi pada sistem pertanian yang lebih ramah lingkungan.

Shafiyah et al. (2024) mencatat bahwa ecoenzym tidak hanya berfungsi sebagai sumber nutrisi bagi tanaman, tetapi juga memiliki sifat antimikroba yang efektif dalam menekan pertumbuhan patogen penyebab penyakit, sehingga berperan ganda dalam mendukung kesehatan tanaman dan tanah. Selain aplikasinya dalam bidang pertanian, ecoenzym juga banyak dimanfaatkan sebagai pembersih ramah lingkungan dalam rumah tangga, karena kemampuannya menguraikan lemak, kotoran, dan bau tanpa menimbulkan residu berbahaya. Dengan manfaat yang luas tersebut, ecoenzym menjadi solusi holistik dalam pengelolaan limbah domestik, sekaligus mendukung praktik pertanian rumah tangga yang berkelanjutan dan minim dampak negatif terhadap lingkungan.



Gambar 2. 7 Ecoenzym dan Pupuk dari Limbah Rumah Tangga

C. Penerapan Pupuk Organik

Penggunaan pupuk organik dalam praktik pertanian tidak hanya sebatas pada pemenuhan kebutuhan nutrisi tanaman. Lebih dari itu, pupuk organik memiliki peran strategis dalam manajemen kesuburan tanah yang bersifat menyeluruh dan jangka panjang. Pendekatan ini melibatkan pemahaman bahwa tanah bukan sekadar media tumbuh, tetapi sebuah ekosistem hidup yang perlu dijaga keseimbangannya secara berkelanjutan.

Dalam konteks pertanian organik, penerapan pupuk organik menjadi salah satu elemen kunci untuk menjaga produktivitas tanpa merusak lingkungan. Pupuk organik tidak digunakan secara sembarangan, melainkan disesuaikan dengan

kebutuhan spesifik lahan dan tanaman. Proses ini sering dikombinasikan dengan sistem rotasi tanaman, yakni penanaman jenis tanaman yang berbeda secara bergilir pada satu lahan untuk meminimalkan kelelahan tanah, mencegah hama spesifik, dan memaksimalkan pemanfaatan unsur hara.

Praktik pemanfaatan sisa panen seperti batang, daun, dan akar yang tidak terpakai, menjadi bagian dari strategi daur ulang nutrisi. Bahan-bahan organik tersebut dapat dikomposkan dan dikembalikan ke lahan sebagai pupuk, sehingga meminimalkan limbah pertanian sekaligus memperkaya tanah dengan bahan organik yang segar.

Pendekatan yang tidak kalah penting dalam penerapan pupuk organik adalah konservasi mikroorganisme tanah. Mikroorganisme seperti bakteri, fungi, dan aktinomisetes memainkan peran penting dalam penguraian bahan organik, fiksasi nitrogen, dan ketersediaan nutrisi. Oleh karena itu, penggunaan pupuk organik juga diarahkan untuk menciptakan lingkungan tanah yang sehat dan mendukung keberadaan mikroba tanah. Lingkungan yang kaya akan mikroorganisme cenderung lebih tahan terhadap erosi, pencemaran, serta mampu memperbaiki struktur dan fungsi tanah dalam jangka panjang.

Menurut Yuriansyah et al. (2020), keberhasilan pertanian berkelanjutan sangat bergantung pada sinergi antara input organik yang tepat, teknik budidaya yang bijak, serta manajemen ekosistem tanah secara utuh. Oleh karena itu, pupuk organik tidak hanya dilihat sebagai bahan pemupuk, tetapi sebagai bagian integral dari filosofi pertanian yang menyatu dengan alam.

Penerapan pupuk organik tidak hanya memberi manfaat bagi tanah dan tanaman, tetapi juga membuka peluang besar bagi kemandirian pertanian di tingkat lokal. Salah satu pendekatan yang semakin berkembang adalah pemanfaatan bahan-bahan lokal dalam pembuatan pupuk organik. Bahan-bahan seperti limbah dapur, kotoran ternak, jerami, daun kering, hingga limbah pasar yang mudah ditemukan di pedesaan, memiliki potensi besar untuk diolah menjadi pupuk yang berkualitas dan ramah lingkungan.

Suyadi et al. (2024) menegaskan bahwa produksi pupuk organik berbasis bahan lokal bukan hanya mendukung praktik pertanian berkelanjutan, tetapi juga berkontribusi langsung terhadap kemandirian pangan desa. Dengan memproduksi pupuk sendiri, petani tidak perlu lagi bergantung sepenuhnya pada pupuk anorganik yang harganya fluktuatif dan pasokannya terkadang tidak menentu. Hal ini sangat penting terutama bagi daerah terpencil yang memiliki keterbatasan akses terhadap sarana produksi pertanian.

Aspek pemberdayaan masyarakat juga menjadi bagian penting dari penerapan pupuk organik. Edukasi dan pelatihan kepada petani, khususnya kepada kelompok wanita tani, terbukti efektif dalam meningkatkan kapasitas produksi pupuk organik mandiri di desa. Pahlepi et al. (2023) menekankan bahwa pelatihan ini bukan hanya memberikan pengetahuan teknis, tetapi juga membentuk pola pikir baru yang lebih ramah lingkungan dan berorientasi pada keberlanjutan.

Melalui pelatihan tersebut, petani diajarkan teknik sederhana namun efektif dalam mengolah bahan organik menjadi kompos, pupuk cair, atau bioaktivator. Selain menghasilkan pupuk yang ekonomis, kegiatan ini juga mampu

memperkuat solidaritas kelompok tani, meningkatkan nilai tambah limbah pertanian, dan menciptakan siklus pertanian yang lebih tertutup dan efisien.

Dengan demikian, penerapan pupuk organik berbasis lokal bukan hanya soal teknis pertanian, tetapi juga menyangkut transformasi sosial dan ekonomi di tingkat akar rumput. Ketika petani mampu mengelola sumber dayanya sendiri, maka ketahanan dan kedaulatan pangan pun menjadi lebih mungkin untuk dicapai secara nyata.

Dalam praktik di lapangan, penggunaan pupuk organik tidak harus berdiri sendiri, tetapi dapat dikombinasikan secara bijak dengan pupuk kimia untuk mencapai efektivitas yang optimal. Pendekatan pemupukan berimbang ini mulai banyak diterapkan dalam sistem pertanian terpadu. Ina et al. (2022), melalui penyuluhan kepada kelompok tani cabai merah, menyarankan agar petani menerapkan kombinasi pupuk organik dan anorganik secara proporsional. Hal ini didasarkan pada fakta bahwa setiap jenis tanah memiliki karakteristik dan kebutuhan unsur hara yang berbeda-beda, sehingga pendekatan seragam tidak selalu memberikan hasil terbaik.

Kesuma et al. (2022) mengembangkan program pelatihan dengan mengusung prinsip “empat tepat” dalam pemupukan berimbang, yaitu tepat jenis, tepat dosis, tepat waktu, dan tepat cara, sebagai panduan praktis bagi petani untuk menerapkan pemupukan yang efisien dan bertanggung jawab. Tujuan dari pendekatan ini adalah membentuk perilaku petani yang lebih sadar terhadap dampak penggunaan pupuk, sehingga mampu menyeimbangkan antara kebutuhan nutrisi tanaman dan kelestarian lingkungan. Dengan penerapan prinsip tersebut, risiko kelebihan penggunaan pupuk kimia yang dapat mencemari air tanah, merusak struktur tanah, atau

mengganggu keseimbangan mikroorganisme dapat ditekan, sementara pemanfaatan pupuk organik dapat ditingkatkan untuk menjaga dan memperbaiki kesuburan tanah dalam jangka panjang secara berkelanjutan.

Secara teknis, pupuk organik dapat diaplikasikan melalui berbagai tahapan dalam siklus budidaya tanaman. Berikut ini adalah strategi aplikasinya secara sistematis:

1. Pengolahan Tanah Awal (Pra-Tanam)

Pupuk organik, khususnya kompos dan pupuk kandang, sebaiknya diaplikasikan saat pengolahan tanah awal. Tahapan ini bertujuan memperbaiki struktur fisik tanah, meningkatkan kandungan bahan organik, dan mempersiapkan lingkungan tanah yang mendukung aktivitas mikroorganisme. Pada tahap ini, pupuk dicampur secara merata ke dalam lapisan tanah atas (15–20 cm) agar lebih mudah terdekomposisi dan tersedia bagi akar tanaman ketika mulai tumbuh. Aplikasi awal ini juga membantu meningkatkan daya ikat air dan menstabilkan suhu tanah.

2. Pemupukan Dasar dan Susulan

Setelah tanaman mulai tumbuh, pemupukan sebaiknya dilakukan dalam dua tahap utama, yaitu pemupukan dasar dan pemupukan susulan. Pemupukan dasar dilakukan pada saat tanam atau segera setelah tanam, dengan tujuan utama menyediakan nutrisi awal yang dibutuhkan untuk mendukung fase awal pertumbuhan vegetatif tanaman agar dapat berkembang dengan baik. Pada tahap ini, jenis pupuk organik seperti kompos halus atau pupuk organik berbentuk granul sangat dianjurkan, karena dapat dilepaskan secara perlahan dan merata ke dalam tanah. Pupuk ini biasanya diberikan langsung ke dalam lubang tanam atau disebar mengelilingi area

perakaran agar nutrisi tersedia secara optimal bagi tanaman sejak awal pertumbuhannya.

Sementara itu, pemupukan susulan diberikan pada masa pertumbuhan aktif, terutama saat pembentukan bunga atau buah. Pada tahap ini, penggunaan pupuk organik cair atau pupuk hayati bisa menjadi pilihan yang baik karena mudah diserap tanaman dan membantu mempertahankan ketersediaan hara secara konsisten.

3. Aplikasi Foliar (Daun)

Jenis pupuk organik cair (POC) juga dapat diaplikasikan melalui metode penyemprotan langsung ke daun, yang dikenal sebagai aplikasi foliar, dan merupakan cara yang efektif untuk memberikan nutrisi mikro dalam jumlah kecil namun cepat terserap oleh tanaman. Metode ini sangat bermanfaat terutama bagi tanaman yang menunjukkan gejala kekurangan hara atau sedang mengalami stres akibat faktor lingkungan seperti kekeringan atau serangan hama. Penyemprotan dilakukan dengan mencairkan POC sesuai dosis yang dianjurkan, lalu disemprotkan secara merata ke permukaan daun. Waktu aplikasi yang ideal adalah pada pagi atau sore hari, saat suhu tidak terlalu tinggi dan stomata daun terbuka, sehingga penyerapan nutrisi dapat berlangsung lebih optimal dan risikoenguapan atau kerusakan daun akibat sinar matahari langsung dapat diminimalkan.

Penerapan ketiga strategi ini secara terintegrasi membantu memastikan tanaman memperoleh nutrisi secara berkelanjutan, sekaligus menjaga kondisi tanah tetap subur dan hidup. Pendekatan ini juga selaras dengan prinsip pertanian ramah lingkungan karena meminimalkan ketergantungan pada

pupuk kimia dan mengoptimalkan sumber daya lokal yang ada di sekitar petani.

D. Keunggulan dan Kelemahan Pupuk Organik

Keunggulan

1. Memperbaiki Struktur Tanah

Salah satu keunggulan utama pupuk organik terletak pada kemampuannya dalam memperbaiki struktur fisik tanah secara menyeluruh. Pupuk organik bekerja dengan meningkatkan porositas tanah, yaitu ruang-ruang antar partikel tanah yang sangat penting untuk menunjang sirkulasi udara dan pergerakan air di dalam tanah. Selain itu, penggunaan pupuk organik juga dapat meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK), yaitu kemampuan tanah untuk menyerap dan menahan unsur hara agar tetap tersedia bagi tanaman dalam jangka waktu lebih lama. Dengan struktur tanah yang menjadi lebih gembur, bernapas, dan memiliki kelembapan yang seimbang, sistem perakaran tanaman berkembang lebih kuat dan luas, sehingga penyerapan nutrisi berlangsung lebih efektif. Kondisi ini secara keseluruhan mendorong pertumbuhan tanaman yang lebih cepat, sehat, dan produktif (Hartatik et al., 2015).

2. Meningkatkan Aktivitas Mikroorganisme Tanah

Tanah yang sehat sangat bergantung pada keberadaan dan aktivitas mikroba di dalamnya, karena mikroorganisme seperti bakteri, fungi, dan aktinomisetes memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan

ekosistem tanah. Pupuk organik secara alami menyediakan sumber makanan yang dibutuhkan oleh mikroba tersebut, sehingga mendukung kelangsungan hidup dan aktivitas mereka. Mikroba-mikroba ini terlibat langsung dalam berbagai proses biologis vital, seperti dekomposisi bahan organik menjadi bentuk yang lebih mudah diserap tanaman, fiksasi nitrogen dari udara, serta pelarutan fosfat yang semula tidak tersedia menjadi bentuk yang dapat dimanfaatkan tanaman. Dengan meningkatnya bioaktivitas tanah melalui aplikasi pupuk organik, proses-proses biologis dalam sistem pertanian dapat berlangsung lebih optimal, sehingga menunjang pertumbuhan ta

3. Mengurangi Ketergantungan pada Bahan Kimia

Penggunaan pupuk kimia secara terus-menerus dalam jangka panjang seringkali menimbulkan berbagai dampak negatif, seperti penurunan kesuburan tanah akibat degradasi struktur dan hilangnya bahan organik, pencemaran air tanah karena limpasan residu kimia, serta kerusakan ekosistem mikro yang penting bagi kesehatan tanah. Dalam konteks ini, pupuk organik hadir sebagai solusi alternatif yang lebih ramah lingkungan untuk mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia sintesis. Dengan menerapkan pupuk organik secara rutin, kebutuhan akan pupuk anorganik dapat ditekan secara signifikan tanpa mengorbankan produktivitas. Selain menjaga dan memulihkan kesehatan tanah, penggunaan pupuk organik juga berkontribusi dalam menekan biaya produksi dalam jangka panjang serta mendukung sistem pertanian yang lebih berkelanjutan dan ekologis (Fikri, 2014).

4. Ramah Lingkungan

Karena berasal dari bahan-bahan alami seperti limbah pertanian, kotoran hewan, dan sisa dapur organik, pupuk organik memiliki dampak lingkungan yang sangat rendah dibandingkan dengan pupuk kimia sintetis. Proses pembuatannya bersifat biodegradatif, artinya bahan-bahan tersebut terurai secara alami tanpa meninggalkan residu berbahaya yang dapat mencemari tanah, air, atau udara. Hal ini menjadikan pupuk organik sejalan dengan prinsip ekologi dan konservasi lingkungan, karena mendukung siklus alami tanpa merusaknya. Dalam jangka panjang, penggunaan pupuk organik juga berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim, salah satunya dengan meningkatkan kandungan bahan organik dan memperbaiki keseimbangan karbon di dalam tanah, sehingga mendukung upaya penyerapan emisi karbon dari atmosfer secara alami (Meilani et al., 2023).

5. Potensi Anti-Hama Alami

Beberapa jenis pupuk organik, terutama yang berbentuk cair (POC), juga memiliki manfaat tambahan sebagai pengendali hama alami. Contohnya, hasil penelitian oleh Sari et al. (2024) menunjukkan bahwa pupuk cair yang dibuat dari fermentasi kulit pisang tidak hanya menyediakan nutrisi, tetapi juga mengandung senyawa bioaktif yang bersifat mengusir hama. Ini membuka peluang pengembangan pupuk multifungsi yang tidak hanya menyuburkan, tetapi juga melindungi tanaman secara alami dari serangan organisme pengganggu.

Tabel 2. 1 Keunggulan Pupuk Organik dalam Pertanian Berkelanjutan

Aspek Keunggulan	Penjelasan
Memperbaiki Struktur Tanah	Pupuk organik meningkatkan porositas dan kapasitas tukar kation (KTK), membuat tanah menjadi lebih gembur, mudah menyimpan air dan udara, serta menunjang sistem akar tanaman kuat.
Meningkatkan Aktivitas Mikroorganisme Tanah	Kandungan bahan organik dalam pupuk menjadi sumber makanan bagi mikroba tanah. Mikroorganisme ini berperan penting dalam fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, dan dekomposisi bahan organik, sehingga tanah menjadi lebih hidup dan subur.
Mengurangi Ketergantungan pada Pupuk Kimia	Aplikasi pupuk organik yang berkelanjutan membantu menekan penggunaan pupuk anorganik, sehingga mengurangi pencemaran tanah dan air, serta menekan biaya produksi dalam jangka panjang.
Ramah Lingkungan	Bahan alami dalam pupuk organik bersifat mudah terurai dan tidak menghasilkan residu berbahaya, menjadikannya lebih aman bagi lingkungan dan mendukung konservasi tanah serta mitigasi perubahan iklim.
Potensi Sebagai Anti-Hama Alami	Beberapa POC (Pupuk Organik Cair) mengandung senyawa bioaktif hasil fermentasi, seperti dari kulit pisang, yang berfungsi ganda sebagai nutrisi dan pengusir hama secara alami, mengurangi ketergantungan terhadap pestisida kimia.

Kelemahan

1. Kandungan Hara yang Relatif Rendah

Salah satu kekurangan utama dari pupuk organik adalah kandungan unsur haranya yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan pupuk kimia sintetis, terutama dalam hal nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), yang merupakan tiga unsur makro paling dibutuhkan oleh tanaman. Rendahnya konsentrasi nutrisi ini menyebabkan pupuk organik harus diaplikasikan dalam jumlah yang jauh lebih banyak untuk memenuhi kebutuhan tanaman secara optimal, terutama pada lahan pertanian yang luas atau untuk komoditas dengan permintaan hara tinggi. Penhallegon (2003) menekankan bahwa untuk mencukupi satu hektar lahan, volume pupuk organik yang dibutuhkan bisa berkali-kali lipat dibandingkan pupuk kimia, yang pada gilirannya dapat memengaruhi efisiensi tenaga kerja, logistik, dan biaya distribusi. Meskipun demikian, manfaat jangka panjang terhadap kesehatan tanah dan lingkungan tetap menjadi pertimbangan utama dalam pemilihan pupuk organik.

2. Waktu Reaksi yang Lambat

Unsur hara dalam pupuk organik dilepaskan secara bertahap melalui proses dekomposisi oleh mikroorganisme tanah, sehingga memiliki laju pelepasan nutrisi yang lebih lambat dibandingkan pupuk kimia. Proses ini memerlukan waktu agar nutrisi tersedia dalam bentuk yang dapat diserap oleh tanaman, yang bisa menjadi kendala pada fase-fase kritis pertumbuhan tanaman seperti saat awal pertumbuhan, pembentukan bunga, atau pembentukan buah yang menuntut suplai

hara cepat dan dalam jumlah cukup. Keterlambatan dalam penyediaan nutrisi ini membuat pupuk organik kurang ideal bila digunakan sebagai satu-satunya sumber nutrisi, terutama pada sistem budidaya intensif. Oleh karena itu, dalam praktik pertanian modern, petani sering mengombinasikan pupuk organik dengan pupuk kimia sebagai strategi pemupukan terpadu untuk tetap mendapatkan manfaat ekologis dari bahan organik sambil memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman secara efisien.

3. Volume dan Bobot yang Besar

Karena kandungan hara dalam pupuk organik relatif rendah, aplikasinya harus dilakukan dalam jumlah besar untuk memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman, yang secara langsung berdampak pada bobot dan volume pupuk yang tinggi. Kondisi ini menimbulkan tantangan logistik yang tidak sedikit, terutama dalam hal pengangkutan, penanganan, dan penyimpanan. Bagi petani skala besar atau yang berada di lokasi terpencil, kebutuhan akan armada truk, tenaga kerja tambahan, serta ruang penyimpanan yang memadai bisa menjadi beban operasional yang cukup signifikan. Selain itu, aspek logistik ini juga menjadi salah satu penyebab mengapa distribusi pupuk organik dalam skala industri masih belum seefisien pupuk kimia, yang lebih padat nutrisi dan mudah ditransportasikan dalam jumlah besar dengan volume yang lebih kecil.

4. Kualitas yang Tidak Konsisten

Salah satu kelemahan lain dari pupuk organik adalah tingginya variabilitas kualitas akibat perbedaan bahan

baku dan metode pengolahan yang digunakan. Karena pupuk organik dapat berasal dari beragam sumber seperti limbah rumah tangga, kotoran hewan ternak, limbah pertanian, hingga sisa makanan komposisi nutrisi di dalamnya sangat bergantung pada jenis dan proporsi bahan organik serta teknik pengomposan atau fermentasi yang diterapkan. Tanpa standarisasi dan kontrol mutu yang konsisten, hasil akhir pupuk organik cenderung fluktuatif dalam hal kandungan hara, stabilitas, dan efektivitasnya terhadap tanaman. Hal ini menjadi tantangan tersendiri, terutama untuk pertanian komersial yang membutuhkan kepastian dan keseragaman kualitas input. Morel & Guillemain (2004) menekankan pentingnya pengujian laboratorium serta penerapan regulasi mutu yang ketat agar pupuk organik dapat lebih diandalkan dan diterima secara luas sebagai alternatif pupuk dalam skala industri maupun praktik pertanian berkelanjutan.

Meskipun pupuk organik memiliki sejumlah kekurangan, keunggulan jangka panjangnya tetap lebih menonjol, terutama dalam konteks keberlanjutan lingkungan dan kesuburan tanah secara alami. Jika digunakan secara konsisten dan dikombinasikan dengan manajemen lahan yang baik, pupuk organik dapat membangun produktivitas tanah secara bertahap dan lestari. Maka dari itu, banyak sistem pertanian modern mulai beralih ke pendekatan terpadu memadukan keunggulan pupuk organik dengan efisiensi pupuk kimia secara bijak.

Tabel 2. 2 Kelemahan Pupuk Organik dalam Aplikasi Pertanian

No.	Aspek Kelemahan	Penjelasan
1	Kandungan Hara Rendah	Pupuk organik mengandung nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) dalam jumlah yang lebih sedikit dibanding pupuk kimia, sehingga membutuhkan volume aplikasi yang besar untuk memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman, khususnya pada lahan luas.
2	Waktu Reaksi Lambat	Unsur hara dilepaskan secara bertahap melalui dekomposisi mikroba, sehingga tidak langsung tersedia bagi tanaman. Hal ini menjadi kendala untuk fase pertumbuhan awal atau kebutuhan nutrisi mendesak.
3	Volume dan Bobot Besar	Karena aplikasinya harus dalam jumlah besar, pupuk organik memiliki bobot dan volume yang tinggi. Hal ini menyulitkan dalam proses distribusi, transportasi, dan penyimpanan, terutama di lahan besar atau terpencil.
4	Kualitas Tidak Konsisten	Komposisi pupuk sangat tergantung pada bahan baku dan proses pengomposan. Tanpa kontrol mutu dan standarisasi, hasil akhir bisa bervariasi sehingga sulit diprediksi efektivitasnya.

E. Peluang atau Prospek Pupuk Organik

Pupuk organik saat ini tengah berada dalam fase momentum kebangkitan, seiring dengan meningkatnya kesadaran global akan pentingnya kelestarian lingkungan dan sistem pertanian yang berkelanjutan. Di tengah krisis ekologi global yang ditandai oleh degradasi tanah, pencemaran air, dan menurunnya biodiversitas, pupuk organik hadir sebagai alternatif yang tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga memperkuat ketahanan pangan dari tingkat lokal hingga nasional.

Di Indonesia sendiri, geliat penggunaan pupuk organik mulai menampakkan arah positif, terutama sejak pemerintah meluncurkan berbagai program nasional seperti "Go Organik 2010" dan "Seribu Desa Organik". Program-program ini tidak hanya mendorong adopsi pertanian organik, tetapi juga memberikan dorongan nyata terhadap pengembangan dan produksi pupuk organik berbasis sumber daya lokal. Inisiatif semacam ini membuka ruang bagi petani dan komunitas desa untuk memanfaatkan limbah organik setempat sebagai bahan baku pupuk, yang pada akhirnya memperkuat kemandirian pertanian dan ekonomi desa (Aji et al., 2019).

Peluang pupuk organik juga didorong oleh pergeseran preferensi konsumen. Produk-produk pertanian organik kini semakin diminati, baik di pasar domestik maupun internasional. Kesadaran masyarakat akan pentingnya konsumsi sehat dan bebas residu kimia menciptakan permintaan pasar yang stabil dan terus meningkat terhadap hasil pertanian yang dibudidayakan tanpa pupuk kimia sintetis. Dalam konteks ini, penggunaan pupuk organik bukan lagi

sekadar pilihan idealis, melainkan strategi ekonomi yang menguntungkan.

Dari sisi teknologi dan inovasi, peluang pupuk organik turut diperkuat oleh perkembangan metode produksi yang semakin efisien, seperti fermentasi cepat, pemanfaatan mikroorganisme lokal efektif (MOL), serta integrasi teknologi pengomposan skala rumah tangga dan industri. Hal ini menjadikan produksi pupuk organik lebih terjangkau, cepat, dan mudah diterapkan oleh berbagai skala usaha tani, dari pekarangan keluarga hingga pertanian komersial.

Dukungan regulasi dan kebijakan publik semakin memberi ruang bagi perkembangan pupuk organik. Pemerintah mulai memberikan insentif, pelatihan, dan pengakuan sertifikasi bagi pertanian organik, yang secara langsung mendorong penggunaan pupuk organik sebagai bagian integral dari sistem budidaya.

Dengan memperhatikan faktor lingkungan, ekonomi, teknologi, dan sosial tersebut, dapat disimpulkan bahwa prospek pupuk organik ke depan sangat menjanjikan. Pupuk ini tidak hanya menjadi solusi atas permasalahan kesuburan tanah dan pencemaran lingkungan, tetapi juga menjadi motor penggerak pertanian masa depan yang sehat, mandiri, dan berkelanjutan.

Secara ekonomi, pasar pupuk organik menghadirkan peluang yang sangat besar seiring dengan meningkatnya permintaan terhadap produk-produk pertanian yang sehat, alami, dan bebas dari residu pestisida kimia. Konsumen kini tidak hanya mempertimbangkan aspek kuantitas dalam konsumsi pangan, tetapi juga kualitas dan keamanan pangan yang mereka konsumsi sehari-hari. Tren ini tercermin dalam

meningkatnya nilai jual hasil pertanian organik di pasar lokal maupun ekspor, yang secara langsung mendorong pertumbuhan industri pupuk organik sebagai bagian integral dari sistem produksi ramah lingkungan.

