

BAB I

PENDAHULUAN

Tanah merupakan salah satu komponen sistem produksi tanaman yang sangat penting untuk diperhatikan dan tanah sebagai sumberdaya lahan utama untuk produksi pangan. Berkaitan dengan itu, tanah juga sebagai tempat hidup semua organisme mulai dari organisme tingkat rendah (mikrobia) sampai organisme tingkat tinggi (tanaman). Sebagai tempat hidup organisme, tanah mempunyai peranan utama untuk penopang salah satu faktor penting pertumbuhan dan perkembangan tanaman yaitu pemasok unsur hara atau makanan. Dengan demikian tanah yang subur artinya tanah yang kaya unsur hara yang akan memberikan produksi tanaman yang tinggi. Secara alami tanah dapat memasok kebutuhan hara yang dibutuhkan tanaman untuk kehidupannya, tetapi hara yang ada dalam tanah semakin berkurang jumlahnya akibat diserap terus menerus oleh tanaman ataupun hilang terbawa hasil panen atau hilang bersama air limpasan akibat curah hujan yang tinggi sehingga unsur hara tersebut harus ditambah dari luar melalui pengelolaan hara dalam tanah atau pengelolaan kesuburan tanah. Secara harfiah kesuburan tanah adalah kemampuan suatu tanah sebagai media tumbuh tanaman untuk menghasilkan produk tanaman yang diinginkan pada lingkungan tempat tumbuh tertentu dan terbatas. Produk tanaman yang dihasilkan dapat berupa buah, biji, daun, bunga, umbi, akar, getah, kayu, serat dan lain sebagainya. Sedangkan Notohadiprawiro dkk (1984) mentakrifkan kesuburan tanah adalah mutu tanah untuk berocok tanam, yang ditentukan oleh interaksi sejumlah sifat fisika, kimia dan biologi bagian tubuh tanah yang menjadi habitat akar-akar aktif tanaman. Lebih lanjut mereka menyebutkan bahwa ada akar yang berfungsi menyerap air dan larutan hara, dan ada yang berfungsi sebagai penjangkar tanaman. Kesuburan habitat akar dapat bersifat hakiki dari bagian tubuh tanah yang bersangkutan, dan/atau imbas oleh keadaan bagian lain tubuh tanah dan/atau diciptakan oleh pengaruh anasir lain dari lahan, yaitu bentuk muka lahan, iklim dan musim. Karena bukan sifat tanah yang dipentingkan melainkan mutu maka kesuburan tanah tidak dapat diukur atau diamati, akan tetapi hanya dapat ditaksir secara langsung berdasarkan keadaan tanaman yang teramati dan gejala yang dimunculkan dari hasil kinerja tanaman

yang hidup di atas tanah. Hanya dengan cara penaksiran yang pertama dapat diketahui sebab-sebab yang menentukan dan mempengaruhi kesuburan tanah. Dengan cara penaksiran kedua hanya dapat diungkapkan tanggapan tanaman terhadap keadaan tanah yang dihadapi. Secara dini status kesuburan tanah dapat dilihat dari gejala-gejala tumbuh yang diperlihatkan secara fisik oleh tanaman yang bersangkutan seperti pertumbuhannya kerdil, bentuk roset, daun kecil-kecil, daun menggulung, daun seperti terbakar dan lain-lain. Sedangkan untuk menelusuri lebih lanjut mengenai status kesuburan tanah dapat diketahui melalui analisis tanah dan daun/jaringan tanaman, sehingga dapat diketahui kecukupan hara dalam tanah dan tanaman. Menurut Foth dan Ellis (1997), kesuburan tanah adalah sebagai status suatu tanah yang menunjukkan kapasitas untuk memasok unsur-unsur utama dalam jumlah yang mencukupi untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman tanpa adanya konsentrasi meracun dari unsur manapun. Pengertian tersebut menunjukkan bahwa tanah yang subur mempunyai kemampuan memasok unsur hara dalam jumlah yang cukup dan seimbang kepada tanaman, sehingga tanaman dapat tumbuh dan berkembang dengan sehat (karena tidak ada unsur hara yang meracun) dan dapat memproduksi sesuai dengan potensinya.

Tanah memiliki kesuburan yang berbeda-beda tergantung sejumlah faktor pembentuk tanah yang merajai di lokasi tersebut, yaitu bahan induk, iklim, relief, organisme, atau waktu. Tanah sebagai media tumbuh tanaman merupakan fokus utama dalam pembahasan pengelolaan kesuburan tanah, sedangkan kinerja tanaman merupakan indikator utama mutu kesuburan tanah tersebut. Dengan demikian kesuburan tanah tidak terlepas dari keseimbangan sifat biologi, fisika dan kimia tanah. Ketiga sifat tanah tersebut saling berinteraksi dan sangat menentukan tingkat kesuburan tanah pertanian. Tanpa disadari selama ini sebagian besar petani di Indonesia hanya mementingkan kesuburan tanah yang bersifat kimia saja yaitu perbaikan mutu tanah dengan pemberian pupuk baik pupuk organik berupa kompos, pupuk hijau atau pupuk kandang atau pupuk anorganik seperti Urea, TSP, KCl dan NPK dan sebagainya secara terus menerus dengan dosis yang tidak spesifik lokasi, sehingga terkadang terjadi kelebihan hara di satu tempat tetapi kekurangan hara di tempat lain, tanpa memperhatikan sifat fisik tanah ataupun biologi tanah. Tanpa disadari juga pemakaian pupuk anorganik yang tidak tepat (tepat dosis, waktu, cara) dapat menyebabkan pencemaran sumberdaya lahan dan lingkungan.

