

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Limbah dan Klasifikasinya

Limbah adalah sisa dari suatu usaha maupun kegiatan yang mengandung bahan berbahaya atau beracun yang karena sifat, konsentrasi, dan jumlahnya, baik yang secara langsung maupun tidak langsung dapat membahayakan lingkungan, kesehatan, kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya (Mahida, 1984). Bahan yang sering ditemukan dalam limbah antara lain senyawa organik yang dapat terbiodegradasi, senyawa organik yang mudah menguap, senyawa organik yang sulit terurai (*Rekalsitran*), logam berat yang toksik, padatan tersuspensi, nutrien, mikrobia pathogen, dan parasit (Waluyo, 2010).

Menurut Abdurrahman (2006), berdasarkan wujud limbah yang dihasilkan, limbah terbagi 3 yaitu :

1. Limbah padat

Limbah padat adalah limbah yang memiliki wujud padat yang bersifat kering dan tidak dapat berpindah kecuali dipindahkan. Limbah padat ini biasanya berasal dari sisa makanan, sayuran, potongan kayu, ampas hasil industri, dan lain-lain.

2. Limbah cair

Limbah cair adalah limbah yang memiliki wujud cair. Limbah cair ini selalu larut dalam air dan selalu berpindah (kecuali ditempatkan pada wadah/bak). Contoh dari limbah cair ini adalah air bekas cuci pakaian dan piring, limbah cair dari industri, dan lain-lain.

3. Limbah gas

Limbah gas adalah limbah yang berwujud gas. Limbah gas bisa dilihat dalam bentuk asap dan selalu bergerak sehingga penyebarannya luas. Contoh dari limbah gas adalah gas buangan kendaraan bermotor, buangan gas dari hasil industri.

Limbah cair merupakan gabungan atau campuran dari air dan bahan-bahan pencemar yang terbawa oleh air, baik dalam keadaan terlarut maupun tersuspensi yang terbuang dari sumber domestik (perkantoran, perumahan, dan perdagangan), sumber industri, dan pada saat tertentu tercampur dengan air tanah, air permukaan, ataupun air hujan (Soeparman dan Suparmin, 2002).

Menurut Chandra (2005), limbah cair merupakan salah satu jenis sampah. Adapun sampah (*waste*) adalah zat-zat atau benda-benda yang sudah tidak terpakai lagi, baik yang berasal dari rumah maupun sisa-sisa proses industri. Secara umum limbah cair dapat dibagi menjadi :

1. *Human excreta* (feses dan urine)
2. *Sewage* (air limbah)
3. *Industrial waste* (bahan buangan dari sisa proses industri).

Menurut Soeparman dan Suparmin (2002), limbah cair bersumber dari aktivitas manusia (*human sources*) dan aktivitas alam (*natural sources*). Beberapa aktivitas manusia yang menghasilkan limbah cair diantaranya adalah aktivitas dalam bidang rumah tangga, perkantoran, perdagangan, perindustrian, pertanian dan pelayanan jasa.

Menurut Chandra (2005), air limbah yang tidak menjalani pengolahan yang benar tentunya dapat menimbulkan dampak yang tidak diinginkan. Dampak tersebut antara lain :

1. Kontaminasi dan pencemaran pada air permukaan dan badan-badan air yang digunakan oleh manusia.
2. Mengganggu kehidupan dalam air, mematikan hewan dan tumbuhan air.
3. Menimbulkan bau (sebagai hasil dekomposisi zat anaerobik dan zat anorganik).
4. Menghasilkan lumpur yang dapat mengakibatkan pendangkalan air sehingga terjadi penyumbatan yang dapat menyebabkan banjir.

Menurut Suharto (2011), pengelompokan limbah berdasarkan bentuk atau wujudnya dapat dibagi menjadi empat diantaranya yaitu: limbah cair, limbah padat, limbah gas dan limbah suara. Limbah cair diklasifikasikan dalam empat kelompok diantaranya yaitu:

1. Limbah cair domestik (*domestic wastewater*), yaitu limbah cair hasil buangan dari perumahan (rumah tangga), bangunan, perdagangan dan perkantoran. Contohnya yaitu: air sabun, air detergen sisa cucian, dan air tinja.
2. Limbah cair industri (*industrial wastewater*), yaitu limbah cair hasil buangan industri. Contohnya yaitu: sisa pewarnaan kain/bahan dari industri tekstil, air dari industri pengolahan makanan, sisa cucian daging, buah, atau sayur.

