

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Tebu (*Saccharum officinarum* L.) merupakan tumbuhan dari keluarga rumput-rumputan (*Graminae*) asli daerah tropis lembab, tetapi masih dapat tumbuh dan berkembang di daerah subtropis, pada tanah yang berbeda dari dataran rendah sampai ketinggian 1.400 meter di atas permukaan laut (Ditjenbun, 2011). Tebu merupakan tanaman yang bernilai ekonomis terutama di negara tropis, karena batangnya mengandung nira yang dapat diolah menjadi gula. Peningkatan konsumsi gula setiap tahun juga disebabkan oleh pertumbuhan penduduk. Pertumbuhan penduduk mengakibatkan kebutuhan gula saat ini semakin meningkat, namun peningkatan konsumsi gula tidak sejalan dengan produksi gula dalam negeri. Menurut Putranto *et al.*, (2020), bahwa hingga tahun 2020 produksi gula nasional belum mencapai hasil yang memuaskan hanya mencapai 2,13 juta ton atau turun 4,33% dibanding pada tahun 2019.

Penurunan produksi gula disebabkan menurunnya produktivitas dan efisiensi industri gula secara umum. Produktivitas yang rendah terkait erat dengan pengelolaan *on-farm* oleh petani. Petani menanam tebu dengan sistem ratoon atau keprasan. Penerapan metode *ratoon* menghilangkan kebutuhan untuk membeli benih dan pengolahan tanah yang mengurangi biaya produksi. Selain itu, tanaman keprasan lebih toleran terhadap kekeringan dibanding tanaman pertama (*cane*). Sistem tanam tebu hanya terbatas pada 3 keprasan saja, tetapi banyak petani yang menanam tebu lebih dari 3 kali keprasan. Hal ini mempengaruhi produksi dan rendemen tebu yang dihasilkan, karena produktivitas tebu keprasan terus menurun seiring bertambahnya jumlah keprasan dan petani lebih mementingkan bobot tebu daripada gula yang dihasilkan.

Tebu Keprasan memiliki beberapa keunggulan, antara lain penghematan biaya budidaya seperti pengolahan lahan, pembelian bibit, dan penanamannya (Xu *et al.*, 2021). Meskipun dengan biaya produksi yang rendah, hasil tebu keprasan akan berkurang hingga 20 - 25% dibandingkan dengan tanaman pertama (*plant*

cane) karena akar tebu yang sudah tua tidak dapat menyerap unsur hara dengan baik (Choudhary *et al.*, 2016). Hal ini disebabkan oleh seiring bertambahnya frekuensi keprasan yang menyebabkan produktivitas tebu akan semakin menurun.

Secara agronomis, penurunan hasil disebabkan oleh kebutuhan unsur hara tanaman yang kurang tercukupi, sehingga menyebabkan hasil tebu yang kurang optimal. Upaya penyediaan unsur hara yang cukup dalam tanah sangat penting dilakukan selama budidaya tebu untuk menunjang pertumbuhan dan perkembangan tanaman tebu. Secara fisiologis, tebu membutuhkan jumlah unsur N yang tepat agar mampu memproduksi gula tinggi. Pemberian unsur hara N yang cukup untuk tebu merupakan salah satu langkah yang baik untuk meningkatkan kadar gula yang tinggi (Wijaya *et al.*, 2014). Dengan kata lain, tebu yang kekurangan unsur N maupun yang kelebihan unsur N akan menghasilkan gula rendah. Dalam hal ini, perawatan dengan jumlah pupuk yang cukup merupakan syarat penting untuk hasil yang baik.

Pupuk yang dibutuhkan tanaman tebu adalah pupuk yang mengandung unsur N. Nitrogen yang akrab disebut dengan urea merupakan pupuk unggulan para petani karena dianggap dapat langsung meningkatkan produksi sehingga penggunaan pupuk urea oleh para petani tergolong boros. Namun menurut Nugroho *et al.*, (1995), efisiensi penggunaan pupuk N tidak tinggi hanya sekitar 30% - 40%, karena pupuk N bersifat higroskopis atau mudah menguap dalam bentuk amoniak dan pupuk N juga bersifat mudah mengoksidasi dan melepaskan amonium (NH_4^+). Solusi untuk meningkatkan efisiensi N dan mengatasi defisiensi pemupukan N adalah pemberian bahan pendamping pada pupuk N. Bahan pendamping pupuk N yang dapat digunakan adalah zeolit.

