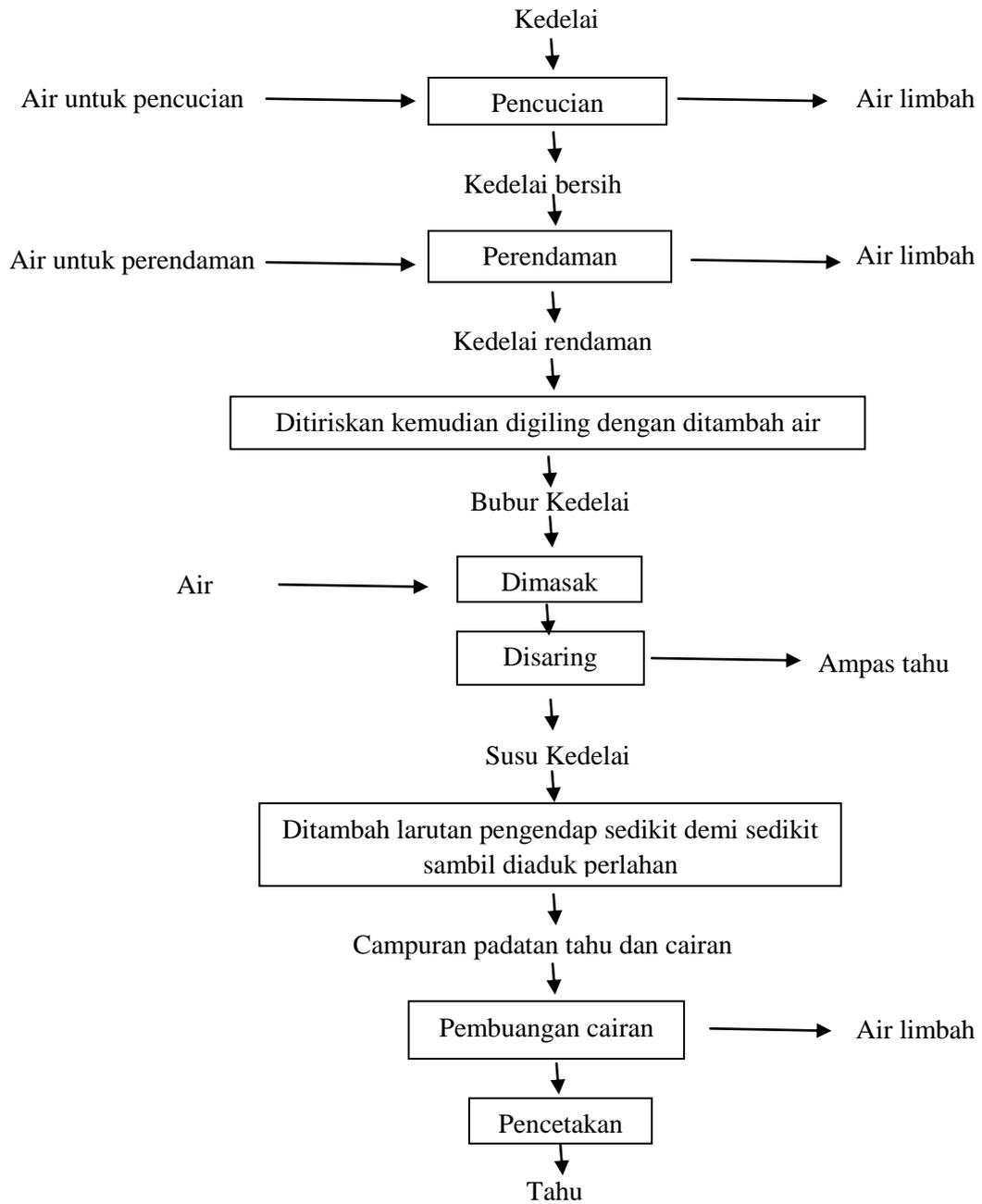


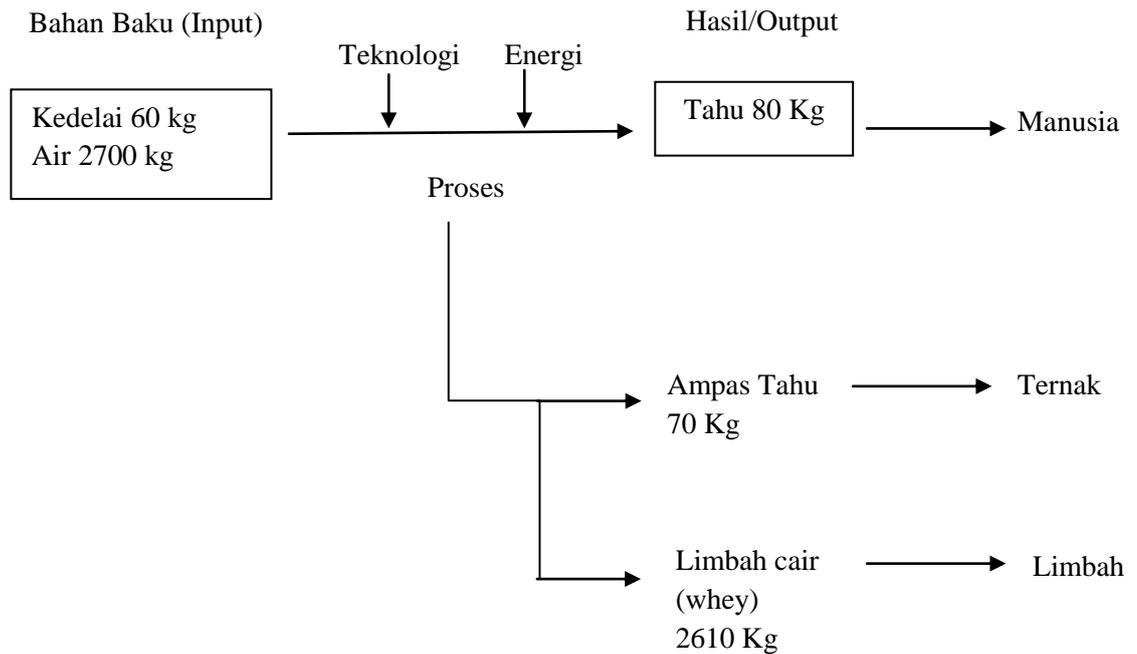
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Pembuatan Tahu

Prinsip utama dari proses pembuatan tahu adalah penggumpalan (pengendapan) protein susu kedelai. Bahan yang digunakan adalah batu tahu (CaSO_4), asam cuka (CH_3COOH) dan MgSO_4 . Proses pembuatan tahu terdiri atas beberapa tahapan yaitu perendaman, penggilingan, pemasakan, penyaringan, penggumpalan, pencetakan/pengerasan dan pemotongan. Proses pembuatan tahu menghasilkan limbah padat berupa ampas tahu dan limbah cair. Ampas tahu dapat dikonversikan sebagai bahan makanan ternak dan ikan serta oncom sedangkan limbah cair kini telah dimanfaatkan sebagai biogas dan minuman bagi ternak. Sebagian besar limbah cair yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu adalah cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu yang disebut air dadih (*whey*), sedang sumber limbah cair lainnya berasal dari pencucian kedelai, pencucian peralatan proses, pemasakan dan larutan bekas rendaman kedelai. Proses pembuatan tahu dapat dilihat pada Gambar 1 sedangkan untuk diagram neraca proses pembuatan tahu dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Proses pembuatan tahu (Sumber : Said dan Heru, 1999)



Gambar 2. Neraca diagram masa pembuatan tahu (Sumber : Said dan Heru, 1999)

Whey mengandung kadar protein yang tinggi dan dapat segera terurai. Limbah cair ini sering dibuang secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu sehingga menghasilkan bau busuk dan mencemari sungai. Pada beberapa industri tahu *Whey* dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan penggumpal .

2.2 Parameter Kualitas Limbah

Berbagai parameter yang harus diperhatikan dalam pengolahan limbah cair agar limbah tidak berbahaya bagi lingkungan dan dapat digunakan secara aman oleh masyarakat antara lain (Kristanto, 2002) :

1. Aspek kimia-fisika pencemaran air : keasaman, alkalinitas, suhu, oksigen terlarut, karbondioksida bebas, warna dan kekeruhan, jumlah padatan, nitrat, amoniak, fosfat, daya hantar listrik, klorida.

