

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Industri Tahu

Pengelolaan limbah dalam industri pembuatan tahu merupakan salah satu dari contoh teknik pengelolaan limbah secara *Waste to Product* yaitu menggunakan kembali limbah hasil pabrik tahu sebagai bahan baku produk baru yang memiliki nilai tambah. Limbah merupakan zat sisa atau bahan yang dihasilkan dari proses pembuatan produk dari suatu industri yang kurang memiliki nilai guna. Limbah biasanya dibuang begitu saja, tanpa dipikir lagi bahwa limbah tersebut mencemari lingkungan atau tidak bahkan sebagian besar dari mereka tidak berpikiran bahwa limbah tersebut berguna jika diolah lagi untuk dijadikan sebuah produk baru. Contoh limbah yang sering kita jumpai adalah limbah industri tahu.

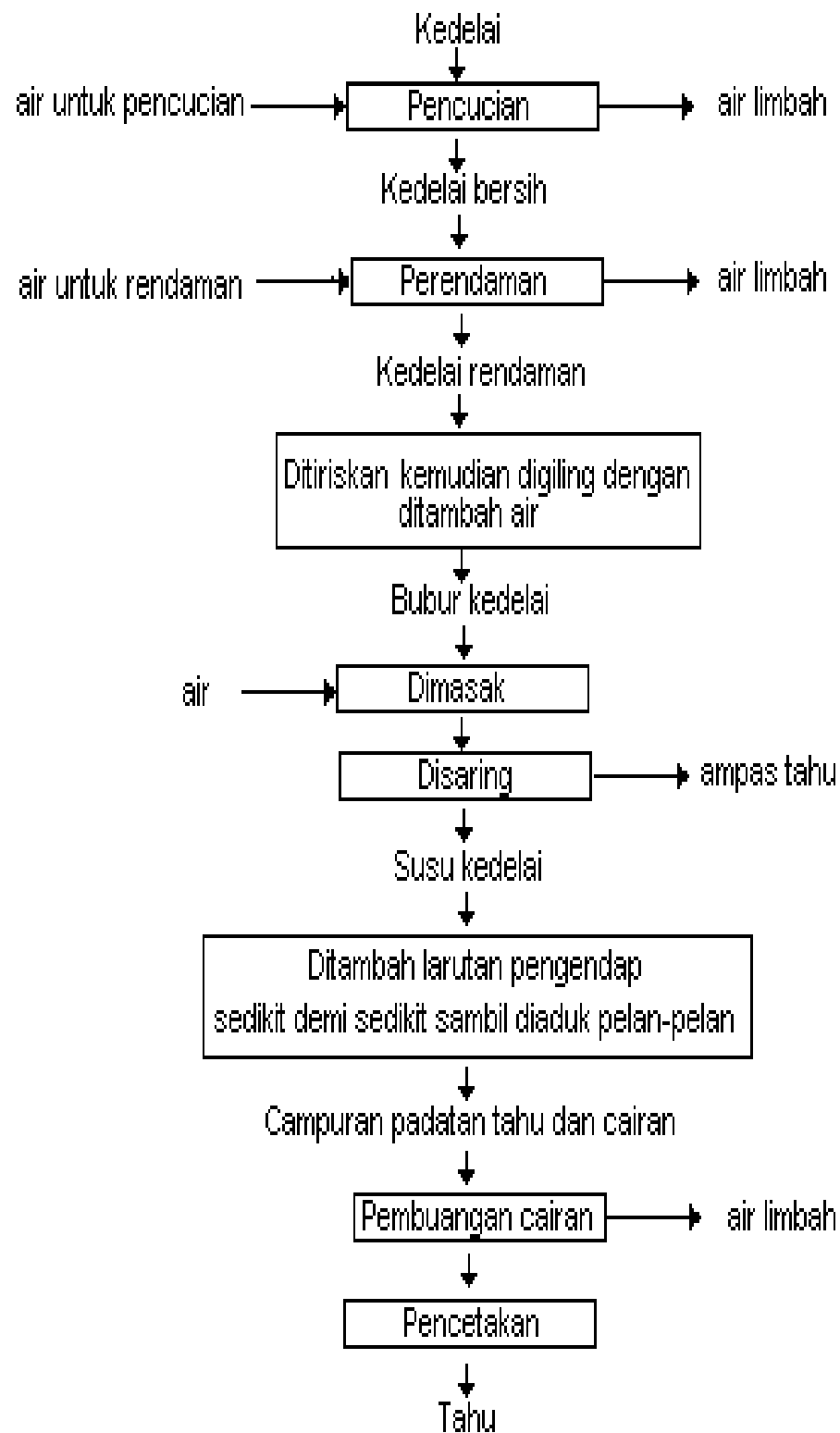
Limbah industri tahu adalah limbah yang dihasilkan dalam proses pembuatan tahu maupun pada saat pencucian kedelai. Limbah yang dihasilkan berupa limbah padat dan cair. kandungan limbah padat tahu yaitu protein (23,35%), lemak (5,54%), karbohidrat (26,92%), abu (17,03%), serat kasar (16,53%), dan air (10,53%) (Bapedal, 1994), sedangkan Komposisi limbah cair tahu sebagian besar terdiri dari air (99,9%) dan sisanya terdiri dari partikel-partikel padat terlarut (dissolved solid) dan tidak terlarut (suspended solid) sebesar 0,1%. Partikel-partikel padat dari zat organik ($\pm 70\%$) dan zat anorganik ($\pm 30\%$). Zat-zat organik terdiri dari protein ($\pm 65\%$), karbohidrat ($\pm 25\%$), lemak ($\pm 25\%$) (Udin Djabu, 1991).

Limbah cair yang dihasilkan mengandung padatan tersuspensi maupun terlarut, akan mengalami perubahan fisika, kimia, dan hayati yang akan menghasilkan zat beracun atau menciptakan media untuk tumbuhnya kuman dimana kuman ini dapat berupa kuman penyakit atau kuman lainnya yang merugikan baik pada tahu sendiri ataupun tubuh manusia. Bila dibiarkan dalam air limbah akan berubah warnanya menjadi coklat kehitaman dan berbau busuk. Bau busuk ini akan mengakibatkan sakit pernapasan. Apabila limbah ini dialirkan ke

sungai maka akan mencemari sungai dan bila masih digunakan maka akan menimbulkan penyakit gatal, diare, dan penyakit lainnya.

