

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. PABRIK GULA MADUKISMO

Pabrik Gula merupakan suatu industri yang mengolah tebu menjadi gula. Tanaman tebu yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan gula adalah dari jenis *Saccharum officirranum*. Senyawa penting yang terkandung di dalam tanaman tebu adalah sukrosa.

Menurut Kurniawan (1981), proses awal pembuatan gula adalah proses penggilingan, yaitu diawali dengan pemotongan dan pencacahan tebu menjadi bentuk yang lebih kecil sehingga penggilingan tebu menjadi lebih mudah. Penggilingan tebu dengan cara menekan tebu, sehingga diperoleh nira mentah dan ampas tebu. Penggilingan dilakukan berulang-ulang dan dilakukan penambahan air pada dua gilingan terakhir, dengan tujuan agar nira yang masih ada dalam ampas tebu ikut diencerkan sehingga kehilangan gula dapat sekecil mungkin. Air yang digunakan adalah air dingin, karena jika digunakan air panas maka air tersebut akan melarutkan pektin dan lilin-lilin tebu yang berarti akan menambah larutan bukan gula dalam nira. Dengan air dingin maka tidak ada kerusakan pada sukrosa sehingga lebih ekonomis. Tetapi, kerugiannya adalah ampas tebu masih banyak mengandung gula (Kurniawan,1981).

Proses selanjutnya adalah proses pemurnian, yang bertujuan untuk menghilangkan kotoran yang terbawa oleh nira. Proses pemurnian yang dilakukan pada pabrik gula Madukismo adalah pemurnian secara sulfitasi (Kurniawan,1981). Prinsip dasar dari proses sulfitasi adalah nira dipanaskan sampai suhu 70°C , kemudian ditambahkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ berlebihan sampai pH menjadi 9 - 9,5 sehingga didapatkan hasil pengendapan kotoran yang maksimal. Selanjutnya adalah proses penambahan gas SO_2 pada nira yang alkalis sampai pH netral dengan maksud mencegah terjadinya pemecahan gula reduksi dan sebagai proses bleaching (pemutihan). Campuran ini dialirkan ke vacum filter dimana terjadi penapisan nira dengan kotoran ampas (blotong) sehingga akan diperoleh nira yang jernih (Kurniawan,1981).

Kemudian dilanjutkan dengan proses penguapan yang bertujuan untuk memekatkan nira yang jernih, hasil penguapan berupa nira yang kental selanjutnya ditambah dengan SO_2 untuk pemucatan warna. Proses selanjutnya adalah kristalisasi, yang bertujuan untuk mengkristalkan molekul-molekul sakarosa dalam nira kental menjadi kristal-kristal gula. Pada proses ini di samping untuk mengkristalkan larutan nira kental menjadi gula, juga menekan kadar gula dalam tetes sekecil mungkin (Kurniawan,1981).

Proses yang terakhir adalah proses pemutaran, yaitu memisahkan antara kristal gula dan larutan yang melapisinya dengan melalui gaya sentrifugasi

dimana gula tertahan oleh saringan dan larutannya melewati lubang saringan. Larutan yang tidak dapat dikristalkan lagi disebut tetes (Kurniawan,1981).

B. LIMBAH PABRIK GULA MADUKISMO

Di dalam kegiatannya Pabrik Gula menghasilkan limbah dalam bentuk padat, gas dan cair. Limbah padat Pabrik Gula terdiri dari ampas tebu dan blotong. Limbah gas berupa asap yang keluar dari cerobong. Sedangkan limbah cairnya berasal dari air cucian, air pendinginan, tumpahan nira dan tetes (Kurniawan,1981). Komposisi dari limbah cair dapat dilihat pada tabel 1 :

Tabel 1 : Kandungan bahan organik dan bahan kimia lainnya yang terdapat dalam limbah cair

Komposisi	Prosentase
Nitrogen	0,32
Bahan Organik	15,48
P ₂ O ₅	0,03
CaO	0,32

Sumber : Kurniawan , 1991

Limbah cair Pabrik Gula sebenarnya tidak mengandung bahan-bahan yang beracun. Potensi pencemaran yang terkandung hanya berupa nilai BOD dan COD yang tinggi, yang disebabkan oleh adanya sisa gula yang berasal dari tumpahan nira dan tetes. Limbah cair Pabrik Gula umumnya punya kisaran pH 5,4 - 7,3 (Kurniawan,1981).