3. Rembesan dan luapan (*infiltration and inflow*), yaitu limbah cair yang berasal dari berbagai sumber yang memasuki saluran pembuangan limbah cair melalui rembesan ke dalam tanah atau melalui luapan dari permukaan. Air limbah dapat merembes ke dalam saluran pembuangan melalui pipa yang pecah, rusak, atau bocor sedangkan luapan dapat melalui bagian saluran yang membuka atau yang terhubung ke permukaan. Contohnya yaitu: air buangan dari talang atap, pendingin ruangan (AC), bangunan perdagangan dan industri, serta pertanian atau perkebunan.
4. Air hujan (*storm water*), yaitu limbah cair yang berasal dari aliran air hujan di atas permukaan tanah. Aliran air hujan di permukaan tanah dapat melewati dan membawa partikel-partikel buangan padat atau cair sehingga dapat disebut limbah cair.

Limbah cair bersumber dari pabrik yang biasanya banyak menggunakan air dalam sistem prosesnya. Selain itu, ada juga bahan baku mengandung air sehingga dalam proses pengolahannya air harus dibuang. Air terikut dalam proses pengolahan kemudian dibuang misalnya ketika dipergunakan untuk pencuci suatu bahan sebelum diproses lanjut. Air ditambah bahan kimia tertentu kemudian diproses dan setelah itu dibuang. Semua jenis perlakuan ini mengakibatkan buangan air.

B. Industri Kecap dan Saos

Industri kecap dan saos adalah jenis industri domestik yang dalam proses pembuatannya menggunakan bahan baku seperti kedelai, gula, dan rempah-

rempah. Sedangkan dalam pembuatan saos bahan baku yang digunakan tepung tapioka, cabe, tomat, pewarna, dan lain-lain. Berdasarkan proses produksinya yang menghasilkan produk utama kecap dan saos juga menghasilkan limbah dalam bentuk cair yang berasal air pencucian botol, air rendaman kedelai (baceman), maupun air dari proses produksi (Indriyati, 1997).

Selain limbah cair, terdapat juga limbah padat berupa ampas kedelai yang dihasilkan dari proses penyaringan untuk membersihkan produk dari padatan yang masih tersisa. Limbah cair organik dari industri kecap dan saos mengandung protein, karbohidrat dan lemak dengan konsentrasi yang cukup tinggi. Bahan organik dalam limbah mengandung sekitar 40%-60% protein, 25%-50% karbohidrat, dan 10% lemak. Limbah cair tersebut ketika langsung dibuang ke badan air akan menimbulkan pencemaran lingkungan. Pencemaran lingkungan yang ditimbulkan adalah bau busuk dan bila dibuang langsung ke sungai akan menyebabkan pencemaran sungai (Indriyati, 1997). Sehingga perlu diolah terlebih dahulu salah satunya dengan cara pengolahan secara biologi yang aman untuk lingkungan dengan menggunakan biota yang memiliki kemampuan dalam pengolahan limbah (Ginting, 1995).

C. PT. Lombok Gandaria dan Limbahnya

PT. Lombok Gandaria merupakan perusahaan yang memproduksi kecap, saos, cuka, dan sirup. Pada awalnya industri ini hanya memproduksi dan melayani konsumen di sekitar tempat tinggalnya. Namun dari tahun ke tahun industri rumah tangga terus mengalami peningkatan jumlah produksi. Semakin banyak jumlah

produksi maka semakin banyak hasil sampingan berupa limbah yang dihasilkan (Wibowo, 2016).

Limbah yang dihasilkan dari hasil sampingan produksi kecap dan saos PT. Lombok Gandaria berupa limbah padat dan limbah cair. Limbah padat yang dihasilkan adalah sisa ampas kedelai, ampas rempah-rempah bahan baku kecap (serai, jahe, lengkuas). Limbah cair yang dihasilkan adalah sisa dari fermentasi basah kedelai (Baceman), air cucian botol, dan air dari proses produksi (Wibowo, 2016).