Pemanfaatan Limbah padat atau yang sering kita sebut ampas tahu dapat diolah kembali menjadi tempe gembus, oncom atau dapat pula dimanfaatkan sebagai pakan ternak, seperti ayam, bebek, sapi, kambing dan sebagainya, sedangkan pengolahan limbah yang berwujud zat cair biasanya melalui berbagai proses di antaranya, limbah cair yang dihasilkan akan ditampung didalam dua septictank, septictank yang berukuran lebih besar daripada septictank yang satunya. Kemudian disalurkan ke sebuah drum besar yang ditanam di dalam tanah, setelah air terkumpul akan keluar dengan sendirinya dan limbah yang lain akan mengendap yang kemudian akan dibuang langsung ke lingkungan dengan meninggalkan bau busuk. Sedangkan air yang keluar dari drum akan ditampung lagi di penampungan seperti kolam kecil yang nantinya akan menghasilkan endapan yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk dan berupa air yang dibuang langsung ke sungai tanpa dengan bahaya yang cukup besar.

Limbah industri tahu yang berupa cair juga dapat dimanfaatkan sebagai pembuatan biogas. Biogas sendiri adalah gas pembusukan bahan organik oleh bakteri dalam kondisi anaerob. Air limbah industri tahu ini mempunyai kandungan bahan-bahan organik sehingga sangat memungkinkan untuk bahan sumber energi gas Biogas. Biogas sangat bermanfaat bagi alat kebutuhan rumah tangga/kebutuhan sehari-hari, misalnya sebagai bahan bakar kompor (untuk memasak), lampu, penghangat ruangan/gasolec, suplai bahan bakar mesin diesel, untuk pengelasan (memotong besi), dan lain-lain. Sedangkan manfaat bagi lingkungan adalah dengan proses fermentasi oleh bakteri anaerob tingkat pengurangan pencemaran lingkungan dengan parameter BOD dan COD akan berkurang sampai dengan 98% dan air limbah telah memenuhi standarr baku mutu pemerintah sehingga layak di buang ke sungai. Biogas secara tidak langsung juga bermanfaat dalam penghematan energi yang berasal dari alam, khususnya sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui (minyak bumi) sehingga sumber daya alam tersebut akan lebih hemat dalam penggunaannya dalam jangka waktu yang lebih lama lagi (Prasetyo, 2008).



Gambar 1. Air Limbah yang Dihasilkan dari Proses Pembuatan Tahu

sumber : <http://www.kelair.bppt.go.id/>

Penanganan limbah tahu dapat dilakukan dengan menggunakan alat yang dapat menghasilkan tahu yang lebih baik dan sedikit menghasilkan limbah, dengan penerapan produksi bersih (*cleaner production*). *Cleaner Production* merupakan upaya penanganan pencemar secara preventif. Produksi Bersih didefinisikan sebagai: Strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif, terpadu dan diterapkan secara terus-menerus pada setiap kegiatan mulai dari hulu ke hilir yang terkait dengan proses produksi, produk dan jasa untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumberdaya alam, mencegah terjadinya pencemaran lingkungan dan mengurangi terbentuknya limbah pada sumbernya sehingga dapat meminimisasi resiko terhadap kesehatan dan keselamatan manusia serta kerusakan lingkungan (Kebijakan Nasional Produksi Bersih, KLH 2003).

Kegiatan Produksi Bersih dimulai dari strategi 5R yaitu berpikir ulang (*re-think*) untuk pencegahan (*elimination*) pengurangan (*reduce*), pakai ulang (*reuse*), daur ulang (*recycle*) dan pungut ulang (*recovery*) limbah. Dengan demikian maka pendekatan Produksi Bersih akan meningkatkan efisiensi produksi dan jasa,

mengurangi timbunan limbah, mengurangi biaya produksi atau biaya operasi, meningkatkan kesehatan dan keselamatan kerja

Konsep 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*) menjadi sebuah tatanan yang memiliki keterkaitan antara proses satu dengan lainnya. Pengolahan Limbah terpadu saat ini cenderung mengarah pada sebuah pengolahan yang bisa menghasilkan sebuah benefit finansial yang menguntungkan untuk semua pihak. Prinsip terpadu dalam pengolahan limbah diterapkan dalam sebuah siklus ekologi industri. Konsep ini berawal dari sistem biologi yang dikenal dengan sebuah ekosistem yang didalamnya terdapat sebuah rantai makanan bagi spesies yang ada di dalamnya.

Upaya *reuse* (penggunaan kembali) dapat dilakukan dengan memanfaatkan limbah padat dan cair industri tahu, keberadaan ampas tahu di tanah air cukup melimpah, murah dan mudah didapat. Produk sampingan pabrik tahu ini apabila telah mengalami fermentasi dapat meningkatkan kualitas pakan dan memacu pertumbuhan ayam pedaging. Produk sampingan pabrik ampas tahu ini telah digunakan sebagai pakan babi, sapi bahkan ayam pedaging. Namun karena kandungan air dan serat kasarnya yang tinggi, maka penggunaannya menjadi terbatas dan belum memberikan hasil yang baik. Guna mengatasi tingginya kadar air dan serat kasar pada ampas tahu maka dilakukan fermentasi. Fakta menunjukkan bahwa penggunaan ampas tahu sebagai pakan ternak ini menunjukkan pertumbuhan yang positif pada ternak. *Recycle* (mendaur ulang kembali) adalah upaya yang ketiga yang dapat dilakukan dalam pengelolaan limbah yang mengacu pada prinsip 3R. Upaya- upaya yang dapat dilakukan adalah mendaur ulang ampas tahu ini menjadi kecap ampas tahu, oncom, pupuk cair, dan bahan bakar biogas. Limbah cair pembuatan tahu bisa disulap menjadi biogas karena kandungan organik yang cukup tinggi dan pupuk organik cair yang kaya manfaat. Selain harganya murah hasil pertaniannya juga bisa lebih baik. Sebagai pengganti pupuk urea, pupuk cair dari limbah tahu sangat dibutuhkan tanaman.

2.2 Rumen Sapi

Rumen adalah salah satu bagian lambung ternak ruminansia (memamah biak) seperti sapi, kerbau, kambing dan domba. Rumen berisi bahan pakan yang dimakan oleh ternak yang berupa rumput/hijauan lainnya dan pakan penguat (konsentrat). Di dalam rumen ternak ruminansia hidup berbagai mikroba seperti bakteri, protozoa, fungi dan yeast. Mikroba ini berfungsi sebagai fermentor di dalam rumen tersebut.

