

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA, KERANGKA PEMIKIRAN DAN HIPOTESIS

2.1 Tinjauan pustaka

2.1.1 Pupuk dan pemupukan

Menurut Kurniawan (2017), pupuk adalah bahan yang ditambahkan ke tanah atau tanaman untuk meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman dan meningkatkan pertumbuhan dan hasil panen. Pupuk mengandung berbagai macam nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman, seperti nitrogen, fosfor, kalium, sulfur, dan unsur mikro lainnya. Menurut Bell (2018), pupuk adalah bahan yang ditambahkan ke tanah atau tanaman untuk memperbaiki kesuburan tanah dan memberikan nutrisi yang diperlukan bagi pertumbuhan tanaman. Pupuk menjadi sarana penting dalam budidaya tanaman untuk meningkatkan produktivitas baik kuantitas maupun kualitasnya. Pemupukan yang tepat dan dalam dosis yang sesuai dapat membantu tanaman tumbuh dengan baik dan memperoleh hasil panen yang optimal. Jenis-jenis pupuk yang umum digunakan meliputi pupuk organik, pupuk anorganik, dan pupuk hayati.

Pupuk anorganik dan pupuk organik memiliki perbedaan dalam komposisi, sumber bahan baku, dan cara kerjanya pada tanaman. Pupuk anorganik mengandung nutrisi utama seperti nitrogen, fosfor, dan kalium dalam bentuk yang mudah diserap oleh tanaman. Sedangkan pupuk organik adalah pupuk yang berasal dari bahan-bahan organik seperti kompos, pupuk kandang, limbah pertanian, atau limbah makanan yang diuraikan oleh mikroorganisme menjadi unsur hara yang mudah diserap oleh tanaman dan mengandung nutrisi yang lebih kompleks, termasuk nutrisi mikro seperti besi, tembaga, dan seng. Bahan baku pupuk anorganik diperoleh dari bahan-bahan kimia sintetis. Sementara itu, bahan baku pupuk organik berasal dari limbah organik, seperti limbah ternak, limbah pertanian, atau limbah makanan. Pupuk anorganik bekerja dengan memberikan nutrisi langsung pada tanaman dan meningkatkan pertumbuhan dan produksi. Pupuk

organik bekerja dengan cara meningkatkan kesuburan tanah dan keberadaan mikroba yang menguntungkan bagi tanaman. Hal ini dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman dalam jangka panjang dan memberikan manfaat tambahan bagi kesuburan tanah.

Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kedua jenis pupuk memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pupuk anorganik lebih cepat bereaksi dan dapat memberikan nutrisi yang cepat pada tanaman, namun cenderung menurunkan kualitas tanah dan dapat berdampak negatif pada lingkungan. Sementara itu, pupuk organik lebih aman bagi lingkungan, meningkatkan kesuburan tanah dalam jangka panjang, dan dapat menghasilkan produk pertanian yang lebih sehat dan berkualitas, namun membutuhkan waktu yang lebih lama untuk memberikan hasil yang maksimal.

2.1.2 Pupuk organik

Dalam Peraturan Menteri Pertanian Nomor 70/Permentan/ OT.140/9/2011 pupuk organik adalah bahan yang berasal dari sisa tanaman, hewan, dan limbah organik lainnya yang telah mengalami proses dekomposisi secara alami atau melalui proses pengomposan. Pupuk organik dapat digunakan sebagai sumber hara bagi tanaman dan membantu meningkatkan kesuburan tanah serta menjaga keseimbangan ekosistem pertanian. Menurut Simanungkalit *et al.* (2006) pupuk organik merupakan nama kolektif untuk semua jenis bahan organik asal tanaman dan hewan yang dapat dirombak menjadi hara tersedia bagi tanaman. Beberapa definisi tersebut menunjukkan bahwa pupuk organik lebih ditujukan kepada kandungan C-organik atau bahan organik daripada kadar nutrisinya. Nilai C-organik tersebut menjadi pembeda antara pupuk organik dengan pupuk anorganik (Wawan, 2017).

Sumber pupuk organik semuanya berasal dari makhluk hidup. Sumber pupuk organik utama merupakan hasil fotosintesis sehingga unsur karbon merupakan penyusun utama dari bahan organik tersebut. Unsur karbon ini membentuk senyawa-senyawa organik seperti selulosa, hemiselulosa, pati dan bahan-bahan pektin dan lignin (Wawan, 2017). Tumbuhan tidak saja merupakan sumber bahan

organik bagi tanah, tetapi sumber bahan organik bagi seluruh makhluk hidup. Hasil fotosintesis seperti akar, batang, daun, ranting, duri, buah, serta sisa-sisa tanaman lainnya termasuk rumput, gulma dan limbah hasil panen.

Sumber bahan organik sekunder berasal dari hewan/binatang termasuk hasil buangan manusia (tinja). Sumber bahan organik sekunder yang berasal dari hewan/binatang termasuk manusia terlebih dahulu harus menggunakan bahan organik tanaman setelah itu baru menyumbangkan bahan organik sebagai hasil dari metabolisme tubuhnya. Hewan ruminansia besar seperti sapi menghasilkan kotoran padat dan cair (urin) yang dapat digunakan sebagai sumber pembenah tanah.

Pupuk kandang dapat mengandung sejumlah besar bahan organik, yang merupakan sumber karbon. Selain itu, pupuk kandang juga mengandung nitrogen, fosfor, kalium, dan unsur lainnya yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa penggunaan pupuk kandang dapat meningkatkan produktivitas tanaman dan kualitas tanah. Sebagai contoh, penelitian oleh Santoso *et al.* (2019) menunjukkan bahwa penggunaan pupuk kandang sapi dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk NPK pada tanaman kedelai edamame. Penelitian oleh Iriawati *et al.* (2018) menunjukkan bahwa penggunaan pupuk kandang ayam dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara di tanah dan meningkatkan pertumbuhan tanaman padi. Oleh karena itu, pupuk kandang memiliki potensi yang besar sebagai sumber nutrisi dan bahan organik untuk tanah dan tanaman. Kandungan unsur hara makro dan mikro dari berbagai jenis pupuk kandang disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan unsur hara makro dan mikro berbagai jenis pupuk kandang

Jenis hewan ternak	Unsur hara makro (%)					Unsur hara mikro (ppm)				
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn	
Ayam	1,72	1,82	2,18	9,23	0,86	610	3475	160	501	
Sapi	2,04	0,76	0,82	1,29	0,48	528	2597	56	239	
Kambing	2,43	0,73	1,35	1,95	0,56	468	2891	42	291	
Domba	2,03	1,42	1,61	2,45	0,62	490	2188	23	225	

Sumber: *Organik Vegetable Cultivation in Malaysia, 2005*

Data yang ditampilkan dalam Tabel 1 adalah kandungan unsur hara makro dan mikro dalam empat jenis hewan ternak yaitu ayam, sapi, kambing, dan domba.

