

BAB II

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

A. Pengolahan Limbah Industri

Semakin kompleksnya kegiatan manusia saat ini, makin mendorong manusia untuk menghasilkan sesuatu. Tak jarang kegiatan manusia menghasilkan limbah yang pada akhirnya menjadi masalah baru bagi lingkungan. Kegiatan ini terutama kegiatan industri, terlebih karena pemerintah terus mendukung pembangunan kawasan industri untuk dapat meningkatkan ekonomi dan penyerapan tenaga kerja.

Untuk mengurangi dampak industri tersebut, dibutuhkan komitmen semua pihak yang terlibat dengan kegiatan industri untuk menjaga lingkungan. Para pelaku usaha harus proaktif melakukan pengelolaan limbah tidak hanya setelah limbah terbentuk, tetapi sejak awal pengelolaannya diupayakan sedemikian rupa mulai dari bahan baku sampai akhir pemakaian produk agar limbah yang dihasilkan seminimal mungkin (Adi Rahmadi, Noor Mirad Sari, 2021). Perencanaan untuk pengelolaan limbah industri tentu sudah menjadi kewajiban dan menjadi syarat untuk mendapatkan perizinan pembangunan industri, hal ini di atur dalam Peraturan Pemerintah Tahun 2009 tentang Kawasan Industri. Untuk itu, perusahaan mencoba melakukan beberapa teknik pengelolaan untuk menangani limbah yang dihasilkan dari setiap kegiatan industri. Beberapa pengelolaan limbah menurut buku Pemanfaatan Limbah Industri (Adi Rahmadi, Noor Mirad Sari, 2021) yang dapat dilakukan antara lain:

1. Limbah padat
 - a. *Recycle* (daur ulang)

Pemanfaatan limbah terutama limbah plastik dengan cara daur ulang dapat dilakukan dengan pemakaian kembali dengan keperluan berbeda, misalnya botol air mineral yang dijadikan pot tanaman. Dalam kegiatan industri, pemanfaatan plastik dapat didaur ulang menjadi barang semula walaupun dengan bahan baku dan *additive*.

b. Kompos

Kompos adalah pupuk alami (organik) yang terbuat dari bahan-bahan hijauan dan bahan organik lain yang sengaja ditambahkan untuk mempercepat proses pembusukan, misalnya kotoran ternak (Adi Rahmadi, Noor Mirad Sari, 2021).

c. Pirolisis

Pirolisis menurut buku Pemanfaatan Limbah Industri adalah suatu proses penguraian material organik secara thermal pada temperatur tinggi tanpa adanya oksigen.

d. Distilasi

Distilasi merupakan suatu perubahan cairan menjadi uap dan uap tersebut didinginkan kembali menjadi cairan (Adi Rahmadi, Noor Mirad Sari, 2021).

e. Aklimatisasi

Aklimatisasi adalah proses adaptasi dari suatu mikroorganisme pada sebuah media sebagai lingkungan hidup barunya (Adi Rahmadi, Noor Mirad Sari, 2021).

2. Limbah Cair

a. Pengolahan secara fisika

Pada umumnya, sebelum dilakukan pengolahan lanjutan terhadap air limbah, bahan-bahan tersuspensi dalam air limbah yang berukuran besar dan yang mudah mengendap atau bahan-bahan yang terapung disisihkan terlebih dahulu. Tahapan penyaringan (*Screening*) merupakan cara yang efisien dan murah untuk menyisihkan bahan tersuspensi yang berukuran besar boasanya dengan menggunakan *sand filter* dengan ukuran *silica* yang disesuaikan dengan bahan-bahan tersuspensi yang akan disaring (Adi Rahmadi, Noor Mirad Sari, 2021). Pada proses ini bisa dilakukan tanpa tambahan bahan kimia tapi dalam kondisi tertentu, dimana bahan-bahan tersuspensi sulit diendapkan maka akan digunakan bahan kimia sebagai bahan pembantu dalam proses sedimentasi. Pada proses ini akan terjadi pembentukan

flok-flok dalam ukuran tertentu yang lebih besar sehingga mudah diendapkan (Adi Rahmadi, Noor Mirad Sari, 2021).

