

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

2.1.1 Karakteristik Air Limbah Tahu

Pengolahan limbah cair industri pada hakekatnya adalah suatu perlakuan tertentu yang harus diberikan pada limbah cair sebelum limbah tersebut terbuang ke lingkungan penerima limbah.

Hasil samping dari proses pembuatan tahu yaitu berupa limbah padat dan limbah cair. Limbah padat industri tahu dihasilkan dari proses penyaringan dan penggumpalan. Sedangkan limbah cair tahu berasal dari proses pembuatan, penyaringan, penekanan, pencucian kedelai, pencucian peralatan, dan air bekan rendaman kedelai. Limbah cair tahu berupa cairan kental yang telah terpisah dari gumpalan tahu disebut dengan air dadih (Ratnani, 2011).

Sebagian besar sumber limbah cair yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu adalah cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu yang disebut dengan air dadih (whey). Cairan ini mengandung kadar protein yang tinggi dan dapat segera terurai. Limbah cair ini sering dibuang secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu sehingga menghasilkan bau busuk dan mencemari sungai.

Limbah cair tahu memiliki kandungan bahan – bahan organik yang tinggi dan sedikit mengandung senyawa anorganik. Senyawa – senyawa organik tersebut dapat berupa protein, karbohidrat, lemak dan minyak. Dari senyawa-senyawa organik yang terkandung dalam air buangan industri tahu, protein dan lemak memiliki jumlah yang paling tinggi dimana protein mencapai 40 – 60 %, karbohidrat 25 – 50 % dan lemak 10% . Tingginya konsentrasi bahan organik dalam limbah cair tahu dapat menyebabkan terjadinya penurunan kandungan oksigen dalam air sehingga COD dan BOD dalam air tinggi (Ratnani, 2011)

Sumber limbah cair lainnya berasal dari pencucian kedelai, pencucian peralatan proses, pemasakan dan larutan bekas rendaman kedele. Jumlah air limbah tahu yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu kirakira 15-20 l / kg bahan baku kedelai, sedangkan beban pencemarannya kira-kira sebesar 30 kg

Total Suspended Solids (TSS) / kg bahan baku kedelai , Biological Oxygen Demand (BOD) 65 gr / kg bahan baku kedelai dan Chemical Oxygen Demand (COD) 130 gr/ kg bahan baku kedelai.

1. Total Suspended Solids (Padatan Total tersuspensi) adalah zat-zat padat tersuspensi yang tersisa sebagai residu dalam suatu bejana, bila sampel air dalam bejana tersebut dikeringkan pada suhu tertentu.
2. Biological Oxygen Demand (kebutuhan oksigen biologis) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan atau mengoksidasikan hampir semua zat organik yang terlarut dan sebagian zat-zat organik yang tersuspensi dalam air.
3. Chemical Oxygen Demand atau kebutuhan oksigen kimia, merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis.
4. pH (Puissance de Hydrogen) pH adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan (Kadir, 2015).

Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Dan / Atau Kegiatan Usaha Lainnya pada Lampiran I dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Industri Tahu

Parameter	Kadar Maksimum	
	Nilai	Satuan
BOD 5	150	mg / L
COD	300	
TSS	100	
pH	6-9	

(Sumber: Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013)

2.1.2 pH (Puissance de Hydrogen)

pH (Puissance de Hydrogen) adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. Nilai pH mempunyai range skala 0 hingga 14. Air dikatakan netral bila mempunyai pH dengan nilai 7. Artinya larutan atau air mengandung konsentrasi yang seimbang antara ion H^+ dan OH^- . Substansi yang mempunyai pH kurang dari 7 dikatakan bersifat asam dan mengandung lebih banyak H^+ dibandingkan dengan ion OH^- . Substansi dengan pH lebih rendah dikatakan lebih bersifat asam dan substansi dengan pH lebih dari 7 dikatakan bersifat basa. Nilai pH 7 – 8,5 merupakan kisaran nilai yang ideal untuk produktifitas biologi, sedangkan nilai pH dibawah 4 akan merugikan bagi kehidupan akuatik. Kebanyakan organisme akuatik tidak menyukai kisaran fluktuasi harian pH yang lebar karena pada kondisi ini akan berdampak pada kematian organisme. Oleh karena itu, air dengan kisaran fluktuasi pH yang rendah akan lebih mendukung bagi kehidupan akuatik (Ekubo dan Abowei, 2011).

2.1.3 Chemical oxygen demand (COD)

COD atau biasa diartikan kebutuhan oksigen kimia adalah kebutuhan oksigen kimia untuk mengoksidasi zat-zat organik dalam air oleh senyawa senyawa oksidator kuat kalium bikromat, ($K_2Cr_2O_7$), asam sulfat pekat, dan perak sebagai katalis. Secara lebih sederhana, COD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan semua bahan organik dalam air. Nilai yang di hasilkan oleh COD akan selalu lebih besar daripada nilai yang di hasilkan BOD karena lebih banyak senyawa yang lebih mudah teroksidasi secara kimia daripada secara biologi (Siregar, S. A. 2005).

