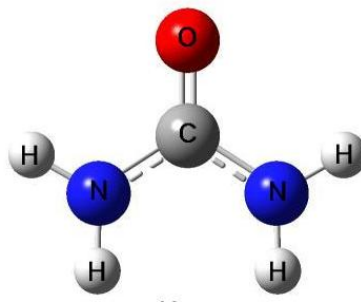


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pupuk Urea

Pupuk urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) merupakan pupuk kimia yang mengandung unsur Nitrogen (N) dengan kadar yang tinggi. Nitrogen merupakan zat hara yang sangat dibutuhkan oleh tanaman. Pupuk urea biasa digunakan oleh petani baik untuk pertanian maupun perkebunan. Pupuk urea memiliki bentuk seperti butir-butir kristal berwarna putih (pril). Pupuk urea merupakan salah satu produk dari PT Pupuk Sriwidjaja yang merupakan perusahaan besar yang bergerak di bidang pertanian terutama dalam produksi pupuk.



Gambar 1. Struktur Pupuk Urea

Urea merupakan pupuk nitrogen yang telah lama dan banyak digunakan untuk meningkatkan hasil produksi tanaman pangan dan perkebunan. Efisiensi serapan pupuk N di daerah tropis oleh tanaman padi relatif rendah 30-50 persen. Hal ini menunjukkan bahwa lebih dari 50 persen pupuk yang diberikan tidak dapat diambil oleh tanaman. Kandungan nitrogen total dalam pupuk urea berkisar antara 46 persen yang artinya setiap 100 kilogram pupuk urea mengandung 46 kilogram nitrogen di dalamnya. Pupuk urea dapat dipakai untuk semua jenis tanaman baik tanaman pangan, hortikultura, tanaman perkebunan, usaha peternakan dan usaha perikanan.

Urea merupakan bentuk pupuk nitrogen dalam bentuk amida dan karbamida yang merupakan gabungan dari karbon dioksida dan amida. Urea dapat langsung dimanfaatkan oleh tanaman, tetapi umumnya di dalam tanah urea akan

diubah menjadi amonium dan nitrat melalui proses amonifikasi dan nitrifikasi oleh bakteri tanah. Urea pertama kali dibuat oleh seorang ahli kimia Jerman yang bernama Wohler pada tahun 1828, sedangkan di Indonesia urea pertama kali dibuat oleh PUSRI pada tahun 1961.

Urea berbentuk padatan (pril) yang dihasilkan dengan cara memekatkan urea cair di dalam suatu ruang vakum yang kemudian dikeringkan dengan cara menyemprotkan ke dalam sebuah menara sehingga senyawa tersebut akan memadat dalam bentuk pril berwarna putih.



Gambar 2. Pupuk Urea

Berbeda dengan pupuk NPK yang mengandung kombinasi unsur nitrogen (N), fosfor (F), dan kalium (K), pupuk urea hanya mengandung nitrogen (N) dalam kadar yang tinggi. Unsur-unsur yang terkandung di dalam pupuk urea dan pupuk NPK merupakan unsur-unsur yang sangat dibutuhkan oleh tanaman. Unsur nitrogen yang terdapat baik di dalam pupuk urea dan NPK berperan utama dalam perangsangan pertumbuhan vegetatif baik pada bagian batang maupun daun. Unsur fosfor di dalam pupuk NPK berfungsi dalam memacu terbentuknya bunga serta menurunkan aborsitas dan menunjang perkembangan akar yang halus dan akar serabut. Sedangkan kalium berperan sebagai aktivator berbagai jenis enzim yang akan membantu tanaman tumbuh lebih kokoh dan merangsang pertumbuhan akar.

Secara umum, manfaat dan fungsi pupuk urea bagi tanaman adalah sebagai nutrisi dalam proses pertumbuhan vegetatif tanaman seperti daun, akar, batang, tunas, dan lain-lain. Sedangkan secara praktis, fungsi pupuk urea adalah:

1. Membuat daun lebih lebat, segar, dan hijau.
2. Mempercepat pertumbuhan tinggi tanaman.

3. Memperbanyak jumlah anakan.
4. Mempercepat pertumbuhan serabut akar.
5. Mempercepat pertumbuhan panjang akar.
6. Meningkatkan pertumbuhan lilit batang.
7. Meningkatkan pertumbuhan tunas baru.
8. Memacu adaptasi pertumbuhan tanaman pada kondisi aklimatisasi.
9. Mempercepat sintesis protein dalam tanaman.
10. Meningkatkan laju fotosintesis.
11. Memperbaiki sifat kimia tanah yang terkait dengan ketersediaan nitrogen dalam menunjang pertumbuhan tanaman.

Apabila manfaat dan fungsi pupuk urea tersebut tidak tercukupi dalam menunjang pertumbuhan tanaman, maka akan terjadi gejala kekurangan nitrogen (defisiensi atau kahat) yang akan langsung terlihat pengaruhnya pada tanaman. Gejala kekurangan nitrogen pada tanaman ini ditunjukkan dengan daun muda memiliki warna kuning pucat, daun tua berwarna kekuning-kuningan, tanaman tumbuh lambat dan kerdil, buah tumbuh tidak sempurna sehingga masak sebelum waktunya atau sebelum ukurannya sesuai, dan pada kondisi kahat nitrogen yang parah akan menyebabkan daun tanaman menjadi kering dimulai dari daun bagian bawah.

Pupuk urea dapat diberikan pada tanaman ketika tanaman berada pada fase pertumbuhan awal dan fase perkembangan karena tanaman akan lebih banyak membutuhkan asupan nitrogen untuk pertumbuhan karena nitrogen mampu meningkatkan laju fotosintesis dengan cara memicu pembentukan zat hijau daun sehingga meningkatkan sumber energi pada tanaman. Selain fase pertumbuhan, karakteristik tanah juga perlu diperhatikan dengan melihat struktur tanah, apakah tanah yang remah, liat atau berpori serta dengan melihat keasaman tanah. Tingkat keasaman (pH) tanah akan menentukan mudah atau tidaknya unsur-unsur hara diserap oleh tanaman. Bila pupuk urea diberikan terlalu dekat dengan akar dan memberikan kontak langsung dengan daun, pupuk urea dapat membakar tanaman. Nitrat yang dibentuk oleh pupuk urea cocok digunakan pada daerah dingin dan daerah panas.

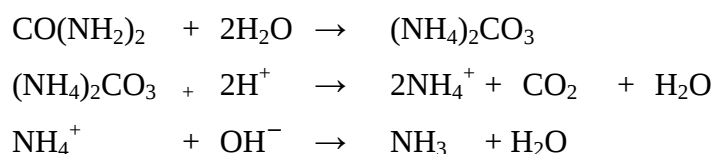
Pupuk urea memiliki efisiensi rendah yang disebabkan oleh kehilangan unsur hara akibat denitrifikasi, pencucian, terbawa aliran permukaan dan volatilisasi amonia yang relatif tinggi. Urea termasuk pupuk yang higroskopis (mudah menarik uap air) pada kelembaban 73 persen sehingga mudah larut dalam air dan mudah diserap oleh tanaman. Untuk dapat diserap tanaman, nitrogen dalam urea harus dikonversi terlebih dahulu menjadi amonium (N-NH_4^+) dengan bantuan enzim urease melalui proses hidrolisis. Namun bila diberikan ke tanah, proses hidrolisis tersebut akan cepat sekali terjadi sehingga mudah menguap sebagai amonia. Pemberian urea dengan disebar akan cepat terhidrolisis (dalam 2-4 hari) dan ini rentan terhadap kehilangan melalui volatilisasi NH_3 (Nainggolan, 2010).