Unsur hara makro yang tercatat dalam data adalah nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), dan magnesium (Mg), sementara unsur hara mikro yang tercatat adalah mangan (Mn), besi (Fe), tembaga (Cu), dan seng (Zn). Berdasarkan data tersebut, dapat dilihat bahwa pupuk kandang ayam memiliki kandungan unsur hara makro tertinggi pada kalium, sedangkan unsur hara mikro tertinggi pada ayam adalah besi. Pupuk kandang sapi memiliki kandungan nitrogen dan kalsium yang cukup tinggi, sedangkan unsur hara mikro tertinggi pada pupuk kandang sapi adalah besi. Pupuk kandang kambing memiliki kandungan fosfor, kalium, dan magnesium yang cukup tinggi, sedangkan unsur hara mikro tertinggi pada kambing adalah besi. Pupuk kandang domba memiliki kandungan nitrogen dan kalsium yang cukup tinggi, sedangkan unsur hara mikro tertinggi pada domba adalah besi (Fe).

Pupuk organik dari bahan sekunder, susunan kimianya bergantung pada: jenis asal ternak, umur sifat dan cara penyimpanan pupuk organik sebelum digunakan. Hewan hanya menggunakan setengah dari bahan organik yang dimakan, dan selebihnya dikeluarkan sebagai kotoran. Penyusun pupuk kandang yang paling penting adalah komponen hidup, yaitu organisme tanah, pada sapi perah seperempat hingga setengah bagian kotorannya merupakan jaringan mikroba (Brady, 1990). Kandungan unsur hara kotoran hewan lebih rendah dibandingkan dengan pupuk anorganik, sehingga tingkat aplikasi pupuk kandang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan pupuk anorganik (Hartatik *et al.*, 2015). Bahan organik sebagai pupuk harus diberikan dalam kondisi matang, yang tercermin dari rasio C/N yang relatif rendah.

Sumber bahan organik sekunder lain yang belum banyak diteliti dan dimanfaatkan yaitu lumpur tinja manusia (*faecal sludge*). Lumpur tinja merupakan hasil buangan manusia yang akan terus bertambah jumlahnya seiring dengan pertumbuhan penduduk. Limbah tinja manusia mengandung unsur hara yang bermanfaat bagi tanaman seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), serta beberapa unsur mikro seperti tembaga (Cu), besi (Fe), mangan (Mn), seng (Zn), dan boron (B). Menurut Pratiwi dan Widaryanto (2020), kandungan unsur hara pada limbah tinja manusia adalah sekitar 1,95-2,2% N, 0,25-0,45% P, dan 1,06-1,3% K. Selain itu, limbah tinja manusia juga mengandung bahan organik sekitar 20-25%

serta unsur-unsur mikro yang bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman. Kandungan unsur hara dalam limbah tinja manusia bervariasi tergantung pada faktor-faktor seperti kondisi kesehatan, pola makan, dan kebiasaan penggunaan obat-obatan (Biswas *et al.*, 2017).

Penelitian Nigussie dan Zewudie (2017) menunjukkan bahwa pengomposan lumpur tinja (*faecal sludge*) dengan limbah agroindustri dapat meningkatkan kualitas kompos dan hasil tanaman jagung (*Zea mays* L.) di Lembah Tengah Ethiopia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kompos yang dibuat dari campuran lumpur tinja dan limbah agroindustri memiliki kandungan unsur hara makro yang lebih tinggi, seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, dibandingkan dengan kompos yang hanya dibuat dari limbah agroindustri saja. Selain itu, penggunaan kompos yang dibuat dari campuran tersebut juga dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman jagung dan hasil panen dibandingkan dengan tanaman yang diberi pupuk anorganik saja.

Apabila pengelolaan limbah ini dilakukan dengan benar, holistik dan berkelanjutan, hal tersebut dapat menjadi solusi penanganan permasalahan limbah di seluruh dunia. Selain itu, keanekaragaman sumber bahan baku organik bertambah dan beragam. Penelitian Lamichhane *et al.* (2018) membahas tentang manajemen lumpur tinja di Nepal, dengan fokus pada status saat ini, tantangan, dan peluang untuk meningkatkan manajemen limbah tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa manajemen lumpur tinja di Nepal masih menghadapi berbagai masalah, termasuk kurangnya infrastruktur dan peralatan yang memadai, kurangnya dana dan dukungan dari pemerintah, serta kurangnya kesadaran dan partisipasi masyarakat dalam manajemen limbah. Penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat peluang untuk meningkatkan manajemen lumpur tinja di Nepal melalui pengembangan teknologi yang lebih baik, pendekatan partisipatif yang melibatkan masyarakat, dan dukungan dari pemerintah dan lembaga terkait.

Konsep ekonomi hijau (*green economy*) yang menekankan bahwa kegiatan produksi di bidang ekonomi sedapat mungkin menggunakan atau menerapkan sumber energi yang ramah lingkungan. Valdani dan Gottmarsson (2021) menambahkan bahwa penggunaan kembali atau daur ulang material serta

pengelolaan limbah menjadi isu yang utama dan prioritas. Mendaur ulang kotoran manusia pada umumnya tidak lazim dan tidak higienis. Tetapi, kegiatan tersebut merupakan langkah penting dalam sanitasi dan ekonomi sirkular. Ekonomi sirkular menekankan bahwa sampah dan kotoran pembuangan manusia bisa diolah menjadi produk yang dapat digunakan yaitu pupuk organik. Drangert (1998) menunjukkan bahwa sanitasi ekologis adalah salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengelola limbah manusia dengan efektif dan berkelanjutan.

