

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Limbah Cair Tahu

Limbah tahu berasal dari buangan atau sisa pengolahan kedelai menjadi tahu yang terbuang karena tidak terbentuk dengan baik menjadi tahu sehingga tidak dapat dikonsumsi. Limbah tahu terdiri atas dua jenis yaitu limbah cair dan limbah padat. Limbah cair merupakan bagian terbesar dan berpotensi mencemari lingkungan. Limbah ini terjadi karena adanya sisa air tahu yang tidak menggumpal, potongan tahu yang hancur karena proses penggumpalan yang tidak sempurna serta cairan keruh kekuningan yang dapat menimbulkan bau tidak sedap bila dibiarkan (Nohong, 2010).

Limbah industri tahu pada umumnya dibagi menjadi 2 (dua) bentuk limbah, yaitu limbah padat dan limbah cair. Limbah padat pabrik pengolahan tahu berupa kotoran hasil pembersihan kedelai (batu, tanah, kulit kedelai, dan benda padat lain yang menempel pada kedelai) dan sisa saringan bubur kedelai yang disebut dengan ampas tahu. Limbah padat yang berupa kotoran berasal dari proses awal (pencucian) bahan baku kedelai dan umumnya limbah padat yang terjadi tidak begitu banyak (0,3% dari bahan baku kedelai). Sedangkan limbah padat yang berupa ampas tahu terjadi pada proses penyaringan bubur kedelai. Ampas tahu yang terbentuk besarnya berkisar antara 25-35% dari produk tahu yang dihasilkan (Kaswinarni, 2007).

Limbah cair pada proses produksi tahu berasal dari proses perendaman, pencucian kedelai, pencucian peralatan proses produksi tahu, penyaringan dan pengepresan atau pencetakan tahu. Sebagian besar limbah cair yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu adalah cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu yang disebut dengan air dadih. Cairan ini mengandung kadar protein yang tinggi dan dapat segera terurai. Limbah ini sering dibuang secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu sehingga menghasilkan bau busuk dan mencemari lingkungan (Kaswinarni, 2007).

Pencemaran lingkungan sebagian besar disebabkan oleh ulah tangan manusia, karena manusia tidak dapat dipisahkan dari lingkungan. Allah SWT menciptakan manusia sebagai kholifah di bumi. Sebagai kholifah manusia berkewajiban untuk menjaga dan melestarikan lingkungan. Allah SWT berfirman dalam surat al-Qashah ayat 77:

وَأَتَّبِعْ فِي مَآءَاتِنَا إِلَهَ الْآخِرَةِ وَلَا تَتَّبِعْ نَفْسَكَ مِنَ الدُّنْيَا وَأَحْسِنْ
كَمَا أَحْسَنَ اللَّهُ إِلَيْكَ وَلَا تَبْغِ الْفُسَادَ فِي الْأَرْضِ إِنَّ اللَّهَ لَا يُحِبُّ

الْمُفْسِدِينَ ﴿٧٧﴾

Artinya: "Dan carilah pada apa yang telah dianugerahkan Allah kepadamu (kebahagiaan) negeri akhirat, dan janganlah kamu melupakan bahagianmu dari (kenikmatan) duniawi dan berbuat baiklah (kepada orang lain) sebagaimana Allah telah berbuat baik, kepadamu, dan janganlah kamu berbuat kerusakan di (muka) bumi. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berbuat kerusakan".

Ayat tersebut menjelaskan bahwa manusia berkewajiban untuk menjaga dan memelihara lingkungan, sehingga kerusakan ataupun pencemaran lingkungan yang merugikan manusia dapat dihindari.

2.2 Kandungan Limbah Cair Tahu

Limbah cair industri tahu mengandung bahan-bahan organik yang tinggi terutama protein dan asam-asam amino. Adanya senyawa-senyawa organik tersebut menyebabkan limbah cair industri tahu mengandung BOD, COD, dan TSS yang tinggi (Husin, 2003).

Bahan-bahan organik yang terkandung di dalam limbah industri cair tahu pada umumnya sangat tinggi. Senyawa-senyawa organik tersebut dapat berupa protein, karbohidrat dan lemak. Senyawa protein memiliki jumlah yang paling besar yaitu mencapai 40%-60%, karbohidrat 25%-50%, dan lemak 10%. Bertambah lama bahan-bahan organik dalam limbah cair tahu, maka volumenya semakin meningkat (Sugiharto, 1994).

Gas-gas yang biasa ditemukan dalam limbah cair tahu adalah 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 dalam limbah cair tersebut (Herlambang, 2005).

Senyawa organik yang berada pada limbah adalah senyawa yang dapat diuraikan secara sempurna melalui proses biologi baik aerob maupun anaerob. Sedangkan senyawa anorganik pada limbah adalah senyawa yang tidak dapat diuraikan melalui proses biologi (Nurullatifah, 2011).

Limbah cair tahu mengandung bahan organik berupa protein yang dapat terdegradasi menjadi bahan anorganik. Degradasi bahan organik melalui proses oksidasi secara aerob akan menghasilkan senyawa-senyawa yang lebih stabil. Dekomposisi bahan organik pada dasarnya melalui dua tahap yaitu bahan organik

diuraikan menjadi bahan anorganik. Bahan anorganik yang tidak stabil mengalami oksidasi menjadi bahan anorganik yang stabil, misalnya ammonia mengalami oksidasi menjadi nitrit dan nitrat (Effendi, 2003).

