

ABSTRAK

Industri tahu dan tempe merupakan industri kecil yang banyak tersebar di kota-kota besar dan kecil. Tempe dan tahu merupakan makanan yang digemari oleh banyak orang. Akibat dari banyaknya industri tahu dan tempe, maka limbah hasil proses pengolahan banyak membawa dampak terhadap lingkungan. Limbah dari pengolahan tahu dan tempe mempunyai kadar BOD sekitar 5.000 - 10.000 mg/l, COD 7.000 - 12.000 mg/l.

Besarnya beban pencemaran yang ditimbulkan menyebabkan gangguan yang cukup serius terutama untuk perairan disekitar industri tahu dan tempe. Teknologi pengolahan limbah tahu tempe yang ada saat ini pada umumnya berupa pengolahan limbah sistem anaerob. Dengan proses biologis anaerob, efisiensi pengolahan hanya sekitar 70-80 %, sehingga air lahannya masih mengandung kadar polutan organik cukup tinggi, serta bau yang ditimbulkan dari sistem anaerob dan tingginya kadar fosfat merupakan masalah yang belum dapat diatasi.

Untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan dengan cara kombinasi proses biologis anaerob-aerob yakni proses penguraian anaerob dan diikuti dengan proses pengolahan lanjut dengan sistem biofilter anaerob-aerob. Dengan kombinasi proses tersebut diharapkan konsentrasi COD dalam air olahan yang dihasilkan turun menjadi 60 ppm, sehingga jika dibuang tidak lagi mencemari lingkungan sekitarnya.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Tahu dan tempe merupakan makanan yang digemari masyarakat, baik masyarakat kalangan bawah hingga atas. Keberadaannya sudah lama diakui sebagai makanan yang sehat, bergizi dan harganya murah. Hampir di tiap kota di Indonesia dijumpai industri tahu dan tempe. umumnya industri tahu dan tempe termasuk ke dalam industri kecil yang dikelola oleh rakyat dan beberapa di antaranya masuk dalam wadah Koperasi Pengusaha Tahu dan Tempe (KOPTI).

Proses pembuatan tahu dan tempe masih sangat tradisional dan banyak memakai tenaga manusia. Bahan baku utama yang digunakan adalah kedelai (*Glycine spp*). Konsumsi kedelai Indonesia pada Tahun 1995 telah mencapai 2.287.317 Ton (Sri Utami, 1997). Sarwono (1989) menyatakan bahwa lebih dari separuh konsumsi kedelai Indonesia dipergunakan untuk diolah menjadi tempe dan tahu. Shurtleff dan Aoyagi (1979) memperkirakan jumlah pengusaha tahu di Indonesia sekitar 10.000 buah, yang sebagian besar masih berskala rumah tangga, dan terutama terpusat di Pulau Jawa, sebagai bandingan di Jepang sekitar 38 000 buah, di Korea 1 470 buah, Taiwan 2 500 buah dan Cina 158 000 buah.

Air banyak digunakan sebagai bahan pencuci dan merebus kedelai untuk proses produksinya. Akibat dari besarnya pemakaian air pada proses pembuatan tahu dan tempe, limbah yang dihasilkan juga cukup besar. Sebagai contoh limbah industri tahu tempe di Semanan, Jakarta Barat kandungan BOD₅ mencapai 1 324 mg/l, COD 6698 mg/l, NH₄ 84,4 mg/l, nitrat 1,76 mg/l dan nitrit 0,17 mg/l (Prakarindo Buana, 1996). Jika ditinjau dari Kep-03/MENKLH/11/1991 tentang baku mutu limbah cair, maka industri tahu dan tempe memerlukan pengolahan limbah.

Pada saat ini sebagian besar industri tahu tempe masih merupakan industri kecil skala rumah tangga yang tidak dilengkapi dengan unit pengolah air limbah, sedangkan industri tahu dan tempe yang dikelola koperasi beberapa diantaranya telah memiliki unit pengolah limbah. Unit pengolah limbah yang ada umumnya menggunakan sistem anaerobik dengan efisiensi pengolahan 60-90%. Dengan sistem pengolah limbah yang ada, maka limbah yang dibuang ke perairan kadar zat organiknya (BOD) masih terlampaui tinggi yakni sekitar 400 - 1 400 mg/l. Untuk itu perlu dilakukan proses pengolahan lanjut agar kandungan zat organik di dalam air limbah memenuhi standar air buangan yang boleh dibuang ke saluran umum.

Tujuan dan Sasaran

Tujuan Kegiatan ini adalah mengkaji dan mengembangkan teknologi pengolahan air limbah khususnya pengolahan air limbah industri tahu-tempe yang sederhana, murah dan dapat diterapkan sesuai dengan kondisi di Indonesia, sehingga dapat digunakan langsung oleh masyarakat.

Sasaran dari kegiatan ini adalah membuat prototipe unit alat pengolahan air limbah industri tahu-tempe yang murah dan sederhana, serta mengkaji karakteristik dan efisiensi pengolahan terhadap beberapa parameter kualitas air limbah serta mengkaji kelayakan alat secara ekonomis.

Manfaat

Teknologi tersebut dapat disebarluaskan dan dapat dimanfaatkan atau ditiru oleh masyarakat.

Kontak Personil

Ir. Nusa Idaman Said, M.Eng.

Ir. Arie Herlambang, M.Si.

Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair
Direktorat Teknologi Lingkungan,
Kedeputan Bidang Teknologi Informatika, Energi dan Material.
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

Jl. M.H. Thamrin No. 8, Jakarta Pusat

Tel. 021-3169769, 3169770 Fax. 021-3169760

Email : air@pentium.as.bppt.go.id

Home Page : <http://pentium.as.bppt.go.id/>

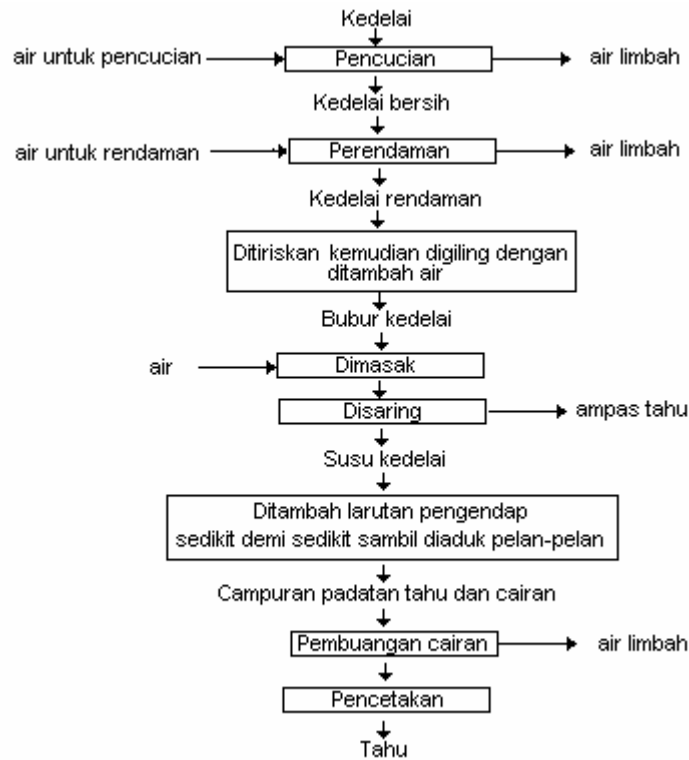
PROSES PEMBUATAN TAHU DAN TEMPE

Proses Pembuatan Tahu

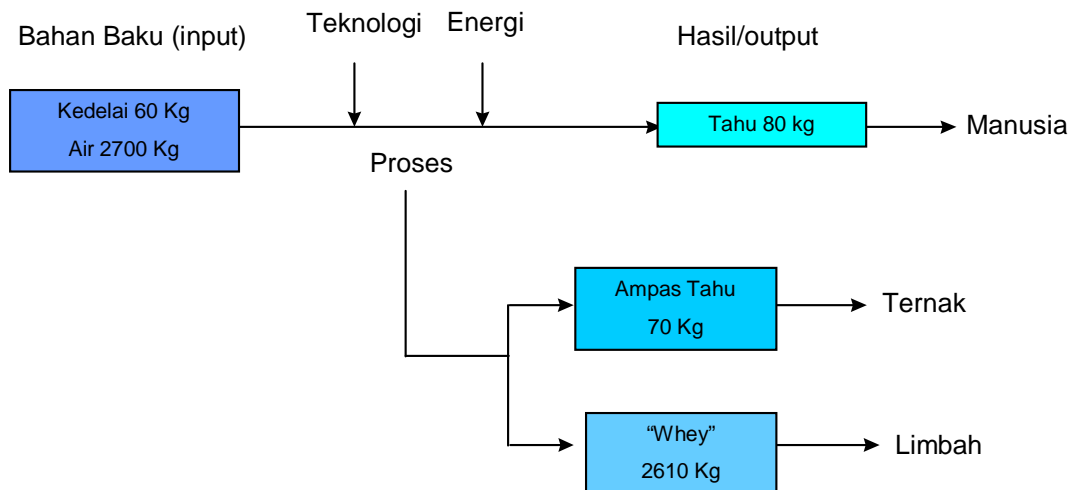
Tahu merupakan makanan yang terbuat dari bahan baku kedelai, dan prosesnya masih sederhana dan terbatas pada skala rumah tangga. Suryanto (dalam Hartaty, 1994) menyatakan bahwa yang dimaksud dengan tahu adalah makanan padat yang dicetak dari sari kedelai (*Glycine spp*) dengan proses pengendapan protein pada titik isoelektriknya, tanpa atau dengan penambahan zat lain yang diizinkan. Pembuatan tahu pada prinsipnya dibuat dengan mengekstrak protein, kemudian mengumpulkannya, sehingga terbentuk padatan protein. Cara penggumpalan susu kedelai umumnya dilakukan dengan cara penambahan bahan penggumpal berupa asam. Bahan penggumpal yang biasa digunakan adalah asam cuka (CH_3COOH), batu tahu ($\text{CaSO}_4\text{nH}_2\text{O}$) dan larutan bibit tahu (larutan perasan tahu yang telah diendapkan satu malam). Secara umum tahapan proses pembuatan tahu adalah sebagai berikut :

- Kedelai yang telah dipilih dibersihkan dan disortasi. Pembersihan dilakukan dengan ditampi atau menggunakan alat pembersih.
- Perendaman dalam air bersih agar kedelai dapat mengembang dan cukup lunak untuk digiling. Lama perendaman berkisar 4 - 10 jam.
- Pencucian dengan air bersih. Jumlah air yang digunakan tergantung pada besarnya atau jumlah kedelai yang digunakan.
- Penggilingan kedelai menjadi bubur kedelai dengan mesin giling. Untuk memperlancar penggilingan perlu ditambahkan air dengan jumlah yang sebanding dengan jumlah kedelai.
- Pemasakan kedelai dilakukan di atas tungku dan dididihkan selama 5 menit. Selama pemasakan ini dijaga agar tidak berbuih, dengan cara menambahkan air dan diaduk.
- Penyaringan bubur kedelai dilakukan dengan kain penyaring. Ampas yang diperoleh diperas dan dibilas dengan air hangat. Jumlah ampas basah kurang lebih 70% sampai 90% dari bobot kering kedelai.
- Setelah itu dilakukan penggumpalan dengan menggunakan air asam, pada suhu 50°C , kemudian didiamkan sampai terbentuk gumpalan besar. Selanjutnya air di atas endapan dibuang dan sebagian digunakan untuk proses penggumpalan kembali.
- Langkah terakhir adalah pengepresan dan pencetakan yang dilapisi dengan kain penyaring sampai padat. Setelah air tinggal sedikit, maka cetakan dibuka dan diangin-anginkan.

Diagram proses pembuatan tahu ditunjukkan seperti pada gambar 1, sedangkan diagram neraca masa untuk proses pembuatan tahu ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 1 : Diagram proses pembuatan tahu.

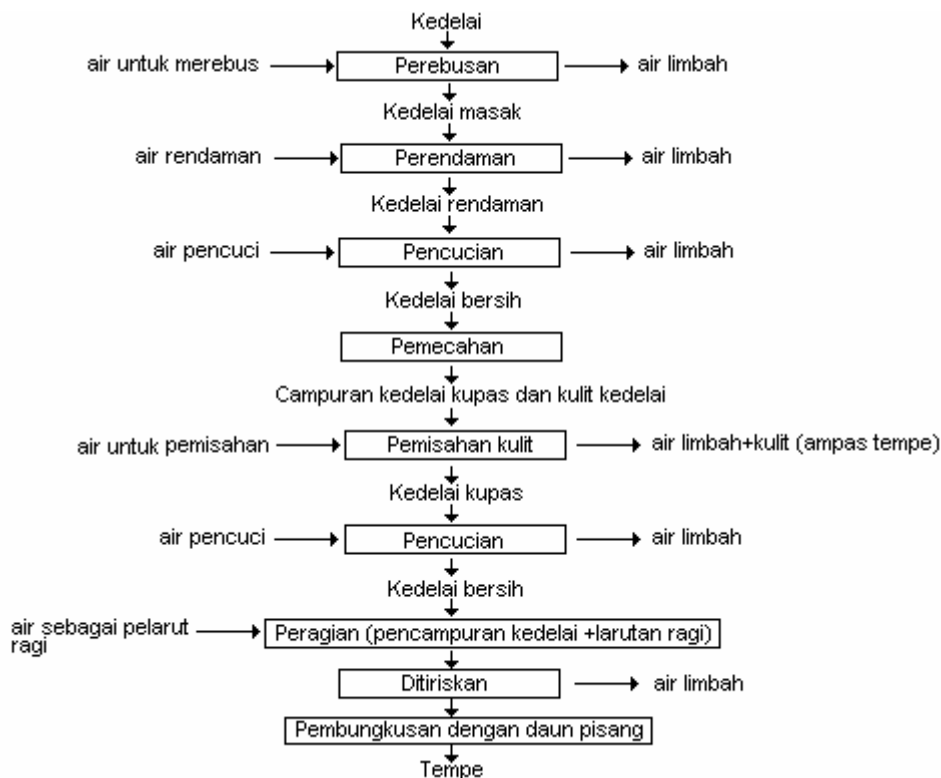


Gambar 2 : Diagram neraca masa proses pembuatan tahu.