Zeolit merupakan bahan pembenah tanah yang memiliki muatan negatif yang tinggi, sehingga memiliki daya adsorpsi yang kuat, mampu menyerap ion bermuatan positif di dalam tanah seperti ion H^+ . Ion H^+ dalam tanah diserap oleh mineral zeolit dan disimpan dalam rongga zeolit, daya serap ion H^+ dalam tanah yang tinggi akan mengurangi keasaman tanah. Hal ini disebabkan karena ion H^+ mampu memberikan kontribusi dan meningkatkan keasaman tanah. Dalam hal meningkatkan pH tanah, fungsi zeolit adalah sebagai penyerap ion mineral beberapa di antaranya aktif di dalam tanah dan termasuk ion H^+ (Bhaskoro dan Kusumarini, 2015).

Sifat fisik dan kimia yang dimiliki zeolit yakni struktur berongga, memiliki ion-ion logam yang dikelilingi molekul air bebas bergerak dan adanya distribusi ion Si^{4+} oleh Al^{3+} pada pembentukan zeolit. Zeolit sangat baik dalam menyerap air dengan volume yang lebih tinggi, ion dan nutrisi, dan ini akan meningkatkan efisiensi dalam media tanam. Pengaruh zeolit terhadap sifat fisika dan kimia tanah dapat meningkatkan penyimpanan terhadap unsur hara dan air (Ghazavi, 2015). Karena sifat ini, zeolit digunakan sebagai pembenah tanah dan sebagai penghambat dalam melepaskan nutrisi pada pemupukan.

Pertumbuhan tanaman tebu tidak hanya bergantung pada ketersediaan unsur hara yang cukup dan seimbang, tetapi harus dengan kondisi fisik tanah yang baik. Sifat fisik tanah harus dijaga agar siklus penyerapan unsur hara oleh akar berjalan lancar sehingga pertumbuhan tanaman tidak terhambat dan hasil panen yang dapat optimal. Penggunaan pupuk N dan zeolit diharapkan dapat mempengaruhi sifat fisika tanah pada tanaman tebu keprasan.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mendapatkan sifat fisika tanah terbaik di vegetasi tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.) ratoon 3 pada berbagai dosis zeolit yang berbeda.
2. Mendapatkan sifat fisika tanah terbaik di vegetasi tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.) ratoon 3 pada persentase pupuk N yang berbeda.
3. Mendapatkan interaksi antara kombinasi dosis zeolit dan persentase pupuk N terhadap sifat fisika tanah pada vegetasi tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.) ratoon 3.

1.3 Kerangka Pemikiran

Meningkatnya konsumsi gula pasir dalam negeri menyebabkan perlunya impor gula pasir untuk mencukupi kebutuhan masyarakat. Hal ini terjadi karena peningkatan konsumsi tidak sejalan dengan produksi gula yang dihasilkan. Salah satunya disebabkan oleh sistem keprasan tanam yang dilakukan petani melebihi standar yang ditetapkan, sehingga menurunnya produktivitas dan kandungan unsur hara pada tanam tebu. Salah satu faktor yang mempengaruhi produksi gula yang tinggi adalah dibutuhkan tanah yang memiliki kandungan unsur hara tinggi serta

mempertuhkan media tanam yang subur secara fisik dan kimia. Sifat dan kondisi tanah sangat mempengaruhi pertumbuhan dan kadar gula dalam batang tebu.

Tanaman tebu dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik pada kondisi tanah yang subur, gembur, kemampuan menahan air, infiltrasi dan permeabilitas baik (Richard, 2005). Secara langsung, sifat fisik tanah mempengaruhi kedalaman akar dan kemudahan akar menarik air dan udara dari dalam tanah. Sedangkan secara tidak langsung sifat fisik tanah mempengaruhi sifat kimia dan biologi tanah. Meningkatkan dan mempertahankan kualitas tanah dalam budidaya tebu sangat penting di lakukan untuk memperoleh kapasitas dengan produksi tinggi yang berkelanjutan. Dengan memantau dinamika parameter kualitas tanah akan diperoleh strategi yang efektif dan efisien dalam sistem budidaya tebu berkelanjutan.

Tanah merupakan media tanam yang digunakan untuk budidaya tanaman tebu. Selain sifat biologi dan kimia, tanah yang bagus harus memiliki sifat fisik tanah yang baik. Karena tanpa disertai sifat fisik tanah yang baik maka produksi tanaman tidak akan mencapai pertumbuhan yang optimal. Hal ini dikarenakan tidak dapatnya akar tanaman menyerap unsur-unsur hara yang ada didalam tanah secara maksimal dan secara normal. Selain itu jika sifat fisik tanah kurang baik maka perkembangan akar tanaman akan terganggu karena sulitnya akar menembus tanah, sehingga penyerapan unsur hara yang ada di dalam tanah akan terganggu. Sifat fisika tanah terdiri dari tekstur tanah, warna tanah, kemantapan agregat tanah, bobot volume tanah, porositas tanah, kapasitas lapang, kadar air tanah, C-organik tanah, dan permeabilitas tanah. Apabila sifat-sifat tanah tersebut terpenuhi maka akan menghasilkan kondisi tanaman tebu yang sehat, subur, dan kekokohan tanaman yang lebih baik.