Angka COD merupakan ukuran pada pencemaran air dari zat-zat organis yang secara alamiah dapat dioksidasikan menggunakan proses mikrobiologis, dan menyebabkan menurunnya nilai oksigen yang terlarut dalam air. Analisa COD tidak sama dengan analisa BOD tapi perbandingan antara angka COD dengan angka BOD dapat ditetapkan seperti pada tabel berikut (Aji, 2017):

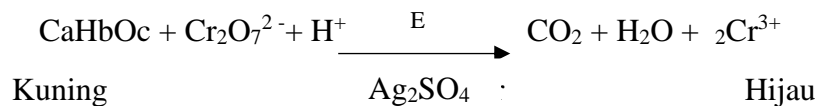
Tabel 2.2 Rasio BOD/COD

Jenis Air	BOD5/COD
Air buangan domestik (penduduk)	0,40-0,60
Air buangan domestik setelah pengendapan primer	0,60
Air buangan domestik setelah pengolahan secara biologis	0,20
Air sungai	0,10
Air beracun industri organis tanpa keracunan	0,5-0,65
Air buangan industri inorganik atau beracun	0,0-0,2

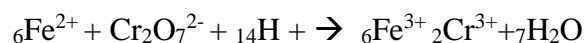
(Sumber: Aji, 2017)

Analisa COD pada prinsipnya merupakan analisis untuk mengetahui jumlah oksigen yang dibutuhkan dalam mengoksidasi bahan-bahan organik melalui reaksi kimia, karena bahan organik dapat menurunkan konsentrasi oksigen terlarut di dalam air, maka semakin besar konsentrasi COD maka semakin besar pula polutan yang ada di badan air tersebut. Standart baku mutu maksimum COD adalah 25 ppm atau 25 mg/lit:

Sebagian besar zat organik melalui tes COD ini dioksidasi oleh $K_2Cr_2O_7$ dalam keadaan asam yang mendidih optimum (Aji, 2017):



Perak sulfat (Ag_2SO_4) ditambahkan sebagai katalisator untuk mempercepat reaksi. Sedangkan merkuri sulfat ditambahkan untuk menghilangkan gangguan klorida yang pada umumnya ada di dalam air buangan untuk memastikan bahwa hampir semua zat organik habis teroksidasi maka zat pengoksidasi $K_2Cr_2O_7$ masih harus tersisa sesudah direfluks. $K_2Cr_2O_7$ yang tersisa menentukan berapa besar oksigen yang telah terpakai. Sisa $K_2Cr_2O_7$ tersebut ditentukan melalui titrasi dengan Ferro Ammonium Sulfat (FAS). Reaksi yang berlangsung adalah sebagai berikut.



Indikator ferroin digunakan untuk menentukan titik akhir titrasi yaitu disaat warna hijau biru larutan berubah menjadi coklat merah. Sisa $K_2Cr_2O_7$ dalam larutan blanko adalah $K_2Cr_2O_7$ awal, karena diharapkan blanko tidak mengandung zat organik yang dioksidasi oleh $K_2Cr_2O_7$ (Aji, 2017):

2.1.4 Total Suspended Solid (TSS)

Padatan tersuspensi adalah padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut dan tidak dapat langsung mengendap, terdiri dari partikel partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari sedimen, misalnya tanah liat, bahan-bahan organik tertentu, sel-sel mikroorganisme, dan sebagainya (Nasution, 2008). Padatan tersuspensi total (*Total Suspended Solid* atau TSS) adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter $> 1\mu m$) yang tertahan pada saringan *milli-pore* dengan diameter pori $0.45\mu m$ (Effendi, 2003).

Total suspended solid (TSS) adalah jumlah padatan tersuspensi (mg) dalam satu liter air. Padatan tersuspensi terdiri dari senyawa-senyawa anorganik dan organik yang larut dalam air dan mempunyai ukuran lebih kecil dari padatan tersuspensi (Manik, 2018). TSS adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal $2\mu m$ atau lebih besar dari ukuran partikel koloid (Lukisworo, 2011). TSS adalah salah satu parameter yang digunakan untuk pengukuran kualitas air. Pengukuran TSS berdasarkan pada berat kering partikel yang terperangkap oleh filter, biasanya dengan ukuran pori tertentu. Umumnya, filter yang digunakan memiliki ukuran pori $0,45\mu m$ (Clescerl, 1905).

TSS merupakan residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal atau lebih besar dari ukuran partikel koloid. Bagian yang termasuk TSS adalah lumpur, tanah liat, logam oksida, sulfida, ganggang, bakteri dan jamur. TSS umumnya dihilangkan dengan flokulasi dan penyaringan. TSS memberikan kontribusi untuk kekeruhan (*turbidity*) dengan membatasi penetrasi cahaya untuk fotosintesis dan visibilitas di perairan sehingga nilai kekeruhan tidak dapat dikonversi ke nilai TSS (Manik, 2018).

Kekeruhan adalah kecenderungan ukuran sampel untuk menyebarkan cahaya, Sementara hamburan diproduksi oleh adanya partikel tersuspensi dalam sampel. Kekeruhan adalah murni sebuah sifat optic pola dan intensitas sebaran akan berbeda akibat perubahan dengan ukuran dan bentuk partikel serta materi.

TSS adalah semua zat padat atau partikel-partikel yang tersuspensi dalam air, dapat berupa komponen hidup (biotik) seperti *fitoplankton*, *zooplankton*, bakteri, ataupun komponen mati (abiotik) seperti *detritus* dan partikel-partikel anorganik. Rumus menghitung TSS dari data *survey* lapangan adalah sebagai berikut (Andini, V. M. 2015):

$$TSS (mg/l) = (Tb - Ta) / v$$

TSS = Total Suspended Solid (mg/l)

Ta = Berat kertas saring awal (mg)

Tb = Berat kertas saring akhir (mg)

V = Volume air yang disaring (l)