Tabel 3. Standar Mutu Pupuk Urea

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan	
			Butiran	Gelintiran
1.	Kadar Nitrogen	%	Min. 46,0	Min. 46,0
2.	Kadar Air	%	Maks. 0,5	Maks. 0,5
3.	Kadar Biuret	%	Maks. 1,2	Maks. 1,5
4.	Ukuran:	—		
	a) 1,00 mm—3,35 mm	%	Min. 90,0	—
	b) 2,00 mm—4,75 mm	%	—	Min. 90,0

Sumber: SNI 2801:2010

Dalam tanah, urea dihidrolisis dengan cepat oleh enzim urease menjadi amonium karbonat dan selanjutnya bereaksi dengan H^+ pada tanah menjadi amonium (NH_4^+). Sebagian amonium yang terbentuk akan menjadi amonia (NH_3) yang akan menguap ke udara. Reaksi pembentukan urea menjadi amonium yang terjadi dalam tanah adalah sebagai berikut (Bundy, 2001):



Salah satu cara untuk mengurangi kehilangan N adalah dengan memodifikasi bentuk fisik dan kimia pupuk urea sehingga diharapkan dapat memperlambat proses hidrolisis. Pembuatan pupuk urea dalam bentuk ukuran butiran besar dapat meningkatkan ketersediaan pupuk sehingga dapat bertahan lebih lama dan banyak diserap tanaman serta lebih sedikit yang hilang dibandingkan dengan urea pril. Beberapa contoh bentuk baru dari pupuk urea antara lain; urea super granul, urea briket yang diaplikasikan dengan cara ditanamkan sedalam 15 cm dari lapisan atas (Nainggolan, 2010).

2.2 Zeolit

Mineral zeolit diketahui pertama kali pada tahun 1756 oleh seorang ahli mineralogi Swedia bernama Freiherr Axer Frederick Cronstedt. Nama zeolit berasal dari bahasa Yunani, yaitu dari kata *Zein* (mendidih) dan *Lithos* (batuan) yang artinya batu mendidih. Karena mineral ini mengeluarkan buih bila dipanaskan, sehingga kelihatan seperti mendidih (Gottardi, 1978; Mumpton, 1984 di dalam Nainggolan, 2010).

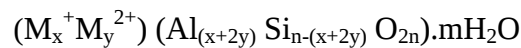


Gambar 3. Mineral Zeolit

Zeolit alam terbentuk karena adanya proses kimia dan fisika yang kompleks dari batu-batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. Para ahli geokimia dan mineralogi memperkirakan bahwa zeolit merupakan produk gunung berapi yang membeku menjadi batuan vulkanik, batuan sedimen dan batuan metamorfosa yang selanjutnya mengalami proses pelapukan karena pengaruh panas dan dingin sehingga akhirnya terbentuk mineral-mineral zeolit.

Anggapan lain menyatakan proses terjadinya zeolit berawal dari debu-debu gunung berapi yang beterbangan kemudian mengendap di dasar danau dan dasar lautan. Debu-debu vulkanik tersebut selanjutnya mengalami berbagai macam perubahan oleh air danau atau air laut sehingga terbentuk sedimen-sedimen yang mengandung zeolit di dasar danau atau laut tersebut (Lestari, 2010).

Rumus umum zeolit menurut Gottardi (1978 di dalam Nainggolan, 2010) adalah:



Dimana:

- M^+ = Kation monovalen (Na, K)
- M^{2+} = Kation divalen (Mg, Ca, Sr, dan Ba)
- x dan y = Bilangan tertentu
- m = Jumlah molekul air kristal
- n = Muatan ion logam.

Zeolit dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok besar yaitu zeolit alam dan zeolit sintetis. Zeolit alam terbentuk karena adanya proses perubahan alam (zeolitisasi) dari batuan vulkanik tuf (Mahaddilla, dan Ardian P, 2013). Sedangkan zeolit sintetis direkayasa oleh manusia secara kimia dari bahan baku tertentu.

Jenis zeolit alam dibedakan menjadi dua kelompok yaitu:

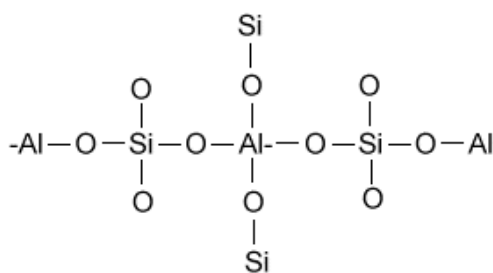
1. Zeolit yang terdapat di antara celah-celah batuan atau di antara lapisan batuan. Zeolit jenis ini biasanya terdiri dari beberapa jenis mineral zeolit bersama-sama dengan mineral lain seperti kalsit, kuarsa, *renit*, klorit, fluorit dan mineral sulfida.
2. Zeolit yang berupa batuan diantaranya adalah *kinoptiolit*, *analsim*, *laumontit*, *mordenite*, *filipsite*, *erionite*, *cabasiet* dan *heulandite*.

2.2.1 Sifat Mineral Zeolit

Sifat-sifat fisik zeolit meliputi warna, kerapatan isi, kadar air, besar dan jumlah rongga. Warna zeolit pada umumnya kehijau-hijauan sampai keabu-abuan,

oleh karena itu zeolit juga disebut batu hijau. Selain itu, zeolit memiliki warna putih, putih kekuningan, merah muda, coklat kemerahan, dan hijau tua coklat kekuningan. Perbedaan warna zeolit disebabkan oleh jenis mineral pengotor yang ada di dalam zeolit dan kadar air. Mineral-mineral pengotor diantaranya mineral liat, kuarsa, dan feldspar. Mineral pengotor dapat berubah warna pada kadar air yang berbeda. Kerapatan isi atau densitas zeolit lebih ringan dibandingkan dengan mineral golongan silikat lainnya, yaitu berkisar antara 2,0–2,3 g/cm³. Hal ini dikarenakan mineral zeolit memiliki struktur berongga. Densitas tergantung dari jenis dan kemurnian zeolit. Zeolit yang baik mempunyai densitas yang rendah (Pratomo, 2010). Densitas sangat erat hubungannya dengan volume rongga dalam zeolit. Volume rongga zeolit berkisar 20–50 persen dari volume zeolit, jika volume rongga zeolit semakin besar maka densitasnya semakin rendah.

Sifat kimia zeolit antara lain pH, daya hantar listrik, kapasitas tukar kation (KTK), susunan kimia. Hasil analisis zeolit dari beberapa lokasi menunjukkan bahwa pH zeolit berkisar 6,3–8,2 (rata-rata 7,2), dimana pH terendah (6,3) terdapat pada zeolit dari Lampung dan tertinggi (8,2) dari Nanga Panda. Daya hantar listrik zeolit sangat rendah berkisar dari 0,02–0,15 dS/m (rata-rata 0,06 dS/m), karena dalam larutan sedikit mengeluarkan garam-garam yang dapat menghantarkan listrik, sehingga zeolit banyak dimanfaatkan sebagai media tumbuh tanaman. KTK zeolit berkisar antara 71,9–167 me/100 g (rata-rata 104,6 me/100 g) dengan KTK terendah (71,9 me/100g) terdapat pada zeolit dari Cikembar dan tertinggi (167 me/100g) dari Nanga panda. Semakin tinggi KTK zeolit menunjukkan sifat zeolit semakin baik (Nainggolan, 2010).