Dukungan regulatif dari pemerintah turut memperkuat posisi pupuk organik dalam sistem pertanian nasional. Hadian (2024) mencatat bahwa implementasi Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia No. 64 Tahun 2013 tentang Sistem Pertanian Organik mulai diadopsi secara bertahap di berbagai daerah. Aturan ini tidak hanya menekankan pada aspek teknis budidaya organik, tetapi juga memberikan pengakuan legal terhadap sertifikasi dan sirkulasi produk organik, termasuk di dalamnya penggunaan pupuk organik bersertifikasi. Adopsi kebijakan ini menjadi momentum penting bagi petani, pelaku usaha tani, dan pemerintah daerah untuk mendorong ekosistem pertanian yang berlandaskan prinsip keseimbangan alam dan keberlanjutan sumber daya.

Dalam konteks ketahanan pangan desa, pemanfaatan pupuk organik bahkan menjadi pilar utama dalam membangun sistem pertanian yang mandiri, adaptif, dan resilien terhadap krisis. Bahari et al. (2025) menegaskan bahwa dengan memanfaatkan sumber daya lokal seperti limbah dapur, kotoran ternak, dan sisa panen sebagai bahan dasar pupuk organik, masyarakat desa dapat menciptakan rantai produksi yang efisien, hemat biaya, dan tidak tergantung pada input luar yang mahal. Praktik ini tidak hanya mengurangi beban ekonomi petani, tetapi juga memperkuat daya tahan pangan lokal dari ancaman fluktuasi harga pupuk kimia dan gangguan pasokan global.

Dengan demikian, dari sudut pandang ekonomi maupun sosial, pupuk organik tidak hanya memiliki prospek sebagai komoditas agribisnis, tetapi juga sebagai instrumen pemberdayaan desa dan transformasi sistem pangan nasional menuju arah yang lebih sehat, berdaulat, dan berkelanjutan.

Tak kalah penting dalam memperkuat prospek pupuk organik adalah peran edukasi dan digitalisasi. Transformasi digital di sektor pertanian mulai membuka peluang baru dalam meningkatkan efisiensi dan presisi pemupukan, termasuk untuk pupuk organik. Iqbal (2024) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa teknologi Internet of Things (IoT) yang semula dikembangkan untuk memantau nutrisi pada sistem hidroponik berbasis AB Mix, ternyata dapat juga diadaptasi untuk sistem pemupukan organik. Penggunaan sensor digital dan sistem pemantauan berbasis data real-time memungkinkan petani untuk mengetahui kondisi nutrisi tanah dan tanaman secara akurat, sehingga pemupukan organik dapat dilakukan dengan dosis yang tepat, waktu yang optimal, dan cara yang ramah lingkungan. Inovasi ini secara langsung menjawab tantangan utama pupuk organik yang selama ini dianggap kurang presisi dibanding pupuk kimia.

Dengan demikian, posisi pupuk organik dalam sistem pertanian modern tidak lagi dapat dianggap sebagai pilihan sekunder atau alternatif belaka. Justru sebaliknya, pupuk organik kini dipandang sebagai fondasi utama bagi masa depan pertanian berkelanjutan. Dari sisi ekologis, ia membantu menjaga kesehatan tanah dan mengurangi pencemaran lingkungan. Dari sisi ekonomis, ia membuka peluang usaha baru berbasis lokal dan menurunkan ketergantungan terhadap input pertanian impor. Dari sisi sosial, ia memberdayakan komunitas tani, mendorong kemandirian desa, dan

Cara Bijak Menggunakan Pupuk Organik Dan Anorganik Untuk Pertanian Berkelanjutan

membangun budaya pertanian yang lebih bijak terhadap alam. Dengan dukungan kebijakan, teknologi, dan kesadaran masyarakat, pupuk organik memiliki masa depan yang cerah sebagai katalis perubahan menuju sistem pangan yang resilien, sehat, dan adil.

Cara Bijak Menggunakan Pupuk Organik Dan Anorganik Untuk Pertanian Berkelanjutan

BAB 3

MENGENAL PUPUK ANORGANIK

A. Definisi dan Ciri-Ciri

Pupuk anorganik merupakan jenis pupuk yang berasal dari proses sintesis kimia di lingkungan industri. Berbeda dengan pupuk organik yang umumnya diperoleh dari bahan-bahan alami seperti kotoran hewan, kompos, dan sisa tanaman, pupuk anorganik dirancang secara khusus melalui formulasi kimia untuk menyediakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang tinggi dan dalam bentuk yang mudah diserap.

Pupuk ini memiliki karakteristik utama, yaitu mengandung unsur hara dalam bentuk senyawa mineral. Senyawa-senyawa ini bersifat larut dalam air sehingga dapat langsung dimanfaatkan oleh akar tanaman setelah diaplikasikan ke tanah atau media tanam. Hal ini menjadikan pupuk anorganik sangat efektif dalam memberikan respons pertumbuhan tanaman yang cepat, terutama dalam sistem pertanian intensif yang memerlukan efisiensi tinggi dalam pemupukan.

Unsur-unsur hara utama yang terkandung dalam pupuk anorganik meliputi nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Ketiga unsur ini dikenal sebagai unsur makro utama yang sangat penting untuk pertumbuhan tanaman. Nitrogen berperan dalam merangsang pertumbuhan daun dan batang,

fosfor penting untuk perkembangan akar serta pembungaan dan pembuahan, sedangkan kalium membantu dalam pembentukan buah dan ketahanan tanaman terhadap penyakit.

Selain unsur makro tersebut, pupuk anorganik juga dapat mengandung unsur hara makro sekunder seperti magnesium (Mg) dan sulfur (S). Magnesium dibutuhkan tanaman untuk proses fotosintesis karena merupakan bagian dari klorofil, sedangkan sulfur membantu dalam sintesis protein dan vitamin. Tidak hanya itu, pupuk anorganik juga sering diperkaya dengan unsur mikro yang dibutuhkan dalam jumlah kecil namun penting untuk metabolisme tanaman, seperti tembaga (Cu), boron (B), dan seng (Zn).

Penggunaan pupuk anorganik memberikan kelebihan dalam hal kecepatan respons tanaman dan konsistensi hasil panen, namun juga perlu dilakukan dengan bijak. Penggunaan yang berlebihan atau tidak seimbang dapat berdampak negatif terhadap kualitas tanah dan lingkungan. Oleh karena itu, pemahaman yang baik mengenai karakteristik dan kandungan pupuk anorganik sangat penting untuk menunjang praktik pertanian yang berkelanjutan.

Menurut Dittmar et al. (2000), pupuk anorganik tersedia dalam berbagai bentuk dan komposisi. Secara umum, pupuk ini dapat diklasifikasikan sebagai senyawa tunggal maupun senyawa majemuk. Pupuk tunggal hanya mengandung satu jenis unsur hara utama, seperti urea yang mengandung nitrogen saja, sementara pupuk majemuk mengandung lebih dari satu unsur hara, seperti NPK yang mencakup nitrogen, fosfor, dan kalium dalam satu formulasi. Pemilihan jenis pupuk ini bergantung pada kebutuhan spesifik tanaman dan kondisi tanah yang ada.

Bentuk fisik pupuk anorganik pun bervariasi, antara lain dalam bentuk padat dan cair. Bentuk padat biasanya tersedia dalam butiran atau prill (butiran kecil yang lebih halus), yang mudah disebar di lahan pertanian menggunakan alat penyebar pupuk. Sementara itu, bentuk cair umumnya digunakan dalam sistem pertanian modern, seperti irigasi tetes (fertigasi) atau penyemprotan daun, yang memungkinkan penyerapan hara secara lebih cepat oleh tanaman. Pilihan bentuk ini ditentukan oleh formula pupuk serta metode aplikasi yang dianggap paling efisien dan sesuai dengan kebutuhan agronomis.

Salah satu keunggulan utama pupuk anorganik terletak pada efektivitasnya yang tinggi dalam menyuplai unsur hara dalam waktu yang relatif singkat. Unsur hara dalam pupuk ini mudah larut dan cepat tersedia bagi tanaman, sehingga sering digunakan dalam situasi yang membutuhkan perbaikan cepat terhadap defisiensi nutrisi. Hal ini sangat membantu terutama dalam fase pertumbuhan kritis, di mana tanaman memerlukan asupan nutrisi yang optimal untuk mendukung perkembangan vegetatif maupun generatif.

Pupuk anorganik umumnya memiliki bentuk yang homogen dan konsisten. Homogenitas ini menjamin distribusi nutrisi yang merata ketika pupuk diaplikasikan ke lahan. Tidak hanya itu, pupuk anorganik juga dapat diformulasikan secara khusus untuk menyesuaikan dengan jenis tanaman tertentu atau kondisi tanah spesifik. Formulasi ini dibuat berdasarkan hasil penelitian agronomi dan kebutuhan lokal, sehingga memungkinkan petani untuk menggunakan pupuk yang lebih tepat sasaran, efisien, dan mendukung produktivitas tanaman secara optimal.

Dengan kemampuannya yang fleksibel dalam formulasi dan aplikasinya, pupuk anorganik terus memainkan peran penting dalam sistem pertanian modern. Namun, sebagaimana ditegaskan dalam literatur, penggunaannya harus tetap memperhatikan prinsip keberlanjutan dan tidak boleh mengabaikan dampak jangka panjang terhadap kualitas tanah dan lingkungan sekitar.

Salah satu keunggulan utama pupuk anorganik terletak pada kemampuannya untuk larut dengan sangat cepat di dalam tanah. Daya larut yang tinggi ini membuat unsur hara seperti nitrogen, fosfor, dan kalium segera tersedia bagi akar tanaman, sehingga dapat dimanfaatkan dengan efisien untuk mendukung pertumbuhan vegetatif maupun generatif. Dalam kondisi tertentu, terutama saat tanaman berada dalam fase pertumbuhan aktif, kecepatan penyerapan nutrisi ini menjadi faktor penting dalam mendorong produktivitas.

Kelebihan pupuk, terutama yang larut cepat seperti pupuk kimia, juga dapat menjadi kelemahan potensial jika tidak dikelola secara bijaksana. Kecepatan pelarutan unsur hara memang memungkinkan nutrisi tersedia dengan cepat bagi tanaman, namun di sisi lain, hal ini juga membuatnya lebih rentan hilang dari tanah melalui proses pencucian (*leaching*), terutama pada lahan-lahan yang menerima curah hujan tinggi atau menerapkan sistem irigasi berlebihan. Kehilangan nutrisi ini bukan hanya menurunkan efisiensi pemupukan dan merugikan petani dari segi biaya, tetapi juga berisiko mencemari air tanah dan badan air di sekitarnya, menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan ekosistem. Oleh karena itu, pengelolaan pemupukan yang tepat sangat diperlukan untuk menyeimbangkan antara kebutuhan tanaman dan potensi kerugian akibat pencucian nutrisi (Fikri, 2014).

Dalam konteks pertanian intensif yang mengejar produktivitas tinggi, pupuk anorganik masih memegang peranan penting. Di banyak negara berkembang, termasuk Indonesia, sistem pemupukan modern sangat bergantung pada pupuk anorganik sebagai tulang punggung peningkatan hasil pertanian. Hal ini karena ketersediaan nutrisi yang cepat dan pasti dari pupuk anorganik dapat membantu memenuhi kebutuhan pangan dalam skala besar, sekaligus mendukung ketahanan pangan nasional.

Kendati pupuk anorganik sering kali diidentikkan dengan praktik pertanian modern dan efisien, penggunaannya tidak lepas dari berbagai tantangan, baik dari sisi ekologis maupun sosial. Secara ekologis, penggunaan yang tidak terkontrol dapat menyebabkan degradasi tanah, pencemaran air, dan penurunan keanekaragaman mikroorganisme tanah. Sementara dari sisi sosial, ketergantungan yang tinggi terhadap input eksternal ini dapat meningkatkan beban biaya produksi bagi petani kecil.

Sangat penting untuk memahami lebih jauh berbagai jenis pupuk anorganik yang tersedia di pasaran, termasuk karakteristik, cara kerja, dan dampaknya terhadap lingkungan. Dengan mengenali kelebihan serta potensi risikonya secara jernih, petani dan pemangku kepentingan pertanian dapat mengambil keputusan yang lebih bijaksana dalam mengelola pemupukan. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip pertanian berkelanjutan yang tidak hanya menargetkan hasil panen tinggi, tetapi juga menjaga kesehatan ekosistem pertanian dalam jangka panjang.

B. Jenis-Jenis Pupuk Anorganik

Pupuk anorganik diklasifikasikan berdasarkan kandungan unsur hara utama yang dikandungnya. Berikut ini adalah kelompok utama pupuk anorganik yang umum digunakan dalam praktik pertanian:

1. Pupuk Nitrogen (N):

Pupuk nitrogen sangat krusial dalam mendukung fase pertumbuhan vegetatif tanaman, terutama pembentukan daun dan batang. Nitrogen juga berperan vital dalam pembentukan klorofil yang mendukung proses fotosintesis, serta sintesis protein yang menjadi penyusun utama jaringan tanaman.



Gambar 3. 1 Pupuk Nitrogen

Contoh pupuk nitrogen yang banyak digunakan adalah urea (mengandung sekitar 46% nitrogen), ammonium sulfat (sekitar 21% nitrogen), dan ammonium nitrat. Namun, nitrogen adalah unsur yang paling rentan hilang dari tanah, baik melalui penguapan (volatilisasi)

maupun pencucian (leaching), khususnya jika diaplikasikan tanpa mempertimbangkan waktu dan cara yang tepat.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Diana et al. (2021), penerapan pupuk nitrogen secara tepat terbukti mampu meningkatkan pertumbuhan padi varietas Inpari 29 secara signifikan. Meski demikian, pemupukan nitrogen secara berlebihan juga memiliki risiko, seperti menyebabkan tanaman mudah rebah (lodging) dan menurunkan kualitas hasil panen akibat pertumbuhan vegetatif yang terlalu cepat dan tidak seimbang.

2. Pupuk Fosfat (P):

Fosfor merupakan unsur yang penting dalam proses perkembangan akar tanaman, pembentukan bunga, dan pertumbuhan buah. Selain itu, fosfor juga berperan dalam proses transfer energi di dalam tanaman melalui molekul ATP.



Gambar 3. 2 Pupuk Fosfat (P)

Jenis pupuk fosfat yang umum digunakan adalah super fosfat tunggal (TSP) dan diamonium fosfat (DAP). Tidak seperti nitrogen, fosfor bersifat kurang mobil di tanah, sehingga penempatannya harus benar-benar berada di zona perakaran agar dapat terserap secara optimal.

Menurut Hartatik et al. (2015), penggunaan pupuk fosfat memberikan dampak positif yang besar terhadap percepatan fase generatif pada berbagai jenis tanaman, terutama tanaman hortikultura dan tanaman pangan seperti jagung dan kedelai.

3. Pupuk Kalium (K):

Kalium memiliki fungsi utama dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan seperti kekeringan, suhu ekstrem, dan serangan penyakit. Unsur ini juga memengaruhi kualitas hasil panen, seperti ukuran dan warna buah, ketebalan kulit, serta daya simpan produk pertanian.

Contoh pupuk kalium yang umum digunakan adalah kalium klorida (KCl) dan kalium sulfat (K_2SO_4). Kalium juga membantu regulasi pembukaan stomata, sehingga mendukung efisiensi penggunaan air oleh tanaman.

Studi oleh Istina (2016) membuktikan bahwa pemupukan dengan formula NPK seimbang, termasuk unsur kalium, sangat signifikan dalam meningkatkan produktivitas tanaman bawang merah. Kalium dalam formula ini terbukti mendukung pembentukan umbi dan kualitas hasil panen.



Gambar 3. 3 Pupuk Kalium (K)

4. Pupuk Majemuk (NPK):

Pupuk majemuk adalah formulasi yang mengandung lebih dari satu unsur hara makro dalam satu produk, biasanya kombinasi nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Kepraktisan pupuk ini menjadi salah satu alasan utama popularitasnya di kalangan petani karena dapat menghemat waktu dan biaya aplikasi.

Rasio NPK dalam pupuk majemuk bisa disesuaikan dengan tahap pertumbuhan tanaman misalnya rasio tinggi nitrogen untuk tahap awal pertumbuhan dan lebih tinggi kalium untuk fase pembungaan dan pematangan.

Penelitian oleh Hardiyanti et al. (2022) menunjukkan bahwa aplikasi pupuk NPK secara signifikan meningkatkan tinggi dan diameter batang pada bibit merbau darat. Hal ini mengindikasikan bahwa

pupuk majemuk efektif dalam mendukung pertumbuhan awal tanaman kehutanan maupun tanaman budidaya lainnya.



Gambar 3. 4 Pupuk Majemuk (NPK)

5. Pupuk Mikro:

Pupuk mikro mengandung unsur hara esensial yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah sangat kecil, seperti seng (Zn), tembaga (Cu), boron (B), besi (Fe), dan mangan (Mn). Meskipun hanya dibutuhkan dalam konsentrasi rendah, kekurangan unsur mikro ini dapat menyebabkan gangguan metabolisme tanaman dan menurunkan hasil panen.

Pupuk mikro dapat diberikan melalui aplikasi daun (foliar spray) untuk penyerapan cepat, atau melalui tanah untuk efek jangka panjang, tergantung pada kondisi tanah dan jenis tanaman.

Rika (2022) dalam penelitiannya menyatakan bahwa ketidakseimbangan unsur mikro seringkali menimbulkan defisiensi tersembunyi. Kondisi ini tidak langsung terlihat dari gejala visual namun berdampak pada menurunnya produktivitas meskipun kebutuhan unsur makro telah tercukupi sepenuhnya.



Gambar 3. 5 Pupuk Mikro

6. Pupuk Slow Release dan Controlled Release:

Pupuk jenis ini dirancang dengan teknologi khusus untuk melepaskan unsur hara secara perlahan dan bertahap sesuai dengan kebutuhan tanaman. Mekanisme

pelepasan ini biasanya dikontrol oleh faktor lingkungan seperti kelembaban dan suhu tanah.

Walaupun harganya lebih tinggi dibanding pupuk konvensional, pupuk slow release dan controlled release memiliki tingkat efisiensi yang lebih baik serta mengurangi risiko kehilangan hara akibat pencucian atau penguapan. Ini juga membantu mengurangi frekuensi pemupukan dan meminimalkan dampak lingkungan. Jenis pupuk ini menjadi bagian dari pendekatan pertanian presisi, di mana pemupukan dilakukan dengan dosis dan waktu yang tepat guna mendukung keberlanjutan serta efisiensi sumber daya.

C. Kandungan Hara Makro dan Mikro

Unsur hara dalam pupuk anorganik diklasifikasikan ke dalam dua kelompok utama, yaitu hara makro dan hara mikro, yang keduanya memiliki peran penting dalam mendukung siklus hidup dan produktivitas tanaman. Hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) dibutuhkan dalam jumlah besar karena berperan langsung dalam pembentukan jaringan tanaman, proses fotosintesis, serta pembelahan dan pemanjangan sel. Sementara itu, hara mikro seperti seng (Zn), besi (Fe), tembaga (Cu), dan boron (B), meskipun diperlukan dalam jumlah yang jauh lebih kecil, tetap memiliki fungsi yang vital dan tidak bisa digantikan, seperti membantu aktivitas enzim, pembentukan klorofil, dan pengaturan hormon tumbuhan. Ketidakseimbangan atau kekurangan salah satu jenis hara ini, baik makro maupun mikro, dapat mengganggu pertumbuhan tanaman secara keseluruhan.

1. Hara Makro

Unsur hara makro merupakan nutrisi utama yang sangat dibutuhkan tanaman sepanjang siklus hidupnya. Kekurangan salah satu unsur ini dapat menghambat pertumbuhan atau menurunkan hasil panen secara drastis. Berikut adalah unsur-unsur utama dalam kelompok hara makro:

a. Nitrogen (N):

Nitrogen adalah unsur utama dalam pembentukan klorofil zat hijau daun yang esensial dalam proses fotosintesis. Selain itu, nitrogen berperan penting dalam sintesis protein dan berbagai enzim yang mengatur metabolisme tanaman. Unsur ini sangat menentukan pertumbuhan vegetatif seperti pembentukan daun dan batang yang sehat dan lebat.

Diana et al. (2021) menyebutkan bahwa pemupukan nitrogen yang tepat terbukti mampu meningkatkan pertumbuhan tajuk tanaman, terutama pada fase awal. Namun, kelebihan nitrogen justru dapat menyebabkan tanaman tumbuh terlalu rimbun dan mudah rebah (*lodging*), serta rentan terhadap serangan hama.

b. Fosfor (P):

Fosfor memiliki peran utama dalam proses transfer energi (ATP), yang penting bagi aktivitas seluler tanaman. Unsur ini juga mendukung pertumbuhan akar yang kuat dan mempercepat pematangan bunga dan buah.

Hartatik et al. (2015) menggarisbawahi bahwa pemberian fosfor sangat penting pada awal pertumbuhan untuk mempercepat perkembangan sistem perakaran.

Tanpa pasokan fosfor yang cukup, tanaman akan lambat berkembang dan cenderung berbunga lebih sedikit.

c. Kalium (K):

Kalium berperan dalam regulasi fungsi fisiologis tanaman seperti pengaturan bukaan stomata, yang memengaruhi penguapan air dan penyerapan karbon dioksida. Selain itu, kalium mendukung transportasi air dan nutrisi serta meningkatkan toleransi tanaman terhadap cekaman biotik (penyakit) dan abiotik (cuaca ekstrem, kekeringan, salinitas).

Menurut Istina (2016), pemupukan kalium secara seimbang dapat meningkatkan kualitas hasil panen, seperti ukuran dan ketahanan buah, serta memperpanjang masa simpan produk hortikultura.

d. Magnesium (Mg):

Magnesium merupakan inti dari struktur molekul klorofil dan berfungsi sebagai kofaktor dalam berbagai proses enzimatik tanaman. Unsur ini sangat penting dalam reaksi fotosintesis dan metabolisme energi.

Rika (2022) mencatat bahwa kekurangan magnesium dapat menyebabkan daun mengalami klorosis (menguning), terutama pada daun tua, karena terganggunya sintesis klorofil.

e. Sulfur (S):

Sulfur dibutuhkan untuk pembentukan asam amino esensial seperti metionin dan sistin, serta berperan dalam produksi vitamin dan senyawa aroma pada tanaman tertentu. Selain itu, sulfur juga berperan dalam

meningkatkan mutu hasil panen, termasuk aroma dan rasa.

Kekurangan sulfur dapat mengganggu pembentukan protein dan menyebabkan pertumbuhan kerdil serta warna daun yang pucat.

Rika (2022) menegaskan bahwa ketidakseimbangan asupan hara makro, baik karena kekurangan maupun kelebihan, dapat menyebabkan berbagai gangguan fisiologis pada tanaman. Misalnya, klorosis, penurunan laju fotosintesis, hingga kegagalan pembungaan dan pembuahan. Oleh karena itu, formulasi pupuk anorganik modern umumnya dirancang untuk memasukkan unsur-unsur makro ini dalam komposisi yang proporsional, disesuaikan dengan kebutuhan tanaman dan kondisi tanah di lokasi budidaya.

2. Hara Mikro

Unsur hara mikro dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang sangat kecil biasanya hanya dalam satuan mikrogram hingga miligram per liter tanah. Meski demikian, fungsinya sangat penting dan bersifat esensial bagi berbagai proses metabolisme, enzimatik, serta pembentukan jaringan tanaman. Tanpa keberadaan unsur mikro yang seimbang, tanaman tetap dapat menunjukkan gejala defisiensi yang serius meskipun unsur hara makronya tercukupi.

Berikut adalah beberapa unsur mikro penting yang sering terkandung dalam pupuk anorganik:

a. Zinc (Zn):

Zinc berperan dalam sintesis protein dan hormon pertumbuhan seperti auksin, yang mengatur pemanjangan sel dan perkembangan organ tanaman.

Unsur ini juga penting dalam pembentukan enzim yang mengatur metabolisme nitrogen dan karbohidrat.

Kekurangan zinc umumnya ditandai dengan gejala daun kecil yang memucat (klorosis antar tulang daun), pertumbuhan kerdil, dan keterlambatan dalam pembentukan bunga atau buah. Oleh karena itu, zinc sering ditambahkan dalam formulasi pupuk daun atau pupuk NPK mikro untuk meningkatkan efisiensi pertumbuhan tanaman pada tanah yang miskin unsur ini.

b. Boron (B):

Boron berfungsi dalam membantu transportasi gula dari daun ke bagian tanaman lain seperti akar, bunga, dan buah. Ia juga berperan dalam proses pembelahan sel dan pembentukan dinding sel baru.

Tanpa pasokan boron yang cukup, tanaman dapat mengalami kelainan pada pertumbuhan meristem (titik tumbuh), bunga mudah gugur, buah tidak berkembang sempurna, dan jaringan menjadi rapuh. Hal ini sangat berdampak pada kualitas hasil panen, terutama pada tanaman hortikultura dan buah-buahan.

c. Mangan (Mn):

Mangan berfungsi sebagai aktivator enzim dalam berbagai reaksi biokimia, termasuk dalam proses fotosintesis dan respirasi tanaman. Unsur ini juga terlibat dalam pembentukan lignin, yaitu komponen struktural pada dinding sel tanaman.

Defisiensi mangan sering kali menyebabkan bercak-bercak klorosis antar tulang daun yang membentuk pola khas, serta mengurangi aktivitas

fotosintesis. Oleh karena itu, mangan menjadi penting untuk memastikan efisiensi fisiologis tanaman tetap optimal.

d. Tembaga (Cu), Besi (Fe), dan Molibdenum (Mo):

- **Tembaga (Cu):** Terlibat dalam proses respirasi sel dan pembentukan lignin. Kekurangannya dapat menyebabkan tanaman mudah layu, bunga steril, dan batang menjadi lemah.
- **Besi (Fe):** Penting dalam pembentukan pigmen seperti klorofil dan dalam sistem enzim yang menangani transfer elektron selama fotosintesis. Tanaman yang kekurangan zat besi biasanya menunjukkan gejala klorosis pada daun muda terlebih dahulu.
- **Molibdenum (Mo):** Diperlukan untuk fiksasi nitrogen dan aktivitas enzim reduktase nitrat. Kekurangan unsur ini menyebabkan akumulasi nitrat dalam jaringan tanaman dan mengganggu sintesis protein.