2.1.5 Asam Asetat

Fermentasi asam asetat adalah fermentasi aerobik atau respirasi oksidatif, yaitu, respirasi dengan oksidasi berlangsung tidak sempurna dan menghasilkan produk-produk akhir berupa senyawa organik seperti asam asetat. Proses ini dilakukan oleh bakteri dari genus *acetobacter* dan *glucobacter*. Kondisi respirasi oksidatif ini dapat dilakukan dengan kultur murni, tetapi kondisinya tidak selalu aseptis oleh karena pH yang rendah serta adanya alkohol dalam media merupakan faktor penghambat bagi mikroorganisme lain selain *Acetobacter ascety* (Bergey, 2020). Mekanisme fermentasi asam asetat ada 2 yaitu fermentasi alkohol dan fermentasi asam asetat. Pada fermentasi alkohol mula-mula gula yang terdapat pada bahan baku akan dibongkar oleh khamir menjadi alkohol dan gas Oz yang berlangsung secara anaerobik. Setelah alkohol dihasilkan maka dilakukan fermentasi asam asetat, dimana bakteri asam asetat akan mengubah alkohol menjadi asam asetat. Kandungan asam organik seperti asam laktat dan asam asetat pada Eco-Enzyme bermanfaat menghambat pertumbuhan bakteri (Kadarin Putri Dellisa et al, 2023)

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Eco – Enzym

Eco-enzyme, disebut juga enzim sampah adalah larutan organik yang dihasilkan dari fermentasi sederhana limbah sayuran dan buah segar dengan penambahan gula dan air dan pada prosesnya melibatkan mikroorganisme selektif seperti ragi dan bakteri (Thirumurugan, 2016).

Fermentasi ini menghasilkan cuka seperti cairan dengan protein alami, garam mineral, dan enzim yang membuatnya sangat serbaguna. Pada tahun 2006, seorang peneliti dari Thailand bernama Rosukun mengembangkan solusi dari produk yang menggunakan limbah padat organik dan menamakannya enzim sampah (Arun & Sivashanmugam, 2015). Enzim ini merupakan bahan organik komposit yang tersusun dari asam organik, rantai protein (enzim), dan garam mineral (Neupane & Khadka, 2019). Kelebihannya adalah proses pembuatannya sederhana, bahan mudah didapat, membantu mengurangi jumlah sampah, dan kondusif untuk perlindungan lingkungan.

Menurut Neupane & Khadka (2019), eco-enzyme berbeda dengan enzim yang ada di dalam buah dan bukan untuk konsumsi manusia. Ini adalah cairan bermanfaat yang disiapkan melalui fermentasi yang tepat. Eco-enzyme digunakan sebagai pembersih skala rumah tangga yang alami, penyegar udara, insektisida, deterjen, perawatan tubuh, pupuk organik, dan lain-lain. Dapat juga sebagai penghilang bau dan melarutkan udara beracun yang dikeluarkan dari asap rokok, knalpot mobil, bahan kimia, dan produk rumah tangga. Eco-enzyme telah dipatenkan oleh Sirilak Narongtanupone, Peter Nelson Wainman, dan Areerat Lertamornchaikul. Paten tersebut terdaftar di United States Patent pada Maret 2017. Penemuan ini mengungkapkan metode untuk memproduksi enzim ramah lingkungan dari limbah dapur dan termasuk dalam bidang pengolahan limbah. Penemuan ini menyebutkan limbah organik dapur sebagai bahan baku, seperti buah-buahan dan sayuran yang ada, juga daging. Adanya bau asam khas yang segar tersebut, karena produk eco – enzym yang telah di produksi mengandung gugus karboksilat melalui proses esterifikasi dan menghasilkan hasil akhir asam asetat (Muninggar., 2020).

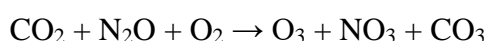
Hasil proses ini dapat memanfaatkan jenis limbah yang berbeda sebagai bahan baku fermentasi. Proses ini secara berurutan terdiri dari langkah-langkah berikut:

1. Menyiapkan bahan yaitu gula, limbah organik dapur, dan air dengan perbandingan 1:3:10;
2. Mencampur gula dan air dalam perbandingan lalu memasukkan campuran tersebut ke dalam wadah kedap udara dengan penutup, dan aduk merata;
3. Menyesuaikan nilai pH larutan campuran menjadi 4-6 dengan larutan asam sitrat;
4. Melakukan fermentasi anaerob secara kedap udara selama 3-6 bulan; dan
5. Menyaring campuran setelah proses fermentasi selesai. Dalam metode yang diungkapkan oleh penemuan, limbah organik dapur digunakan sebagai bahan baku fermentasi (Narongtanupone et al., 2017).

Pada eco enzim pH menunjukkan kategori dibawah 4, memenuhi standar yang baik dalam pembuatan eco-enzime (Putra & Suyas, 2022), rendahnya produk eco-enzim disebabkan oleh kandungan asam organik yang tinggi. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya dimana secara kimia eco-enzim bersifat asam dengan pH antara 3 sampai 4 (Rochyani et al., 2020), Eco - enzyme mengandung sejumlah besar bakteri probiotik dan enzim. Karena dibuat secara tertutup, bau yang dihasilkan dari fermentasi bahan organik tidak dapat hilang dan tidak dapat mengalir keluar. Proses fermentasi pupuk fermentasi adalah: gula (komponen utamanya adalah sukrosa) hidrolisis menjadi glukosa, setelah menambahkan ragi (jika diperlukan), dapat mempercepat dekomposisi glukosa menghasilkan alkohol, dan bakteri asetat mengubah alkohol menghasilkan asam asetat. Menurut paten juga disebutkan bahwa eco-enzyme setelah fermentasi mengandung sejumlah besar mikroorganisme menguntungkan dan bahan organik yang melimpah, seperti nitrogen, fosfor, kalium, dan ragi yang mana dapat menghasilkan koloni probiotik dari beberapa enzim dekomposisi katalitik, sehingga penyebaran bakteri patogen dapat ditekan. Selain itu, semua produk fermentasi memiliki sifat antioksidan yang baik. Dalam cairan enzim, kandungan protein meningkat seiring dengan lamanya waktu fermentasi. Hal ini disebabkan

karena pemanfaatan mikroorganisme pengurai dari limbah organik dapur membuat protein terlarut pada limbah terlarut dalam cairan fermentasi secara bertahap. pH yang sesuai menyediakan lingkungan tumbuh yang cocok untuk mikroorganisme sehingga mempercepat fermentasi.