Salah satu upaya yang ditempuh untuk meningkatkan kualitas tanah dengan cara memperbaiki sifat fisika tanah dengan melakukan pemupukan dan penggunaan bahan pembenah tanah. Pupuk dan bahan pembenah tanah yang digunakan adalah pupuk yang mengandung unsur N dan pemanfaatan bahan pembenah tanah zeolit.

1.4 Hipotesis

Berdasarkan dari kerangka pemikiran diatas, maka diajukan hipotesis sebagai berikut :

1. Terdapat sifat fisika tanah terbaik di vegetasi tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.) ratoon 3 pada berbagai dosis zeolit yang berbeda.
2. Terdapat sifat fisika tanah terbaik di vegetasi tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.) ratoon 3 pada persentase pupuk N yang berbeda.
3. Terdapat interaksi antara kombinasi dosis zeolit dan persentase pupuk N terhadap sifat fisika tanah pada vegetasi tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.) ratoon 3.

1.5 Kontribusi

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dalam memberikan informasi berupa ilmu pengetahuan bagi petani dan masyarakat mengenai sifat fisika tanah tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.) ratoon 3 dengan kombinasi dosis zeolit dan persentase pupuk N.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Tebu

2.1.1 Morfologi tanaman tebu

Tanaman tebu terdiri dari akar, batang, daun dan bunga. Tebu memiliki akar serabut yang tumbuh dari pangkal batang. Di tanah yang subur dan berpori, akar tebu dapat tumbuh sepanjang 0,5 hingga 1 meter. Ada dua jenis akar tebu: akar tunas dan akar setek. Batang tebu merupakan bagian yang penting karena bagian inilah yang akan dipanen. Pada bagian batang ini banyak terdapat nira yang mengandung gula dengan kandungan hingga 20%. Tebu dalam bentuk sukrosa akan mencapai kadar maksimal jika tebu berumur 12 - 14 bulan atau telah mencapai kematangan fisiologis.

Bagian *internode* (ruas batang) dibatasi oleh *node* (buku) tempat daun tebu berada. Pada ketiak daun terdapat mata atau kuncup, posisi mata pada ketiak daun berselang-seling. Begitu pula dengan posisi daun pada batang yang berselang-seling (Naruputro, 2010). Tebu memiliki daun yang terdiri dari pelepah dan helaian daun. Bunga tebu terdiri dari bunga tenda yaitu tiga helai daun tajuk bunga, tiga benang sari dan bakal buah dengan putik berbentuk bulu. Struktur bunga tebu adalah malai dengan ukuran 50 - 80 cm. Malai bunga berbentuk piramida, panjang 70 - 90 cm, termasuk malai dengan ribuan bunga kecil.

2.1.2 Syarat tumbuh

Tebu dapat tumbuh dengan baik di daerah tropis dan subtropis mulai dari 19° LU - 35° LS dengan ketinggian tempat 0 – 1400 meter di atas permukaan laut. Tanah yang tepat untuk tebu adalah tanah yang tidak terlalu kering dan tidak terlalu basah untuk memperlancar aerasi udara. Tekstur tanah yang cocok untuk tanaman tebu adalah tanah yang ringan sampai sedang dengan kapasitas menahan air yang cukup dan porositas 30%. pH tanah yang cocok untuk menanam tebu adalah 6 - 7,5. Namun, masih toleran dari pH serendah 4,5 hingga pH tinggi 8,5 (Budi, 2016).

Menurut Rukmana (2015), bahwa tebu sebenarnya memiliki persyaratan perbedaan musim kemarau dan musim hujan untuk pertumbuhan dan proses pemasakan batang tebu. Tebu akan tumbuh baik pada daerah dengan curah hujan 1000 - 1300 mm.tahun⁻¹. Distribusi curah hujan sesuai dengan fase vegetatif, filogenetik atau pertumbuhan dan pematangan tebu. Curah hujan yang ideal untuk tanaman tebu pada tahap pertumbuhan membutuhkan curah hujan yang tinggi 200 mm.bulan⁻¹ selama 5 - 6 bulan berturut - turut, 125 mm.bulan⁻¹ pada pergantian musim dan kurang dari 75 mm.bulan⁻¹ selama 4 - 5 bulan untuk tahap anakan tebu.