Di dalam rumen ternak ruminansia (sapi, kerbau, kambing dan domba) terdapat populasi mikroba yang cukup banyak jumlahnya. Cairan rumen mengandung bakteri dan protozoa. Konsentrasi bakteri sekitar 10^9 per cc isi rumen, sedangkan protozoa bervariasi sekitar 10^5 - 10^6 per cc isi rumen (Tillman, 1991). Isi rumen diperoleh dari rumah potong hewan. Isi rumen kaya akan nutrisi, limbah ini sebenarnya sangat potensial bila dimanfaatkan sebagai pakan ternak. Kandungan rumen sapi menurut Rasyid (1981), meliputi protein 8,86%, lemak 2,60%, serat kasar 28,78%, kalsium 0,53%, fosfor 0,55%, (Bahan Ekstrak Tanpa Nitrogen) BETN 41,24%, abu 18,54%, dan air 10,92%.

Isi rumen dapat dimanfaatkan sebagai starter apabila diproses terlebih dahulu mengingat kandungannya yang kaya akan nutrisi dan mikroorganisme. Starter isi rumen adalah starter yang terbuat dari isi rumen ternak ruminansia. Starter isi rumen dapat dimanfaatkan untuk biakkan bakteri/mikroba di dalamnya sebagai starter pembuatan kompos/pupuk organik, pembuatan biogas memanfaatkan bakteri metanogen dan fermentasi limbah hasil pertanian seperti jerami.

2.3 Biogas

Biogas merupakan salah satu produk hasil biokonversi dari bahan organik. Biokonversi adalah sebuah proses yang mampu mengubah bahan organik menjadi produk lain yang berguna dan memiliki nilai tambah dengan memanfaatkan proses biologis dari mikroorganisme dan enzim (Hardjo, 1989). Rumen sapi yang tinggi kandungan hara dan energinya berpotensi untuk dijadikan bahan baku penghasil biogas. Biogas adalah campuran berbagai macam gas yang susunannya tergantung pada komposisi bahan baku masukan. Sahidu (1983) mengungkapkan

bahwa biogas adalah suatu campuran gas-gas yang dihasilkan dalam suatu proses pengomposan bahan organik oleh bakteri dalam keadaan tanpa oksigen (proses anaerob). Definisi lain menyebutkan bahwa biogas adalah campuran beberapa gas yang tergolong bahan bakar hasil fermentasi dari bahan organik dalam kondisi anaerob dan gas yang dominan adalah metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2) (Simamora, 2006).

Biogas merupakan energi terbarukan yang fleksibel, dapat menghasilkan panas, dan listrik sebagai pengganti bahan bakar kendaraan. Selain berupa energi terbarukan, proses perombakan anaerob menghasilkan pupuk berharga dan mengurangi emisi serta bau yang tak sedap. Biogas bersifat bersih, tidak berasap hitam seperti kayu bakar dan minyak tanah. Selain itu derajat panasnya lebih tinggi dari bahan bakar minyak tanah dan kayu bakar serta dapat disimpan untuk penggunaan yang akan datang (Darminto 1984). Produksi biogas didasarkan pada perombakan anaerob kotoran hewan dan bahan buangan organik lainnya. Selama perombakan anaerob akan menghasilkan gas metana 54-70 %, karbondioksida 25-45 %, hidrogen, nitrogen, dan hidrogen sulfida dalam jumlah yang sedikit (Simamora, 2006) seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Komposisi Biogas

Komponen	%
Metana (CH_4)	55-75
Karbon Dioksida (CO_2)	25-45
Nitrogen (N_2)	0-0,3
Hidrogen (H_2)	1-5
Hidrogen Sulfida (H_2S)	0-3
Oksigen (O_2)	0,1-0,5

Sumber :Sitepu, 2011

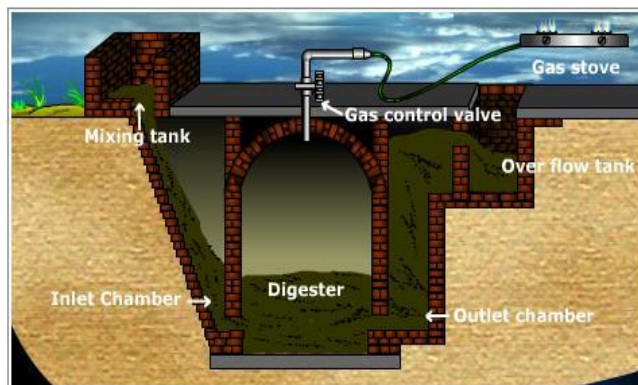
2.4 Reaktor Biogas

2.4.1 jenis-jenis Digester Biogas

Jenis digester yang dipilih dapat berdasarkan pada tujuan pembuatan digester tersebut, tujuan utama yaitu mengurangi kotoran dan menghasilkan biogas yang mempunyai kandungan metan tinggi. Dari segi konstruksi digester dibedakan menjadi :

1. Reaktor Kubah Tetap (Fixed Dome)

digester jenis ini mempunyai volume tetap, gas yang akan terbentuk akan segera dialirkan ke pengumpul gas diluar reactor, indikator produksi gas dapat dilakukan dengan memasang indikator tekanan. Skema digester jenis kubah dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Digester Tipe *Fixed Dome*

Sumber : <http://andrew.getux.com/2008>

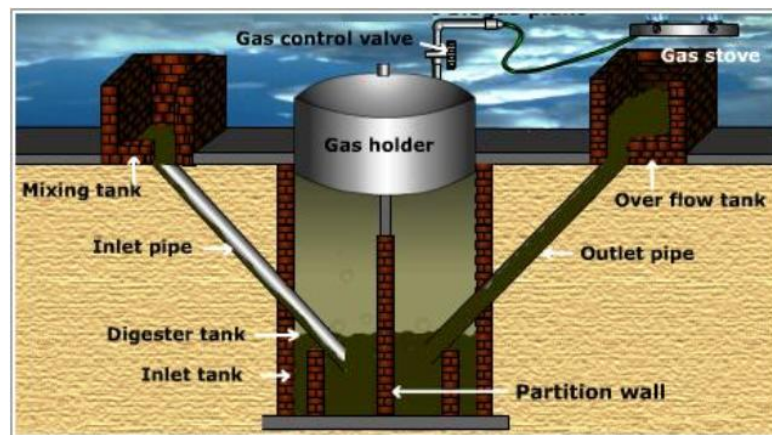
digester jenis kubah tetap mempunyai kelebihan dan kekurangan seperti pada Tabel 2 sebagai berikut :

Tabel 2. Kelebihan dan Kekurangan Digester Jenis Kubah Tetap

Kelebihan	Kekurangan
1. Konstruksi sederhana dan dapat dikerjakan dengan mudah 2. Biaya konstruksi rendah 3. Tidak ada bagian yang bergerak 4. Dapat dipilih dari material tahan karat 5. Umurnya panjang 6. Dapat dibuat dalam tanah sehingga menghemat tempat	1. Bagian dalam digester tidak terlihat sehingga kebocoran sulit diketahui 2. Tekanan gas sangat tinggi 3. Temperature digester rendah

2. Floating Dome (Kubah Apung)

Pada digester tipe ini terdapat bagian yang dapat bergerak seiring dengan kenaikan tekanan reaktor. Pergerakan bagian kubah dapat dijadikan indikasi bahwa produk biogas sudah mulai atau sudah terjadi. Bagian yang bergerak juga berfungsi sebagai pengumpul biogas. Dengan model ini kelemahan yang berfluktuasi pada reaktor biodigester jenis kubah tetap dapat diatasi sehingga tekanan gas menjadi konstan. Kelemahannya adalah membutuhkan teknik khusus untuk membuat tampungan gas bergerak seiring naik atau turunnya produksi biogas. Kelemahan lainnya adalah material dari tampungan gas yang dapat bergerak harus dipilih yang mempunyai sifat tahan korosi, hal tersebut menyebabkan harganya relatif mahal.