Selain itu pemakaian pupuk anorganik yang terus menerus dapat menyebabkan akumulasi logam berat misal kadmium atau timbal dalam tanah yang membahayakan kesehatan hewan dan manusia. Sehingga pemupukan harus dilakukan secara arif dan spesifik lokasi untuk meminimalisasi dampak negatif yang ditimbulkan. Petani belum banyak yang memahami bagaimana melakukan pengelolaan kesuburan fisika dalam usahatani. Kesuburan fisika seperti perbaikan struktur tanah, pengolahan tanah yang baik, perbaikan respirasi tanah, perbaikan agregat tanah akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Keadaan fisika tanah ini luput dari perhatian petani, walaupun tanpa disadari petani juga sudah melakukannya dalam setiap usaha taninya, tetapi bukan untuk perbaikan kesuburan fisika tanah melainkan perbaikan kimia tanah untuk menambah unsur hara. Misalnya pemakaian kompos atau bahan organik atau pupuk hijau ke dalam tanah, terlebih dahulu dapat memperbaiki kesuburan fisika tanah seperti perbaikan struktur tanah (tanah yang mampat menjadi lebih sarang atau tanah yang porus menjadi lebih baik strukturnya karena agregat akan terbentuk), perbaikan kelembaban tanah karena bahan organik mampu mengikat atau menahan air yang lama, bahan organik dapat memperbaiki permeabilitas dan respirasi tanah dll. Setelah itu akan terjadi penguraian bahan organik lebih lanjut dengan melepaskan unsur hara yang dibutuhkan tanaman. Sedangkan kesuburan biologi tanah dimaksudkan untuk meningkatkan kehidupan jasad renik dalam tanah. Hal ini sebenarnya juga telah dilakukan oleh petani yang pada awalnya hanya dimaksudkan untuk memperbaiki kesuburan kimia tanah. Misalnya pemberian bahan organik dan sejenisnya dalam tanah dapat menarik perhatian hadirnya jasad-jasad hidup baik mikro maupun meso mendekati bahan organik tanah tersebut. Karena bahan organik sebagai sumber makanan jasad-jasad hidup tanah tersebut, sehingga bahan organik dapat dikatakan sebagai pembangkit jasad hidup tanah (*soil regeneration*). Dalam kondisi lapangan, adanya ongkongan bahan organik di suatu tempat maka di dalamnya akan terdapat jasad-jasad hidup tanah baik mikro maupun meso dalam tanah dan jasad-jasad tersebut selanjutnya sangat bermanfaat sebagai pengurai bahan organik itu sendiri dan akhirnya akan terjadi pelepasan berbagai unsur hara ke dalam tanah.

Dalam pertanian modern yang bersifat ekstraktif dan intensif, kesuburan tanah merupakan bagian agrosistem yang bersifat dinamis (Price, 2006) yang dapat berubah menurun atau meningkat yang terjadi secara alami ataupun akibat aktifitas manusia.

Penurunan kesuburan tanah dapat berupa berkurangnya konsentrasi hara yang tersedia, penurunan kandungan bahan organik, kapasitas tukar kation, dan perubahan pH, atau yang sering disebut sebagai penurunan kesuburan kimiawi (Hartemink, 2006). Penurunan tersebut dapat terjadi karena beberapa hal, antara lain: (i) pemiskinan hara, (ii) penambangan hara, (iii) pengasaman tanah, (iv) kehilangan bahan organik, dan (v) peningkatan kadar unsur-unsur beracun (seperti melimpahnya logam-logam amfoter (Al, Mn dan Fe) dalam tanah). Penurunan kesuburan tanah secara alami dapat terjadi misalnya melalui erosi tanah oleh air limpasan (*run off*) yang menyebabkan hilangnya lapisan tanah bagian atas (*arable layer*) yang relatif subur dan meninggalkan lapisan permukaan tanah baru yang kurang subur atau tidak subur. Penurunan kesuburan tanah akibat aktifitas manusia, misalnya eksploitasi hara tanah melalui pemanenan seluruh bagian tanaman tanpa pasokan hara yang memadai (atau tanpa pengembalian biomassa ke dalam tanah) dan pengolahan tanah yang berlebihan yang menyebabkan kehilangan bahan organik tanah, sehingga tidak mampu mengikat hara. Sedangkan peningkatan kesuburan tanah secara alami terjadi misalnya akibat penambahan bahan-bahan erupsi gunung berapi yang membawa mineral hara seperti sulfur, penambahan N oleh jasad mikro bebas dalam tanah yang bersimbiosis dengan tanaman leguminosa. Selain itu peningkatan kesuburan tanah juga dapat terjadi akibat pemberian bahan-bahan yang mengandung unsur hara seperti pupuk buatan, pupuk kandang, pupuk hijau dari tanaman legum atau kombinasi dari semua itu (Hartemink, 2006).

Pemupukan akan efektif jika pupuk yang ditebarkan dapat menambah atau melengkapi unsur hara yang secara *in situ* telah tersedia dalam tanah. Karena hanya bersifat menambah atau melengkapi unsur hara, maka sebelum digunakan harus diketahui gambaran keadaan tanahnya, khususnya kemampuan awal tanah untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Dalam mendukung kehidupan tanaman, tanah memiliki empat fungsi utama yaitu (1) memberi atau memasok unsur hara dan sebagai media perakaran, (2) menyediakan air dan sebagai tempat penampung air, (3) menyediakan udara untuk respirasi akar dan fauna tanah, dan (4) sebagai media tumbuh tanaman. Tidak adanya hambatan interaksi ketiga sifat-sifat tanah (fisika, kimia dan biologi tanah) akan memberikan kesuburan tanah yang baik dan ideal. Apabila salah satu sifat tanah terkendala, maka kesuburan tanah yang diperlihatkanpun akan mengalami ketidak