2.3 Karakteristik Limbah Cair

Secara umum karakteristik air buangan dapat digolongkan atas sifat fisika, kimia, dan biologi. Akan tetapi, air buangan industri biasanya hanya terdiri dari karakteristik fisika dan kimia. Parameter yang digunakan untuk menunjukkan karakter air buangan industri tahu adalah (Kaswinarni, 2007):

1. parameter fisika, seperti kekeruhan, suhu, zat padat, bau dan lain-lain.
2. parameter kimia, dibedakan atas kimia organik dan kimia anorganik.

Kandungan organik (BOD, COD, TOC) oksigen terlarut (DO), minyak atau lemak, nitrogen total, dan lain-lain. Sedangkan kimia anorganik meliputi: pH, Pb, Ca, Fe, Cu, Na, sulfur, dan lain-lain.

Beberapa karakteristik limbah cair industri tahu yang penting antara lain:

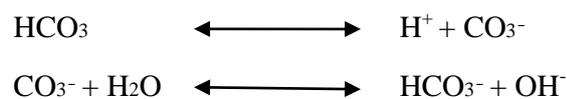
a. Padatan Tersuspensi

Yaitu bahan-bahan yang melayang dan tidak larut dalam air. Padatan tersuspensi sangat berhubungan erat dengan tingkat kekeruhan air. Kekeruhan menggambarkan sifat optik air yang ditentukan berdasarkan banyaknya cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh bahan-bahan yang terdapat di dalam air. Kekeruhan disebabkan oleh adanya bahan organik dan anorganik yang tersuspensi dan terlarut. Semakin tinggi kandungan bahan tersuspensi tersebut, maka air semakin keruh (Effendi, 2003).

b. Derajat Keasaman (pH)

Air limbah industri tahu sifatnya cenderung asam, pada keadaan asam ini akan terlepas zat-zat yang mudah untuk menguap. Hal ini mengakibatkan limbah cair industri tahu mengeluarkan bau busuk. pH sangat berpengaruh dalam proses pengolahan air limbah. Baku mutu yang ditetapkan sebesar 6-9. Pengaruh yang terjadi apabila pH terlalu rendah adalah penurunan oksigen terlarut. Oleh karena itu, sebelum limbah diolah diperlukan pemeriksaan pH serta menambahkan larutan penyangga agar dicapai pH yang optimal (BPPT, 1997).

Nilai pH merupakan faktor pengontrol yang menentukan kemampuan biologis mikroalga dalam memanfaatkan unsur hara. Nilai pH yang terlalu tinggi misalnya, akan mengurangi aktifitas fotosintesis mikroalga. Proses fotosintesis merupakan proses mengambil CO₂ yang terlarut di dalam air, dan berakibat pada penurunan CO₂ terlarut dalam air. Penurunan CO₂ akan meningkatkan pH. Dalam keadaan basa ion bikarbonat akan membentuk ion karbonat dan melepaskan ion hidrogen yang bersifat asam sehingga keadaan menjadi netral. Sebaliknya dalam keadaan terlalu asam, ion karbonat akan mengalami hidrolisa menjadi ion bikarbonat dan melepaskan ion hidrogen oksida yang bersifat basa, sehingga keadaan netral kembali, dapat dilihat pada reaksi berikut (Lavens dan Sorgeloos, 1996):



c. Nitrogen-Total (N-Total)

Yaitu campuran senyawa kompleks antara lain asam-asam amino, gula amino, dan protein (polimer asam amino). Ammonia (NH_3) merupakan senyawa alkali yang berupa gas tidak berwarna dan dapat larut dalam air. Pada kadar dibawah 1 ppm dapat terdeteksi bau yang sangat menyengat. Kadar NH_3 yang tinggi dalam air selalu menunjukkan adanya pencemaran. Ammonia bebas (NH_3) yang tidak terionisasi bersifat toksik terhadap organisme akuatik. Toksisitas ammonia terhadap organisme akuatik akan meningkat jika terjadi penurunan kadar oksigen terlarut, pH, dan suhu (Effendi, 2003). Pada lingkungan asam atau netral, NH_3 ada dalam bentuk ion NH_4^+ . Pada lingkungan basa, NH_3 akan dilepas ke atmosfer (Sataresmi, 2002).

Senyawa-senyawa organik yang terkandung dalam limbah cair tahu akan terurai oleh mikroorganisme menjadi karbondioksida (CO_2), air serta ammonium, selanjutnya ammonium akan dirubah menjadi nitrat. Proses perubahan ammonia menjadi nitrit dan akhirnya menjadi nitrat disebut proses nitrifikasi. Untuk menghilangkan ammonia dalam limbah cair sangat penting, karena ammonia bersifat racun bagi biota akuatik (Herlambang, 2005).

Reaksi penguraian organik:



Reaksi Nitrifikasi:



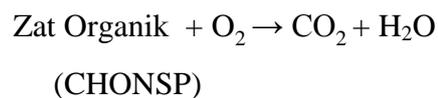
d. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

Merupakan parameter untuk menilai jumlah zat organik yang terlarut serta menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan oleh aktifitas mikroorganisme dalam menguraikan zat organik secara biologis di dalam limbah cair. Limbah cair industri tahu mengandung bahan-bahan organik terlarut yang tinggi (Wardana, 2004).

Menurut Effendi (2003), BOD adalah jumlah oksigen yang diperlukan oleh organisme untuk memecah bahan buangan organik di dalam suatu perairan. Konsentrasi BOD yang semakin tinggi menunjukkan semakin banyak oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik.

Nilai BOD yang tinggi menunjukkan terdapat banyak senyawa organik dalam limbah, sehingga banyak oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan senyawa organik. Nilai BOD yang rendah menunjukkan terjadinya penguraian limbah organik oleh mikroorganisme (Zulkifli dan Ami, 2001).