Pupuk organik dapat diaplikasikan ke tanah dengan berbagai cara, seperti digunakan sebagai pupuk dasar atau pupuk pelengkap, disemprotkan pada daun, atau digunakan untuk membuat lapisan penutup tanah. Pupuk organik sebagai pupuk dasar adalah salah satu cara yang umum digunakan untuk memperbaiki kesuburan tanah dan memberikan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman pada masa pertumbuhan awal. Pupuk organik yang dicampur dengan tanah sebelum menanam bibit atau benih tanaman dapat memberikan nutrisi yang lengkap dan berkelanjutan bagi pertumbuhan tanaman. Menurut Prawito *dkk.* (2016), penggunaan pupuk organik pada tanah yang diberikan sebelum tanam dapat memberikan manfaat yang signifikan pada pertumbuhan dan produksi tanaman. Pupuk organik dapat meningkatkan jumlah dan kualitas mikroorganisme tanah, meningkatkan stabilitas agregat tanah, serta meningkatkan ketersediaan hara pada tanaman.

Pupuk organik dapat digunakan sebagai pupuk pelengkap yang diberikan pada saat tanaman membutuhkan tambahan nutrisi selama masa pertumbuhan. Cara aplikasinya dapat dilakukan dengan disebar di sekitar tanaman atau dicampur dengan air dan disiramkan ke tanah. Menurut Agustina *et al.* (2020), aplikasi pupuk organik sebagai pupuk pelengkap pada tanaman cabai rawit memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan kontrol tanpa aplikasi pupuk organik. Pupuk organik yang digunakan sebagai pupuk pelengkap dapat memberikan nutrisi tambahan bagi tanaman dan meningkatkan pertumbuhan tanaman. Selain itu, pupuk organik dapat disemprotkan langsung pada daun tanaman. Cara aplikasinya disebut sebagai aplikasi *foliar*. Hal ini bertujuan untuk memberikan nutrisi tambahan pada tanaman yang cepat diserap dan digunakan langsung oleh tanaman. Menurut Zarei *et al.* (2020), aplikasi pupuk organik melalui aplikasi *foliar* pada tanaman kentang

dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan produksi umbi. Pupuk organik yang disemprotkan pada daun tanaman dapat diserap langsung oleh tanaman dan memberikan nutrisi tambahan bagi tanaman.

Penggunaan pupuk organik dapat meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman, serta meningkatkan kualitas tanaman. Selain itu, penggunaan pupuk organik juga dapat meningkatkan ketersediaan air di tanah dan mengurangi erosi tanah. Peran pupuk organik sangat vital terutama untuk memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah (Wawan, 2017). Menurut Magdoff dan Weil (2004), pupuk organik memiliki peran penting dalam memperbaiki sifat kimia tanah karena dapat memberikan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman dan meningkatkan ketersediaan unsur hara dalam tanah. Selain itu, penggunaan pupuk organik dapat meninggalkan efek residu di dalam tanah yang dapat menguntungkan tanaman (Ghosh *et al.*, 2004).

Efek residu adalah pengaruh sisa-sisa bahan organik yang ditanam sebelumnya pada tanah, yang dapat memberikan efek positif terhadap tanaman yang ditanam pada musim tanam berikutnya. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Marwoto *et al.* (2018), efek residu bahan organik dari pupuk kandang sapi dan limbah kelapa sawit mampu meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman jagung. Studi yang dilakukan oleh Wahyuni *dkk.* (2018) bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh pemberian pupuk organik terhadap sifat fisika tanah dan hasil tanaman kentang pada lahan kering. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian pupuk organik meningkatkan kandungan bahan organik dan memperbaiki struktur tanah yang awalnya padat menjadi lebih longgar. Hal ini menyebabkan peningkatan kapasitas tukar kation dan porositas tanah. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan bahan organik sebagai pupuk dapat meningkatkan kualitas dan kesuburan tanah serta memperbaiki struktur tanah.

Hasil penelitian Melati *dkk.*, (2008) tentang aplikasi pupuk organik residunya pada kedelai yang dipanen muda menunjukkan bahwa pemberian pupuk organik, kombinasi serta residunya dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan hara tanah untuk produksi kedelai. Kurnia dan Melati (2018) menambahkan pengaruh interaksi dosis dan cara aplikasi pupuk organik sangat nyata pada bobot

kering 100 butir biji kedelai. Berdasarkan penelitian tersebut, penggunaan pupuk organik dapat meningkatkan kesuburan tanah, ketersediaan hara bagi tanaman sehingga dapat meningkatkan produksi dan kualitas hasil panen.

Pengaruh pupuk organik dalam perbaikan sifat biologi kimia dan fisik tanah sangat besar. Perbaikan sifat-sifat tanah tersebut akan disertai dengan perbaikan keseimbangan ketersediaan air, udara dan unsur hara di dalam tanah. Dengan pengertian lain pada tanah dengan kondisi bahan organik yang tinggi akan memiliki kesuburan tanah yang tinggi pula. Pertumbuhan tanaman sangat dipengaruhi oleh kesuburan tanah. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah yang diperbaiki kesuburannya menghasilkan pertumbuhan tanaman yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah yang tidak diperbaiki kesuburannya. Pada tanah yang subur air, udara, dan unsur hara berada dalam keadaan seimbang, sehingga tanaman dapat melakukan proses respirasi, menyerap unsur hara dan air lebih baik.

Meskipun memiliki banyak keuntungan, penggunaan pupuk organik juga memiliki beberapa tantangan, seperti ketersediaan bahan baku, kualitas yang tidak stabil, dan biaya produksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan pupuk anorganik. Salah satu tantangan dalam penggunaan pupuk organik adalah ketersediaan bahan baku yang terbatas di beberapa daerah. Hal ini dapat disebabkan oleh kurangnya pemahaman tentang manfaat penggunaan pupuk organik, serta kurangnya ketersediaan bahan baku organik di sekitar daerah tersebut. Kualitas pupuk organik juga dapat bervariasi tergantung pada bahan baku yang digunakan dan proses produksi yang dilakukan. Jika tidak diolah dengan baik, pupuk organik dapat mengandung bahan kimia berbahaya atau patogen yang dapat merugikan tanaman dan lingkungan. Selain itu, biaya produksi pupuk organik juga cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan pupuk anorganik. Hal ini disebabkan oleh biaya produksi yang lebih tinggi dan ketersediaan bahan baku yang terbatas.