Proses Pembuatan Tempe

Tempe merupakan hasil fermentasi kedelai, dan secara garis besar urutan proses pembuatan tempe adalah sebagai berikut :

- Kedelai dimasak, setelah masak kedelai direndam 1 malam hingga lunak dan terasa berlendir, kemudian kedelai dicuci hingga bersih.
- Kedelai dipecah dengan mesin pemecah, hingga kedelai terbelah dua dan kulit kedelai terpisah.
- Kulit kedelai dipisahkan dengan cara hasil pemecahan kedelai dimasukkan ke dalam air, sehingga kulit kedelai mengambang dan dapat dipisahkan.
- Kedelai kupas dicuci kembali hingga bersih, kemudian peragian dengan cara kedelai dicampurkan ragi yang telah dilarutkan dan didiamkan selama lebih kurang 10 menit.
- Kedelai yang telah mengandung ragi ditiriskan hingga hampir kering, kemudian dibungkus dengan daun pisang. Setelah fermentasi selama 2 hari diperoleh tempe.



Gambar 3 : Bagan proses pembuatan tempe

LIMBAH INDUSTRI TAHU-TEMPE

Karakteristik Limbah

Untuk limbah industri tahu tempe ada dua hal yang perlu diperhatikan yakni karakteristik fisika dan kimia. Karakteristik fisika meliputi padatan total, suhu, warna dan bau. Karakteristik kimia meliputi bahan organik, bahan anorganik dan gas. Suhu buangan industri tahu berasal dari proses pemasakan kedelai. Suhu limbah cair tahu pada umumnya lebih tinggi dari air bakunya, yaitu 40°C sampai 46°C. Suhu yang meningkat di lingkungan perairan akan mempengaruhi kehidupan biologis, kelarutan oksigen dan gas lain, kerapatan air, viskositas, dan tegangan permukaan.

Bahan-bahan organik yang terkandung di dalam buangan industri tahu pada umumnya sangat tinggi. Senyawa-senyawa organik di dalam air buangan tersebut dapat berupa protein, karbohidrat, lemak dan minyak. Di antara senyawa-senyawa tersebut, protein dan lemaklah yang jumlahnya paling besar (Nurhasan dan Pramudyanto, 1987), yang mencapai 40% - 60% protein, 25 - 50% karbohidrat, dan 10% lemak (Sugiharto, 1987). Semakin lama jumlah dan jenis bahan organik ini semakin banyak, dalam hal ini akan menyulitkan pengelolaan limbah, karena beberapa zat sulit diuraikan oleh mikroorganisme di dalam air limbah tahu tersebut. Untuk menentukan besarnya kandungan bahan organik digunakan beberapa teknik pengujian seperti BOD, COD dan TOM. Uji BOD merupakan parameter yang sering digunakan untuk mengetahui tingkat pencemaran bahan organik, baik dari industri ataupun dari rumah tangga (Greyson, 1990; Welch, 1992).

Air buangan industri tahu kualitasnya bergantung dari proses yang digunakan. Apabila air prosesnya baik, maka kandungan bahan organik pada air buangannya biasanya rendah (Nurhasan dan Pramudya, 1987). Pada umumnya konsentrasi ion hidrogen buangan industri tahu ini cenderung bersifat asam. Komponen terbesar dari limbah cair tahu yaitu protein (N-total) sebesar 226,06 sampai 434,78 mg/l. sehingga masuknya limbah cair tahu ke lingkungan perairan akan meningkatkan total nitrogen di perairan tersebut. Gas-gas yang biasa ditemukan dalam limbah adalah gas nitrogen (N_2), oksigen (O_2), hidrogen sulfida (H_2S), amonia (NH_3), karbondioksida (CO_2) dan metana (CH_4). Gas-gas tersebut berasal dari dekomposisi bahan-bahan organik yang terdapat di dalam air buangan. Beberapa contoh hasil pengukuran kadar BOD Dan COD di dalam air limbah tahu dan tempe di daerah DKI Jakarta ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil Analisa Limbah Cair Industri Tempe

PARAMETER LOKASI	COD (mg/l)	BOD (mg/l)
Setia Budi	7.852	5.400
Setia Budi	20.467	11.000
Setia Budi	8.659	4.750
Tebet	28.320	9.475
Tebet	5.285	2.950
Kebayoran Baru	5.597	3.675
Kebayoran Lama	6.423	3.525
Cilandak	6.073	3.600
Pasar Minggu	12.300	7.500
Pasar Minggu	7.912	3.650
Tegal Parang	15.685	8.250
Tegal Parang	23.340	14.000
Cipinang	61.425	13.600
Kebon Pala	2136	2100
Setia Budi	7852	5400
Tebet	28320	9475
Kebayoran Baru	5597	3675
Kebayoran Lama	6423	3525
Cilandak	6073	3600

Tabel 2. Hasil Analisa Limbah Cair Industri Tahu

PARAMETER LOKASI	COD(mg/l)	BOD(mg/l)
Cipinang	1102	910
Kebon Pala	3211	2200
Utan Kayu	8327	1200
Setia Budi	5904	2250
Tebet	2362	2100
Kebayoran Lama	7916	3450
Kuningan Barat	8360	8100
Mampang	4897	3550
Cilandak	9207	5425
Pasar Minggu	3779	1750
Tegal Parang	15055	12100



Kondisi Limbah cair yang berasal dari industri kecil tahu-tempe

Permasalahan

Limbah cair yang dikeluarkan oleh industri-industri masih menjadi masalah bagi lingkungan sekitarnya, karena pada umumnya industri-industri, terutama industri rumah tangga mengalirkan langsung air limbahnya ke selokan atau sungai tanpa diolah terlebih dahulu. Demikian pula dengan industri tahu/tempe yang pada umumnya merupakan industri rumah tangga.

Keadaan ini akibat masih banyaknya pengrajin tahu/tempe yang belum mengerti akan kebersihan lingkungan dan disamping itu pula tingkat ekonomi yang masih rendah, sehingga pengolahan limbah akan menjadi beban yang cukup berat bagi mereka. Namun demikian keberadaan industri tahu-tempe harus selalu didukung baik oleh pemerintah maupun oleh masyarakat karena makanan tahu-tempe merupakan makanan yang digemari oleh hampir seluruh lapisan masyarakat Indonesia, disamping nilai gizinya tinggi harganya pun relatif murah.

Limbah industri tahu-tempe dapat menimbulkan pencemaran yang cukup berat karena mengandung polutan organik yang cukup tinggi. Dari beberapa hasil penelitian, konsentrasi COD (Chemical Oxygen Demand) di dalam air limbah industri tahu-tempe cukup tinggi yakni berkisar antara 7.000 - 10.000 ppm, serta mempunyai keasaman yang rendah yakni pH 4-5. Dengan kondisi seperti tersebut di atas, air limbah industri tahu-tempe merupakan salah satu sumber pencemaran lingkungan yang sangat potensial.

Saat ini pengelolaan air limbah industri tahu-tempe umumnya dilakukan dengan cara membuat bak penampung air limbah sehingga terjadi proses anaerob. Dengan adanya proses biologis anaerob tersebut maka kandungan polutan organik yang ada di dalam air limbah dapat diturunkan. Tetapi dengan proses tersebut efisiensi pengolahan hanya berkisar antara 50 % - 70 % saja. Dengan demikian jika konsentrasi COD dalam air limbah 7000 ppm, maka kadar COD yang keluar masih cukup tinggi yakni sekitar 2100 ppm, sehingga hal ini masih menjadi sumber pencemaran lingkungan.



Pengolahan air limbah industri kecil tahu tempe di Semanan, Jakarta Barat, dengan sistem Penampungan (lagon) Anaerob. Dengan sistem lagon tersebut dapat menurunkan kadar zat organik (BOD) sekitar 50 %.



Dengan sistem penampungan anaerob terjadi penguraian secara biologis anaerobik, maka zat organik akan terurai dan menghasilkan produk gas metan dan gas H_2S serta NH_3 yang menyebabkan bau yang kurang sedap.

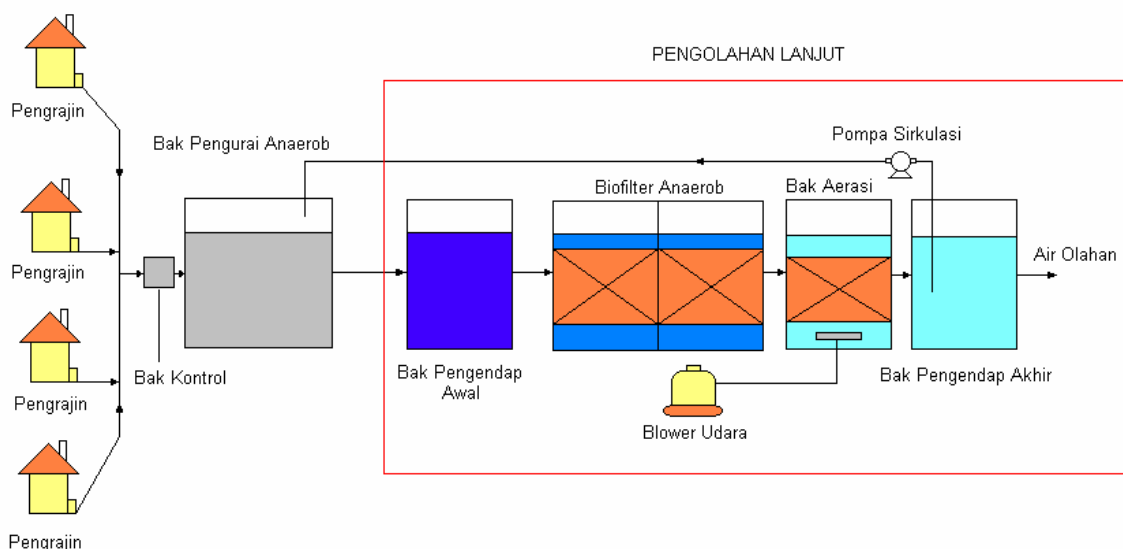
Suatu alternatif pengolahan limbah yang cukup sederhana adalah pengolahan secara biologis, yakni dengan kombinasi proses biologis "Anaerob-Aerob". Sistem ini cocok diterapkan pada pengolahan limbah yang banyak mengandung bahan-bahan organik. Limbah industri tahu/tempe merupakan salah satu jenis limbah yang banyak mengandung bahan-bahan organik.

PENGOLAHAN AIR LIMBAH TAHU-TEMPE

Salah satu cara untuk mengatasi masalah air limbah industri tahu-tempe tersebut adalah dengan kombinasi proses pengolahan biologis anaerob dan aerob. Secara umum proses pengolahannya dibagi menjadi dua tahap yakni pertama proses penguraian anaerob (*Anaerobic digesting*), dan yang ke dua proses pengolahan lanjut dengan sistem biofilter anaerob-aerob. Secara garis besar proses pengolahan air limbah industri tahu dan tempe ditunjukkan seperti pada Gambar 4.

Penguraian Anaerob

Air limbah yang dihasilkan dari proses pembuatan tahu-tempe kumpulkan melalui saluran air limbah, kemudian dilairkan ke bak kontrol untuk memisahkan kotoran padat. Selanjutnya, sambil di bubuhi dengan larutan kapur atau larutan NaOH air limbah dialirkan ke bak pengurai anaerob. Di dalam bak pengurai anaerob tersebut polutan organik yang ada di dalam air limbah akan diuraikan oleh mikroorganisme secara anaerob, menghasilkan gas metan yang dapat digunakan sebagai bahan bakar. Dengan proses tahap pertama konsentrasi COD dalam air limbah dapat diturunkan sampai kira-kira 600 ppm (efisiensi pengolahan 90 %). Air olahan tahap awal ini selanjutnya diolah dengan proses pengolahan lanjut dengan sistem biofilter aerob.



Gambar 4 : Diagram proses pengolahan air limbah industri tahu-tempe dengan sistem kombinasi biofilter "Anareb-Aerob".

Keunggulan proses anaerobik dibandingkan proses aerobik adalah sebagai berikut (Lettingan et al, 1980; Sahm, 1984; Sterritt dan Lester, 1988; Switzenbaum, 1983) :

- Proses anaerobik dapat segera menggunakan CO_2 yang ada sebagai penerima elektron. Proses tersebut tidak membutuhkan oksigen dan pemakaian oksigen dalam proses penguraian limbah akan menambah biaya pengoperasian.
- Penguraian anaerobik menghasilkan lebih sedikit lumpur (3-20 kali lebih sedikit dari pada proses aerobik), energi yang dihasilkan bakteri anaerobik relatif rendah. Sebagian besar energi didapat dari pemecahan substrat yang ditemukan dalam hasil akhir, yaitu CH_4 . Dibawah kondisi aerobik 50% dari karbon organik dirubah menjadi biomassa, sedangkan dalam proses anaerobik hanya 5% dari karbon organik yang dirubah menjadi biomassa. Dengan proses anaerobik satu metrik ton COD tinggal 20 - 150 kg biomassa, sedangkan proses aerobik masih tersisa 400 - 600 kg biomassa (Speece, 1983; Switzenbaum, 1983).
- Proses anaerobik menghasilkan gas yang bermanfaat, metan. Gas metan mengandung sekitar 90% energi dengan nilai kalori 9.000 kkal/m^3 , dan dapat dibakar ditempat proses penguraian atau untuk menghasilkan listrik. Sedikit energi terbuang menjadi panas (3-5%). Pruduksi metan menurunkan BOD dalam Penguraian lumpur limbah.
- Energi untuk penguraian limbah kecil.
- Penguraian anaerobik cocok untuk limbah industri dengan konsentrasi polutan organik yang tinggi.
- Memungkinkan untuk diterapkan pada proses Penguraian limbah dalam jumlah besar.
- Sistem anaerobik dapat membiodegradasi senyawa xenobiotik (seperti chlorinated aliphatic hydrocarbons seperti trichlorethylene, trihalo-methanes) dan senyawa alami recalcitrant seperti lignin.