Penguraian bahan organik secara biologis oleh mikroorganisme menyangkut reaksi oksidasi dengan hasil akhir karbon dioksida (CO₂) dan air (H₂O). proses penguraian bahan organik dapat digambarkan sebagai berikut (Hanum, 2002):



e. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Disebut juga kebutuhan oksigen kimiawi, merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh oksidator (misal kalium dikhormat) untuk mengoksidasi seluruh material baik organik maupun anorganik yang terdapat dalam air. Jika

kandungan senyawa organik maupun anorganik cukup besar, maka oksigen terlarut di dalam air dapat mencapai nol, sehingga tumbuhan air, ikan-ikan, hewan air lainnya yang membutuhkan oksigen tidak memungkinkan hidup (Wardana, 2004).

Kebutuhan oksigen dalam air limbah ditunjukkan melalui BOD dan COD. BOD (*Biological Oxygen Demand*) adalah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi senyawa-senyawa kimia. Nilai BOD bermanfaat untuk mengetahui apakah air limbah tersebut mengalami biodegradasi atau tidak, yakni dengan membuat perbandingan antara nilai BOD dan COD. Oksidasi berjalan sangat lambat dan secara teoritis memerlukan waktu tak terbatas. Dalam waktu 5 hari (BOD_5), oksidasi organik karbon akan mencapai 60%-70% dan dalam waktu 20 hari akan mencapai 95%. COD adalah kebutuhan oksigen dalam proses oksidasi secara kimia. Nilai COD akan selalu lebih besar daripada BOD karena kebanyakan senyawa lebih mudah teroksidasi secara kimia daripada secara biologi. Pengukuran COD membutuhkan waktu yang jauh lebih cepat, yakni dapat dilakukan selama 3 jam, sedangkan pengukuran BOD paling tidak memerlukan waktu 5 hari. Jika nilai antara BOD dan COD sudah diketahui, kondisi air limbah dapat diketahui (Kaswinarni, 2007).

2.4 Dampak Limbah Cair Tahu

Dampak yang ditimbulkan oleh pencemaran bahan organik limbah industri tahu adalah gangguan terhadap kehidupan biotik, turunnya kualitas air perairan akibat meningkatnya kandungan bahan organik. Aktivitas organisme dapat

memecah molekul organik yang kompleks menjadi molekul organik yang sederhana. Bahan anorganik seperti ion fosfat dan nitrat dapat dipakai sebagai makanan oleh tumbuhan yang melakukan fotosintesis. Selama proses metabolisme oksigen banyak dikonsumsi, sehingga apabila bahan organik dalam air sedikit, oksigen yang hilang dari air akan segera diganti oleh oksigen hasil proses fotosintesis dan oleh aerasi dari udara. Sebaliknya jika konsentrasi beban organik terlalu tinggi, maka akan tercipta kondisi anaerobik yang menghasilkan produk dekomposisi berupa amonia, karbondioksida, asam asetat, hidrogen sulfida, dan metana. Senyawa-senyawa tersebut sangat toksik bagi sebagian besar hewan air, dan akan menimbulkan gangguan terhadap keindahan (gangguan estetika) yang berupa rasa tidak nyaman dan menimbulkan bau (Herlambang, 2002).

Limbah cair yang dihasilkan mengandung padatan tersuspensi maupun terlarut, akan mengalami perubahan fisika, kimia, dan hayati yang akan menimbulkan gangguan terhadap kesehatan karena menghasilkan zat beracun atau menciptakan media untuk tumbuhnya kuman penyakit atau kuman lainnya yang merugikan baik pada produk tahu sendiri ataupun tubuh manusia. Bila dibiarkan, air limbah akan berubah warnanya menjadi coklat kehitaman dan berbau busuk. Bau busuk ini mengakibatkan sakit pernapasan. Apabila air limbah ini merembes ke dalam tanah yang dekat dengan sumur maka air sumur itu tidak dapat dimanfaatkan lagi. Apabila limbah ini dialirkan ke sungai maka akan mencemari sungai dan bila masih digunakan akan menimbulkan gangguan kesehatan yang berupa penyakit gatal, diare, kolera, radang usus dan penyakit lainnya, khususnya

yang berkaitan dengan air yang kotor dan sanitasi lingkungan yang tidak baik (Kaswinarni, 2007).

2.5 Pengolahan Limbah Cair Tahu

Upaya untuk mengolah limbah cair tahu telah dicoba dan dikembangkan. Secara umum, metode pengolahan yang dikembangkan dapat digolongkan atas 3 jenis metode pengolahan, yaitu secara fisika, kimia, maupun biologis. Cara fisika, merupakan metode pemisahan sebagian dari beban pencemaran khususnya padatan tersuspensi atau koloid dari limbah cair dengan memanfaatkan gaya-gaya fisika. Dalam pengolahan limbah cair industri tahu secara fisika, proses yang dapat digunakan antara lain filtrasi dan pengendapan (sedimentasi). Filtrasi atau penyaringan menggunakan media penyaring terutama untuk menjernihkan atau memisahkan partikel-partikel kasar dan padatan tersuspensi dari limbah cair. Dalam sedimentasi, flok-flok padatan dipisahkan dari aliran dengan memanfaatkan gaya gravitasi (MetCalf dan Eddy, 2003).

Cara kimia, merupakan metode penghilangan atau konversi senyawa-senyawa polutan dalam limbah cair dengan penambahan bahan-bahan kimia atau reaksi kimia lainnya. Beberapa proses yang dapat diterapkan dalam pengolahan limbah cair industri tahu secara kimia diantaranya termasuk koagulasi-flokulasi dan netralisasi. Proses netralisasi biasanya diterapkan dengan cara penambahan asam atau basa guna menetralkan ion-ion yang terlarut dalam limbah cair sehingga memudahkan proses pengolahan selanjutnya (MetCalf dan Eddy, 2003).