Gambar 2. Digester Tipe *Floating Dome* (Kubah Apung)

Sumber : <http://andrew.getux.com/2008>

3. Reaktor Balon

Reaktor balon merupakan jenis reaktor yang banyak digunakan pada skala rumah tangga yang menggunakan bahan plastic sehingga lebih efisien dalam penanganan dan perubahan tempat biogas.



Gambar 3. Reaktor Balon

Sumber : shodikin, 2011

Reaktor ini terdiri dari suatu bagian yang berfungsi sebagai digester dan penyimpanan gas masing-masing bercampur dalam suatu ruangan tanpa sekat, material organik terletak dibagian bawah karena memiliki berat yang lebih besar dibandingkan gas yang akan mengisi pada rongga atas.

4. Reaktor Dari Bahan *Fiber Glass*

Reaktor dari bahan *fiber glass* merupakan jenis reaktor yang paling banyak digunakan pada skala rumah tangga yang menggunakan bahan *fiber glass*.



Gambar 4. Reaktor Bahan *Fiber Glass*

Sumber : Shodikin, 2011

2.4.2 Berdasarkan aliran bahan baku

a. Bak (*batch*)

Pada digester tipe bak, bahan baku ditempatkan didalam suatu wadah atau bak dari sejak awal hingga selesainya proses *digestion*. Digester ini umumnya digunakan pada tahap eksperimen untuk mengetahui potensi dari gas dari limbah organik atau digunakan pada kapasitas biogas yang kecil.

b. Mengalir (*continuous*)

Untuk digester jenis mengalir aliran bahan baku dimasukkan dan residu dikeluarkan pada selang waktu tertentu. Lamanya bahan baku berada dalam reaktor digester disebut waktu retensi.

2.4.3 berdasarkan segi tata letak penempatan

a. seluruh digester diatas permukaan tanah

Biasanya dibuat dari tong-tong bekas minyak tanah atau aspal. Kelemahan tipe ini adalah volume yang kecil sehingga biogas yang dihasilkan hanya mampu digunakan untuk kebutuhan sebuah rumah tangga. Kelemahan lain adalah kemampuan material yang rendah untuk menahan korosi sehingga tidak tahan lama. Untuk skala yang besar, digester jenis ini juga membutuhkan lahan yang besar.

b. Sebagian tangki biogas diletakkan dibawah permukaan tanah

Digester ini terbuat dari campuran semen, pasir, kerikil dan kapur yang dibentuk seperti sumur dan ditutup dengan plat baja atau konstruksi semen. Volume tangki dapat dibuat untuk skala besar ataupun skala kecil sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Kelemahan dari sistem ini jika ditempatkan pada daerah yang memiliki suhu rendah akan merambat melalui plat baja sehingga memperlambat proses bekerjanya bakteri.

c. Seluruh tangki digester diletakkan dibawah permukaan tanah

Model ini merupakan yang paling populer di Indonesia, dimana seluruh instalasi digester berada didalam tanah. Selain dapat menghemat tempat , pada

prosesnya dapat memper tahan kanan suhu dalam digester stabil, kekurangannya jika terjadi kebocoran akan sangat sulit penanganannya dan sulit untuk terdeteksi.

2.4.4 Komponen Utama Digester

Komponen – komponen utama digester cukup banyak dan bervariasi, komponen yang digunakan untuk membuat digester tergantung dari jenis digester yang digunakan dan tujuan pembangunan digester. Secara umum komponen digester terdiri dari empat komponen – komponen utamasebaga berikut :

a. Saluran Masuk *Slurry* (bahan organik)

Saluran ini digunakan untuk memasukan slurry (campuran bahan organik) kedalam reaktor utama biogas. Tujuan pencampuran adalah untuk memaksimalkan produksi biogas, memudahkan mengalirkan bahan baku dan menghindari endapan pada saluran masuk.

b. Ruang *Digestion* (ruang fermentasi)

Ruang ini berfungsi sebagai tempat terjadinya fermentasi anaerobic dan dibuat kedap udara. Ruang ini juga dilengkapi dengan penamoung biogas.

c. Saluran Keluar Residu (*Sludge*)

Fungsi saluran ini adalah untuk mengeluarkan kotoran (*sludge*) yang telah mengalami fermentasi anaerobik oleh bakteri. Residu yang pertama kali keluar merupakan slurry yang sangat baik untuk pupuk karena mengandung kadar nutrisi yang tinggi.

d. Tangki penyimpanan biogas

Untuk menyimpan biogas yang dihasilkan dari proses fermentasi anaerobik.

2.4.5 Komponen Pendukung Digester

Selain empat komponen utama tersebut diatas, pada sebuah digester perlu ditambah beberapa komponen pendukung untuk menghasilkan biogas dalam jumlah banyak dan aman. Beberapa komponen pendukung adalah :

a. Katup Pengaman Tekanan

Fungsi dari aktup pengaman adalah sebagai pengaman digester dari lonjakan tekanan biogas yang berlebihan. Bila tekanan dalam tabung penampung biogas terlalu tinggi maka akan dibuang keluar, selanjutnya tekanan didalam digester akan turun kembali. Katup pengaman tekanan cukup penting dalam reaktor biogas yang besar dan sistem kontinyu, karena umumnya digester dibuat dari material yang tidak tahan tekanan tinggi supaya biaya konstruksinya tidak mahal.