Beberapa kelemahan Penguraian anaerobik :

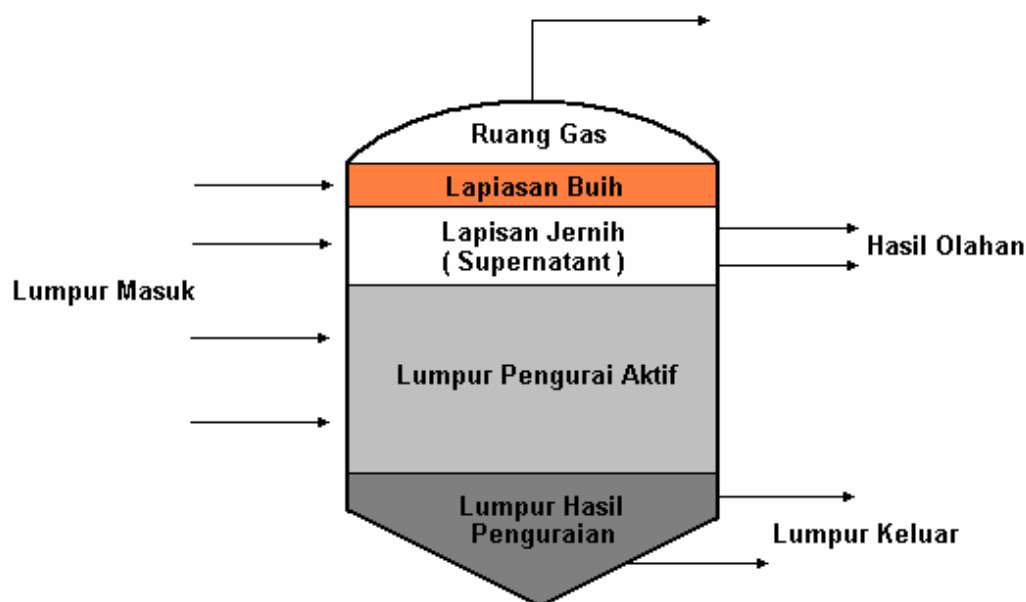
- Lebih Lambat dari proses aerobik
- Sensitif oleh senyawa toksik
- Start up membutuhkan waktu lama
- Konsentrasi substrat primer tinggi

Penguraian Senyawa Organik Secara Anaerob

Secara garis besar penguraian senyawa organik secara anaerob dapat di bagi menjadi dua yakni penguraian satu tahap dan penguraian dua tahap.

Penguraian satu tahap

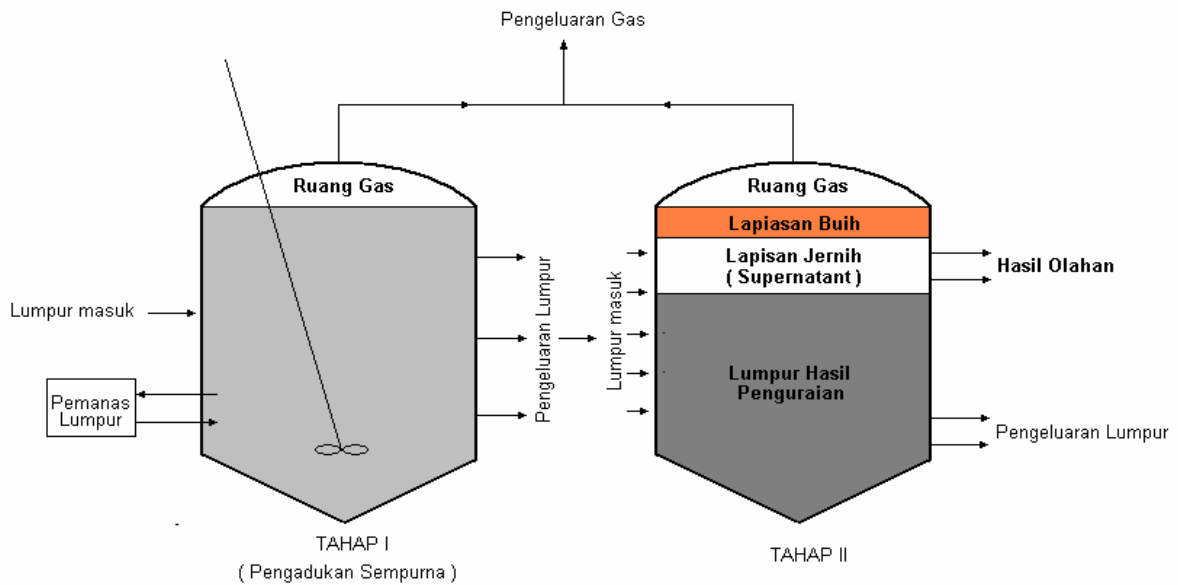
Penguraian anaerobik membutuhkan tangki fermentasi yang besar, memiliki pencampur mekanik yang besar, pemanasan, pengumpul gas, penambahan lumpur, dan keluaran supernatan (Metcalf dan Eddy, 1991). Penguraian lumpur dan pengendapan terjadi secara simultan dalam tangki. Stratifikasi lumpur dan membentuk lapisan berikut dari bawah ke atas : lumpur hasil penguraian, lumpur pengurai aktif, lapisan supernatan (jernih), lapisan buih (skum), dan ruang gas. Hal ini secara umum ditunjukkan seperti pada gambar 5.



Gambar 5 : Penguraian Anaerob Satu Tahap.

Penguraian dua tahap

Proses ini membutuhkan dua tangki pengurai (reaktor) yakni satu tangki berfungsi mencampur secara terus-menerus dan pemanasan untuk stabilisasi lumpur, sedangkan tangki yang satu lagi untuk pemekatan dan penyimpanan sebelum dibuang ke pembuangan. Proses ini dapat menguraikan senyawa organik dalam jumlah yang lebih besar dan lebih cepat. Secara sederhana proses penguraian anaerob dua tahap dapat ditunjukkan seperti pada gambar 6.



Gambar 6 : Penguraian Anaerob Dua Tahap.

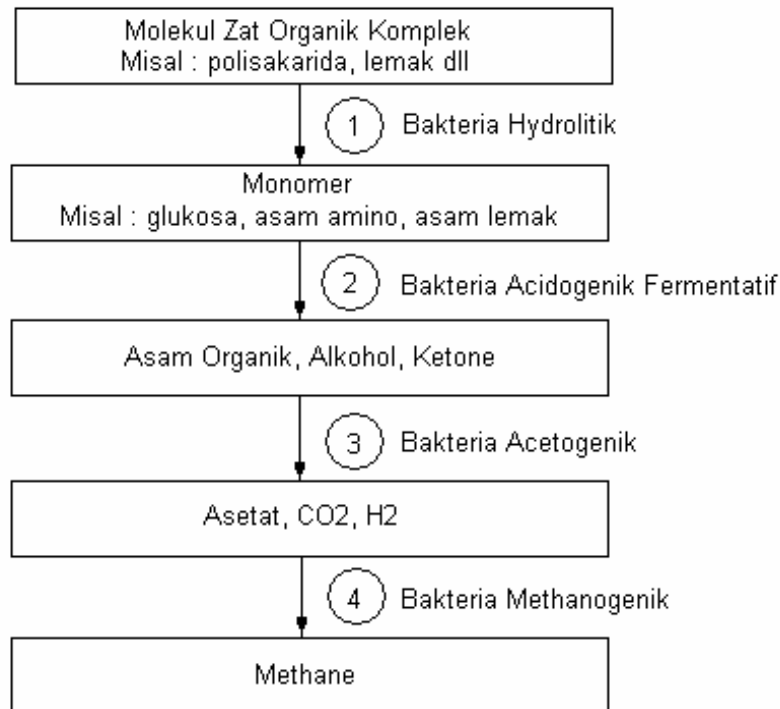
Proses Mikrobiologi Dalam Penguraian Anaerob

Kumpulan mikroorganisme, umumnya bakteri, terlibat dalam transformasi senyawa kompleks organik menjadi metan. Lebih jauh lagi, terdapat interaksi sinergis antara bermacam-macam kelompok bakteri yang berperan dalam penguraian limbah. Keseluruhan reaksi dapat digambarkan sebagai berikut (Polprasert, 1989) :



Meskipun beberapa jamur (fungi) dan protozoa dapat ditemukan dalam penguraian anaerobik, bakteri tetap merupakan mikroorganisme yang paling dominan bekerja didalam proses penguraian anaerobik. Sejumlah besar bakteri anaerobik dan fakultatif (seperti : *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*) terlibat dalam proses hidrolisis dan fermentasi senyawa organik. Proses penguraian senyawa organik secara anaerobik secara garis besar ditunjukkan seperti pada gambar 7.

Ada empat grup bakteri yang terlibat dalam transformasi material kompleks menjadi molekul yang sederhana seperti metan dan karbon dioksida. Kelompok bakteri ini bekerja secara sinergis (Archer dan Kirsop, 1991; Barnes dan Fitzgerald, 1987; Sahm, 1984; Sterritt dan Lester, 1988; Zeikus, 1980),



Gambar 7: Kelompok Bakteri Metabolik yang terlibat dalam penguraian limbah dalam sistem anaerobik.

Kelompok 1: Bakteri Hidrolitik

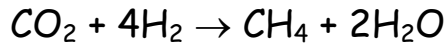
Kelompok bakteri anaerobik memecah molekul organik kompleks (protein, cellulose, lignin, lipids) menjadi molekul monomer yang terlarut seperti asam amino, glukosa, asam lemak, dan gliserol. Molekul monomer ini dapat langsung dimanfaatkan oleh kelompok bakteri berikutnya. Hidrolisis molekul kompleks dikatalisasi oleh enzim ekstra seluler seperti selulase, protease, dan lipase. Walaupun demikian proses penguraian anaerobik sangat lambat dan menjadi terbatas dalam penguraian limbah sellulolitik yang mengandung lignin (Polprasert, 1989; Speece, 1983).

Kelompok 2 : Bakteri Asidogenik Fermentatif

Bakteri asidogenik (pembentuk asam) seperti *Clostridium* merubah gula, asam amino, dan asam lemak menjadi asam organik (seperti asam asetat, propionik, formik, laktik, butirik, atau suksinik), alkohol dan keton (seperti etanol, metanol, gliserol, aseton), asetat, CO₂ dan H₂. Asetat adalah produk utama dalam fermentasi karbohidrat. Hasil dari fermentasi ini bervariasi tergantung jenis bakteri dan kondisi kultur seperti temperatur, pH, potensial redok.

Bakteri metanogen dibagi menjadi dua katagori, yaitu :

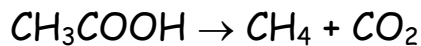
1. **Bakteri metanogen hidrogenotropik** (seperti : chemolitotrof yang menggunakan hidrogen) merubah hidrogen dan karbon dioksida menjadi metan.



Metan

Bakteri metanogen yang menggunakan hidrogen membantu memelihara tekanan parsial yang sangat rendah yang dibutuhkan untuk proses konversi asam volatil dan alkohol menjadi asetat (speece, 1983).

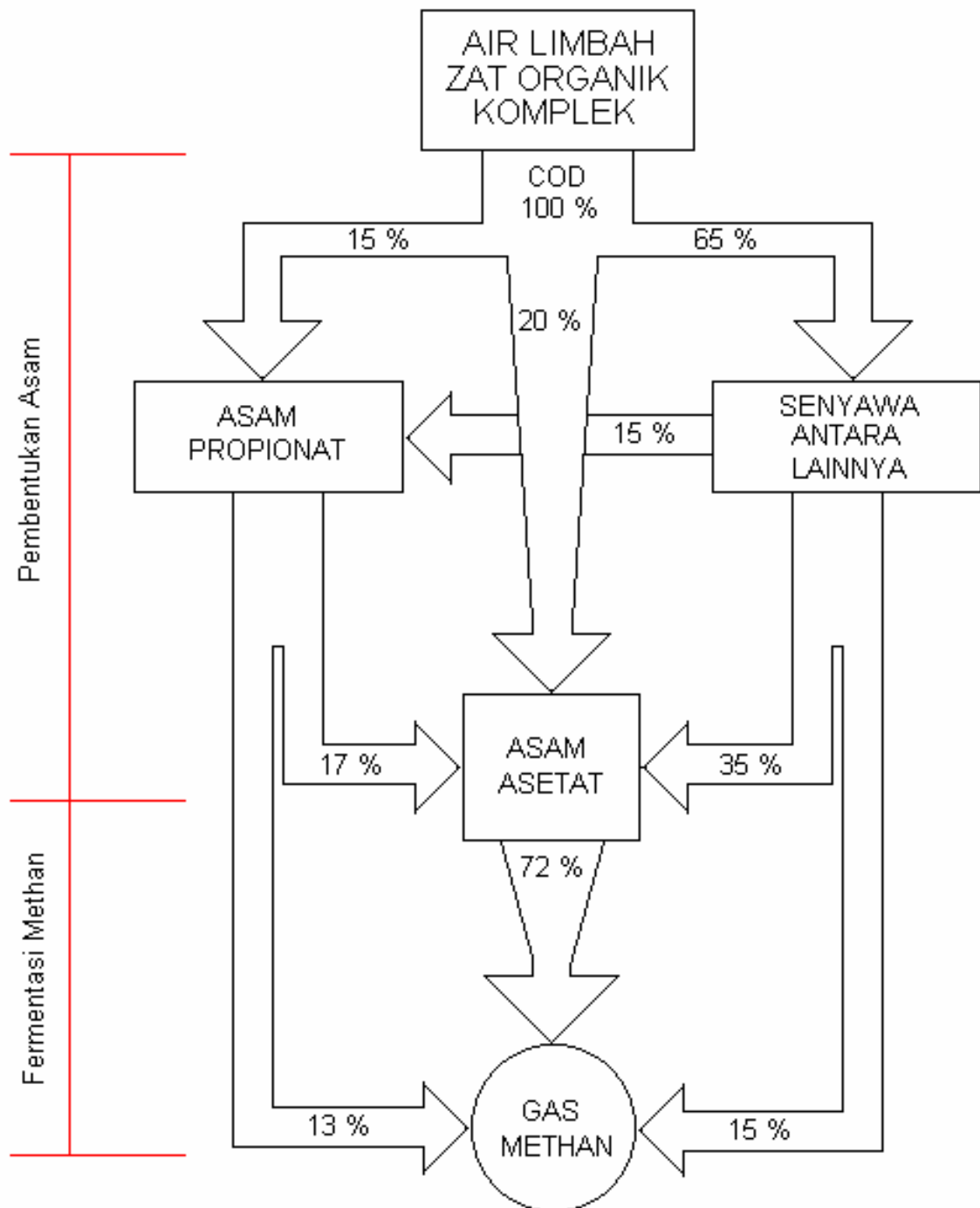
2. **Bakteri metanogen Asetotropik**, atau biasa disebut sebagai bakteri asetoklastik atau bakteri penghilang asetat, merubah asam asetat menjadi metan dan CO_2 .