Studi oleh Rika (2022) menegaskan bahwa meskipun unsur makro sudah tercukupi, tanaman tetap dapat menunjukkan pertumbuhan tidak normal jika unsur mikro tidak tersedia dalam jumlah cukup. Kondisi ini dikenal sebagai "defisiensi tersembunyi," karena gejalanya tidak selalu langsung terlihat namun berdampak besar pada hasil akhir.

Dalam praktik pertanian modern, terutama pada sistem pertanian presisi, pupuk anorganik dengan kandungan unsur mikro mulai banyak digunakan untuk mengatasi gejala defisiensi kronis di lahan marginal. Tanah seperti gambut,

tanah masam, dan tanah salin cenderung miskin unsur mikro karena faktor kimia tanah yang menghambat ketersediaan hara. Oleh sebab itu, Sulaeman & Erfandi (2017) menekankan pentingnya strategi pemupukan yang memperhatikan unsur mikro sebagai bagian dari pendekatan berkelanjutan.

D. Cara Produksi Pupuk Anorganik

Proses produksi pupuk anorganik dilakukan dalam skala industri besar dan melibatkan serangkaian tahapan kimia yang kompleks. Proses tersebut meliputi reaksi kimia (seperti reaksi asam-basa), pelarutan, pemisahan, pengeringan, dan penggranulan, untuk menghasilkan pupuk dengan kandungan hara yang tinggi, bentuk fisik yang seragam, serta kualitas yang terstandar.

Berikut adalah penjabaran cara produksi berdasarkan jenis pupuknya:

Tabel 3. 1 Ringkasan Jenis dan Cara Produksi Pupuk Anorganik

Jenis Pupuk	Bahan Baku	Cara Produksi Singkat
Urea (N)	Gas alam & udara	Sintesis amonia (Haber–Bosch) → reaksi jadi urea
TSP/DAP (P)	Batuan fosfat & asam	Reaksi kimia menghasilkan pupuk fosfat larut
KCl/K₂SO₄ (K)	Garam mineral (potash)	Ditambang → dimurnikan → dikristalisasi
NPK	Campuran Urea, TSP/DAP, KCl	Dicampur & digranulasi secara kimia/fisik
Slow Release	Urea/NPK + pelapis	Dilapisi resin/polimer → unsur hara dilepas lambat

1. Pupuk Nitrogen

Pupuk nitrogen, seperti urea, diproduksi melalui sintesis amonia (NH_3) dari gas alam (metana/ CH_4) dan nitrogen (N_2) dari udara. Proses ini dikenal sebagai proses Bosch–Haber, yaitu reaksi eksotermik pada tekanan tinggi dan suhu tinggi, menghasilkan NH_3 . Kemudian, amonia direaksikan dengan karbon dioksida (CO_2) membentuk urea [$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$].

Proses ini menjadi landasan utama produksi pupuk nitrogen secara global. Menurut Curtis (1923), teknologi ini awalnya dikembangkan sebagai bentuk konversi industri amunisi pasca-Perang Dunia menjadi industri pupuk untuk mendukung pertanian. Saat ini, proses ini merupakan salah satu yang paling efisien dan dominan digunakan secara global, karena mampu menghasilkan urea dalam jumlah besar dan kualitas tinggi.

2. Pupuk Fosfat

Pupuk fosfat seperti Triple Superphosphate (TSP) atau Diammonium Phosphate (DAP) diproduksi dari reaksi kimia antara batuan fosfat (phosphate rock) dengan asam fosfat (H_3PO_4) atau asam sulfat (H_2SO_4). Proses ini menghasilkan bahan padat yang kaya akan fosfor dan mudah diserap oleh tanaman.

Proses pemurnian fosfat harus memperhatikan kandungan kontaminan seperti logam berat (Cd, Pb, Hg) agar tidak membahayakan tanaman, tanah, atau konsumen hasil pertanian. Hal ini sesuai dengan penjelasan Dittmar et al. (2000) yang menekankan bahwa fosfat untuk pertanian pangan harus melalui tahap pemurnian yang ketat agar aman bagi ekosistem.

3. Pupuk Kalium

Sumber utama pupuk kalium adalah garam mineral seperti kalium klorida (KCl) dan kalium sulfat (K_2SO_4), yang diperoleh dari penambangan garam bawah tanah (potash) atau air asin dari danau garam. Proses produksinya melibatkan tahap ekstraksi, kristalisasi, dan pemurnian sebelum diproses menjadi bentuk granul.

Menurut Brand (1945), ketergantungan dunia terhadap pasokan kalium sangat dipengaruhi oleh kondisi geopolitik dan kontrol terhadap sumber daya tambang, mengingat hanya beberapa negara seperti Kanada, Rusia, dan Jerman yang memiliki cadangan potash dalam jumlah besar. Oleh karena itu, ketahanan pasokan pupuk kalium memiliki dimensi strategis dan ekonomi yang penting.

4. Pupuk Majemuk (NPK)

Produksi pupuk majemuk dilakukan dengan mencampurkan urea (N), TSP atau DAP (P), dan KCl (K) melalui proses kimia dan fisik yang cermat agar unsur hara terdistribusi merata di setiap butiran. Dua metode yang umum digunakan adalah:

- **Metode pencampuran kimia:** Di mana senyawa-senyawa direaksikan dalam reaktor, lalu diproses dalam rotary drum granulator.
- **Metode granulasi fisik:** Campuran bahan kering digranulasi langsung lalu dikeringkan menggunakan fluidized bed dryer.

Menurut Dittmar et al. (2000), formulasi NPK dapat dikustomisasi sesuai kebutuhan lokal dan jenis tanaman, misalnya NPK 15-15-15 untuk pertumbuhan umum, atau 12-6-

20 untuk tanaman buah. Hal ini menjadikan pupuk majemuk sebagai solusi praktis dan efisien di berbagai sektor pertanian.

5. Teknologi Pupuk Slow Release dan Controlled Release

Pupuk jenis ini dirancang untuk melepaskan unsur hara secara bertahap, menyesuaikan dengan kebutuhan tanaman dari waktu ke waktu. Teknologi ini memanfaatkan pelapis polimer, resin, atau bahan organik untuk mengontrol kecepatan larut pupuk di dalam tanah. Beberapa formula juga melibatkan bahan penstabil nitrogen untuk mengurangi kehilangan melalui volatilisasi.

Inovasi ini merupakan bagian dari konsep smart fertilizing, yang bertujuan meningkatkan efisiensi nutrisi sekaligus mengurangi pencemaran lingkungan akibat pencucian dan limpasan. Rachmawati (2020) dan Iqbal (2024) menegaskan bahwa pupuk berbasis controlled release sangat sesuai untuk lahan dengan curah hujan tinggi atau untuk tanaman bernilai tinggi seperti hortikultura dan perkebunan.

Proses produksi pupuk anorganik memerlukan teknologi canggih, energi dalam jumlah besar, serta infrastruktur industri yang kompleks. Oleh karena itu, fluktuasi harga energi (terutama gas alam) dan bahan baku global sangat mempengaruhi harga pupuk di pasaran. Kondisi ini berdampak langsung pada petani, khususnya di negara berkembang. Hal inilah yang menjadi salah satu dasar pentingnya diversifikasi sumber pupuk serta efisiensi penggunaan pupuk dalam sistem pertanian berkelanjutan.

E. Keunggulan dan Risiko Penggunaan Pupuk Anorganik

Keunggulan Pupuk Anorganik:

1. Reaksi Cepat dan Efisiensi Tinggi:

Pupuk anorganik memiliki keunggulan utama berupa kelarutan yang tinggi, sehingga unsur haranya tersedia dengan segera setelah diaplikasikan ke tanah atau disemprotkan ke daun. Respons tanaman terhadap aplikasi pupuk ini umumnya sangat cepat terlihat, terutama dalam fase pertumbuhan kritis seperti awal vegetatif atau menjelang pembentukan bunga dan buah.

Menurut Diana et al. (2021), pemupukan nitrogen yang dilakukan secara tepat pada varietas padi tertentu menunjukkan peningkatan pertumbuhan dan perkembangan yang signifikan hanya dalam waktu singkat. Hal ini menjadikan pupuk anorganik sangat efektif untuk mengejar ketertinggalan nutrisi tanaman atau untuk mempercepat fase perkembangan tertentu dalam budidaya intensif.

2. Formulasi Spesifik:

Salah satu keunggulan lain dari pupuk anorganik adalah kemampuannya untuk diformulasikan sesuai dengan kebutuhan spesifik tanaman, jenis tanah, serta fase pertumbuhan. Formulasi seperti NPK 16-16-16, 15-10-10, atau 12-6-22 dibuat untuk memberikan keseimbangan unsur hara sesuai kebutuhan tanaman pada saat tertentu.

Hal ini memungkinkan petani memilih pupuk berdasarkan kondisi spesifik lahan dan jenis tanaman

yang dibudidayakan, tanpa perlu mencampur pupuk secara manual. Rahmatika (2013) menyebutkan bahwa formulasi ini sangat umum digunakan dalam pertanian intensif karena membantu meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan menurunkan risiko over-fertilization (pemupukan berlebihan).

3. Kemudahan dalam Aplikasi dan Distribusi:

Bentuk fisik pupuk anorganik yang homogen, seperti dalam bentuk granul, butiran halus (prill), atau serbuk, membuatnya mudah disebarkan secara merata di permukaan tanah atau larut dalam air untuk aplikasi irigasi dan semprot daun. Homogenitas ini tidak hanya membantu meningkatkan efisiensi serapan tanaman, tetapi juga mengurangi kebutuhan tenaga kerja dalam proses aplikasi.

Dengan alat penyebar modern maupun manual, pupuk anorganik dapat diaplikasikan dengan kecepatan dan presisi tinggi, menjadikannya pilihan utama dalam skala pertanian besar maupun menengah.

4. Mendukung Produktivitas Tinggi:

Dalam sistem pertanian modern dan intensif, pupuk anorganik menjadi tulang punggung untuk mencapai produktivitas tinggi. Unsur hara yang tersedia dalam konsentrasi tinggi dan cepat serap menjadikannya sangat efektif dalam mendukung pembentukan biomassa tanaman dan hasil panen.

Keunggulan ini sangat penting untuk menjawab tantangan kebutuhan pangan yang terus meningkat, baik di tingkat nasional maupun global. Dengan ketersediaan

nutrisi yang terukur dan konsisten, pupuk anorganik mendukung pertanian dalam mencapai target hasil panen yang optimal, khususnya pada komoditas strategis seperti padi, jagung, dan kedelai.

Risiko dan Dampak Negatif Penggunaan Pupuk Anorganik

1. Penurunan Kualitas Tanah:

Salah satu dampak negatif paling nyata dari penggunaan pupuk anorganik secara berlebihan adalah menurunnya kualitas tanah, terutama terkait dengan keseimbangan kimia dan kehidupan mikroba tanah. Penggunaan pupuk nitrogen dalam jumlah tinggi secara terus-menerus dapat menyebabkan tanah menjadi masam (pH turun), mengganggu keseimbangan unsur hara lain seperti kalsium dan magnesium, serta berdampak negatif terhadap populasi mikroorganisme yang berperan dalam dekomposisi bahan organik dan siklus hara alami.

Whalen et al. (2000) menyatakan bahwa penurunan aktivitas mikroorganisme tanah akibat akumulasi pupuk kimia dapat memperburuk struktur dan produktivitas tanah jangka panjang. Sementara itu, penelitian oleh Sulaeman & Erfandi (2017) memperkuat temuan tersebut, khususnya pada lahan kering masam di mana pemupukan kimia secara tunggal terbukti memperparah degradasi sifat kimia tanah, seperti menurunnya kapasitas tukar kation dan daya simpan air.

2. Pencemaran Lingkungan:

Pupuk anorganik yang tidak seluruhnya diserap oleh tanaman berpotensi terangkut oleh air hujan atau irigasi

berlebihan menuju perairan permukaan dan air tanah. Proses pencucian ini dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, terutama dalam bentuk eutrofikasi di sungai, danau, atau waduk. Eutrofikasi ditandai dengan pertumbuhan alga secara berlebihan yang menguras oksigen terlarut dan menyebabkan kematian organisme air lainnya seperti ikan.

Fikri (2014) menekankan bahwa praktik pemupukan kimia yang tidak terkendali berperan besar dalam menurunnya kualitas air tanah di kawasan pertanian. Akumulasi nitrat dan fosfat dalam air minum bahkan dapat berdampak buruk bagi kesehatan manusia, terutama pada anak-anak dan ibu hamil, yang berisiko mengalami gangguan metabolik akibat kadar nitrat tinggi.

3. Ketergantungan Eksternal dan Biaya Tinggi:

Karena pupuk anorganik diproduksi melalui proses industri berbasis energi fosil dan bahan baku mineral, petani menjadi sangat bergantung pada produsen dan distribusi pasar. Ketika terjadi fluktuasi harga global atau gangguan rantai pasok, seperti krisis energi atau konflik geopolitik, harga pupuk bisa melonjak tajam dan mengganggu keberlanjutan usaha tani, terutama bagi petani kecil.

Anggara et al. (2024) mencatat bahwa ketergantungan terhadap pupuk anorganik telah menjadi salah satu faktor penyebab ketidakstabilan ekonomi petani skala kecil, karena biaya produksi meningkat drastis saat harga pupuk naik, sementara harga jual hasil panen belum tentu ikut naik secara proporsional.

4. Gangguan pada Struktur Tanah:

Tanah yang diberi pupuk anorganik secara terus-menerus tanpa tambahan bahan organik akan mengalami degradasi struktur fisik. Tanah menjadi lebih padat (kompaksi), pori-porinya berkurang, dan aktivitas biota tanah seperti cacing dan mikroba menurun drastis. Akibatnya, kemampuan tanah dalam menyimpan air dan udara berkurang, serta daya dukungnya terhadap pertumbuhan akar melemah.

Menurut Roidah (2013), kondisi seperti ini menyebabkan kesuburan tanah menurun secara kronis, yang ditandai dengan produktivitas tanaman yang terus menurun meskipun dosis pupuk ditingkatkan. Oleh karena itu, pemupukan anorganik yang tidak diimbangi dengan pengayaan bahan organik akan berdampak jangka panjang terhadap kesehatan tanah.

BAB 4

DAMPAK PENGGUNAAN PUPUK TERHADAP LINGKUNGAN

A. Dampak Positif bagi Tanah dan Tanaman

Pupuk, baik yang berasal dari bahan organik maupun anorganik, pada dasarnya dirancang untuk mendukung peningkatan produktivitas dalam sektor pertanian, khususnya pada tanah dan tanaman. Tujuan utama dari penggunaan pupuk adalah untuk menciptakan kondisi tanah yang lebih subur dan memberikan pasokan unsur hara yang mencukupi bagi tanaman agar dapat tumbuh secara optimal.

Jika diaplikasikan secara bijak dan sesuai dosis yang dianjurkan, pupuk mampu memberikan berbagai manfaat yang tidak hanya bersifat agronomis tetapi juga berdampak positif secara ekologis dan sosial. Dalam jangka panjang, penerapan pupuk yang tepat dapat meningkatkan hasil panen, menjaga keseimbangan lingkungan, serta menunjang kesejahteraan petani.

1. Memperbaiki Kesuburan Tanah

Salah satu kontribusi utama dari pupuk organik adalah kemampuannya dalam memperbaiki struktur dan kualitas tanah. Pupuk jenis ini diketahui sangat efektif dalam memperbaiki sifat fisik tanah, seperti meningkatkan porositas

dan memperkuat struktur agregat tanah. Dengan demikian, akar tanaman dapat tumbuh lebih leluasa dan menyerap nutrisi secara lebih efisien.

Selain memperbaiki sifat fisik, pupuk organik juga berperan penting dalam memperbaiki sifat kimia tanah. Salah satunya adalah peningkatan kapasitas tukar kation (KTK), yaitu kemampuan tanah untuk menahan dan menyediakan unsur hara bagi tanaman. Tanah dengan KTK yang baik akan lebih mampu menyimpan nutrisi penting dan mencegah kehilangan unsur hara akibat pencucian.

Dalam konteks sifat biologi tanah, pupuk organik turut membantu memperkaya populasi mikroorganisme yang berperan penting dalam proses dekomposisi bahan organik dan daur ulang unsur hara. Kehadiran mikroorganisme tanah yang aktif menjadikan ekosistem tanah lebih hidup dan mendukung pertumbuhan tanaman secara alami.

Hartatik et al. (2015) menegaskan bahwa penggunaan pupuk organik secara konsisten mampu meningkatkan kesuburan tanah dalam jangka panjang. Hal ini berkaitan dengan meningkatnya ketersediaan hara makro dan mikro, berkembangnya sistem perakaran yang sehat, serta meningkatnya kapasitas tanah dalam menyimpan air dan udara, yang semuanya berperan penting dalam menunjang pertumbuhan tanaman.

Pemanfaatan pupuk organik dan anorganik yang dilakukan secara terpadu dan berimbang bukan hanya memberikan hasil yang optimal dari sisi produksi, tetapi juga memberikan kontribusi positif terhadap keberlanjutan ekosistem pertanian. Praktik ini menjadi fondasi penting dalam

mewujudkan pertanian yang produktif sekaligus ramah lingkungan, sesuai dengan prinsip pertanian berkelanjutan.

Demikian pula, penggunaan kompos dan biofertilizer berbasis mikroorganisme lokal telah terbukti memberikan dampak yang sangat positif bagi kehidupan mikroba tanah. Dalam sistem pertanian konvensional, penggunaan pupuk kimia secara berlebihan sering kali menyebabkan penurunan aktivitas mikroba tanah. Mikroorganisme yang seharusnya berperan penting dalam proses dekomposisi bahan organik dan siklus hara menjadi tertekan oleh akumulasi residu kimia yang merusak habitatnya. Kondisi ini menyebabkan tanah menjadi kurang hidup dan kehilangan sebagian besar fungsi biologis alaminya.

Namun, dengan mengembalikan praktik pertanian berbasis bahan organik seperti kompos dan biofertilizer, kehidupan mikroba tanah dapat diaktifkan kembali secara bertahap. Kompos yang berasal dari limbah pertanian dan rumah tangga menyediakan sumber energi dan nutrisi yang dibutuhkan oleh mikroorganisme tanah untuk berkembang. Sementara itu, biofertilizer yang dirancang menggunakan mikroorganisme lokal membawa populasi mikroba bermanfaat ke dalam tanah, sekaligus memulihkan keseimbangan mikrobiologis yang sebelumnya terganggu.

Studi yang dilakukan oleh Anggraini et al. (2022) menunjukkan bahwa biofertilizer yang dikembangkan dari limbah organik tidak hanya menghidupkan kembali mikroorganisme tanah, tetapi juga memberikan dampak langsung pada pertumbuhan tanaman. Dalam hasil penelitiannya, disebutkan bahwa aplikasi biofertilizer secara signifikan mempercepat pertumbuhan akar tanaman. Sistem

perakaran yang kuat ini sangat penting untuk penyerapan air dan hara secara maksimal, serta membentuk fondasi tanaman yang sehat dan produktif.

Biofertilizer juga terbukti meningkatkan ketahanan tanaman terhadap berbagai jenis cekaman lingkungan, seperti kekeringan, serangan patogen, maupun perubahan suhu ekstrem. Mikroorganisme yang terkandung dalam biofertilizer membantu membentuk simbiosis dengan akar tanaman, memperkuat sistem imun tanaman secara alami, serta meningkatkan efisiensi penggunaan unsur hara di dalam tanah. Oleh karena itu, pemanfaatan kompos dan biofertilizer bukan hanya sebagai alternatif pupuk, tetapi juga sebagai agen pemulihan ekosistem tanah yang rusak akibat praktik pertanian intensif.

Dengan pendekatan ini, penggunaan biofertilizer dan kompos berbasis mikroorganisme lokal dapat dianggap sebagai salah satu strategi penting dalam menciptakan sistem pertanian yang berkelanjutan. Tidak hanya meningkatkan hasil pertanian, tetapi juga memulihkan kesehatan tanah secara menyeluruh dan menjaga stabilitas lingkungan dalam jangka panjang.

2. Meningkatkan Produktivitas Tanaman

Pupuk anorganik memiliki keunggulan utama dalam hal kandungan unsur hara yang tinggi dan ketersediaan yang cepat bagi tanaman. Karakteristik ini menjadikannya sangat efektif dalam meningkatkan produktivitas pertanian, khususnya dalam jangka pendek. Berbeda dengan pupuk organik yang bekerja secara bertahap, pupuk anorganik dapat memberikan respons langsung terhadap kebutuhan nutrisi tanaman, terutama pada masa-masa kritis dalam siklus pertumbuhan.

Kecepatan reaksi ini menjadikan pupuk anorganik sebagai pilihan utama dalam praktik pertanian intensif, di mana ketepatan waktu dalam pemenuhan hara sangat menentukan hasil panen. Pupuk jenis ini mengandung unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) dalam bentuk yang mudah larut, sehingga tanaman dapat menyerapnya dengan cepat dan langsung memanfaatkannya untuk proses metabolisme dan pertumbuhan.

Dalam studi yang dilakukan oleh Diana et al. (2021), penggunaan pupuk NPK menunjukkan hasil yang signifikan dalam meningkatkan berbagai parameter pertumbuhan tanaman padi, khususnya pada varietas Inpari 29. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa aplikasi pupuk NPK mampu meningkatkan tinggi tanaman, memperbanyak jumlah anakan produktif, serta menambah berat gabah panen. Ketiga indikator ini merupakan komponen penting dalam menentukan keberhasilan budidaya padi secara kuantitatif.

Keunggulan pupuk anorganik dalam mempercepat laju pertumbuhan tanaman sangat dibutuhkan terutama pada tahap-tahap pertumbuhan awal, ketika tanaman memerlukan pasokan hara dalam jumlah besar dan dalam waktu singkat. Pada fase ini, ketepatan dalam pemberian pupuk dapat mencegah terjadinya stres nutrisi, sehingga tanaman dapat tumbuh optimal dan tidak mengalami keterlambatan perkembangan.

Meskipun demikian, penggunaan pupuk anorganik tetap harus dilakukan dengan bijak dan disesuaikan dengan kebutuhan spesifik tanaman serta kondisi tanah. Aplikasi yang berlebihan tidak hanya menimbulkan pemborosan, tetapi juga dapat menyebabkan degradasi lingkungan, seperti pencemaran

air tanah dan penurunan kualitas tanah dalam jangka panjang. Oleh karena itu, integrasi antara pupuk anorganik dan organik tetap diperlukan untuk menjaga keberlanjutan sistem pertanian.

Sementara itu, pupuk organik memainkan peran yang sangat penting dalam menjaga keberlanjutan sistem pertanian, terutama dalam jangka panjang. Berbeda dengan pupuk anorganik yang cenderung memberikan respons cepat namun sesaat, pupuk organik bekerja secara perlahan namun berdampak mendalam terhadap kesehatan tanah. Dengan cara ini, pupuk organik membantu membangun fondasi yang kuat untuk produktivitas pertanian yang berkelanjutan lintas musim.

Pupuk organik memperkaya tanah dengan bahan organik dan senyawa humat yang berasal dari dekomposisi alami limbah tanaman, hewan, maupun limbah rumah tangga. Kandungan ini berfungsi sebagai sumber makanan bagi mikroorganisme tanah, yang pada gilirannya membantu mendaur ulang unsur hara secara efisien dan meningkatkan aktivitas biologis tanah. Tanah yang hidup dan aktif secara biologis akan lebih stabil dari segi struktur, mampu menyimpan air dan udara dengan baik, serta memiliki daya dukung lebih tinggi terhadap pertumbuhan akar tanaman.

Manfaat lain dari pupuk organik adalah kemampuannya dalam memperbaiki struktur tanah, terutama tanah-tanah marginal yang miskin bahan organik. Dengan aplikasi rutin, pupuk organik dapat meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK), memperbaiki agregat tanah, dan mengurangi risiko erosi. Hal ini menjadikan tanah lebih subur dan mampu menopang produktivitas tanaman secara berkelanjutan, bahkan di musim-musim tanam berikutnya.

Studi yang dilakukan oleh Simanungkalit et al. (2006) menunjukkan bahwa penggunaan kombinasi antara pupuk organik dan pupuk hayati memberikan hasil yang optimal. Kombinasi ini terbukti tidak hanya memperbaiki kesuburan tanah, tetapi juga secara langsung meningkatkan hasil panen. Pupuk hayati yang mengandung mikroorganisme fungsional seperti bakteri pelarut fosfat atau *Rhizobium* berperan aktif dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara di dalam tanah. Ketika dikombinasikan dengan pupuk organik, hasilnya menjadi sinergis: tanah menjadi lebih sehat, dan tanaman mendapatkan nutrisi yang cukup serta seimbang.

Dengan demikian, pendekatan integratif yang memadukan pupuk organik dan hayati merupakan strategi efektif untuk membangun sistem pertanian yang produktif sekaligus lestari. Praktik ini tidak hanya mengutamakan hasil panen dalam jangka pendek, tetapi juga memelihara kondisi tanah agar tetap subur dan produktif dalam jangka panjang.

3. Mengembalikan Kehidupan Tanah

Salah satu tantangan besar dalam sistem pertanian modern adalah degradasi biologis tanah akibat penggunaan bahan kimia secara berlebihan dan terus-menerus. Penggunaan input sintetis seperti pupuk anorganik dan pestisida dalam jangka panjang dapat menyebabkan berkurangnya populasi mikroorganisme tanah, menurunnya aktivitas biologis, serta melemahnya struktur tanah secara alami. Tanah yang mengalami kondisi ini sering kali disebut “mati secara biologis” karena kehilangan kemampuan alaminya untuk mendukung kehidupan mikroba dan organisme tanah lainnya.

Namun, kondisi ini tidak bersifat permanen. Tanah yang rusak akibat tekanan kimia berlebih masih dapat dipulihkan

melalui pendekatan berbasis ekologi, salah satunya dengan mengembalikan input bahan organik ke dalam sistem pertanian. Aplikasi bahan organik, seperti pupuk kandang, kompos, maupun limbah organik lainnya, terbukti mampu memperbaiki kondisi biologis tanah secara bertahap dan berkelanjutan. Bahan-bahan ini menjadi sumber energi dan nutrisi utama bagi mikroorganisme tanah yang selama ini tertekan atau bahkan punah karena paparan bahan kimia.