Gambar 4. Struktur Dasar Zeolit

Zeolit terutama terdiri dari SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , CaO , Na_2O , MnO , Fe_2O_3 , MgO . Zeolit dari Indonesia kaya akan K_2O dan CaO . Sifat kimia zeolit terpenting yang dimanfaatkan dibidang pertanian adalah sifat adsorpsi dan sifat pertukaran kation.

Adsorpsi dapat diartikan sebagai suatu proses melekatnya molekul-molekul atau zat pada permukaan zat yang lain atau terkonsentrasinya berbagai substansi terlarut dalam larutan antara dua buah permukaan. Zeolit memiliki kemampuan dalam mengikat sejumlah molekul dan ion yang terdapat dalam larutan maupun gas. Adsorpsi molekul oleh zeolit dapat terjadi bila air dihilangkan dari kristal zeolit melalui pemanasan dengan temperatur antara $200-400^\circ\text{C}$ (Kurniasari dkk, 2011). Dalam hal ini, berbagai molekul adsorbat yang berdiameter sama atau lebih kecil dari diameter rongga dapat diadsorpsi, sedangkan molekul yang berdiameter lebih besar dari pori-pori zeolit akan tertahan. Akibat dari pemanasan maka air akan menguap, pada keadaan demikian, rongga maupun saluran-saluran dalam zeolit akan dapat berfungsi sebagai penyaring molekul. Zeolit yang telah kehilangan air dari rongganya dinamakan zeolit yang telah teraktivasi yang dapat berfungsi sebagai pengadsorpsi kation yang efektif.

Pertukaran kation merupakan proses dimana kation-kation yang diadsorpsi dapat ditukar dengan kation-kation lainnya. Pertukaran kation zeolit pada dasarnya adalah fungsi dari derajat substitusi silika oleh aluminium dalam struktur kristal zeolit. Semakin banyak jumlah aluminium menggantikan posisi silika maka semakin banyak muatan negatif yang dihasilkan, sehingga makin tinggi KTK zeolit tersebut dan penetralan dilakukan oleh kation alkali tanah. Susunan kation yang dapat dipertukarkan pada zeolit tergantung pada komposisi mineralnya. Kation-kation yang dapat dipertukarkan ataupun molekul air yang terdapat pada zeolit tidak terikat secara kuat dalam kerangka karenanya dapat dipisahkan atau dipertukarkan secara mudah dengan cara pencucian dengan larutan yang mengandung kation lain. Oleh karena itu zeolit merupakan salah satu dari banyak bahan penukar kation yang mempunyai kapasitas tukar kation yang tinggi. Kapasitas tukar kationnya dapat mencapai 200 sampai 300 me/100g. Kapasitas

tukar kation dari zeolit ini terutama merupakan fungsi dari tingkat penggantian Al untuk Si dalam struktur rangka.

Kerangka struktur tiga dimensi senyawa alumina silikat terdiri atas dua bagian, yaitu bagian netral dan bagian bermuatan. Bagian netral semata-mata dibangun oleh silikon dan oksigen dan jenisnya bervariasi antara SiO_4^{4-} sampai SiO_2 dengan perbandingan Si:O dari 1:4 sampai 1:2. Bagian bermuatan dibangun oleh ion aluminium dan oksigen. Dalam hal ini terjadi penggantian ion pusat silikon bervalensi empat dengan kation aluminium yang bervalensi tiga, sehingga setiap penggantian ion silikon dan ion aluminium memerlukan satu ion logam alkali tanah yang monovalen atau setengah ion logam divalen seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , dan lain-lain untuk menetralkan muatan listriknya (Lestari, 2010).

Fraksi ukuran butir mineral zeolit yang digunakan ternyata mempengaruhi nilai kapasitas tukar kation, dimana butir berukuran 48 sampai 60 *mesh* nilainya adalah 96,5 sampai 115,1 me/100g dan ukuran 200 *mesh* nilainya adalah 109,9 me/100g. Penggerusan mineral zeolit yang lebih halus, menyebabkan kerusakan pada struktur kristal sehingga nilai kapasitas tukar kationnya turun. Ukuran butir yang terbaik untuk digunakan sebagai penukar kation dalam reaksi pertukaran adalah 48 sampai 60 *mesh* (Sudirja dkk, 2016).

2.2.2 Zeolit sebagai Pelapis Pupuk Urea

Salah satu prospek pemanfaatan zeolit di bidang pertanian adalah sebagai bahan pelapis pupuk, khususnya pupuk nitrogen. Pada tanah persawahan, efisiensi pupuk nitrogen sangat rendah jika pemupukan dilakukan di permukaan tanah. Selektivitas adsorpsi zeolit yang tinggi terhadap ion amonium mampu meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk nitrogen sehingga penyerapan pupuk oleh tanaman menjadi lebih efisien. Minato (1968 di dalam Suwardi, 2002) melaporkan kenaikan 60 persen ketersediaan nitrogen pada tanah persawahan empat minggu setelah zeolit ditambahkan dengan pupuk standar. Oleh karena itu zeolit dimanfaatkan sebagai bahan campuran pembuatan pupuk tersedia lambat (*slow release fertilizer*).

Penambahan zeolit pada pupuk nitrogen akan menyerap amonium yang dihasilkan oleh pupuk. Jika konsentrasi nitrat di dalam tanah menurun, amonium yang telah diserap oleh zeolit dilepasakan kembali ke dalam tanah. Dengan cara ini nitrogen yang diberikan ke dalam tanah dapat tersedia dalam waktu yang lebih lama. Pada pupuk yang tidak ditambahkan zeolit, nitrogen segera berubah menjadi nitrat dan tercuci bersama aliran permukaan. Selain itu, nitrogen yang berubah menjadi gas amonia akan menguap ke udara. Pupuk dalam bentuk *slow release fertilizer* mampu mempertahankan keberadaan unsur hara dalam tanah karena *slow release fertilizer* mampu mengendalikan pelepasan unsur hara sesuai waktu dan jumlah yang dibutuhkan oleh tanaman (Suwardi, 2002).

Pelapisan pupuk menggunakan zeolit mampu mempertahankan keberadaan nitrogen dalam tanah menjadi lebih lama, karena mineral zeolit mampu menyerap ion amonium di dalam kisi-kisinya (diameter rongga zeolit 3,9–5,4 Å sedangkan diameter amonium 1,4 Å) sehingga dapat mencegah terjadinya nitrifikasi. Bakteri nitrifikasi yang terdapat di tanah tidak dapat masuk ke rongga zeolit karena ukuran tubuh bakteri nitrifikasi tersebut seribu kali lebih besar dari diameter rongga zeolit (Alexander, 1977).