Pengaruh suhu terhadap pertumbuhan dan pembentukan sukrosa pada tebu cukup tinggi. Suhu ideal untuk tanaman tebu adalah antara 24° C dan 34° C dengan perbedaan suhu antara siang dan malam tidak lebih dari 10° C. Pembentukan sukrosa terjadi pada siang hari dan akan bekerja paling baik pada suhu 30° C. Sukrosa yang terbentuk akan disimpan di batang dari ruas paling bawah. Proses penyimpanan ini adalah yang paling efisien dan optimal suhu 15° C.

2.1.3 Keprasan (*Ratoon*)

Tebu keprasan (*ratoon*) adalah tebu yang tumbuh setelah batang tebu ditebang untuk dipanen. Operasi pemanenan sering meninggalkan batang tebu di tanah. Oleh karena itu, perlu dilakukan kegiatan pemeliharaan berupa keprasan. Pengepresan dilakukan dengan tujuan agar tunas baru tumbuh dengan baik sehingga akar dan tunas tebu menjadi lebih baik. Tebu keprasan biasanya dilakukan beberapa kali keprasan yaitu mulai dari penanaman pertama, kedua, ketiga, dan ke empat. Tetapi terkadang banyak yang tidak melanjutkan keprasan, hanya dilakukan sampai tiga atau empat kali. Rendahnya mutu dan kualitas kepras menjadi masalah utama diantaranya adalah banyak tebu yang sudah dikepras biasanya tumbuhnya tidak merata dan banyak yang kosong di selah-selah tanaman.

Pengepresan dilakukan untuk mempertahankan produktivitas dan rendemen tebu yang tinggi (Subiyakto *et al.*, 2016). Untuk mencapai hasil keprasan yang baik maka kedalaman keprasan sangat penting untuk diperhatikan agar tunas tanaman tebu yang tumbuh tidak mengembang diatas permukaan tanah. Teknik pengepresan dan kedalaman sangat mempengaruhi kualitas dan rendemen tebu, karena pengepresan tebu pada kedalaman yang berbeda akan menyebabkan tebu

pecah sehingga mengakibatkan pertumbuhan tidak merata dan tidak teratur. Kedangkalan dalam pengeprasan menyebabkan tunas tumbuh menggantung yang berakibat jika pohon tinggi akan cepat roboh tertiup angin.

Penelitian Koswara (1989), menyatakan bahwa kedalaman keprasan mempunyai pengaruh terhadap jumlah tunas yang dihasilkan. Kedalaman keprasan 6 dan 9 cm bisa menghasilkan jumlah tunas yang lebih banyak dibandingkan dengan kedalaman keprasan 0 dan 3 cm pada umur 4 bulan. Kedalaman keprasan 6 dan 9 cm menghasilkan rata-rata 15,99 dan 15,95 tunas per meter kairan. Sedangkan perbedaan tinggi tunas dan diameter batang hanya tampak berbeda pada awal pertumbuhan.

2.2 Pembenh Tanah Zeolit

Zeolit merupakan material yang terbentuk dengan komponen utama susunan tetrahedra kation Si dan oksida Al yang terhubung dengan ion oksigen menjadi unit sekunder dua dimensi dan tiga dimensi. Menurut Sari dan Muttaqin (2016), bahwa zeolit merupakan senyawa anorganik yang tersusun dari silika-alumina terhidrasi dengan saluran dan rongga yang diisi dengan ion logam dan molekul air yang bergerak bebas. Zeolit alam memiliki kegunaan dalam proses adsorpsi, pertukaran ion maupun sebagai katalis (Setiawan *et al.*, 2017). Keunggulan zeolit alam adalah memiliki luas permukaan dan keasaman sehingga mudah dimodifikasi dengan mineral lain untuk mendapat hasil yang lebih maksimal dalam proses pemanfaatannya.

Zeolit merupakan bahan alam dengan KTK tinggi sekitar 120 - 180 meq.100gram⁻¹ dan ukuran rongganya sama dengan ion amonium sebelum diubah menjadi nitrat (Suwardi, 1999). Karena KTKnya yang tinggi dan kemampuannya menyerap ion amonium, banyak zeolit saat ini digunakan *Slow Release Fertilizer* (SRF). Penggunaan mineral zeolit sebagai pembenh tanah pertanian sudah dikenal sejak lama. Zeolit sebagai pembenh tanah merupakan mineral senyawa aluminosilikat terhidrasi yang memiliki struktur berongga dan mengandung kation alkali yang dapat ditukar (Al-Jabri, 2010). Zeolit sebagai fiksatif yang diaplikasikan pada tanah dengan dosis yang dianjurkan dapat memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah sehingga meningkatkan hasil pertanian (Pond dan Mumpton, 1984).