Roidah (2013) menegaskan pentingnya penggunaan pupuk organik dalam memulihkan kehidupan tanah. Dalam penelitiannya, ia menunjukkan bahwa aplikasi pupuk organik seperti pupuk kandang dan kompos dapat mengaktifkan kembali berbagai organisme tanah yang berperan penting dalam kesuburan lahan. Di antaranya adalah cacing tanah yang membantu menggemburkan dan mengaerasi tanah, serta mikroba pelarut fosfat dan mikroorganisme pengikat nitrogen yang menyediakan unsur hara penting bagi tanaman secara alami dan berkelanjutan.

Kehadiran organisme-organisme ini tidak hanya menunjang proses biogeokimia, tetapi juga menciptakan lingkungan tanah yang lebih stabil dan resilien terhadap gangguan eksternal. Cacing tanah, misalnya, meningkatkan infiltrasi air dan mempercepat proses dekomposisi bahan organik, sementara mikroba pelarut fosfat membantu melepaskan fosfor yang terikat dalam bentuk tidak tersedia menjadi bentuk yang dapat diserap tanaman. Mikroorganisme pengikat nitrogen, terutama yang bersimbiosis dengan akar tanaman, turut menyediakan nitrogen yang sangat dibutuhkan dalam pertumbuhan vegetatif tanaman.

Mengembalikan kehidupan tanah melalui pupuk organik bukan hanya soal memperbaiki hasil panen, tetapi juga tentang

membangun kembali fondasi ekologis tanah yang sehat. Proses ini mendukung keberlangsungan pertanian dalam jangka panjang dan mengurangi ketergantungan terhadap input kimia sintesis.

B. Dampak Negatif: Pencemaran, Erosi, dan Penurunan Kualitas Tanah

Di balik berbagai manfaatnya, penggunaan pupuk dalam praktik pertanian juga membawa risiko negatif yang tidak dapat diabaikan, terutama jika penggunaannya dilakukan secara berlebihan, tidak tepat dosis, atau tidak sesuai kebutuhan spesifik lahan dan tanaman. Hal ini terutama berlaku pada pupuk anorganik, yang meskipun efektif dalam meningkatkan produktivitas pertanian, dapat memberikan dampak lingkungan yang serius jika tidak dikelola dengan bijak.

Dampak negatif tersebut bersifat sistemik dan luas, mencakup pencemaran lingkungan, percepatan erosi tanah, penurunan kualitas tanah secara kimia dan biologis, serta gangguan terhadap ekosistem perairan dan keanekaragaman hayati. Bahkan dalam jangka panjang, praktik pemupukan yang tidak terkendali juga dapat merugikan kesehatan manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung.

1. Pencemaran Air Tanah dan Permukaan

Salah satu dampak yang paling sering terjadi akibat penggunaan pupuk anorganik yang berlebihan adalah pencemaran air tanah dan air permukaan. Pupuk nitrogen, seperti urea dan ammonium nitrat, dikenal memiliki sifat yang sangat larut dalam air. Ketika diaplikasikan dalam jumlah yang melebihi kebutuhan tanaman, sisa pupuk ini tidak diserap oleh

akar dan akan tercuci oleh air hujan atau irigasi menuju lapisan tanah yang lebih dalam, hingga akhirnya mencemari air tanah.

Fenomena ini disebut sebagai *leaching* atau pelindian, yang sangat berbahaya karena membawa unsur hara, terutama nitrat (NO_3^-), ke dalam akuifer dan badan air permukaan seperti sungai dan danau. Fikri (2014) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa peningkatan kadar nitrat dalam air tanah di wilayah Rawa Rasau Jaya secara nyata berkorelasi dengan akumulasi residu pupuk anorganik. Kondisi ini disebabkan oleh penggunaan pupuk yang tidak terkendali, tanpa mempertimbangkan daya serap tanah dan kebutuhan aktual tanaman.

Kandungan nitrat yang tinggi dalam air tanah, jika masuk ke dalam sistem air minum, dapat membawa konsekuensi kesehatan yang serius. Salah satu kasus yang paling dikenal adalah terjadinya *methemoglobinemia*, atau yang dikenal luas dengan sebutan *blue baby syndrome*. Penyakit ini menyerang bayi dan balita, di mana nitrat dalam tubuh diubah menjadi nitrit, yang kemudian mengganggu kemampuan darah dalam mengikat oksigen. Akibatnya, jaringan tubuh kekurangan oksigen, yang ditandai dengan perubahan warna kulit menjadi kebiruan dan, dalam kasus ekstrem, dapat menyebabkan kematian.

Pencemaran nitrat juga berkontribusi terhadap proses eutrofikasi di perairan, yaitu ledakan pertumbuhan alga yang menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut. Kondisi ini berdampak pada matinya organisme air seperti ikan dan plankton, serta menurunkan kualitas air secara keseluruhan. Oleh karena itu, meskipun pupuk anorganik membawa manfaat agronomis, penggunaannya harus dikendalikan agar tidak menciptakan masalah ekologis yang lebih besar.

Dalam konteks pertanian berkelanjutan, penting bagi petani dan pemangku kepentingan lainnya untuk mengadopsi pendekatan pemupukan yang lebih bijak dan ramah lingkungan. Salah satunya adalah dengan menerapkan prinsip 4T (tepat jenis, tepat dosis, tepat waktu, dan tepat cara), serta mengombinasikan pupuk anorganik dengan bahan organik agar keseimbangan nutrisi dan kesehatan tanah tetap terjaga.

Selain pencemaran akibat pupuk nitrogen, limbah dari pupuk fosfat juga memberikan dampak serius terhadap lingkungan perairan. Salah satu dampak yang paling nyata adalah kontribusinya terhadap proses eutrofikasi, yakni fenomena ledakan populasi alga di perairan seperti sungai, danau, atau waduk. Proses ini terjadi ketika konsentrasi fosfor di perairan meningkat akibat limpasan permukaan (*runoff*) dari lahan pertanian yang menggunakan pupuk fosfat dalam jumlah besar.

Fosfor merupakan unsur hara pembatas dalam ekosistem perairan, yang artinya ketersediaannya sangat menentukan laju pertumbuhan alga dan organisme fotosintetik lainnya. Ketika pasokan fosfor dari luar sistem meningkat secara tajam melalui limbah pupuk yang terbawa hujan atau irigasi populasi alga berkembang pesat dalam waktu singkat. Kondisi ini dikenal sebagai *algal bloom* atau ledakan alga.

Ledakan alga, meskipun tampak sebagai peningkatan kehidupan biologis, justru membawa konsekuensi ekologis yang merusak. Ketika alga dalam jumlah besar mati dan terurai, proses dekomposisinya menghabiskan oksigen terlarut di dalam air. Akibatnya, terjadi kondisi *hipoksia*, yaitu kadar oksigen yang sangat rendah, yang tidak mampu mendukung kehidupan organisme akuatik seperti ikan, udang, dan

mikroorganisme perairan lainnya. Dalam banyak kasus, eutrofikasi telah menyebabkan kematian massal organisme perairan dan mengganggu rantai makanan dalam ekosistem tersebut.

Sulaeman dan Erfandi (2017) menjelaskan bahwa limbah pupuk fosfat merupakan salah satu faktor utama yang mendorong degradasi ekosistem perairan secara drastis. Eutrofikasi yang berulang tidak hanya menurunkan kualitas air, tetapi juga mengganggu fungsi ekologis dan sosial dari badan air, seperti perikanan, pariwisata, dan penyediaan air bersih. Dalam jangka panjang, hal ini bisa menyebabkan hilangnya keanekaragaman hayati di perairan serta peningkatan biaya pengolahan air untuk konsumsi manusia.

Oleh karena itu, pengelolaan penggunaan pupuk fosfat harus dilakukan secara hati-hati dan berbasis pada prinsip keberlanjutan. Penggunaan pupuk organik sebagai sumber fosfor alternatif, penerapan buffer zone atau zona penyangga vegetatif di sekitar badan air, serta pengaturan dosis dan waktu aplikasi pupuk merupakan strategi penting untuk mengurangi risiko eutrofikasi.

2. Penurunan pH Tanah dan Masam

Penggunaan pupuk nitrogen secara intensif, khususnya dalam bentuk ammonium sulfat dan urea, dapat menyebabkan penurunan pH tanah secara bertahap. Proses ini terjadi karena selama nitrifikasi, ion ammonium (NH_4^+) yang terdapat dalam pupuk akan diubah menjadi nitrat (NO_3^-) oleh bakteri nitrifikasi di dalam tanah. Proses ini menghasilkan ion hidrogen (H^+) sebagai produk samping, yang apabila terakumulasi dalam jumlah besar, akan meningkatkan

keasaman tanah. Dalam jangka panjang, tanah menjadi masam dan tidak lagi ideal bagi pertumbuhan banyak jenis tanaman.

Whalen et al. (2000) mencatat bahwa tanah-tanah pertanian yang menerima aplikasi pupuk nitrogen secara terus-menerus, terutama di wilayah dengan tanah berpasir dan curah hujan tinggi, mengalami penurunan pH yang signifikan. Hal ini disebabkan oleh rendahnya kapasitas buffer tanah berpasir dalam menetralkan ion H^+ , serta tingginya laju pelindian unsur-unsur basa seperti kalsium (Ca^{2+}) dan magnesium (Mg^{2+}). Curah hujan yang tinggi juga mempercepat hilangnya basa-basa tersebut ke lapisan bawah tanah, memperburuk kondisi keasaman di lapisan akar.

Tanah yang mengalami peningkatan keasaman akan menghadapi berbagai masalah kesuburan. Salah satu dampaknya adalah menurunnya ketersediaan unsur hara esensial seperti fosfor, kalium, dan molibdenum. Sebaliknya, unsur logam seperti aluminium (Al^{3+}) dan besi (Fe^{2+}), yang biasanya tidak larut dalam kondisi netral, akan menjadi lebih larut dalam kondisi masam dan bersifat toksik bagi tanaman. Aluminium dalam bentuk larut dapat merusak ujung akar tanaman, menghambat penyerapan air dan nutrisi, serta mengganggu pertumbuhan akar secara keseluruhan.

Kondisi tanah masam juga dapat memengaruhi mikroorganisme tanah. Aktivitas mikroba pelarut fosfat dan pengikat nitrogen alami menurun secara signifikan dalam pH yang rendah, sehingga siklus hara terganggu. Dalam kondisi ini, tanaman menjadi lebih bergantung pada pupuk eksternal, menciptakan ketergantungan yang tidak berkelanjutan terhadap input kimia.

Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan strategi pengelolaan tanah yang lebih adaptif. Salah satu pendekatan yang umum diterapkan adalah pengapuran, yaitu penambahan bahan kapur pertanian (CaCO_3 atau dolomit) untuk menetralkan keasaman tanah. Namun, pengapuran bukan solusi jangka panjang jika tidak disertai dengan pengaturan penggunaan pupuk nitrogen secara tepat. Oleh karena itu, pendekatan pertanian berkelanjutan mengedepankan kombinasi antara pupuk organik, rotasi tanaman, dan penggunaan pupuk nitrogen secara bijak, sesuai prinsip 4T.

3. Degradasi Biologis Tanah

Salah satu dampak negatif yang cukup serius dari penggunaan pupuk anorganik secara terus-menerus adalah terjadinya degradasi biologis tanah. Kondisi ini merujuk pada penurunan jumlah, keragaman, dan aktivitas mikroorganisme serta fauna tanah yang berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem tanah. Penggunaan pupuk kimia tanpa diimbangi dengan penambahan bahan organik menyebabkan lingkungan tanah menjadi kurang mendukung bagi kehidupan mikroba.

Pupuk anorganik, terutama yang mengandung konsentrasi garam tinggi dan bersifat asam atau basa kuat, dapat menciptakan kondisi ekstrem dalam tanah. Keadaan ini mengganggu habitat mikroorganisme, baik secara kimiawi maupun fisik. Mikroba-mikroba tanah seperti bakteri pengikat nitrogen, pelarut fosfat, serta jamur mikoriza sangat sensitif terhadap perubahan mendadak dalam pH tanah dan kadar garam. Ketika kondisi menjadi tidak stabil, populasi mikroba tanah akan menurun secara drastis, dan keanekaragamannya ikut terganggu.

Hartatik et al. (2015) menjelaskan bahwa berkurangnya atau bahkan hilangnya komunitas biota tanah berdampak langsung terhadap gangguan dalam daur ulang nutrisi dan pembentukan struktur tanah yang stabil. Mikroorganisme tanah sebenarnya memainkan peran vital dalam mendekomposisi bahan organik, memfasilitasi pelepasan unsur hara dari senyawa kompleks, serta membantu menjaga agregat tanah agar tetap gembur dan porous. Tanpa mereka, proses-proses penting ini akan terganggu, dan tanah kehilangan salah satu fungsi utamanya sebagai sistem hidup yang dinamis.

Dampak lanjutan dari degradasi biologis ini adalah menurunnya kemampuan tanah untuk menyimpan air secara optimal. Struktur tanah yang rusak akibat tidak adanya perekat biologis seperti lendir mikroba atau hifa jamur menyebabkan tanah menjadi lebih padat dan kurang porous. Akibatnya, air hujan tidak mudah meresap, melainkan mengalir di permukaan sebagai limpasan (*runoff*). Limpasan ini tidak hanya menyebabkan kehilangan air yang seharusnya terserap, tetapi juga meningkatkan risiko erosi tanah, terutama di lahan miring atau terbuka.

Selain mengikis lapisan tanah atas yang subur, erosi juga mempercepat hilangnya unsur hara dan bahan organik, yang memperburuk kesuburan tanah dari waktu ke waktu. Tanah yang semula produktif lambat laun menjadi tandus dan tidak mampu mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal, menciptakan siklus degradasi yang sulit dipulihkan tanpa intervensi yang tepat.

Untuk menjaga keseimbangan biologis tanah, penggunaan pupuk anorganik perlu dikombinasikan dengan penambahan bahan organik seperti kompos, pupuk kandang,

atau biofertilizer. Bahan organik tidak hanya menyediakan nutrisi bagi tanaman, tetapi juga menjadi sumber energi bagi mikroba tanah, membantu memulihkan kehidupan mikroorganisme yang tertekan.

4. Ketergantungan Eksternal dan Kerentanan Sosial

Dampak negatif lain dari penggunaan pupuk anorganik yang kurang bijak adalah timbulnya ketergantungan eksternal yang tinggi di kalangan petani, khususnya terhadap sistem distribusi dan kebijakan subsidi pemerintah. Karena pupuk anorganik umumnya diproduksi oleh industri berskala besar, akses terhadapnya sangat dipengaruhi oleh dinamika pasar global dan kebijakan nasional. Hal ini menciptakan ketergantungan struktural, di mana petani tidak lagi memiliki kontrol atas sumber daya utama yang menunjang produktivitas pertanian mereka.

Ketika terjadi gejolak harga di pasar global, seperti fluktuasi harga bahan baku pupuk atau gangguan distribusi internasional, harga pupuk di tingkat lokal pun ikut melonjak. Dalam kondisi seperti ini, petani kecil terutama yang bergantung sepenuhnya pada pupuk anorganik menjadi kelompok yang paling rentan. Mereka tidak hanya kesulitan memenuhi kebutuhan pupuk secara ekonomi, tetapi juga tidak memiliki alternatif yang memadai, seperti pupuk organik lokal, karena keterbatasan akses atau pengetahuan teknis.

Anggara et al. (2024) menekankan bahwa dalam banyak kasus, keputusan petani dalam membeli dan menggunakan pupuk lebih didasarkan pada ketersediaan subsidi dari pemerintah, bukan atas dasar kesadaran akan prinsip keberlanjutan. Artinya, sistem pemupukan di tingkat lapangan sangat bergantung pada intervensi eksternal, bukan pada

kemandirian atau inovasi lokal. Ketika subsidi dipangkas atau terlambat disalurkan, petani terpaksa mengurangi dosis pupuk, yang berdampak langsung pada hasil panen dan pendapatan mereka.

Ketergantungan ini juga memperlemah posisi tawar petani dalam rantai pasok pertanian. Mereka menjadi bagian dari sistem yang tidak memberi ruang bagi diversifikasi input atau adaptasi berbasis lokal. Di sisi lain, kurangnya edukasi dan pendampingan terkait pemanfaatan pupuk organik atau teknologi ramah lingkungan semakin memperkuat ketergantungan ini, menciptakan siklus kerentanan yang sulit diputus.

Dalam konteks pembangunan pertanian berkelanjutan, isu ini menjadi sangat krusial. Penguatan kemandirian petani dalam pengelolaan hara tanah, termasuk melalui produksi pupuk organik mandiri, pemanfaatan limbah pertanian, serta pelatihan teknis, merupakan langkah strategis untuk keluar dari ketergantungan struktural.

Dengan pendekatan ini, petani tidak hanya diposisikan sebagai penerima manfaat teknologi, tetapi juga sebagai pelaku aktif dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan keberlanjutan pertanian jangka panjang.

C. Praktik Ramah Lingkungan dalam Pemupukan

1. Pemupukan Berimbang dan Empat Tepat

Salah satu pendekatan paling efektif untuk mengurangi dampak negatif pemupukan terhadap lingkungan adalah menerapkan prinsip pemupukan berimbang berdasarkan konsep *empat*

tepat, yakni tepat jenis, tepat dosis, tepat waktu, dan tepat cara. Prinsip ini bukan sekadar panduan teknis, melainkan kerangka kerja ekologis yang bertujuan untuk mengoptimalkan efisiensi pemupukan sambil menjaga kelestarian sumber daya alam.

Prinsip *tepat jenis* mengacu pada pemilihan jenis pupuk yang sesuai dengan kebutuhan spesifik tanaman dan kondisi tanah. Misalnya, lahan yang miskin fosfor sebaiknya diprioritaskan untuk pemupukan fosfat, bukan nitrogen, agar efisiensi penggunaan pupuk menjadi optimal. Sementara itu, *tepat dosis* menghindarkan petani dari penggunaan pupuk yang berlebihan atau terlalu sedikit, yang bisa menyebabkan ketidakseimbangan hara atau pemborosan biaya.

Kemudian, *tepat waktu* berarti aplikasi pupuk dilakukan sesuai fase pertumbuhan tanaman, agar serapan unsur hara oleh tanaman berada pada tingkat paling efisien. Misalnya, tanaman padi memerlukan nitrogen lebih tinggi pada fase vegetatif awal dibanding fase generatif. Adapun *tepat cara* melibatkan metode aplikasi yang efektif, seperti pengocoran, penugalan, atau penaburan, tergantung jenis pupuk dan kondisi lahan. Pemilihan cara yang tepat akan mengurangi kehilangan hara akibat penguapan, pelindian, atau terbawa air permukaan.

Kesuma et al. (2022) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa pelatihan petani berbasis prinsip “empat tepat” tepat jenis, tepat dosis, tepat waktu, dan tepat cara secara nyata memberikan dampak positif terhadap perilaku pemupukan di kalangan petani padi sawah. Petani yang mengikuti pelatihan tersebut menunjukkan peningkatan kesadaran dalam memilih jenis pupuk yang sesuai dengan kebutuhan tanaman, lebih bijak dalam menentukan dosis yang efisien, serta lebih terarah dalam waktu dan cara aplikasinya. Dampak langsung dari perubahan

perilaku ini adalah efisiensi penggunaan pupuk, di mana jumlah input yang diberikan dapat dikurangi tanpa menurunkan produktivitas hasil panen, sehingga praktik pemupukan menjadi lebih ramah lingkungan, hemat biaya, dan berkelanjutan dalam jangka panjang.

Pendekatan ini juga berdampak positif terhadap lingkungan, karena menekan risiko pencemaran air dan degradasi tanah akibat residu pupuk yang berlebihan. Dengan input yang lebih efisien, biaya produksi juga dapat ditekan, meningkatkan margin keuntungan petani. Selain itu, prinsip empat tepat mendorong kesadaran ekologis dalam praktik pertanian sehari-hari sebuah langkah penting menuju sistem pertanian yang berkelanjutan.

Oleh karena itu, penerapan pemupukan berimbang dan prinsip empat tepat sepatutnya menjadi bagian inti dari kebijakan pertanian nasional maupun lokal. Dukungan berupa pelatihan lapangan, pendampingan teknis, dan integrasi prinsip ini dalam program penyuluhan sangat diperlukan agar pemahaman dan praktiknya dapat menyebar luas di kalangan petani.

Melati & Wijayati (2023) juga menegaskan pentingnya peran edukasi dan penyuluhan dalam mendorong penerapan pemupukan berimbang di tingkat akar rumput. Dalam studi kasus di Desa Sukomulyo, mereka menemukan bahwa kegiatan penyuluhan yang terstruktur dan berkelanjutan mampu meningkatkan pemahaman petani terhadap pentingnya efisiensi pemupukan, baik dari sisi ekonomi maupun lingkungan.

Para petani yang semula hanya mengandalkan kebiasaan turun-temurun dalam pemupukan mulai menyadari bahwa

kelebihan pupuk tidak selalu sejalan dengan peningkatan hasil. Justru, penggunaan pupuk yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan tanah, pencemaran air, dan pemborosan biaya produksi. Melalui pendekatan dialogis dan partisipatif, para penyuluh mampu membangun kesadaran baru di kalangan petani akan pentingnya menyesuaikan dosis dan jenis pupuk dengan kondisi aktual lahan dan kebutuhan tanaman.

Peningkatan pengetahuan ini berdampak langsung pada perubahan perilaku pemupukan. Petani di Desa Sukomulyo mulai mengadopsi pola pemupukan yang lebih hemat, menggunakan pupuk organik secara bertahap, serta memperhatikan waktu dan cara aplikasi pupuk yang lebih efisien. Perubahan ini tidak hanya berdampak pada peningkatan hasil yang stabil, tetapi juga memperbaiki kondisi tanah dan menurunkan potensi pencemaran lingkungan.

Hasil studi Melati & Wijayati menjadi bukti bahwa intervensi edukatif yang berbasis pada kebutuhan lokal sangat efektif dalam mendorong transformasi menuju praktik pertanian berkelanjutan.

2. Integrasi Pupuk Organik dan Anorganik

Dalam upaya menciptakan sistem pemupukan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, integrasi antara pupuk organik dan anorganik menjadi salah satu pendekatan yang paling efektif. Pendekatan ini bertujuan untuk menggabungkan keunggulan masing-masing jenis pupuk, yakni daya dorong cepat dari pupuk anorganik serta manfaat jangka panjang dari pupuk organik dalam memperbaiki kondisi tanah.

Pupuk anorganik dikenal memiliki konsentrasi unsur hara yang tinggi dan mudah diserap tanaman, sehingga sangat

efektif untuk memenuhi kebutuhan nutrisi pada fase pertumbuhan kritis. Namun, penggunaan tunggal dan terus-menerus tanpaimbangan bahan organik seringkali menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan tanah. Di sisi lain, pupuk organik seperti kompos dan pupuk kandang mengandung unsur hara dalam jumlah yang lebih rendah, tetapi mampu memperbaiki struktur tanah, meningkatkan aktivitas mikroba, serta menambah kandungan bahan organik yang sangat penting bagi keseimbangan ekosistem tanah.

Prasetyo et al. (2013) melalui penelitiannya menunjukkan bahwa kombinasi pupuk kandang dengan pupuk NPK menghasilkan peningkatan hasil panen jagung manis yang lebih signifikan dibandingkan dengan penggunaan salah satu jenis pupuk secara tunggal. Hasil tersebut tidak hanya mencerminkan efisiensi nutrisi, tetapi juga menunjukkan adanya sinergi positif antara kandungan organik dan anorganik dalam mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal.

Bertham et al. (2022) menegaskan bahwa peningkatan pengetahuan petani tentang pemberian pupuk secara seimbang berkontribusi besar terhadap produktivitas lahan dan keberlanjutan sistem pertanian. Dalam konteks ini, edukasi mengenai dosis kombinasi yang tepat, waktu aplikasi yang sesuai, serta teknik pencampuran yang benar sangat diperlukan agar integrasi pupuk dapat berjalan secara efektif. Selain memperbaiki hasil panen, pendekatan ini juga terbukti menjaga struktur tanah agar tetap gembur dan subur dalam jangka panjang.

Integrasi ini juga merupakan solusi pragmatis bagi petani di tengah kondisi ekonomi yang fluktuatif. Dengan mengurangi

ketergantungan pada pupuk kimia yang mahal dan terkadang langka, serta memanfaatkan bahan organik lokal seperti limbah ternak atau sisa panen, petani bisa menekan biaya produksi tanpa mengorbankan hasil.

3. Teknologi Smart Farming dan Pemupukan Presisi

Di era pertanian modern, pemanfaatan teknologi digital menjadi kunci dalam mendorong efisiensi dan keberlanjutan, termasuk dalam hal pemupukan. Salah satu pendekatan terkini adalah penerapan konsep *smart farming* dan sistem *pemupukan presisi*, yang memungkinkan petani mengelola lahan dan tanaman secara lebih akurat berdasarkan data nyata dari lapangan. Dengan bantuan perangkat digital, pemupukan tidak lagi bersifat generalisasi, melainkan disesuaikan secara spesifik dengan kebutuhan tanaman dan kondisi tanah di setiap titik lokasi.

Teknologi berbasis Internet of Things (IoT) telah memungkinkan pemantauan kebutuhan nutrisi tanaman secara real-time. Melalui sensor tanah, sensor cuaca, dan perangkat monitoring yang terhubung, sistem ini mampu membaca parameter penting seperti pH, kadar kelembapan, dan kandungan unsur hara tanah. Iqbal (2024) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis LoRa untuk pemupukan AB Mix, yang semula banyak diterapkan pada pertanian hidroponik, ternyata juga dapat dikembangkan untuk pemupukan organik di lahan terbuka. Hasilnya, petani dapat menghindari kesalahan dalam dosis dan waktu aplikasi pupuk, yang selama ini sering terjadi akibat ketidaktahuan atau asumsi manual yang tidak akurat.

Sistem ini juga memungkinkan integrasi antara data yang dikumpulkan dengan rekomendasi pemupukan otomatis,

bahkan hingga ke tahap eksekusi aplikasi melalui alat semprot otomatis atau sistem fertigasi. Penerapan sistem ini secara langsung meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, mengurangi pemborosan, dan tentu saja menurunkan potensi pencemaran lingkungan akibat pupuk yang tidak terserap tanaman.