Bakteri asetoklastik tumbuh jauh lebih lambat (waktu generasi = beberapa hari) dari pada bakteri pembentuk asam (waktu generasi = beberapa jam). Kelompok ini terdiri dari dua kelompok, yaitu : *Metanosarkina* (Smith dan Mah, 1978) dan *Metanotrik* (Huser et al., 1982). Selama penguraian termofilik (58°C) dari limbah lignoselulosik, *Metanosarkina* adalah bakteri asetotropik yang ditemukan dalam bioreaktor. Sesudah 4 minggu, *Metanosarkina* ($\mu_{\text{mak}} = 0,3$ tiap hari; $K_s = 200$ mg/l) digantikan oleh *Metanotrik* ($\mu_{\text{mak}} = 0,1$ tiap hari; $K_s = 30$ mg/l).

Kurang lebih sekitar 2/3 metan dihasilkan dari konversi asetat oleh metanogen asetotropik. Sepertiga sisanya adalah hasil reduksi karbon dioksida oleh hidrogen (Mackie dan Bryant, 1984). Diagram neraca masa pada penguraian zat organik kompleks menjadi gas methan secara anaerobik ditunjukkan seperti pada gambar 8.

Secara umum klasifikasi bakteri metanogen dapat dilihat pada Tabel 3. (Balch et al, 1979). Metanogen dikelompokkan menjadi tiga order: Metanobakteriales (contoh: *Metanobakterium*, *Metanobreviater*, *Metanotermus*), Metanomikrobiales (contoh: *Metanomikrobium*, *Metanogenium*, *Metanospirilium*, *Metanosar-kina*, dan *Metanokokoid*), dan Metanokokales (contoh : *Metanokokkus*). Paling sedikit ada 49 spesies metanogen yang telah didiskripsi (Vogels et al., 1988). Koster (1988) telah mengkompilasi beberapa bakteri metanogen yang telah diisolasi dan masing-masing substratnya, ditunjukkan seperti pada Tabel 4.



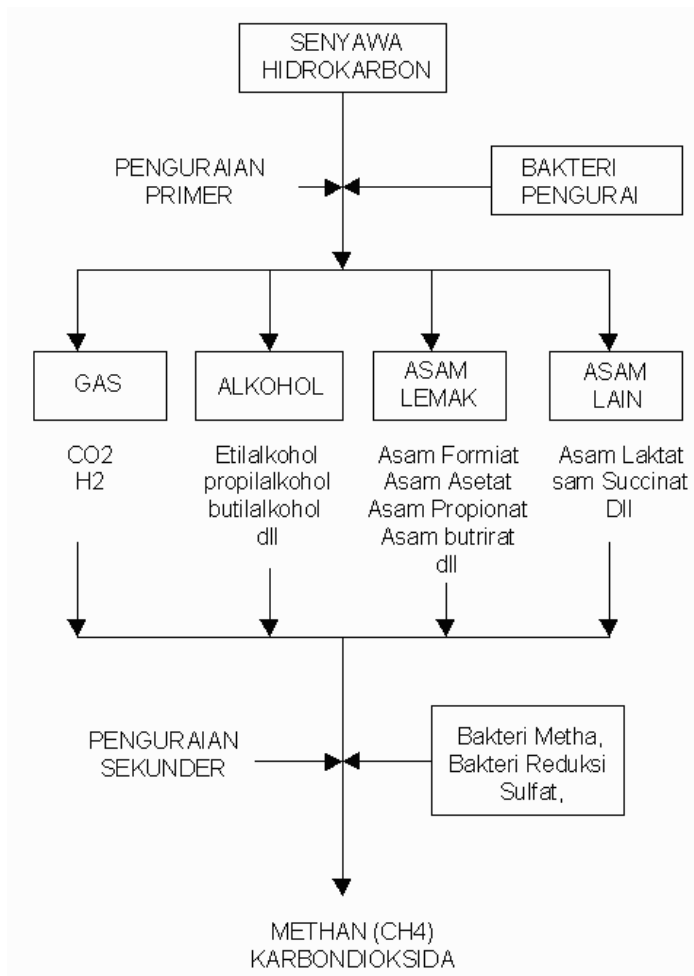
Gambar 8 : Neraca masa pada proses penguraian anaerobik (fermentasi methan).

Proses penguraian senyawa hidrokarbon, lemak dan protein secara biologis menjadi methan di kondisi proses anaerobik secara umum ditunjukkan seperti pada gambar 9, 10 dan 11.

Tabel 3 : Klasifikasi Metanogen

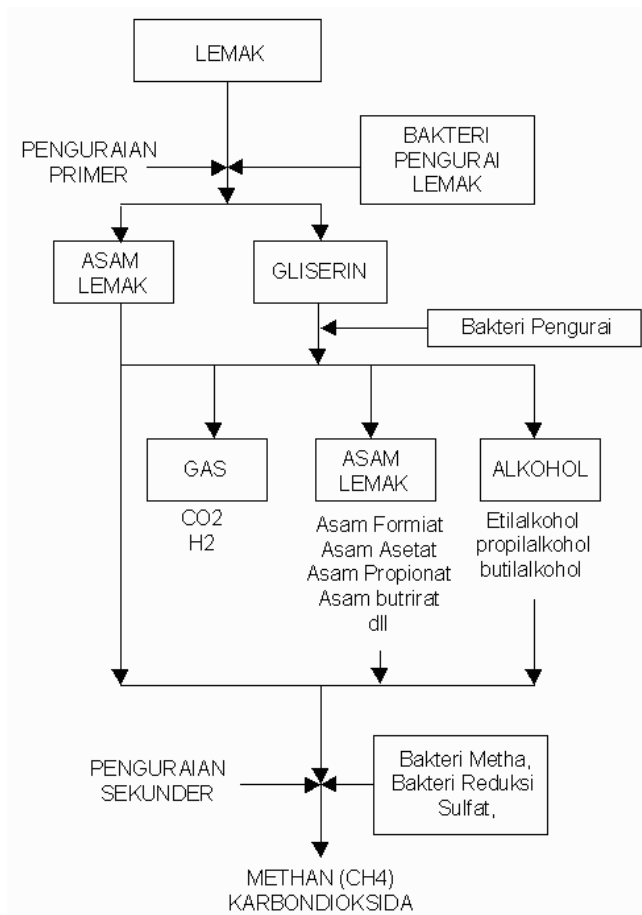
Order	Famili	Genus	Spesies
Methanobacteriales	Methanobacteriaceae	Methanobacterium	<i>M. formicicum</i> <i>M. bryanti</i> <i>M. thermoautotrophicum</i> <i>M. ruminantium</i>
		Methanobrevibacter	<i>M. arboriphilus</i> <i>M. smithii</i> <i>M. vannielli</i>
Methanococcales	Methanococcaceae	Methanococcus	<i>M. voltae</i>
		Methanomicrobium	<i>M. mobile</i>
methanomicrobiales	Methanomicrobiaceae	Methanogenium	<i>M. cariaci</i> <i>M. marisnigri</i> <i>M. hungatei</i>
		Methanospillum	<i>M. barkeri</i>
	Methanosarcinaceae	Methanosarcina	<i>M. mazei</i>

Dari : Balch et al., 1979.



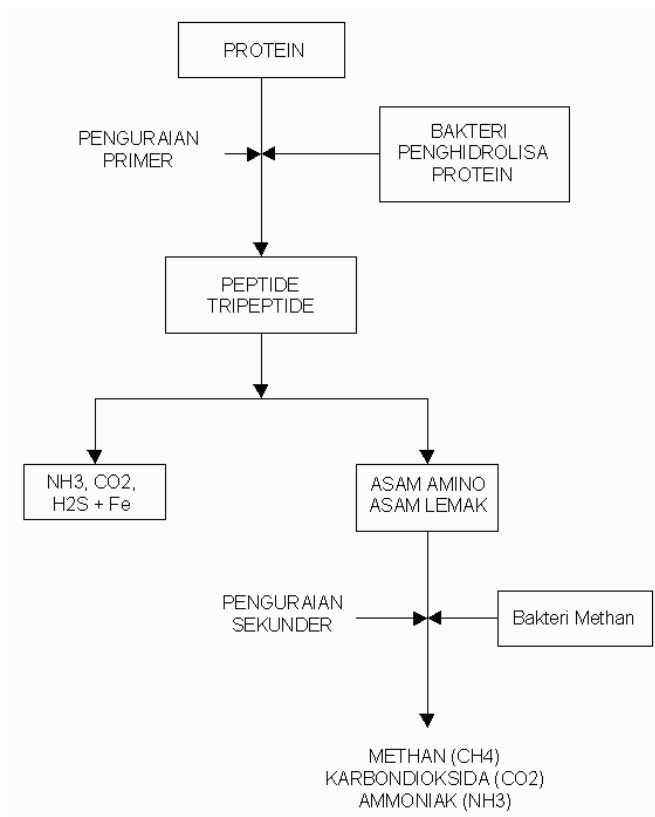
Gambar 9.

Proses penguraian senyawa hidrokarbon secara anaerobik menjadi metan.



Gambar 10 :

Proses penguraian senyawa lemak secara anaerobik menjadi metan.



Gambar 11 :

Proses penguraian senyawa protein secara anaerobik.

Tabel 4: Metanogen terisolasi dan Subtratnya

Bakteri	Subtrat
<i>Methanobacterium bryantii</i>	H ₂
<i>M. formicicum</i>	H ₂ dan HCOOH
<i>M. thermoautotrophicum</i>	H ₂
<i>M. alcaliphilum</i>	H ₂
<i>Methanobrevibacter arboriphilus</i>	H ₂
<i>M. ruminantium</i>	H ₂ dan HCOOH
<i>M. smithii</i>	H ₂ dan HCOOH
<i>Methanococcus vannielii</i>	H ₂ dan HCOOH
<i>M. voltae</i>	H ₂ dan HCOOH
<i>M. deltae</i>	H ₂ dan HCOOH
<i>M. maripaludis</i>	H ₂ dan HCOOH
<i>M. jannaschii</i>	H ₂
<i>M. thermolithoautotrophicus</i>	H ₂ dan HCOOH
<i>M. frisius</i>	
<i>Methanomicrobium mobile</i>	H ₂ dan HCOOH
<i>M. paynteri</i>	H ₂
<i>Methanospirillum hungatei</i>	H ₂ dan HCOOH
<i>Methanoplanus limicola</i>	H ₂ dan HCOOH
<i>M. endosymbiosus</i>	H ₂
<i>Methanogenium cariaci</i>	H ₂ dan HCOOH
<i>M. marisnigri</i>	H ₂ dan HCOOH
<i>M. tatii</i>	H ₂ dan HCOOH
<i>M. olentangyi</i>	H ₂
<i>M. thermophilicum</i>	H ₂ dan HCOOH
<i>M. bourgense</i>	H ₂ dan HCOOH
<i>M. aggregans</i>	H ₂ dan HCOOH
<i>Methanocoides methylutens</i>	CH ₃ NH ₂ dan CH ₃ OH
<i>Methanotrix soehngeni</i>	CH ₃ COOH
<i>M. conilii</i>	CH ₃ COOH
<i>Methanothermus fervidus</i>	H ₂
<i>Methanolobus tindarius</i>	CH ₃ OH, CH ₃ NH ₂ , (CH ₃) ₂ NH, dan (CH ₃) ₃ N
<i>Methanosarcina barkeri</i>	CH ₃ OH, CH ₃ COOH, H ₂ , CH ₃ NH ₂ , (CH ₃) ₂ NH, dan (CH ₃) ₃ N
<i>Methanosarcina themophila</i>	CH ₃ OH, CH ₃ COOH, H ₂ , CH ₃ NH ₂ , (CH ₃) ₂ NH, dan (CH ₃) ₃ N

Sumber : Koster (1988).

Pengolahan Lanjut

Proses pengolahan lanjut ini dilakukan dengan sistem biofilter anaerob-aerob. Pengolahan air limbah dengan proses biofilter anaerob-aerob terdiri dari beberapa bagian yakni bak pengendap awal, biofilter anaerob (anoxic), biofilter aerob, bak pengendap akhir, dan jika perlu dilengkapi dengan bak kontaktor khlor. Air limbah yang berasal dari proses penguraian anaerob (pengolahan tahap perama) dialirkan ke bak pengendap awal, untuk mengendapkan partikel lumpur, pasir dan kotoran lainnya. Selain sebagai bak pengendapan, juga berfungsi sebagai bak pengontrol aliran, serta bak pengurai senyawa organik yang berbentuk padatan, sludge digestion (pengurai lumpur) dan penampung lumpur.

Air limpasan dari bak pengendap awal selanjutnya dialirkan ke bak kontaktor anaerob dengan arah aliran dari atas ke dan bawah ke atas. Di dalam bak kontaktor anaerob tersebut diisi dengan media dari bahan plastik atau kerikil/batu split. Jumlah bak kontaktor anaerob ini bisa dibuat lebih dari satu sesuai dengan kualitas dan jumlah air baku yang akan diolah. Penguraian zat-zat organik yang ada dalam air limbah dilakukan oleh bakteri anaerobik atau facultatif aerobik. Setelah beberapa hari operasi, pada permukaan media filter akan tumbuh lapisan film mikro-organisme. Mikroorganisme inilah yang akan menguraikan zat organik yang belum sempat terurai pada bak pengendap.

Air limpasan dari bak kontaktor anaerob dialirkan ke bak kontaktor aerob. Di dalam bak kontaktor aerob ini diisi dengan media dari bahan kerikil, plastik (polyethylene), batu apung atau bahan serat, sambil diaerasi atau dihembus dengan udara sehingga mikro organisme yang ada akan menguraikan zat organik yang ada dalam air limbah serta tumbuh dan menempel pada permukaan media. Dengan demikian air limbah akan kontak dengan mikro-organisme yang tersuspensi dalam air maupun yang menempel pada permukaan media yang mana hal tersebut dapat meningkatkan efisiensi penguraian zat organik, deterjen serta mempercepat proses nitrifikasi, sehingga efisiensi penghilangan ammonia menjadi lebih besar. Proses ini sering di namakan Aerasi Kontak (Contact Aeration).