Blotong merupakan limbah padat yang dihasilkan oleh Pabrik Gula dalam pengolahan tebu menjadi gula. Blotong merupakan sisa tapisan, berwujud padat berwarna hitam dan komposisinya tergantung dari jenis pabriknya (Kasmidjo, 1990). Proses yang dilakukan di Pabrik Gula Madukismo adalah sulfitasi, yaitu suatu pengolahan sukrosa dari tebu dengan menggunakan kalsium sulfat. Selain sulfitasi proses lain yang dikenal di Indonesia adalah karbonatasi dengan menggunakan kalsium karbonat. Berat blotong yang terbuang rata-rata antara 2 - 3 % dari berat tebu. Blotong yang dianalisa mempunyai kandungan :

Tabel 2 : Kandungan bahan organik dan bahan kimia lainnya yang terdapat dalam blotong.

KANDUNGAN	PROSENTASE
N	1,17
Bahan Organik	53,96
P ₂ O ₅	3,82
K ₂ O	0,43
Ca O	20,00
Mg O	0,48
S O ₄	4,42
C / N	27,00

Sumber : Blantran & Baharsyah, 1987

C. PARAMETER PENCEMARAN

Menurut Ginting (1992), parameter yang biasa digunakan untuk mengetahui tercemar tidaknya air adalah BOD, COD, pH, padatan tersuspensi, kandungan minyak lemak, kandungan logam berat dan warna.

Alaert dan Sri (1987), mendefinisikan Biological Oxigen Demand (BOD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan hampir semua zat organik yang terlarut maupun yang tersuspensi dalam air. Nilai BOD menunjukkan besarnya pencemaran. Sedangkan Chemical Oxigen Demand (COD) adalah jumlah oksigen kimiawi yang digunakan, biasanya berasal dari bahan oksidator yang kuat, sehingga bahan organik yang sulit teroksidasi secara biologis akan dapat teroksidasi dalam uji COD. Oleh karena itu nilai COD juga menunjukkan besarnya pencemaran. Besarnya nilai BOD dan COD yang diperkenankan untuk Pabrik Gula yang sudah beroperasi, sesuai dengan Baku Mutu Limbah Cair dapat dilihat pada tabel 3 :

Tabel 3 : Baku Mutu Limbah Cair pada Pabrik Gula yang sudah beroperasi

Parameter	Kadar Maksimal
BOD ₅	100
COD	250

Sumber : Potter, et.all , 1994

Air limbah mengandung padatan tersuspensi yang dinamakan padatan terlarut. Padatan tersebut terdiri dari senyawa-senyawa organik (protein, karbohidrat, lemak) dan anorganik, air, mineral dan garam-garamnya, sel mikroorganisme dan sering juga mengandung bahan-bahan yang bersifat koloid misalnya protein (Fardiaz.1992).

D. PENGOLAHAN LIMBAH SECARA ANAEROB

Pengolahan air limbah secara anaerob merupakan suatu proses pengolahan limbah yang melibatkan aktivitas mikroorganisme untuk menstabilkan atau merombak limbah pada kondisi tanpa ada oksigen. Dalam kondisi anaerob bahan-bahan organik yang ada di dalam limbah akan dirombak oleh mikroorganisme menjadi produk-produk anorganik. Dari proses perombakan ini akan dihasilkan metan dan karbon dioksida. Perombakan bahan organik menjadi metan dan karbon dioksida merupakan fermentasi anaerob yang kompleks, karena melibatkan peran serta beberapa macam mikroorganisme. Namun secara garis besar mikroorganisme yang berperan dalam proses fermentasi anaerob tersebut dapat diklasifikasikan menjadi 3 kelompok, yaitu :

1. Bakteri pembentuk asam, yaitu bakteri yang merombak senyawa organik menjadi asam organik, karbon dioksida, hidrogen, NH_4 dan H_2S .
2. Bakteri pembentuk asam asetat, yaitu bakteri yang mengubah asam organik menjadi asetat, CO_2 dan hidrogen.
3. Bakteri penghasil metan, yaitu bakteri yang berperan serta dalam merubah asam-asam lemak dan CO_2 menjadi gas metan (Benefield,1980).