b. Sistem Pengaduk

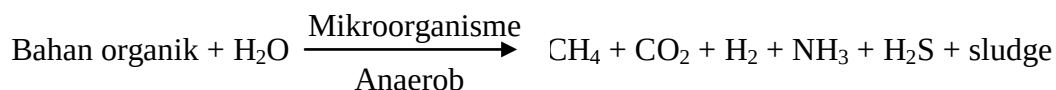
Pada digester yang besar sistem pengaduk menjadi sangat penting, tujuan pengadukan adalah untuk menjaga material padat tidak mengendap pada dasar digester. Pengadukan sangat bermanfaat bagi bahan yang berada didalam digester dan temperature terjaga diseluruh bagian. Dengan pengadukan potensi material mengendap didasar digester semakin kecil, konsentrasi merata dan memberikan kemungkinan seluruh material mengalami proses fermentasi anaerob secara merata, selain itu dengan pengadukan dapat mempermudah pelepasan gas yang dihasilkan oleh bakteri menuju kebagian penampung gas. Pengadukan dapat dilakukan dengan mekanis yaitu dengan menggunakan poros yang dibawahnya terdapat semacam baling – baling dan gerakan dengan motor listrik secara berkala mensirkulasi bahan dalam digester dengan menggunakan pompa dan dialirkan kembali melalui bagian atas digester.

c. Saluran Biogas

Saluran biogas digunakan untuk mengalirkan biogas yang dihasilkan digester, bahan untuk saluran gas disarankan terbuat dari polimer untuk menghindari korosi. Untuk pemanfaatan biogas sebagai bahan bakar, pada ujung saluran pipa dapat disambung dengan pipa yang terbuat dari logam supaya tahan terhadap temperatur pembakaran yang tinggi.

2.5 Proses Pembentukan Biogas

Menurut Fauziah (1998) proses pembentukan biogas dilakukan secara anaerob. Bakteri merombak bahan organik menjadi biogas dan pupuk organik. Proses pelapukan bahan organik ini dilakukan oleh mikroorganisme dalam proses fermentasi anaerob (Polpresert, 1980). Reaksi pembentukan biogas dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Reaksi Pembentukan Biogas

Proses pembentukan biogas ini memerlukan instalasi khusus yang disebut digester agar perombakan secara anaerobic dapat berlangsung dengan baik. Barnett *et al.* (1978) menyatakan bahwa terdapat tiga keuntungan dari instalansi penghasil biogas, yaitu: (1) penggunaan bahan bakar lebih efisien, (2) menambah nilai pupuk, dan (3) menyehatkan lingkungan. selain itu, teknologi biogas memiliki beberapa keuntungan, antara lain: (1) sebagai sumber energi yang aman, (2) stabilisasi limbah, (3) meningkatkan unsur hara, dan (4) menginaktifkan bakteri patogen (Polprasert, 1980).

Proses perombakan bahan organik secara anaerob yang terjadi di dalam digester, terdiri atas empat tahapan proses yaitu hidrolisis, fermentasi (asidogenesis), asetogenesis dan metanogenesis.

A. Hidrolisis

Hidrolisis merupakan langkah awal untuk hampir semua proses penguraian dimana bahan organik akan dipecah menjadi bentuk yang lebih sederhana sehingga dapat diurai oleh bakteri pada proses fermentasi (Deublein, 2008). Dalam proses hidrolisis, molekul-molekul kompleks seperti karbohidrat, lemak, dan protein dihidrolisis menjadi gula, asam lemak dan asam amino oleh enzim ekstraselular dari bakteri fermentatif (Ahmad dkk., 2011). Pada tahap hidrolisis, bahan organik padat maupun yang mudah larut berupa molekul besar dihancurkan menjadi molekul kecil agar molekul-molekul tersebut larut dalam air. Bakteri yang berperan dalam tahap hidrolisis ini adalah sekelompok bakteri anaerobik, adapun jenis bakteri pada hidrolisis dapat dilihat pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Klasifikasi Bakteri Hidrolisis Berdasarkan Substrat Yang Diolah

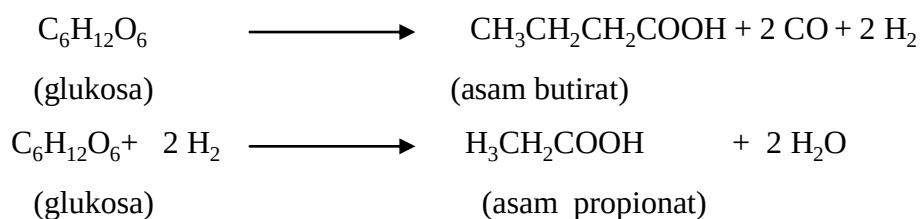
Bakteri	Substrat yang dihidrolisis
---------	----------------------------

<i>Acetivibrio</i>	Karbohidrat /polisakarida
<i>Peptostreptococcus</i> , dan <i>Bifidbacterium</i>	Protein
<i>Clostridium</i>	Lemak

Tahap pertama ini sangat penting karena molekul organik besar yang terlalu besar untuk langsung diserap dan digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber substrat atau makanan (Schnurer, 2009), untuk menghasilkan waktu pencernaan yang lebih pendek dan memberikan hasil metana yang lebih tinggi (Verma, 2002).

B. Asedogenesis

Pada tahap ini produk yang telah dihidrolisa dikonversikan menjadi asam lemak volatil (VFA), alkohol, aldehid, keton, amonia, karbondioksida, air dan hidrogen oleh bakteri pembentuk asam. Asam organik yang terbentuk adalah asam asetat, asam propionat, asam butirat dan asam valeric. Asam lemak volatile dengan rantai lebih dari empat-karbon tidak dapat digunakan langsung oleh metanogen (Lang, 2007). Reaksi asidogenesis dapat di lihat di bawah ini:



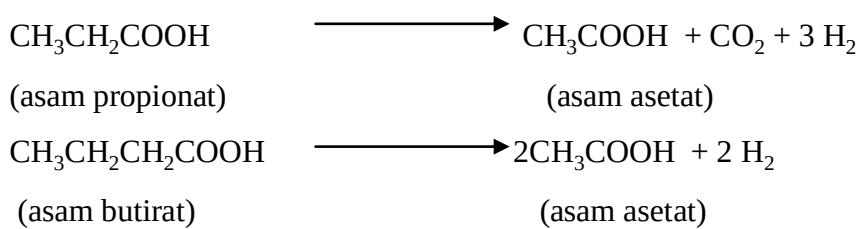
Gambar 6. Reaksi Asidogenesis

Sumber: Lang, 2007

Asidifikasi sangat dipengaruhi oleh suhu sesuai dengan hukum *Arrhenius*, namun suhu termofilik yang mengakibatkan kematian sel dan biaya energi yang lebih tinggi dapat mengakibatkan suhu sub-optimal yang lebih baik (Broughton, 2009).