Rachmawati (2020) menyebut pendekatan ini sebagai bagian dari *Smart Farming 4.0*, yakni fase pertanian maju yang menempatkan teknologi sebagai pengendali utama dalam pengambilan keputusan di lapangan. Dengan dukungan sensor tanah, GPS, drone, dan kecerdasan buatan, sistem ini memungkinkan petani mengetahui dengan tepat kapan, di mana, dan berapa banyak pupuk yang harus diberikan pada setiap bagian lahan. Selain mempercepat proses kerja, teknologi ini juga meminimalkan intervensi manusia yang berisiko subjektif dan keliru.

Implementasi smart farming juga membuka peluang baru bagi pertanian di wilayah terpencil, karena sistem ini dapat dikendalikan dari jarak jauh melalui jaringan internet. Hal ini sangat relevan dalam menghadapi tantangan iklim dan ketersediaan tenaga kerja pertanian yang makin terbatas.

Dengan demikian, pemanfaatan teknologi digital dalam pemupukan bukan sekadar pilihan modernitas, melainkan sebuah kebutuhan strategis untuk mencapai efisiensi produksi dan menjaga keberlanjutan lingkungan.

4. Penguatan Peran Petani dan Penyuluh

Transformasi menuju praktik pemupukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan tidak akan dapat berjalan efektif tanpa keterlibatan aktif dan sinergis antara petani dan penyuluh pertanian. Kedua pihak ini merupakan ujung tombak

dalam implementasi perubahan teknologi dan pengetahuan di lapangan. Ina et al. (2022) menekankan bahwa edukasi lapangan yang berfokus pada pemanfaatan pupuk organik secara benar dapat menjadi kunci utama dalam mengurangi ketergantungan petani terhadap pupuk kimia yang berpotensi merusak lingkungan.

Pahlepi et al. (2023) memberikan contoh konkret bagaimana kelompok wanita tani dapat menjadi agen perubahan yang sangat efektif dalam menyebarkan praktik pemupukan berkelanjutan di komunitas mereka. Wanita tani, yang seringkali menjadi pengelola utama lahan dan penentu keputusan di rumah tangga, menunjukkan peningkatan pemahaman dan kepercayaan diri dalam menerapkan pupuk organik sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan. Dengan demikian, pelibatan kelompok-kelompok marginal dalam pertanian juga menjadi salah satu strategi penting untuk memperluas dampak positif dari program-program penyuluhan.

Membangun literasi pertanian ekologis, yang mencakup pengetahuan tentang karakteristik pupuk organik dan anorganik, prinsip pemupukan berimbang, serta dampak lingkungan dari penggunaan pupuk berlebihan, merupakan agenda strategis dalam rangka menciptakan sistem pertanian yang tidak hanya produktif, tetapi juga resilien terhadap perubahan iklim dan tekanan lingkungan lainnya. Pendidikan dan pelatihan yang berkelanjutan, disertai dengan pendampingan teknis, menjadi pondasi yang kuat agar petani mampu mengambil keputusan yang tepat dan bertanggung jawab dalam pengelolaan pupuk.

Penggunaan pupuk dalam pertanian memegang peranan penting sebagai penopang utama produktivitas tanaman.

Pupuk, baik organik maupun anorganik, menyediakan nutrisi esensial yang dibutuhkan tanaman agar dapat tumbuh dengan optimal dan menghasilkan panen yang memuaskan. Namun demikian, penggunaan pupuk juga menyimpan potensi ancaman serius terhadap keberlanjutan lingkungan apabila tidak dikelola dengan bijak. Praktik pemupukan yang tidak mengikuti prinsip-prinsip ekologis dapat menyebabkan penurunan kualitas tanah, pencemaran air, dan pada akhirnya menjadikan sistem pertanian menjadi rapuh dan tidak berkelanjutan.

Ketika pupuk digunakan secara berlebihan atau tidak sesuai kebutuhan tanaman, tanah yang semula subur akan kehilangan kemampuannya dalam menyimpan dan menyediakan unsur hara. Struktur tanah menjadi rusak, aktivitas mikroba alami menurun, serta terjadi degradasi fisik dan kimia yang mempersulit tanaman untuk tumbuh dengan baik. Selain itu, sisa pupuk yang tidak diserap tanaman akan merembes ke perairan tanah dan permukaan, menimbulkan pencemaran yang merugikan ekosistem dan kesehatan manusia. Dengan demikian, praktik pemupukan yang tidak bijaksana justru dapat mengubah sumber kehidupan menjadi sumber masalah yang pelik.

Hal ini juga menunjukkan bahwa potensi negatif tersebut dapat diminimalkan bahkan diubah menjadi peluang pemulihan jika diterapkan strategi yang tepat. Pendekatan seperti pemupukan berimbang, di mana dosis dan jenis pupuk disesuaikan dengan kebutuhan spesifik tanaman dan kondisi tanah, menjadi salah satu kunci penting. Selain itu, integrasi pupuk organik dan anorganik mampu memadukan manfaat jangka pendek dan jangka panjang, menjaga kesuburan tanah sekaligus meningkatkan produktivitas. Ditambah lagi,

pemanfaatan teknologi presisi dan sistem smart farming memungkinkan aplikasi pupuk yang lebih akurat, efisien, dan ramah lingkungan.

Namun, keberhasilan praktik pemupukan ramah lingkungan bukan hanya soal produk pupuk atau teknologi yang digunakan. Lebih dari itu, hal ini berkaitan erat dengan cara berpikir, kebijakan yang mendukung, serta kesadaran kolektif di kalangan petani, penyuluh, dan pemangku kepentingan lainnya. Transformasi menuju pertanian berkelanjutan memerlukan perubahan paradigma, dari sekadar mencari hasil cepat menjadi menjaga keseimbangan antara produktivitas dan kelestarian ekosistem. Oleh karena itu, bab ini tidak hanya menyerukan perubahan teknis dalam cara pemupukan, melainkan juga mengajak pembaca untuk bersama-sama membangun visi baru tentang pertanian dan masa depan ekologi bumi yang lebih harmonis.

BAB 5

STRATEGI BIJAK MENGUNAKAN PUPUK

A. Prinsip Pemupukan Berimbang

Pemupukan berimbang merupakan salah satu pendekatan penting dalam praktik pertanian berkelanjutan. Pendekatan ini tidak semata-mata menekankan pada seberapa banyak pupuk yang diberikan kepada tanaman, melainkan pada pemenuhan kebutuhan unsur hara tanaman secara tepat dan efisien. Tujuannya adalah untuk menyesuaikan pemberian pupuk dengan kebutuhan tanaman, karakteristik tanah, serta fase pertumbuhan tanaman yang sedang berlangsung.

Artinya, pemupukan berimbang menekankan pentingnya memahami kebutuhan tanaman secara spesifik, yang bisa berbeda-beda tergantung jenis tanaman, kondisi agroekosistem, dan tujuan budidaya. Pupuk yang diberikan secara berlebihan tidak hanya berdampak pada kerugian ekonomi karena pemborosan, tetapi juga menimbulkan risiko pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, pemupukan tidak boleh dilakukan secara sembarangan atau berdasarkan kebiasaan semata, melainkan melalui pendekatan yang terukur dan berbasis data lapangan.

Prinsip dasar dalam pemupukan berimbang dikenal sebagai prinsip *empat tepat*, yakni: tepat jenis, tepat dosis, tepat waktu, dan tepat cara. “Tepat jenis” berarti memilih jenis pupuk yang sesuai dengan unsur hara yang dibutuhkan oleh

tanaman. “Tepat dosis” merujuk pada jumlah pupuk yang diberikan sesuai kebutuhan tanaman berdasarkan analisis tanah atau rekomendasi teknis. “Tepat waktu” artinya pupuk diberikan pada saat tanaman benar-benar membutuhkan unsur hara tertentu, sedangkan “tepat cara” mengacu pada metode aplikasi pupuk yang efektif dan efisien untuk memaksimalkan serapan unsur hara oleh tanaman.

Studi yang dilakukan oleh Kesuma et al. (2022) memperkuat pentingnya penerapan prinsip pemupukan berimbang. Dalam studi mereka terhadap petani padi di Kabupaten Sleman, terbukti bahwa pendekatan empat tepat mampu meningkatkan produktivitas tanaman tanpa harus meningkatkan jumlah pupuk yang digunakan secara signifikan. Para petani yang menerima pelatihan tentang prinsip ini menjadi lebih terampil dalam mengidentifikasi kebutuhan hara tanaman mereka.

Hasilnya, para petani mampu menghindari penggunaan pupuk secara berlebihan, yang sering kali justru tidak meningkatkan hasil panen secara proporsional, melainkan menambah beban biaya produksi dan potensi pencemaran lingkungan. Dengan pengetahuan yang lebih baik, mereka dapat mengoptimalkan hasil pertanian sambil menjaga keberlanjutan ekosistem pertanian.

Pendekatan pemupukan berimbang menjadi fondasi penting dalam mewujudkan sistem pertanian yang efisien, produktif, dan ramah lingkungan. Oleh karena itu, pemahaman dan penerapan prinsip ini perlu terus disosialisasikan dan didorong, baik melalui program penyuluhan, pelatihan petani, maupun integrasi dalam kebijakan pertanian di berbagai tingkat.

Melati & Wijayati (2023) dalam studi pengabdian masyarakat yang mereka lakukan di Desa Sukomulyo memberikan bukti tambahan mengenai efektivitas pendekatan pemupukan berimbang. Dalam kegiatan tersebut, para petani diberikan edukasi tentang prinsip-prinsip dasar pemupukan yang tepat dan berimbang. Hasilnya menunjukkan adanya peningkatan signifikan dalam pemahaman petani terhadap pentingnya keseimbangan antara dosis pupuk dan kondisi kesuburan tanah. Edukasi ini tidak hanya meningkatkan pengetahuan teknis petani, tetapi juga mendorong perubahan sikap dan kebiasaan mereka dalam mengelola pemupukan.

Salah satu aspek penting yang ditekankan dalam kegiatan pengabdian masyarakat tersebut adalah hubungan langsung antara kesuburan tanah dan akurasi dalam pemberian pupuk. Banyak petani sebelumnya masih mengandalkan takaran pupuk berdasarkan kebiasaan atau tradisi turun-temurun, tanpa mempertimbangkan data ilmiah atau kondisi spesifik tanah mereka. Setelah mengikuti pelatihan, mereka mulai memahami bahwa kesuburan tanah yang optimal dapat dicapai dengan menyesuaikan dosis pemupukan berdasarkan hasil analisis tanah serta kebutuhan aktual tanaman di setiap fase pertumbuhan.

Konsep pemupukan berimbang pada dasarnya menggabungkan berbagai sumber informasi yang relevan, antara lain hasil uji tanah, kebutuhan spesifik dari jenis tanaman yang dibudidayakan, serta pengalaman lokal yang telah teruji di lapangan. Pendekatan ini tidak lagi mengandalkan model "satu dosis untuk semua", yang selama ini sering digunakan dalam pertanian konvensional. Sebaliknya, pemupukan berimbang mendorong penggunaan

data yang akurat dan observasi lapangan sebagai dasar dalam mengambil keputusan pemupukan.

Dengan strategi ini, petani diajak untuk lebih aktif mengamati dan memahami dinamika pertumbuhan tanaman serta kondisi tanahnya sendiri. Mereka tidak lagi menjadi sekadar pelaksana, melainkan juga menjadi pengambil keputusan berbasis informasi. Pendekatan seperti ini secara perlahan membangun budaya bertani yang lebih cermat, bertanggung jawab, dan berkelanjutan. Dalam jangka panjang, hal ini tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, tetapi juga membantu menjaga kesehatan tanah dan produktivitas pertanian secara keseluruhan.

B. Kombinasi Pupuk Organik dan Anorganik

Salah satu strategi yang terbukti efektif dalam mempertahankan kesuburan tanah sekaligus meningkatkan hasil produksi pertanian adalah melalui penggabungan antara pupuk organik dan pupuk anorganik. Pendekatan ini dikenal dengan istilah *pemupukan terpadu* atau *integrated fertilization system* (IFS). Strategi ini dirancang untuk memanfaatkan kelebihan masing-masing jenis pupuk secara sinergis, guna menciptakan sistem pemupukan yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Pupuk anorganik atau pupuk kimia umumnya memiliki efek cepat karena unsur hara yang dikandungnya mudah larut dan langsung tersedia bagi tanaman. Oleh karena itu, pupuk anorganik sering digunakan untuk memenuhi kebutuhan hara tanaman dalam jangka pendek, khususnya pada fase pertumbuhan awal yang kritis. Namun, penggunaan pupuk

anorganik secara berlebihan dalam jangka panjang dapat menurunkan kualitas tanah, merusak keseimbangan mikroba, dan menyebabkan penurunan kandungan bahan organik tanah.

Sebaliknya, pupuk organik seperti pupuk kandang, kompos, dan bahan hayati lainnya memiliki manfaat jangka panjang. Pupuk organik memperbaiki struktur tanah, meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah, dan meningkatkan kapasitas tanah dalam menyimpan air dan hara. Meski kandungan unsur haranya relatif lebih rendah dan lambat tersedia, pupuk organik sangat penting dalam menjaga kesehatan tanah secara keseluruhan.

Melalui sistem pemupukan terpadu, kedua jenis pupuk tersebut dikombinasikan untuk mengoptimalkan manfaatnya. Pupuk kimia digunakan untuk menjamin ketersediaan hara dalam waktu cepat, sementara pupuk organik berperan dalam memperbaiki kondisi tanah dan menjaga kesuburan jangka panjang. Kombinasi ini terbukti tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga menurunkan risiko degradasi tanah akibat penggunaan pupuk kimia secara terus-menerus.

Studi oleh Prasetyo et al. (2013) menunjukkan bahwa penerapan kombinasi antara pupuk kandang dan pupuk NPK mampu menghasilkan panen jagung manis yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan pupuk tunggal, baik organik maupun anorganik saja. Hal ini memperlihatkan bahwa sinergi kedua jenis pupuk memberikan efek yang lebih baik dalam mendukung pertumbuhan dan hasil tanaman.

Temuan serupa juga disampaikan oleh Hardiyanti et al. (2022), yang mengamati pertumbuhan bibit pohon merbau darat (*Intsia palembanica*). Dalam penelitian tersebut, pemberian pupuk NPK sebagai pupuk dasar yang dipadukan

dengan bahan organik terbukti mampu memperbaiki pertumbuhan tanaman. Ini menunjukkan bahwa pemupukan terpadu tidak hanya efektif pada tanaman pangan, tetapi juga pada tanaman kehutanan atau tanaman keras lainnya.

Pendekatan pemupukan terpadu menjadi solusi yang menjanjikan dalam mewujudkan pertanian yang produktif sekaligus berkelanjutan. Strategi ini mampu menjaga kesuburan tanah, mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, serta meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya di tingkat petani.

Roidah (2013) menjelaskan secara komprehensif mengenai peran masing-masing jenis pupuk dalam sistem pertanian. Menurutnya, pupuk organik memiliki fungsi utama dalam memperbaiki struktur tanah. Struktur tanah yang baik sangat penting karena dapat meningkatkan aerasi, daya serap air, serta kemampuan tanah dalam menyimpan dan melepaskan unsur hara secara perlahan. Selain itu, pupuk organik juga berkontribusi terhadap peningkatan aktivitas mikrobiologi tanah. Mikroorganisme yang aktif dan beragam di dalam tanah berperan dalam proses dekomposisi bahan organik, fiksasi nitrogen, dan pelarutan hara, sehingga menciptakan lingkungan tanah yang sehat dan dinamis.

Pupuk kimia memiliki keunggulan dalam menjamin ketersediaan unsur hara yang dibutuhkan tanaman secara cepat dan langsung. Unsur hara seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) dalam pupuk anorganik bersifat mudah larut dalam air, sehingga segera dapat diserap oleh akar tanaman setelah aplikasi. Hal ini sangat penting terutama pada fase-fase awal pertumbuhan tanaman, ketika kebutuhan hara tinggi dan pertumbuhan vegetatif harus didorong secara optimal.

Dengan mempertimbangkan kelebihan masing-masing, maka kombinasi antara pupuk organik dan pupuk kimia memberikan sinergi yang saling melengkapi. Pemanfaatan keduanya secara terpadu tidak hanya menjamin pertumbuhan tanaman yang cepat dan optimal, tetapi juga menjaga kualitas dan kesuburan tanah dalam jangka panjang. Sinergi ini memungkinkan petani untuk memaksimalkan hasil panen tanpa mengorbankan kesehatan lingkungan.

Pendekatan ini juga memberikan dampak positif terhadap keberlanjutan agroekosistem. Tanah yang tetap subur dan sehat akan mendukung produktivitas pertanian secara berkelanjutan, mengurangi ketergantungan pada input eksternal, serta memperkuat ketahanan pangan di tingkat lokal maupun nasional. Oleh karena itu, seperti ditegaskan oleh Roidah (2013), kombinasi pupuk organik dan anorganik menjadi salah satu kunci utama dalam strategi pemupukan yang tidak hanya efisien, tetapi juga ekologis dan berorientasi jangka panjang.

Bertham et al. (2022) menambahkan dimensi penting dalam diskusi mengenai kombinasi pupuk, yaitu aspek pengetahuan dan pemahaman petani. Menurut mereka, keberhasilan strategi pemupukan termasuk pemupukan terpadu sangat bergantung pada seberapa baik petani memahami fungsi, manfaat, serta risiko dari masing-masing jenis pupuk yang digunakan. Tanpa pemahaman yang memadai, potensi positif dari kombinasi pupuk bisa saja tidak tercapai secara optimal, bahkan bisa menimbulkan masalah baru seperti overdosis unsur hara, pencemaran lingkungan, atau pemborosan biaya.

Pengetahuan petani tentang bagaimana dan kapan mengombinasikan pupuk organik dengan anorganik seharusnya menjadi bagian dari pelatihan-pelatihan pertanian yang sistematis dan berkelanjutan. Pelatihan ini tidak hanya memberikan informasi teknis, tetapi juga membangun kesadaran kritis mengenai pentingnya pengelolaan hara yang bijak dalam konteks pertanian berkelanjutan. Petani perlu dibekali dengan keterampilan membaca tanda-tanda kebutuhan hara tanaman, menginterpretasikan hasil uji tanah, serta menerapkan dosis pupuk berdasarkan data dan pengalaman lokal.

Bertham et al. (2022) juga menekankan bahwa penggunaan pupuk secara cerdas berarti tidak hanya fokus pada peningkatan hasil panen dalam jangka pendek, tetapi juga memperhatikan dampaknya terhadap lingkungan dan sumber daya tanah dalam jangka panjang. Oleh karena itu, edukasi tentang pemupukan harus menjadi prioritas dalam program pembangunan pertanian, khususnya di daerah-daerah sentra produksi pangan.

Dengan demikian, pelatihan pertanian yang terstruktur dan berbasis kebutuhan nyata petani menjadi kunci dalam membangun praktik pemupukan yang efektif dan berkelanjutan. Ketika petani memahami alasan di balik setiap keputusan pemupukan bukan hanya mengikuti anjuran teknis maka mereka akan lebih mampu mengadaptasi strategi pemupukan sesuai dengan kondisi lokal, dan pada akhirnya mendukung produktivitas pertanian yang ramah lingkungan.

C. Teknik Pemupukan Sesuai Jenis Tanaman

Setiap tanaman memiliki kebutuhan unsur hara yang spesifik, yang dipengaruhi oleh jenis atau spesies tanaman, fase pertumbuhan, serta karakteristik tanah tempat tumbuhnya. Oleh karena itu, teknik pemupukan tidak bisa disamaratakan, melainkan harus dirancang dan disesuaikan untuk masing-masing jenis tanaman agar pemenuhan hara dapat optimal dan tidak terjadi pemborosan.

1. Tanaman Pangan (Padi, Jagung, Kedelai)

Tanaman pangan merupakan kelompok tanaman strategis yang mendominasi sistem pertanian di Indonesia. Ketepatan dalam teknik pemupukan sangat menentukan keberhasilan budidaya tanaman pangan, terutama dalam menjaga hasil yang stabil dan berkelanjutan.

Padi sawah merupakan tanaman yang memiliki kebutuhan nitrogen (N) cukup tinggi, terutama pada fase vegetatif awal. Pada fase ini, tanaman padi membutuhkan N dalam jumlah besar untuk mendukung pertumbuhan daun dan batang yang optimal. Selanjutnya, pada fase generatif seperti pembentukan malai dan pengisian gabah, unsur hara fosfor (P) dan kalium (K) menjadi sangat penting karena berperan dalam proses pembentukan biji dan pengisian nutrisi dalam gabah.

Menurut Ina et al. (2022), pemupukan padi sebaiknya dilakukan secara bertahap, yaitu melalui pemberian pupuk dasar pada saat tanam dan pemupukan susulan sesuai fase pertumbuhan. Teknik tabur awal disarankan untuk memenuhi kebutuhan awal tanaman, sementara pemupukan susulan dilakukan untuk mendukung fase generatif. Dengan penerapan

dua tahap ini, efisiensi penyerapan unsur hara oleh tanaman dapat ditingkatkan.

Kesuma et al. (2022) juga menekankan pentingnya ketepatan waktu dalam aplikasi pupuk. Dalam penelitiannya, diketahui bahwa waktu pemberian pupuk yang tidak sesuai dapat menyebabkan unsur hara tidak dimanfaatkan secara maksimal oleh tanaman, bahkan berpotensi terbuang melalui pencucian atau penguapan. Oleh karena itu, jadwal pemupukan harus disesuaikan dengan fase pertumbuhan tanaman secara cermat.

Jagung, sebagai tanaman pangan utama kedua setelah padi, sangat responsif terhadap kombinasi antara pupuk anorganik dan organik. Tanaman ini membutuhkan pasokan hara yang stabil, terutama nitrogen, untuk mendukung pertumbuhan vegetatif yang cepat dan pembentukan tongkol yang maksimal. Prasetyo et al. (2013) merekomendasikan pemberian pupuk kandang sebagai pupuk dasar untuk meningkatkan kandungan bahan organik tanah dan memperbaiki struktur tanah. Selanjutnya, pemupukan susulan menggunakan NPK dilakukan secara bertahap untuk memastikan ketersediaan unsur hara selama masa pertumbuhan.

Kombinasi ini terbukti meningkatkan hasil panen jagung secara signifikan. Penggunaan pupuk kandang membantu menjaga kesuburan tanah dalam jangka panjang, sementara NPK memberikan dorongan cepat bagi pertumbuhan tanaman. Dengan demikian, teknik pemupukan yang sesuai jenis dan fase pertumbuhan tanaman jagung tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga menjaga kesehatan lahan secara berkelanjutan.



Gambar 5. 1 Tanaman Pangan (Padi, Jagung, Kedelai)

2. Tanaman Hortikultura (Cabai, Bawang Merah, Tomat)

Tanaman hortikultura seperti cabai, bawang merah, dan tomat dikenal sebagai tanaman bernilai ekonomi tinggi yang memiliki siklus pertumbuhan relatif cepat, tetapi sangat sensitif terhadap kekurangan hara. Oleh karena itu, teknik pemupukan untuk tanaman hortikultura harus dirancang secara cermat, baik dari segi dosis, frekuensi, maupun jenis pupuk yang digunakan.

Berbeda dengan tanaman pangan yang mungkin memiliki fase pertumbuhan lebih panjang dan toleransi yang lebih besar terhadap fluktuasi nutrisi, tanaman hortikultura umumnya membutuhkan pasokan unsur hara dalam jumlah tinggi dan merata sepanjang masa pertumbuhan. Kekurangan hara pada salah satu fase pertumbuhan dapat berdampak langsung pada hasil panen, baik dari sisi kuantitas maupun kualitas.

Penelitian oleh Diana et al. (2021) menunjukkan bahwa aplikasi pupuk NPK secara seimbang sangat efektif dalam meningkatkan produktivitas cabai dan tomat. Pupuk NPK membantu mendukung pembentukan daun yang sehat, bunga yang banyak, dan buah yang berkualitas. Dalam studi tersebut, kombinasi unsur nitrogen, fosfor, dan kalium dalam dosis yang tepat terbukti mampu meningkatkan hasil panen sekaligus mengurangi tingkat kerontokan bunga dan buah pada cabai serta tomat.

Selain unsur kimia, penggunaan bahan organik dan agen hayati juga memainkan peran penting dalam pemupukan hortikultura. Bahramisharif & Rose (2019) menunjukkan bahwa penggunaan kompos yang diperkaya dengan agen hayati, seperti *Trichoderma* atau bakteri pelarut fosfat, dapat meningkatkan ketahanan tanaman tomat terhadap penyakit hawar daun. Agen hayati membantu mengaktifkan sistem pertahanan alami tanaman serta menekan pertumbuhan patogen di sekitar akar.

Integrasi pupuk kimia dan bahan hayati seperti ini juga memberikan manfaat ganda: di satu sisi memperbaiki produktivitas tanaman, dan di sisi lain meningkatkan kesehatan tanah serta mengurangi ketergantungan terhadap pestisida. Oleh karena itu, pemupukan tanaman hortikultura harus diarahkan pada strategi berimbang dan berkelanjutan menggabungkan unsur hara makro dari pupuk kimia dengan peran biologis dan perbaikan struktur tanah dari bahan organik.

Dalam praktiknya, petani hortikultura disarankan untuk melakukan evaluasi rutin terhadap kondisi tanah dan tanaman, serta menyesuaikan teknik pemupukan berdasarkan kondisi iklim dan musim. Pendekatan ini akan membantu menjaga

kestabilan produksi sekaligus mengurangi kerusakan lingkungan akibat penggunaan pupuk yang berlebihan.



Gambar 5. 2 Tanaman Hortikultura (Cabai, Bawang Merah, Tomat)

3. Tanaman Perkebunan (Kelapa Sawit, Kakao, Kopi)

Tanaman perkebunan seperti kelapa sawit, kakao, dan kopi termasuk dalam kelompok tanaman tahunan yang memiliki siklus pertumbuhan jangka panjang dan pola kebutuhan hara yang berbeda dibandingkan tanaman pangan atau hortikultura. Pemupukan pada tanaman tahunan memerlukan pendekatan yang lebih hati-hati karena berkaitan dengan pertumbuhan vegetatif dan generatif yang berlangsung selama bertahun-tahun.