2.1.3 Pupuk NPK

Pupuk anorganik adalah pupuk yang terbuat dari bahan-bahan kimia sintetis, yang diproses untuk menghasilkan nutrisi yang diperlukan oleh tanaman (Marschner, 2012). Pupuk anorganik juga dikenal sebagai pupuk buatan manusia

atau pupuk kimia. Pupuk anorganik majemuk umumnya terdapat dipasaran adalah NPK. Menurut Tisdale *et al.* (1985), pupuk NPK adalah pupuk yang mengandung tiga unsur hara makro esensial yang dibutuhkan tanaman yaitu nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) dalam proporsi tertentu. Pupuk NPK memiliki komposisi tertentu yang ditentukan oleh persentase kandungan nitrogen, fosfor, dan kaliumnya, seperti NPK 15-15-15 atau NPK 16-16-16.

Nitrogen merupakan komponen penting dari asam amino, protein, asam nukleat dan koenzim. Proses pertumbuhan dasar seperti protein dan sintesis asam nukleat membutuhkan nitrogen. Nitrogen diperlukan untuk pembentukan kloroplas, sehingga kekurangannya ditandai dengan kandungan klorofil yang rendah. Tanaman dapat menggunakan unsur N baru setelah mengubah bentuk terikat. Tumbuhan menyerap nitrogen dalam bentuk anion seperti nitrat (NO_3^-) dan amonium (NH_4^+), yang dapat mempengaruhi fungsi metabolisme yang berhubungan dengan respirasi dan fotosintesis.

Unsur hara nitrogen tidak hanya diperoleh langsung dari tanah melalui pemupukan, tetapi juga melalui proses simbiosis antara tanaman dengan bakteri tertentu. Rhizobium dapat memfiksasi nitrogen bebas dari udara dan membentuk bintil pada kedelai. Bakteri Rhizobium memperoleh nutrisi dari kacang-kacangan, dan sebagai imbalannya organisme ini memasok legum dengan nitrogen. Menurut Foth (1994), tanaman legum seperti kacang-kacangan dan alfalfa dapat menambat nitrogen dari udara dengan bantuan bakteri Rhizobium dan menggunakannya untuk pertumbuhan mereka. Di Amerika Serikat, legum diperkirakan dapat menambat sekitar 2 juta ton nitrogen per tahun. Selain itu, bakteri lain seperti *Azotobacter* dan *Azospirillum* juga dapat membantu meningkatkan ketersediaan nitrogen dalam tanah melalui proses fiksasi nitrogen.

Menurut Marschner (2012), Fosfor (P) merupakan komponen nutrisi penting dalam beberapa senyawa kunci dan katalis dalam reaksi biokimia penting pada tanaman. Ia berperan dalam menangkap energi matahari dan mengubahnya menjadi senyawa yang sangat berguna bagi tanaman. Kandungan P tanah sangat bervariasi, mulai dari 0,02% hingga 0,5%, dengan rata-rata 0,05%. Fosfor adalah elemen penting dalam asam nukleat dan berbagai fosfolipid. Fosfat terdapat di

berbagai koenzim; seperti adenosin trifosfat (ATP), yang membawa energi yang digunakan dalam banyak proses biokimia. Kalium penting dalam pengaturan tekanan osmotik pada tanaman, dan tanaman yang kekurangan K^+ ditandai dengan penggunaan air yang tidak efisien. Pada tanaman kekurangan K^+ turgor menurun, pada cekaman air tanaman menjadi mudah lunglai. Pertumbuhan tanaman melambat, daun tua menunjukkan tanda-tanda nekrosis (Jung *et al.*, 2017).

Pengaruh fosfor pada pigmentasi hijau daun tanaman dipengaruhi oleh faktor konsentrasi. Menurut Bojović dan Stojanović (2005), fosfor sangat penting untuk perkembangan tanaman, termasuk mempengaruhi stabilitas klorofil pada tanaman, terutama pada kondisi cuaca buruk. Kekurangan fosfor pada tanaman dapat menyebabkan perubahan warna pada daun menjadi ungu atau merah keunguan, serta pertumbuhan akar yang buruk. Selain itu, fosfor juga berperan dalam sintesis DNA, RNA, dan protein pada tanaman. Oleh karena itu, pemupukan fosfor merupakan hal yang penting dalam upaya meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Selain itu, elemen P diperlukan untuk pembentukan dan aktivitas nodul yang maksimal. Pada kacang-kacangan, lebih banyak P dibutuhkan untuk pertumbuhan bintil daripada untuk pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, perlu ditambahkan fosfor yang cukup dalam bentuk pupuk untuk mendapatkan hasil uji legum yang maksimal (Islami dan Hadi, 1995).

Kalium (K) merupakan unsur hara tanaman penting yang diserap tanaman lebih banyak dibandingkan unsur lain kecuali nitrogen (Sayed *et al.*, 2014). Kegunaan K pada tanaman meliputi regulasi keseimbangan air, membantu pertumbuhan akar, meningkatkan efisiensi penggunaan air, dan meningkatkan kualitas dan jumlah produksi tanaman. Kekurangan K pada tanaman dapat menyebabkan pertumbuhan terhambat, pengurangan hasil panen, serta penurunan kualitas produk yang dihasilkan. Fageria *et al.* (2002) dan Singh *et al.* (2016) mencatat bahwa kekurangan kalium pada tanaman dapat menyebabkan pertumbuhan terhambat, pengurangan hasil panen, serta penurunan kualitas produk yang dihasilkan. Pada tanaman padi, kekurangan kalium dapat menyebabkan daun menguning, batang rebah, dan mengurangi jumlah dan bobot gabah yang dihasilkan (Singh *et al.*, 2016).

Pemupukan kalium yang tepat dapat meningkatkan toleransi tanaman terhadap stres lingkungan seperti kekeringan dan suhu ekstrem, serta meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil panen (Fageria *et al.*, 2002). Kalium diperlukan untuk memindahkan produk fotosintesis dalam tanaman. Selain itu, kalium dapat memperkuat dinding sel, kalium juga mendukung proses fotosintesis dan pertumbuhan tanaman. Sayed *et al.*, (2014) menyatakan bahwa tanaman monokotil seperti jagung membutuhkan kalium (K) lebih banyak daripada tanaman dikotil seperti kedelai. Hal ini disebabkan karena tanaman monokotil memiliki sistem akar yang lebih sederhana dan kurang efektif dalam menyerap unsur hara, sehingga memerlukan cadangan K yang lebih besar di dalam tanah untuk memenuhi kebutuhan tanaman.