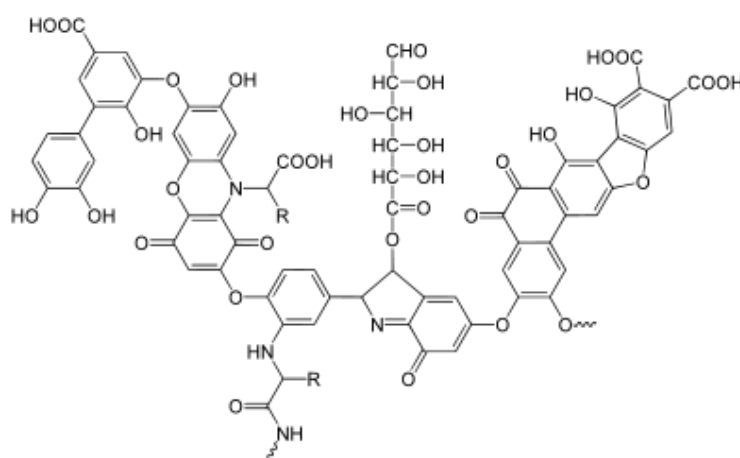
2.3 Asam Humat

Senyawa humat merupakan unsur pokok alamiah yang penting dalam tanah. Senyawa humat dalam tanah berperan dalam beberapa reaksi kimia tanah, akibatnya senyawa ini bersifat koloid, mempunyai luas permukaan yang luas dan memiliki kapasitas adsorpsi atau kapasitas tukar senyawa-senyawa humat yang lebih tinggi daripada mineral tanah (Muzakky dkk, 2001). Kapasitas tukar senyawa-senyawa humat tanah dikarenakan oleh kehadiran proton yang dapat terdisosiasi atau ion-ion hidrogen pada gugus karboksil aromatik dan alifatik. Kapasitas tukar senyawa-senyawa humat tanah umumnya adalah sebesar 5–6 me/100g (Tan, 1992).

Asam humat adalah zat organik yang memiliki struktur molekul kompleks dengan berat molekul tinggi (makromolekul) atau dapat disebut sebagai polimer organik yang mengandung gugus aktif. Di alam, asam humat terbentuk melalui

proses fisika, kimia, dan biologi dari bahan-bahan yang berasal dari tumbuhan maupun hewan, yang disebut proses humifikasi. Oleh karena struktur asam humat terdiri dari campuran senyawa organik alifatik dan aromatik (diantaranya ditunjukkan dengan adanya gugus aktif asam karboksilat dan quinoid), maka asam humat memiliki kemampuan untuk menstimulasi dan mengaktifkan proses biologi dan fisiologi pada organisme hidup dalam tanah. Ciri fisik asam humat yaitu merupakan fraksi humat yang larut dalam alkali, namun tidak larut (mengendap) dalam asam dan alkohol (Sari, 2013).

Unsur atau penyusun utama asam humat ialah karbon. Kandungan karbon yang dimiliki asam humat berfluktuasi pada kisaran 56–62 persen. Sementara kandungan hidrogen dan nitrogen berturut-turut berada pada kisaran 2–5,5 persen dan 2–8 persen. Data lain menunjukkan kandungan karbon asam humat berkisar antara 41–57 persen. Asam humat tidak hanya mengandung C, N, H, dan O tapi juga terdapat sulfur dan fosfor. Asam humat juga mengandung unit aromatik dengan ikatan asam amino (organik N), peptida, asam alipatik dan bahan campuran lain yang tipe dan jumlahnya akan tergantung kepada jenis tanah dan tanaman. Di dalam asam humat terdapat 0,6–1,1 persen sulfur dan 0,2–3,7 persen fosfor. Dalam hal ini Eggertz juga menemukan bahwa asam humat mengandung 5,6 persen aluminium, 0,05–0,15 persen sodium, lebih dari 0,6 persen potasium dan sedikit magnesium dan mangan (Nainggolan, 2010).



Gambar 5. Rumus Bangun Asam Humat

Berdasarkan tingginya karbon yang terdapat dalam asam humat, asam humat dikelompokkan ke dalam kelas *carbonized (carbon-rich) compounds*. Banyak bagian residu tanaman mengandung karbon tidak kurang dari asam humat, tetapi adakalanya kurang dari asam humat. Misalnya lignin mengandung 65 persen C dan lipid sekitar 72 persen. Pada saat yang sama karbohidrat relatif miskin karbon dan kaya akan oksigen, dimana glukosa mengandung karbon mendekati 40 persen. Jadi dalam komposisi elemen, asam humat menempati posisi menengah antara lignin dan karbohidrat, sementara asam fulvat mendekati kandungan elemen yang dimiliki karbohidrat dan protein (Orlov, 1992 di dalam Nainggolan, 2010).

Bahan-bahan humat bertanggung jawab atas sejumlah aktivitas kimia dalam tanah. Mereka terlibat dalam reaksi kompleks dan dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman secara langsung maupun tidak langsung. Secara tidak langsung asam humat diketahui memperbaiki kesuburan tanah dengan mengubah kondisi fisik, kimia, dan biologi dalam tanah. Secara langsung, asam humat telah dilaporkan merangsang pertumbuhan tanaman melalui pengaruhnya terhadap metabolisme dan terhadap sejumlah proses fisiologi lainnya. Senyawa humat juga berperan serta dalam pembentukan tanah dan memainkan peranan penting khususnya dalam translokasi atau mobilisasi aluminium dan besi, yang menghasilkan perkembangan horison spodik dan horison argilik. Asam humat dapat berfungsi memperbaiki pertumbuhan tanaman secara langsung dengan meningkatkan permeabilitas sel atau melalui kegiatan hormon pertumbuhan.

Asam humat juga mengandung asam amino. Komposisi asam amino yang terdapat di dalam asam humat bervariasi. Terdapat delapan belas jenis asam amino di dalam asam humat yaitu asam aspartat, *threonin*, serin, leusin, tirosin, fenilalanin, *ornithin*, *lysin*, *histidin*, dan *arginin*. Namun asam amino yang berada cukup banyak di dalam asam humat diantaranya asam aspartat, asam glutamat, *glysin*, alanin, dan leusin.

2.3.1 Ekstraksi Bahan Humat

Tanah disusun oleh beberapa komponen, diantaranya adalah bahan anorganik, bahan organik (bahan organik tanah), dan jasad hidup yang terdapat di dalam tanah. Bahan organik tanah terdiri dari senyawa bukan humat dan senyawa humat. Senyawa bukan humat merupakan adalah bahan-bahan yang digolongkan dalam kategori terpisah dan telah banyak dikenal dalam bidang kimia organik seperti gula, asam amino, dan lemak. Sedangkan senyawa humat merupakan senyawa dengan struktur molekul kompleks yang tidak dapat dikenali.

Secara umum, senyawa humat dianggap sebagai senyawa yang memiliki berat molekul tinggi (makromolekul atau polimer organik) dan berwarna coklat hingga hitam. Istilah asam humat digunakan sebagai nama umum untuk menjelaskan bahan berwarna atau fraksi-fraksinya yang diperoleh pada basis sifat-sifat kelarutan yang dimiliki. Fraksi yang disebut asam humat tidak dapat larut dalam air pada kondisi pH rendah ($\text{pH} < 2$) tetapi larut pada kondisi pH tinggi.



Gambar 6. Asam Humat

Asam humat merupakan komponen utama yang paling banyak terekstrak dari bahan humat tanah. Ekstraksi bahan humat dari tanah dapat digolongkan ke dalam beberapa fraksi humat tanah yaitu asam humat (*humic acid*), asam fulvat (*fulvic acid*) dan humin. Bahan humat secara keseluruhan berwarna coklat gelap hingga hitam. Asam fulvat berwarna kuning terang hingga kuning-coklat dan dapat larut dalam air pada kondisi pH rendah dan tetap berbentuk larutan setelah dihilangkan dari asam humat dengan cara pengasaman. Asam humat mengandung

humic yang berwarna hitam dan tidak dapat larut dalam air pada semua kondisi pH. Untuk menghindari destruksi, asam humat harus berada dalam keadaan kering pada temperatur yang tidak melebihi 60–70°C. Sementara untuk asam fulvat tidak melebihi 40°C.