2. Aspek biokimia pencemaran air : BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand).
3. Bahan pencemar lain : logam berat

BOD (Biochemical Oxygen Demand), merupakan ukuran kandungan bahan organik dalam limbah cair. BOD diketahui dengan mengukur jumlah oksigen yang diserap oleh sampel limbah cair akibat adanya mikroorganisme. Jumlah oksigen yang diserap dihitung selama periode waktu tertentu, umumnya 5 hari atau lebih dengan suhu 20° C. Suhu 20° C dipilih karna pengambilan limbah cair yang saat itu dilakukan di Inggris suhunya mencapai angka 20° C (Suharto, 2011). Beberapa negara memiliki standar nilai BOD tersendiri dalam penentuan kualitas air, salah satunya adalah Inggris.

Tabel 1. Standar BOD untuk penentuan kualitas air di Inggris

Kondisi Umum Air	BOD (ppm)
Sangat Bersih	1
Bersih	2
Agak Bersih	3
Diragukan Kebersihannya	4
Tidak Bersih	5

(Sumber : Kristanto, 2002)

COD (Chemical Oxygen Demand) adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar limbah organik yang ada di dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia.

Nilai COD merupakan ukuran bagi tingkat pencemaran bahan organik. Semakin tinggi nilai COD maka akan semakin tinggi pula tingkat pencemaran di :

lingkungan. Metode analisa COD memakan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan analisa BOD (Nurhasanah, 2009).

Jumlah air limbah tahu yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu kira-kira 15-20 l / kg bahan baku kedelai, sedangkan beban pencemarannya kira-kira sebesar TSS 30 g/kg bahan baku kedelai, Biological Oxygen Demand (BOD) 65.000 ppm dan Chemical Oxygen Demand (COD) 130.000 ppm (Sadzali, 2010).

Tabel 2. Kandungan unsur hara limbah tahu padat dan cair

Parameter	Limbah Padat Tahu kedelai	Kompos Padat Green Valley	Limbah Cair Tahu Kedelai	Kompos Cair Tristan
N (%)	1,24	1,44	0,27	0,42
P ₂ O ₅ (ppm)	5,54	2,47	228,85	0,28
K ₂ O (%)	1,34	3,03	0,29	0,08
Protein (%)	7,72	-	1,68	
Lemak (%)	-	-	-	
Karbohidrat (%)	-	-	-	

(Sumber : Asmoro, dkk., 2008)

2.3 Pengolahan Limbah (Biofilter)

Pengolahan limbah cair pada hakekatnya adalah suatu perlakuan tertentu yang harus diberikan pada limbah cair sebelum limbah tersebut terbuang ke lingkungan penerima limbah. Untuk dapat menentukan secara tepat perlakuan yang sebaiknya diberikan pada limbah cair, terlebih dahulu diketahui secara tepat karakteristik dari limbah melalui berbagai penetapan berbagai parameter untuk mengetahui macam dan jenis komponen pencemar serta sifat-sifatnya.

Pengolahan limbah cair meliputi pengolahan fisika, pengolahan kimia dan pengolahan biologis. Pengolahan fisika dilakukan terhadap air limbah dengan

kandungan bahan limbah yang dapat dipisahkan secara mekanis langsung. Pengolahan secara kimia merupakan proses dimana perubahan, penguraian atau pemisahan bahan yang tidak diinginkan berlangsung karena mekanisme reaksi kimia. Proses pengolahan limbah cair secara biologis dilakukan dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme (bakteri, ganggang, protozoa, dll) untuk menguraikan atau merombak senyawa-senyawa organik dalam air menjadi zat-zat yang lebih sederhana.

Salah satu pengolahan limbah secara biologis adalah dengan cara biakan melekat (*attached growth process*). Biakan melekat atau disebut juga biofilter adalah pengolahan dengan memanfaatkan mikroorganisme yang menempel pada media yang berbentuk lapisan film untuk menguraikan zat organik. Influen akan melakukan kontak dengan media sehingga akhirnya terjadi proses biokimia. Contoh sistem pengolahan dari *attached growth processes* antara lain *trickling filter*, *rotating biological contactor (RBC)*, *upflow anaerobic sludge blanket (UASB)*, filter terendam dan reaktor fluidisasi. Sistem-sistem tersebut dapat menurunkan kadar BOD sekitar 80 hingga 90% .

Berdasarkan posisi biofilter di dalam reaktor, sistem pertumbuhan melekat dapat digolongkan menjadi tiga yaitu (Tchobagnoglous dan Burton, 1991) :

1. Proses pertumbuhan melekat dengan biakan tidak terendam atau *non-submerged*.
2. Proses pertumbuhan tersuspensi dengan *packing film* tetap (*suspended growth process with fixed film packing*).
3. Proses pertumbuhan melekat dengan biakan terendam *submerged*

Srivastava dan Majumder (2008), menjelaskan bahwa biofilter memiliki peluang yang besar untuk menghilangkan kandungan logam berat dari air limbah.