Dari bak aerasi, air dialirkan ke bak pengendap akhir. Di dalam bak ini lumpur aktif yang mengandung massa mikroorganisme diendapkan dan dipompa kembali ke bagian inlet bak aerasi dengan pompa sirkulasi lumpur. Sedangkan air limpasan (over flow) dialirkan ke bak khlorinasi. Di dalam bak kontaktor khlor ini air limbah dikontakkan dengan senyawa khlor untuk membunuh mikroorganisme patogen. Air olahan, yakni air yang keluar setelah proses khlorinasi dapat langsung dibuang ke sungai atau saluran umum.

Dengan kombinasi proses anaerob dan aerob tersebut selain dapat menurunkan zat organik (BOD, COD), ammonia, deterjen, padatan tersuspensi (SS), fosfat dan lainnya. Dengan adanya proses pengolahan lanjut tersebut konsentrasi COD dalam air olahan yang dihasilkan relatif rendah yakni sekitar 60 ppm. Proses pengolahan lanjut dengan sistem Biofilter Anaerob-Aerob ini mempunyai beberapa keuntungan yakni :

- Adanya air buangan yang melalui media kerikil yang terdapat pada biofilter mengakibatkan timbulnya lapisan lendir yang menyelimuti kerikil atau yang disebut juga *biological film*. Air limbah yang masih mengandung zat organik yang belum teruraikan pada bak pengendap bila melalui lapisan lendir ini akan mengalami proses penguraian secara biologis. Efisiensi biofilter tergantung dari luas kontak antara air limbah dengan mikro-organisme yang menempel pada permukaan media filter tersebut. Makin luas bidang kontakannya maka efisiensi penurunan konsentrasi zat organiknya (BOD) makin besar. Selain menghilangkan atau mengurangi konsentrasi BOD dan COD, cara ini dapat juga mengurangi konsentrasi padatan tersuspensi atau suspended solids (SS) , deterjen (MBAS), ammonium dan posphor.
- Biofilter juga berfungsi sebagai media penyaring air limbah yang melalui media ini. Sebagai akibatnya, air limbah yang mengandung suspended solids dan bakteri E.coli setelah melalui filter ini akan berkurang konsentrasinya. Efisiensi penyaringan akan sangat besar karena dengan adanya *biofilter up flow* yakni penyaringan dengan sistem aliran dari bawah ke atas akan mengurangi kecepatan partikel yang terdapat pada air buangan dan partikel yang tidak terbawa aliran ke atas akan mengendapkan di dasar bak filter. Sistem biofilter anaerob-aerb ini sangat sederhana, operasinya mudah dan tanpa memakai bahan kimia serta tanpa membutuhkan energi. Poses ini cocok digunakan untuk mengolah air limbah dengan kapasitas yang tidak terlalu besar
- Dengan kombinasi proses "Anaerob-Aerob", efisiensi penghilangan senyawa fospor menjadi lebih besar bila dibandingkan dengan proses anaerob atau proses aerob saja. Phenomena proses penghilangan fospor oleh mikroorganisme pada proses pengolahan anaerob-aerob dapat diterangkan seperti pada gambar 5. Selama berada pada kondisi anaerob, senyawa fospor anorganik yang ada dalam sel-sel mikroorganisme akan keluar sebagai akibat hidrolisa senyawa fospor. Sedangkan energi yang dihasilkan digunakan untuk menyerap BOD (senyawa organik) yang ada di dalam air limbah. Efisiensi penghilangan BOD akan berjalan baik apabila perbandingan antara BOD dan fospor (P) lebih besar 10. (Metcalf and Eddy, 1991). Selama berada pada

kondisi aerob, senyawa fosfor terlarut akan diserap oleh bakteri/mikroorganisme dan akan sintesa menjadi polyphospat dengan menggunakan energi yang dihasilkan oleh proses oksidasi senyawa organik (BOD). Dengan demikian dengan kombinasi proses anaerob-aerob dapat menghilangkan BOD maupun fosfor dengan baik. Proses ini dapat digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban organik yang cukup besar.

Keunggulan Proses Biofilter Anaerob-Aerob

Beberapa keunggulan proses pengolahan air limbah dengan biofilter anaerob-aerob antara lain yakni : pengelolaannya sangat mudah, biaya operasinya rendah, dibandingkan dengan proses lumpur aktif, Lumpur yang dihasilkan relatif sedikit, dapat menghilangkan nitrogen dan fosfor yang dapat menyebabkan eutropikasi, suplai udara untuk aerasi relatif kecil, dapat digunakan untuk air limbah dengan beban BOD yang cukup besar, dan dapat menghilangkan padatan tersuspensi (SS) dengan baik.

PERALATAN DAN UJI COBA

Disain Proses Pengolahan

Air limbah yang diolah berasal dari empat pengrajin dengan total debit sekitar 10-16 M³/hari. Air limbah dari masing-masing pengrajin sebelum masuk ke unit alat pengolahan air limbah terlebih dahulu di alirkan ke bak kontrol, selanjutnya air limbah dialirkan ke saluran pengumpul, dan kemudian masuk ke bak pengurai anaerobik melalui bagian tengah bak. Di dalam bak pengurai anaerobik air limbah masuk pada bagian tengah bak dengan arah aliran dari atas ke bawah dan keluar dari sebelah pinggir bak dengan arah aliran dari bawah ke atas (Up Flow). Air limpasan limpasan dari bak pengurai anaerob dikumpulkan melalui pipa berlubang-lubang dan dialirkan ke unit pengolahan lanjut.

Unit reaktor pengolahan lanjut terdiri dari 5 (lima) buah ruangan, yakni ruangan pertama adalah bak pengendapan awal yang berfungsi untuk mengendapkan partikel-partikel tersuspensi yang masih terbawa dan juga sebagai bak pengurai. Ruangan ke dua dan ke tiga merupakan biofilter yang berisi media dari media plastik sarang tawon yang merupakan zona anaerob (tanpa udara). Air limbah masuk ke ruangan ke dua melalui bagian atas dengan arah aliran dari atas ke bawah dan kemudian masuk ke ruangan ke tiga dengan arah aliran dari bawah ke atas. Selanjutnya air limpasan dari ruangan ke tiga (zona anaerob) masuk ke ruangan ke empat melalui weir pada bagian atas.

Di dalam ruangan ke empat tersebut juga diisi dengan media plastik sarang tawon sambil dihembus dengan udara. Udara yang digunakan disuplai dengan menggunakan blower dengan daya listrik 60 watt. Ruangan ke empat ini disebut dengan zona aerobik. Dari zona aerobik air limbah masuk ke ruangan ke lima melalui bagian bawah. Ruangan ke lima tersebut berfungsi sebagai bak pengendapan akhir. Air limbah pada bak pengendapan akhir sebagian disirkulasikan kembali ke ruangan pertama atau bak pengendapan awal dengan menggunakan pompa celup 25 watt. Air limpasan dari bak pengendapan akhir adalah merupakan air olahan yang dapat sudah dapat dibuang ke saluran umum.

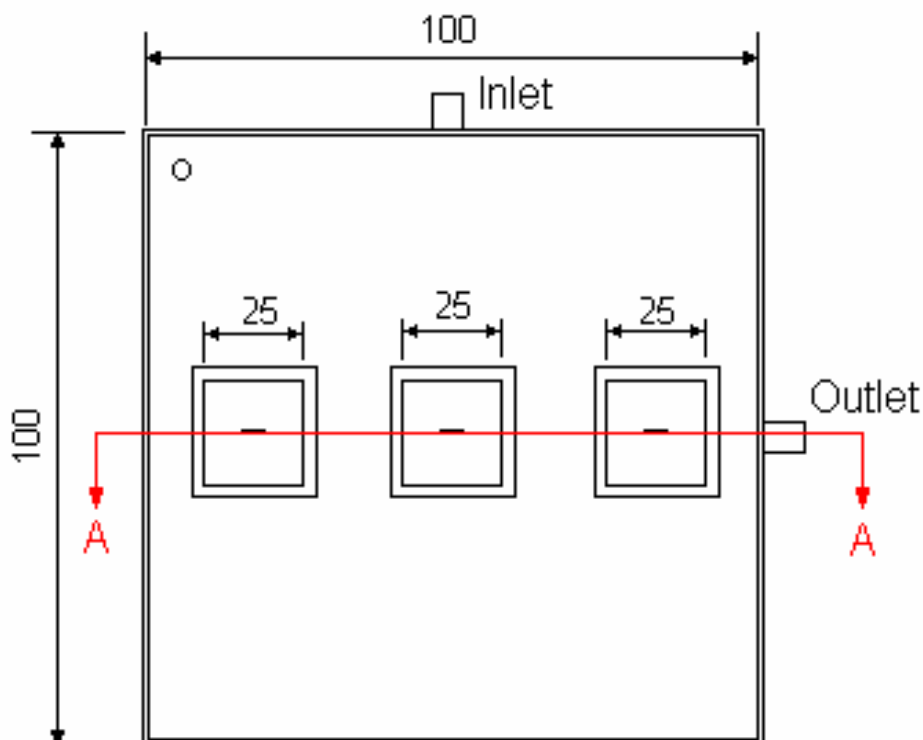
Peralatan

Rancangan alat pengolahan air limbah tahu-tempe dengan sistem kombinasi biofilter anerob-aerob, kapasitas pengolahan 6-10 m³/hari yang akan di terapkan di PIK Tahu-Tempe Semanan, Jakarta Barat, terdiri dari dua buah bak yakni bak pengurai anerob dan bak pengolahan lanjut. Spesifikasi teknis alat adalah sebagai berikut :

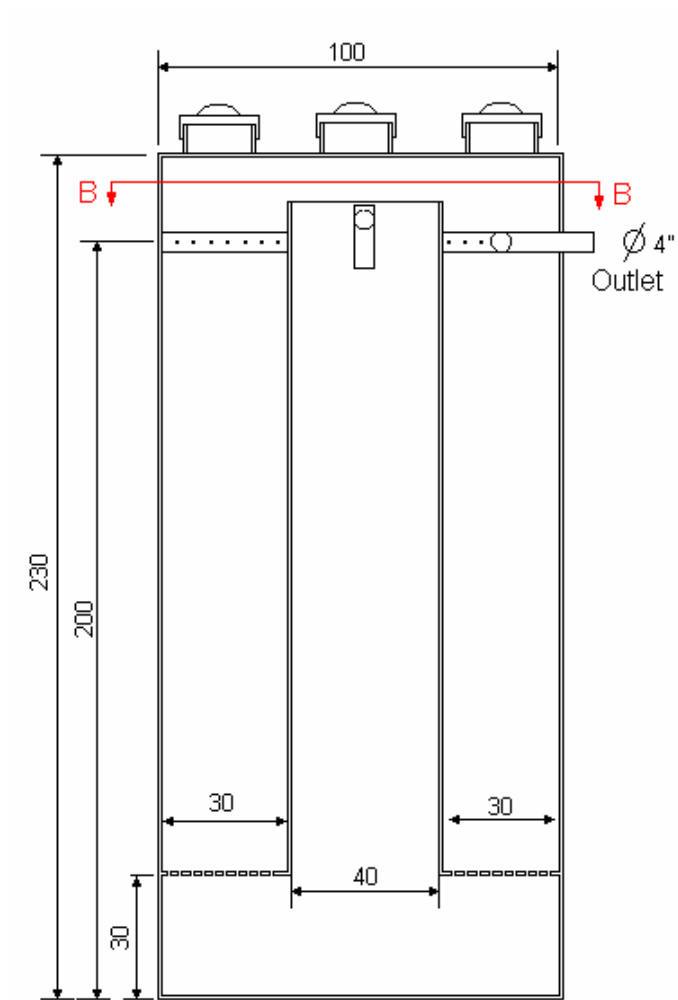
Bak Pengurai Anaerob

Dimensi	: 100 cm x 100 cm x 220 cm
Diameter inlet	: 4 "
Diameter Outlet	: 4 "
Lubang Kontrol	: 25 cm X 25 cm (jumlah 3 buah)
Bahan	: Fiberglass
Waktu Tinggal	: 5-8 jam

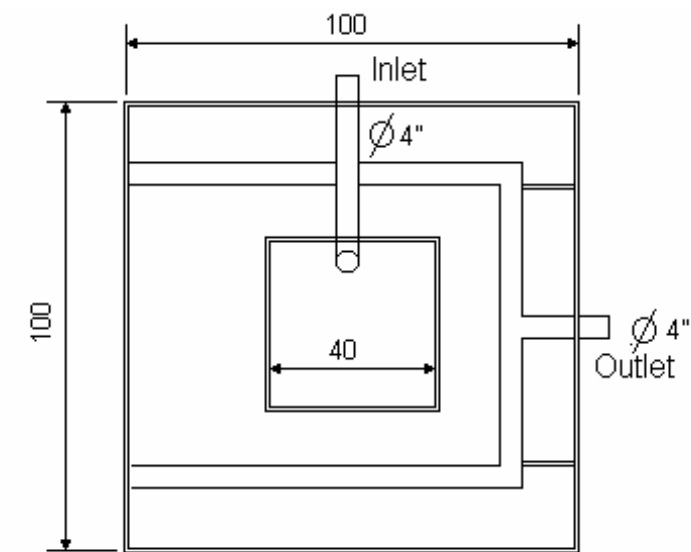
Disain bak pengurai anaerob ditunjukkan seperti pada Gambar 12.a, 12.b dan 12.c.



Gambar 12.a : Bak pengurai anaerob, tampak atas.



Gambar 12.b : Bak pengurai anaerob, potongan melintang A-A.