Marschner (1995) menambahkan bahwa kalium merupakan unsur hara penting karena terlibat langsung dalam beberapa proses fisiologis biofisik dan biokimia. Kandungan K tanah bervariasi dari 0,1 hingga 3%, kalium rata-rata 1% dan berperan dalam pembentukan protein dan karbohidrat. Kalium juga berperan dalam memperkuat bagian-bagian tanaman agar daun, bunga dan buah tidak mudah gugur. Sebagian besar (sampai 98%) K tanah terikat dalam bentuk mineral, sehingga tidak tersedia bagi tanaman (Munawar, 2011). Ion K dalam tanah sangat dinamis, karena itu mudah tercuci pada tanah berpasir dan tanah dengan pH rendah (Novizan, 2002).

Kekurangan kalium pada tanaman agak sulit dikenali karena gejala ini jarang muncul saat tanaman masih muda. Pada warna daun terlihat di antara tulang-tulang daun, seperti ujung dan tepi daun tampak kuning, dan akhirnya daun menjadi bercak-bercak (coklat kemerahan), dan bagian yang belang sering mengelupas, sehingga daun tampak bergerigi, rontok dan mati. Batangnya lemah dan pendek, membuat tanaman tampak kerdil. Pertumbuhan buah tidak sempurna, kecil, kualitas buruk, hasil rendah dan tidak dapat disimpan dalam jangka waktu lama. Sebaliknya, kelebihan kalium pada tumbuhan dapat menyebabkan defisiensi nitrogen pada tumbuhan dan mempengaruhi penyerapan kation lain (Rahmadini, 2022).

2.1.4 Kedelai edamame

Kedelai (*Glycine max* L. Merrill) dikenal dengan sebutan edamame di Jepang dan *mau dou* di China. Tanaman ini merupakan salah satu jenis kacang-kacangan yang termasuk dalam kategori tanaman sayuran (*green soybean vegetable*). Tanaman ini memiliki peran penting sebagai sayuran di Jepang, Taiwan, China, dan Korea. Kedelai edamame biasanya dikonsumsi pada saat biji yang masih muda, hijau, dan dipanen pada puncak pemasakan yaitu saat stadium R6 (pengisian biji 80 – 90% pengisian) sebelum mencapai masa pengerasan (*hardening*) (Asadi, 2018). Batang tanaman kedelai edamame memiliki ukuran yang lebih pendek dan lebih tebal dibandingkan dengan varietas kedelai lainnya. Batangnya tegak dan berbulu halus dengan tinggi rata-rata sekitar 30-35 cm memiliki akar tunggang yang akan terlihat bintil akar pada 10 HST (Soewanto *et al.*, 2007).

Kedelai edamame memiliki klasifikasi (Adisarwanto, 2005):

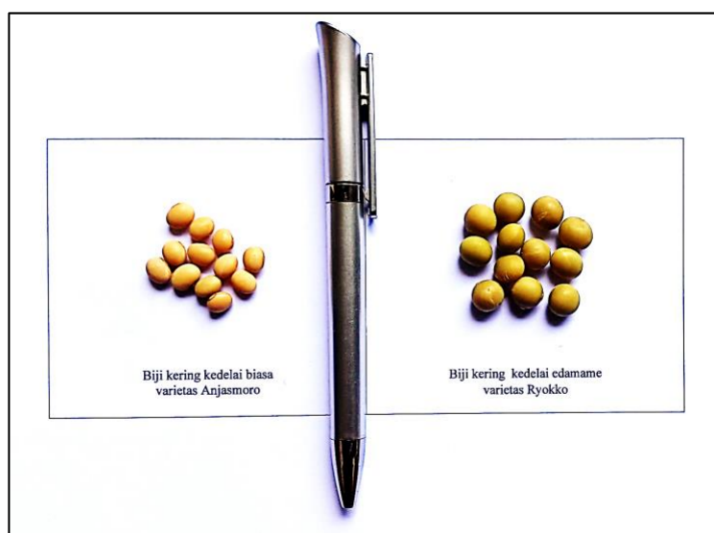
Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Subdivisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledone
Ordo	: Polypetales
Famili	: Leguminosae
Subfamili	: Papilionoidae
Genus	: <i>Glycine</i>
Spesies	: <i>Glycine max</i> (L) Merril

Tanaman edamame memiliki berbagai bentuk dan ukuran daun serta biji tergantung pada varietas dan lingkungan hidupnya. Daun kedelai edamame memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan varietas kedelai biasa. Daunnya berbentuk oval dengan tepi daun yang rata dan ujung yang tumpul. Daunnya berbulu halus dan memiliki warna hijau cerah. Daun edamame memiliki empat tipe yaitu: daun yang keluar pertama dari buku sebelah atas (kotiledon) berupa daun tunggal berbentuk sederhana dan letaknya bersebrangan (*unifoliolat*). Daun selanjutnya daun primer sederhana. Daun-daun berikutnya yang terbentuk kemudian adalah daun-daun bertiga (*trifoliolat*) berbentuk lancip, bulat lonjong, lonjong lancip dan daun berempat.

Bunga kedelai edamame tergolong ke dalam jenis bunga tunggal yang biasanya berwarna putih atau ungu pucat. Bunga ini muncul di ketiak daun dan

mempunyai tangkai bunga yang pendek. Buah kedelai edamame berbentuk bulat pipih, dengan ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan varietas kedelai lainnya. Buah ini memiliki warna hijau kekuningan dan dapat dikonsumsi ketika masih muda dan hijau.

Biji kedelai edamame berbentuk bulat kecil dan berwarna hijau kekuningan. Asadi (2018) menambahkan jumlah polong muda edamame sekitar 500g/150 biji dengan bobot biji kering lebih dari 30g/100 biji, jauh lebih besar jika dibandingkan dengan kedelai biasa yang memiliki bobot 10-22g/100 biji. Biji ini dikonsumsi dalam bentuk yang masih muda dan hijau karena memiliki rasa yang lezat serta kandungan nutrisi yang tinggi. Perbedaan biji kedelai edamame varietas Ryokko dengan kedelai varietas Anjasmoro dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbedaan biji kedelai edamame varietas Ryokko dengan kedelai varietas Anjasmoro

Edamame adalah tanaman yang dapat melakukan penyerbukan sendiri. Bunga pertama akan muncul di buku ke-5 dan di atasnya. Arah bunga muncul di ujung batang utama dan ujung cabang. Waktu berbunga tanaman edamame tergantung pada waktu tanam dan berlangsung dari 3 hingga 5 minggu, tetapi tidak semua bunga mampu membentuk polong, dan tingkat keguguran kedelai mencapai 20 hingga 80%. Satu polong berisi 2-3 biji, setiap polong memiliki bentuk lengkung lurus atau memanjang sepanjang 2 sampai 7 cm (Adie dan Krisnawati, 2007). Menurut Kurniasari *dkk.* (2014) varietas yang umum ditanam petani adalah Ryokko

karena polongnya lebih besar dan rasanya lebih manis. Edamame dapat beradaptasi dan cocok dikembangkan pada dataran tinggi (Hakim, 2013). Hakim (2013) menambahkan kedelai yang diproduksi pada dataran tinggi memberikan pertumbuhan yang lebih baik dari pada diproduksi pada dataran rendah. Perbedaan tersebut dapat dilihat dari parameter tinggi tanaman, bobot kering tanaman dan persentase perkecambahan.