seimbangan akibatnya akan ditunjukkan oleh kinerja pertumbuhan tanaman yang tidak sempurna dan akhirnya produk tanaman yang diharapkan tidak akan terwujud dengan kata lain terjadi kegagalan panen. Untuk itulah diperlukan pengelolaan kesuburan tanah yang tepat untuk menjadikan unsur hara yang ada dalam tanah atau ditambahkan akan tersedia secara keberlanjutan dan mudah diserap oleh tanaman untuk proses biokimia dalam tubuh tanaman tanpa mencemari sumberdaya lahan dan lingkungan. Artinya pemberian hara ke dalam tanah sebenarnya hanya bila diperlukan saja atau hanya bila tanaman kelihatan lapar. Untuk itu diperlukan pengetahuan bagaimana mengidentifikasi tanaman lapar sehingga dengan cepat dan tepat menambahkan zat makan yang hanya diperlukan saja sehingga yang tidak diperlukan tidak harus ditambahkan untuk menekan adanya pencemaran sumberdaya lahan dan lingkungan. Keterlambatan identifikasi kelaparan hara oleh tanaman menyebabkan tanaman tidak mau atau lambat merespon hara yang diberikan sehingga tanaman dapat mengalami kematian yang sebelumnya ditunjukkan oleh ketidak mauan merespon terhadap hara yang ditambahkan.

Ada dua pengertian kesuburan tanah yang harus dibedakan jelas dan harus dipahami oleh para pelaku pertanian dan/atau perkebunan, Yang pertama ialah kesuburan tanah aktual, yaitu kesuburan tanah hakiki (asli, alamiah). Yang kedua adalah kesuburan tanah potensial, yaitu kesuburan tanah maksimum yang dapat dicapai dengan intervensi teknologi yang mengoptimumkan semua faktor. Seberapa banyak intervensi teknologi yang layak diterapkan tergantung pada (1) imbalan antara tambahan hasil panen atau nilai tambah komoditas yang diharapkan akan dapat dihasilkan, dan tambahan biaya produksi yang harus dikeluarkan, (2) kemampuan masyarakat membiayai intervensi tersebut, dan (3) ketrampilan teknik masyarakat menerapkan intervensi tersebut secara sinambung. Ketiga faktor pertimbangan itu saling pengaruh mempengaruhi. Meskipun menurut pertimbangan pertama intervensi yang direncanakan dapat diterima, namun rencana itu menjadi tidak layak kalau masyarakat tidak mampu membiayainya dan/atau tidak berketerampilan teknik untuk melaksanakannya (Notohadipraiwro dkk, 1984). Namun demikian dalam pengelolaan kesuburan tanah pada hakekatnya mengelola unsur hara baik yang ada dalam tanah maupun unsur hara yang berupa masukan atau input produksi yang sengaja ditambahkan untuk memanipulasi kesuburan tanah agar dapat mendukung untuk pertumbuhan tanaan. Perlu diperhatikan terutama di negara-negara

tropika basah dimana curah hujan sangat tinggi sangat mempengaruhi kesuburan tanah. Karena curah hujan yang tinggi akan melindi unsur-unsur hara dari lapisan olah tanah (*arable layer*) yang umumnya relatif subur dan tempat berjangkarnya akar tanaman yang menyisakan logam-logam aluminium, besi dan mangan yang mana logam-logam tersebut merupakan logam amfoter yang merupakan faktor pembatas untuk pertumbuhan tanaman. Curah hujan juga akan mempercepat pelapukan mineral tanah dan menghasilkan mineralogi klei (*clay*) yang dirajai oleh kandiit dan mineral seskuioksida seperti gipsit (Conyers, 1986). Gipsit sebagai sumber aluminium yang dapat larut dan terhidrolisis menghasilkan ion hidrogen yang akhirnya menyebabkan pH masam. Semakin banyak ion hidrogen yang dilepaskan, pH tanah semakin masam dan pertumbuhan tanaman akan terhambat karena hampir semua unsur hara tidak tersedia pada kondisi masam.

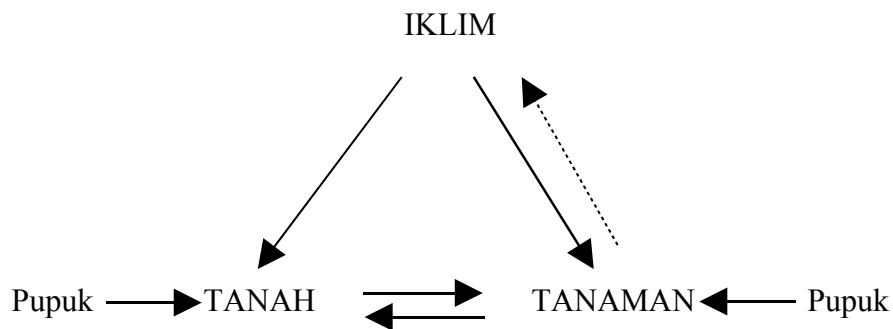
1.1. Pentingnya Unsur Hara Untuk Tanaman

Seperti halnya makhluk hidup lainnya, tanaman juga memerlukan makanan atau zat atau unsur hara untuk hidup dan berkembang serta untuk memproduksi sesuai dengan yang diharapkan misalnya untuk menghasilkan biji, buah, serat, bahan segar, bunga, kayu, getah dan sebagainya. Dengan demikian dalam kegiatan pertanian intensif dimana hasilnya harus cepat diperoleh dengan produksi yang tinggi untuk memenuhi kebutuhan manusia yang cenderung terus meningkat, pemberian hara dalam bentuk pupuk dalam jumlah yang cukup dan seimbang merupakan salah satu bagian yang tidak dapat ditinggalkan. Selain itu pada pertanian modern dengan teknologi molekuler yang tinggi telah ditemukannya kultivar-kultivar baru, tanaman tersebut harus cepat dan tepat dalam pemberian makanan, tanaman-tanaman tersebut sangat sensitif terhadap perubahan hara dalam tanah atau dengan perkataan lain kultivar-kultivar baru yang mempunyai kemampuan produksi yang tinggi, sangat memerlukan kondisi yang prima dalam tanah, tanaman tersebut tidak mau tumbuh dalam kondisi tercekam terutama tercekam hara yang diperlukan untuk tumbuhnya. Berbeda dengan pertanian tradisional dengan jumlah penduduk yang masih sedikit, tanah yang masih luas tersedia, kebutuhan makanan tanaman dapat diperoleh dengan mudah tanpa menanam yang terlalu banyak dan