Seperti yang telah dijelaskan di atas, enzim sampah dihasilkan dari fermentasi anaerobik dan melibatkan penggunaan gula. Menurut Rohmah et al., (2020) Warna eco – enzim sangat berbeda antara satu dengan yang lainnya, tergantung dengan bahan yang kita gunakan. Meskipun eco-enzyme diproduksi oleh mikroorganisme asli yang terdapat dalam limbah buah/sayur, terkadang ragi roti atau *Saccharomyces cerevisiae* juga digunakan selama fermentasi (Teo dkk., 2021). Wadah plastik kedap udara digunakan untuk menciptakan lingkungan anaerobik. Tidak adanya oksigen dan sifat asam pada larutan menciptakan lingkungan yang cocok untuk produksi eco-enzyme (Patel dkk., 2021). Menambahkan gula dalam bentuk gula merah, gula putih, atau tetes tebu (molase) membantu pertumbuhan mikroorganisme dengan memberikan nutrisi (Barman dkk., 2022). Semakin tinggi kadar gula, volume yang dihasilkan semakin tinggi (Teo dkk., 2021). Dengan perkembangan proses, gas dilepaskan karena aktivitas mikroba yang menyebabkan gelembung terbentuk di dalam wadah (Patel dkk., 2021). Menurut Rusdianasari dkk. (2021), karbohidrat diubah menjadi asam volatil. Saat pH turun, asam organik larut ke dalam larutan fermentasi. Glukosa terurai menjadi asam piruvat, yang pada akhirnya diurai menjadi asetaldehida oleh piruvat dekarboksilase. Asetaldehida diubah menjadi etanol dan karbon dioksida oleh alkohol dehidrogenase. Bakteri *Acetobacter* mengubah alkohol menjadi asetaldehida dan air, setelah itu asetaldehida akhirnya diubah menjadi asam asetat. Reaksi yang terlibat dalam produksi cairan multifungsi ini adalah (Muliarta & Darmawan, 2021):



2.2.2 Bahan Eco – Enzym

1. Buah Nanas

Buah nanas mengandung banyak manfaat pada hampir semua bagiannya. Kandungan buah nanas yaitu vitamin C, thiamin, riboflavin, niacin, asam

panthotenic, vitamin B-6, asam folat, kolin, betaine, vitamin A, beta karoten, vitamin K, serotonin, dan enzim bromelin (Kurniawati, 2019). Kulit nanas mengandung vitamin C, karotenoid dan flavonoid. Selain itu kulit buah nanas mengandung tanin, saponin, steroid, fenol, karbohidrat, terpenoid, alkloid, fenol, antrakuinon dan asam amino (Rini, 2016).

2. Buah Jeruk

kandungan yang terdapat pada buah jeruk seperti karbohidrat, kalsium, fosfat, thiamin, vitamin B6 dan vitamin C yang tinggi, magnesium, fosfor, niacin, tembaga, asam pantotenat, dan sebagainya (Hasibuan, dkk., 2017). Pemanfaatan daging buah nanas banyak diminati karena mengandung banyak manfaat yang dibutuhkan oleh tubuh manusia. Kandungan buah tropis memiliki banyak kandungan antioksidan yang tinggi. Selain itu juga mengandung banyak vitamin C (Febrianti, dkk., 2015). Sedangkan pada kulit buah jeruk mengandung yaitu vitamin dan mineral seperti vitamin C, protein, asam amino, nitrogen (N), kalsium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K), belerang (S) paling tinggi justru yang terdapat pada bagian kulit jeruk jika dibandingkan dengan daging buah atau sari buah jeruk (Agustin, dkk., 2019).

3. Sawi Putih

Makanan fermentasi kimchi terbuat dari sawi putih. Sayuran yang dikenal dengan nama petsai atau sawi cina ini memang lebih mudah dibedakan dibanding jenis sayuran cruciferous lainnya. Nama latin dari petsai yaitu *Brassica rapa* (Pekinensis Group).

Jika diperhatikan, bentuk sawi putih sangat menarik. Daunnya memiliki warna gradasi, yaitu bagian bawahnya hijau keputihan dan bagian atasnya hijau terang. Tekstur daunnya bergelombang tidak rata mengikuti tulang daun dengan tepi yang juga tidak rata. Kemudian, bagian batangnya berwarna putih dengan bentuk lebar, berserat, dan mengerucut di ujung Menurut data pangan Kemenkes RI, (2018), dalam 100 gram petsai mengandung beberapa nutrisi yang penting untuk tubuh, seperti:

- a) **Makronutrien:** Energi (Energi): 9 Kalori, Protein (Protein): 1,0 gram, Lemak (Lemak): 0,1 gram, Karbohidrat (CHO): 1,7 gram, Serat (Fiber): 0,8 gram
- b) **Mineral:** Kalsium (Ca): 56 miligram, Fosfor (P): 42 miligram, Besi (Fe): 1,1 miligram, Natrium (Na): 5 miligram, Kalium (K): 193,1 miligram, Tembaga (Cu): 0,05 miligram, Seng (Zn): 0,1 miligram
- c) **Vitamin dan antioksidan:** Beta-Karoten (Karoten): 862 mikrogram, Total Karoten (Re): 832 mikrogram, Thiamin (Vit. B1): 0,05 miligram, Riboflavin (Vit. B2): 0,18 miligram, Niasin (Niasin): 0,4 miligram, Vitamin C (Vit. C): 3 miligram

4. Sawi Hijau

Sawi hijau adalah sekelompok tumbuhan dari marga Brassica yang dimanfaatkan daun sebagai bahan pangan (sayuran), baik segar maupun diolah. Sawi hijau juga biasanya disebut dengan sawi bakso, caisim, atau caisin.