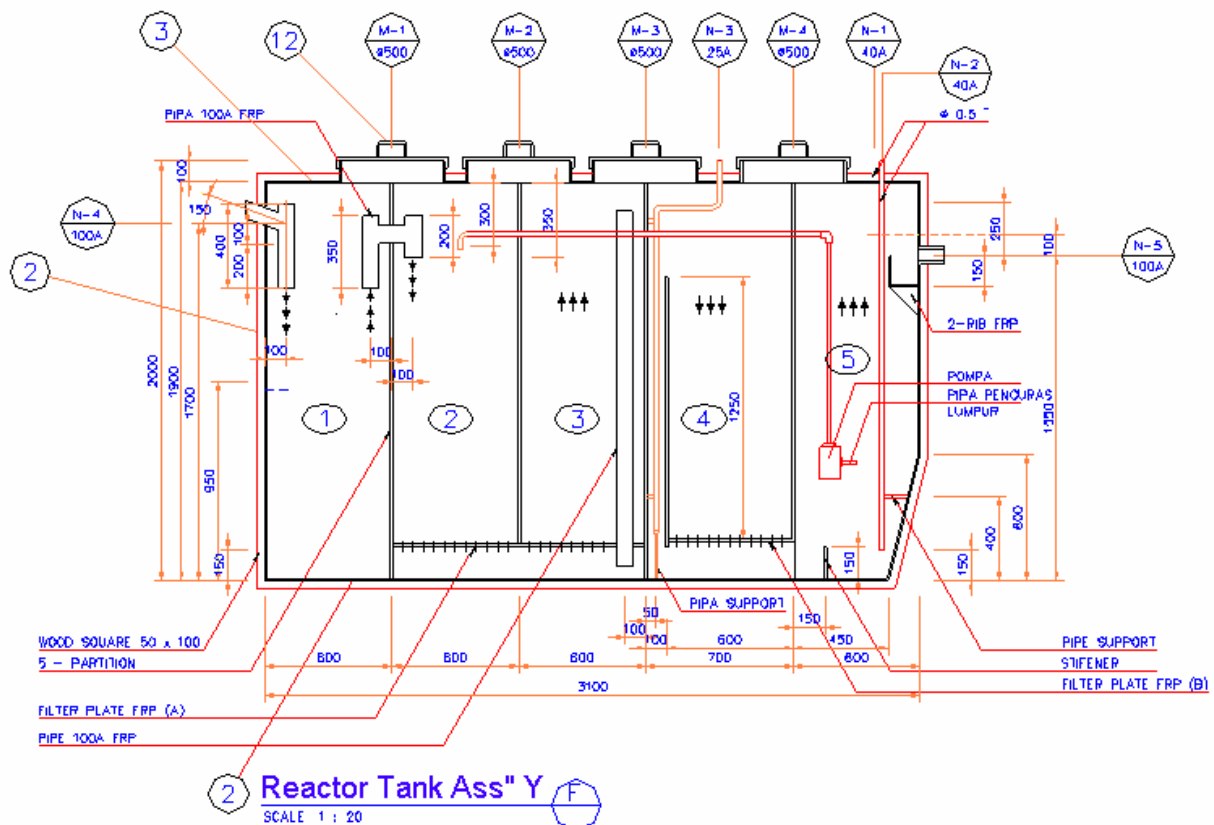


Gambar 12.c : Bak pengurai anaerob, potongan B-B.

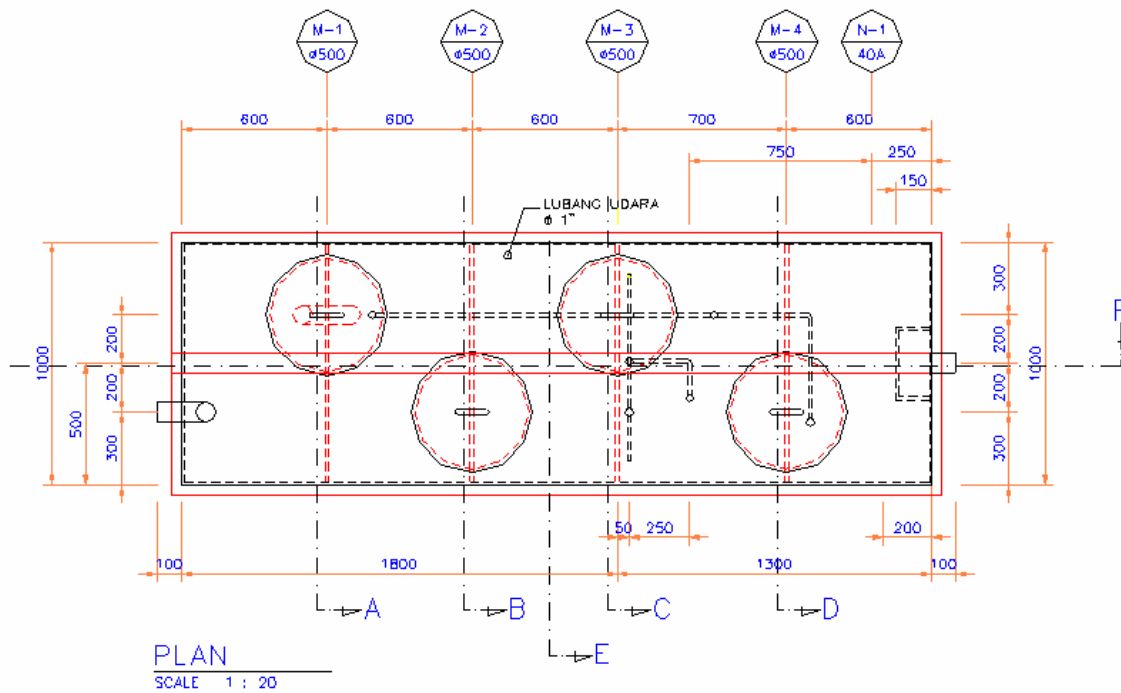
Bak Pengolahan Lanjut

- Dimensi : 100 cm x 310 cm x 210 cm
- Diameter inlet : 4 "
- Diameter Outlet : 4 "
- Lubang Kontrol : 60 cm X 60 cm (jumlah 4 buah)
- Bahan : Fiberglass (FRP)
- Waktu Tinggal : 16 24 jam
- Media Biofilter : Tipem Sarang Tawon
- Bahan : PVC
- Spesifik Area : $\pm 200 M^2/M^3$
- Diameter Lubang : 2 cm

Disain bak pengolahan lanjut ditunjukkan seperti pada gambar rancangan prototipe alat pengolahan air limbah domestik dengan sistem biofilter anaerob-aerob (Gambar 13a-b.)



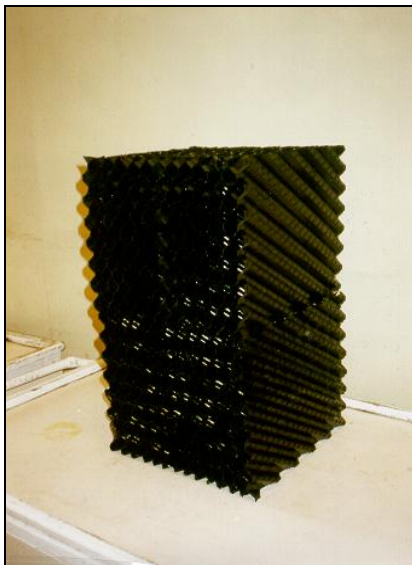
Gambar 13a. Potongan melintang



Gambar 13b. Tampak Atas

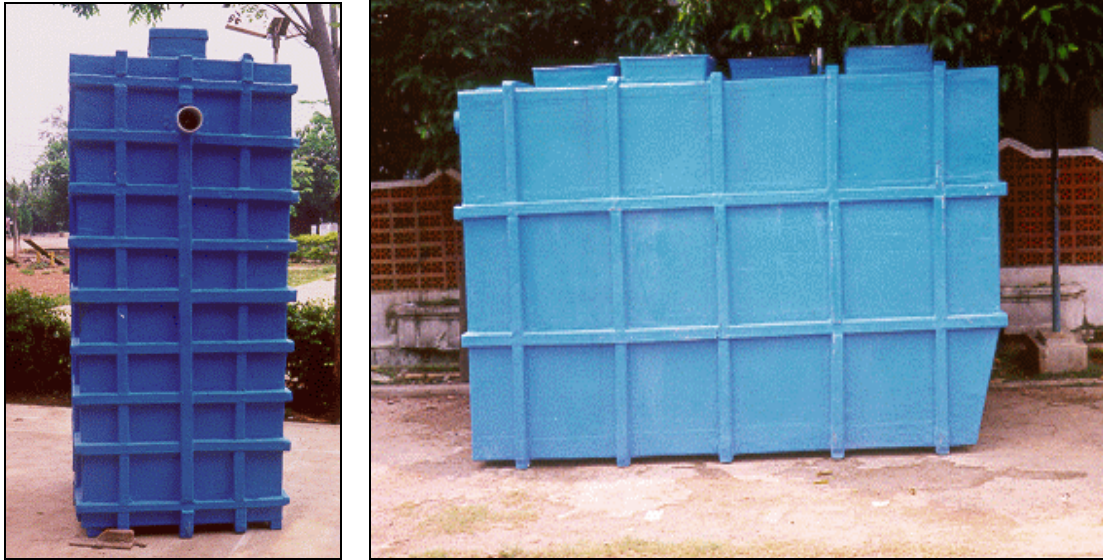
Media Biofilter

Media biofilter yang digunakan untuk percobaan adalah media dari bahan PVC dengan bentuk sarang tawon. Spesifikasi teknis media biofilter yang digunakan adalah sebagai berikut :



Ukuran Modul	: 30 ^{cm} x 25 ^{cm} x 30 ^{cm}
Ukuran Lubang	: 2 cm x 2 cm
Ketebalan	: 0,5 mm
Luas Spesifik	: ± 150 m ² /m ³
Berat	: 30-35 kg/m ³
Porositas Rongga	: 0,98
Warna	: Hitam

Gambar 14: Media plastik sarang tawon untuk pembiakan mikro-organisme untuk menguraikan zat organik.



Gambar 15 : Bak pengurai anaerob dan bak pengolahan lanjut sebelum dipasang.

Uji Coba Alat

Uji coba proses pengolahan dengan kondisi anaerobik dilakukan dengan tanpa proses aerasi maupun tanpa sirkulasi. Dengan demikian maka proses di dalam bak pengurai anaerobik maupun bak pengolahan lanjut berada dalam kondisi anaerob. Berdasarkan pengamatan secara fisik (dengan mata), pada awal proses yakni pengamatan setelah tiga hari operasi, proses penguraian sudah mulai berjalan. Hal ini dapat dilihat dari timbulnya bau yang menyengat pada bak pengurai anaerob dan juga pada bak pengolahan lanjut.

Setelah proses berjalan sekitar dua minggu, mikroorganisme sudah mulai tumbuh atau berkembang biak di dalam reaktor. Di dalam bak pengendapan awal sudah mulai terlihat lapisan mikro organisme yang menempel pada permukaan media. Mikro organisme tersebut sangat membantu menguraikan senyawa organik yang ada di dalam air limbah.

Dengan berkembang-biaknya mikro organisme atau bakteri pada permukaan media maka proses penguraian senyawa polutan yang ada di dalam air limbah menjadi lebih efektif. Selain itu, setelah proses berjalan beberapa tiga minggu pada permukaan media kontaktor plastik sarang tawon yang ada di dalam zona anaerob maupun zona aerob, telah diselimuti oleh lapisan mikroorganisme meskipun masih sangat tipis.. Dengan tumbuhnya lapisan mikroorganisme tersebut maka proses penyaringan padatan tersuspensi (SS) maupun penguraian senyawa polutan yang ada di dalam air limbah menjadi lebih baik.

Hal ini secara fisik dapat dilihat dari air limpasan yang keluar dari zona anaerob sudah cukup jernih, dan buih atau busa yang terjadi di zona aerob (bak aerasi) sudah sangat berkurang. Sedangkan air olahan yang keluar secara fisik sudah sangat jernih. Sedangkan hasil analisa kualitas air limbah sebelum dan sesudah pengolahan., tanpa proses tanpa aerasi dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 : Hasil analisa air sebelum dan sesudah Pengolahan secara anaerob

No	PARAMETER	KONSENTRASI AIR LIMBAH (mg/l)	KONSENTRASI AIR OLAHAN (mg/l)	EFISIENSI (%)
1	BOD	334.75	85	74.5
2	COD	1826	450	75.4
3	Organik (KMnO ₄)	-	-	-
4	Total SS (suspended solids)	250	40	84
5	NH ₄ -N	79.45	-	-
6	Nitrit	ttd	-	-
7	Nitrat	0.24	-	-
8	Sulfida	9.11	4.10	55
9	Sulfat	ttd	28.6	-
10	pH	7,0	7.4	-

Setelah operasi berjalan 4 minggu

Dari hasil analisa kualitas air limbah sebelum dan sesudah pengolahan pada kondisi proses tanpa aerasi menunjukkan bahwa dengan proses secara anaerobik didapatkan efisiensi penghilangan BOD 74,5 %, COD 75,4 % dan efisiensi penghilangan padatan tersuspensi (SS) 84 %.

Jika dilakukan kombinasi proses anaerobik dan aerobik, proses pengolahan akan berjalan lebih baik. Dari hasil uji coba kombinasi proses pengolahan anaerobik-aerobik, dapat menurunkan konsentrasi BOD dari 585 mg/l menjadi 62 mg/l, COD turun dari 1252 mg/l menjadi 148 mg/l, dan padatan tersuspensi (SS) turun dari 429 mg/l menjadi 26 mg/l. Dengan kombinasi proses biofilter anaerob-aerob didapatkan efisiensi penghilangan BOD 89,4 %, COD 88,2 % dan SS 94 % (Tabel 6).

Tabel 6.
Hasil analisa air sebelum dan sesudah pengolahan dengan proses anaerob-aerob

No	PARAMETER	KONSENTRASI AIR LIMBAH (mg/l)	KONSENTRASI AIR OLAHAN (mg/l)	EFISIENSI (%)
1	BOD	585	62	89.4
2	COD	1252	148	88.2
3	Organik (KMnO ₄)	-	-	
4	Total SS (suspended solids)	429	26	94
5	NH ₄ -N	33,03	15,6	53
6	pH	7.4	8.2	-

Setelah proses berjalan 2 bulan.

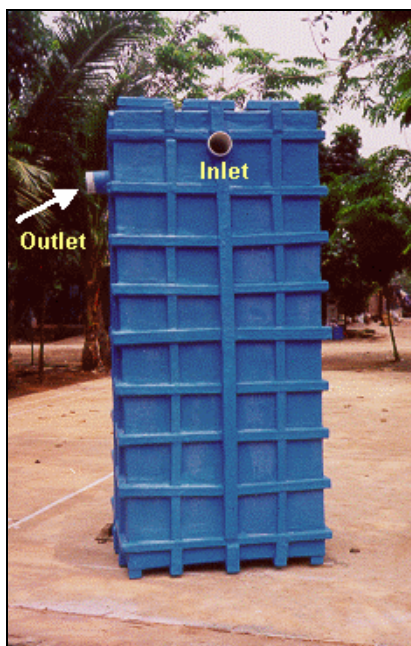
PENUTUP

Beberapa keunggulan proses pengolahan air limbah dengan biofilter anaerob-aerob antara lain yakni pengeoperasiannya sangat mudah dan biaya operasinya rendah, lumpur yang dihasilkan relatif sedikit, dapat menghilangkan nitrogen dan fosfor yang dapat menyebabkan eutropikasi, suplai udara untuk aerasi relatif kecil, dapat digunakan untuk air limbah dengan beban BOD yang cukup besar, dan dapat menghilangkan padatan tersuspensi (SS) dengan baik. Untuk kapasitas pengolahan air limbah 10 M³/hari hanya membutuhkan energi listrik untuk blower udara 40 watt dan untuk pompa sirkulasi 25 watt.