Menurut Trihadiningrum (1989), berdasarkan kebutuhan makanan bakteri yang berperan dalam digesti anaerob dibagi menjadi tiga golongan besar yaitu populasi hidrolitik, acetogenik, dan metanogenik.

Kelompok bakteri hidrolitik berfungsi untuk menghidrolisa makromolekul-makromolekul menjadi produk yang dapat larut dan dengan bantuan enzim protease, lipase, karbohidrase dan esterase dirombak menjadi molekul organik rantai pendek yang dapat larut. Kelompok ini terdiri dari bermacam-macam bakteri fakultatif anaerob dan obligat anaerob, bersifat gram positif atau gram negatif, berbentuk batang. Beberapa jenis menghasilkan karbondioksida dan VFA sebagai hasil akhir (Millis & Pittard, 1982).

Populasi acetogenik berperan dalam fermentasi asam-asam amino, glukosa dan β - oksidasi asam lemak untuk menghasilkan asetat atau H_2 (Trihadiningrum,1989). Kelompok ini dibedakan menjadi dua : 1). Populasi Homoacetogenik : mampu mengubah heksosa dan asam laktat menjadi asam aetat. Selain itu juga mampu mengubah H_2 , CO_2 , $HCOOH$ menjadi asam aetat (Millis & Pittard,1982) ; 2). Populasi acetogenik penghasil H_2 : mampu menghasilkan H_2 dan asam aetat dari alkohol dan asam organik. Selain itu mampu mengubah asam propionat menjadi asam aetat dan H_2 (Trihadiningrum,1989).

Kelompok yang ketiga yaitu populasi metanogenik yang mampu menggunakan substrat dengan atom C₁ (CH₃ NH₂ , CH₃ OH) dan atom C₂ (CH₃COOH) untuk menghasilkan metan dan pertumbuhannya baik pada pH 6,7 - 8,0 (Millis & Pittard,1982).

Pengolahan lumpur secara anaerobik merupakan metode yang efektif untuk mengolah atau menstabilisasikan limbah organik. Dalam hal ini mikroorganisme anaerob fakultatif anaerob mempunyai peran utama dalam keadaan tanpa oksigen, mengubah bahan organik menjadi produk akhir berupa CO₂ dan CH₄ (Benefield,1980). Umumnya metan yang dihasilkan 70 - 80 % berasal dari perombakan asetat, 20 - 30 % dari H₂ dan CO₂, sebagian kecil dari metanol metilamines, atau asam formiat (Benefield,1980).

Beberapa keuntungan proses digesti anaerob antara lain menghasilkan energi, mengurangi beban popusi, menurunkan kadar bahan padat atau pencemar, mempertinggi nilai ekonomi limbah sebagai pupuk (Stafford .et all, 1978).

Pada dasarnya digesti anaerobik dapat dibagi menjadi 6 proses (Anonim,1987), yaitu :

1. Hidrolisis polimer

- a. Protein

- b. Polisakarida

c. Lemak

2. Fermentasi asam amino dan gula
3. Oksidasi anaerob asam lemak dan alkohol
4. Oksidasi anaerob asam lemak volatil (kecuali asetat)
5. Pembentukan metan dari asam asetat
6. Pembentukan metan dari H_2 dan CO_2

Semua proses ini dapat dikelompokkan menjadi 4 fase, yaitu :

1. Hidrolisis : bahan organik yang tidak dapat larut diubah menjadi bahan yang dapat larut (gula, asam lemak, asam amino) oleh enzim yang dikeluarkan bakteri fermentatif.
2. Asidifikasi : bahan organik yang dapat larut diubah menjadi senyawa yang lebih sederhana, seperti asam lemak volatil, alkohol, asam laktat, metanol, CO_2 , H_2 , NH_3 , H_2S serta sel baru.
3. Asetogenesis : produk dari fase asidifikasi diubah oleh bakteri menjadi asetat, H_2 , CO_2 dan sel baru.
4. Metanogenesis : fase ini merupakan fase akhir, asam asetat, H_2 dan CO_2 , asam formiat, dan metanol diubah menjadi metan, CO_2 dan sel baru.