Proses koagulasi-flokulasi, partikel-partikel koloid hidrofobik cenderung menyerap ion-ion bermuatan negatif terlarut dalam limbah cair melalui sifat adsorpsi koloid tersebut, sehingga partikel tersebut bermuatan negatif. Koagulasi pada dasarnya merupakan proses destabilisasi partikel koloid bermuatan dengan cara penambahan ion-ion bermuatan berlawanan (koagulan) ke dalam koloid, dengan demikian partikel koloid menjadi netral dan dapat beraglomerasi satu sama lain membentuk mikroflok. Selanjutnya mikroflok-mikroflok yang telah terbentuk dengan dibantu pengadukan lambat mengalami penggabungan menghasilkan makroflok (flokulasi), sehingga dapat dipisahkan dari dalam larutan dengan cara pengendapan atau filtrasi (MetCalf dan Eddy, 2003).

Koagulan yang biasa digunakan antara lain polielektrolit, aluminium, kapur, dan garam-garam besi. Masalah dalam pengolahan limbah secara kimiawi adalah banyaknya endapan lumpur yang dihasilkan, sehingga membutuhkan penanganan lebih lanjut (MetCalf dan Eddy, 2003).

Selain kedua metode tersebut, metode gabungan fisika-kimia mencakup flokulasi yang dikombinasikan dengan sedimentasi juga telah dicoba digunakan dalam skala laboratorium, tetapi penerapan metode gabungan tersebut hasilnya kurang memuaskan khususnya di Indonesia. Hal ini karena beberapa faktor antara lain: metode pengolahan fisika-kimia terlalu kompleks, kebutuhan bahan kimia cukup tinggi, serta lumpur berupa endapan sebagai hasil dari sedimentasi menjadi masalah penanganan lebih lanjut (Husin, 2003).

Cara biologi, dapat menurunkan kadar zat organik terlarut dengan memanfaatkan mikroorganisme atau tumbuhan air. Pada dasarnya cara biologi

adalah pemutusan molekul kompleks menjadi molekul sederhana. Proses ini sangat peka terhadap faktor suhu, pH, oksigen terlarut (DO) dan zat-zat inhibitor terutama zat-zat beracun. Mikroorganisme yang digunakan untuk pengolahan limbah adalah bakteri, alagae, atau protozoa (Ritman dan McCarty, 2001). Sedangkan tumbuhan yang dapat digunakan termasuk gulma air (*aquatic weeds*) (Lisnasari, 1995).

Metode biologis lainnya juga telah dicoba dalam penanganan limbah cair industri tahu. Misalnya dengan menggunakan proses lumpur aktif (*activated sludge*) untuk mendegradasi kandungan organik dalam limbah cair tahu dan susu kedelai. Hasil yang dicapai cukup memuaskan, dimana diperoleh penurunan BOD terlarut, nitrogen, dan fosfor berturut-turut sebesar 95%, 67%, 57% (Tay, 1990). Menurut Lisnasari (1995), melihat tingkat pengetahuan pengrajin tahu khususnya di Indonesia yang relatif minim dalam penanganan limbah dan faktor-faktor teknis lainnya, seperti biaya investasi dan operasi cukup tinggi, luas lahan yang diperlukan cukup besar, serta pengendalian proses yang relatif kompleks. Sehingga penerapan metode ini khususnya di Indonesia kurang berdaya guna.

Untuk mengatasi kendala-kendala tersebut, perlu dicari metode pengolahan limbah cair yang lebih sederhana, efektif, dan mudah dioperasikan. Metode pengolahan biologis juga patut dipertimbangkan untuk mengolah limbah cair tahu diantaranya adalah proses aerob dan anaerob. Pada proses aerob, katabolisme senyawa organik berlangsung dengan memanfaatkan oksigen bebas yang terdapat dalam lingkungan sebagai penerima elektron terakhir. Pada proses anaerob atau disebut respirasi anaerob, katabolisme senyawa organik berlangsung

tanpa oksigen bebas dalam lingkungan dan penguraian terjadi dengan memanfaatkan senyawa organik sebagai penerima elektron terahir (Ritman dan McCarty, 2001).

Dalam perlakuan biologis, prinsip biologi diterapkan untuk mengolah limbah cair dengan bantuan mikroorganisme yang dapat diperoleh secara alamiah (Ritman dan McCarty, 2001; MetCalf dan Eddy, 2003). Sistem ini cukup efektif dengan biaya pengoprasian yang rendah dan dapat mereduksi BOD hingga 90 % (Ferdiaz, 1992).

2.6 Mikroorganisme Pengurai Air Limbah Cair Tahu

Dalam penanganan air limbah, mikroorganisme merupakan dasar fungsional untuk sejumlah proses penanganan. Proses penanganan biologi air limbah secara biologi disebut juga dengan bioremediasi. Bioremediasi adalah pemanfaatan mikroorganisme hidup untuk mengurangi bahan pencemar agar kurang toksik atau beracun, atau mengurangi zat-zat beracun agar lingkungan yang tercemar dapat direhabilitasi (Romimohtarto dan Juawana, 2009). Kelompok mikroorganisme tersebut adalah 1) Bakteri, 2) Fungi, 3) Algae, 4) Protozoa, 5) Rotifera, 6) Crustacea, dan 7) Virus (Metcalf dan Eddy, 2003).

Bakteri merupakan kelompok mikroorganisme terpenting dalam penanganan air limbah. Kultur bakteri dapat digunakan untuk menghilangkan bahan organik dan mineral-mineral yang tidak diinginkan dari air limbah. Bakteri aerob dan fakultatif, aktif dalam semua unit penanganan aerobik, sedangkan bakteri anaerob fakultatif dan obligat, aktif dalam unit penanganan anaerobik.