Sedangkan menurut Soccol, dkk. (2003), biofilter merupakan salah satu teknologi terbaik dalam pengolahan limbah. Biofiter mampu mereduksi, mengubah, dan mengolah berbagai jenis polutan berbahaya agar aman untuk dibuang baik ke tanah, udara, maupun badan sungai.

2.4 Pupuk Fosfat

Pemupukan merupakan salah satu proses perawatan tanaman yang penting.

Tujuan pemupukan adalah untuk menambah zat hara dalam tanah sehingga kebutuhan nutrisi bagi tanaman dapat terpenuhi. Jika kebutuhan tanaman akan nutrisi tercukupi, maka produksi dari tanaman tersebut akan sesuai dengan yang diharapkan. Selain itu pemupukan akan memperbaiki struktur tanah. Untuk memenuhi kebutuhan akan nutrisi umumnya digunakan berbagai pupuk anorganik seperti NPK (sebagai sumber N), SP36 dan TSP (untuk memenuhi unsur P).

Pupuk fosfat (TSP, SP36) menggunakan batuan fosfat sebagai bahan baku utama.

Didalam industri, produksi pupuk fosfat dimulai dari produksi asam fosfat.

Batuan fosfat akan mengalami proses asidulasi untuk melarutkan fosfor yang terikat kuat pada batuan fosfat. Untuk melakukan proses asidulasi tersebut dibutuhkan biaya yang cukup tinggi. Maka sebagai ganti dari asam fosfat dalam proses asidulasi, digunakan limbah tahu yang juga ber pH masam untuk melarutkan fosfor pada batuan fosfat. Batuan fosfat yang digiling halus dapat langsung digunakan sebagai pupuk sumber fosfat.

Berdasarkan hasil penelitian Triyono (2013), filtrasi secara kontinyu selama 6,5 jam pada limbah cair tahu dengan menggunakan batuan fosfat dapat menurunkan kadar PO_4 pada limbah tersebut. Filtrasi yang dilakukan mampu menurunkan kadar PO_4 dari 27,73 mg/L menjadi 0,68 mg/L (penurunan sekitar 97%). Hal ini menunjukkan bahwa batuan fosfat yang digunakan sebagai media filtrasi dapat menyerap ion fosfat yang ada didalam limbah cair tahu. Penyerapan ion fosfat yang terjadi berlangsung sangat cepat dan membentuk *sludge* yang berpotensi digunakan sebagai pupuk.

Penyerapan ion fosfat yang begitu cepat dapat saja dipengaruhi oleh berbagai faktor di antaranya luas permukaan spesifik atau sering disebut BET (Brunauer-Emmet-Teller). BET umumnya dinyatakan dalam satuan m^2/g . Pada material *adsorben* (contohnya zeolit) semakin besar nilai BET maka akan semakin baik daya serap material tersebut.

Terdapat beberapa keuntungan dari menggunakan fosfat alam secara langsung yaitu (Balai Penelitian Tanah, 2011) :

1. Menghemat energi dan mengurangi pencemaran yang disebabkan oleh industri pupuk
2. Harga yang relatif lebih terjangkau
3. Efektifitas yang sama atau bahkan lebih tinggi dibandingkan SP-36
4. Meningkatkan efisiensi pupuk P 10% dan bersifat slow release sehingga residu dapat digunakan untuk masa tanam berikutnya
5. Mengandung hara Ca, Mg, dan hara mikro yang sesuai untuk tanah masam

2.4.1 Fosfor

Fosfor (unsur P) merupakan salah satu zat yang sangat dibutuhkan bagi pertumbuhan tanaman. Beberapa fungsi fosfor bagi tanaman adalah sebagai berikut (Lingga, 2009) :

1. Merangsang pertumbuhan akar dan tanaman muda
2. Sebagai bahan mentah dalam pembentukan beberapa protein tertentu
3. Membantu asimilasi dan pernapasan
4. Mempercepat pembungaan pemasakan biji, dan buah

Di alam, umumnya fosfor ada dalam bentuk batuan mineral atau lebih dikenal dengan nama batuan fosfat. Berdasarkan proses pembentukannya fosfat alam terbagi menjadi tiga jenis, yaitu (Kasno, dkk., 2009) :