Benfield (1980), mendefinisikan fermentasi anaerob terdiri dari dua fase, yaitu : fase asam dan fase methan. Pada fase yang pertama komponen limbah yang terdiri dari lemak, protein dan polisakarida dihidrolisa menjadi

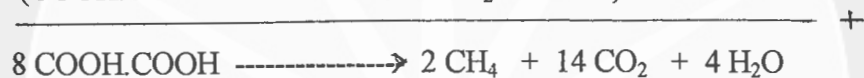
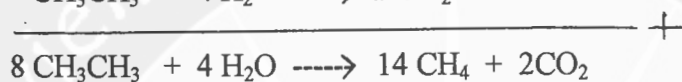
komponen yang lebih kecil oleh bakteri fakultatif maupun oleh bakteri anaerob. Dari proses hidrolisa ini akan dihasilkan trigliserida, asam amino dan gula. Proses hidrolisa ini dilanjutkan dengan fermentasi bahan-bahan organik yang sederhana, sebagian besar asam-asam rantai pendek (volatil) dan alkohol. Fase ini sering disebut sebagai fermentasi asam. Pada tahap fermentasi asam materi organik secara sederhana diubah menjadi bahan organik, alkohol dan sel-sel baru, serta stabilisasi BOD dan COD dapat direalisasikan. Sedangkan fase yang kedua, produk akhir dari fase pertama diubah menjadi gas (sebagian besar metan dan CO_2) oleh beberapa spesies bakteri anaerob yang obligat. Pada fase ini terjadi stabilisasi bahan atau materi organik (Benefield, 1980). Pembentukan metan oleh bakteri merupakan salah satu parameter dalam penanganan limbah secara anaerob. Methanogenesis berlangsung melalui fermentasi asam lemak berantai pendek dan alkohol, selain itu juga hidrogen dan CO_2 .

Senyawa organik yang diproses secara anaerobik sebagian kecil (10 %) diperuntukkan pembentukan komponen sel baru, sedangkan sebagian besar (90 %) berbentuk energi yang umum dikenal dengan hasil samping (umumnya berbentuk asam organik, alkohol). Tetapi dengan kehadiran hasil samping yang berfungsi sebagai sumber energi, maka proses metabolisme lanjutan akan

terjadi seperti semula, dengan hasil buangan berupa CH_4 dan CO_2 (Suriawiria, et al., 1979).

Proses kimia yang berlangsung tahap demi tahap dalam digesti anaerob adalah sebagai berikut (Suriawiria, et al., 1979):

1. Proses stoichiometri



2. Mekanisme :

a. Non - metanogenik :

- Hidrolisa :

protein -----> asam amino

polisakarida -----> monosakarida

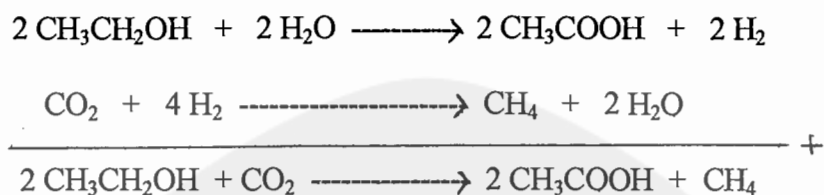
lemak -----> gliserol + asam lemak

- Fermentasi :

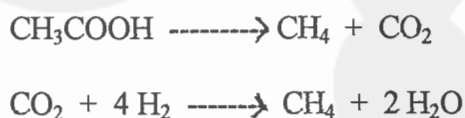
Hasil hidrolisa -----> metan, asam asetat, asam format, metanol,

H_2, CO_2

b. Metanogenik :