Tidak seperti kangkung yang daunnya berada di setiap cabang, *caisin* memiliki daun oval tunggal yang lebar dan panjang. Daun sayuran hijau ini terhubung dengan batang yang di bagian ujungnya menempel dengan batang lainnya. Menurut data pangan Kemenkes RI, (2018), dalam 100 gram caisin mengandung beberapa nutrisi yang penting untuk tubuh, seperti:

- a) **Makronutrien:** Energi (Energi): 20 Kalori, Protein (Protein): 1,7 gram, Lemak (Lemak): 0,4 gram, Karbohidrat (CHO): 3,4 gram, Serat (Serat): 1.2 gram
- b) **Mineral :**Kalsium (Ca): 123 miligram, Fosfor (P): 40 miligram, Besi (Fe): 1,9 miligram, Natrium (Na): 18 miligram, Kalium (K): 358,2 miligram, Tembaga (Cu): 0,05 miligram, Seng (Zn): 1,4 miligram
- c) **Vitamin dan antioksidan:** Beta-Karoten (Karoten): 1,675 mikrogram, Total Karoten (Re): 4,188 mcg, Thiamin (Vit. B1): 0,04 miligram, Riboflavin (Vit. B2): 0,19 miligram, Niasin (Niasin): 0,6 miligram, Vitamin C (Vit. C): 3 miligram (Prambudi, 2018)

5. Tetes Tebu

Tanaman tebu merupakan salah satu biomassa yang menjadi sumber karbohidrat dan bahan baku produksi gula. Hampir semua bagian dari tebu dapat dimanfaatkan, salah satunya air tebu yang diproduksi menjadi gula. Gula tebu merupakan karbohidrat sederhana dengan jenis sukrosa atau dapat termasuk ke dalam disakarida. Produksi gula tebu pada industri akan menghasilkan produk samping/limbah berupa ampas tebu (Amin dkk., 2019), molase (tetes tebu), sisa gas buang, hingga protein yang berasal dari sari dan pucuk tebu (Afrah, 2019). Hasil samping berupa molase ini mengandung kadar gula yang tinggi dan kadar air rendah sehingga akan sangat baik untuk difermentasikan sehingga menghasilkan etanol (Rossi dkk., 2021).

2.2.3 Fermentasi

Fermentasi merupakan proses untuk menghasilkan energi yang dapat berlangsung secara aerobik dengan diperlukannya oksigen dalam proses maupun anaerobik dengan tanpa oksigen dalam proses. Proses-proses fermentasi yang sudah berkembang dalam penanganan limbah organik padat antara lain:

1. pengomposan
2. fermentasi untuk menghasilkan pakan ternak
3. fermentasi dalam bio-digester yang menghasilkan gas metan dan
4. fermentasi untuk menghasilkan pupuk cair.

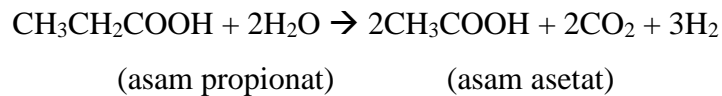
Proses fermentasi pada bahan organik dapat dioptimalkan dengan cara menambahkan nutrisi sebagai makanan bagi mikroorganisme di awal proses. (Mudiarta et al., 2018), sudah melakukan penelitian dampak penambahan nutrisi pada fermentasi bahan organik yang berupa urine sapi serta sludge bioslurry. Kunaepah (2008) menyatakan pemberian nutrisi pada proses fermentasi dengan menambahkan glukosa sebagai sumber karbon juga berpengaruh terhadap aktivitas mikroorganisme. Glukosa merupakan substrat yang mudah dicerna dan dimanfaatkan untuk pertumbuhan mikroorganisme di awal proses fermentasi, sehingga populasi mikroba meningkat. Pengaruh lama atau cepatnya proses fermentasi disebabkan oleh peningkatan aktivitas mikroorganisme akibat penambahan nutrisi. Selain itu, Suhartana et al. 2017, Aritonang et al. 2021.

melakukan penelitian optimasi proses fermentasi dengan menambahkan proses sirkulasi udara di biomassa yang difermentasikan. Hasil penelitian adalah oksigen yang diberikan pada biomassa mempercepat proses fermentasi.