Salah satu aspek penting dalam pemupukan tanaman perkebunan adalah memperhatikan umur tanaman. Kebutuhan hara pada tanaman muda tentu berbeda dengan tanaman yang

sudah produktif atau menjelang akhir masa produktif. Selain itu, musim juga memengaruhi efektivitas pemupukan, karena pada musim hujan risiko pencucian unsur hara meningkat, sedangkan pada musim kemarau, penyerapannya bisa terhambat oleh kekeringan. Oleh karena itu, penyesuaian dosis dan waktu aplikasi menjadi faktor penentu keberhasilan pemupukan pada komoditas ini.

Untuk tanaman kelapa sawit, Panggabean (2019) menyarankan penggunaan kombinasi antara pupuk hayati dan cairan organik, terutama pada fase pembibitan. Kombinasi ini mampu meningkatkan kualitas bibit kelapa sawit, baik dari segi pertumbuhan akar, batang, maupun daun. Pupuk hayati berperan dalam meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah yang mendukung penyerapan nutrisi, sedangkan cairan organik membantu menstimulasi pertumbuhan awal tanaman secara alami dan ramah lingkungan.

Sementara itu, pada tanaman kakao, pemupukan yang dilakukan secara tepat waktu terbukti memiliki pengaruh besar terhadap pertumbuhan bibit, seperti yang ditunjukkan dalam penelitian Rosniawaty et al. (2019). Studi tersebut difokuskan pada kultivar kakao Sulawesi 1 dan menunjukkan bahwa aplikasi pupuk anorganik sesuai kebutuhan fase pertumbuhan dapat mendorong perkembangan vegetatif bibit secara signifikan. Hasil ini menegaskan pentingnya sinkronisasi antara kebutuhan hara tanaman dan waktu pemberian pupuk agar pertumbuhan optimal dapat dicapai.

Selain unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), tanaman perkebunan juga membutuhkan unsur hara mikro tertentu, seperti magnesium (Mg) dan boron (B), yang berperan penting dalam pembentukan jaringan tanaman, sintesis klorofil, serta perkembangan bunga dan

buah. Kekurangan unsur-unsur ini dapat menyebabkan gangguan fisiologis yang berakibat pada penurunan kualitas hasil panen.

Dengan memahami kebutuhan spesifik masing-masing tanaman perkebunan, strategi pemupukan dapat dirancang dengan lebih efisien, terarah, dan minim pemborosan. Penggunaan pupuk yang sesuai jenis, dosis, dan waktu tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga memperpanjang umur produktif tanaman serta menjaga kelestarian lingkungan kebun.



Gambar 5. 3 Tanaman Perkebunan (Kelapa Sawit, Kakao, Kopi)

D. Waktu dan Dosis yang Tepat

Keberhasilan pemupukan tidak hanya ditentukan oleh jenis pupuk yang digunakan, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh ketepatan dalam waktu aplikasi dan dosis pemberian. Kedua

aspek ini berperan penting dalam memastikan bahwa unsur hara tersedia bagi tanaman pada saat yang paling dibutuhkan. Kesalahan dalam menentukan waktu atau dosis pupuk dapat menyebabkan berbagai masalah, mulai dari ketidakefisienan penggunaan pupuk, pencemaran lingkungan akibat kelebihan hara, hingga gangguan fisiologis tanaman akibat keracunan unsur tertentu.

1. Waktu Tepat

Waktu pemupukan harus disesuaikan dengan fase fisiologis pertumbuhan tanaman, karena kebutuhan hara berubah seiring perkembangan tanaman dari fase awal hingga masa panen. Pemahaman terhadap tahapan ini memungkinkan petani untuk menyediakan nutrisi yang tepat pada saat yang tepat.

a. Pra-tanam

Pada fase ini, pemupukan bertujuan menyediakan hara dasar sebagai bekal awal tanaman untuk tumbuh. Biasanya, pupuk yang digunakan berupa **pupuk organik seperti pupuk kandang**, atau pupuk **fosfat** yang bersifat lambat tersedia tetapi penting bagi perkembangan akar awal. Pemupukan pra-tanam juga berfungsi untuk memperbaiki struktur dan kesuburan tanah sebelum penanaman dilakukan.

b. Vegetatif Awal

Memasuki fase pertumbuhan vegetatif, tanaman sangat memerlukan **nitrogen (N)** dalam jumlah tinggi. Nitrogen berperan dalam pembentukan jaringan hijau (klorofil), daun, batang, dan organ vegetatif lainnya. Oleh karena itu, pemberian pupuk nitrogen dalam fase ini

menjadi krusial untuk memastikan pertumbuhan awal yang kuat dan optimal.

c. **Generatif**

Pada fase generatif, kebutuhan tanaman bergeser ke **fosfor (P)** dan **kalium (K)** yang mendukung proses pembungaan, pematangan, serta pengisian biji atau buah. Dosis kedua unsur ini biasanya ditingkatkan dibandingkan fase sebelumnya. Ketepatan waktu dalam pemberian pupuk pada fase ini sangat penting karena kesalahan atau keterlambatan dapat berdampak langsung pada hasil panen.

Studi oleh Diana et al. (2021) menegaskan pentingnya pemupukan pada fase generatif. Penelitian tersebut membuktikan bahwa keberhasilan pengisian gabah sangat dipengaruhi oleh pemupukan yang tepat waktu. Keterlambatan dalam aplikasi pupuk fosfor dan kalium pada fase ini menyebabkan penurunan hasil panen secara signifikan. Hal ini memperlihatkan bahwa ketidaktepatan waktu tidak hanya menurunkan efisiensi pupuk, tetapi juga berdampak nyata terhadap produktivitas tanaman.

2. Dosis Tepat

Selain waktu, dosis pupuk juga merupakan faktor yang sangat menentukan dalam keberhasilan sistem pemupukan. Dosis tidak bisa dibuat seragam untuk semua jenis tanaman atau lahan. Setiap lahan memiliki tingkat kesuburan yang berbeda, begitu pula setiap tanaman memiliki kebutuhan hara yang khas tergantung pada spesies, umur, dan kondisi lingkungan tempat tumbuh.

Penentuan dosis pupuk yang tepat sebaiknya didasarkan pada hasil analisis tanah, yang memberikan gambaran tentang ketersediaan unsur hara di dalam tanah sebelum dilakukan pemupukan. Dengan mengetahui kandungan hara awal, petani dapat menyesuaikan jumlah pupuk yang perlu ditambahkan agar mencukupi kebutuhan tanaman tanpa menimbulkan kelebihan yang merugikan.

Dosis pupuk yang terlalu berlebihan bukan hanya tidak efisien secara ekonomi, tetapi juga berisiko menimbulkan keracunan tanaman serta kerusakan lingkungan. Salah satu efek umum dari pemupukan berlebihan adalah penurunan kualitas tanah akibat akumulasi garam, serta pencemaran air tanah dan air permukaan akibat limpasan atau pencucian unsur hara.

Ina et al. (2022) dalam penelitiannya menegaskan bahwa penggunaan pupuk NPK secara berlebihan tidak selalu memberikan peningkatan hasil panen yang signifikan. Bahkan, dalam beberapa kasus, penggunaan pupuk melebihi kebutuhan tanaman justru menurunkan kualitas tanah secara bertahap, karena terganggunya keseimbangan unsur hara dan kehidupan mikroba tanah. Oleh karena itu, strategi pemupukan tidak boleh hanya mengandalkan intuisi atau kebiasaan lama, melainkan harus berbasis data.

Pendekatan yang paling disarankan saat ini adalah sistem pemupukan berbasis rekomendasi hasil uji tanah. Dengan cara ini, dosis pupuk ditentukan secara akurat sesuai kondisi lapangan. Rekomendasi ini biasanya disusun oleh penyuluh pertanian atau lembaga penelitian, dan dapat menjadi pedoman teknis bagi petani untuk melakukan pemupukan secara bijak, tepat, dan efisien.

Dengan menerapkan dosis yang tepat berdasarkan kebutuhan aktual tanaman dan tanah, petani tidak hanya dapat meningkatkan efisiensi biaya produksi, tetapi juga berkontribusi dalam menjaga kesehatan lingkungan dan keberlanjutan lahan pertanian untuk jangka panjang.

E. Studi Kasus: Petani Sukses dengan Pemupukan Terpadu

1. Studi Kasus di Manokwari, Papua Barat

Salah satu contoh nyata keberhasilan penerapan strategi pemupukan terpadu datang dari wilayah Indonesia Timur, tepatnya di Kampung Adibaboi, Manokwari Timur, Papua Barat. Wilayah ini dikenal memiliki potensi pertanian yang cukup besar, namun masih menghadapi tantangan dalam hal produktivitas dan pengelolaan kesuburan tanah secara berkelanjutan.

Dalam studi yang dilakukan oleh Della Ardila (2021), petani lokal yang menanam bayam cabut berhasil meningkatkan pertumbuhan tanaman secara signifikan dengan menerapkan pendekatan pemupukan terpadu. Kombinasi yang digunakan adalah antara pupuk kandang sebagai sumber hara organik jangka panjang dan pupuk NPK yang memberikan unsur hara makro secara cepat dan langsung tersedia bagi tanaman.

Hasil studi menunjukkan bahwa tanaman bayam yang diberi kombinasi pupuk kandang dan NPK memiliki tinggi tanaman lebih besar dan jumlah daun lebih banyak dibandingkan dengan tanaman yang hanya diberi salah satu jenis pupuk. Pendekatan ini terbukti tidak hanya meningkatkan hasil panen dari sisi kuantitas, tetapi juga memperbaiki kualitas

pertumbuhan vegetatif tanaman, yang menjadi indikator kesehatan tanaman secara keseluruhan.

Kesuksesan petani di Kampung Adibaboi ini menjadi contoh nyata dari bagaimana ilmu pengetahuan dan praktik tradisional dapat dikombinasikan untuk menghasilkan metode pemupukan yang lebih efektif dan berkelanjutan. Penerapan sistem pemupukan terpadu memungkinkan petani untuk mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, memperbaiki struktur tanah, serta menjaga keseimbangan lingkungan agroekosistem.

Studi ini juga menyoroti pentingnya peran edukasi dan pendampingan bagi petani dalam memahami manfaat penggunaan kombinasi pupuk. Dengan pendekatan yang sederhana namun berbasis data, pemupukan terpadu dapat diadopsi secara luas oleh petani kecil hingga menengah di berbagai daerah Indonesia, termasuk wilayah yang memiliki akses terbatas terhadap input pertanian modern.

2. Studi Kasus di Kabupaten Sleman

Salah satu contoh keberhasilan lain dalam penerapan strategi pemupukan terpadu dan berimbang terjadi di Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, khususnya di wilayah Kalitirto. Wilayah ini dikenal sebagai salah satu sentra pertanian yang aktif dalam inovasi dan penerapan teknologi tepat guna di bidang agrikultur.

Dalam penelitian oleh Kesuma et al. (2022), kelompok tani di Kalitirto tercatat berhasil menerapkan prinsip empat tepat dalam pemupukan, yaitu: tepat jenis, tepat dosis, tepat waktu, dan tepat cara. Keberhasilan ini tidak hanya memberikan hasil panen yang stabil, tetapi juga menciptakan efisiensi nyata dalam penggunaan pupuk. Petani yang

mengikuti pelatihan mampu mengurangi dosis pupuk anorganik hingga 20% dibandingkan dengan kebiasaan sebelumnya, tanpa menurunkan produktivitas lahan mereka.

Kunci utama dari keberhasilan tersebut terletak pada disiplin dalam waktu pemupukan dan penggunaan pupuk organik sebagai pelengkap nutrisi tanaman. Menariknya, pupuk organik yang digunakan berasal dari limbah peternakan lokal, seperti kotoran sapi dan kambing, yang sebelumnya kurang dimanfaatkan secara optimal. Dengan mengolah limbah tersebut menjadi pupuk kompos, para petani tidak hanya menghemat biaya produksi, tetapi juga turut mengurangi limbah dan memperbaiki kondisi tanah.

Pendekatan ini juga mencerminkan sinergi antara pelatihan teknis yang terstruktur dan pemanfaatan sumber daya lokal, yang sangat relevan dalam membangun sistem pertanian berkelanjutan. Petani tidak hanya menjadi pengguna teknologi, tetapi juga menjadi pelaku aktif dalam memodifikasi dan mengadaptasi praktik pertanian berdasarkan kondisi nyata di lapangan.

Studi di Sleman ini menunjukkan bahwa pengurangan input anorganik bukan hanya mungkin, tetapi juga dapat dicapai tanpa mengorbankan hasil panen. Hal ini membuka jalan bagi model pertanian yang lebih hemat biaya, ramah lingkungan, dan berdaya tahan tinggi terhadap fluktuasi harga pupuk kimia di pasar.

3. Studi Kasus Kelompok Wanita Tani (KWT) Tanggamus

Penerapan pemupukan terpadu tidak hanya terbatas pada kelompok tani laki-laki atau sektor produksi skala besar. Di Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung, keberhasilan

serupa juga dicapai oleh Kelompok Wanita Tani (KWT) Mekar Jaya, yang menunjukkan bahwa perempuan juga memiliki peran strategis dalam inovasi pertanian berkelanjutan.

Menurut laporan Pahlepi et al. (2023), anggota KWT Mekar Jaya berhasil mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia dengan cara mengembangkan sendiri pupuk organik dari limbah rumah tangga. Bahan-bahan seperti sisa sayuran, kulit buah, dan limbah dapur lainnya diolah menjadi kompos dan pupuk cair organik (POC) menggunakan metode sederhana yang mudah diterapkan di tingkat rumah tangga.

Hasil dari inisiatif ini sangat positif. Tanaman yang ditanam oleh kelompok wanita tersebut menunjukkan pertumbuhan yang lebih sehat, lebih tahan terhadap serangan hama, dan memiliki produktivitas yang tidak kalah dari tanaman yang dipupuk dengan produk kimia sepenuhnya. Selain itu, biaya produksi pertanian berkurang secara signifikan, karena petani tidak lagi perlu membeli pupuk kimia dalam jumlah besar.

Keberhasilan KWT Mekar Jaya juga menjadi contoh bagaimana pemberdayaan perempuan dalam pertanian dapat menjadi motor penggerak inovasi lokal. Dengan pendekatan yang berbasis pada kearifan lokal dan pemanfaatan sumber daya yang ada, mereka mampu menciptakan sistem pertanian yang hemat biaya, ramah lingkungan, dan mandiri.

Studi ini memperlihatkan bahwa pertanian rumah tangga dapat berkontribusi besar dalam upaya pertanian berkelanjutan, terutama ketika didukung dengan pengetahuan dan pelatihan yang tepat. KWT Mekar Jaya membuktikan bahwa solusi pertanian yang berkelanjutan tidak selalu harus datang dari luar, tetapi bisa lahir dari dalam komunitas sendiri

melalui kreativitas, kolaborasi, dan kepedulian terhadap lingkungan sekitar.

4. Studi Kasus Pemanfaatan Teknologi IoT

Seiring berkembangnya era digital, pertanian modern mulai mengadopsi teknologi berbasis Internet of Things (IoT) untuk meningkatkan efisiensi dan presisi dalam berbagai aspek budidaya, termasuk pemupukan. Salah satu studi terbaru oleh Iqbal (2024) menunjukkan keberhasilan petani modern dalam memantau dan mengontrol dosis pemupukan secara presisi melalui pemanfaatan teknologi LoRa (Long Range) dalam sistem pertanian mereka.

LoRa merupakan sistem komunikasi nirkabel berdaya rendah yang memungkinkan perangkat sensor dan kontrol bekerja secara real-time dalam jarak jauh. Dalam konteks pemupukan, teknologi ini digunakan untuk mengumpulkan data tentang kelembaban tanah, pH, kandungan unsur hara, dan kebutuhan nutrisi tanaman secara berkala. Data tersebut kemudian diolah oleh sistem otomatis yang mengatur pemberian pupuk sesuai dengan kondisi aktual di lapangan.

Studi ini menunjukkan bahwa penggunaan teknologi berbasis IoT meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, karena dosis yang diberikan benar-benar sesuai kebutuhan, tanpa kelebihan maupun kekurangan. Hal ini sangat penting terutama pada pertanian hidroponik dan lahan sempit, di mana ruang tumbuh tanaman terbatas dan kelebihan pupuk dapat langsung berdampak pada kualitas media tanam dan air.

Selain efisiensi, keuntungan lain dari pendekatan ini adalah terjaganya kualitas tanah dan lingkungan, karena sistem pemupukan berbasis sensor dapat menghindari pencemaran akibat akumulasi bahan kimia berlebih. Ini menjadi bukti

bahwa integrasi antara teknologi dan pertanian tidak hanya membantu meningkatkan produktivitas, tetapi juga mendukung prinsip pertanian berkelanjutan.

Studi kasus ini memperlihatkan bahwa transformasi digital dalam sektor pertanian tidak lagi menjadi hal yang eksklusif atau jauh dari jangkauan petani lokal. Dengan pelatihan dan akses teknologi yang memadai, petani baik skala besar maupun kecil dapat mengadopsi sistem cerdas yang mampu mengoptimalkan pemupukan dan menjaga kesehatan tanah secara simultan.

Strategi bijak dalam pemupukan merupakan pilar penting dalam membangun sistem pertanian yang tidak hanya berorientasi pada produktivitas jangka pendek, tetapi juga mempertimbangkan keberlanjutan jangka panjang. Pendekatan ini menuntut lebih dari sekadar pemberian pupuk; ia memerlukan pemahaman menyeluruh terhadap kebutuhan tanaman, kondisi tanah, serta dinamika ekosistem pertanian secara keseluruhan.

Melalui prinsip pemupukan berimbang, petani diajak untuk memberikan unsur hara sesuai dengan fase pertumbuhan tanaman dan karakteristik tanah secara tepat. Kombinasi pupuk organik dan anorganik juga terbukti menciptakan sinergi antara manfaat jangka pendek dan perbaikan kualitas tanah dalam jangka panjang. Teknik ini bukan saja meningkatkan hasil panen, tetapi juga memperkaya kehidupan mikroorganisme tanah dan memperkuat daya dukung agroekosistem.

Pemupukan yang disesuaikan dengan jenis tanaman menunjukkan bahwa tidak ada satu pendekatan yang cocok untuk semua. Setiap komoditas, baik tanaman pangan,

hortikultura, maupun perkebunan, memerlukan dosis dan jenis pupuk yang spesifik. Begitu pula dengan waktu dan dosis aplikasi yang harus dirancang dengan cermat agar efisiensi nutrisi tercapai, pencemaran bisa diminimalkan, dan tanaman dapat tumbuh optimal.

Berbagai studi kasus di berbagai daerah Indonesia menunjukkan bahwa keberhasilan pemupukan sangat dipengaruhi oleh tingkat pemahaman dan keterampilan petani. Praktik pemupukan yang cerdas dan tepat sasaran terbukti mampu menurunkan ketergantungan terhadap pupuk kimia, menekan biaya produksi, dan bahkan memanfaatkan limbah lokal menjadi sumber nutrisi baru bagi tanaman. Bahkan, adopsi teknologi IoT dalam sistem pemupukan mulai membuka jalan bagi pertanian presisi yang efisien dan ramah lingkungan.

Di tengah tantangan krisis ekologi, fluktuasi harga pupuk, dan ketidakpastian pangan, strategi pemupukan bijak bukan lagi pilihan, melainkan keharusan. Ia menjadi kunci transformasi menuju pertanian yang cerdas, mandiri, dan lestari pertanian yang berpijak pada ilmu pengetahuan, dijalankan dengan keterampilan, dan dipandu oleh kesadaran ekologis yang tinggi.

Cara Bijak Menggunakan Pupuk Organik Dan Anorganik Untuk Pertanian Berkelanjutan

BAB 6

INOVASI DAN MASA DEPAN PEMUPUKAN

Seiring meningkatnya tekanan terhadap lahan pertanian, degradasi tanah, krisis iklim global, dan tuntutan terhadap produktivitas pangan yang berkelanjutan, praktik pemupukan juga memasuki era transformasi besar-besaran. Pemupukan tidak lagi dipandang sebagai praktik teknis semata, tetapi telah beralih menjadi bagian integral dari strategi ketahanan pangan, perlindungan lingkungan, dan pembangunan berkelanjutan global.

Inovasi dalam bidang pemupukan membuka peluang revolusioner: dari pemanfaatan mikroorganisme hayati, pembuatan pupuk organik berbasis komunitas, hingga pemupukan presisi berbasis kecerdasan buatan. Namun inovasi teknologi saja tidak cukup. Diperlukan pula kerangka regulasi yang adaptif, perubahan cara pandang petani dan konsumen, serta sinergi antara ilmu pengetahuan dan kearifan lokal.

A. Pupuk Organik Cair, Kompos Modern, dan Biofertilizer

1. Pupuk Organik Cair (POC): Ramah, Murah, dan Berdaya Guna

Pupuk Organik Cair (POC) merupakan salah satu inovasi penting dalam dunia pertanian yang memperkuat konsep pertanian berkelanjutan, terutama di kalangan masyarakat akar

rumpuk. POC menjadi jembatan antara kebutuhan akan pertanian yang ramah lingkungan dan ketersediaan sumber daya lokal yang mudah diakses. Proses pembuatannya pun tergolong sederhana, yakni dengan memanfaatkan limbah organik dari rumah tangga, pertanian, maupun peternakan yang kemudian difermentasi menggunakan mikroorganisme efektif seperti EM4.

Kelebihan utama dari POC terletak pada kemudahan produksinya yang tidak membutuhkan teknologi rumit, serta biaya yang relatif rendah. Hal ini menjadikannya solusi ideal bagi petani skala kecil maupun penghobi tanaman di perkotaan. Selain itu, POC bersifat serbaguna, dapat digunakan untuk berbagai jenis tanaman, baik hortikultura, tanaman pangan, maupun tanaman hias.

Studi yang dilakukan oleh Sari et al. (2024) menunjukkan bahwa POC yang berbahan dasar limbah kulit pisang mengandung unsur hara makro dan mikro yang cukup memadai untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Unsur-unsur tersebut tidak hanya membantu mempercepat pertumbuhan vegetatif tanaman, tetapi juga memperkuat ketahanan tanaman terhadap serangan hama dan penyakit. Dengan demikian, POC tidak hanya berfungsi sebagai pemupuk, tetapi juga memiliki potensi sebagai pestisida alami.

Shafiyah et al. (2024) menyoroti manfaat ekologis dari penggunaan POC, khususnya yang berasal dari limbah rumah tangga. Menurut mereka, pengolahan limbah organik menjadi pupuk cair mampu mengurangi jumlah sampah yang dibuang ke lingkungan, sekaligus memberikan nilai tambah bagi masyarakat. Produktivitas kebun rumah tangga dapat meningkat secara signifikan tanpa ketergantungan pada pupuk

kimia yang mahal dan berdampak buruk bagi tanah dalam jangka panjang.

Dengan semua keunggulan tersebut, POC tidak lagi hanya dipandang sebagai pupuk alternatif. Ia telah berkembang menjadi solusi ekologis yang terpadu, menjawab tantangan pengelolaan sampah, peningkatan hasil pertanian, dan pelestarian lingkungan secara bersamaan. Inovasi ini memberi harapan besar bagi masa depan pertanian berkelanjutan yang lebih inklusif dan partisipatif.

Selain sebagai solusi ekologis, Pupuk Organik Cair (POC) juga memainkan peran penting dalam pemberdayaan komunitas, khususnya di tingkat akar rumput. Di berbagai desa, baik di wilayah pedesaan, pinggiran kota (suburban), maupun di kawasan urban farming yang semakin berkembang, POC telah menjadi alternatif nyata yang diandalkan oleh masyarakat tani. Ketersediaan bahan baku yang melimpah, seperti limbah dapur, sisa sayuran, limbah peternakan, dan dedaunan, membuat produksi POC dapat dilakukan secara mandiri tanpa harus bergantung pada bahan atau alat dari luar komunitas.

Produksi POC berbasis swadaya ini tidak hanya mendorong kemandirian ekonomi, tetapi juga memperkuat solidaritas sosial antarwarga. Kegiatan membuat pupuk bersama, berbagi teknik fermentasi, dan saling tukar hasil produksi menciptakan budaya gotong royong yang memperkuat ketahanan pangan lokal. Terlebih lagi, dalam situasi sulit seperti kelangkaan pupuk bersubsidi yang kerap terjadi, terutama menjelang musim tanam, POC menjadi jalan keluar yang sangat dibutuhkan oleh petani kecil. Mereka tidak lagi harus bergantung sepenuhnya pada pupuk kimia komersial

yang harganya terus meningkat dan distribusinya sering tidak merata.

Keberadaan POC juga memperluas cakrawala inovasi masyarakat dalam mengelola limbah. Komunitas-komunitas tani mulai aktif melakukan pelatihan pembuatan POC, bahkan menjual produk pupuk cair mereka ke pasar lokal sebagai tambahan sumber pendapatan. Dengan demikian, POC tidak hanya membantu menyuburkan tanah dan tanaman, tetapi juga menyuburkan potensi sosial-ekonomi masyarakat di sekitarnya.

2. Kompos Modern: Teknologi Tradisional dengan Wajah Baru

Kompos merupakan salah satu bentuk pupuk organik tertua yang telah digunakan manusia sejak ribuan tahun silam. Keberadaannya menjadi bukti bahwa pendekatan alami dalam pemupukan telah lama dikenal dan diandalkan untuk menjaga kesuburan tanah. Namun, seiring perkembangan zaman dan tantangan pertanian modern, kompos kini mengalami transformasi signifikan baik dari segi metode produksi, efisiensi waktu, hingga kualitas hasil akhirnya. Inovasi ini menempatkan kompos tidak lagi sekadar sebagai produk limbah terurai, melainkan sebagai bagian dari teknologi berkelanjutan yang mampu menjawab kebutuhan pertanian masa kini.

Salah satu inovasi menonjol datang dari Kirana et al. (2023), yang mengembangkan metode kompos cepat dengan menggunakan teknik ember tumpuk. Metode ini merupakan penggabungan antara proses fermentasi aerob (dengan oksigen) dan anaerob (tanpa oksigen), yang disusun dalam tahapan tertentu menggunakan wadah bertingkat. Pendekatan ini tidak hanya mempercepat proses dekomposisi bahan

organik, tetapi juga mengoptimalkan aktivitas mikroorganisme yang berperan dalam penguraian. Hasilnya, kompos dapat dipanen dalam waktu lebih singkat dibandingkan metode konvensional, tanpa mengorbankan kualitas unsur haranya.