1. Fosfat primer terbentuk dari pembekuan magma alkali yang mengandung mineral fosfat apatit, terutama fluor apatit $\{Ca_5(PO_4)_3F\}$. Apatit dapat dibedakan atas *Chlorapatite* $3Ca_3(PO_4)_2CaCl_2$ dan *Flour apatite* $3Ca_3(PO_4)_2CaF_2$.
2. Fosfat sedimenter (marin), merupakan endapan fosfat sedimen yang terendapkan di laut dalam, pada lingkungan alkali dan lingkungan yang tenang. Fosfat alam terbentuk di laut dalam bentuk *calcium phosphate* yang disebut *phosphorit*. Bahan endapan ini dapat diketemukan dalam endapan yang berlapis-lapis hingga ribuan milpersegi. Elemen P berasal dari pelarutan batuan, sebagian P diserap oleh tanaman dan sebagian lagi terbawa oleh aliran ke laut dalam.

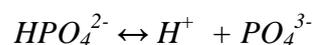
3. Fosfat guano, merupakan hasil akumulasi sekresi burung pemakan ikan dan kelelawar yang terlarut dan bereaksi dengan batu gamping akibat pengaruh air hujan dan air tanah

Agar batuan fosfat menjadi pupuk yang efektif, batuan fosfat harus reaktif sehingga mudah larut dalam tanah, untuk mendukung pelarutan yang ekstensif sifat tanah harus menyediakan ion hidrogen yang cukup.



Gambar 3. Batuan fosfat

Fosfat terdapat dalam tiga bentuk yaitu $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , dan PO_4^{3-} . Fosfat umumnya diserap oleh tanaman dalam bentuk ion ortofosfat primer $H_2PO_4^-$ atau ortofosfat sekunder HPO_4^{2-} sedangkan PO_4^{3-} lebih sulit diserap oleh tanaman. Ortofosfat merupakan bentuk fosfat yang dapat dimanfaatkan secara langsung oleh tanaman, sedangkan polifosfat harus terlebih dahulu mengalami hidrolisis membentuk ortofosfat sebelum dimanfaatkan sebagai sumber fosfor. Reaksi ionisasi asam ortofosfat adalah sebagai berikut (Hanafiah, 2005):



Fosfor di dalam tanah digolongkan dalam dua bentuk, yaitu bentuk organik dan anorganik. Bentuk anorganik adalah senyawa Ca, Fe, Al, dan F. Perubahan fosfor organik menjadi anorganik dilakukan oleh mikroorganisme. Bentuk fosfor anorganik tanah lebih sedikit dan sukar larut. Ketersediaan fosfor di dalam tanah dipengaruhi berbagai faktor yaitu :

1. pH tanah

pH tanah merupakan faktor yang paling penting dalam kaitannya dengan ketersediaan fosfor didalam tanah. Ketersediaan fosfor di dalam tanah ditentukan oleh banyak faktor, tetapi yang paling penting adalah pH tanah. Pada tanah ber-pH rendah, fosfor akan bereaksi dengan ion besi dan aluminium. Reaksi ini membentuk besi fosfat atau aluminium fosfat yang sukar larut dalam air sehingga tidak dapat digunakan oleh tanaman. Pada tanah ber pH tinggi, fosfor akan bereaksi dengan ion kalsium. Reaksi ini membentuk ion kalsium fosfat yang sifatnya sukar larut dan tidak dapat digunakan oleh tanaman. Dengan demikian, tanpa memperhatikan pH tanah, pemupukan fosfor tidak akan berpengaruh bagi pertumbuhan tanaman.

2. Aerasi

Proses perombakan bahan organik oleh mikroorganisme di dalam tanah berkaitan erat dengan ketersediaan fosfor. Untuk melakukan perombakan, mikroorganisme membutuhkan oksigen di dalam tanah (aerasi). Oksigen di dalam tanah umumnya berada pada pori tanah. Oleh karena hal tersebut, pada tanah yang padat atau tergenang air maka penyerapan unsur fosfor akan berkurang.

3. Temperatur

Ketersediaan fosfor akan semakin besar seiring dengan meningkatnya suhu.

Ketersediaan fosfor di daerah hangat akan lebih banyak dibandingkan dengan ketersediaan fosfor di daerah dingin. Hal ini dikarenakan pada suhu yang lebih hangat atau tinggi, proses perombakan bahan organik meningkat.