didukung oleh areal untuk bercocok tanam masih sangat luas. Terkadang pada pertanaman ladang berpindah petani tidak perlu menambah pupuk dari luar karena tanah masih mencukupi kebutuhannya sendiri. Namun dengan perkembangan sains dan teknologi serta jumlah penduduk yang terus meningkat, kebutuhan makanan menjadi target utama yang harus segera disediakan. Kelambanan atau kegagalan dalam penyediaan bahan pangan dapat mempengaruhi kondisi politik suatu negara dan menyebabkan ketidak tentraman manusia. Selain itu, dengan ditemukannya jenis klon atau varitas tanaman unggul memerlukan perhatian yang lebih serius serta perlu perlakuan agronomik yang tepat yang mengakibatkan tanaman sangat intensif dan rakus dalam menyerap unsur hara. Di lain pihak, persediaan unsur hara di dalam tanah sudah tidak dapat mengimbangi laju penyerapan oleh tanaman dan ada persaingan lain dengan jasad hidup dalam tanah ataupun persaingan dengan kation/anion penjerap hara oleh partikel tanah. Dengan demikian agar produksi tanaman dapat dicapai maksimal, diperlukan suplemen unsur hara dari luar dalam bentuk pupuk, walaupun secara alami unsur hara sudah ada di dalam tanah tetapi tidak mencukupi untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Ketidacukupan unsur hara dalam tanah akan mengakibatkan tanaman tidak mampu berproduksi secara maksimal atau bahkan tanaman tidak dapat menyelesaikan daur hidupnya atau tanaman akan merana dan akhirnya mati.

Tanah dan iklim yang merupakan faktor lingkungan yang sangat mempengaruhi tempat tumbuh tanaman mempunyai hubungan timbal balik yang sangat erat dengan tanaman. Tanah selain sebagai tempat berpijaknya akar tanaman sekaligus juga sebagai pemasok unsur hara yang diperlukan tanaman, juga sebagai tempat hidup untuk berbagai jasad dalam tanah seperti cacing tanah, bakteri dan fungi dan juga sebagai tempat terjadinya reaksi fisik kimia tanah dan juga sebagai tempat terjadinya reaksi fisik kimia tanah. Sebaliknya sisa-sisa tanaman (guguran daun, cabang dan ranting) merupakan bahan yang dapat memperkaya unsur hara tanah setelah didekomposisi oleh jasad tanah atau mikroba tanah. Hubungan antara tanaman dan iklim lebih cenderung ke hubungan yang searah, yaitu kondisi iklim mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Akan tetapi dalam skala mikro, dalam batas-batas tertentu kondisi tanaman dapat berpengaruh terhadap keadaan iklim mikro, seperti pembukaan lahan yang serempak dan bersih dapat menyebabkan naiknya suhu tanah. Antara tanah dan iklim

hanya terdapat hubungan yang searah, yaitu kondisi iklim berpengaruh terhadap sifat-sifat tanah. Karena hubungan yang demikian, sering sifat-sifat tanah diprediksi dari keadaan iklim. Gambaran hubungan antara tanaman, tanah dan iklim dapat dilihat pada Gambar 1.1. Memperhatikan arah panah yang ditunjukkan oleh skema tersebut dapat dilihat faktor mana yang dapat dimanipulasi atau dikelola sehingga kesuburan tanah dapat menjadi lebih baik dan cocok untuk pertumbuhan tanaman. Dengan demikian kegagalan panen dapat dihindari secara dini melalui pengelolaan tanah tersebut. Kegiatan ini dapat merupakan kegiatan pengelolaan kesuburan tanah baik kesuburan kimiawi, fisika dan kesuburan biologi tanah. Pengelolaan kesuburan tanah yang tepat dapat mendukung pelestarian sumberdaya lahan dan pelestarian lingkungan. Artinya tidak terjadi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh kelimpahan hara di badan perairan (eutrofikasi) maupun dampak negatif lain yang diakibatkan oleh senyawa kimia yang dikeluarkan oleh pupuk-pupuk kimia yang diberikan dalam tanah.



Gambar 1.1. Arah hubungan antara tanaman, tanah dan iklim

Berdasarkan hubungan antara tanaman dan tanah tersebut juga dapat diketahui faktor-faktor pembatas pertumbuhan/produktivitas tanaman yang berasal dari tanah yang dapat berupa sifat kimia, fisika maupun biologi. Apabila faktor-faktor pembatasnya adalah kurang tersedianya unsur hara, pemupukan merupakan penyelesaian yang paling tepat dan cepat. Pemupukan dapat dilakukan lewat tanah atau langsung ke tanaman lewat daun atau dapat diinjeksikan ke batang tanaman. Antara tanah dan iklim terdapat hubungan yang secara tidak langsung berpengaruh terhadap tanaman. Kondisi iklim sangat menentukan keberadaan unsur hara di dalam tanah, baik unsur yang berasal dari

pupuk maupun yang bukan berasal dari pupuk. Keberadaan unsur hara di dalam tanah ini mempengaruhi jumlah penyerapannya oleh tanaman.