Kompos yang dihasilkan dari teknik ini terbukti mampu mengembalikan unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), serta unsur mikro yang penting bagi pertumbuhan tanaman dalam jumlah yang seimbang. Lebih dari itu, penggunaan kompos modern juga berdampak langsung pada struktur tanah, terutama dalam meningkatkan porositas yakni kemampuan tanah dalam menyerap dan menyimpan air serta menyediakan ruang udara bagi akar tanaman. Porositas yang baik sangat penting untuk pertumbuhan akar yang sehat dan efisien dalam penyerapan nutrisi.

Dengan segala keunggulannya, kompos modern bukan lagi sekadar warisan pertanian tradisional, melainkan wajah baru dari teknologi hijau yang adaptif dan relevan di tengah krisis lingkungan dan degradasi lahan. Inovasi seperti ini membuka peluang luas bagi masyarakat untuk mengelola limbah organik secara produktif, meningkatkan hasil pertanian, sekaligus memperbaiki kualitas lingkungan secara berkelanjutan.

Kompos modern bukan lagi sekadar proses dekomposisi limbah organik menjadi bahan yang dapat digunakan kembali untuk menyuburkan tanah. Lebih dari itu, ia telah berkembang menjadi simbol dari ekonomi sirkular sebuah sistem di mana limbah dipandang sebagai sumber daya yang memiliki nilai tambah. Dalam konteks pertanian, ini sejalan dengan prinsip pertanian regeneratif, yang tidak hanya berfokus pada produksi

hasil tani, tetapi juga pada pemulihan dan peningkatan kualitas ekosistem tanah secara keseluruhan.

Penerapan teknologi kompos modern mendorong perubahan paradigma dari sistem pertanian yang linear mengambil, mengolah, dan membuang menjadi sistem yang melingkar, di mana hasil samping dari proses konsumsi dan produksi dikembalikan ke alam dalam bentuk yang bermanfaat. Dengan demikian, kompos modern menjadi salah satu pilar penting dalam membangun sistem pertanian yang berkelanjutan, efisien, dan minim limbah.

Menurut Suyadi et al. (2024), pembuatan pupuk kompos lokal dengan kontrol kualitas yang baik memiliki peran strategis dalam memperkuat kemandirian pangan, terutama di wilayah pedesaan dan daerah yang rentan terhadap krisis. Produksi kompos secara lokal tidak hanya menyediakan alternatif pupuk yang lebih terjangkau dan mudah diakses, tetapi juga mengurangi ketergantungan petani pada pupuk kimia dan input pertanian eksternal yang harganya fluktuatif dan ketersediaannya sering tidak menentu. Dengan demikian, petani dapat lebih leluasa dalam mengelola sumber daya mereka sendiri, menghemat biaya produksi, dan menjaga kesuburan tanah secara alami. Dalam jangka panjang, pendekatan ini tidak hanya meningkatkan ketahanan ekonomi rumah tangga petani, tetapi juga mendorong keberlanjutan sistem pertanian secara keseluruhan.

Lebih dari sekadar aspek teknis, kompos modern juga membawa dimensi sosial dan ekonomi. Kegiatan produksi kompos dapat memberdayakan masyarakat desa melalui pelatihan, pembentukan kelompok tani kompos, hingga peluang usaha mikro yang bernilai ekonomi. Dengan pendekatan yang tepat, pengembangan kompos lokal dapat

menjadi bagian dari strategi pembangunan desa yang berorientasi pada lingkungan dan kemandirian.

3. Biofertilizer: Revolusi Mikro dalam Sistem Pemupukan

Biofertilizer merupakan inovasi penting dalam sistem pemupukan modern yang memanfaatkan mikroorganisme hidup untuk meningkatkan kesuburan tanah secara alami dan berkelanjutan. Tidak seperti pupuk kimia yang langsung memberikan unsur hara dalam bentuk sintetis, biofertilizer bekerja melalui proses biologis, yakni dengan memperbaiki ekosistem mikroba tanah agar lebih aktif dan seimbang. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip pertanian berkelanjutan karena memperhatikan kesehatan tanah dalam jangka panjang.

Beberapa jenis mikroorganisme yang umum digunakan dalam biofertilizer antara lain *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Trichoderma*, dan *Mycorrhiza*. Masing-masing memiliki peran spesifik namun saling melengkapi dalam meningkatkan produktivitas tanaman. Misalnya, *Rhizobium* dan *Azotobacter* dikenal sebagai bakteri penambat nitrogen yang mampu mengikat nitrogen bebas dari udara dan mengubahnya menjadi bentuk yang dapat diserap oleh tanaman. Sementara itu, *Trichoderma* memiliki sifat antagonis terhadap patogen akar, sehingga membantu menekan serangan penyakit tanaman. Di sisi lain, *Mycorrhiza* membantu akar tanaman menyerap fosfor dan air secara lebih efisien, terutama pada tanah-tanah dengan kandungan unsur hara rendah.

Temuan dari Anggraini et al. (2022) menegaskan bahwa biofertilizer yang dikembangkan dari mikroorganisme lokal menunjukkan efektivitas tinggi dalam mempercepat pertumbuhan tanaman sekaligus meningkatkan ketahanannya

terhadap serangan patogen. Mikroba lokal memiliki keunggulan karena lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan spesifik di daerah tempat mereka berasal, sehingga kemampuan mereka dalam berinteraksi dengan tanah dan tanaman menjadi lebih maksimal. Adaptabilitas ini tidak hanya meningkatkan efisiensi penyerapan hara, tetapi juga memperkuat sistem imun alami tanaman. Oleh karena itu, penggunaan biofertilizer berbasis mikroorganisme lokal menjadi solusi tepat guna yang relevan untuk diterapkan di berbagai kondisi agroekologi, terma

Salah satu keunggulan utama biofertilizer adalah kemampuannya untuk merevitalisasi lahan marginal yakni lahan yang mengalami degradasi kesuburan akibat penggunaan pupuk kimia yang berlebihan atau pengolahan tanah yang tidak ramah lingkungan. Dengan memperbaiki struktur dan biologi tanah secara bertahap, biofertilizer memberikan peluang pemulihan jangka panjang, bahkan pada lahan yang telah dianggap rusak atau tidak layak tanam.

Dengan segala manfaatnya, biofertilizer menjadi simbol dari revolusi mikro dalam pertanian modern sebuah pendekatan cerdas yang mengandalkan kekuatan alam dalam skala mikroskopis untuk menghasilkan perubahan besar dalam sistem pertanian. Ke depan, pengembangan biofertilizer berbasis mikroba lokal bisa menjadi salah satu strategi kunci dalam mewujudkan sistem pemupukan yang berkelanjutan, efisien, dan ramah lingkungan.

Biofertilizer bukan sekadar alternatif ramah lingkungan dalam sistem pemupukan ia merupakan kunci penting dalam transisi menuju pertanian ekologis modern. Pendekatan ini menandai pergeseran paradigma dalam cara kita memperlakukan tanah. Dalam sistem pertanian konvensional,

tanah sering kali diposisikan hanya sebagai media tanam pasif, tempat akar tumbuh dan pupuk kimia diserap. Namun, melalui pendekatan biofertilizer, tanah dipahami sebagai entitas hidup yang memiliki dinamika biologis kompleks dan perlu dirawat secara holistik.

Pertanian ekologis modern menuntut lebih dari sekadar peningkatan hasil panen. Ia menekankan keseimbangan ekosistem, keberlanjutan sumber daya, serta hubungan yang harmonis antara manusia, tanaman, tanah, dan mikroorganisme. Dalam konteks ini, biofertilizer memegang peran sentral. Dengan mengaktifkan kembali kehidupan mikroba tanah, biofertilizer menciptakan lingkungan yang mendukung pertumbuhan tanaman secara alami dan berkelanjutan.

Mikroorganisme dalam biofertilizer tidak hanya membantu menyediakan nutrisi penting, tetapi juga menciptakan interaksi simbiotik yang menjaga stabilitas tanah, memperkuat sistem imun tanaman, dan meningkatkan ketersediaan air serta unsur hara. Ini adalah fondasi dari pertanian yang tidak hanya produktif, tetapi juga tangguh terhadap perubahan iklim dan degradasi lingkungan.

Dengan kata lain, penggunaan biofertilizer merupakan bentuk penghormatan terhadap tanah sebagai sumber kehidupan. Ia menolak eksploitasi jangka pendek dan mendorong regenerasi tanah secara alami. Inilah inti dari pertanian ekologis modern sebuah sistem yang tidak sekadar mengejar panen, tetapi juga merawat bumi untuk generasi mendatang.

B. Smart Farming dan Pemupukan Presisi

1. Pemupukan Presisi: Menyulam Teknologi dan Ketepatan

Memasuki era digital, dunia pertanian mengalami transformasi besar-besaran yang tak hanya mengandalkan keterampilan manual, tetapi juga kemampuan teknologi dalam membaca dan merespons kebutuhan tanaman secara presisi. Salah satu manifestasi utama dari revolusi ini adalah munculnya pemupukan presisi suatu pendekatan yang menyatukan ilmu agronomi, teknologi digital, dan manajemen data untuk mengoptimalkan pemupukan tanaman secara spasial (berdasarkan lokasi) dan temporal (berdasarkan waktu).

Dalam sistem ini, pupuk tidak lagi ditebar secara merata tanpa perhitungan. Sebaliknya, dosis dan waktu aplikasi pupuk ditentukan berdasarkan data yang dikumpulkan secara real-time dari sensor-sensor canggih di lapangan. Proses ini melibatkan teknologi seperti Internet of Things (IoT), sistem informasi geografis (GIS), serta algoritma berbasis kecerdasan buatan (AI) yang mampu mengolah data lingkungan, cuaca, dan kondisi tanah dengan tingkat akurasi tinggi. Pemupukan pun menjadi lebih efisien, hemat biaya, dan minim dampak lingkungan.

Menurut Iqbal (2024), salah satu contoh konkret dari penerapan teknologi pertanian presisi adalah penggunaan sistem monitoring berbasis *LoRa* (Long Range) yang terintegrasi dengan sensor nutrisi tanah. Sistem ini memungkinkan petani untuk memantau kondisi hara tanah secara real-time dengan jangkauan luas namun konsumsi daya rendah. Informasi yang diperoleh seperti kadar nitrogen, fosfor, kalium, serta kelembapan dan pH tanah memberikan dasar

ilmiah yang kuat bagi petani dalam menentukan waktu dan dosis pemupukan secara tepat. Dengan pendekatan ini, penggunaan pupuk menjadi lebih efisien, sekaligus mengurangi risiko *over-fertilizing* yang selama ini menjadi penyebab utama pencemaran lingkungan dan degradasi mikroorganisme tanah. Teknologi ini juga mendukung praktik pertanian yang adaptif terhadap perubahan iklim dan keterbatasan sumber daya, sehingga membuka jalan menuju sistem pertanian yang lebih berkelanjutan dan berbasis data.

Iqbal juga mencatat bahwa teknologi pemupukan presisi telah sukses diterapkan dalam sistem pertanian hidroponik, di mana kontrol terhadap nutrisi sangat krusial dan harus dilakukan dengan sangat cermat. Lebih menggembirakan lagi, teknologi ini kini mulai merambah ke pertanian lahan sempit, termasuk di kawasan urban farming dan sistem pertanian organik. Artinya, pemupukan presisi tidak hanya relevan bagi pertanian skala besar, tetapi juga menjangkau petani kecil dengan lahan terbatas yang ingin meningkatkan produktivitas secara berkelanjutan.

Dengan pendekatan berbasis data dan teknologi, pemupukan presisi membuka jalan menuju pertanian yang lebih efisien, produktif, dan ramah lingkungan. Ia menjadi jembatan antara sains dan praktik lapangan, menyulam teknologi dengan kearifan lokal dan kebutuhan spesifik setiap lahan. Dalam konteks ini, pemupukan presisi bukan hanya metode baru, melainkan representasi dari pertanian masa depan yang cerdas, adaptif, dan berwawasan ekologis.

Efisiensi yang ditawarkan oleh pemupukan presisi tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga menyentuh dimensi ekonomi dan etika lingkungan. Rachmawati (2020) menunjukkan bahwa

penerapan teknologi pemupukan presisi dapat menurunkan penggunaan pupuk hingga 40%, sebuah angka yang sangat signifikan jika diterapkan secara luas di sektor pertanian nasional. Penurunan ini tentu berdampak langsung pada penghematan biaya produksi bagi petani, yang selama ini dibebani oleh tingginya harga pupuk, terutama pupuk anorganik.

Namun, manfaatnya tidak berhenti pada sisi finansial. Pemupukan presisi juga terbukti meningkatkan efisiensi panen, karena nutrisi yang diberikan sesuai dengan kebutuhan tanaman dalam fase tumbuh tertentu. Hal ini menghasilkan tanaman yang lebih sehat, produktif, dan minim risiko kerusakan akibat over-fertilizing atau ketidakseimbangan unsur hara. Dengan kata lain, pertanian menjadi lebih presisi bukan hanya dalam cara bekerja, tapi juga dalam menghasilkan hasil panen yang optimal.

Pendekatan ini mencerminkan lahirnya etika ekologis baru dalam cara manusia memproduksi pangan. Dalam paradigma lama, produksi pangan cenderung dilakukan dengan pendekatan eksploitatif mengambil sebanyak-banyaknya dari tanah tanpa memperhitungkan dampaknya terhadap ekosistem. Namun, pemupukan presisi mengajarkan bahwa produktivitas tinggi tidak harus berarti merusak lingkungan. Justru dengan menakar kebutuhan tanaman secara tepat, kita menjaga kesuburan tanah, kualitas air, dan keberlangsungan ekosistem mikro di sekitarnya.

Etika ekologis ini sangat penting di tengah krisis lingkungan global dan meningkatnya tekanan terhadap sumber daya alam. Produksi pangan masa kini tidak bisa lagi hanya berorientasi pada kuantitas, melainkan harus mempertimbangkan jejak ekologis yang ditinggalkan dalam

setiap tahap produksi, termasuk dalam penggunaan pupuk. Dalam konteks ini, pemupukan presisi bukan hanya sekadar alat untuk meningkatkan efisiensi hasil panen, tetapi juga mencerminkan kesadaran kolektif bahwa sistem pertanian modern harus menjadi bagian dari solusi terhadap degradasi lingkungan, bukan justru memperburuknya. Pendekatan ini menempatkan pertanian dalam kerangka etis yang lebih luas, yaitu sebagai praktik yang menghormati keberlanjutan, keadilan antargenerasi, dan tanggung jawab manusia terhadap alam sebagai satu kesatuan yang saling bergantung.

2. Integrasi Data dan Otomatisasi

Dalam lanskap pertanian modern, integrasi teknologi digital seperti Artificial Intelligence (AI), drone, GPS, dan big data telah mengubah wajah pertanian tradisional menjadi sistem yang mampu belajar, beradaptasi, dan bertindak secara otomatis. Konsep ini merupakan inti dari smart farming, di mana data bukan hanya dikumpulkan, tetapi juga diolah secara cerdas untuk menghasilkan keputusan agronomis yang tepat waktu dan berbasis bukti.

Sistem kerja ini sangat terstruktur: sensor-sensor tanah membaca kadar unsur hara NPK, suhu, dan kelembaban tanah secara real-time. Data tersebut dikirim ke sistem pemrosesan berbasis AI yang menganalisis dan memprediksi kebutuhan tanaman pada saat tertentu. Selanjutnya, hasil analisis tersebut dikomunikasikan ke alat penyemprot cerdas seperti drone atau sistem irigasi terotomatisasi yang akan memberikan pupuk secara terukur dan tepat sasaran. Semua proses ini dapat berlangsung tanpa intervensi manual, mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja dan menghindari kesalahan akibat intuisi atau prakiraan kasar.

Menurut Syahbudin (2024), sistem ini bukan semata-mata representasi dari kemajuan teknologis, melainkan merupakan strategi krusial dalam meningkatkan efisiensi pertanian secara menyeluruh. Teknologi berbasis data memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam hal pemupukan, irigasi, dan perlindungan tanaman—faktor-faktor vital yang menentukan produktivitas dan keberlanjutan. Ketidaktepatan input, seperti kelebihan atau kekurangan pupuk selama fase kritis pertumbuhan tanaman, sering kali berujung pada penurunan hasil panen dan kerusakan lingkungan. Di sinilah teknologi otomatis berperan penting, dengan kemampuannya untuk memberikan respons presisi dan adaptif terhadap dinamika kondisi lapangan, sehingga risiko kegagalan panen dapat diminimalkan dan ketahanan pangan diperkuat secara berkelanjutan.

Namun, Syahbudin juga menegaskan bahwa di balik kemajuan teknologi tersebut, terdapat tantangan serius soal inklusivitas dan aksesibilitas. Teknologi pertanian berbasis AI dan data besar cenderung mahal dan memerlukan infrastruktur digital yang belum tentu tersedia di semua wilayah, terutama di daerah pedesaan, lahan sempit, atau komunitas adat. Oleh karena itu, perlu ada upaya kolektif dari pemerintah, lembaga riset, dan sektor swasta untuk membuat teknologi ini terjangkau, mudah digunakan, dan relevan bagi petani kecil yang menjadi tulang punggung ketahanan pangan nasional.

Tanpa adanya pendekatan yang inklusif, penerapan *smart farming* justru berisiko memperlebar kesenjangan digital antara petani skala besar dan kecil. Petani kecil, yang sering kali terbatas dalam hal akses terhadap infrastruktur digital, pelatihan teknis, serta dukungan finansial, bisa tertinggal dalam adopsi teknologi pertanian cerdas. Oleh

karena itu, integrasi data dan otomatisasi dalam pertanian tidak bisa berdiri sendiri harus disertai dengan kebijakan yang mendorong *demokratisasi teknologi*. Ini mencakup penyediaan pelatihan yang mudah diakses, subsidi teknologi bagi petani kecil, dan pembangunan infrastruktur digital di wilayah pedesaan. Dengan demikian, *smart farming* dapat benar-benar menjadi alat untuk meningkatkan kesejahteraan petani secara merata dan mendorong pertanian berkelanjutan yang adil bagi semua.



Gambar 6. 1 Smart Farming

3. Keadilan Digital dalam Pertanian

Kemajuan teknologi dalam dunia pertanian memang menawarkan efisiensi dan produktivitas yang belum pernah terjadi sebelumnya. Konsep smart farming yang berbasis data, sensor, dan otomatisasi menjanjikan sistem pertanian yang lebih cerdas, presisi, dan hemat sumber daya, baik air, pupuk, maupun tenaga kerja. Teknologi ini mampu memberikan informasi real-time yang memudahkan petani dalam

mengambil keputusan berbasis data, mulai dari pemupukan hingga irigasi. Namun, di balik semua janji-janji tersebut, tersembunyi sebuah risiko baru yang semakin relevan di era digital ini: ketimpangan digital. Ketika sebagian petani terutama di wilayah perkotaan atau daerah dengan infrastruktur digital memadai dapat mengakses dan memanfaatkan teknologi tersebut, sebagian besar petani kecil di daerah terpencil masih tertinggal karena keterbatasan akses terhadap jaringan internet, perangkat digital, maupun pelatihan teknis. Jika tidak segera diatasi, kesenjangan ini dapat memperdalam jurang antara petani maju dan petani marginal, dan pada akhirnya melemahkan tujuan utama pertanian berkelanjutan yang inklusif dan adil bagi semua.

Tidak semua petani memiliki akses yang sama terhadap infrastruktur, perangkat teknologi, maupun literasi digital. Banyak petani kecil, terutama di daerah terpencil atau komunitas adat, menghadapi hambatan besar dalam mengakses internet, perangkat pintar, atau bahkan listrik yang stabil. Dalam konteks ini, smart farming berpotensi memperlebar jurang antara petani yang "terhubung" dan yang "tertinggal". Ketimpangan ini tidak hanya berdampak pada hasil pertanian, tetapi juga pada posisi tawar petani dalam rantai pasok pangan.

Tanpa adanya kebijakan yang tegas dalam melindungi dan memberdayakan kelompok rentan, smart farming berpotensi menjadi wajah baru dari kapitalisasi teknologi, di mana informasi penting seperti data pertanian, sistem prediksi cuaca, hingga rekomendasi pemupukan dikendalikan oleh segelintir entitas besar—baik korporasi multinasional maupun platform teknologi terpusat. Dalam kondisi ini, terjadi risiko serius berupa “monopoli pengetahuan” yang bukan hanya

meminggirkan pengetahuan lokal dan praktik tradisional, tetapi juga mengurangi kedaulatan petani dalam menentukan arah budidaya mereka sendiri. Jika tidak diantisipasi, hal ini dapat menggeser posisi petani dari pengelola aktif menjadi pengguna pasif, yang bergantung sepenuhnya pada algoritma dan sistem yang mereka tidak pahami dan tidak kuasai.

Setiap inovasi dalam sektor pertanian digital harus selalu diiringi oleh kebijakan inklusif yang berpihak pada keadilan sosial agar tidak menciptakan kesenjangan baru antar kelompok petani. Pemerintah, akademisi, pelaku industri, dan organisasi masyarakat sipil perlu membangun kolaborasi lintas sektor yang kuat untuk memastikan bahwa akses terhadap teknologi pertanian bersifat merata dan tidak eksklusif hanya untuk petani bermodal besar atau wilayah tertentu. Pendekatan berbasis komunitas, pelatihan digital yang terarah dan berkelanjutan, subsidi perangkat dan akses data, hingga pembangunan infrastruktur digital yang menjangkau wilayah-wilayah tertinggal harus menjadi bagian integral dari strategi nasional dalam mendorong pertanian berbasis teknologi yang adil, partisipatif, dan berkelanjutan.

Keadilan digital dalam pertanian bukan hanya menyangkut distribusi perangkat keras atau ketersediaan jaringan internet, tetapi juga mencakup dimensi yang lebih dalam seperti hak atas data, transparansi dalam penggunaan algoritma, serta pelibatan aktif petani sebagai subjek utama, bukan sekadar objek pasif dalam arus inovasi pertanian. Tanpa prinsip-prinsip tersebut, transformasi ke arah smart farming justru berisiko memperdalam ketimpangan, di mana keuntungan digitalisasi hanya dinikmati oleh segelintir pihak dengan akses dan kontrol atas teknologi, sementara sebagian besar petani yang selama ini menjadi fondasi ketahanan pangan

nasional tertinggal dan kehilangan otonomi atas sistem produksi mereka sendiri.

C. Regulasi dan Tren Global Penggunaan Pupuk

1. Kebijakan Nasional: Peluang dan Tantangan

Upaya Indonesia dalam membangun sistem pertanian yang berkelanjutan tidak lepas dari kerangka regulasi yang telah ditetapkan pemerintah. Salah satu tonggak kebijakan penting dalam konteks ini adalah Peraturan Menteri Pertanian (Permentan) No. 64 Tahun 2013, yang mendorong pengembangan dan adopsi sistem pertanian organik secara nasional. Regulasi ini menggarisbawahi pentingnya penggunaan input ramah lingkungan, termasuk pupuk organik, sebagai bagian dari transformasi pertanian yang tidak hanya produktif tetapi juga berkelanjutan secara ekologis.

Meskipun kebijakan ini secara formal telah ada selama lebih dari satu dekade, implementasinya di lapangan masih terbatas dan belum merata di seluruh wilayah Indonesia, terutama di daerah-daerah dengan infrastruktur dan akses informasi yang minim. Menurut Hadian (2024), terdapat sejumlah kendala utama yang menghambat adopsi pertanian organik secara luas, di antaranya adalah keterbatasan jumlah dan kapasitas penyuluh pertanian yang memahami teknik budidaya organik secara komprehensif, rendahnya insentif ekonomi dan dukungan logistik bagi petani yang beralih ke sistem pertanian organik, serta lemahnya kontrol dan pengawasan terhadap pasar produk organik yang menyebabkan ketidakpastian harga dan akses pasar. Akibatnya, banyak petani yang merasa tidak cukup terdorong, baik dari sisi ekonomi,

teknis, maupun jaminan pemasaran, untuk meninggalkan sistem pertanian konvensional yang sudah lama mereka kenal, lebih instan dari segi hasil, dan lebih mapan dari sisi distribusi input serta jaringan pasar.

Regulasi terkait pupuk bersubsidi juga masih menyisakan berbagai persoalan yang berdampak langsung pada keberlanjutan sistem pertanian nasional. Sujatmiko & Nurbaedah (2025) menyoroti adanya ketimpangan dalam distribusi pupuk bersubsidi, di mana petani di daerah terpencil kerap mengalami kesulitan dalam mengakses pupuk tersebut, meskipun mereka memiliki potensi besar dalam mengembangkan pertanian lokal yang berkelanjutan. Ketidakmerataan akses ini tidak hanya menciptakan ketimpangan struktural antar wilayah, tetapi juga mendorong ketergantungan berlebihan pada pupuk kimia yang belum tentu sesuai dengan kondisi agroekologi setempat. Akibatnya, petani kecil yang berada jauh dari pusat distribusi atau tidak memiliki jaringan informasi yang kuat menjadi kelompok yang paling dirugikan, baik secara ekonomi maupun ekologis, sehingga perlu adanya reformasi sistem distribusi yang lebih adil, transparan, dan berbasis kebutuhan riil lapangan.

Situasi ini menunjukkan bahwa kebijakan pupuk di Indonesia masih cenderung terpusat pada model industri besar dan pola distribusi top-down, yang belum sepenuhnya memfasilitasi diversifikasi sumber nutrisi yang berasal dari potensi lokal dan teknologi alternatif seperti kompos, pupuk organik cair, dan biofertilizer. Ketimpangan ini menghambat inisiatif akar rumput yang sebenarnya mampu menyediakan solusi yang lebih kontekstual dan berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan reformasi kebijakan yang lebih menyeluruh, yang tidak hanya mengatur soal subsidi atau distribusi pupuk

kimia, tetapi juga memberikan dukungan struktural terhadap pengembangan dan standarisasi pupuk alternatif berbasis lokal. Di samping itu, penting pula membangun sistem pasar yang adil, inklusif, dan transparan untuk menampung serta menghargai produk-produk hasil pertanian berkelanjutan, agar ekosistem pertanian yang ramah lingkungan dapat tumbuh dan bersaing secara sehat di tingkat nasional maupun global.