4. Bahan Organik

Mikroorganisme tanah menggunakan fosfor yang larut dalam air untuk pertumbuhannya. Selanjutnya fosfor yang telah diambil tadi diubah menjadi humus. Tanah dengan bahan organik yang tinggi akan menyediakan fosfor yang cukup bagi mikroorganisme tanah.

5. Unsur Hara Lain

Penyerapan fosfor oleh tanah dipengaruhi unsur lain seperti amonium. Amonium merupakan salah satu bentuk senyawa dari nitrogen. Kekurangan unsur mikro pada tanah akan menghambat penyerapan fosfor.

2.4.2 Analisis Kuantitatif Fosfat

Ada beberapa metode yang umum digunakan dalam analisis kuantitatif fosfat, yaitu :

1. Metode Asam Askorbat

Metode asam askorbat merupakan metode yang paling sering digunakan dalam analisis kuantitatif fosfor. Metode ini memiliki keunggulan yaitu dapat digunakan untuk berbagai macam sampel, cepat, akurat, dan memiliki lebih sedikit gangguan dalam pelaksanaannya. Prinsip kerja dari metode ini yaitu amonium molibdat dan kalium antimonil tartarat bereaksi dalam medium asam membentuk kompleks antimonil fosfomolibat. Setelah itu, larutan tadi direduksi menjadi kompleks biru molibdenum. Warna biru yang dihasilkan oleh asam askorbat ini lebih maksimum. Pengukuran dilakukan dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 880 nm.

2. Metode SnCl_2 (*Deniges methods*)

Metode SnCl_2 memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri jika dibandingkan dengan metode asam askorbat. Warna yang terbentuk pada metode ini, lebih stabil jika dibandingkan pada asam askorbat. Kekurangannya adalah, metode ini mengharuskan penggunaan SnCl_2 selalu dalam keadaan baru. SnCl_2 digunakan sebagai pereduksi karena memiliki kesensitian yang besar. Prinsip kerja dari metode ini yaitu SnCl_2 direaksikan dengan ammonium molibdat membentuk kompleks berwarna biru. Selanjutnya, warna biru tersebut akan mengabsorpsi maksimum cahaya pada gelombang 690 nm. Pengabsorpsian cahaya akan diukur menggunakan spektrofotometer.

3. Metode Vanadat

Dalam pelaksanaan metode vanadat, pencampuran pereaksi vanadat dan molibdat harus dilakukan beberapa hari sebelum digunakan. Hal ini dikarenakan

pencampuran pereaksi vanadat dan molibdat sangat cenderung untuk mengendap. Tidak seperti dua metode sebelumnya yang menghasilkan warna biru, pada metode vanadat akan menghasilkan senyawa kompleks yang berwarna kuning. Fosfat bereaksi dengan vanadat membentuk senyawa kompleks berwarna kuning. Warna kompleks fosfovanadomolibdat lebih stabil dibandingkan warna kompleks biru-molibdem. Untuk menghasilkan warna yang stabil, maka bahan-bahan organik yang ada dalam sampel harus terlebih dahulu dibersihkan dengan pereaksi pengoksidasi.

4. Metode Hidroquinon – Molibdat

Hidroquinon merupakan salah satu pereduksi yang paling klasik. Pada metode ini ammonium molibdat direaksikan dengan larutan fosfat membentuk ammonium fosfomolibdat berwarna kuning, kemudian direduksi dengan hidroquinon. Waktu tunggu untuk pembentukan warna maksimum adalah selama 5 menit.

5. Metode Molibdat-Metol (*Tschopp's Method*)

Kelebihan metode ini adalah pereduksinya (metol) yang stabil dan tersedia dengan harga murah. Bila sampel mengandung NO_3^- lebih dari 1 mg boleh digunakan *Comparator*, namun jika lebih dari 3 mg harus menggunakan pereaksi Nessler. Metol sangat sensitif terhadap fosfat, namun pada silika metode ini tidak dapat digunakan karna kurang sensitif terhadap silika. Jika sampel dikhawatirkan mengandung arsenit (arsenit menghasilkan warna yang sama dengan fosfat) maka perlu dilakukan penambahan H_2S , diikuti penyaringan dan penguapan. Semua

komponen bahan organik lainnya juga harus dihilangkan karena dapat mengganggu intensitas warna yang dihasilkan.