C. Asetogenesis

Produk yang terbentuk selama asetogenesis disebabkan oleh sejumlah mikroba yang berbeda, misalnya, *Syntrophobacter wolinii* dekomposer propionat dan *Wolfei sytrophomonos* dekomposer butirat dan pembentuk asam lainnya adalah *Clostridium spp*, *Peptococcus anerobus*, *Lactobacillus*, dan *Actinomyces* (Verman, 2002). Asam lemak volatil dengan empat atau lebih rantai karbon tidak dapat digunakan secara langsung oleh metanogen. Asam-asam organik ini dioksidasi terlebih dahulu menjadi asam asetat dan hidrogen oleh bakteri asetogenik penghasil hidrogen melalui proses yang disebut asetogenesis. Asetogenesis juga termasuk pada produksi asetat dari hidrogen dan karbon dioksida oleh asetogen dan homoasetogen.. Reaksi asetogenesis dapat dilihat di bawah ini:



Gambar 7. Reaksi Asetogenesis

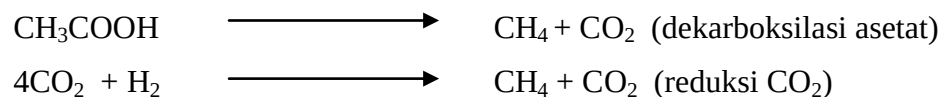
Sumber: Lee, 2011

Pada tahap *asetogenesis*, sebagian besar hasil fermentasi asam harus dioksidasi di bawah kondisi anaerobik menjadi asam asetat, CO_2 , dan hidrogen yang akan menjadi substrat bakteri metanogen. Bakteri pembentuk oksidasi ini adalah bakteri *syntrofik* atau bakteri *asetogen* atau mikroba obligat pereduksi proton. Salah satunya adalah asam propionat akan dioksidasi oleh bakteri *Syntrophobacter wolinii* menjadi produk yang digunakan oleh bakteri metanogen dalam pembentukan gas metana. Saat bakteri *asetogen* memproduksi asetat, hidrogen akan ikut terbentuk. Jika terjadi akumulasi pembentukan hidrogen dan tekanan hidrogen, hal ini akan mengganggu aktivitas bakteri *asetogen* dan kehilangan produksi asetat dalam jumlah besar. Oleh karena itu, bakteri *asetogen* mempunyai hubungan simbiosis dengan bakteri pembentuk metana yang menggunakan hidrogen untuk memproduksi metana. Hubungan simbiosis ini akan mempertahankan konsentrasi hidrogen pada tahap ini tetap rendah, sehingga bakteri asetogen dapat bertahan (Broughton, 2009).

D. Metanogenesis

Metanogenesis merupakan langkah penting dalam seluruh proses digestasi anaerobik, karena proses reaksi biokimia yang paling lambat. Metanogenesis ini sangat dipengaruhi oleh Komposisi bahan baku, laju umpan, temperatur, dan pH adalah contoh faktor yang mempengaruhi proses pembentukan gas metan. Perubahan suhu atau masuknya besar oksigen dapat mengakibatkan penghentian produksi metana (Dueblein, 2008).

Gas metana diproduksi dengan dua cara. Pertama adalah mengkonversikan asetat menjadi karbon dioksida dan metana oleh organisme asetrofik dan cara lainnya adalah dengan mereduksi karbon dioksida dengan hidrogen oleh organisme hidrogenotropik. Berikut ini adalah reaksi metanogenesis menjadi metana dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 8. Reaksi Pembentukan Metana (CH₄)

Sumber: Lang, 2007

Metanogen yang dominan pada proses ini adalah *Methanobacterium*, *Methanothermobacter*, *Methanobrevibacter*, *Methanosarcina* dan *Methanosaeta* (Lang, 2007). Substrat metanogen termasuk asetat, metanol, hidrogen, karbon dioksida, format, metanol, karbon monoksida, methylamines, metil merkaptan, dan logam berkurang. Dalam kebanyakan ekosistem non-gastrointestinal 70% atau lebih dari metana yang terbentuk berasal dari asetat, tergantung dari jenis organik (Broughton, 2009) dan 30% oleh mengkonsumsi hidrogen (Lu, 2006).

Ada dua kelompok yang dikenal metanogen yang memecah asetat: *Methanosaeta* dan *Methanosarcina*, sementara ada banyak kelompok yang berbeda dari metanogen yang menggunakan gas hidrogen, termasuk *Methanobacterium*, *Methanococcus*, *Methanogenium* dan *Methanobrevibacter*. *Methanosaeta* dan *Methanosarcina* memiliki tingkat pertumbuhan yang berbeda dan juga berbeda mengenai kemampuan mereka untuk memanfaatkan asetat. *Methanosarcina* tumbuh lebih cepat, tetapi menemukan kesulitan untuk

menggunakan asetat pada konsentrasi rendah, dibanding *Methanosaeta*. Namun, kehadiran organisme ini dipengaruhi tidak hanya oleh konsentrasi asetat, tetapi juga oleh faktor-faktor seperti beban frekuensi dan pencampuran. Karena produsen metana umumnya tumbuh sangat lambat, hal ini sering tahap membatasi laju dari proses biogas (Schnurer, 2009).

2.6 Lingkungan Pengambilan Data

Limbah cair tahu khususnya di daerah Palembang banyak dihasilkan dari industri rumahan dengan instalasi yang sederhana dan penanganan limbah yang belum secara maksimal, contohnya pada tempat kami mengambil sampel, limbah cair dari industri tahu dibuang begitu saja melewati aliran kecil atau selokan dan terlihat sangat kotor, lingkungan seperti ini sangat disukai oleh bakteri untuk pertumbuhannya karena mengandung bahan organik yang banyak dan jika mengalir kesungai maka akan banyak menimbulkan penyakit bagi orang yang menggunakan sungai sebagai keperluan sehari-hari. Dapat dilihat limbah cair tahu yang terbuang ke parit ditempat pengambilan data yang kami lakukan pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Parit Pembuangan Limbah Cair Tahu

limbah tahu yang berasal dari pengolahan akan ditampung pada bak bak berukuran panjang 2 meter, lebar 1 meter dan tinggi 1 meter sebagai tempat penampungan namun ditampung bukan berarti untuk dimanfaatkan, akan tetapi hanya sementara untuk mengendapkan padatan yang terkandung pada limbah cair

tahu dan setiap tampungan dilengkapi dengan saringan agar hanya cairan yang mengandung padatan halus yang terbuang ke lingkungan, menurut pemilik produksi rumahan tahu ini fungsi dari pengendapan dan penyaringan adalah untuk mengurangi pencemaran, padatan inilah yang disebut ampas tahu pada industri tempat kami mengambil data belum juga ada penanganan, setelah penuh akan dibuang melalui saluran pipa buangan.