Iklim dapat berpengaruh langsung terhadap tanaman dalam hal penyerapan unsur hara. Pengaruh dari iklim dapat melalui air, suhu, kelembaban, dan penyinaran matahari. Perubahan atas faktor-faktor tersebut akan sangat berpengaruh terhadap kecepatan dan jumlah unsur hara yang diserap tanaman. Apabila penyerapan unsur hara oleh tanaman terganggu atau tidak sampainya unsur hara ke tempat yang semestinya (daun sebagai tempat asimilasi) maka pertumbuhan dan perkembangan tanaman juga akan terganggu dengan ditunjukkan oleh pertumbuhan tanaman yang tidak normal (pendek, kerdil, kurus, lemas, dan lain-lain), atau terdapat gejala kekahatan unsur hara (misal: tanaman klorosis, terdapat bercak-bercak merah atau ungu, mati pucuk, roset, dan lain-lain). Gangguan penyerapan unsur hara dapat ditunjukkan oleh eksterimnya kondisi tanah misalnya terlalu masam, terlalu basa/alkalis, terlalu salin atau terdapatnya unsur antagonis terhadap unsur hara utama yang diperlukan, adanya gangguan fisik perakaran dan sebagainya.

Dengan demikian unsur hara sangat penting untuk pertumbuhan dan perkembangan setiap tanaman. Kekurangan salah satu unsur hara, tanaman akan menunjukkan kelainan pertumbuhannya atau bahkan tanaman akan mati sebelum waktunya. Untuk itu kehadiran unsur hara dalam jumlah tertentu sangat mutlak diperlukan, kalau terdapat faktor-faktor pembatas untuk menyediakan unsur hara dalam tanah, harus dihilangkan atau diminimalkan sehingga ketersediaan unsur hara dapat diserap tanaman untuk pertumbuhannya.

1.2. Hubungan Jenis Tanah dengan Unsur Hara

Dari sejumlah unsur hara yang berasal dari pupuk yang diberikan ke tanaman melalui tanah, tidak semuanya dapat diserap oleh tanaman. Sebagian dari pupuk tersebut tidak dapat dimanfaatkan oleh tanaman disebabkan oleh beberapa hal, antara lain pencucian keluar jangkauan perakaran, erosi, menguap, disemat oleh partikel tanah, immobilisasi oleh jasad renik dan khusus untuk nitrogen mengalami proses denitrifikasi seperti yang terjadi pada tanah-tanah sawah yang tergenang atau tanah-tanah rawa untuk pertanian.

Pencucian unsur hara dapat terjadi secara intensif pada daerah bercurah hujan tinggi dengan tekstur pasiran yang bersifat porous (misal tanah-tanah entisol = USDA atau Regosol = FAO)). Senyawa yang sangat mudah mengalami pencucian adalah NO_3^- (nitrat) serta molekul urea, karena tidak terjerap oleh koloid tanah. Kecepatan menurunnya nitrat dan urea ini kurang lebih sama dengan kecepatan menurunnya air, sehingga senyawa nitrogen ini juga cepat hilang bersama air irigasi. Gejala-gejala hilangnya senyawa nitrat dan urea ini dapat dilihat pada tanah-tanah sawah di tanah regosol di daerah Klaten, Jawa Tengah atau daerah Sleman, Yogyakarta. Sebaliknya senyawa fosfat hanya sedikit mengalami pencucian, dan itupun hanya terjadi pada pemupukan P dosis tinggi. Ion-ion fosfat banyak dijerap oleh logam-logam amfoter seperti aluminium, besi dan mangan pada tanah-tanah masam (misalnya Utisol, Oxisol, Andisol dan Alfisol), dan oleh kalsium ataupun magnesium pada tanah-tanah basa atau alkalis (misal: Vertisol dan Mollisol), sehingga fosfat menjadi tidak tersedia untuk tanaman. Gejala-gejala rendahnya ketersediaan P dapat dilihat pada tanah-tanah Podsolik Merah Kuning (Ultisol) di Sumatera, Kalimantan atau Irian Jaya dan pada tanah-tanah Grumusol (vertisol) di Gunung Kidul Yogyakarta, sehingga pada tanah-tanah tersebut diperlukan pupuk P dengan dosis tinggi atau dikombinasi dengan bahan organik. Unsur kalium juga merupakan obyek pencucian hara di dalam tanah, dan laju pencuciannya lebih cepat daripada fosfor tetapi lebih lambat daripada urea dan nitrat. Pencucian K juga dapat terjadi apabila pada tanah-tanah masam diberi kapur dengan dosis tinggi. Karena ion Ca^{2+} yang berlebihan dapat mendesak ion K^+ sehingga hilang dari mintakat perakaran akibatnya terjadi gejala kekahatan Kalium.

Kehilangan unsur hara karena erosi terjadi pada tanah dengan topografi miring tanpa teras dan curah hujan tinggi, dan pada kondisi tersebut jumlah kehilangan unsur hara dapat mencapai 50% (dapat terjadi pada tanah-tanah Ultisol). Penguapan terhadap unsur hara dapat hilang dalam bentuk gas, misalnya nitrogen dalam bentuk NH_3 atau N_2 . Penguapan ini banyak terjadi pada tanah-tanah sawah, rawa lebak atau pasang surut dengan temperatur tinggi, kelembaban rendah, atau lahan yang mengandung kapur dan kapasitas pertukaran rendah.

Proses sematan (*fixation*) oleh koloid tanah terjadi pada senyawa-senyawa amonium, fosfat, dan kalium. Amonium dan kalium disemat terutama oleh tanah yang

banyak mengandung mineral klei (*clay mineral*) montmorilonit pada tanah Vertisol. Mineral ini ditandai dengan sifat mengembang mengerut yang besar, dan proses sematan terjadi pada saat mengerut (kering). Sematan fosfor terjadi pada pH rendah ($< 5,0$) oleh logam-logam Fe, Al, dan Mn pada tanah Ultisol dan Oxisol, sedangkan proses sematan P pada pH tinggi ($> 8,0$) dilakukan oleh ion Ca dan/atau Mg terjadi pada tanah-tanah Vertisol atau Mollisol.