Limbah padat yang dihasilkan dari proses produksi PT. Lombok Gandaria diolah menjadi pupuk organik dan digunakan perusahaan untuk pemupukan *logan resort*. *Logan resort* merupakan suatu lahan yang digunakan PT. Lombok Gandaria untuk menanam tanaman rempah-rempah yang digunakan sebagai bahan baku produksi. Limbah cair yang dihasilkan juga sudah diolah di IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) PT. Lombok Gandaria. Seluruh limbah cair yang dihasilkan ditampung menjadi satu pada bak penampung dan kemudian diolah sebelum di buang ke badan air (Wibowo, 2016).

Proses pengolahan limbah cair memerlukan waktu selama enam (6) hari sebelum dibuang ke badan air. Proses pengolahan limbah cair dilakukan secara fisika dan biologi. Pengolahan secara fisika dilakukan dengan proses pengendapan secara alami dan penyemprotan di bak *sprayer*. Proses pengendapan ini bertujuan agar partikel-partikel limbah yang padat dapat mengendap. Sedangkan pada proses pengolahan secara biologi, pengolahan limbah cair dilakukan dengan pengolahan dengan bakteri yang berasal dari EM4 pada bak anaerob dan

fitoremediasi dengan menggunakan tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) sehingga ketika dibuang ke badan air limbah sudah sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan. Namun dalam pengolahan secara biologi, belum terdapat bakteri spesifik yang berasal dari limbah cair tersebut yang digunakan dan benar-benar mampu dalam mendegradasi limbah karena belum pernah dilakukan penelitian tentang potensi bakteri indigenus limbah cair industri kecap dan saos yang dihasilkan perusahaan tersebut (Wibowo, 2016).

D. Bioremediasi

Bioremediasi merupakan penggunaan mikroorganisme yang ditumbuhkan pada polutan tertentu sebagai upaya untuk menurunkan kadar polutan tersebut. Pada proses bioremediasi, mikroorganisme memproduksi enzim-enzim yang mampu mengubah struktur polutan beracun atau struktur polutan yang kompleks menjadi tidak kompleks sehingga menjadi metabolit yang tidak beracun dan berbahaya (Priadie, 2012).

Prinsip bioremediasi yaitu memanfaatkan mikroorganisme untuk mendegradasi zat-zat kimia berbahaya yang ada di lingkungan yang tercemar agar kondisi lingkungan pulih seperti kondisi sebelum tercemar. Proses bioremediasi ditentukan oleh kemampuan mikrobial untuk mendegradasi pencemar. Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan kemampuan degradasi mikroba, yaitu pH, temperature (suhu), kelembaban, faktor substrat, oksigen, dan nutrisi (Laksmono dan Mulyadi, 2010).

Menurut Laksmono dan Mulyadi (2010), prinsip dasar proses bioremediasi bahan kimia berbahaya yaitu secara biologis terjadi proses katalisasi kimia. Katalisasi kimia yang terjadi adalah proses perubahan senyawa-senyawa kompleks menjadi senyawa-senyawa lebih sederhana melalui proses enzimatis. Bioremediasi termasuk rumit karena menggunakan katalisator berupa enzim yang disediakan oleh mikroorganisme untuk mempercepat penguraian komponen kimia berbahaya. Komponen kimia tersebut adalah sebagai makanan untuk mikroorganismenya. Reaksi katalisasi ini bisa terjadi di dalam sel dan juga di luar sel. Prinsip dari reaksi metabolisme mikrobiologis untuk menguraikan senyawa organik merupakan suatu reaksi redoks (reduksi-oksidasi) yang dilakukan oleh mikroba untuk menghasilkan energi. Bioremediasi membutuhkan kehadiran sumber energi yang sesuai, sistem donor-aseptor elektron, dan nutrisi (Laksmono dan Mulyadi, 2010).