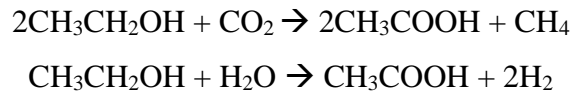
2.2.4 Proses Anaerob

Proses fermentasi anaerob pada dasarnya adalah proses yang mengubah senyawa organik menjadi metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) tanpa kehadiran oksigen (O_2). Dekomposisi senyawa organik melalui proses anaerob ini terjadi melalui tiga tahapan proses, yaitu tahap reaksi hidrolisis, tahap reaksi pembentukan asam, dan tahap reaksi pembentukan metana. Reaksi hidrolisis merupakan proses pelarutan senyawa organik yang mulanya tidak larut dan proses penguraian senyawa tersebut menjadi senyawa dengan berat molekul yang cukup kecil untuk dapat melewati membran sel. Reaksi ini dikatalis oleh enzim yang dikeluarkan oleh bakteri anaerob. Zat-zat organik seperti polisakarida, lemak, dan protein, dihidrolisa menjadi gula dan asam-asam amino. pH yang optimal untuk berlangsungnya proses anaerobik berkisar antara pH 6 - pH 7.5. Pada sistem anaerobik, asam organik sudah akan terbentuk pada pertama fermentasi. Apabila proses oksidasi asam organik tersebut lebih lambat dari proses pembentukannya maka dapat dimengerti bila konsentrasi asam organik dalam sistem akan meningkat dan mempengaruhi besarnya pH (pH turun). Proses pembentukan asam melibatkan dua golongan besar bakteri, yaitu bakteri asidogenik dan bakteri asetonogenik. Bakteri asidogenik pada mulanya memfermentasikan hasil hidrolisa menjadi asam-asam lemak volatil berantai pendek seperti asam asetat, asam propionat, asam butirat, H_2 , CO_2 , asam laktat, asam valerat, etanol, amonia, dan sulfida. Konsentrasi H_2 memegang peranan penting dalam mengontrol proporsi

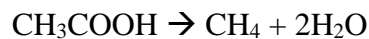
asam propionat, asam butirat, alkohol, dan beberapa senyawa aromatik menjadi asam asetat dengan persamaan reaksi berikut ini :



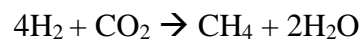
Etanol sebagai produk bakteri asidogenik diuraikan menjadi asam asetat melalui reaksi-reaksi sebagai berikut :



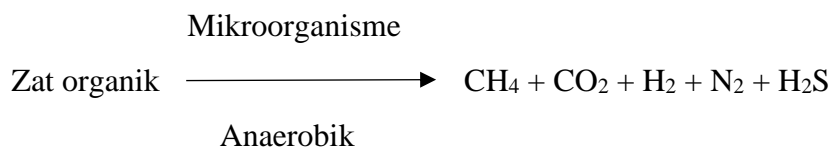
Contoh bakteri yang diperkirakan mampu untuk berfungsi sebagai bakteri asetogenik antara lain *Syntrophobacter wolinil* dan *Syntrophomonas wolifil*. Bakteri penghasil metana memerlukan potensial redoks yang lebih rendah dari pada bakteri anaeroblain untuk pertumbuhannya. Oleh sebab itu kehadiran oksigen dalam konsentrasi tinggi dicegah dengan pembiakan bakteri pada kondisi potensial reduksi yang rendah. Bakteri metana asetosiklik mengubah asam asetat menjadi campuran karbon dioksida dan metana sesuai dengan reaksi berikut :



Bakteri ini tumbuh sangat lambat dengan waktu penggandaan minimum 2-3 hari. Bakteri metana pengonsumsi hidrogen mendapatkan energi untuk pertumbuhannya dari reaksi sebagai berikut :



Bakteri ini mengubah hampir seluruh hidrogen yang ada dalam sistem. Pertumbuhannya cukup lambat dengan waktu penggandaan sekitar 6 jam. Beberapa contoh bakteri penghasil metana antara lain *Methanobacterium formicum*, *Methanobacterium mobilis*, *Methanobacterium propionicum*, *Methanobacterium ruminantium*, *Methanobacterium sohngeniei*, *Methanobacterium anniellii*, *Methanobacterium bakteri*, dan *Methanobacterium methanica* (Sani, 2006.) Degradasi zat organik secara mikrobiologi dalam lingkungan anaerobik hanya dapat dilakukan oleh mikroorganisme yang dapat menggunakan molekul selain oksigen sebagai akseptor hidrogen. Dekomposisi anaerobik menghasilkan biogas yang terdiri atas gas metana (50-70%), CO₂ (25-40%) dan sejumlah kecil H₂S. Reaksi kimia secara keseluruhan disederhanakan sebagai berikut:



Konversi substrat organik menjadi CO₂ dan CH₄ dibawah kondisi anaerob memerlukan kehadiran 3 kelompok bakteri yang saling bergantung untuk menghasilkan fermentasi yang tetap. Kelompok pertama dikenal sebagai bakteri fermentatif, terdiri dari bermacam-macam bakteri terutama obligate anaerob. Kelompok ini memerlukan hidrolisa substrat organik kompleks menggunakan enzim ekstraseluler menjadi komponen yang lebih sederhana. Kelompok kedua dikenal sebagai bakteri asetogenik penghasil hidrogen. mengkatabolis semua komponen karbon yang lebih dari 2 atom karbon menjadi asetat, H₂, dan CO₂. Kelompok bakteri terakhir adalah methanogens, mengkatabolis asetat, CO₂, dan H₂ untuk menghasilkan gas CH₄ dan CO₂. Kemampuan mikroorganisme untuk mengkonversi sebagai molekul kompleks menjadi CO₂ dan CH₄ biasanya terdiri dari 3 kelompok:

- a) Organisme hidrolisis-fermentatif
- b) Organisme acetogen
- c) Organisme methanogens

Kelompok pertama dapat bertindak dan beroperasi sendiri, tidak tergantung pada kelompok b dan c. Kelompok acetogen dan methanogens sangat tergantung satu sama lainnya, sehingga sering disebut sebagai asosiasi atau konsorsium metanogenik (Sani, 2006).