2.3.2 Manfaat Asam Humat pada Tanah

Asam humat terbentuk melalui proses fisika, kimia, dan biologi dari bahan-bahan yang berasal dari hewan maupun tumbuhan melalui proses humifikasi. Asam humat memiliki struktur yang terdiri dari campuran senyawa organik alifatik dan senyawa aromatik yang ditunjukkan dengan adanya gugus aktif asam karboksilat. Asam humat memiliki kemampuan untuk menstimulasi dan mengaktifkan proses fisiologi dan biologi pada organisme hidup di dalam tanah yang menjadikan asam humat bersifat sebagai pembenah tanah (*soil conditioner*). Di dalam tanah, asam humat memiliki beberapa manfaat antara lain:

1. Asam humat mampu meningkatkan kapasitas tukar kation sehingga dapat menambah kemampuan tanah untuk menahan unsur-unsur hara.
2. Asam humat mampu membentuk kompleks dengan unsur mikro sehingga melindungi unsur tersebut dari pencucian air pada permukaan tanah.
3. Asam humat mampu menyerap air sekitar 80–90 persen sehingga dapat mencegah erosi pada tanah dan meningkatkan kemampuan tanah menahan air.
4. Asam humat mampu mengikat dan mengendapkan polutan seperti logam berat di dalam tanah sehingga mengurangi kadar racun di dalam tanah.
5. Asam humat mampu mengurangi keasaman tanah karena dapat mengikat aluminium sebagai senyawa kompleks yang sulit larut dalam air (*insoluble*) sehingga tidak dapat terhidrolisis.

2.4 Amilum

Pati sagu atau amilum adalah karbohidrat kompleks yang tidak larut dalam air, berwujud bubuk putih, tawar dan tidak berbau. Pati merupakan bahan utama yang dihasilkan oleh tumbuhan untuk menyimpan kelebihan glukosa (sebagai

produk fotosintesis) dalam jangka panjang. Hewan dan manusia juga menjadikan pati sebagai sumber energi yang penting.



Gambar 7. Amilum (Pati)

Amilum tersusun dari dua macam karbohidrat, amilosa dan amilopektin, dalam komposisi yang berbeda-beda. Amilosa memberikan sifat keras sedangkan amilopektin menyebabkan sifat lengket. Amilosa memberikan warna ungu pekat pada tes iodin sedangkan amilopektin tidak bereaksi.

Amilum digunakan sebagai bahan yang digunakan untuk memekatkan makanan cair seperti sup dan sebagainya. Dalam industri, pati dipakai sebagai komponen perekat, campuran kertas dan tekstil, dan pada industri kosmetika. Biasanya amilum dijual dalam bentuk tepung serbuk berwarna putih yang dibuat dari ubi kayu, juga digunakan sebagai pengeras pakaian dengan menyemburkan larutan kanji cair ke atas pakaian sebelum disetrika. Amilum juga digunakan sebagai bahan perekat atau lem.

Pati yang diperdagangkan dapat diperoleh dari berbagai bagian tanaman, misalnya endosperma biji tanaman gandum, jagung dan padi ; dari umbi kentang ; umbi akar *Manihot esculenta* (pati tapioka); batang Metroxylon sagu (pati sagu); dan rizom umbi tumbuhan bersitaminodia yang meliputi *Canna edulis*, *Maranta arundinacea*, dan *Curcuma angustifolia* (pati umbi larut).

2.5 ***Slow Release Fertilizer***

Usaha untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk nitrogen (khususnya urea) telah banyak dilakukan. Usaha yang dilakukan umumnya dengan mengurangi kelarutan dari pupuk nitrogen dengan cara memperkeras dan

memperbesar butiran pupuk sekaligus melapisi pupuk dengan senyawa lain. Salah satu upaya untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk ini yaitu dengan melakukan modifikasi produk pupuk urea dalam bentuk *slow release fertilizer*. Selain meningkatkan efisiensi pupuk, teknologi *slow release fertilizer* juga dapat meminimalkan pengaruh negatif akibat kelebihan dosis dan juga memperpanjang waktu pelepasan pupuk.

Ada beberapa kelebihan yang dimiliki pupuk dalam bentuk *slow release fertilizer* dibandingkan dengan pupuk urea konvensional. Pertama, *slow release fertilizer* dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk yang dipakai. Jika pada metode konvensional penyerapan pupuk oleh tanaman hanya sekitar 40 persen, maka dengan menggunakan *slow release fertilizer* dapat meningkatkan efisiensi penyerapan pupuk oleh tanaman menjadi 65–70 persen, sehingga terjadi peningkatan efisiensi 25–30 persen. Selain itu *slow release fertilizer* diberikan dengan dosis 40–50 persen dari jumlah yang biasa diberikan oleh petani.

Kedua, aplikasi pemupukan *slow release fertilizer* hanya satu kali dilakukan dalam satu musim tanam, dibandingkan dengan urea prill yang diberikan 2–3 kali, maka dengan menggunakan urea dalam bentuk *slow release fertilizer* dapat menghemat biaya dan tenaga kerja.

Ketiga, penggunaan zeolit dalam formula *slow release fertilizer* dapat membantu meningkatkan kesuburan tanah, karena zeolit mempunyai kapasitas tukar kation (KTK) yang cukup tinggi. Tanah yang mempunyai KTK tinggi merupakan salah satu indikator tanah yang subur. Selain itu, asam humat merupakan komponen dari bahan organik tanah. Di dalam tanah, asam humat biasa terdapat pada lapisan tanah paling atas berwarna coklat kehitaman, atau lebih dikenal dengan humus yang merupakan lapisan tanah yang sangat subur. Dengan penggunaan asam humat sebagai lapisan urea akan menambah kesuburan tanah.

Keempat, *slow release fertilizer* merupakan pupuk ramah lingkungan. *Slow release fertilizer* dibuat dengan memformulasikan bahan pupuk kimia dengan zeolit alam dan asam humat yang dibuat dalam bentuk butiran lebih besar dari urea konvensional yang mudah diurai oleh mikroorganisme. Tentunya urea dalam

bentuk *slow release fertilizer* ini tidak berdampak negatif pada lingkungan karena semua bahan yang digunakan berasal dari alam.

2.5.1 UZA (Urea – Zeolit - Asam Humat) Sebagai *Slow Release Fertilizer*

Slow release fertilizer khususnya formulasi UZA (urea – zeolit – asam humat) mampu mengendalikan kecepatan pelepasan nutrisi-nutrien dari pupuk yang mudah hilang akibat larut dalam air, menguap, dan proses denitrifikasi pupuk itu sendiri. *Slow release fertilizer* diformulasikan dengan melapisi pupuk urea menggunakan zeolit alam sebagai matrik dan binder yang bersifat *biodegradable*. Zeolit memiliki sifat higroskopis, luas permukaan besar, kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi dan daya adsorpsi-desorpsi. *Slow release fertilizer* dapat melepaskan nutrisi yang terkandung pada saat terjadi kontak antara zat pelapis dengan air di tanah. Zeolit akan menyerap amonium yang dihasilkan oleh pupuk urea dan akan melepaskannya kembali ke tanah ketika amonium telah mengalami nitrifikasi dan diserap oleh tanaman. Sehingga pelepasan amonium dapat terkontrol dan mengurangi resiko terlarut dalam air ataupun menguap sebagai amonia.