Immobilisasi adalah penggunaan senyawa nitrogen tanah oleh jasad renik untuk sintesis protoplasma tubuhnya. Dengan adanya proses immobilisasi, maka nitrogen yang semua dapat dimanfaatkan oleh tanaman menjadi tidak dapat dimanfaatkan, akan tetapi proses tersebut bersifat sementara. Setelah jasad renik mati, sel-sel tubuhnya mengalami perombakan dan melepaskan nitrogen yang dapat diserap tanaman. Peristiwa itu erat hubungannya dengan pemberian bahan organik dengan nisbah C/N tinggi di dalam tanah. Denitrifikasi merupakan proses reduksi nitrat secara biokimia menjadi gas N_2 , N_2O dan NO pada kondisi anaerob (absen oksigen). Peristiwa denitrifikasi dapat terjadi pada lahan-lahan rawa atau sawah yang digenangi secara terus-menerus dalam waktu lama.

Dengan adanya proses-proses kehilangan unsur hara tersebut di atas, jelas bahwa sifat dan karakteristik tanah sangat mempengaruhi status hara dalam tanah, yang akibatnya dapat mempengaruhi efisiensi penyerapan unsur hara oleh tanaman. Sebagai contoh rata-rata kehilangan unsur hara N, P dan K berturut-turut 2,5; 1,5; dan 2,5 kali lipat dari jumlah unsur yang diserap tanaman, atau efisiensi penyerapan unsur hara N, P dan K dari pupuk berturut-turut sebesar 28, 39 dan 28 persen.

1.3. Hubungan Unsur Hara Dengan Kesehatan Tanaman

Tanaman yang sehat memerlukan makanan yang cukup dan seimbang serta makanan yang tidak mengandung logam-logam yang berbahaya untuk kesehatan hewan dan manusia yang memakannya. Tanaman yang kekurangan makanan baik yang berasal dari dalam tanah, air maupun udara, maka tanaman tersebut akan rentan terhadap penyakit atau tanaman mudah terserang oleh penyakit. Untuk mengantisipasi sejak dini, agar tanaman tetap sehat maka tanaman perlu mendapatkan makanan yang cukup dan aman untuk kesehatan. Makanan diperlukan oleh tanaman untuk mensukseskan proses

metabolisme tanaman tersebut dan menghasilkan proksimat yang dapat dimanfaatkan oleh hewan dan manusia. Misalnya dalam proses metabolisme protein, maka unsur hara nitrogen, sulfur dan fosfor sangat diperlukan. Unsur hara tersebut diperlukan sebagai prekursor pembentukan protein. Demikian juga dalam proses metabolisme lemak, karbon, hidrogen dan fosfat juga diperlukan. Salah satu hasil lain dari metabolisme adalah energi dan energi diperlukan untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Tanaman yang cukup energi, maka tanaman akan sehat. Energi juga sangat diperlukan untuk pembentukan fase generatif seperti anak, bunga dan buah.

Kekahatan unsur hara akan mempercepat proses kematian tanaman. Misalnya tanaman kekurangan nitrogen akan menyebabkan tanaman klorosis. Kalau tanaman klorosis, menyebabkan daunnya tidak hijau dan kekurangan klorofil. Tanaman yang kekurangan klorofil di daun, maka proses asimilasi tidak maksimal akibatnya tanaman akan kekurangan makanan. Akhirnya zat makanan tidak cukup didistribusikan ke seluruh tanaman dan tanaman tidak dapat berkembang serta lambat laun akan mati. Selain itu, dalam proses asimilasi akan dihasilkan energi dan tanaman yang kekurangan energi juga tidak akan tumbuh dengan sempurna dan berkembang secara maksimal. Untuk padi, tidak akan dihasilkan anakan yang banyak, untuk tanaman buah-buahan tidak akan berbuah lebat dan sebagainya. Selain dengan yang dikemukakan di atas, unsur hara yang ditambahkan ke dalam tanah melalui pemupukan dengan tidak teratur akan terjadi akumulasi logam-logam ikutan lain dalam tanah (misalnya TSP mengandung logam ikutan kadmium dan timbal, lihat Tabel 1.1). Pemberian TSP yang berlebihan dan tidak teratur sama halnya menambah logam berat kadmium dan timbal dalam tanah tersebut, walaupun logam kadmium dan timbal tersebut tidak diperlukan oleh tanaman untuk pertumbuhannya akan tetapi secara pasif logam-logam tersebut dapat terserap oleh tanaman dan dapat melonggok ke dalam bagian-bagian tubuh tanaman. Hewan dan manusia yang makan bagian tanaman tersebut, maka logam kadmium dan timbal akan pindah ke hewan dan manusia. Logam tersebut bersifat karsinogenik dan membahayakan untuk manusia dan hewan yang mengkonsumsinya. Untuk itu tanaman juga harus sehat dari serapan logam-logam berat yang berbahaya untuk kesehatan manusia. Tanaman yang sehat akan mempengaruhi hewan dan manusia yang mengkonsumsi tanaman tersebut.