Proses flotasi banyak digunakan untuk menyisahkan bahan-bahan yang mengapung seperti minyak dan lemak agar tidak mengganggu proses selanjutnya. Flotasi juga dapat digunakan sebagai cara penyisahkan bahan-bahan tersuspensi (*clarification*) atau pemekatan lumpur endapan (*sludge thickening*) dengan memberikan aliran udara ke atas (*air flotation*).

b. Pengolahan Secara Biologis

Pengolahan limbah secara biologis adalah salah satu cara pengolahan yang diarahkan untuk menurunkan atau menyisahkan substrat tertentu yang terkandung dalam air buangan dengan memanfaatkan kaktivitas mikroorganisme untuk melakukan perombakan substrat tersebut. Proses pengolahan air buangan secara biologis dapat berlangsung dalam dua lingkungan utama (Adi Rahmadi, Noor Mirad Sari, 2021), yaitu:

- 1) Lingkungan aerob, merupakan lingkungan dimana oksigen terlarut (DO) didalam air cukup banyak, sehingga mikroorganisme aerob yang ada pada limbah dapat mendegradasi bahan organik dengan baik.
- 2) Lingkungan anaerob, merupakan kebalikan dari lingkungan aerob, yaitu tidak terdapat oksigen terlarut, sehingga oksigen menjadi faktor pembatas berlangsungnya proses metabolisme mikroorganisme dalam mengurai zat organik yang ada pada limbah.

c. Pengolahan Secara Kimia

Pengolahan air limbah secara kimia biasanya dilakukan untuk menghilangkan partikel-partikel yang tidak mudah mengendap (koloid), logam-logam berat, senyawa fosfor dan zat organik beracun dengan membubuhkan bahan kimia tertentu yang diperlukan. Penyisihan bahanbahan tersebut pada prinsipnya

berlangsung melalui perubahan sifat-sifat tersebut, yaitu dari tak dapat diendapkan menjadi mudah diendapkan (flokulasi-koagulasi), baik dengan atau tanpa reaksi oksidasi-reduksi, dan juga berlangsung sebagai hasil reaksi oksidasi.

B. Parameter Limbah Cair

1. Parameter Fisik

a. Padatan

Di dalam limbah ditemukan zat padat yang secara umum diklasifikasikan dalam dua golongan besar yaitu padatan terlarut dan padatan tersuspensi. Dalam padatan tersuspensi ini yang terdiri dari partikel koloid dan juga partikel biasa.

Jenis partikel dapat dibedakan berdasarkan diameternya. Jenis padatan terlarut maupun tersuspensi dapat bersifat organik maupun sifat inorganic tergantung dari mana sumber limbahnya. Disamping kedua jenis padatan diatas, ada pula padatan yang dapat mengendap karena memiliki diameter yang lebih besar dan dalam keadaan tenang, dan dalam beberapa waktu akan mengendap sendiri karena beratnya.

b. Suhu

Pengukuran suhu menggunakan termometer. Merupakan parameter yang sangat penting dikarenakan efeknya terhadap reaksi kimia, laju reaksi, kehidupan organisme air dan penggunaan air untuk berbagai aktivitas sehari-hari. Naiknya suhu atau temperatur air akan menimbulkan akibat berikut (Adi Rahmadi, Noor Mirad Sari, 2021):

- a. Menurunnya jumlah oksigen terlarut dalam air
- b. Meningkatkan kecepatan reaksi kimia
- c. Mengganggu kehidupan organisme air

Suhu suatu badan air dipengaruhi oleh musim, lintang (latitude), ketinggian dari permukaan laut (altitude), waktu, sirkulasi udara, penutupan awan, aliran, serta kedalaman. Perubahan suhu mempengaruhi proses fisika, kimia dan biologi badan air. Peningkatan suhu mengakibatkan peningkatan viskositas, reaksi kimia, evaporasi,

volatilisasi, dekomposisi bahan organik oleh mikroba, serta menyebabkan penurunan kelarutan gas dalam air (gas O₂, CO₂, N₂, CH₄, dan sebagainya). kisaran suhu optimum bagi pertumbuhan fitoplankton di perairan adalah 20°C – 30°C.