Pada minggu awal pemupukan, pupuk urea melepaskan nitrogen dalam bentuk amonium lebih banyak daripada yang dilepaskan oleh pupuk UZA. Berbeda dengan pupuk urea yang menghasilkan amonium hanya sampai empat minggu, pupuk UZA dapat menghasilkan amonium hingga minggu ke-16 (Nainggolan, 2010). Pupuk urea memiliki sumber nitrogen dalam bentuk NH_2 yang akan diubah menjadi amonium (NH_4^+). Pelapisan urea menggunakan zeolit dan asam humat dapat menghasilkan amonium dalam waktu yang lebih lama daripada yang dihasilkan oleh pupuk urea.

Peran dari zeolit yaitu membantu mengikat amonium pada kisi-kisinya sehingga amonium tidak cepat dilepas ke dalam tanah. Asam humat yang diberikan ke dalam pupuk mempengaruhi laju pembentukan amonium. Semakin banyak asam humat yang ditambahkan, maka amonium akan terbentuk semakin cepat. Asam humat memiliki pH yang tinggi (berkisar antara 8-11) yang memungkinkan terjadinya proses amonifikasi yang berjalan secara cepat.

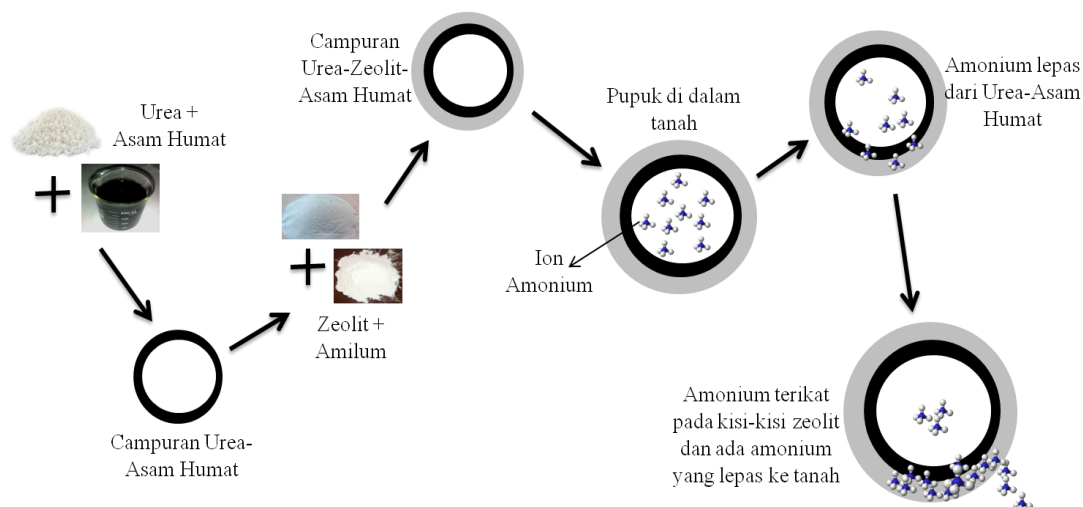
Pembuatan urea menjadi *slow release fertilizer* diharapkan mampu meningkatkan efisiensi pupuk urea dengan mempertahankan jumlah amonium di dalam tanah.

Zeolit memiliki nilai KTK yang tinggi, yang berguna sebagai pengadsorpsi, pengikat dan penukar kation. Nilai KTK zeolit menunjukkan jumlah kisi-kisi pada zeolit. Nilai KTK yang tinggi maka semakin banyak jumlah kisi-kisi pertukaran di dalam zeolit, sehingga semakin banyak amonium dari urea yang dijerap oleh kisi-kisinya. Zeolit dapat mencegah terjadinya nitrifikasi karena zeolit dapat menjerap monium pada kisi-kisinya (diameter rongga zeolit 3,9–5,4 Å^o sedangkan diameter amonium 1,4 Å^o), sehingga bakteri nitrifikasi tidak dapat masuk karena ukuran tubuh bakteri tersebut 1000 kali lebih besar dari diameter rongga zeolit (Alexander, 1977).

2.5.2 Mekanisme *Slow Release* dari *Slow Release Fertilizer Urea-Zeolit-Asam Humat*

Pupuk urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) memiliki sumber nitrogen dalam bentuk NH_2 . Pupuk urea kemudian dilapisi dengan asam humat. Asam humat yang diberikan pada pupuk urea berperan sebagai pelapis yang membantu melindungi urea dari penguapan nitrogen. Hal ini ditunjukkan pada saat urea diberi asam humat, sifat volatil (mudah menguap) dari urea tampak berkurang. NH_2 dari pupuk urea berubah bentuk menjadi ion amonium (NH_4^+). Pupuk urea akan melepaskan nitrogen dalam bentuk ion amonium. Ion amonium yang keluar dari lapisan asam humat akan masuk ke rongga zeolit. Tidak semua amonium masuk ke rongga zeolit. Amoniu yang tidak masuk ke rongga zeolit akan lepas ke tanah (Nainggolan, 2010).

Amonium yang terjepit dalam rongga zeolit tidak langsung dilepaskan ke dalam larutan tanah selama jumlah amonium di dalam tanah masih tinggi. Setelah amonium di dalam tanah berubah menjadi nitrat (NO_3^-), persediaan amonium di dalam rongga zeolit akan dilepaskan ke dalam tanah. Penjerapan amonium di dalam rongga zeolit hanya bersifat sementara dan dengan mudah akan diberikan ke tanaman pada saat diperlukan (Suwardi, 1991 di dalam Nainggolan, 2010).



Gambar 8. Ilustrasi Pelepasan Amonium dari *Slow Release Fertilizer*

Melalui mekanisme *slow release* ini, *slow release fertilizer* urea-zeolit-asam humat dalam pengaplikasiannya mampu meningkatkan efisiensi dari pupuk urea serta menekan laju kehilangan nitrogen yang disebabkan oleh volatilisasi, denitrifikasi maupun pencucian. Selain itu, dengan adanya asam humat di dalam *slow release fertilizer* akan mampu memperbaiki pertumbuhan tanaman (Tan, 1992).

Pupuk urea dalam bentuk *slow release fertilizer* dapat mempertahankan keberadaan unsur-hara dalam pupuk kemudian melepaskan kembali ke tanah saat tanaman membutuhkan khususnya nitrogen karena selektivitas zeolit yang tinggi terhadap ion amonium. *Slow release fertilizer* menghambat perubahan amonium menjadi nitrat sehingga dapat mengurangi kehilangan nitrogen dalam bentuk nitrat yang mudah tercuci oleh air hujan (Nainggolan, 2010).