Tabel 1.1. Kisaran umum konsentrasi logam berat pada pupuk anorganik dan organik (mg kg^{-1})

Sumber: Alloway (1995)

Unsur	Pupuk Fosfat	Pupuk Nitrat	Pupuk Kandang	Kapur	Kompos
Boron (B)	5-115	-	0,3-0,6	10	-
Kadmium (Cd)	0,1-170	0,05-8,5	0,1-0,8	0,04-0,1	0,01-100
Kobalt (Co)	1-12	5,4-12	0,3-24	0,4-3	-
Kromium (Cr)	66-245	3,2-19	1,1-55	10-15	1,8-410
Tembaga (Cu)	1-300	-	2-172	2-125	13-3580
Raksa (Hg)	0,01-1,2	0,3-2,9	0,01-0,36	0,05	0,09-21
Mangan (Mn)	40-2000	-	30-969	40-1200	-
Molibdenum (Mo)	0,1-60	1-7	0,05-3	0,1-15	-
Nikel (Ni)	7-38	7-34	2,1-30	10-20	0,9-279
Timbal (Pb)	7-225	2-27	1,1-27	20-1250	1,3-2240
Stibium (Sb)	<100	-	-	-	-
Selenium (Se)	0,5	-	2,4	0,08-0,01	-
Uranium (U)	30-300	-	-	-	-
Vanadium (V)	2-1600	-	-	20	-
Zink (Zn)	50-1450	1-42	15-566	10-450	82-5894

Timbal mempunyai efek racun terhadap susunan saraf pusat, terutama pada kanak-kanak (balita). Input atau asupan logam berat Pb ke dalam tubuh selain melalui pernapasan dalam bentuk partikulat, dapat juga melalui absorpsi oleh kulit dan saluran

makanan. Pada orang dewasa, efek yang ditimbulkan oleh logam berat Pb antara lain menyebabkan tekanan darah tinggi, penurunan hemoglobin, pusing dan pada dosis tinggi dapat menyebabkan encephalopathy. Sedangkan pada kanak-kanak, selain gejala atau efek yang terjadi pada orang dewasa, ditambah dengan penurunan intelegensia (Notodarmojo, 2004). Pada tanah-tanah sawah yang telah dibuka lama telah terjadi akumulasi logam berat Pb (timbal) yang sudah dalam taraf membahayakan, artinya pemupukan anorganik yang berlebihan telah diketahui dapat mencemari lahan (Tabel 1.2 dan Tabel 1.3). Menurut Beijer dan Jernelov (1986), lahan-lahan pertanian yang telah dikelola secara intensif telah menunjukkan adanya timbunan logam berat akibat dari penggunaan bahan-bahan agrokimia. Penggunaan pupuk terutama pupuk fosfat yang terus menerus dengan dosis tinggi pada sistem pertanian intensif dapat menimbulkan terjadinya pencemaran logam berat, walaupun secara mandiri tanah mampu menyerap logam berat, tetapi kalau jumlahnya melebihi ambang batas maka logam tersebut akan ikut diserap oleh tanaman.

Tabel 1.2. Rerata kandungan logam berat Pb dalam tanah sawah intensifikasi Tugu Mulyo

No	Tahun Pembukaan Lahan Sawah	Kandungan Pb (mg kg ⁻¹)
1	1938	23,33 ± 1,90
2	1949	21,48 ± 0,71
3	1983	15,02 ± 3,00
4	1997	10,12 ± 2,14

Sumber: Adhitama, 2011

Tabel 1.3. Kandungan Kadmium (Cd) Pada Lahan Sawah Intensifikasi Belitang

No	Umur Sawah (thn)	Cd (µg g ⁻¹)
1	0	0,00

2	15	10,00
3	30	11,66
4	60	11,66

Sumber: Budianta dan Tambas, 2004

Berdasarkan hasil analisis laboratorium, diketahui bahwa pupuk fosfat mengandung logam berat Pb antara 5-156 mg kg⁻¹ (Setyorini *et al.*, 2003). Apabila pupuk tersebut digunakan secara terus menerus dengan dosis dan intensitas yang berlebihan, dapat meningkatkan kandungan Pb yang tersedia dalam tanah, sehingga meningkatkan serapan Pb oleh tanaman (Charlena, 2004). Adanya logam berat dalam tanah pertanian dapat menurunkan produktivitas tanah dan mutu hasil pertanian. Selain itu juga logam berat dapat membahayakan kesehatan manusia melalui konsumsi produk pangan yang tercemar, hal ini dikarenakan logam berat terserap ke dalam jaringan akar yang selanjutnya masuk ke dalam siklus rantai makanan (Subowo *et al.*, 1999). Moshman (1997), mengungkapkan bahwa akumulasi logam berat Pb pada tubuh manusia yang terus menerus bertambah dapat mengakibatkan anemia, kemandulan, penyakit ginjal, kerusakan syaraf dan kematian. Menurut Budianta dan Tambas (2004), bahwa pupuk fosfat (TSP) juga mengandung logam berat kadmium (Cd) sebesar 20 mg kg⁻¹ dan mampu menyebabkan lahan sawah yang sudah lama diberi pupuk fosfat secara terus menerus tercemar melewati batas toleransi yang diperbolehkan yaitu 3 mg kg⁻¹ (Mengel dan Kirkby, 1987). Ini berarti untuk lahan sawah yang mempunyai kandungan Cd > 3 µg g⁻¹ diindikasikan sudah tercemar Cd. Seperti telah diketahui bahwa Cd merupakan bahan ikutan pupuk P (Salam *et al.*, 1998). Tertimbunnya kadmium dalam tanah yang berasal dari berbagai sumber, erat kaitannya dengan sifat kadmium yang mudah teradsorpsi oleh klei dan bahan organik tanah atau mengendap bersama ion fosfat, karbonat, sulfida, dan hidroksida. Masuknya Cd melalui pupuk umumnya lebih besar dibandingkan keluaran Cd akibat pelindian, sehingga akumulasi Cd di dalam tanah cenderung meningkat. Menurut Kasno dan Sofyan (1998), pupuk SP-36 dan TSP masing-masing mengandung Cd sekitar 11-20 µg g⁻¹. Konsentrasi logam berat Cd dalam tanah, air pengairan dan gabah ditemukan cenderung meningkat dan mendekati ambang kritis untuk konsumsi.