LAMPIRAN

Pembangunan Percontohan Alat

Percontohan unit alat pengolahan air limbah industri tahu-tempe dibangun di lokasi Pusat Industri Kecil Tahu-tempe, Semanan, Jakarta Barat. Unit percontohan alat tersebut digunakan untuk mengolah air limbah yang bersasak dari empat pengrajin tempe. Kapsaitas pengolahan adalah 6-10 M³/hari.



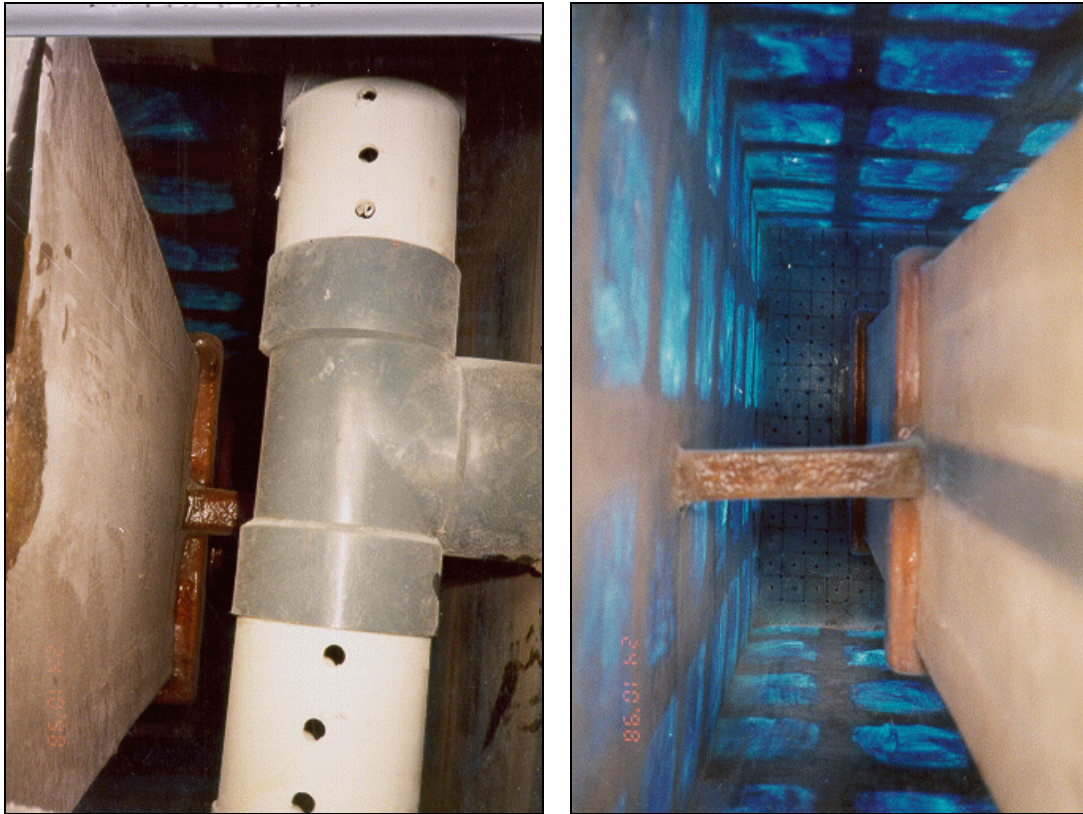
Bak pengurai anaerob sebelum dipasang.



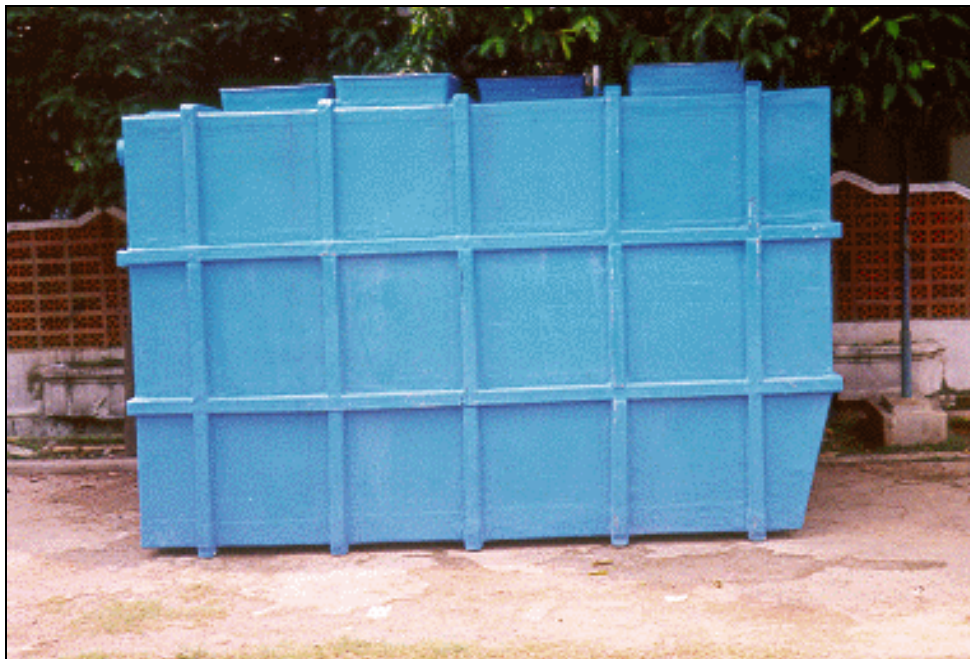
Bak pengurai anaerob bagian atas.



Konstruksi bagian inlet pada bak pengurai anaerob.



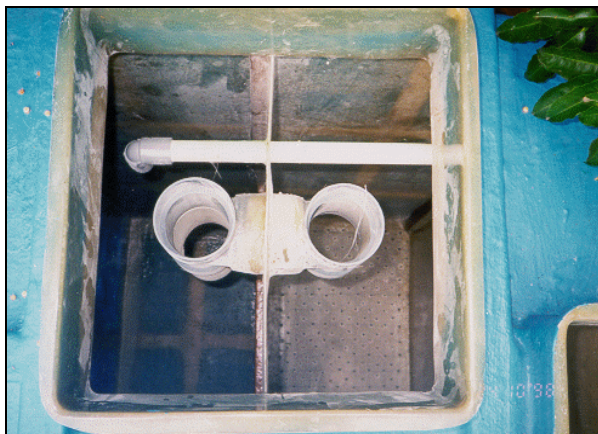
Konstruksi bagian outlet dan bagian dalam pada bak pengurai anaerob.



Bak reaktor pengolahan lanjut.



Inlet pada bak rekator pengolahan lanjut.



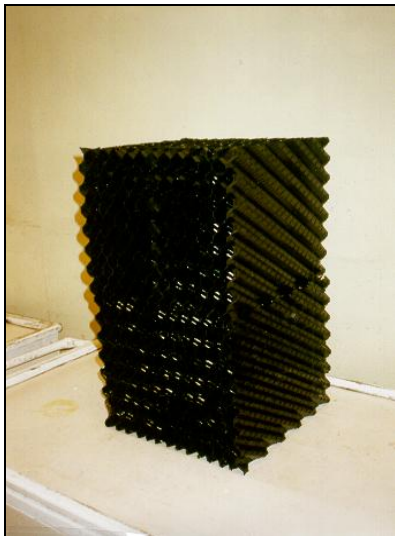
Lubang kontrol pada bak rekator pengolahan lanjut.



Konstruksi bagian dalam bak rekator pengolahan lanjut.



Pemasangan bak pengurai anaerob dan bak reaktor pengolahan lanjut.



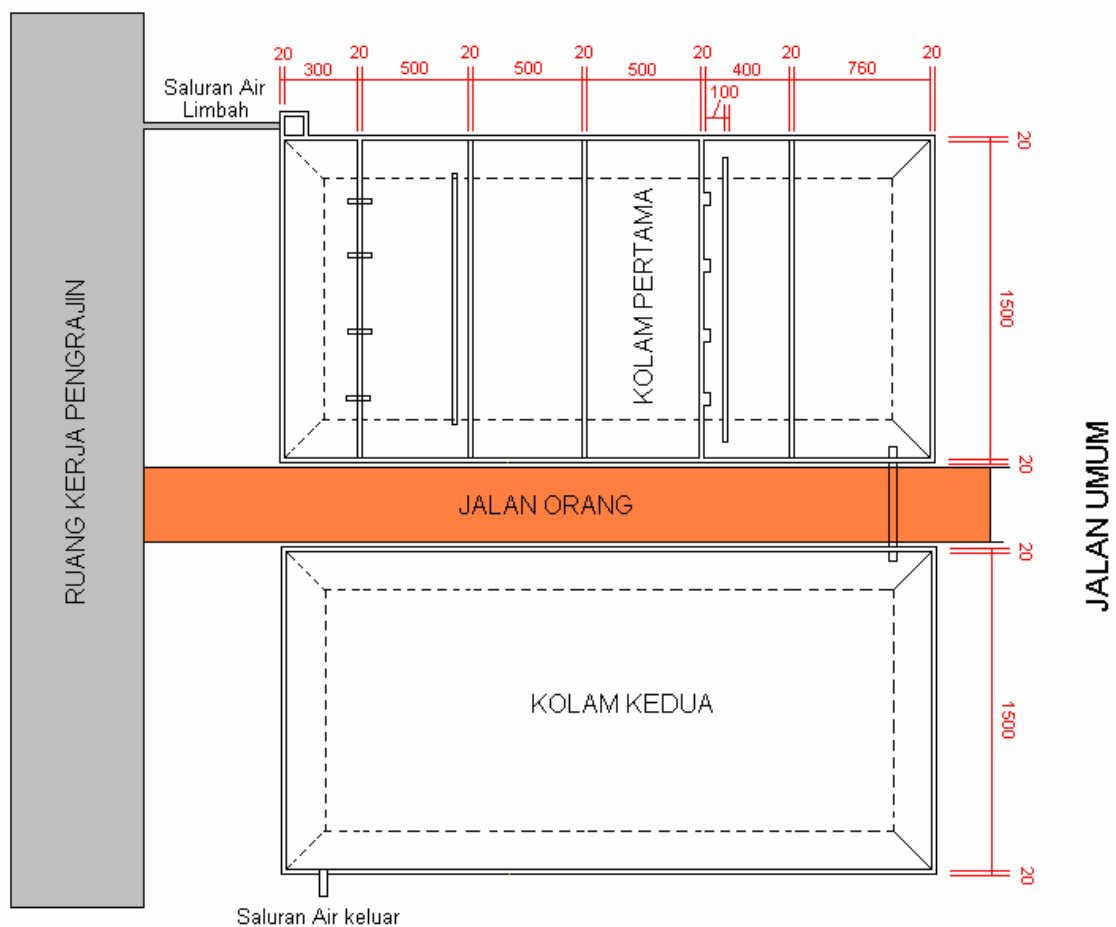
Media untuk pembiakan mikroorganism dari bahan PVC dengan bentuk sarang tawon



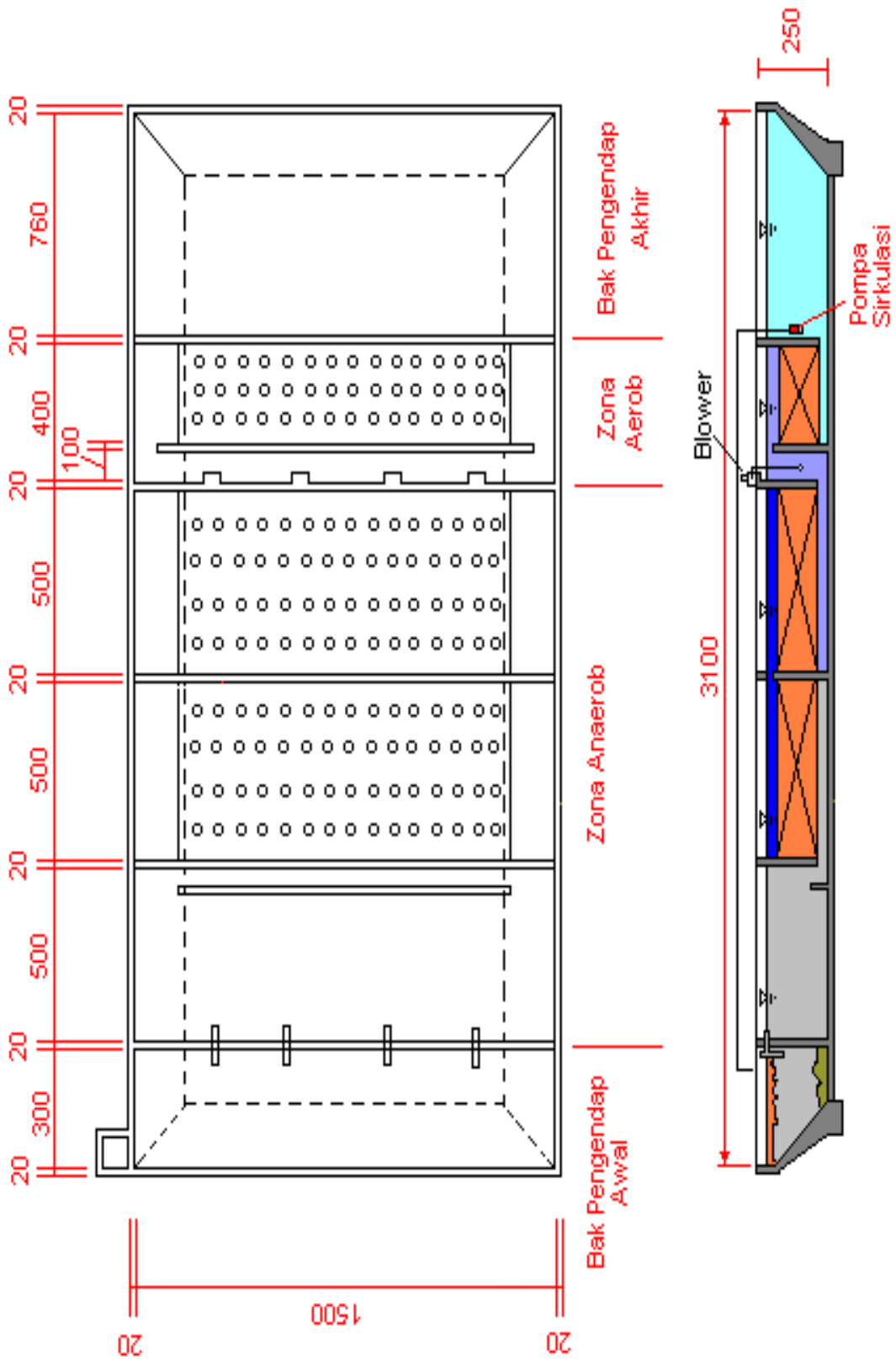
Blower dan pompa sirkulasi

Desain Alat Pengolahan Limbah Tahu-Tempe "Kombinasi Biofilter Anaerob-Aerob" Di Sentra Industri Semanan, Jakarta Barat