Zeolit berperan sebagai pembenah tanah yang dapat meningkatkan efisiensi aplikasi pemupukan, selain itu zeolit juga berperan dalam meningkatkan kesuburan tanah dan memperbaiki tanah sehingga penggunaan zeolit meningkat. Sebagai bahan pembenah tanah, zeolit memiliki kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi dan selektivitas terhadap amonium dan kalium, serta dapat digunakan sebagai bahan baku untuk meningkatkan efisiensi pupuk anorganik seperti urea (N), SP-36 (P), dan KCl. Menurut Suwardi (2002), mengombinasikan pupuk dengan zeolit yang berfungsi sebagai penyerap, pengikat, dan penukar kation merupakan salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi pemupukan. Zeolit bukan tergolong pupuk sehingga pemberian zeolit harus diikuti dengan pemberian pupuk secara tepat dosis sebagai penyedia unsur hara (Suwardi, 2009).

2.3 Pupuk

Pemupukan menjadi faktor yang sangat strategis dalam sistem perkebunan tebu, karena merupakan sarana produksi yang menyerap biaya budidaya yang paling tinggi dari total biaya sarana produksi lainnya. Untuk mengefisienkan sarana produksi dilakukan melalui efisiensi pupuk yang diberikan pada tanaman. Pemupukan sangat penting diperhatikan karena ketersediaan hara dalam tanah terbatas, semakin banyak unsur hara yang disediakan oleh media tanaman untuk tanaman maka semakin baik media tanam tersebut dan tanaman akan tumbuh secara optimal. Tidak semua media tanam memiliki tingkat kesuburan yang sama, karenanya diperlukan penambahan unsur hara dari luar melalui pemupukan.

Pemupukan adalah usaha untuk meningkatkan kesuburan tanah yang dalam jumlah dan kombinasi tertentu dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman tebu. Pemupukan tebu tergantung pada varietas, iklim, hama dan tingkat hasil. Oleh karena itu, rekomendasi penggunaan pupuk dan jenis pupuk harus didasarkan pada kebutuhan dan kemampuan penyediaan unsur hara yang optimal dalam tanah disertai dengan pelaksanaan pemupukan yang efektif baik dari segi waktu maupun cara pemupukan. Kombinasi jenis dan dosis pemupukan sangat erat kaitannya dengan hasil produktivitas dan rendemen tanaman tebu (Diana *et al.*, 2016).

Menurut Sutedjo (2008), bahwa pupuk anorganik terbagi menjadi dua, yaitu pupuk tunggal dan pupuk majemuk. Pupuk majemuk mengandung lebih dari satu

unsur hara dan lebih efisien digunakan. Oleh karena itu digunakan pupuk majemuk sebagai sumber hara pada tanaman tebu. Pupuk yang paling banyak dibutuhkan oleh tanaman tebu adalah pupuk N. Pada penelitian ini, pupuk yang digunakan adalah pupuk yang mengandung unsur N.

Nitrogen adalah unsur yang paling diperhatikan dalam pertumbuhan tanaman. Nitrogen merupakan penyusun sel hidup karenanya nitrogen ditemukan di seluruh bagian tumbuhan (Hakim *et al.*, 1986). Pemupukan nitrogen yang optimal dapat mendorong pertumbuhan tanaman, membentuk klorofil, menjadikan warna daun lebih hijau, dan meningkatkan rasio pucuk atau akar. Oleh karena itu, pemupukan nitrogen yang optimal dapat meningkatkan laju pertumbuhan tanaman (Nur dan Thohari, 2005).

2.3.1 Pupuk Nitrogen

Nitrogen adalah unsur hara esensial (keberadaannya mutlak ada untuk kelangsungan pertumbuhan dan perkembangan tanaman) dan diperlukan dalam jumlah yang banyak sehingga disebut unsur hara makro (Winarso, 2005). Nitrogen berfungsi sebagai penyusun asam-asam amino, protein, komponen pigmen klorofil yang penting dalam proses fotosintesis. Jika tanaman kekurangan unsur nitrogen dapat menyebabkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman terganggu. Hasil tanaman akan menurun yang disebabkan oleh terganggunya pembentukan klorofil yang sangat penting untuk proses fotosintesis.

Pupuk yang mengandung unsur hara N sangat dibutuhkan oleh tanaman tebu karena berperan penting dalam produksi tebu. Pasokan nitrogen yang cukup diperlukan untuk pertumbuhan vegetatif maksimum tebu seperti pembentukan daun, akar, batang dan anakan. Nitrogen dalam tebu terutama berperan dalam pembentukan klorofil untuk fotosintesis daun, protein dan asam amino non protein, dan metabolit lainnya, serta menjadi komponen utama dinding sel yang diperlukan untuk kekuatan dan pertahanan. Oleh karena itu, suplai nitrogen yang lebih sedikit akan menurunkan kandungan dan aktivitas klorofil, sehingga laju fotosintesis menurun. Berkurangnya laju fotosintesis akan menurunkan produksi sukrosa baik untuk metabolisme maupun distribusi ke jaringan parenkim batang (Mastur *et al.*, 2016).