c. Kekeruhan

Kekeruhan dapat memengaruhi masuknya sinar matahari ke dalam air. Sinar matahari sangat diperlukan oleh organisme yang berada didalam perairan untuk proses metabolisme. Bila suatu perairan keruh maka sinar matahari yang masuk akan sedikit karena terpecah-pecah oleh adanya partikel yang terlarut, dan bila air tidak keruh maka sinar matahari yang masuk akan banyak. Kekeruhan dapat dipakai sebagai indikasi kualitas suatu perairan (Adi Rahmadi, Noor Mirad Sari, 2021). Air alami dan air buangan yang mengandung koloid dapat memudahkan sinar sehingga mengurangi transmisi sinar. Kekeruhan dapat mengurangi proses fotosintesis tanaman dalam air. Upaya untuk mengurangi kekeruhan ini antara lain dengan penyaringan dan koagulasi.

d. Bau

Pada sifat bau limbah ini disebabkan oleh zat-zat organik yang kemudian terurai di dalam limbah mengeluarkan gas-gas seperti sulfida atau amoniak yang akan menimbulkan bau kurang enak bagi penciuman yang disebabkan karena adanya campuran dari nitrogen, sulfur dan fosfor berasal dari pembusukan protein yang terkandung dalam limbah. Timbulnya bau yang diakibatkan oleh limbah merupakan suatu indikator bahwa sedang terjadi proses alamiah. Dengan adanya bau akan lebih mudah menghindari tingkat bahaya yang ditimbulkan dibandingkan dengan limbah yang tidak menghasilkan bau

e. pH

pH dapat mempengaruhi kehidupan biologi dalam air bila terlalu rendah atau terlalu tinggi. pH normal untuk kehidupan air adalah 6 s.d 8.

f. Warna

Warna didalam air disebabkan oleh adanya ion-ion logam besi dan mangan (secara alami), plankton, humus, tanaman, air dan buangan dari industri. Warna selalu berkaitan dengan kekeruhan, dan dengan menghilangkan kekeruhan akan kelihatan warna nyata. Demikian pula dengan warna yang dapat disebabkan oleh zat-zat terlarut dan oleh zat tersuspensi. Warna menimbulkan pemandangan yang tidak baik dalam air limbah meskipun warna tidak menimbulkan sifat racun.

2. Parameter Kimia

a. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Pemeriksaan BOD dalam limbah didasarkan atas reaksi oksidasi zat-zat organis dengan oksigen dalam air dimana proses tersebut dapat berlangsung karena ada sejumlah bakteri. Diperhitungkan selama selang dua hari reaksi, lebih dari sebagian pada reaksi telah tercapai. BOD merupakan kebutuhan oksigen pada sejumlah bakteri untuk menguraikan atau mengoksidasikan semua zat-zat organik terlarut maupun yang tersuspensi didalam air limbah menjadi bahan organik yang lebih sederhana. Nilai ini merupakan jumlah bahan organik yang dikonsumsi oleh bakteri. Penguraian zat-zat organis ini terjadi secara alami. Aktifnya bakteri-bakteri ini menguraikan bahan-bahan organik yang bersamaan dengan habisnya pula konsumsi oksigen

b. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Pengukuran air limbah dengan COD ialah bentuk lain dari pengukuran kebutuhan oksigen dalam air limbah. Pada metode ini lebih singkat waktunya jika dibandingkan dengan analisa pada BOD. Pengukuran ini menekankan pada kebutuhan oksigen akan kimia yang dimana senyawa-senyawa diukur merupakan bahan-bahan yang tidak dipecahkan secara biokimia. Terdapatnya racun atau logam tertentu di dalam air limbah ini membuat pertumbuhan bakteri menjadi terhalang dan pengukuran pada BOD akan menjadi tidak realistis. Untuk

mengatasi masalah ini, disarankan menggunakan analisa COD. COD merupakan sejumlah oksigen dibutuhkan agar mengoksidasi zat-zat anorganis dan organis sebagaimana yang ada pada BOD. Angka COD ini merupakan ukuran dalam pencemaran air oleh zat anorganik.

c. Methan

Gas methan ini terbentuk akibat adanya penguraian zat-zat organik dalam kondisi anaerob didalam air limbah. Gas methan ini dihasilkan oleh lumpur yang telah membusuk pada dasar kolam, tidak berwarna, tidak berdebu, dan mudah terbakar. Methan ini juga ditemukan pada daerah rawa-rawa dan sawah.