Kebijakan pupuk di masa depan perlu mendorong pendekatan yang holistik dan adaptif, dengan mempertimbangkan keragaman agroekologi Indonesia yang sangat luas, mulai dari karakteristik tanah, iklim mikro, hingga sistem budidaya yang berbeda-beda di setiap wilayah. Selain itu, kebijakan tersebut harus mampu mengakui dan memberdayakan potensi komunitas lokal dalam mengelola sumber daya alam secara bijak, termasuk pengetahuan tradisional dan praktik pertanian yang telah terbukti lestari. Pendekatan ini tidak hanya akan meningkatkan efektivitas penggunaan pupuk, tetapi juga memperkuat kemandirian petani dan menjaga keseimbangan ekosistem. Dengan demikian, pertanian berkelanjutan tidak hanya berhenti sebagai retorika kebijakan atau jargon pembangunan, melainkan benar-benar terwujud dalam praktik nyata dan menjadi bagian integral dari kehidupan petani sehari-hari.

2. Tren Global: Transisi Ekologis dalam Sistem Pangan

Dalam beberapa dekade terakhir, dunia mulai menyadari bahwa sistem pangan konvensional berbasis input kimia intensif memiliki dampak lingkungan yang sangat besar, mulai dari degradasi tanah, pencemaran air, hingga emisi gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap krisis iklim. Karena itu, secara global sedang terjadi pergeseran paradigma dalam

sistem pemupukan dari pendekatan berbasis kimia menuju pendekatan agroekologis dan rendah karbon.

Negara-negara maju seperti Uni Eropa, Kanada, dan Jepang telah mengambil langkah konkret dalam mendorong transisi ini. Mereka tidak hanya menetapkan batas maksimum residu pupuk dalam hasil pertanian, tetapi juga memberikan insentif dan dukungan regulatif bagi petani yang beralih ke pupuk organik bersertifikat. Di Eropa, strategi ambisius seperti EU Green Deal bahkan menargetkan bahwa 25% dari total lahan pertanian di wilayah Uni Eropa harus dikelola secara organik pada tahun 2030. Target ini tidak hanya bertujuan menjaga lingkungan, tetapi juga menciptakan sistem pangan yang lebih adil, berkelanjutan, dan resilien terhadap gangguan eksternal.

Pendekatan ini memposisikan pertanian tidak lagi semata sebagai alat produksi pangan, melainkan sebagai komponen penting dalam strategi global untuk menghadapi krisis iklim dan ancaman kerawanan pangan. Bahari et al. (2025) menegaskan bahwa pertanian berkelanjutan, terutama melalui praktik pemupukan yang ramah lingkungan, memiliki peran strategis dalam mitigasi perubahan iklim karena mengedepankan efisiensi penggunaan nutrisi, konservasi karbon di dalam tanah, serta mendorong peningkatan keanekaragaman hayati yang menjadi penyangga sistem ekologi. Dengan kata lain, setiap gram pupuk yang diaplikasikan tidak hanya berfungsi sebagai penunjang produktivitas tanaman, tetapi juga sebagai elemen penting dalam kalkulasi ekologis global untuk menjaga keseimbangan lingkungan dan keberlangsungan hidup berbagai makhluk di Bumi secara berkelanjutan.

Transisi ekologis ini juga menandai perubahan besar dalam cara kita memahami tanggung jawab kolektif terhadap pangan dan lingkungan. Tidak hanya petani yang dituntut untuk beradaptasi dan mengubah praktiknya, tetapi juga konsumen, regulator, pelaku pasar, dan industri pertanian secara keseluruhan perlu mengambil peran aktif dalam mendorong transformasi ini. Kesadaran akan jejak karbon dari setiap input pertanian, termasuk pupuk, kini menjadi bagian integral dari kebijakan pangan berkelanjutan di tingkat global, yang menekankan pentingnya mengurangi emisi, memperbaiki rantai pasok, serta memastikan bahwa produksi dan konsumsi pangan berlangsung dalam batas daya dukung bumi.

Oleh sebab itu, Indonesia sebagai bagian dari komunitas global tidak dapat menghindari arus transisi ini. Untuk tetap relevan dan kompetitif dalam pasar global yang semakin menuntut standar keberlanjutan, sistem pemupukan di Indonesia juga perlu mengadopsi prinsip-prinsip ekologis secara menyeluruh. Langkah ini tidak hanya didorong oleh tekanan eksternal seperti regulasi ekspor atau permintaan konsumen internasional, tetapi juga oleh kebutuhan internal yang mendesak untuk melindungi kualitas tanah, ketersediaan air, serta menjaga kesejahteraan generasi petani masa depan dari ancaman degradasi lingkungan yang kian memburuk. Dengan demikian, transformasi sistem pemupukan menjadi bagian penting dari strategi nasional menuju pertanian yang berketahanan, adil, dan berwawasan lingkungan.

3. Arah Masa Depan: Sistem Pupuk yang Adil dan Demokratis

Menuju masa depan pertanian yang berkelanjutan tidak cukup hanya dengan memperkuat inovasi teknologi atau memperluas penggunaan alat canggih dalam proses pemupukan. Yang lebih

mendesak adalah membangun sistem pemupukan yang adil, inklusif, dan regeneratif, yaitu sistem yang tidak hanya efisien dari sisi teknis dan produktivitas, tetapi juga memanusiakan petani sebagai aktor utama pertanian, memperkuat peran serta dan ketahanan komunitas lokal dalam mengelola sumber daya, serta menjaga keseimbangan ekologis yang menjadi fondasi bagi kelangsungan produksi pangan jangka panjang. Pendekatan ini menempatkan pertanian sebagai bagian dari sistem sosial-ekologi yang saling terkait, di mana kesejahteraan manusia dan kesehatan lingkungan berjalan beriringan sebagai satu kesatuan yang tak terpisahkan.

Masa depan pemupukan tidak boleh didominasi oleh segelintir pihak yang menguasai sumber daya, teknologi, dan pasar. Sebaliknya, sistem pemupukan yang ideal adalah sistem yang demokratis secara pengetahuan dan distribusi manfaat. Ini berarti memberikan akses yang setara kepada seluruh petani terutama petani kecil dan komunitas adat terhadap informasi, pelatihan, teknologi sederhana, serta pasar yang adil. Pemberdayaan komunitas lokal dalam hal ini menjadi pondasi utama agar transformasi pertanian tidak menciptakan ketimpangan baru di tengah janji efisiensi.

Menurut Suyadi et al. (2024), salah satu pendekatan yang dinilai efektif untuk mewujudkan sistem pemupukan yang lebih adil dan berkelanjutan adalah dengan mengembangkan model produksi pupuk organik berbasis komunitas desa. Pendekatan ini menitikberatkan pada keterlibatan aktif masyarakat lokal dalam seluruh tahapan produksi, mulai dari pengumpulan bahan baku organik yang tersedia di sekitar lingkungan, proses fermentasi atau pengomposan yang ramah lingkungan, hingga tahap akhir berupa pengemasan dan distribusi pupuk. Keberhasilan model ini sangat bergantung pada dukungan

program pelatihan yang terarah dan berkelanjutan, pemanfaatan teknologi yang sederhana dan terjangkau, serta tersedianya akses pasar yang menjamin nilai ekonomi yang layak bagi produk pupuk organik yang dihasilkan, sehingga tidak hanya mendukung ketahanan pangan lokal, tetapi juga memperkuat kemandirian ekonomi desa.

Pendekatan semacam ini tidak hanya menumbuhkan kemandirian komunitas, tetapi juga menciptakan rantai pasok yang pendek dan efisien, memperkuat ketahanan pangan lokal, serta mengurangi ketergantungan pada input industri yang harganya fluktuatif dan aksesnya seringkali tidak merata, terutama di wilayah terpencil. Lebih dari itu, sistem ini turut mendorong penguatan kapasitas sosial dan ekonomi desa melalui pemberdayaan masyarakat dalam seluruh proses produksi hingga distribusi. Dengan terlibatnya banyak pihak di tingkat lokal, terbuka peluang terciptanya lapangan kerja baru, peningkatan literasi agrikultur, dan terbentuknya solidaritas sosial yang lebih kuat dalam pengelolaan sumber daya agrikultur yang berkelanjutan dan berkeadilan.

Akhirnya, visi masa depan pertanian dan sistem pemupukan tidak lagi cukup jika hanya berorientasi pada produktivitas atau keuntungan ekonomi semata. Lebih dari itu, ia harus menjadi harmoni antara kemajuan sains dan nilai-nilai kemanusiaan sebuah pendekatan yang tidak hanya mengandalkan efisiensi, tetapi juga menempatkan keberlanjutan dan keadilan ekologis sebagai fondasi. Seperti yang disampaikan oleh Suyadi et al. (2024), masa depan pertanian yang berkelanjutan adalah masa depan yang *berakar di bumi, bertumpu pada sains, dan bernafas dengan nilai-nilai kemanusiaan*. Ini adalah panggilan untuk menciptakan sistem yang bukan hanya memberi makan dunia, tetapi juga merawat

Cara Bijak Menggunakan Pupuk Organik Dan Anorganik Untuk Pertanian Berkelanjutan

tanah tempat kita berpijak dan memuliakan seluruh kehidupan yang bergantung padanya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, N. I. W., Endnur, N., Nurfia, S., Setianingsih, S., Sholihah, U. N. A., Hendraswari, V. R., ... & Al Wafi, M. F. (2024). Sosialisasi dan Pelatihan Pemanfaatan Biosaka sebagai Alternatif untuk Meminimalisir Penggunaan Pupuk Anorganik pada Pertanian Berkelanjutan. *NAJWA: Jurnal Pengabdian dan Pemberdayaan Masyarakat*, 2(1), 71-83.
- Aji, G. B., Wangsit, S., & Ningrum, V. (2019). Reorientasi kebijakan pertanian organik sesudah “Go Organik 2010” dan program “Seribu Desa Pertanian Organik” di Indonesia.
- Anggara, M. R., Ibrahim, J. T., & Mazwan, M. Z. (2024, September). Analisis Faktor-Faktor Yang Memengaruhi Keputusan Pembelian Pupuk Anorganik (Kasus: Desa Srimulyo Dan Sukodono, Kecamatan Dampit). In *Forum Agribisnis: Agribusiness Forum* (Vol. 14, No. 2, pp. 73-85).
- Anggraini, S., Paulina, M., Siaga, E., Lumbantoruan, S. M., Az-Azahra, R. C., & Septiani, A. (2022). Efikasi Mikroorganisme Lokal Limbah Organik sebagai Biofertilizer Alternatif dalam Memacu Pertumbuhan Tanaman. *Jurnal Ilmiah Inovasi*, 22(2), 148-154.
- Apriliandis, A. N., Rasyid, R., & Adam, A. M. T. (2022). Pengaruh Karakteristik Petani Terhadap Tingkat Adopsi Pemupukan Berimbang Pada Usahatani Jagung: Studi Kasus Petani Jagung di Desa Watangpanua, Kecamatan

- Angkona, Kabupaten Luwu Timur. *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, 22(3), 551-561.
- Bahari, D. I., Lubis, M. M., Apriyanti, E., Affandi, M. R., & Perlambang, R. (2025). Analisis Pengaruh Pertanian Berkelanjutan terhadap Ketahanan Pangan di Daerah Perdesaan. *Jurnal Kolaboratif Sains*, 8(2), 1231-1238.
- Bahramisharif, A., & Rose, L. E. (2019). Efficacy of biological agents and compost on growth and resistance of tomatoes to late blight. *Planta*, 249, 799-813.
- Bertham, Y. H., Gonggo, B., & Utami, K. (2022). Peningkatan pengetahuan masyarakat dalam pemberian pupuk organik dan anorganik untuk produktivitas tanaman. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 6(4), 2961-2972.
- Brand, C. J. (1945). Some fertilizer history connected with World War I. *Agricultural History*, 19(2), 104-113.
- Curtis, H. A. (1923). Fertilizers: The world supply. *Foreign Aff.*, 2, 436.
- Dauda, S. N., Ajayi, F. A., & Ndor, E. (2009). Growth and yield of water melon (*Citrullus lanatus*) as affected by poultry manure application. *Electronic journal of environmental, agricultural and food chemistry*, 8(4), 305-311.
- Della Ardila, D. (2021, September). Pengaruh Pemberian Berbagai Jenis Pupuk terhadap Pertumbuhan Tanaman Bayam Cabut (*Amaranthus tricolor* L.) di Kampung Adibaboi, Kelurahan Pasir Putih, Distrik Manokwari Timur, Kabupaten Manokwari, Provinsi Papua Barat.

- In *Prosiding Seminar Nasional Pembangunan dan Pendidikan Vokasi Pertanian* (Vol. 2, No. 1, pp. 343-354).
- Diana, S., Yulhasmir, A. W., Ariansyah, Y., & Pratama, A. C. (2021). Karakteristik Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Utama dan Padi Ratus Varietas Inpari 29 Pada Perlakuan Pupuk N, P dan K. *Jurnal Ilmiah Fakultas Pertanian Vol*, 3(1).
- Diansyah, A. (2017). Respons pertumbuhan dan produksi tanaman cabai keriting (*Capsicum annum* L.) terhadap aplikasi pupuk kompos dan pupuk anorganik di polibag. *Jurnal Hortikultura Indonesia (JHI)*, 8(3), 203-208.
- Dittmar, H., Drach, M., Vosskamp, R., Trenkel, M. E., Gutser, R., & Steffens, G. (2000). Fertilizers, 2. types. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*.
- Ekawati, I. (2019, December). Smart farming: Teknologi PGPR untuk keberlanjutan pertanian lahan kering. In *Prosiding: Seminar Nasional Ekonomi dan Teknologi* (pp. 615-622).
- Fikri, U. (2014). Pengaruh penggunaan pupuk terhadap kualitas air tanah di lahan pertanian kawasan Rawa Rasau Jaya III, Kab. Kubu Raya. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 2(1).
- Gemasih, M. I. S., & Rahmadani, A. (2016). Jenis Jenis Pupuk Dan Industri Pupuk Yang Berada Di Indonesia.
- Guertal, E. A., & Green, B. D. (2012). Evaluation of organic fertilizer sources for south-eastern (USA) turfgrass maintenance. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 62(sup1), 130-138.

- Hadian, A. (2024). *Implementasi Kebijakan Permentan Nomor 64 Tahun 2013 tentang Sistem Pertanian Organik pada Dinas Ketahanan Pangan, Tanaman Pangan dan Hortikultura Provinsi Sumatera Utara* (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area).
- Haloho, A. U. (2021). *Pengaruh Pemberian Kompos Ampas Tebu dan POC Limbah Buah Jambu Biji terhadap Pertumbuhan dan Produksi Jagung Manis (Zea Mays Saccherate Start)* (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area).
- Hardiyanti, R. A., Hamzah, H., & Andriani, A. (2022). PENGARUH PEMBERIAN PUPUK NPK TERHADAP PERTAMBAHAN BIBIT MERBAU DARAT (Intsia palembanica) DI PEMBIBITAN: The effect of NPK fertilizer on the growth of merbau land (Intsia palembanica) seedlings in nursery. *Jurnal Silva Tropika*, 6(1), 15-22.
- Hartatik, W., Husnain, H., & Widowati, L. R. (2015). Peranan pupuk organik dalam peningkatan produktivitas tanah dan tanaman. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 9(2), 140352.
- Hillel, D. (2007). *Soil in the environment: crucible of terrestrial life*. Elsevier.
- Ina, F. T., Suwasono, S., & Rofiatin, U. (2022). Upaya penyuluhan dalam penggunaan pupuk berimbang pada tanaman cabai merah di kelompok tani Tri Rejeki. *Jurnal OPTIMA*, 6(2), 82-93.
- Iqbal, M. (2024). Implementasi IoT untuk Pemantauan Nutrisi Ab Mix Berbasis LoRa untuk Optimalisasi Pemupukan Presisi pada Pertanian Modern.

- Ir Suardi Bakri, M. P. (2019). *Reforma Agraria dan Dinamika Pergeseran Pola Penguasaan Lahan Sawah di Indonesia*. Bukuta CIpta Litera.
- Istina, I. N. (2016). Peningkatan produksi bawang merah melalui teknik pemupukan NPK. *Jurnal Agro*, 3(1), 36-42.
- Kesuma, M. S., Puspitojati, E., & Nurlela, S. (2022). Peningkatan Perilaku Petani Dalam Pemupukan Berimbang Dengan Prinsip Empat Tepat Pada Budidaya Padi Sawah (*Oryza Sativa* L) di Kalurahan Kalitirto Kapanewon Berbah Kabupaten Sleman. *Journal Pengabdian Masyarakat Indonesia*, 2(5), 587595.
- Kirana, D. S., Wahyuni, R. W., Munawar, A., Partoyo, P., & Virgawati, S. (2023). Dinamika Unsur Hara Makro dan Mikro pada Proses Pembuatan Pupuk Organik Dari Limbah Sayur dan Buah Pasar Tradisional dengan Teknik Ember Tumpuk. *Jurnal Tanah Dan Air (Soil and Water Journal)*, 20(2), 64-75.
- M ALDO, I. F. (2022). *Studi Awal Pengembangan Modul Pembuatan Pupuk Organik* (Doctoral dissertation, UIN RADEN INTAN LAMPUNG).
- Mansyur, N. I., Pudjiwati, E. H., & Murtilaksono, A. (2021). *Pupuk dan pemupukan*. Syiah Kuala University Press.
- Masters, G. M., & Wendell, P. E. (1991). *Introduction to environmental science and engineering*. Prentice Hall.
- Mayrowani, H. (2012). Pengembangan pertanian organik di Indonesia. In *Forum penelitian agro ekonomi* (Vol. 30, No. 2, pp. 91-108).

- Meilani, I. A., Asih, E., Auliatusahra, E., Darillia, R. N., Afifah, K. N., Dewi, E. R. S., & Nurwahyunani, A. (2023). Potensi penggunaan ecoenzim terhadap lingkungan pada bidang pertanian. *Cross-border*, 6(2), 1134-1145.
- Melati, N. K., & Wijayati, P. D. (2023). SOSIALISASI PEMUPUKAN BERIMBANG di DESA SUKOMULYO. *KARYA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(1), 356-360.
- Morel, P., & Guillemain, G. (2004). Assessment of the possible phytotoxicity of a substrate using an easy and representative biotest. *Acta Horticulturae*, 417-424.
- Mulyani, S., Hartati, P., & Puspitojati, E. (2023). Adopsi Teknologi Pengelolaan Tanaman Terpadu Padi Sawah Oleh Petani (Studi Kasus Petani Desa Tumiyang Kecamatan Pekuncen Kabupaten Banyumas). *Agrimas: Jurnal Pengabdian Masyarakat Bidang Pertanian*, 2(2), 51-55.
- Niassy, S., Diarra, K., Niang, Y., Niang, S., & Pfeifer, H. R. (2010). Effect of organic fertilizers on the susceptibility of tomato *Lycopersicon esculentum*: Solanaceae to *Helicoverpa armigera* Lepidoptera: Noctuidae in the Niayes area Senegal.
- Pahlepi, R., Dewi, A. S., Gaol, R. A. L., Kuswarak, K., Ahiruddin, A., Muzahit, Z., ... & Awalani, I. (2023). Upaya Mengurangi Penggunaan Pupuk Kimia Melalui Penyuluhan Pentingnya Penggunaan Pupuk Organik Bagi Kelompok Wanita Tani (Kwt) Mekar Jaya, Tanggamus. *Jurnal Abdi Masyarakat Saburai (JAMS)*, 4(02), 163-171.

- Panggabean, E. L. (2019). *Pemanfaatan Pupuk Organik Cair dari Kolam Limbah Kelapa Sawit dan Pupuk Hayati Biofertilizer pada Bibit Kelapa Sawit (Elaeis guinensis Jacq) Umur 3 Sampai 8 Bulan di Main Nuresery* (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area).
- Penhallegon, R. (2003). Nitrogen-phosphorus-potassium values of organic fertilizers. *Oregon State University, Extension Service*.
- Prasetyo, W., Santoso, M., & Wardiyati, T. (2013). Pengaruh beberapa macam kombinasi pupuk organik dan anorganik terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung manis (*Zea Mays Saccharata Sturt*). *Jurnal Produksi Tanaman*, 1(3), 79-86.
- Purwantini, T. B. (2019). Pertanian organik: Konsep, kinerja, prospek, dan kendala. In *Forum Penelitian Agro Ekonomi* (Vol. 37, No. 2, pp. 127-142).
- Rachmawati, R. R. (2020). Smart farming 4.0 untuk mewujudkan pertanian Indonesia maju, mandiri, dan modern. In *Forum Penelitian Agro Ekonomi* (Vol. 38, No. 2, pp. 137-154).
- Rahmatika, W. (2013). Pengaruh Dosis Pupuk Anorganik NPK Mutiara dan Cara Aplikasi Pemupukan Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Mentimun (*Cucumis sativus L.*) Varietas Harmony. *Varietas Harmony*, 11(2), 52-55.
- Rika, M. A. (2022). *Kajian Unsur Hara Makro Dan Mikro Pada Pertumbuhan Tanaman* (Doctoral dissertation, UIN Raden Intan Lampung).

- Roidah, I. S. (2013). Manfaat penggunaan pupuk organik untuk kesuburan tanah. *Jurnal Bonorowo*, 1(1), 30-43.
- Roni, N. G. K., & Lindawati, S. A. (2020). Pertumbuhan Tanaman Kacang Pinto (*Arachis Pintoi*) Yang Diberi Berbagai Jenis Dan Dosis Pupuk Anorganik Dan Organik. *Majalah Ilmiah Peternakan*, 23(3), 133-138.
- Rosniawaty, S., Sudirja, R., Ariyanti, M., Anjarsari, I. R. D., Sholeh, M. A., & Fitria, S. (2019). Pengaruh cara aplikasi pupuk anorganik terhadap pertumbuhan bibit kakao kultivar Sulawesi 1. *Agrosintesa Jurnal Ilmu Budidaya Pertanian*, 2(2), 71-76.
- Sari, D. K., Werena, R. D., Anwar, H., Mayasari, R., & Djana, M. (2024). Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Menjadi Pupuk Organik Cair Anti Hama Dengan Penambahan EM-4. *MESTAKA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(3), 274-278.
- Shafiyah, S. S., Pratama, A., Sari, B. A. S. P., Gautama, A. S., & Kartika, D. S. Y. (2024). Strategi Desa Ramah Lingkungan: Pemanfaatan Limbah Rumah Tangga Sebagai Pupuk Organik Cair. *Jurnal Akademik Pengabdian Masyarakat*, 2(5), 200-204.
- Simanungkalit, R. D. M., Suriadikarta, D. A., Saraswati, R., Setyorini, D., & Hartatik, W. (2006). Pupuk organik dan pupuk hayati. *Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor*, 312.
- Sujatmiko, I. A., & Nurbaedah, N. (2025). Perlindungan Hukum Kepada Petani Sebagai Konsumen Pengguna Pupuk Bersubsidi Berdasarkan Undang-Undang No 19 Tahun 2013 Tentang Perlindungan Dan Pemberdayaan Petani Di

- Kecamatan Badas Kabupaten Kediri. *Mizan: Jurnal Ilmu Hukum*, 14(1 in press), 116-127.
- Sulaeman, Y., & Erfandi, D. (2017). Pengaruh kombinasi pupuk organik dan anorganik terhadap sifat kimia tanah, dan hasil tanaman jagung di lahan kering masam. *Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian*, 20(1), 1-12.
- Suryati, S. (2019). Pemanfaatan limbah air kelapa sebagai pupuk organik cair. In *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe* (Vol. 3, No. 1).
- Susi, N., Surtinah, S., & Rizal, M. (2018). Pengujian kandungan unsur hara pupuk organik cair (POC) limbah kulit nenas. *Fakultas Pertanian, Universitas Lancang Kuning*, 14(2), 46-51.
- Suyadi, S., Ardiarini, N. R., Kurniawan, A., & Arifin, A. G. (2024). Pembuatan Pupuk Organik Sebagai Upaya Dalam Mendukung Pertanian Berlanjut Untuk Kemandirian Pangan. *AGROINOTEK*, 5(2), 85-92.
- Syahbudin, W. (2024). Aplikasi Teknologi Pertanian Cerdas (Smart Farming) dalam Meningkatkan Efisiensi Produksi Pertanian. *literacy notes*, 2(1).
- Von Liebig, J. F. (1843). *Chemistry in its application to agriculture and physiology*. JM Campbell.
- Whalen, J. K., Chang, C., Clayton, G. W., & Carefoot, J. P. (2000). Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Science Society of America Journal*, 64(3), 962-966.

- Widowati, L. R., Hartatik, W., Setyorini, D., & Trisnawati, Y. (2022). Pupuk Organik Dibuatnya Mudah, Hasil Tanam Melimpah. *Kementerian Pertanian Republik Indonesia*.
- Wirayuda, B. (2019). *Pengaruh pemberian pupuk organik dan pupuk anorganik terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung manis (Zea mays L. var. saccharata)* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Yuriansyah, Y., Dulbari, D., Sutrisno, H., & Maksun, A. (2020). Pertanian organik sebagai salah satu konsep pertanian berkelanjutan. *PengabdianMu: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(2), 127-132.
- Zebua, T., Gulo, S. M., & Gulo, S. S. (2025). Pengaruh Pupuk Organik Terhadap Pertumbuhan Tanaman dan Kualitas Tanah. *Flora: Jurnal Kajian Ilmu Pertanian dan Perkebunan*, 2(1), 208-213.

BIODATA PENULIS



Prof. Dr. Ir. Elli Afrida, M.P

Penulis merupakan dosen pada LLDIKTI Wilayah I SUMUT DPK Universitas Medan Area pada program Studi Agroteknologi dengan cabang/rumpun Ilmu Tanah.

Penulis lahir di Medan pada 1 Februari 1964. Pada TAHUN 1998 menyelesaikan program Magister pada bidang Ilmu Tanah di Universitas Sumatera Utara. Pada tahun 2015 menyelesaikan program Doktor pada bidang Ilmu Pertanian dengan konsentrasi ilmu Kesuburan Tanah di Universitas Sumatera Utara. Penulis memperoleh gelar jabatan akademik Guru Besar pada bidang Kesuburan Tanah pada tahun 2022.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail:
elliafrida@staff.uma.ac.id

=====000=====