2.6 Teori Dasar Pelapisan

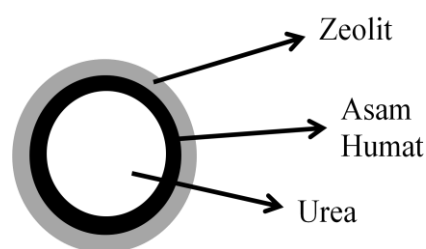
Pelapisan adalah suatu teknik memberikan lapisan yang diterapkan pada permukaan partikel, biasanya disebut substrat, menggunakan senyawa tertentu. Pelapisan merupakan operasi fundamental secara luas di berbagai industri kimia, termasuk obat-obatan, makanan, pupuk, kosmetik, biomedika, nuklir, dan lain-lain. Pelapisan sangat efektif dalam menyediakan nutrisi penting untuk tanaman dan

efisien dalam mengurangi dampak lingkungan (Thompson dan Kelch, 1993 di dalam Sari, 2013).

Proses pelapisan biasanya dilakukan untuk mencapai satu atau lebih hal (Yenni dkk, 2012) diantaranya:

1. Melindungi bahan dari oksigen, kelembaban, cahaya yang tidak kompatibel atau unsur-unsur lain.
2. Menunda atau mengontrol pelepasan agen aktif di dalam partikel inti.
3. Memberikan sifat yang diinginkan pada antarmuka partikel, yang membuat mereka lebih tepat untuk aplikasi dari target akhir (misalnya dispersi dalam plastik, pulverisasi elektrostatik, dan lain-lain)
4. Mengurangi afinitas bubuk dengan pelarut organik atau air.
5. Menghindari penggumpalan selama penyimpanan dan transportasi.
6. Meningkatkan penampilan, rasa dan bau produk.
7. Menjaga nutrisi yang terkandung dalam produk makanan.
8. Memberikan kemampuan bubuk (katalis, enzim deterjen berlapis, dan lain-lain).
9. Meningkatkan ukuran partikel.

Teknik pelapisan pupuk urea butir (pril) dengan asam humat dan zeolit dilakukan untuk menghasilkan produk pupuk dengan sifat pelepasan yang lebih lambat, sehingga akan meningkatkan efektivitas dan efisiensi penggunaan pupuk urea serta mengurangi pencemaran lingkungan. Pelapisan memberikan aktivitas yang efektif pada jangka waktu yang lebih lama karena pelepasan nitrogen dari pupuk terjadi secara terkontrol kontinyu pada lingkungan sekitar (Chen dkk, 2001 di dalam Sari, 2013).



Gambar 9. Pelapisan Urea dengan Asam Humat dan Zeolit

Proses pelapisan dipengaruhi oleh beberapa parameter. Parameter ini diklasifikasikan dalam tiga kategori utama:

1. Sifat partikel padat: ukuran dan distribusi ukuran, porositas partikel, dan kelarutan partikel di dalam cairan pelapis.
2. Sifat cair pelapis: densitas fluida, parameter pembasahan, viskositas cairan dan konsentrasi cairan.
3. Geometrik dari tipe pelapisan.

2.7 Nitrogen

Nitrogen (N) merupakan salah satu unsur hara utama dalam tanah yang sangat berperan dalam merangsang pertumbuhan dan memberi warna hijau pada daun. Kekurangan nitrogen dalam tanah menyebabkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman terganggu dan hasil tanaman menurun karena pembentukan klorofil yang sangat penting untuk proses fotosintetis terganggu. Di tanah gambut, kadar N relatif tinggi, namun sebagian nitrogen tersebut dalam bentuk organik sehingga harus memerlukan proses mineralisasi untuk dapat digunakan tanaman.

Jumlah nitrogen dalam tanah bervariasi, sekitar 0,02 persen sampai 2,5 persen dalam lapisan bawah dan 0,06 persen sampai 0,5 persen pada lapisan atas. Pada kedalaman tanah yang berbeda terdapat perbedaan kandungan nitrogen. Kandungan nitrogen yang tertinggi terdapat pada permukaan tanah dan umumnya semakin menurun dengan kedalaman tanah.

Nitrogen dalam tanah berasal dari:

1. Mineralisasi N dari bahan organik dan immobilisasinya
2. Fiksasi N dari udara oleh mikroorganisme (penambatan N_2 atmosfer oleh mikroorganisme secara simbiotik maupun non simbiotik)
3. Melalui hujan dalam bentuk presipitasi yang lain
4. Melalui pemupukan.

Unsur N yang ditemukan dalam tanah secara umum dapat dibagi menjadi dua bagian besar, yaitu bentuk N-organik dan N-inorganik. Bentuk N-organik meliputi asam amino atau protein asam amino bebas, gula amino dan senyawa

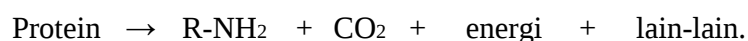
kompleks yaitu amonium yang berasosiasi dengan lignin dan polimer-polimernya. Bentuk N-inorganik terdapat dalam bentuk amonium (NH_4^+), nitrat (NO_3^-), nitrit (NO_2^-), oksida nitrous (N_2O), oksida nitrit (NO) dan gas N_2 akibat perombakan mikrobial. N_2O dan N_2 adalah bentuk yang hilang dari tanah dalam bentuk gas sebagai akibat proses denitrifikasi. Denitrifikasi adalah perubahan nitrogen dari keadaan teroksidasi seperti nitrat (NO_3^-) dan nitrit (NO_2^-) menjadi bentuk yang lebih tereduksi seperti gas-gas oksida nitrit (NO), oksida nitrous (N_2O) dan unsur nitrogen bebas (N_2).

Kehilangan nitrogen dalam tanah juga dapat terjadi karena adanya volatilisasi. Volatilisasi dapat disebabkan oleh dua hal, yaitu penguapan melalui sistem kapiler tanah dimana NH_4^+ yang terlarut dalam air bergerak ke lapisan atas dan hilang melalui evaporasi dan kesua disebabkan penguapan secara langsung akibat temperatur yang tinggi (Leiwakabessy, 1988 di dalam Nainggolan, 2010).

Nitrogen yang tersedia bagi akar tumbuhan di dalam tanah dominan berada dalam bentuk sebagai ion nitrat (NO_3^-) dan ion amonium (NH_4^+). Kedua bentuk nitrogen ini, sebagian besar merupakan hasil perombakan sisa-sisa bahan organik tumbuhan dan hewan oleh jasad renik. Ion nitrat bermuatan negatif, karena itu tidak terikat oleh liat dan partikel humus dalam tanah. Apabila tidak diabsorpsi oleh tumbuhan, nitrat ini dapat tercuci ke lapisan tanah yang lebih dalam atau tercuci ke sungai dan lautan.

Mineralisasi bahan organik tanah terjadi melalui tiga tahap reaksi utama, yaitu aminisasi, amonifikasi dan nitrifikasi. Aminisasi dan amonifikasi berlangsung di bawah aktivitas mikroorganisme yang heterotrof sedangkan nitrifikasi dipengaruhi oleh bakteri autotrof.

Aminisasi adalah pembentukan senyawa amino dari bahan organik (protein) oleh bermacam-macam mikroorganisme (hidrolisis protein dan pembebasan amina-amina dan asam-asam amino).



Amonifikasi adalah pembentukan amonium dari senyawa-senyawa amino oleh mikroorganisme. Amina-amina dan asam-asam amino yang dibebaskan dimanfaatkan oleh golongan bakteri heterotrof yang lain dan membebaskan

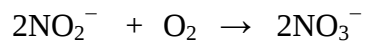
senyawa amonium. Senyawa amonium yang dihasilkan akan dikonversi ke nitrit dan diubah menjadi nitrat, diambil langsung oleh tanaman, atau dipakai langsung oleh bakteri dalam melanjutkan proses dekomposisi dan difiksasi oleh mineral liat.