2.2.5 Proses Anaerob Pada Air Limbah Tahu dan Eco Enyme

Eco Enzyme merupakan produk limbah organik hasil fermentasi yang terdiri dari limbah kulit buah, gula merah dan air. Sayali et.al (2019) menemukan bahwa Eco-Enzyme memiliki kemampuan untuk mempercepat reaksi kimia dan juga bertindak sebagai katalis biologis. Eco-Enzyme memiliki kandungan Asam Propionat (C₃H₆O₂) yang tinggi, yang secara efektif menghambat pertumbuhan mikroba, mengandung Asam Asetat (CH₃COOH) yang merusak organisme, kaya akan Nitrat (NO₃) dan Karbonat (CO₃), dan diduga bekerja sebagai katalis dalam

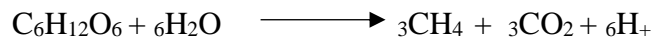
mempercepat dekomposisi, komposisi dan transformasi bahan organik menjadi zat yang lebih sederhana (Rasit et.al, 2019).

Enzim yang terdapat dalam eco enzim adalah enzim protease, lipase dan amilase yang berfungsi mempercepat peruraian protein, lemak dan karbohidrat yang terkandung dalam limbah (Sri Widyastuti1 et.al, 2023). Bioremediasi dengan eco enzim menunjukkan berbagai mekanisme seperti oksidasi, reduksi, eliminasi, dan pembukaan cincin. Pendegradasi polutan yang signifikan dapat ditingkatkan dengan memanfaatkan mikroorganisme hasil rekayasa genetika yang menghasilkan banyak enzim rekombinan melalui teknologi baru yang ramah lingkungan.

Pengolahan biologi yang digunakan yaitu dengan pengolahan anaerob, sehingga dihasilkan pula produk dari pengolahan ini yaitu biogas. Pada pengolahan anaerob salah satu faktor yang perlu diperhatikan adalah pH, dimana untuk menunjang pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri yang mendekomposisi air limbah diperlukan pH yang netral (6,4-7,8). Kondisi pH yang netral dilakukan dengan menambahkan larutan buffer pH 8 yang terbuat dari KH_2PO_4 0,1 M dan NaOH 0,2 M. Kandungan zat organik eco enzim yang tinggi, memang tidak dapat digunakan untuk menghilangkan TDS, akan tetapi eco enzim dapat digunakan sebagai alternatif bantuan pengolahan terdesentralisasi dalam pengolahan air limbah domestik. Eco enzim digunakan untuk mengolah efluen sambil mempertahankan kisaran pH netral efluen di badan air. Eco enzyme merupakan solusi untuk mengolah alir limbah organik. Menurut Safrida, dkk (2023), produksi jamur pitera pada Eco-enzyme mulai muncul pada retang waktu 2-10 hari setelah pembuatan. Sifat asam dapat sebagai pemecah molekul organik dari bentuk tidak larut menjadi bentuk larut sehingga mudah dilakukan pengolahan lebih lanjut (Salvi sahil dan samiksha kerker, 2020). Sifat katalitik amilase yang dianggap bersifat asam dan kondisi yang tepat untuk peningkatan aktivitas enzim tersebut (Arun, C., & Sivashanmugam, P., 2015).

Ketika air limbah tahu dimasukkan dengan eco enzim, eco enzim akan bekerja untuk memecah zat-zat organik dalam limbah tersebut menjadi bentuk yang lebih sederhana seperti air dan karbon dioksida melalui proses biokimia.

Reaksi kimia menggambarkan proses fermentasi anaerobik glukosa (C₆H₁₂O₆) yang menghasilkan metana (CH₄), karbon dioksida (CO₂), dan ion hidrogen (H⁺).



Pada proses pengolahan anaerob pH terdapat proses pembentukan asam yang berakibat turunnya nilai pH. Tetapi pH dapat terjaga karena adanya buffer sehingga apabila terjadi kelebihan asam dalam reaktor akan langsung dinetralkan oleh penyangga. Dalam metode pengolahan limbah secara biologis, enzim hidrolitik mikroba memainkan peran penting dalam pengeringan dan pengurangan kandungan padatan lumpur dengan mengurangi senyawa organik, menghilangkan organisme patogen dan bau. Metode biologis meningkatkan stabilitas limbah untuk pemanfaatan atau pembuangan lebih lanjut (Sri Widyastuti1 et.al, 2023). Penambahan langsung mikroorganisme untuk stabilisasi akan berkontribusi pada sejumlah besar biomassa, sehingga meningkatkan volume lumpur; sebaliknya dapat dikurangi dengan menambahkan enzim secara langsung, yang bertanggung jawab terhadap proses degradasi (Sri Widyastuti1 et.al, 2023). Selain itu, enzim yang kebanyakan berupa protein dan peptida mudah terurai, sehingga tidak akan polutan di badan air. Namun enzim yang dijual secara komersial terlalu mahal, sehingga penggunaan eco enzim menjadi alternatif.

2.3 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No	Nama	Judul	Metode	Hasil
1	(Nurhaida Widiani & Aulia Novitasari, 2023)	PRODUKSI DAN KARAKTERISASI ECO-ENZIM DARI LIMBAH ORGANIK DAPUR	Produksi eco - enzim dilakukan dengan mencampurkan 3 komponen dengan perbandingan 1 : 3 : 10 (1 bagian gula,	Karakterisasi eco-enzim menunjukkan pH sebesar 2,59, TDS sebesar 2840mg/L, TSS sebesar 4,46mg/L,