2.1.5 Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan hasil edamame

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan hasil kedelai edamame, di antaranya adalah:

a. Varietas edamame

Pemilihan varietas kedelai edamame yang sesuai dengan kondisi lingkungan tempat tanam akan mempengaruhi pertumbuhan dan hasil panen. Beberapa varietas memiliki karakteristik yang lebih baik dalam hal daya tahan terhadap penyakit, adaptasi terhadap lingkungan, dan hasil panen yang lebih tinggi. Varietas atau jenis tanaman kedelai edamame juga dapat mempengaruhi pertumbuhan dan hasil panen. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi perbedaan antara varietas tanaman kedelai edamame dalam hal pertumbuhan dan hasil panen. Penelitian oleh Prasetyo *et al.* (2018) menunjukkan bahwa ada perbedaan yang signifikan dalam pertumbuhan dan produksi antara lima varietas kedelai edamame yang diuji. Varietas yang disebut "Gangjoong" memiliki hasil panen yang lebih tinggi dan kandungan protein yang lebih tinggi daripada varietas lain yang diuji. Dari penjelasan di atas, dapat disimpulkan bahwa pemilihan varietas atau jenis tanaman kedelai edamame yang tepat dapat mempengaruhi pertumbuhan dan hasil panen. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi varietas secara lebih lanjut untuk menemukan varietas yang paling cocok untuk tumbuh di daerah tertentu

b. Kondisi Lingkungan

Faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, intensitas cahaya, dan jenis tanah dapat mempengaruhi pertumbuhan dan hasil kedelai edamame.

Kedelai edamame membutuhkan suhu yang optimal antara 20-30⁰C dan kelembaban yang cukup untuk tumbuh dan berbuah dengan baik. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi bagaimana faktor-faktor lingkungan ini mempengaruhi pertumbuhan dan produksi kedelai edamame. Penelitian yang dilakukan oleh Zhang *et al.* (2020) menunjukkan bahwa suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan produksi kedelai edamame, tetapi hanya sampai batas tertentu. Pada suhu yang terlalu tinggi, pertumbuhan dan produksi dapat terhambat. Penelitian lain oleh Tsukaguchi *et al.* (2016) menunjukkan bahwa kelembaban yang tinggi dapat meningkatkan hasil panen kedelai edamame. Selain itu, tingkat cahaya dan kadar CO₂ di udara juga mempengaruhi pertumbuhan dan produksi kedelai edamame. Penelitian oleh Liu *et al.* (2019) menunjukkan bahwa kadar CO₂ yang lebih tinggi dapat meningkatkan produksi kedelai edamame, dan kombinasi antara kadar CO₂ yang lebih tinggi dan cahaya yang lebih tinggi juga dapat meningkatkan produksi. Sedangkan penelitian oleh Niu *et al.* (2021) menunjukkan bahwa tingkat cahaya yang lebih tinggi dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi kedelai edamame.

c. Teknik Budidaya

Teknik budidaya yang digunakan, seperti pemilihan pupuk dan pengairan, juga mempengaruhi pertumbuhan dan hasil kedelai edamame. Pemilihan jenis pupuk organik yang tepat dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk NPK dan meningkatkan kualitas hasil panen. Penelitian Chandra *et al.* (2021) menunjukkan bahwa penerapan teknik budidaya "*Integrated Nutrient Management*" (INM) yang melibatkan penggunaan pupuk organik dan anorganik dalam proporsi yang tepat dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil kedelai edamame. Selain itu, penelitian oleh Tantawy *et al.* (2019) menunjukkan bahwa penerapan teknik budidaya "*Drip Irrigation*" dapat meningkatkan hasil panen dan efisiensi penggunaan air pada tanaman kedelai edamame.

d. Hama dan Penyakit

Hama dan penyakit penting yang mempengaruhi kedelai edamame diantaranya ulat grayak (*Spodoptera litura*). Ulat grayak merupakan serangga yang dapat merusak daun dan polong kedelai. Ulat ini biasanya mengunyah bagian-bagian tanaman, menyebabkan kerusakan pada pertumbuhan dan produksi (Setiawan *dkk.*, 2017). Selain itu, hama penting lainnya yaitu ulat penggerek polong (*Helicoverpa armigera*). Ulat penggerek polong dapat merusak polong kedelai dengan cara menggerek masuk ke dalamnya. Serangan ulat ini dapat menyebabkan kerusakan pada polong dan juga membuka pintu masuk bagi infeksi penyakit lain (Hidayat *dkk.*, 2018). Selain hama penting, kedelai edamame juga sangat rentan terhadap serangan penyakit. Penyakit penting tanaman edamame salah satunya yaitu penyakit karat daun (*Phakopsora pachyrhizi*). Karat daun adalah penyakit yang disebabkan oleh jamur *Phakopsora pachyrhizi*. Penyakit ini ditandai dengan adanya bercak berwarna coklat pada daun dan dapat mengurangi produksi biji (Prabowo *dkk.*, 2019).