6. Metode Amino-Naftol-Asam Sulfonat

Modifikasi dari Fisk dan prosedur Subbarow merupakan dasar dari terbentuknya metode ini. Fosfat anorganik direaksikan dengan ammonium molibdat, selanjutnya direduksi dengan amino-naftol-asam sulfonat sehingga dihasilkan kompleks berwarna biru. Untuk menghasilkan warna biru dibutuhkan waktu 15 menit. Metode ini memiliki kelemahan yaitu kurang sensitif.

7. Metode Valin Vanadomolibdat Tablet

Pereaksi yang digunakan adalah vanadat tablet. Karena hanya bentuk pereaksi saja yang berbeda maka warna yang dihasilkanpun sama dengan metode vanadat yaitu warna kuning.

2.5 Nitrogen

Nitrogen merupakan salah satu unsur yang paling banyak terdapat di alam.

Nitrogen adalah unsur dari golongan VA dan terdapat di alam sebagai unsur diatomik (N_2). Nitrogen berbentuk gas dan mengisi 78.8% dari volume atmosfer bumi. Selain berbentuk gas dengan rumus kimia N_2 , nitrogen juga terdapat dalam bentuk senyawa nitrat, nitrit, amonia, protein, dan sebagainya.

Nitrogen sebagai salah satu unsur hara utama, amat dibutuhkan oleh tanaman untuk pertumbuhan tanaman. Fungsi nitrogen antara lain (Sutedjo, 1999) :

1. Meningkatkan pertumbuhan tanaman
2. Menyehatkan pertumbuhan daun
3. Meningkatkan kadar protein dalam tubuh tanaman
4. Meningkatkan kualitas tanaman penghasil daun-daunan
5. Meningkatkan perkembangbiakan mikroorganisme didalam tanah

Untuk menjadikan N tersedia bagi tanaman maka dibutuhkan proses mineralisasi nitrogen. Proses mineralisasi ini mengubah N-organik (umumnya terdapat pada bahan organik : humus, serasah, kompos) menjadi N-anorganik. N organik meliputi asam amino atau protein, asam amino bebas, gula amino, sedangkan N-anorganik meliputi NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , N_2O , NO , dan N_2 . Mineralisasi nitrogen terdiri atas serangkaian proses yaitu hidrolisis protein, aminisasi, amonifikasi dan nitrifikasi. N organik akan diubah menjadi bentuk yang tersedia bagi tanaman yaitu amonium (NH_4^+). Mineralisasi nitrogen ini akan memacu perkembangan dan pertumbuhan mikroba lain yang menguntungkan bagi tanaman. Mikroba tersebut adalah mikroba penambat N dan mikroba pelarut fosfat. Perombakan bahan organik akan menghasilkan ion H^+ yang memungkinkan pembentukan asam untuk melarutkan fosfat yang terikat kuat pada batuan fosfat (Nugroho, dkk., 2011).

Dalam tubuh tanaman, nitrogen adalah bagian dari protein dan plasma sel. Klorofil pada daun juga disusun oleh nitrogen. Nitrogen diserap oleh akar tanaman dalam bentuk amonium (NH_4^+) dan nitrat (NO_3^-). Pada akhirnya nitrat akan segera tereduksi menjadi amonium dengan bantuan enzim yang mengandung Molibdenum (Sutedjo, 1999).

2.5.1 Analisis Kuantitatif Nitrogen

Pengukuran kadar N total umumnya dilakukan dengan Metode Kjeldahl. Metode ini merupakan metode yang paling klasik dalam penentuan kadar N total. Prinsip dari metode ini yaitu mengubah N-organik menjadi N ammonium oleh asam sulfat yang dipanaskan pada suhu 380° Celsius. Sebagai katalisator maka digunakan Cu-sulfat + Selenium + Na-Sulfat. Analisa Metode Kjeldahl dibagi menjadi 3 tahapan yaitu destruksi, destilasi, dan tahap titrasi. Metode Kjeldahl hanya dapat mewakili nitrogen organik yang terdapat pada limbah.

Untuk menghitung amonium maka digunakan metode Nessler. Prinsip kerjanya adalah ion amonium dalam suasana basa kan bereaksi dengan larutan Nessler membentuk senyawa kompleks yang berwarna kuning sampai coklat. Warna yang timbul diukur absorbansinya dengan spektrofotometer dengan panjang gelombang 415 nm.