d. Keasaman Air

Keasaman air diukur dengan pH meter. Keasaman ini ditetapkan berdasarkan pada tinggi atau rendahnya konsentrasi ion hidrogen di dalam air. Pada air buangan yang mempunyai pH tinggi atau pH rendah menjadikan air ini steril dan sebagai akibatnya dapat membunuh mikroorganisme air yang dapat diperlukan untuk keperluan biota tertentu. Limbah air yang dengan keasaman tinggi bersumber pada buangan yang mengandung asam contohnya air pembilas yang dihasilkan pabrik pembuatan kawat atau seng.

e. Alkalinitas

Tinggi atau rendahnya alkalinitas pada air ditentukan dari senyawa karbonat, magnesium, garam-garam hidrokisda dan natrium di dalam air. Tingginya kandungan pada zat tersebut akan mengakibatkan kesadahan dalam air. Semakin tingginya kesadahan suatu air maka, semakin sulit air berbuih.

f. Minyak dan Lemak

Adanya kandungan lemak dan minyak yang terdapat di dalam air limbah bersumber dari industri yang mengolah bahan baku mengandung minyak yang bersumber dari proses klasifikasi dan pada proses perebusan. Pada air limbah membuat lapisan pada permukaan air tersebut sehingga dapat membentuknya selaput.

g. *Dissolved Oxygen* (DO)

Keadaan oksigen terlarut berlawanan dengan keadaan BOD. Semakin tinggi BOD semakin rendah oksigen terlarut. Keadaan pada oksigen terlarut di dalam air dapat menunjukkan adanya tanda-tanda kehidupan ikan dan biota di dalam perairan. Semakin banyak ganggang didalam air maka, semakin tinggi kandungan oksigen di dalamnya.

h. Logam-Logam Berat dan Beracun

Logam berat pada umumnya merupakan metal-metal yang seperti copper, selter pada cadmium, lead, chromium, air raksa, iron dan nikel. Metal lain yang juga termasuk pada metal berat adalah mangan, arsen, selenium, cobalt, dan aluminium. Logam-logam ini di dalam konsentrasi tertentu akan membahayakan manusia.

3. Karakteristik Biologi

Adanya bahan-bahan organik ini di dalam air yang terdiri dari berbagai macam senyawa. Protein merupakan salah satunya senyawa kimia organik yang dapat membentuk rantai kompleks dan akan mudah terurai menjadi senyawasenyawa lain seperti asam amino. Pada bahan yang mudah larut di dalam air, maka akan terurai menjadi enzim dan menjadi bakteri tertentu. Bahan ragi akan terfermentasi menghasilkan alkohol. Pati ini sukar larut dalam air, akan tetapi bisa diubah menjadi gula oleh adanya aktifitas mikrobiologi. Bahan-bahan ini dalam limbah akan diubah oleh mikroorganisme menjadi senyawa kimia yang sederhana seperti karbon dioksida dan air serta amoniak.

C. Baku Mutu Air Limbah Industri

Baku mutu air limbah menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan/atau kegiatan pemukiman, rumah makan, perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama.

Standar baku mutu untuk air limbah industri tahu atau kegiatan pengolahan kedelai menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014 adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1

Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Pengolahan Kedelai

Parameter	Pengolahan Kedelai					
	Kecap		Tahu		Tempe	
	Kadar *) (mg/L)	Beban (kg/ton)	Kadar *) (mg/L)	Beban (kg/ton)	Kadar *) (mg/L)	Beban (kg/ton)
BOD	150	1,5	150	3	150	1,5
COD	300	3	300	6	300	3
TSS	100	1	200	4	100	1
pH	6 - 9					
Kuantitas air limbah paling tinggi (m ³ /ton)	10		20		10	

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah

D. Pengertian dan Proses Pembuatan Tahu

Tahu merupakan salah satu produk olahan biji kedelai yang telah lama dikenal dan banyak disukai oleh masyarakat, karena harganya murah dan mudah didapat. Pembuatan tahu umumnya dilakukan oleh industri kecil atau rumah tangga, tahu juga berperan dalam upaya meningkatkan gizi masyarakat (Markiyah, 2013).

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 ($\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) dan larutan bibit tahu (larutan perasan kedelai yang telah diendapkan satu malam).

Secara umum tahapan proses pembuatan tahu adalah sebagai berikut:

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

Pada proses pengolahan tahu, diperlukan banyak air dikarenakan sebagian besar tahapannya memerlukan air sehingga hal ini mengakibatkan besarnya jumlah limbah cair tahu yang dihasilkan.