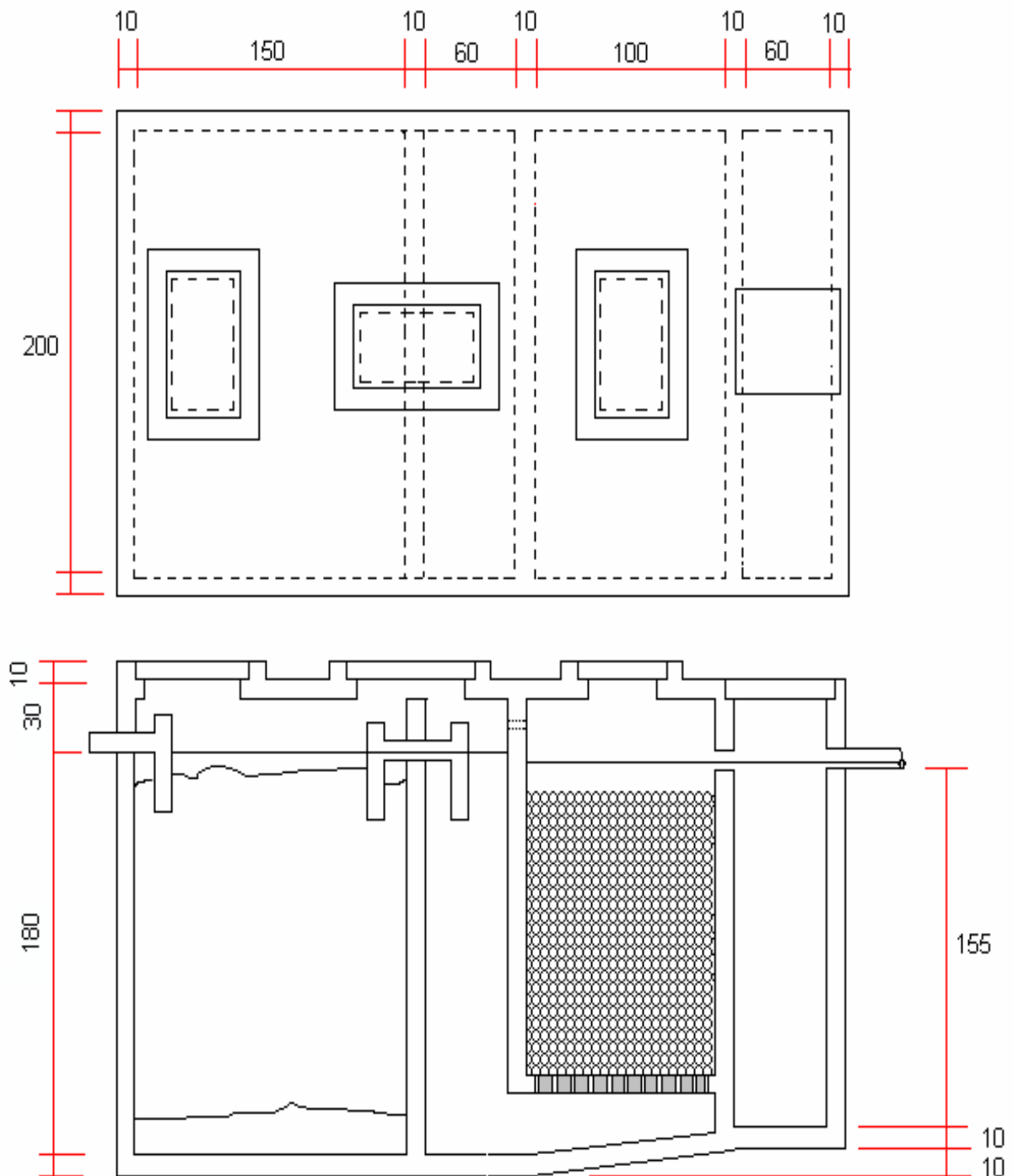
Salah satu contoh rancangan alat pengolahan air limbah tahu-tempe dengan sistem kombinasi biofilter anerob-aerob, kapasitas pengolahan 864 m³/hari yang akan di terapkan di PIK Tahu-Tempe Semanan, Jakarta Barat ditunjukkan seperti pada gambar di bawah ini :



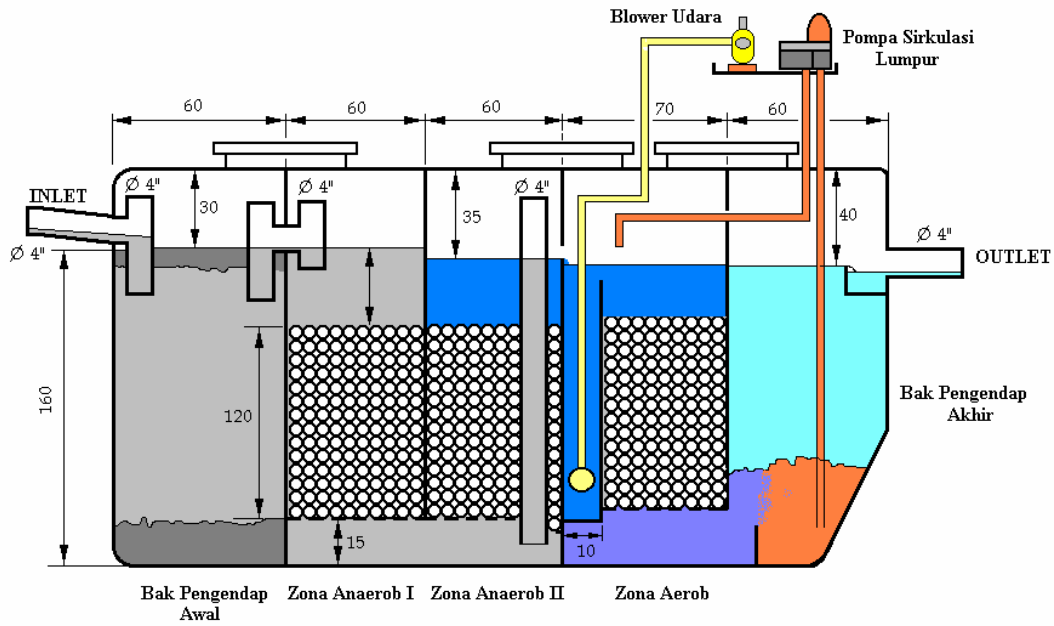
Gambar tampak atas rencana instalasi pengolahan air limbah tahu-tempe, kapsitas 864 M³/hari.



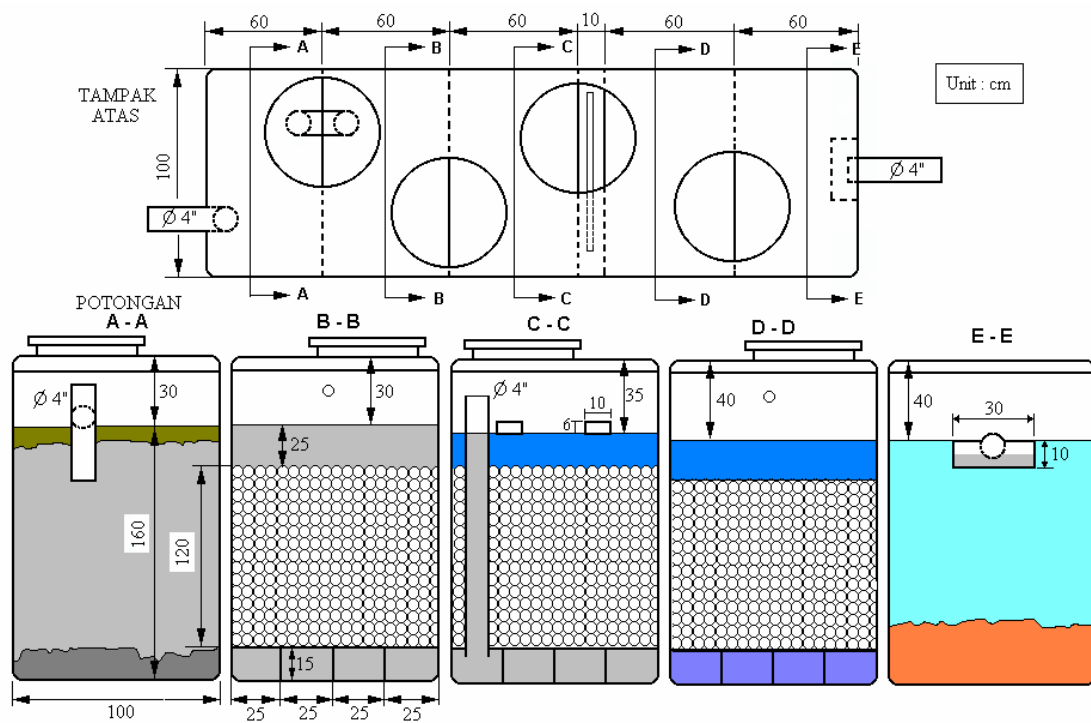
Gambar penampang melintang rencana instalasi pengolahan air limbah tahu-tempe, kapasitas 864 M³/hari.



Gambar penampang melintang rancangan sederhana bak pengurai Anaerob skala kecil, kapasitas 3-6 M³/hari



PENAMPANG MELINTANG



Keterangan : gambar tidak menurut skala

Gambar : Rancangan prototipe alat pengolahan air dengan sistem biofilter anaerob-aerob, kapasitas 3-6 M³/hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Abel. P.D. 1989. Water Pollution Biology, Ellis Horwood Limited, Chichester, West Sussex, England.
- Achsin Utami. 1992. Evaluasi Biodegradability Dari Air Limbah Untuk Menentukan Pengolahannya, Sub. Dir. Pengendalian dan Mitigasi Bencana, BPPT, Jakarta.
- Alaerts, G. Dan Santika, S.S. 1987. Metode Penelitian Air. Usaha Nasional. Surabaya.
- APHA (American Public Health Association) 1985. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. Washington, D.C.1462 p.
- Eva Ernita. 1995. Isolasi Senyawa-Senyawa Isoflavon dari Limbah Tahu, FMIPA Jurusan Kimia, IPB.
- FATETA. 1981. Studi Pengembangan Pengolahan Limbah Tahu, Laporan Penelitian (tidak diterbitkan), Kerjasama Direktorat Industri Kecil dan Fateta, IPB.
- Gabriel Bitton. 1994. Wastewater Microbiology, A John Wiley & Sons, INC., New York.
- Hartati, Sri. 1994. Pemanfaatan Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes* (Mart) Solms) dan Kayambang (*Salvinia molesta* D.S. Mitchell) sebagai Biofilter Dalam Menurunkan BOD₅ dan COD pada Limbah Cair Pabrik Tahu. Skripsi. Fakultas Biologi UNSOED, Purwokerto.
- Komarawidjaja, W 1995. Aktivitas Mikroba Aerob pada Pengolahan Limbah secara Biologis Industri Tekstil P.T. Unitex Tesis Program Pascasarjana IPB, Bogor. 103 p.
- Kuswardani, I. 1985. Mempelajari Kemungkinan Pemanfaatan Limbah Cair Tahu sebagai Media Untuk memproduksi Enzim Amiloglukosidase dari kapang yang diisolasi dari singkong (*Manihot* sp.). Thesis Sarjana, Jurusan TPG, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB, Bogor. Hal 6
- Lay. B.W. dan Hastowo .S. 1994. Analisis Mikroba di Laboratorium, Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Mahida, U.N 1986. Pencemaran Air dan Pemanfaatan Industri. Penerbit Rajawali, Jakarta. 543 p.
- Menteri Negara KLH 1991. Keputusan Menteri Negara Kependudukan Dan Lingkungan Hidup. Nomor : Kep-03/MENKLH/11/1991, tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan, Jakarta.
- MetCalf dan Eddy. 1991. Waste Water Engineering, Mc Graw Hill.
- Nuraida, L 1985. Pengamatan Terhadap Rangkaian Produksi tahu pada Industri Kecil Tahu di Bondongan Kodya Bogor. Laporan KKN FATETA IPB, Bogor. 96 p.

- Nurhasan dan B. Pramudyanto.1987. Pengolahan Air Buangan Industri Tahu. Yayasan Bina Lestari dan WALHI, Semarang. 37 p.
- Pelczar M.J. Jr. dan Chan. E.C.S. 1986. Dasar-Dasar Mikrobiologi, UI-Press, Jakarta.
- PPLH. 1982.Undang-undang Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 1982,Tentang Ketentuan-ketentuan Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup. Kantor Menteri Negara PPLH Jakarta, 30 hal.
- Prakarindo. 1996. Collecting Data Air Limbah, Pengolahan Tahu Tempe dan Penyusunan the Low Cost PIK KOPTI SEMANAN, DPU DKI Jakarta.
- PUSBANGTEPA 1989. Tahu Tempe, Pembuatan, Pengawetan dan Pemanfaatan Limbah. Puslitbang Teknologi Pangan IPB, Bogor. 33 p.
- PUSBANGTEPA. 1996. Pengembangan Industri Kecil Menengah Tempe, Modul 01-10, Kerjasama Kantor Menteri Negara Urusan Pangan RI dan PUSBANGTEPA (tidak diterbitkan) , IPB.