Bakteri terdapat dalam berbagai bentuk, biasanya modifikasi dari silinder atau avoid (bulat), dengan ukuran beberapa mikrometer. Bakteri ini terdapat dalam proses penanganan limbah dalam bentuk gumpalan dari berbagai bentuk dan jenis. Temperatur dan pH memainkan peranan penting dalam hidup matinya bakteri (Kaswinarni, 2007).

Sebagian besar mikroorganisme tidak dapat mentoleransi level pH diatas 9,5 atau dibawah 4,0. Secara umum pH optimal untuk pertumbuhan adalah antara 6,5 dan 7,5. Kebanyakan bakteri adalah kemoheterotrofik yaitu menggunakan bahan organik sebagai sumber energi dan karbon. Beberapa spesies mengoksidasi senyawa-senyawa anorganik seperti NH_3 untuk energi dan CO_2 sebagai sumber karbon. Bakteri ini disebut kemoautotrof. Sebagian bakteri bersifat fotosintetik dan menggunakan sinar sebagai sumber energi dan CO_2 sebagai sumber karbon. Bakteri kemoheterotrofik merupakan bakteri terpenting dalam penanganan air limbah karena bakteri-bakteri ini akan memecah bahan-bahan organik (Kaswinarni, 2007).

Fungi dianggap sebagai jenis mikroorganisme yang bersifat multiseluler, nonfotosintetik dan heterotrofik. Fungi diklasifikasikan berdasarkan dari tipe reproduksinya. Reproduksi fungi dapat secara seksual atau aseksual, pembelahan, tunas atau dengan spora. Fungi mempunyai kemampuan tumbuh pada kondisi kelembaban yang rendah dan dapat mentoleransi lingkungan dengan pH yang rendah secara relatif. pH optimal adalah 5,6 dengan kisaran 2 sampai 9. Fungi juga mempunyai kebutuhan nitrogen yang rendah. Kemampuan dari fungi untuk dapat bertahan dibawah pH yang rendah dan kondisi nitrogen yang sedikit

membuat mikroorganisme ini sangat penting dalam pengolahan limbah industri secara biologi (Kaswinarni, 2007).

Alga (ganggang) adalah mikroorganisme uniseluler, autotrof, dan fotosintetik. Alga memperoleh energi dari sinar matahari dan menggunakan bahan anorganik seperti karbondioksida, amonia atau nitrat, dan fosfat dalam sintesis sel-sel tambahan. Alga memperoleh CO₂ dari sumber-sumber dalam air atau limbah cair: (a) Absorpsi dari udara, (b) Respirasi aerobik dan anaerobik dari organisme heterotrofik dan (c) Alkalinitas bikarbonat. Nilai pH setinggi 10 tidak umum dalam sistem alga yang aktif seperti kolam oksidasi dan unit serupa. Walaupun pertumbuhan alga dapat dikendalikan dengan membatasi karbon, karbon dari alkalinitas dan produksi bakteri akan menyediakan sejumlah karbon yang dapat digunakan untuk pertumbuhan alga (Nontji, 2005).

Alga akan berkembang hanya bila sinar matahari cukup menembus cairan. Alga tidak akan tumbuh baik bila cairan sangat keruh seperti pada unit lumpur aktif dan lagun aerasi, dimana sinar matahari tidak dapat masuk, atau bila warna cairan sangat gelap. Bila tidak ada sinar matahari, maka fotosintesis akan terhenti dan respirasi endogenes dari ganggang akan berlangsung dengan cara yang sama seperti bakteri. Dengan demikian alga memberikan tambahan kebutuhan oksigen pada unit yang digunakan. Jenis alga yang paling penting dalam air dan penanganan air limbah adalah alga biru-hijau dan alga hijau (Kaswinarni, 2007).

2.7 *Chlorella* sp Sebagai Bioremediator

Bioremediasi merupakan kemampuan organisme untuk mengekstrak, mengubah, dan menggunakan energi dari lingkungannya, dalam bentuk zat gizi organik, atau energi pancaran sinar matahari melalui proses asimilasi dan sintesa produk kimia. Remediasi merupakan cara untuk memulihkan kondisi lingkungan yang semula tercemar oleh zat pencemar sehingga mencapai suatu acuan tertentu (Fahrudin, 2010). Penggunaan mikroalga sebagai bioremediasi dalam pengolahan limbah secara umum dianggap sebagai metode nonkonvensional dimana perannya yang banyak diperhatikan adalah fungsinya sebagai penghasil oksigen bagi bakteri pengoksidasi bahan-bahan organik, penurunan kadar nutrient, logam berat, dan bahan organik beracun (Dewi, 1997).

Penggunaan mikroalga dalam pengolahan limbah memainkan 2 peran yang menarik yaitu memecah bahan organik sehingga menyelamatkan sumber air dan menghasilkan pakan sebagai sumber protein bagi manusia dan hewan. Kemampuan *Chlorella* sp dalam pengolahan limbah lebih baik dibandingkan dengan mikroalga yang lain. *Chlorella* sp memiliki laju pertumbuhan dan kemampuan menurunkan kandungan nitrogen yang lebih baik dalam media limbah cair dibandingkan *Scenedesmus* sp dan *Spirulina* sp (Dewi, 1997). *Chlorella* sp memiliki daya biosorpsi yang kuat terhadap logam berat, sehingga dapat dimanfaatkan untuk menetralsir limbah industri (Kabinawa, 2001).