Kesuksesan dalam bioremediasi tergantung pada ketepatan dari penerapan metode, jenis mikrobia, tempat/kondisi, dan dengan faktor lingkungan yang tepat untuk mendukung proses degradasi. Bioremediasi sendiri memiliki keunggulan dibandingkan teknik konvensional lain seperti *fill* atau insinerasi. Bioremediasi dapat dilakukan di lokasi pencemaran (*in-situ*), biaya lebih murah, menghilangkan limbah secara permanen, waktu yang relatif singkat, dan lebih diterima oleh masyarakat karena ramah lingkungan, serta dapat diikuti dengan perlakuan secara fisik atau metode kimia lainnya. Namun selain memiliki keunggulan bioremediasi juga memiliki kekurangan. Beberapa bahan kimia tidak dapat untuk di biodegradasi, seperti logam berat, dan radio nukleotida serta beberapa senyawa

klorinasi. Dalam beberapa kasus metabolisme, mikrobia dapat menghasilkan metabolit beracun (Boopathy, 2000).

E. Bakteri Pendegradasi Limbah dan Mekanismenya

Organisme perombak bahan organik memegang peranan penting karena sisa organik yang telah mati diurai menjadi unsur-unsur yang dikembalikan ke dalam tanah (N, P, K, Ca, Mg, dan lain-lain) dan atmosfer (CH₄ dan CO₂). Bakteri merupakan makhluk biologi penting yang memiliki kemampuan dalam biodegradasi limbah. Bakteri memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi dan memungkinkan untuk tumbuh pada substrat walaupun lingkungannya tidak memungkinkan organisme lain tumbuh (Bollag dan Bollag, 1992). Bakteri perombak organik merupakan aktivator biologis yang tumbuh alami atau sengaja diberikan untuk mempercepat perombakan bahan organik. Beberapa jenis bakteri yang mampu mendegradasi limbah organik antara lain adalah *Pseudomonas* sp., *Achromobacter* sp., *Bacillus* sp., *Staphylococcus* sp., *Flavobacterium* sp., *Clostridium* sp. *Streptomyces* spp., *Thermonospora* spp., *Microplysora* spp., *Thermoactinomyces* spp., dan lain sebagainya (Zahidah dan Shovitri, 2013).

Reaksi enzimatik oleh bakteri merupakan kunci terselenggaranya proses transformasi bertahap dalam pengelolaan air limbah dari substrat yang umumnya berupa bahan-bahan organik kompleks menjadi unsur-unsur yang sederhana. Reaksi enzimatik diekskresikan ke luar sel dan dapat mengurai limbah. Bakteri pengurai dalam metabolismenya menghasilkan enzim tersebut. Enzim yang dihasilkan bakteri berupa hidrolitik ekstraseluler, yaitu enzim yang diekskresi

keluar sel dan dapat mengurai substrat tertentu. Enzim memiliki kemampuan yang unik untuk mempercepat reaksi kimia tanpa ikut dikonsumsi atau berubah setelah reaksi selesai (Madigan dkk, 2003). Senyawa organik yang terdapat pada air limbah digunakan mikrobia sebagai sumber nutrisi. Mikrobia akan mengurai senyawa-senyawa tersebut menjadi bentuk yang lebih sederhana dan stabil sehingga kadar zat pencemar yang terkandung dalam air limbah tersebut menjadi turun. Polutan dalam limbah akan diurai oleh bakteri sampai volumenya mengecil sehingga dapat mereduksi amilum, protein, menaikkan pH, menurunkan BOD dan COD (Sutanto, 2011).

Menurut Sutanto (2011), proses degradasi bahan organik secara prinsip merupakan proses aerobik dimana senyawa organik dioksidasi menjadi CO_2 , NH_4 , H_2O , dan biomassa baru. Aktivitas bakteri asam dapat menyebabkan kenaikan pH karena NH_4^+ akan berikatan dengan air sehingga terbentuk NH_4OH yang bersifat basa. Reaksi yang ditimbulkan adalah :



Pada limbah industri kecap dan saos terkandung bahan organik seperti karbohidrat, protein, lemak, dan fosfat. Bahan organik tersebut memerlukan enzim yang dihasilkan oleh bakteri indigen dalam penguraiannya. Enzim yang menguraikan karbohidrat meliputi enzim amilase, laktase, selulase (Sutanto, 2011).