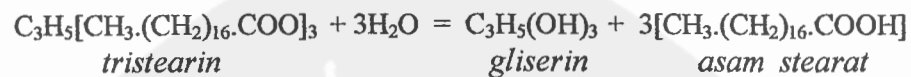
Senyawa organik yang terdapat pada limbah umumnya terdiri dari berbagai karbohidrat, lipida, dan protein. Perombakan terhadap senyawa-senyawa ini meliputi 3 tahap. Pada tahap I sekelompok mikroorganisme yang fakultatif akan menguraikan substrat organik. Enzim yang dikeluarkannya akan mempercepat hidrolisa polimer menjadi monomer yang larut, yang akan merupakan substrat bagi mikroorganisme tahap II. Senyawa organik yang terlarut ini akan diuraikan hingga terbentuk asam-asam organik, terutama asam asetat. Pada tahap III bakteri metan bersifat anaerob akan membentuk gas metan dan karbondioksida lewat 2 cara, yaitu : 1). Fermentasi asam asetat ; 2). Mereduksi gas karbondioksida menjadi gas metan dengan menggunakan hidrogen atau format yang dihasilkan oleh bakteri lain (Suryo,1979). Reaksinya dinyatakan oleh Stafford (1978) sebagai berikut :



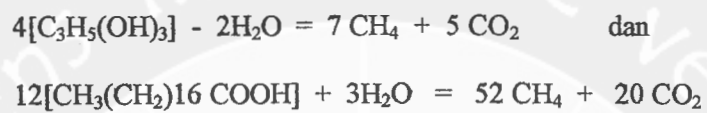
Secara lengkap reaksi perombakan ketiga senyawa organik tersebut menurut Suryo, (1979) adalah :

Lemak organik - misalnya ester tristearine

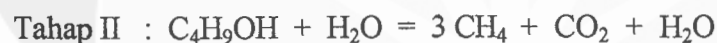
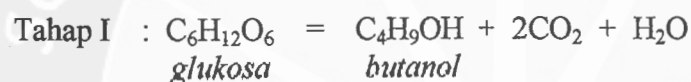
Tahap I : Ester akan dipecah dan menghasilkan gliserin dan asam lemak bebas.



Tahap II : Gliserin akan terurai menjadi metana dan karbondioksida



Hidrokarbon - misalnya glukosa

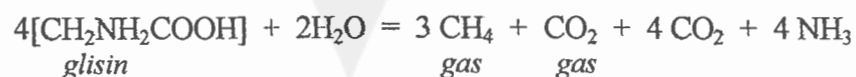


Protein - misalnya glisin

Tahap I : molekul protein yang besar diuraikan menjadi karbondioksida, amonia, sulfida dan asam amino. Hasil akhir dari tahap ini berupa :

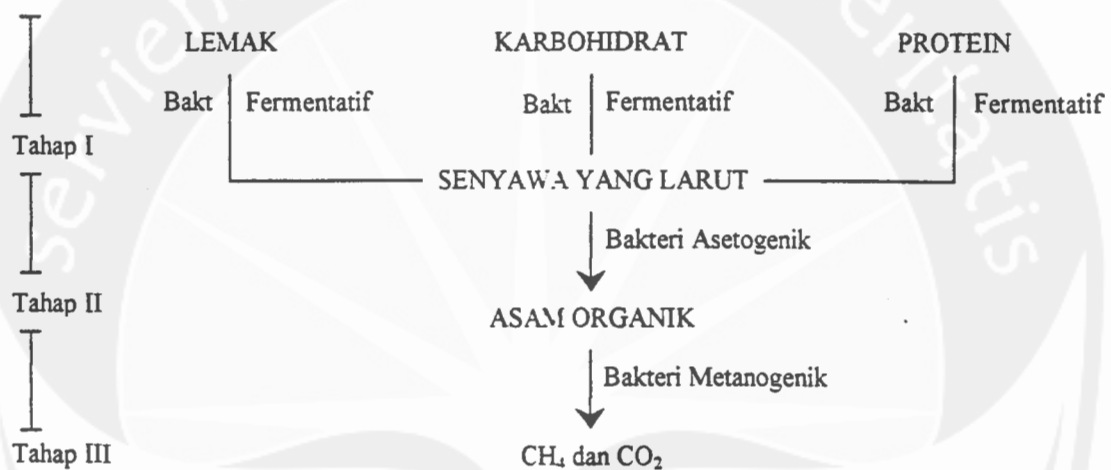


Tahap II : Asam amino akan terurai dan hasilnya metana, karbondioksida dan amonia.



Hasil akhir : metana dan karbondioksida , sedangkan amonia dan sebagian karbondioksida akan terikat air.