Konsep yang mendasari *Chlorella* sp digunakan sebagai bioremediator dalam pengolahan limbah cair, yaitu (Beneman, 1990):

1. Mikroalga *Chlorella* sp mudah ditumbuhkan dan cepat berkembangbiak dengan daya adaptasi yang kuat.
2. Mikroalga *Chlorella* mampu tumbuh dalam kondisi mikсотrofi, artinya *Chlorella* sp mampu menggunakan senyawa karbon organik sebagai sumber energi. Hal tersebut dibuktikan bahwa mikroalga mampu tumbuh dengan mudah diperairan yang mengalami pencemaran limbah pabrik dengan BOD atau COD diatas 10.000 mg/l.
3. Mikroalga *Chlorella* sp dapat mengabsorpsi logam-logam berat seperti Cu, Cd, Pb, Cr, maupun senyawa toksik lainnya.

2.7.1 Klasifikasi Biologi *Chlorella* sp.

Klasifikasi biologi *Chlorella* sp menurut Bold dan Wynne (1985) dalam Prabowo (2009) sebagai berikut :

Divisi : Chlorophyta

Kelas : Chlorophyceae

Ordo : Chlorococcales

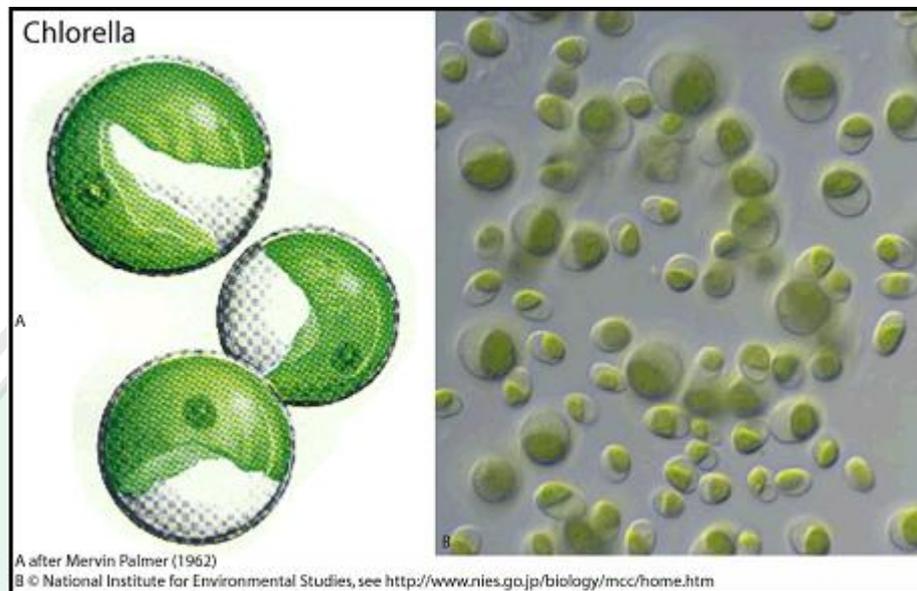
Family : Oocystaseae

Genus : *Chlorella*

Spesies : *Chlorella* sp

Chlorella sp adalah mikroalga hijau bersel tunggal (uniseluler), non motil, hidup menyendiri atau berkelompok. Sel *Chlorella* berukuran antara 2 – 12 mikrometer dengan bentuk bulat atau elips, mempunyai kloroplas dan dinding sel

yang kaku (Prabowo, 2009). Sel *Chlorella* sp dapat dilihat dalam gambar 2.1 di bawah;



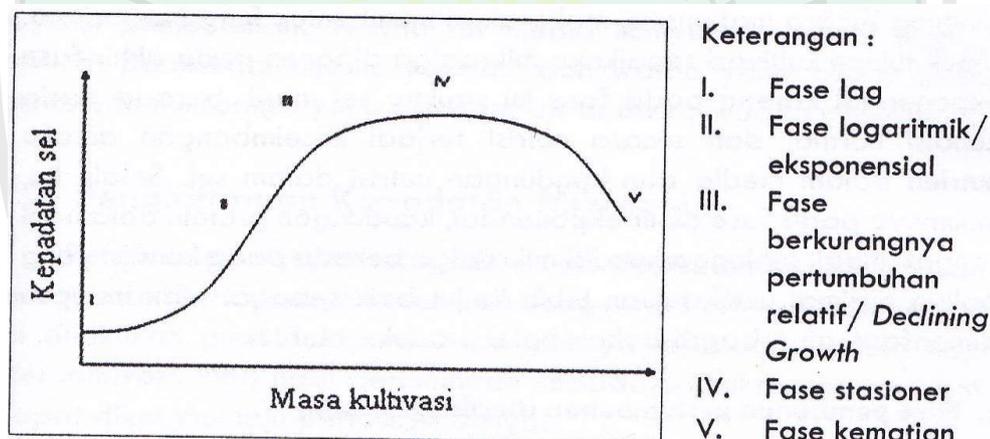
Gambar 2.1. Bentuk umum *Chlorella* sp (<http://www.Rbgsyd.nsw.gov.au>, 20 Maret 2012)

Chlorella termasuk dalam kelas *Chlorophyceae*. *Chlorophyceae* terdiri atas sel-sel kecil yang merupakan koloni berbentuk benang yang bercabang-cabang atau tidak. *Chlorella* merupakan mikroalga yang tidak bercabang karena berbentuk bulat atau elips (Tjitrosoepomo, 1998). Tumbuhan bercabang maupun tidak bercabang sudah dijelaskan Allah SWT dalam surat ar-Ra'd ayat 4

وَفِي الْأَرْضِ قِطْعٌ مُتَجَاوِرَاتٌ وَجَنَّاتٌ مِّنْ أَعْنَابٍ وَزُرْعٌ وَنَخِيلٌ
صِنَوَانٌ وَغَيْرُ صِنَوَانٍ يُسْقَى بِمَاءٍ وَاحِدٍ وَنُقْضِلُ بَعْضَهَا عَلَى بَعْضٍ فِي
الْأُكُلِ إِنَّ فِي ذَٰلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ ﴿٤﴾

Artinya: “Dan di bumi ini terdapat bagian-bagian yang berdampingan, dan kebun-kebun anggur, tanaman-tanaman dan pohon korma yang bercabang dan yang tidak bercabang, disirami dengan air yang sama. Kami melebihkan sebahagian tanam-tanaman itu atas sebahagian yang lain tentang rasanya. Sesungguhnya pada yang demikian itu terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang berfikir.”