Serangan hama dan penyakit pada tanaman kedelai edamame dapat menurunkan pertumbuhan dan hasil panen. Oleh karena itu, pengendalian hama dan penyakit menjadi faktor penting dalam penanaman kedelai edamame. Penelitian oleh Fang *et al.* (2018) menunjukkan bahwa aplikasi pupuk organik dan mikroba tanah dapat membantu mengendalikan serangan hama dan penyakit pada tanaman kedelai edamame. Selain itu, penelitian oleh Wu *et al.* (2020) menunjukkan bahwa penggunaan pestisida organik juga dapat membantu mengendalikan serangan hama dan penyakit pada tanaman kedelai edamame tanpa meningkatkan residu pestisida pada hasil panen. Teknik budidaya seperti penggunaan varietas tahan penyakit dan rotasi tanaman juga dapat membantu mengendalikan serangan hama dan penyakit pada tanaman kedelai edamame.

e. Waktu Panen

Waktu panen yang tepat dapat mempengaruhi kualitas hasil panen kedelai edamame. Kedelai edamame yang dipanen terlalu dini atau terlalu lambat

dapat mengurangi kualitas biji dan kandungan nutrisinya. Penelitian oleh Sugiyama *et al.* (2019) di Jepang menunjukkan bahwa waktu panen yang tepat dapat meningkatkan kandungan isoflavon dan protein dalam kedelai edamame. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan isoflavon tertinggi dicapai pada saat kedelai edamame mencapai kematangan fisiologis, yaitu sekitar 40-45 hari setelah tanam. Sedangkan untuk kandungan protein, puncaknya terjadi pada saat biji kedelai edamame mencapai kematangan penuh, yaitu sekitar 50-55 hari setelah tanam.

2.2 Kerangka pemikiran

Penggunaan pupuk anorganik dalam produksi tanaman merupakan faktor penting dalam proses pertanian yang berperan signifikan dalam meningkatkan hasil panen pada tanaman pangan, tanaman hortikultura, dan tanaman perkebunan. Penggunaan yang tidak terkendali dari pupuk anorganik saat ini menjadi penyebab utama penurunan kesuburan biologi, fisik, dan kimia tanah. Studi sebelumnya (Lestari, 2009; Padmanbha *et al.*, 2014; Purba *et al.*, 2019) menunjukkan bahwa penggunaan pupuk anorganik secara berkelanjutan tanpa disertai penggunaan pupuk organik mengakibatkan degradasi sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Fenomena ini diperparah oleh perkembangan terus-menerus lahan pertanian yang mengandalkan bahan kimia dan pupuk sebagai satu-satunya input produksi. Konsekuensinya adalah menurunnya daya dukung dan kualitas lahan pertanian yang berdampak negatif pada produktivitas lahan.

Menurut Abdelaziz *et al.* (2008), pupuk anorganik NPK memiliki peran yang signifikan dalam mempengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman, terutama dalam menjaga keseimbangan unsur nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) dalam tanah. Dalam budidaya edamame, aplikasi pupuk N, P, dan K secara optimal merupakan salah satu metode pemupukan yang penting untuk mencapai hasil yang diinginkan. Penting untuk diingat bahwa pemupukan menggunakan pupuk anorganik seperti N, P, dan K hanya mampu menambahkan unsur hara ke tanah tanpa memperbaiki sifat fisik dan biologi tanah. Penggunaan pupuk anorganik secara berlebihan dapat mengakibatkan penurunan ketersediaan unsur hara tanah

lainnya. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan dengan seksama penggunaan pupuk anorganik dan seimbangannya dengan penggunaan pupuk organik, seperti yang disarankan oleh Astari *et al.* (2016).

Salah satu pendekatan untuk memperbaiki sistem pemupukan adalah dengan mencapai keseimbangan antara pupuk organik dan anorganik, yang dapat berkontribusi dalam memperbaiki sifat-sifat tanah. Sebuah penelitian yang dilakukan oleh Taufiq dan Subandi (2006) menunjukkan bahwa pemupukan dengan kombinasi pupuk NPK dan pupuk kandang sebanyak 5 ton per hektar pada lahan budidaya kedelai dapat meningkatkan porositas tanah menjadi 69,2-92%, serta meningkatkan kapasitas tanah untuk menahan air hingga 31,6%, yang merupakan angka tertinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya.

Selain itu, penelitian oleh Paripurnani *et al.* (2018) menunjukkan bahwa kombinasi pemberian pupuk organik petroganik dan pupuk anorganik NPK Phonska memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan pertumbuhan dan hasil edamame (jumlah polong berisi per hektar). Perlakuan dengan pemberian 10 ton per hektar petroganik + 150 kg pupuk NPK Phonska menunjukkan estimasi produksi polong berisi per hektar tertinggi sebesar 22,35 ton, dengan peningkatan sebesar 26,04% dibandingkan dengan pemberian 300 kg per hektar pupuk Phonska dan 24,34% dibandingkan dengan pemberian 150 kg per hektar pupuk Phonska + 5 ton per hektar pupuk petroganik. Selain itu, analisis parameter kesuburan tanah setelah panen menunjukkan pH 7,3-7,5 (netral), kadar C-organik sebesar 1,55-1,95% (rendah), N-total sebesar 0,09-0,12% (sangat rendah), P sebesar 122,21-130,17 mg per kg (sangat tinggi), dan K tersedia sebesar 311,67-356,19 mg per kg (tinggi).

Penelitian yang dilakukan oleh Setiawati *et al.* (2020) menambahkan bahwa uji mandiri pada genotipe kedelai hitam menunjukkan pengaruh positif dari paket inovasi bahan organik terhadap beberapa parameter pertumbuhan tanaman, termasuk tinggi tanaman, jumlah polong per tanaman, jumlah biji per tanaman, dan hasil tertinggi tercapai pada perlakuan dengan kombinasi 50% dosis NPK, kompos jerami, pupuk hayati, dan biochar. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Siswanto (2014) menyimpulkan bahwa secara umum, aplikasi pupuk organik dapat

meningkatkan efisiensi pemupukan nitrogen, fosfor, dan kalium. Efisiensi pemupukan nitrogen tertinggi (89,19%) dicapai dengan dosis aplikasi pupuk organik sebesar 500 kg per hektar ditambah 300 kg pupuk anorganik per hektar. Efisiensi aplikasi fosfor (69,55%) dan kalium secara simultan juga mencapai tingkat tertinggi (92,52%) dengan dosis 750 kg pupuk organik per hektar ditambah 300 kg pupuk anorganik per hektar. Terdapat hubungan langsung antara perbandingan dosis pupuk organik dan pupuk anorganik dengan peningkatan efisiensi pemupukan nitrogen, fosfor, dan kalium. Aplikasi pupuk anorganik lebih dari 300 kg per hektar dapat mengurangi efisiensi pemupukan nitrogen, fosfor, dan kalium. Efisiensi pemupukan diduga dipengaruhi oleh pupuk organik yang meningkatkan serapan unsur nutrisi melalui peningkatan aktivitas dan keanekaragaman hayati serta ketersediaan nutrisi di dalam tanah.