Kadmium merupakan logam berat yang bersifat toksik untuk tanaman, hewan dan manusia. Pada manusia Cd dapat menyebabkan penyakit kanker, ginjal, dan rapuhnya tulang. Dalam tanah, Cd merupakan logam berat yang mempunyai mobilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan logam berat lainnya, sehingga peluang Cd terserap tanaman sangat besar.

Tanah yang tercemar oleh Cd akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman yang tumbuh di atasnya dan kemampuan tanah dalam menyerap Cd dipengaruhi oleh bentuk Cd dan jenis tanaman. Kandungan Cd dalam tanah berkorelasi nyata dan positif terhadap kandungan Cd dalam beras (Subowo, et al., 1994). Tanaman padi akan keracunan Cd apabila kandungan Cd dalam pucuk berkisar antara 5-10 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Chino, 1981). Diantara berbagai tanaman sayuran, bayam merupakan tanaman sayuran yang sangat peka terhadap adanya logam Cd dalam tanah. Biomassa tanaman bayam akan menurun dengan semakin meningkatnya kadar Cd dalam tanah (Lehoczky et al., 1996).

1.4. Hubungan Unsur Hara Dengan Produksi Tanaman

Tujuan utama penanaman adalah untuk dipetik hasilnya, disamping untuk melihat fisik pertumbuhannya. Hasil yang diharapkan dari penanaman dapat berupa serat, bahan hijauan maupun biji-bijian, kayu dan bunganya. Untuk menghasilkan produksi sesuai dengan potensinya maka tanaman memerlukan sejumlah unsur hara tertentu. Tanaman yang kekurangan unsur hara, tidak dapat berproduksi secara maksimal. Untuk itu agar tanaman dapat berproduksi secara maksimal, maka penambahan unsur hara yang berasal dari pupuk sangat diharapkan.

Secara alami tanah mampu menyediakan unsur hara secara mandiri, tetapi karena tanah-tanah di daerah tropika seperti Indonesia yang memiliki curah hujan tinggi, maka proses pencucian atau erosi tidak dapat dihindari dan menyebabkan hilangnya sejumlah unsur hara di lapisan olah tanah. Fenomena tersebut dapat mengakibatkan unsur hara yang dikandung oleh tanah cepat keluar mintakat perakaran dan mengakibatkan hara dalam tanah terus berkurang. Dan lambat laun tanah menjadi miskin unsur hara. Tanaman yang ditumbuhkan pada tanah tersebut tidak dapat tumbuh secara baik dan tidak dapat berproduksi secara maksimal. Tanah-tanah yang miskin unsur hara adalah tanah-tanah

yang telah mengalami pencucian lanjut, seperti tanah Ultisol, Alfisol dan Oxisol yang dikenal dengan tanah-tanah merah atau tanah-tanah tua. Tanah-tanah tersebut dicirikan oleh kemasaman yang tinggi, dengan kelarutan aluminium, besi dan mangan yang tinggi pula serta ketersediaan hara-hara yang dibutuhkan tanaman sangat rendah. Tanah tersebut juga mempunyai kandungan bahan organik yang rendah dengan kapasitas tukar kation yang rendah pula. Umumnya tanah-tanah tersebut kalau diusahakan untuk budidaya tanaman pangan akan memberikan hasil yang rendah sampai sangat rendah kalau tidak diperhatikan kesuburannya dan potensi utama tanah-tanah tersebut adalah untuk budidaya tanaman tahunan atau tanaman perkebunan.

Masing-masing unsur hara baik makro maupun mikro mempunyai fungsi dan peranan yang spesifik bagi tanaman. Apabila terjadi kekahatan salah satu unsur hara tersebut, maka akan mempengaruhi produksi tanaman. Contohnya pada tanaman padi. Pada waktu fase primordia, unsur hara fosfor sangat berperan pada saat pembentukan anakan padi. Pada fase bunting atau pengisian bulir, unsur hara kalium amat dibutuhkan oleh tanaman padi untuk sintesa tepung. Pada beberapa tanaman yang produksinya berupa daun seperti tanaman sayur-sayuran (sawi, kol, bayam dan kangkung), unsur hara nitrogen yang lebih berperan dalam produksinya, karena unsur hara nitrogen amat diperlukan pada fase vegetatif tanaman. Penelitian yang mengkaji peranan unsur hara tertentu telah banyak dilakukan sejak lama. Penambahan unsur hara tertentu ke dalam tanah mampu meningkatkan produksi dan bahan keringnya. Contohnya pada percobaan penanaman padi gogo yang diberi penambahan unsur hara P berupa pupuk fosfat dengan berbagai takaran di daerah Jatinangor.

Tabel 1.4. Dosis Pupuk P terhadap Hasil Panen Padi Gogo (Gabah Kering Giling)

	Pupuk P (kg P ₂ O ₅ /ha)			Rata-rata (g/polybag)
	0	50	75	
24,44	37,63	29,56	27,65	29,82 a
40,77	33,30	50,83	33,89	39,70 b
46,02	31,97	44,74	21,69	36,11 ab
33,97	41,08	46,15	45,89	41,02 c

Sumber : Fitriatin, dkk (2009)

Pada Tabel 1.4 di atas terlihat bahwa penambahan pupuk fosfat mampu meningkatkan produksi padi gogo yang ditumbuhkan dalam polybag. Sampai dengan penambahan 100 kg P₂O₅, hasil produksi padi gogo masih terlihat tinggi. Unsur hara yang diberikan pada tanaman padi mampu menyediakan unsur hara yang cukup dan berimbang melalui tanah. Unsur hara yang diperoleh dari tanah menyebabkan tanaman mendapatkan energi yang cukup dalam mendukung pertumbuhan pada fase vegetatif, sehingga hasil akhir tanaman padi yang diperoleh lebih maksimal.