Perkembangan sel dalam kultur mikroalga dengan media terbatas terdiri atas 5 fase, yaitu fase lag, fase eksponensial, fase penurunan pertumbuhan, fase stasioner, dan fase kematian. Kurva pertumbuhan alga dapat dilihat pada gambar 2.2 di bawah (Kawaroe, 2010):



Gambar 2.2. Kurva pertumbuhan mikroalga

a. Fase Lag (Istirahat)

Fase ini dimulai setelah penambahan inokulan ke dalam media kultivasi hingga beberapa saat setelahnya. Metabolisme berjalan tetapi pembelahan sel belum terjadi sehingga kepadatan sel belum meningkat karena mikroalga masih beradaptasi dengan lingkungan barunya.

b. Fase Log (Eksponensial)

Fase ini dimulai dengan pembelahan sel dengan laju pertumbuhan yang meningkat secara intensif. Bila kondisi kultivasi optimum maka laju pertumbuhan pada fase ini dapat mencapai nilai maksimum. Pada fase ini merupakan fase terbaik memanen mikroalga untuk keperluan pakan ikan atau industri.

c. Fase Penurunan Pertumbuhan

Fase ini ditandai dengan pembelahan sel tetap terjadi, namun tidak seintensif pada fase sebelumnya sehingga laju pertumbuhannya pun menjadi menurun dibandingkan fase sebelumnya.

d. Fase Stasioner

Fase ini ditandai oleh laju reproduksi dan laju kematian relatif sama sehingga peningkatan jumlah sel tidak lagi terjadi atau tetap sama dengan sebelumnya (stasioner). Kurva kelimpahan yang dihasilkan dari fase ini adalah membentuk suatu garis datar, garis ini menandai laju produksi dan laju kematian sebanding.

e. Fase Kematian

Fase ini ditandai dengan angka kematian yang lebih besar dari pada angka pertumbuhannya sehingga terjadilah penurunan jumlah kelimpahan sel dalam wadah kultivasi. Fase ini ditandai dengan perubahan kondisi media seperti warna, pH dan temperatur dalam medium.

2.7.2 Kandungan Nutrisi *Chlorella* sp

Mikroalga *Chlorella* sp merupakan tumbuhan mikroskopis yang merupakan organisme *photoautotrophic* yang mampu memproduksi oksigen

melalui proses fotosintesis. Selain itu *Chlorella* sp juga memiliki keunggulan dimana dapat digunakan sebagai sumber pakan dengan kandungan gizi yang tinggi dan dapat memproduksi beberapa bahan kimia untuk kesehatan (Syarifuddin, 2006).

Kandungan gizi *Chlorella* sp secara umum dapat dikelompokkan menjadi protein, karbohidrat, lemak, vitamin, mineral, serat, klorofil, dan *Chlorella Growth Factor*. Pemanfaatan *Chlorella* sp sebagai bahan makanan menyehatkan antara lain karena adanya faktor pertumbuhan (*Chlorella Growth Factor*) yang komponennya terdiri dari asam amino, protein, peptide, vitamin, gula, dan asam nukleat. Kandungan terbesar biomassa *Chlorella* adalah protein yang mencapai 60 %, dan karbohidrat mencapai 20 % (Hansakul, 1991). Menurut Nakayama (1992) kandungan gizi beberapa jenis *Chlorella* dapat dilihat pada tabel 2.1 di bawah:

Table 2.1 Persentase kandungan gizi beberapa jenis *Chlorella* (Nakayama, 1992).

Jenis <i>Chlorella</i>	Protein	Lemak	Karbohidrat
<i>Chlorella vulgaris</i>	51-58	14-22	12-17
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	57,0	20	26,0
<i>Chlorella</i> sp	40-60	10-30	10-25

Keterangan : dalam % berat kering

Protein *Chlorella* sp mengandung semua asam amino yang penting bagi manusia maupun hewan. Bila diamati, kualitas asam amino *Chlorella* sp hampir setara dengan protein hewani, hanya saja dari kandungan metioninnya agak rendah (Syarifuddin, 2006).