Secara skematis ketiga tahap penguraian senyawa-senyawa organik tersebut dapat dilihat pada gambar 1 :



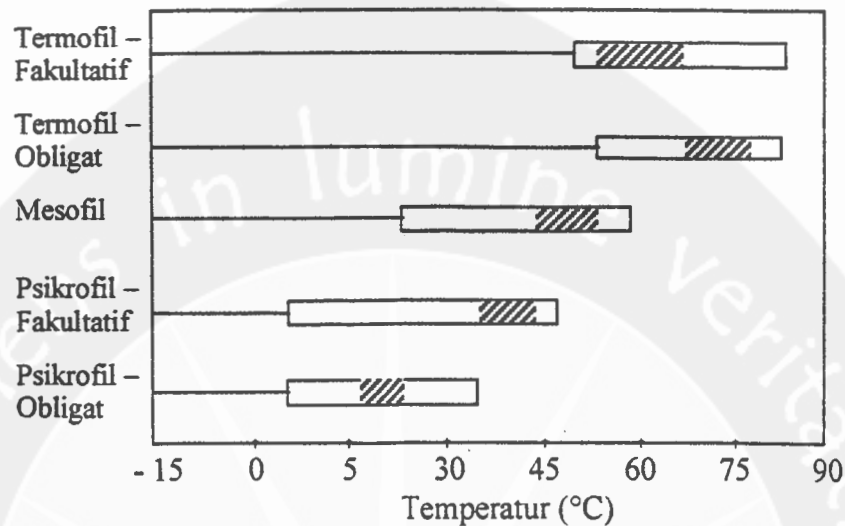
Gambar 1 : Skema perombakan karbohidrat, lemak dan protein dalam metanogenesis.

Sumber : Stafford, 1978

Menurut Stafford (1978), reaksi anaerobik pada digester dapat dimulai dengan mudah, yaitu dengan adanya inokulum yang baik untuk biakan, seperti misalnya lumpur aktif. Sejak dimulai atau tahap aklimasi biakan mendapat tambahan dari masukan makanan yang berkualitas, sedikitnya 50 %. Volume biakan dapat berkurang bila penembahan makanan lebih dari 3 - 4 minggu.

Bakteri metan sangat sensitif terhadap perubahan pH, dapat diketahui dari fermentasi metan yang relatif konstan pada pH 6,0 - 8,5 (Benefield,1980). Sedangkan menurut Stafford (1978), digester anaerob mempunyai kisaran pH 6,6 - 7,6 dan pH optimumnya berkisar antara 7 - 7,2. Walaupun bakteri pembentuk asam mempunyai pH 5,5, tetapi bakteri metan akan terhambat aktivitas dan pertumbuhannya pada pH rendah. pH pada digester dapat turun hingga 6,6 jika terjadi akumulasi asam lemak volatil. Pada pH yang sangat rendah asam lemak volatil dapat mencapai 4000 - 10000 mg/l. Akibatnya metabolisme bakteri pembentuk metan terganggu (Schroeder,1977). Selain itu pengaruh pH dapat juga terjadi secara tidak langsung, yaitu berpengaruh pada aktivitas enzim. Beberapa protein akan mengalami denaturasi pada pH rendah, akibatnya degradasi menjadi lebih lambat. Akumulasi asam lemak volatil dapat terjadi apabila muatan organik tinggi atau bila di dalam digester terdapat zat toksik. Dan hal ini merupakan penghambat bagi bakteri methanogenesis. pH pada digester dapat diatur dengan penambahan kapur.