Menurut Austin (1988), *Pseudomonas* sp. dan *Bacillus* sp. memiliki kemampuan menghasilkan enzim tunggal maupun beberapa enzim untuk degradasi bahan organik. Hasil penelitian memperoleh bakteri yang memiliki

kemampuan mendegradasi protein. Enzim protease merombak protein menjadi peptida lebih sederhana (asam amino). Pada kebanyakan bakteri, asam glutamat adalah asam amino kunci yang dibentuk dari sumber amonia dan karbon. Banyak pula bakteri yang dapat mereaksikan amonia dengan asam fumarat membentuk aspartat.

F. Parameter Uji Limbah Cair Industri Kecap dan Saos

Berdasarkan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 tentang baku mutu air limbah terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan dalam mengolah limbah cair industri kecap dan saos. Parameter limbah cair kecap dan saos dapat dilihat pada Tabel 1, yaitu BOD₅, COD, TSS, dan pH (derajat keasaman). Pada air limbah industri campuran kecap dan saos nilai baku mutu yang dianjurkan untuk BOD₅ adalah 98,9 mg/L, COD adalah 173,21 mg/L, TSS adalah 97,14 mg/L, pH antara 6-9, dan debit maksimum 503 m³/hari.

Tabel 1. Baku Mutu Air Limbah Industri campuran Kecap dan Saos Menurut Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012

NO.	PARAMETER	KADAR MAKSIMUM (mg/L)	BEBAN PENCEMARAN MAKSIMUM (Kg/ton)
1.	BOD ₅	98,9	49,76
2.	COD	173,21	87,125
3.	TSS	97,14	48,86
4.	pH	6,0-9,0	
5.	Debit Maksimum	503 m ³ /hari	

Sumber: Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012

1. Kebutuhan Oksigen Terlarut (BOD)

Kebutuhan Oksigen Terlarut (BOD) adalah banyaknya oksigen yang diperlukan organisme untuk memecah bahan organik pada kondisi aerobik. Memecah bahan organik berarti bahwa bahan organik digunakan oleh organisme sebagai bahan makanan dan energinya diperoleh berdasarkan proses oksidasi (Pescod, 1973).

Parameter BOD ini umumnya digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran air buangan. Penentuan BOD merupakan suatu prosedur bioassay yang berhubungan dengan pengukuran banyaknya oksigen yang digunakan oleh organisme selama organisme tersebut menguraikan bahan organik yang terdapat dalam suatu perairan. Selama pemeriksaan BOD, contoh yang diperiksa harus bebas dari udara luar. Hal ini dilakukan untuk mencegah kontaminasi dari oksigen yang terdapat di udara bebas. Konsentrasi air buangan/sampel tersebut juga harus berada pada suatu tingkat pencemaran tertentu agar menjaga supaya oksigen terlarut selalu ada pada saat pemeriksaan (Sawyer dan Mc Carty, 1978).

2. *Chemical Oxygent Demand* (COD)

Chemical Oxygent Demand (COD) merupakan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik secara kimiawi. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air (Alaerts dan Santika, 1984).

3. *Total Suspended Solid (TSS)*

Total Suspended Solid (TSS) adalah 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, sulfide, ganggang, bakteri dan jamur. TSS umumnya dihilangkan dengan flokulasi dan penyaringan (Sutrisno dan Suciati, 1987).

Kekeruhan merupakan kecederungan ukuran sampel untuk menyebarkan cahaya. Sementara hamburan diproduksi oleh adanya partikel yang tersuspensi di dalam sampel. Kekeruhan adalah murni sebuah sifat optik pola dan intensitas sebaran akan berbeda akibat perubahan dengan ukuran dan bentuk partikel dari suatu materi (Sugiharto, 1987).

4. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) merupakan nilai yang menunjukkan aktivitas ion hidrogen dalam air. Nilai pH yang terdapat pada limbah dapat menunjukkan keseimbangan antar asam dan basa dalam limbah tersebut (Jenie dan Rahayu, 1993).

G. Hipotesis

1. Bakteri indigenus limbah cair industri kecap dan saos mampu mendegradasi limbah cair industri kecap dan saos.
2. Bakteri indigenus campuran merupakan bakteri yang paling baik dalam mendegradasi limbah cair industri kecap dan saos.
3. Variasi bakteri indigenus campuran yang paling baik adalah isolat bakteri dengan perbandingan AY1 (33) : AY2 (33) : AY3 (33).