2.8 Golongan Baku Mutu Limbah Cair

Berdasarkan Surat Keputusan Gubernur Jawa Timur No. 45 tahun 2002, tentang baku mutu limbah cair. Parameter limbah cair industri terdapat 2 macam, yaitu berupa parameter fisika dan kimia. Apabila parameter fisika dan kimia tersebut melebihi batas yang sudah ditentukan, maka limbah tersebut harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan lingkungan, karena mengandung senyawa yang berbahaya. Parameter limbah cair dapat dilihat pada tabel 2.2 di bawah ini:

Table 2.2 Baku Mutu Limbah Cair (Keputusan Gubernur Jatim, 2002)

Baku Mutu Limbah Cair (Termasuk Pengolahan Terpusat/Kawasan Industri)						
No.	Parameter	Satuan	Golongan Baku Mutu Limbah Cair			
A.	Fisika		I	II	III	IV
1.	Temperature	⁰ C	35	38	40	45
2.	Zat padat terlarut	Mg/l	1500	2000	4000	5000
3.	Zat padat tersuspensi	Mg/l	100	200	200	500
B.	Kimia					
1.	pH	Mg/l	6-9	6-9	6-9	6-9
2.	Besi (Fe)	Mg/l	5	10	15	20
3.	Mangan (Mn)	Mg/l	0.5	2	5	10
4.	Tembaga (Cu)	Mg/l	1	2	3	5
5.	Seng (Zn)	Mg/l	1	2	3	5
6.	Krom Heksavalen	Mg/l	0.05	0.1	0.5	2
7.	Krom total (Cr)	Mg/l	0.1	0.5	1	2
8.	Cadmium (Cd)	Mg/l	0.01	0.05	0.1	1
9.	Raksa (Hg)	Mg/l	0.001	0.002	0.005	0.01
10.	Timbal putih (Sn)	Mg/l	2	3	4	5
11.	Arsen (As)	Mg/l	0.05	0.1	0.5	1
12.	Selenium (Se)	Mg/l	0.01	0.05	0.5	1
13.	Nikel (Ni)	Mg/l	0.1	0.2	0.5	1
14.	Kobalt (Co)	Mg/l	0.2	0.4	0.6	1
15.	Sianida (Cn)	Mg/l	0.05	0.1	0.5	1
16.	Timbal (Pb)	Mg/l	0.1	0.5	1	3

Table 2.2 Baku Mutu Limbah Cair (Keputusan Gubernur Jatim, 2002)

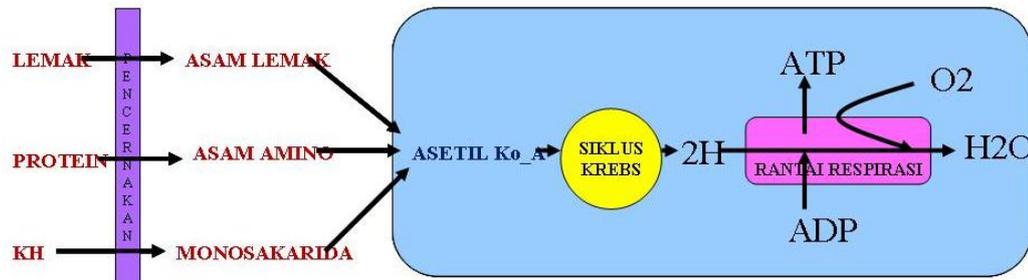
Baku Mutu Limbah Cair (Termasuk Pengolahan Terpusat/Kawasan Industri)						
No.	Parameter	Satuan	Golongan Baku Mutu Limbah Cair			
			I	II	III	IV
17.						
18.	Sulfide (H ₂ S)	Mg/l	0.01	0.06	0.1	1
19.	Flourida (F)	Mg/l	1.5	15	20	30
20.	Klorin bebas (Cl ₂)	Mg/l	0.02	0.03	0.04	0.05
21.	Ammonia (NH ₃)	Mg/l	0.5	1	5	20
22.	Nitrat (NO ₃)	Mg/l	10	20	30	50
23.	Nitrit (NO ₂)	Mg/l	0.06	1	3	5
24.	BOD	Mg/l	30	50	150	300
25.	COD	Mg/l	80	100	300	600
26.	Detergent an ionik	Mg/l	0.5	1	10	15
27.	Phenol	Mg/l	0.01	0.05	1	2
28.	Minyak dan lemak	Mg/l	1	5	15	20
29.	PCB	Mg/l	nihil	nihil	nihil	nihil

2.9 Mekanisme Penyerapan Limbah Cair Tahu Oleh Mikroalga *Chlorella sp.*

Molekul organik yang terdapat dalam limbah cair industri tahu secara garis besar mengalami perombakan terutama karbohidrat, lemak dan protein. Penguraian tersebut dilakukan oleh mikroorganisme pengurai menjadi bentuk persenyawaan yang lebih sederhana, misalnya karbohidrat menjadi glukosa, lemak menjadi gliserol atau asam lemak dan protein menjadi asam amino. (Nurhasan dan Pramudiyanto, 1997). Senyawa organik yang dalam bentuk persenyawaan sederhana dapat diserap oleh mikroalga sebagai nutrisi pertumbuhannya (kawaroe, 2010).

Senyawa organik yang terkandung dalam limbah cair tahu dapat diserap oleh mikroalga melalui proses respirasi. Menurut (Salisbury, 1995) pati, fruktan,

sukrosa atau gula lainnya, lemak, asam organik, bahkan protein dapat digunakan sebagai substrat respirasi. Gambar 2.3 menunjukkan proses respirasi.



Gambar. 2.3 proses respirasi (Suparyanto, 2010)

Pada proses respirasi karbohidrat, protein, dan lemak diuraikan menjadi monomer-monomer penyusunnya. Pada proses respirasi, glukosa akan dipecah menjadi asam piruvat melalui proses glikolisis kemudian didekarboksilasi menghasilkan asetil KoA. Protein diuraikan menjadi asam amino selanjutnya menjadi asam piruvat dan menghasilkan asetil koA melalui proses transaminase. Sedangkan lemak dipecah menjadi asam lemak melalui proses lipolisis yang kemudian dioksidasi menjadi asetil KoA. Asetil KoA merupakan bahan dasar siklus krebs yang dilanjutkan dengan transport elektron yang menghasilkan ATP. ATP digunakan untuk pertumbuhan dan pembelahan sel (Poedjiadi, 2007).