Gambar 10. Aliran Limbah Cair Tahu ke Bak penampungan

dilingkungan pengolahan limbah ini sangat bau oleh karena adanya pencemaran udara, oleh karena permasalahan terbuangnya limbah cair tahu yang sebenarnya bermanfaat dan belum ada penanganan yang maksimal maka kami melakukan penelitian ini, sehingga dapat bermanfaat dan limbah cair tahu tidak mengalami masalah lingkungan serta menghasilkan nilai tambah yaitu berupa bahan bakar alternatif, limbah cair yang berasal dari tampungan pengendapan dan penyaringan masih berwarna keruh dan dan menandakan masih terdapat banyak kandungan padatan yang terkandung, terutama kandungan organik.

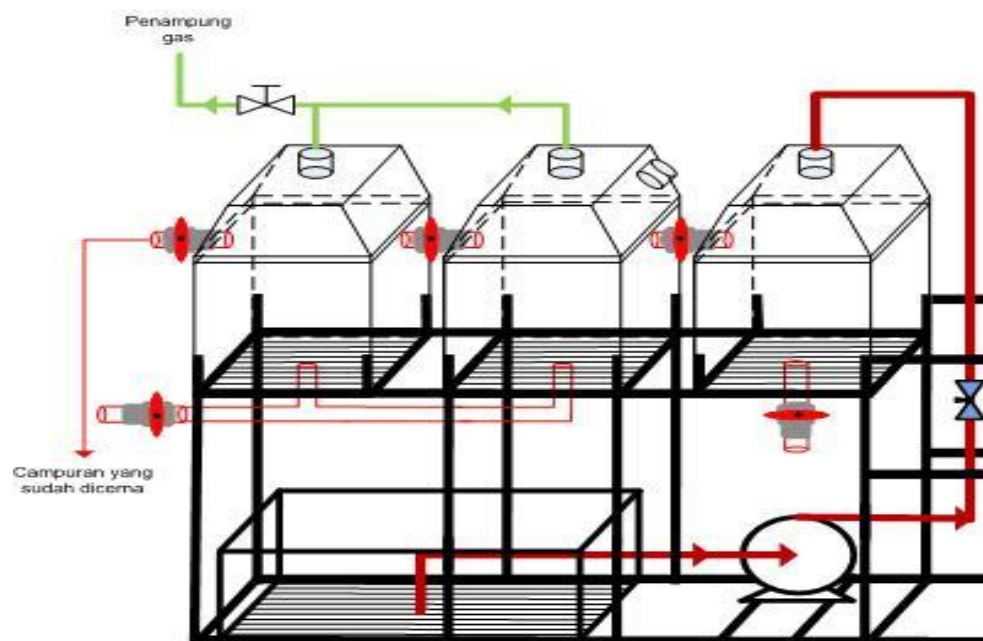


Gambar 11. Bak Terakhir Limbah Cair Tahu untuk Dibuang ke lingkungan

2.7 Rancangan Alat dan Diagram Alir Proses

Berdasarkan permasalahan diatas kami merancang alat untuk mengetahui potensi limbah cair tahu karena mengandung bahan organik yang tinggi dan pemanfaatan limbah cair tahu ini fokus pada pengolahannya menjadi bahan bakar alternatif. Agar memperoleh hasil yang optimal dalam pengolahan limbah tahu menjaadi bahan bakar alternatif, penelitian ini mengacu pada pengaruh pemberian starter yang berfungsi untuk menguraikan limbah organik pada limbah cair tahu untuk menghasilkan biogas, alat yang kami rancang ini dalam bentuk sederhana memiliki volume 15 liter dan memiliki aliran sistem *batch*, sedangkan untuk di industri sistem kontinyu karena limbah cair tahu mengalir setiap harinya, Berikut

alat yang kami gunakan untuk mengolah limbah cair tahu menjadi biogas agar memperoleh hasil yang optimal.



Gambar 12. Design Alat Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu menjadi Biogas

Catatan :

Umpan berupa air limbah industri tahu dipompakan dengan mengatur lajunya terlebih dahulu pada *flowmeter*. Dari tangki umpan akan menuju tangki I, dan setelah tangki I terisi penuh maka akan langsung di alirkan ke tangki II dengan membuka *valve* yang ada di tengah –tengah tangki I dan tangki II, kemudian ke tangki III. Bagian top pada tangki II dilengkapi dengan penutup yang disertai dengan *valve* menuju penampung gas metan yang terbentuk, Sedangkan untuk produk *bottom* berupa lumpur akan dikeluarkan setelah beberapa waktu.

2.8 Nilai pH

Konsentrasi ion-hidrogen merupakan kualitas parameter yang penting di dalam limbah cair. Konsentrasi dari pH dapat diartikan sebagai eksistensi dari kehidupan mikroba di dalam limbah cair (biasanya pH diantara 6 sampai 9). Limbah cair mempunyai konsentrasi pH yang sulit diatur karena adanya proses pengasaman pada limbah cair. pH mempunyai arti yang sangat penting di dalam pengolahan limbah cair karena dari pH kita dapat mengetahui kondisi mikroba yang ada di dalam limbah cair (Zahara, 2014). Tingkat pH memberikan pengaruh

terhadap aktivitas enzim di dalam mikroorganisme, setiap enzim hanya dapat aktif pada rentang pH tertentu dan mempunyai aktivitas maksimum pada pH optimal. Setiap kelompok mikroorganisme mempunyai perbedaan rentang pH optimal. *Methanogenic archea* dapat berfungsi dalam batas interval dari 5,5-8,5 dengan range optimal 6,5-8,0. Bakteri fermentatif dapat berfungsi pada rentang yang luas dari 8,5 menurun hingga pH 4 (Zahara, 2014).

Untuk mendapatkan kondisi optimum pada produksi biogas, dimana bakteri yang berperan adalah penghasil metan, nilai pH untuk campuran umpan di dalam digester harus diantara 6 dan 7. Setelah stabilisasi dari proses fermentasi pada kondisi anaerobik, nilai pH akhir harus diantara 7,2 dan 8,2. Untuk memberikan efek penyangga dari penambahan konsentrasi ammonium. Ketika jumlah asam organik yang diproduksi besar pada permulaan fermentasi, pH di dalam digester mungkin menurun sampai 5. Saat digester mempunyai konsentrasi asam volatil yang tinggi, proses fermentasi metan akan terhambat bahkan terhenti. pH yang rendah (dibawah 6, 5) akan memberikan efek racun pada bakteri metanogenik (Zahara, 2014). Oleh karena itu, perlu adanya penambahan natrium bikarbonat (NaHCO_3) yang berfungsi untuk menyangga pH.