Sumber nitrogen yang cocok adalah pupuk urea, karena nilai indeks garamnya yang rendah dan kelarutannya yang tinggi dibandingkan dengan pupuk lainnya (Curley, 1994). Menurut Lingga dan Marsono (2007), bahwa pupuk urea merupakan sumber nitrogen yang banyak digunakan dengan kandungan nitrogen 46%. Hal ini sesuai dengan pandangan Pratiwi (2008), pupuk urea mengandung unsur hara yang kaya akan nitrogen. Sifat higroskopisnya mudah larut dalam air dan bereaksi cepat, sehingga akar tebu akan cepat menyerapnya. Novizan (2002), menambahkan bahwa unsur hara yang terkandung dalam pupuk urea sangat tinggi kegunaannya bagi tanaman untuk pertumbuhan dan perkembangan antara lain membuat tanaman lebih hijau segar dan banyak mengandung butir hijau daun yang memiliki peranan dalam proses fotosintesis.

2.3.2 Hubungan Zeolit dan Pupuk N

Unsur hara yang sangat diperlukan oleh tanaman adalah unsur N. Penambahan unsur hara dapat diberikan melalui pemupukan. Pupuk nitrogen yang sering digunakan para petani adalah pupuk urea. Keunggulan urea adalah kandungan N yang paling tinggi yaitu 46%, larut dalam air, mudah diserap oleh tanaman dan harganya relatif murah dibandingkan jenis pupuk nitrogen lainnya (Supriyadi dan Kardawati, 2017). Pupuk urea termasuk pupuk yang higroskopis, sehingga penggunaan pupuk urea perlu dikombinasikan dengan bahan tambahan yaitu zeolit.

Zeolit merupakan kristal alumina silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah berbentuk kerangka tiga dimensi, bersifat masa, dan mempunyai pori yang berukuran molekul. Zeolit mempunyai struktur berongga dan biasanya diisi oleh air dan kation yang dapat dipertukarkan dan memiliki ukuran pori tertentu. Bentuk kristal zeolit yang sangat teratur dengan rongga yang saling berhubungan ke segala arah, menyebabkan zeolit mempunyai kapasitas adsorpsi yang besar, sehingga zeolit alam dapat digunakan sebagai bahan campuran pupuk urea (Marfuatun, 2011). Zeolit berperan sebagai pembenah tanah dapat meningkatkan efektifitas pemupukan, selain itu zeolit juga berperan dalam memperbaiki kesuburan tanah dan pembenah tanah.

Pencampuran zeolit dengan pupuk nitrogen seperti urea atau amonium sulfat dapat meningkatkan efektivitas dengan mengurangi kehilangan NO_3^- akibat pencucian dan perkolasi, meningkatkan ketersediaan amonium terutama pada tanah dengan kandungan liat rendah (relatif tidak subur) dengan cara mencegah nitrifikasi dan penguapan NH_4 , meningkatkan serapan N oleh tanaman dan mengurangi keracunan pada daerah akar karena kelebihan amonia dan nitrat akan ditukar oleh zeolit dan dilepaskan secara perlahan agar dapat berfungsi sebagai pupuk *slow release* (Suminarti, 2019). Sedangkan mineral zeolit sendiri berperan sebagai penyangga amonium yang dihasilkan dari penguraian urea (Bernardi *et al.*, 2016; Kavooosi, 2007). Namun pengaruh zeolit terhadap pemupukan nitrogen akan sangat dipengaruhi oleh dosis pemberian pupuk nitrogen dan zeolit.

2.4 Sifat Fisika Tanah

Sifat tanah bervariasi menurut tempat dan waktu karena hasil akhir dari proses internal atau alami dan pengaruh eksternal, misalnya intervensi manusia dapat terjadi. Proses yang bersifat internal berkaitan dengan faktor geologi, hidrologi, dan biologi yang dapat mempengaruhi pembentukan tanah. Keanekaragaman sifat fisik tanah sebagai akibat proses alam dapat diregionalisasikan dengan asumsi bahwa lokasi yang berdekatan cenderung sama atau tidak berbeda nyata nilainya, yang kemudian didelineasi menjadi satu poligon. Namun, kesamaan sangat tergantung pada skala tampilan misalnya negara, km, atau beberapa mm (Gusmara *et al.*, 2016).