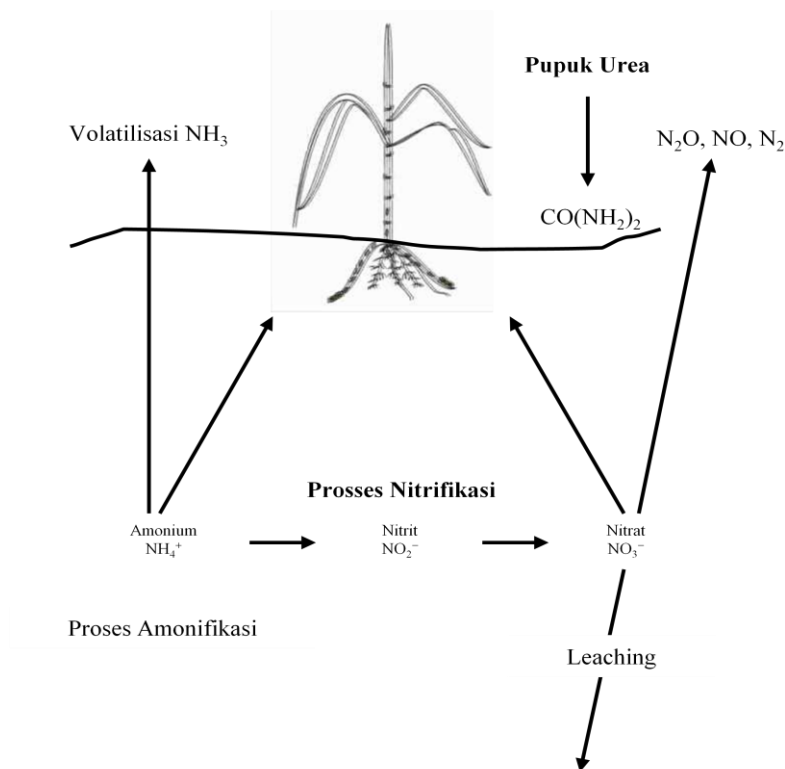
Nitrifikasi adalah perubahan dari amonium (NH_4^+) menjadi nitrit (oleh bakteri *Nitrosomonas*), kemudian menjadi nitrat (oleh *Nitrobacter*). Proses oksidasi biologi ini dibedakan dalam dua tahap yaitu:



Nitritasi



Nitratasi



Gambar 10. Siklus Nitrogen di Dalam Tanah

2.8 Metode Kjeldahl

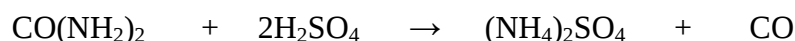
Metode analitik yang paling umum digunakan dalam penentuan kadar nitrogen adalah metode Kjeldahl. Metode Kjeldahl dikembangkan pada tahun 1883 oleh pembuat bir bernama Johann Kjeldahl. Metode ini dapat diterapkan pada senyawa-senyawa organik maupun anorganik meliputi makanan, daging, biji-bijian, pupuk, air limbah, tanah, dan banyak sampel lainnya.

Metode Kjeldahl ini masih dipakai secara luas hingga saat ini di berbagai bidang industri dan diakui secara resmi oleh badan-badan standar internasional seperti AOAC (*Association of Official Analytica Chemists*), EPA (*Environmental Protection Agency*), DIN (*Deutsches Institut fur Normung* atau *German Institute for Standardization*), dan ISO (*International Organization for Standardization*). Bidang industri yang biasa memakai metode Kjeldahl antara lain industri makanan (susu, daging, sereal dan lain-lain), pakan ternak, pupuk dan analisa tanah, pengolahan limbah, pelumas, fuel oil, karet, dan plastik.

2.8.1 Prinsip

1. Destruksi

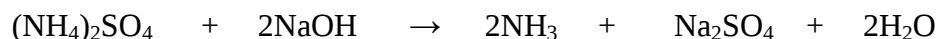
Tahap destruksi merupakan tahap dekomposisi nitrogen dalam sampel menggunakan asam pekat. Tahap ini disempurnakan dengan mendidihkan sampel pada asam sulfat pekat pada temperatur 335°C selama dua jam. Hal ini bertujuan untuk mengeluarkan gas yang terkandung di dalam asam. Hasil akhir dari proses destruksi ini adalah larutan amonium sulfat ((NH₄)₂SO₄). Pada akhir proses destruksi larutan berwarna hijau dan tidak timbul asap lagi ketika dipanaskan. Persamaan umum dari proses destruksi adalah:



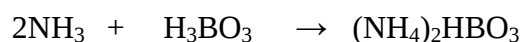
Sejumlah kondisi internal destruksi sangat menentukan laju reaksi dan kesempurnaan pemecahan nitrogen menjadi amonium sulfat. Beberapa diantara kondisi tersebut antara lain pemanasan yang diberikan pada campuran destruksi, penambahan sejumlah garam untuk meningkatkan titik didih asam, lama waktu destruksi dan penambahan katalis.

2. Distilasi

Campuran destruksi selanjutnya diencerkan dan dibasakan melalui penambahan natrium hidroksida (NaOH). Proses distilasi ini menghasilkan amonia (NH_3). Gas amonia yang terbentuk dilepaskan dari larutan dan berpindah keluar dari labu destruksi ke labu penerima.



Larutan hasil destruksi didinginkan dan diencerkan dengan air yang bebas amonia. Pengenceran larutan destruksi bertujuan untuk mencegah terjadinya ledakan selama proses distilasi. Pencegahan ledakan juga bisa dilakukan dengan penambahan batu didih pada larutan destruksi. Pembasaan dilakukan dengan penambahan NaOH pada larutan yang akan didistilasi. labu Kjeldahl ditempatkan pada kondensor dan dipanaskan untuk menguapkan NH_3 dari larutan. Ujung kondensor dihubungkan dengan labu dan harus tercelup di dalam asam yang terdapat di dalam labu. Perlakuan ini dilakukan untuk menangkap NH_3 yang teruapkan. Larutan yang digunakan sebagai larutan untuk menangkap NH_3 merupakan asam yang bisa berupa asam standar ataupun asam borat. Rendahnya pH larutan di labu penerima mengubah gas amonia menjadi ion amonium (NH_4^+) serta mengubah asam borat menjadi ion borat.



3. Titrasi

Kandungan nitrogen diestimasi dengan titrasi ion amonium borat yang terbentuk dengan asam sulfat (H_2SO_4) atau asam klorida (HCl), menggunakan indikator yang sesuai untuk menentukan titik akhir titrasi.



Kadar ion hidrogen (H^+) yang dibutuhkan untuk mencapai titik akhir titrasi setara dengan kadar nitrogen di dalam sampel.

2.8.2 Keuntungan dan Kerugian

a. Keuntungan

1. Metode Kjeldahl digunakan secara luas di seluruh dunia dan masih merupakan metode standar dibanding metode lain.
2. Sifatnya yang universal, presisi tinggi dan reproduibilitas baik membuat metode ini banyak digunakan untuk penetapan kadar nitrogen dan protein.

b. Kerugian

1. Jika digunakan untuk pengukuran protein, metode ini tidak memberikan pengukuran protein yang sesungguhnya karena tidak semua nitrogen dalam sampel bersumber dari protein.
2. Penggunaan asam sulfat pada temperatur tinggi berbahaya.
3. Metode ini membutuhkan waktu lama.