2.9 Suhu

Bakteri metanogenik yang hidup pada suhu termofil lebih sensitif terhadap perubahan suhu jika dibandingkan dengan bakteri metanogenik mesophil. Oleh karena itu, suhu harus dijaga tidak lebih dari 2°C (Deublein, 2008). Penjagaan suhu digester agar tetap konstan ini didukung oleh pernyataan Price dan Cheremisinoff (1981) yang menyebutkan bahwa produksi gas pada proses perombakan secara anaerobik dapat berlangsung pada kisaran suhu $4-60^\circ\text{C}$ jika suhu konstan dan apabila terjadi fluktuasi suhu maka proses akan terganggu. Selanjutnya Price dan Cheremisinoff (1981) berpendapat bahwa, walaupun digester yang lama dari digester dengan suhu mesofil, namun produksi gas, kualitas, dan parameter lain dari kestabilan proses dinilai menguntungkan. Selain itu, digester dengan suhu rendah ini dapat dijadikan alternatif pembuatan biogas di daerah beriklim tropis.

Suhu tidak hanya mempengaruhi aktivitas bakteri pembentuk metana tetapi juga mempengaruhi aktivitas bakteri pembentuk asam volatile. Fluktuasi suhu dapat menguntungkan salah satu kelompok bakteri, namun merugikan bakteri kelompok lain. Contohnya, peningkatan suhu sebesar 10⁰C dapat menghentikan produksi metana atau aktivitas bakteri pembentuk metana selama 12 jam, sedangkan pada kondisi yang sama terjadi peningkatan asam volatil. Perubahan aktivitas pada bakteri pembentuk asam volatil akan berpengaruh pada jumlah asam organik dan alkohol yang dihasilkan pada proses fermentasi. Asam organik dan alkohol ini digunakan sebagai substrat bagi bakteri pembentuk metana, sehingga akan mempengaruhi performa digester (Gerardi, 2003).

2.10 Pupuk Organik Cair

Pupuk organik cair merupakan pupuk organik dalam bentuk cair dan pada umumnya merupakan bahan organik yang dilarutkan dengan pelarut seperti air (Irawati, 2003). Pupuk organik cair dapat dibuat dari bahan- bahan organik berbentuk cair dengan cara mengomposkan dan memberi aktivator pengomposan sehingga dapat dihasilkan pupuk organik cair yang stabil dan mengandung unsur hara lengkap, pupuk cair dapat diproduksi dari limbah industri peternakan (limbah cair dan seterngah padat atau *slurry*) yaitu melalui pengomposan dan aerasi (Haga, 1999).

Tiga cara umum pemberian pupuk cair menurut Zaitun (1999) sebagai berikut: (a) pemberian langsung pada tanah; (b) pemberian melalui irigasi; dan (c) penyemprotan pada tanaman. Penggunaan pupuk cair banyak digunakan berdasarkan pada alasan ekonomis dan karena kemudahannya dalam penggunaan. Kebanyakan dari pupuk organik mempunyai kandungan nutrisi yang rendah jika dibandingkan dengan pupuk anorganik (terutama unsur N, P dan K) tetapi mempunyai efek yang menguntungkan bagi tanah diantaranya dapat memperbaiki kondisi tanah hingga tanah dapat menahan air lebih banyak dan menggemburkan tanah. Zat- zat unsur hara di dalam pupuk cair tersedia bagi tanaman, sebagian langsung dapat diserap, sebagian lagi dengan cepat dapat diurai sehingga cepat juga dapat diserap. Kelebihan pupuk organik cair dibandingkan dengan pupuk organik cair yaitu dapat secara cepat mengatasi defisiensi haara, tidak bermasalah

dalam pencucian hara serta mampu menyediakan hara secara tetap. Kendala yang dihadapi dalam penggunaan pupuk kimia anorganik cair antara lain kurang efisien, karena pupuk ini tidak memiliki bahan pengikat sehingga saat diaplikasikan di lapangan banyak yang terbuang. Larutan pupuk anorganik yang jatuh ke permukaan tanah akan larut tercuci saat hujan dan N akan cepat menguap pada suhu cukup tinggi (Mulyani, 1994).

Pupuk cair juga memiliki beberapa kekurangan diantaranya adalah tidak semua pupuk dalam bentuk cair bersifat organik. Pupuk anorganik dalam bentuk cair bila digunakan untuk tanaman yang langsung dikonsumsi seperti sayuran dan buah berkulit tipis, akan mempengaruhi rasa dan kandungan sayuran atau buah tersebut (Mulyani, 1994). Selain itu penggunaan yang berlebihan dan terus menerus dapat merusak tanaman dan tanah.

2.11 Unsur Nitrogen

Nitrogen (N) merupakan unsur hara makro esensial yang sangat dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman. Unsur N juga merupakan salah satu unsur penyusun protein sebagai pembentuk jaringan dalam tubuh makhluk hidup, dan di dalam tanah unsur N sangat menentukan pertumbuhan tanaman. Perilaku unsur N di dalam tanah sukar untuk diperkirakan, hal ini disebabkan transformasi N di dalam tanah sangat kompleks. Lebih dari 98% N di dalam tanah tidak tersedia untuk diambil tanaman pada saat tertentu karena terakumulasi dalam bahan organik atau terjerat dalam mineral liat. Nitrogen dalam bentuk bahan organik dapat mengalami transformasi menjadi pupuk tersedia bagi tanaman (Sutanto, 2006).

Jumlah N dalam tanah sedikit sedangkan yang diangkut oleh tanaman tiap tahunnya sangat banyak. Nitrogen pada saat-saat tertentu sangat larut dan pada saat yang lain mudah hilang dalam penguapan atau sama sekali tidak tersedia bagi tanaman (Soepardi, 1983). Suplai unsur N melalui penumpukan lebih diutamakan untuk tanaman karena N merupakan unsur yang paling banyak dihilangkan dari lahan pertanian melalui pemanenan (Goh dan Haynes, 1986). Tanaman yang mengalami kekurangan N akan tetap kecil dan secara cepat berubah menjadi kuning, karena N yang tersedia tidak cukup untuk membentuk protein dan

klorofil, oleh karena itu akibat dari kekurangan klorofil akan menyebabkan kemampuan tanaman dan produksi karbohidratnya menjadi berkurang (Jacob dan Uexkull, 1960), tetapi pemberian nitrogen secara berlebihan juga mengakibatkan pertumbuhan vegetatif yang sangat pesat, warna dan menjadi hijau tua dan tanaman dan dibutuhkan dalam jumlah relatif besar. Unsur ini berpengaruh dalam sintesis asam amino, protein, asam nukleat dan koenzim. Protein mempunyai fungsi penting dalam pertumbuhan sel vegetatif tanaman, sebagai katalisator dan pengatur metabolisme.