Pengaruh pupuk organik terhadap ketersediaan unsur hara tanah sangat terkait dengan proses mineralisasi sebagai tahap akhir dalam proses tersebut. Proses mineralisasi berperan dalam pelepasan unsur hara tanaman secara lengkap, termasuk nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), sulfur (S), dan unsur hara mikro, meskipun jumlahnya tidak pasti dan relatif kecil. Menurut Hesse (1984), Widmer *et al.* (2002), Brady dan Weil (2002), seperti yang dikutip dalam Siswanto (2014), dekomposisi bahan organik secara perlahan akan melepaskan CO₂ yang langsung bermanfaat untuk fotosintesis tanaman. Selain itu, dekomposisi bahan organik juga melepaskan bentuk ikatan P tertentu yang membentuk kompleks senyawa dengan unsur besi (Fe) dan mangan (Mn), melepaskan metana (CH₄) yang berperan dalam pengendalian patogen, serta menghasilkan asam-asam organik dan zat pengatur pertumbuhan yang dapat merangsang pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Penambahan pupuk organik dalam tanah juga berfungsi sebagai penyangga pH tanah, meningkatkan ketersediaan karbon (C) dan nitrogen (N) dalam tanah, serta menekan populasi nematoda dan senyawa beracun. Menurut Sugiyanta *et al.* (2008), pupuk organik memainkan peran yang sangat penting karena merupakan kunci mekanisme dalam penyediaan unsur hara, dengan biomassa mikrobial yang memiliki siklus yang sangat cepat. Selain itu, aplikasi pupuk organik bersamaan

dengan pupuk anorganik juga berdampak pada peningkatan kadar fosfor (P) dan kalium (K) dalam tanah, dibandingkan dengan penggunaan pupuk anorganik saja.

Ketersediaan pupuk organik dalam tanah memiliki peran penting sebagai sumber prekursor untuk sintesis enzimatik. Ketika terdapat sumber prekursor yang cukup, aktivitas enzim akan meningkat. Selain itu, ketersediaan bahan organik juga mempengaruhi keberadaan mikroba tanah. Lingkungan yang kaya akan bahan organik akan mendukung kelimpahan mikroba tanah, sehingga menghasilkan biomassa mikroba yang tinggi (Martinez *et al.*, 2007). Pasokan bahan organik merupakan kunci utama untuk mengaktifkan kerja organisme tanah yang sebagian besar bersifat heterotrof dan sangat membutuhkan bahan organik sebagai sumber energi. Tingginya aktivitas organisme tanah dapat meningkatkan kesuburan tanah dan melindungi tanaman dari serangan hama (Subowo, 2010).

Pupuk organik berfungsi sebagai sumber energi, karbon, dan unsur hara bagi biota tanah, termasuk makroorganisme, mesoorganisme, dan mikroorganisme tanah. Ketika bahan organik dikembalikan ke dalam tanah, pertumbuhan dan perkembangan biota tanah seperti fungi, bakteri, dan meso fauna akan terstimulasi dengan baik. Hasil penelitian Khidir (2016) dan Thamrin (2017) menunjukkan bahwa penambahan residu tanaman *Mucuna bracteata* pada tanah inceptisol di bawah tegakan kelapa sawit dapat meningkatkan jumlah dan keberagaman jenis meso fauna dan makro fauna tanah. Fauna tanah ini berperan dalam proses humifikasi dan mineralisasi, pelepasan unsur hara, serta pemeliharaan struktur tanah (Wawan, 2017).

Hubungan antara pupuk organik dengan sifat fisik dan kimia tanah telah banyak diketahui dan terbukti. Menurut Damanik *et al.* (2010), sifat fisik tanah mempengaruhi sirkulasi udara, panas, air, dan bahan terlarut di dalam tanah. Faktor-faktor seperti warna, struktur, tekstur, porositas, aerasi, dan kepadatan tanah memainkan peran dominan dalam penggunaan tanah. Sifat fisik tanah ditentukan oleh ukuran dan komposisi partikel tanah, jenis dan proporsi komponen penyusun partikel, keseimbangan suplai air dan energi, serta reaksi kimia dan biologis yang terjadi di dalam tanah.

Sifat kimia tanah mencerminkan karakteristik bahan kimia dalam lingkungan yang penting untuk memprediksi fungsi tanah dalam hal kelarutan dan ketersediaan unsur hara. Kandungan pupuk organik secara khusus berhubungan erat dengan Kapasitas Tukar Kation (KTK) tanah. Pupuk organik diketahui dapat meningkatkan KTK tanah. Tanpa pemberian pupuk organik, terjadi degradasi kimia, biologi, dan fisik tanah yang dapat merusak agregat tanah dan dalam jangka panjang menyebabkan pemadatan tanah (Wawan, 2017). Pengaruh penambahan pupuk organik terhadap tingkat keasaman tanah (pH) tergantung pada tingkat kematangan bahan organik. Hasil penelitian Siregar *et al.* (2017) menunjukkan bahwa pemberian berbagai sumber pupuk organik berpengaruh signifikan dalam meningkatkan pH, ketersediaan fosfor (P), KTK, dan mengurangi kadar aluminium terlarut (Al-dd) dalam tanah. Interaksi antara berbagai sumber pupuk organik dan masa inkubasi juga berpengaruh signifikan terhadap pH tanah.

Banyaknya jenis pupuk organik yang tersedia, menunjukkan bahwa pupuk organik merupakan alternatif yang baik dalam pengelolaan lingkungan yang seimbang dan ramah lingkungan. Oleh karena itu, untuk mengembangkan teknologi pupuk organik yang prospektif, perlu dilakukan pengujian pada berbagai jenis tanaman, termasuk kedelai edamame, dengan menggunakan berbagai jenis bahan organik dan pupuk NPK. Mengingat peran penting bahan organik tersebut, aplikasinya ke dalam tanah tidak hanya sebagai sumber asam, garam mikro, dan bahan organik, tetapi juga sebagai peningkat sifat fisik dan kimia tanah, pemeliharaan kesuburan biologis tanah dalam jangka panjang, serta peningkatan hasil tanaman kedelai edamame yang ramah lingkungan.

2.3 Hipotesis

Adapun hipotesis dalam penelitian ini adalah:

- a. Terdapat interaksi antar jenis pupuk organik dan pupuk NPK terhadap efisiensi pemupukan, pertumbuhan dan hasil kedelai edamame.
- b. Nilai efisiensi pemberian pupuk NPK, pertumbuhan dan hasil kedelai edamame berbeda tergantung pada jenis pupuk organik.