E. Komposisi Limbah Cair Tahu

Limbah cair tahu adalah hasil sampingan dari proses pembuatan tahu berupa limbah cair tahu. Air limbah tahu yang dihasilkan masih banyak mengandung zat organik seperti protein, karbohidrat, lemak dan zat terlarut yang mengandung padatan tersuspensi (Rasmito Agung, 2019).

Kandungan unsur kimia yang terkandung dalam 100 mL limbah cair tahu adalah air sebanyak 4,9 g; protein 17,4 g; mineral 4,3 g; kalsium 19 mg; zat besi 4 mg; nitrogen 1,64%; fosfor sebesar 0,15%; serta kalium sebesar 6,25% (Rohmah, 2011).

F. Dampak Limbah Cair Tahu

Pencemaran lingkungan oleh limbah cair tahu merupakan salah satu penyebab kerusakan lingkungan. Limbah tahu yang dihasilkan masih dibuang langsung pada saluran air, padahal limbah cair industri tahu mengandung bahan-bahan organik yang tinggi terutama protein dan asam amino. Adanya senyawa-senyawa organik tersebut menyebabkan limbah cair industri tahu mengandung kadar Total Suspended solid (TSS) yang cukup tinggi sehingga menghasilkan parameter Biological Oxygen Demand (BOD) dan Chemical Oxygen Demand (COD) tinggi pula .

Dampak yang ditimbulkan dari kandungan pencemar seperti zat organik dan TSS yang tinggi dapat berbahaya sekaligus mematikan bagi ekosistem di perairan apabila langsung dibuang ke saluran air tanpa pengolahan terlebih dahulu. Masuknya padatan tersuspensi (TSS) ke dalam air dapat menimbulkan kekeruhan air, yang menyebabkan menurunnya laju fotosintesis fitoplankton dan tumbuhan air lainnya, sehingga produktivitas primer dari perairan mengalami penurunan. Proses dekomposisi bahan organik menyebabkan mikroorganisme memerlukan jumlah oksigen yang cukup banyak untuk memperoleh energi. Kekurangan oksigen terlarut menyebabkan penguraian zat organik yang dilakukan oleh mikroorganisme anaerob yang mengeluarkan gas asam sulfida (H₂S) dan gas metana (CH₄) yang berbau seperti telur busuk. Tingginya konsentrasi zat organik dalam limbah cair industri tahu menyebabkan kebutuhan oksigen biologi dan oksigen kimia dalam perairan semakin tinggi (Kasman et al., 2018).

G. Metode *Multi Soil Layering* (MSL)

Teknik alternatif yang telah memiliki potensi baik untuk di jadikan pengolahan air limbah terdesentralisasi adalah sistem *Multi Soil Layering* (MSL). MSL telah berhasil digunakan untuk pengolahan beberapa jenis air limbah (Guan

et al., 2012; Verawati, 2019). Sistem MSL adalah suatu metode untuk meningkatkan fungsi tanah dalam pengolahan limbah cair organik. Metode MSL adalah suatu sistem yang dengan menggunakan tanah, zeolit, dan arang sebagai sumber karbon yang disusun pola seperti batu bata serta menggunakan pipa aerasi sebagai sumber oksigen (S. Irmanto, 2008).

Sistem Multi Soil Layering (MSL) dikembangkan untuk meningkatkan fungsi tanah dalam pengolahan limbah cair biogenik sebelum dilepas ke badan perairan. Proses biodegradasi pada komponen air limbah di dalam sistem MSL berlangsung melalui bantuan yaitu bakteri-bakteri di bawah kondisi aerobik maupun kondisi anaerobik. Zona aerobik terjadi di lapisan kerikil dan di zeolit serta antar muka antara lapisan di zeolit dan di lapisan tanah. Zona anaerobik terjadi pada lapisan campuran tanah dan tempurung kelapa (S. Irmanto, 2008).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Irmanto, dkk (2008) bahwa Penurunan BOD dan COD limbah cair industri tekstil dengan Metoda Multi Soil Layering (MSL). Hasilnya adalah efisiensi sistem MSL dalam penurunan nilai BOD dan COD limbah cair industri tekstik adalah 96,52% dan 80,87%.