Pengaruh eksternal terhadap sifat fisik tanah seperti lahan subur dan jenis penggunaan lahan dapat digambarkan dalam ruang dan waktu. Persiapan tanah, drainase, penutup tanah dan perbaikan tanah dapat secara signifikan mempengaruhi variabilitas hasil pengukuran baik secara spasial maupun dari waktu ke waktu. Misalnya, pengolahan tanah mencampur tanah, yang berarti cenderung mengurangi variasi spasial kepadatan tanah, namun pengaruhnya berubah seiring waktu karena pemadatan (Gusmara *et al.*, 2016). Sifat fisika tanah terdiri dari tekstur tanah, penetapan warna tanah, kemantapan agregat tanah, bobot volume tanah, porositas tanah, kapasitas lapang, kadar air tanah, C- organik tanah, dan permeabilitas.

2.4.1 Tekstur tanah

Tekstur tanah sangat mempengaruhi kemampuan dalam menahan air. Tanah lempung memiliki kemampuan menahan air yang lebih baik daripada tanah berpasir. Hal ini ada hubungannya dengan permukaan adsorptifnya. Semakin halus teksturnya maka semakin tinggi kemampuan mempertahankan kelembapannya (Haridjaja *et al.*, 2013). Tekstur adalah perbandingan relatif antara pasir, debu, dan liat. Karena partikel pasir relatif besar, maka memiliki luas permukaan yang lebih kecil daripada partikel debu dan lempung dengan berat yang sama.

2.4.2 Penetapan warna tanah

Warna tanah merupakan indikator bahan induk tanah yang baru berkembang, indikator kondisi iklim tanah yang lebih tinggi, dan indikator kesuburan tanah atau kapasitas produksi lahan. Akumulasi bahan organik menghasilkan warna tanah kehitaman. Warna tanah di lapangan ditetapkan dengan menggunakan pedoman buku *munsell soil color chart* yang dinyatakan dalam tiga unit: *hue*, *value* dan *chroma*. Penentuan nilai *hue* dimulai dari spektrum paling dominan merah (5R) hingga spektrum paling dominan kuning (5Y). Selain itu, beberapa buku *munsell soil color chart* juga sering memuat spektrum warna-warna tanah tereduksi (abu-abu). Nilai *value* tanah antara 2 - 8. Nilai yang lebih tinggi menunjukkan warna tanah yang lebih terang dan lebih banyak cahaya yang dapat dipantulkan dari tanah. Nilai *chroma* tanah pada buku *munsell soil color chart* dibagi menjadi bagian 1 - 8. Nilai *chroma* yang tinggi menunjukkan kemurnian spektral atau intensitas spektrum warna, meningkat dan sebaliknya (Priandana *et al.*, 2014).

2.4.3 Kemantapan agregat tanah

Kestabilan agregat tanah adalah daya tahan tanah terhadap tetesan air hujan atau dispersi. Kemantapan agregat tanah sangat penting untuk lahan pertanian dan perkebunan. Agregat tanah yang stabil menciptakan kondisi yang menguntungkan untuk pertumbuhan tanaman. Agregat dapat menciptakan lingkungan fisik yang menguntungkan untuk perkembangan akar tanaman dengan mempengaruhi porositas, permeabilitas udara, dan kapasitas menahan air. Agregat tanah yang tidak stabil akan mudah hancur. Partikel halus yang hancur akan menutup pori-

pori tanah, meningkatkan kerapatan isi tanah, mengurangi aerasi, dan mengurangi permeabilitas (Pujawan *et al.*, 2016).

Keadaan yang mempengaruhi kemantapan agregat antara lain pengolahan tanah, mikroba tanah, dan penutupan tajuk tanaman pada permukaan tanah yang dapat mencegah *splash erosion* (erosi percikan) akibat curah hujan tinggi. Proses flokulasi terjadi ketika partikel-partikel tanah yang semula dalam keadaan terdispersi bergabung membentuk agregat, sehingga membentuk agregat tanah. Sebaliknya, ketika tanah menjadi masif, terjadi fragmentasi yang terurai menjadi agregat-agregat kecil (Pujawan *et al.*, 2016).

2.4.4 Bobot volume tanah

Bobot volume adalah ukuran kepadatan tanah. Semakin padat tanah maka semakin tinggi nilai bobot isi dan semakin sulit air melewati atau menembus akar tanaman. Bobot isi berhubungan dengan jumlah pori, ukuran pori, dan permeabilitas yang semuanya ditetapkan pada tingkat dekomposisi bahan organik. Tanah dengan bobot isi yang padat akan mempersulit transportasi air dan penetrasi akar tanaman, sedangkan tanah yang kurang padat memungkinkan tanaman lebih mudah tumbuh (Henly dan Ambarsari, 2021). Pemadatan dapat disebabkan oleh berbagai hal, seperti penggunaan alat berat, pembentukan perkebunan dalam jangka waktu tertentu, pemukiman, membuka tempat-tempat di mana berbagai aktivitas fisik manusia berlangsung. Pembukaan lahan dan aktivitas alat berat berpengaruh terhadap penurunan *bulk density* dan total porositas (Handayani dan Karnilawati, 2018).