No	Nama	Judul	Metode	Hasil
			3 bagian limbah dapur organik. 10 bagian air), selanjutnya kedalam wadah tertutup dan disimpan pada tempat yang dingin, kering, sirkulasi udara baik, dan gelap selama 3 bulan.	BOD sebesar 60 mg/L, dan COD sebesar 13100mg/L.
2	(Putri F. Lamato, et al, 2023)	Analisis Aplikasi Eco-Enzyme Terhadap Biochemical Oxygen Demand Dan Chemical Oxygen Demand Pada Limbah Cair Tahu Di Industri Tahu Malalayang	Metodologi yang di gunakan yaitu metode penelitian kuantitatif yang digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel independen yaitu pemberian perlakuan Eco-Enzyme terhadap variabel dependen yaitu hasil pengujian BOD dan COD sebelum dan sesudah perlakuan Eco	Analisis menunjukan pemberian Eco-Enzyme pada limbah cair tahu berpengaruh signifikan terhadap peningkatan nilai BOD dan COD. Hasil uji ANOVA terhadap BOD ditemukan bahwa tingkat signifikansi probabilitas yaitu $0,001 < 0,05$ dan

No	Nama	Judul	Metode	Hasil
			Enzyme	uji ANOVA terhadap COD ditemukan bahwa tingkat signifikansi probabilitas yaitu $0,003 < 0,05$ yang artinya ada hubungan signifikansi antara pemberian kadar Eco-Enzyme dan hasil pengukuran terhadap BOD dan COD.
3	(Sri Widyastuti et al, 2023)	Eco enzim untuk pengolahan air limbah tahu	Melakukan analisis awal kualitas air limbah tahu sebelum diberi eco enzim untuk parameter BOD, COD dan TSS. Menyiapkan 3 reaktor, dimana masing-masing reaktor diisi air limbah tahu sebanyak 1 liter dan ditambahkan	Penurunan BOD tertinggi sebesar 79,75% terjadi pada penambahan eco enzim 10% dengan waktu tinggal 20 hari, Penurunan COD tertinggi sebesar 77,45% terjadi pada penambahan eco enzim 10% dengan waktu tinggal 20 hari,

No	Nama	Judul	Metode	Hasil
			<p>eco enzim dengan konsentrasi masing-masing 10%, 15%, dan 20% kemudian diaduk agar homogen. Reaktor ditutup dengan aluminium foil. Pengambilan sampel untuk analisis BOD, COD dan TSS dilakukan pada hari ke-10, 20 dan 30. Pengujian parameter BOD menggunakan metode analisa Lovibond BOD System BD- 600 Instruction Manual , COD menggunakan metode SNI 6989.2:2019 , dan TSS menggunakan metode SNI 6989.3:2019</p>	<p>Penurunan TSS tertinggi 41,38% terjadi pada hari ke-20 dengan penambahan eco enzim 20%.</p>

No	Nama	Judul	Metode	Hasil
4	(Meilany Beti Cayati, 2020)	Pemanfaatan Sampah Organik Kulit Buah Dan Sisa Sayuran Sebagai “Eco Enzim” Untuk Pengaplikasian Pada Air Limbah Tahu	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh eco enzim hasil dari fermentasi sampah organik kulit buah dan sisa sayuran terhadap kadar BOD, COD, dan TSS pada air limbah tahu. Rancangan Penelitian ini menggunakan penambahan 3 konsentrasi eco enzim pada limbah tahu yaitu eco enzim 10%, eco enzim 15% dan eco enzim 20%. Semua perlakuan di terapkan pada air limbah tahu selama 20 hari dan di uji pada hari ke 10 hari ke 15 dan hari ke 20.	Hasil penelitian eco enzim yang di aplikasikan pada air limbah tahu yang paling efisien adalah penambahan eco enzim 10% pada hari ke 20 dengan nilai BOD= 1256.00 mg/L, nilai COD= 732 MG/L, dan nilai TSS= 136 mg/L. Semakin lama proses pengaplikasian eco enzim pada air limbah penurunan parameter yang dihasilkan semakin kecil. Penambahan 10% eco enzim waktu dikenal sebagai konsentrasi optimal untuk mencapai potensi penghilangan

No	Nama	Judul	Metode	Hasil
				maksimum
5	(Ana Maudatul Khasanah, 2022)	Efektivitas Eco – Enzyme dalam Menurunkan TSS, TDS, Surfaktan pada Limbah Domestik dengan Variasi Proses Anaerob dan Koagulasi - Flokulasi	Penelitian ini menggunakan dua variasi proses secara anaerob dan koagulasi – flokulasi. bahan baku dalam pembuatan eco-enzym adalah sampah sayur (sawi putih, sawi hijau, dan wortel) dan buah (kulit nanas, jeruk, tomat, pepaya) masingmasing 3kg, brown sugar 2 kg, dan air 40 L. Setelah proses fermentasi selesai, selanjutnya dilakukan pencampuran air sungai dengan eco-enzym pada masing-masing bak removal variasi konsentrasi eco-	kandungan dari eco-enzym buah dan sayur. Untuk eco-enzym buah, kadar asam asetat sebesar 0,85 g/ml dan kadar alkohol sebesar 0,20%. Untuk eco-enzym sayur, kadar asam asetat 0,84 g/ml dan alkohol 0,07%. Secara organoleptik larutan ecoenzym buah dan sayur telah memenuhi spesifikasi. Eco-enzym dari kulit buah dapat dikatakan lebih efektif dalam menurunkan parameter TSS, TDS, dan surfaktan dibuktikan pada proses anaerob

No	Nama	Judul	Metode	Hasil
			enzym sayur atau buah sebesar 7,5%; 5,0%; 2,5% dengan waktu tinggal 5, 10, 15 hari	kemampuan menurunkan TSS sebesar 8,70% pada konsentrasi 5,0%, TDS sebesar 62,42% pada konsentrasi 7,5%, dan surfaktan sebesar 98,87% pada konsentrasi 7,5%.