H. Keuntungan dan Kekurangan Metode *Multi Soil Layering* (MSL)

Menurut Luanmanee dkk, 2002 dalam Verawati (2019) keuntungan sistem MSL adalah :

1. Mempunyai kemampuan menguraikan zat organik
2. Menurunkan kadar BOD, COD, N dan fosfor dari limbah cair secara simultan
3. Mampu mencegah penyumbatan (*clogging*)
4. Memiliki kemampuan yang tinggi untuk menerima dan menyerap air 1000 – 4000 L/m² hari sedangkan tanah konvensional 10 – 40 L/m² hari
5. Komposisi material penyusunnya dapat diganti dengan material yang ada
6. Masa pakai material lebih dari 10 tahun

7. Sistem MSL ditandai dengan biaya rendah dan perawatan yang mudah dan dapat menjadi pilihan yang layak untuk mengolah air limbah untuk komunitas kecil.

Adapun permasalahan yang timbul akibat pengolahan limbah cair dengan menggunakan tanah, diantaranya (Wakatsuki dkk, 1993; Verawati 2019):

1. Kemampuan konduktivitas tanah yang terbatas untuk HLR yang besar dari 50 L/m² hari
2. Distribusi limbah cair yang tidak merata
3. Proses pengolahan pada MSL lebih lambat karena menggunakan pengolahan secara anaerob
4. Ketidakefektifan dalam penyisihan nitrat

I. Material Metode *Multi Soil Layering* (MSL)

Pada metoda *Multi Soil Layering* (MSL) materialnya terdiri dari tanah andosol, arang, serbuk gergaji, jerami padi atau material lainnya yang digunakan sebagai lapisan campuran tanah dibentuk seperti batu bata, sedangkan kerikil, perlit, zeolit atau jenis batuan lainnya digunakan sebagai lapisan batuan. Zeolit (batuan) mempunyai peranan penting dalam efisiensi infiltrasi dan penyerapan, distribusi limbah cair, dan penetralan pH selama pengolahan. Jenis batuan (kerikil dan perlit) yang dipakai pada sistem MSL dapat berupa apa saja, tergantung pada kekayaan daerah dimana metode ini mau diterapkan.

Material pada *Multi Soil Layering* dapat digunakan selama 10 tahun, namun untuk bisa tetap digunakan perlu di lakukan pencucian dengan cara back wash. Pencucian back wash ini dilakukan jika air hasil olahan tersebut telah keruh. Penggantian material pada *Multi Soil Layering* dapat dilakukan sebelum masa pakai 10 tahun jika telah dilakukanya pencucian *back wash* namun air hasil olahan tidak lagi jernih. Dekomposisi BOD dan COD dapat ditingkatkan dengan penambahan bubuk arang dan aerasi tambahan, absorpsi fosfat dengan penambahan bijih besi, penyisihan nitrogen dengan penambahan sumber karbon pada aerasi optimal, serta proses nitrifikasi dan denitrifikasi dapat ditentukan dengan penambahan meterial organik seperti serbuk gergaji (Wakatsuki et al., 1993; Verawati, 2019).

1. *Soil Mixture Block (SMB)*

Sistem MSL menggunakan blok campuran tanah (SMB) dan lapisan permeabel (PL), yang berbeda dari sistem perkolasi tanah tradisional. SMB, komponen ini terdiri dari tanah, arang, serbuk gergaji, jerami, dan partikel besi, disusun seperti batu bata dan memainkan peran penting di dalam sistem MSL. Materi yang berbeda akan mempunyai fungsi yang berbeda. Tanah dapat berfungsi sebagai filter dan juga habitat mikroorganisme. Bahan organik seperti serbuk gergaji, jerami padi dan sumber karbon sebagai pasokan untuk proses denitrifikasi. Arang dapat menyerap beragam kontaminan dari air limbah (Verawati, 2019).

Arang bambu sangat efektif untuk menyerap ion logam berat (Wang et al., 2008), dan dapat dipergunakan untuk penanganan limbah organik pada perairan yang terpolusi (Ademiluyi et al., 2009).