2.4.5 Porositas tanah

Porositas adalah total pori tanah yang ditempati oleh air atau udara, yang sebagiannya tidak terisi oleh bahan tanah padat. Pori-pori dalam tanah adalah bagian yang tidak terisi oleh bahan padat (terisi udara dan air). Pori-pori dalam tanah terbagi menjadi pori-pori makro, pori-pori meso, dan pori-pori mikro. Pori-pori besar (makro) umumnya berisi udara, kecuali jika tanah terisi penuh dengan air. Kecil (mikro) berisi air, kecuali jika tanahnya sangat kering. Dari segi tekstur, tanah bertekstur kasar memiliki ruang pori (porositas) lebih banyak dibandingkan tanah bertekstur halus. Beberapa pori terdapat pada tanah bertekstur kasar seperti

tanah berpasir, karena terdapat ruang pori yang didominasi oleh pori yang lebih besar sehingga pori tanah akan penuh oleh udara. Sebaliknya pada tanah bertekstur halus, ruang pori didominasi oleh pori-pori kecil sehingga sebagian besar pori terisi air (Gusmara *et al.*, 2016).

2.4.6 Kapasitas lapang

Kapasitas lapang adalah kadar air tanah pada saat infiltrasi berhenti. Kapasitas tanah berkaitan erat dengan tekstur tanah dan sangat dipengaruhi oleh kandungan bahan organik tanah, jenis mineral, dan struktur tanah. Kapasitas lapang juga dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah di bawah lapisan tanah. Tanah liat dengan mudah menahan air tanah. Namun, air yang tertahan ini lebih sulit dilepaskan daripada pasir. Tanah yang kaya akan bahan organik memiliki kapasitas penyimpanan air yang lebih tinggi karena bahan organik tanah memiliki kapasitas untuk menahan air tanah dalam jumlah yang sangat besar (Gusmara *et al.*, 2016).

2.4.7 Kadar air tanah

Kadar air tanah adalah jumlah air dalam tanah yang dapat ditahan oleh tanah terhadap gaya gravitasi. Air yang dapat ditampung oleh tanah terus menerus diserap oleh akar tanaman atau menguap di dalam tanah sehingga semakin lama, semakin kering. Daya ikat air tanah sangat tergantung pada sifat fisiknya, terutama kedalaman tanah, tekstur, struktur dan kandungan bahan organik (Gusmara *et al.*, 2016). Kadar air tanah juga merupakan berat air yang terkandung dalam tanah dibandingkan dengan berat total sampel tanah. Kadar air tanah dinyatakan dalam persentase. Banyaknya air yang dapat ditampung oleh tanah, dinyatakan dengan berat atau volume.

2.4.8 C-organik tanah

C-organik tanah adalah bahan di dalam atau di permukaan tanah yang berasal dari sisa-sisa tanaman, hewan, dan manusia dan telah mengalami atau sedang mengalami proses penguraian yang terus menerus. C-organik tanah juga sangat penting untuk meningkatkan kesuburan tanah dalam fisika, kimia dan biologi. C-organik merupakan bahan penstabil agregat tanah dan sumber hara bagi tanaman. Sumber C-organik tanah dapat dibedakan menjadi sumber primer dan

sekunder. Sumber primer C-organik adalah jaringan tanaman seperti akar, batang, ranting, daun, bunga dan buah, dan sumber C-organik tanah sekunder adalah hewan dan manusia (Hidayat, 2018).

2.4.9 Permeabilitas tanah

Secara kuantitatif, permeabilitas tanah didefinisikan sebagai tingkat transportasi cairan dalam media berpori jenuh. Dalam hal ini cairannya adalah air dan media berporinya adalah tanah. Konduktivitas hidrolik (permeabilitas) tanah ditentukan oleh hukum Darcy untuk satu dimensi, aliran vertikal. Karakteristik ini sangat dipengaruhi oleh bentuk (ruang) pori-pori dan jenis cairan yang mengalir melaluinya. Ukuran pori dan perbandingan antara pori tersebut menentukan apakah tanah tersebut memiliki permeabilitas rendah atau tinggi. Tanah dengan pori yang besar dan hubungan pori yang baik memungkinkan air mengalir lebih mudah. Pori-pori kecil dan hubungan antar pori yang seragam kurang permeabel karena air mengalir lebih lambat melalui tanah.