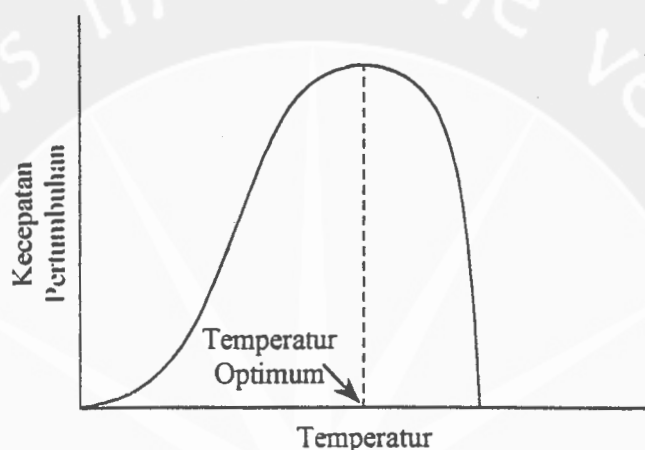
Berdasarkan daerah temperatur untuk dapat berlangsungnya reproduksi mikroorganisme dikelompokkan menjadi psikrofilik, mesofilik dan termofilik. Pada gambar 2 ditunjukkan batas-batas daerah temperatur tiap-tiap mikrobial dan daerah yang diarsir menunjukkan temperatur yang optimum.



Gambar 2 : Daerah-daerah temperatur untuk reproduksi bakteri psikrofilik, mesofilik dan termofilik (Sumber : Benefield,1980).

Menurut Elizabet & Paul (1981), bakteri methan mempunyai aktivitas yang tinggi pada kisaran temperatur mesofil dan termofil. Bakteri mesofil mempunyai kisaran temperatur 26°C - 43°C dan bakteri termofil mempunyai kisaran temperatur 45°C - 65°C . Digester anaerob mempunyai temperatur optimum 29°C - 35°C . Menurut Benefield (1980), 35°C merupakan temperatur yang optimum untuk mikroorganisme mesofilik. Pada temperatur optimum bakteri mengalami kecepatan pertumbuhan yang maksimal. Apabila temperatur terus naik, maka enzim akan mengalami denaturasi dan akibatnya kecepatan pertumbuhan menurun dengan cepat. Untuk lebih jelasnya

dapat dilihat pada gambar 3. Sedangkan menurut Schroeder (1977), penurunan temperatur biasanya menyebabkan kecepatan fermentasi metan lebih besar daripada kecepatan fermentasi asam, akibatnya proses terganggu dan seringkali terjadi kegagalan.



Gambar 3 : Pengaruh temperatur terhadap pertumbuhan bakteri.
(Sumber : Benefield,1980)

Suhu dan pH berkaitan dengan aktivitas katalisis enzim yang ada pada mikroorganisme. Suhu menentukan kecepatan katalisa, sedangkan pH menentukan imbalanced reaksi enzimatik (Kasmidjo,1990). Sedangkan Moat (1979) mengatakan bahwa suhu mempengaruhi aktivitas enzim dan proses metabolisme sel.

Konsentrasi nutrisi pada digester harus diperhatikan. Bila rasio C / N sebesar 25 - 30 / 1 pada digester dapat terpenuhi maka produksi gas dapat

optimal, (Basuki,1989). Rasio C/N merupakan faktor yang esensial, selain itu elemen-elemen penting lainnya untuk produksi gas adalah P, Na, K dan Ca. Apabila rasio C/N terlalu tinggi, berarti kadar karbonnya sangat berlebihan sehingga mikrobia kekurangan unsur nitrogen dari metabolismenya. Akibatnya proses pertumbuhan mikroorganisme lambat. Sebaliknya bila C/N ratio terlalu rendah, maka mikroorganisme akan kekurangan energi untuk metabolismenya (Hadi,1980).

Benefield (1980), menuliskan bakteri methan dapat diisolasi dari lambung sapi, rawa-rawa atau air buangan. Sifat-sifat umum dari bakteri methan :

1. Anaerob obligat
2. Gram positif
3. Non mobil
4. Bentuk batang, ukuran 2 - 2,5 μm
5. pH pertumbuhan 7 - 8

Karena blotong adalah limbah padat, maka sistem yang dilakukan pada digester anaerob adalah sekali unduh (Bacth Operation). Model dari pengoperasian digester ini lengkap dengan materi organik dan inokulum yang tertutup .

E. Hipotesis

Limbah padat Pabrik Gula Madukismo mempunyai kandungan C/N yang cukup sehingga baik untuk pertumbuhan bakteri. Dengan mencampurkan Limbah padat dan limbah cair sebelum diolah dengan mempergunakan lumpur aktif, maka diharapkan akan diperoleh hasil yang lebih baik dalam memperbaiki kualitas BOD dan COD limbah Pabrik Gula Madukismo.