2. *Permeable Layer (PL)*

PL terdiri dari bahan-bahan seperti kerikil, batu apung dan zeolit. PL mengelilingi SMB seperti semen, yang dapat meningkatkan dispersi dan distribusi air dan mengurangi risiko penyumbatan. Selain itu, bahan dengan struktur berpori dalam PL juga dapat menyerap kontaminan dan memberikan manfaat bagi mikroorganisme. Karena perbedaan dalam struktur, permeabilitas, dan distribusi air, masing-masing SMB dan PL dapat berfungsi sebagai zona jenuh (anaerob) dan zona tak jenuh (aerob). Sistem MSL tidak hanya reaktor hibrid termasuk proses aerob dan anaerob, tetapi juga ekosistem tanah mini.

a. Zeolit

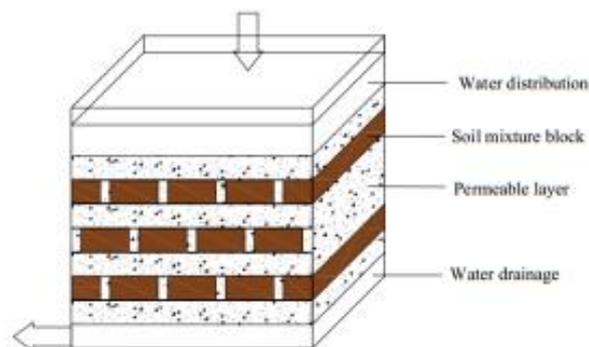
Zeolit mempunyai kapasitas yang tinggi sebagai penyerap. Hal ini disebabkan karena zeolit dapat memisahkan molekul-molekul berdasarkan ukuran dan konfigurasi dari molekul. Mekanisme adsorpsi yang mungkin terjadi dalam penggunaan zeolit sebagai adsorben ialah adsorpsi fisika (melibatkan gaya Van der Waals), adsorpsi kimia (melibatkan gaya elektrostatik), dan ikatan hidrogen (Affandi dan Hendri, 2011). Zeolit dapat digunakan dalam berbagai

kegiatan yang luas, seperti penukar ion, adsorben, dan katalisator (Sulardjaka, dkk. 2015).

J. Mekanisme Metode *Multi Soil Layering* (MSL)

Soil Mixture Block (SMB) dicampurkan dan dipadatkan untuk selanjutnya dikemas dalam kantong serat. Kantong SMB kemudian disusun secara berselang-seling dengan Permeable Layer (PL). Menurut Masunaga et al (2007) metode MSL adalah metode pengolahan yang memanfaatkan kemampuan tanah dalam mengolah limbah cair, dimana tanah disusun dalam pola batu bata. Pada metode MSL ini terjadi mekanisme filtrasi, absorpsi, adsorpsi, dan dekomposisi.

Gambar 2.1 Susunan/Skema *Multi Soil Layering*



1. Filtrasi

Filtrasi didefinisikan sebagai proses pemisahan antara solid-liquid dengan melewatkan cairan melalui suatu media berpori atau material porus lainnya untuk pemisahan air dengan kotoran tersuspensi, pemisahan air dengan koloidal yang dikandung air limbah, pemisahan air dengan bakteri yang dikandungnya. Filtrasi dapat terjadi karena adanya gaya dorong, yaitu: gravitasi, tekanan dan gaya sentrifugal. Proses filtrasi di mulai pada saat limbah cair masuk ke lapisan batuan sistem MSL (Wakatsuki dkk, 1993).

2. Adsorpsi

Pada MSL Adsorpsi terjadi di lapisan permukaan campuran tanah. Material organik limbah cair diadsorpsi dalam lapisan atas

campuran tanah dan arang aktif serta permukaan zeolit (Wakatsuki dkk, 1993; Verawati, 2019)

3. Dekomposisi

Ada beberapa definisi yang dikemukakan tentang dekomposisi antara lain dekomposisi didefinisikan sebagai penghancuran bahan organik mati secara gradual yang dilakukan oleh agen biologi maupun fisika (Sunarto 2003 dalam Verawati, 2019). Faktor yang mempengaruhi dekomposisi, yaitu oksigen, bakteri, bahan organik sebagai nutrien, suhu, kelembaban, cahaya, dan pH (Sunarto, 2003).

4. Nitrifikasi

Nitrifikasi merupakan suatu konversi biologis dari nitrogen dari komponen organik atau komponen anorganik dari bentuk tereduksi ke bentuk oksidasi. Pada penanganan polusi air, nitrifikasi adalah proses biologis yang akan mengoksidasi ion amonia menjadi bentuk nitrit atau nitrat. Nitrifikasi berlangsung pada lapisan batuan dan sekat antara lapisan batuan dan lapisan campuran tanah (Wakatsuki et al, 1993; Verawati, 2019).

5. Denitrifikasi

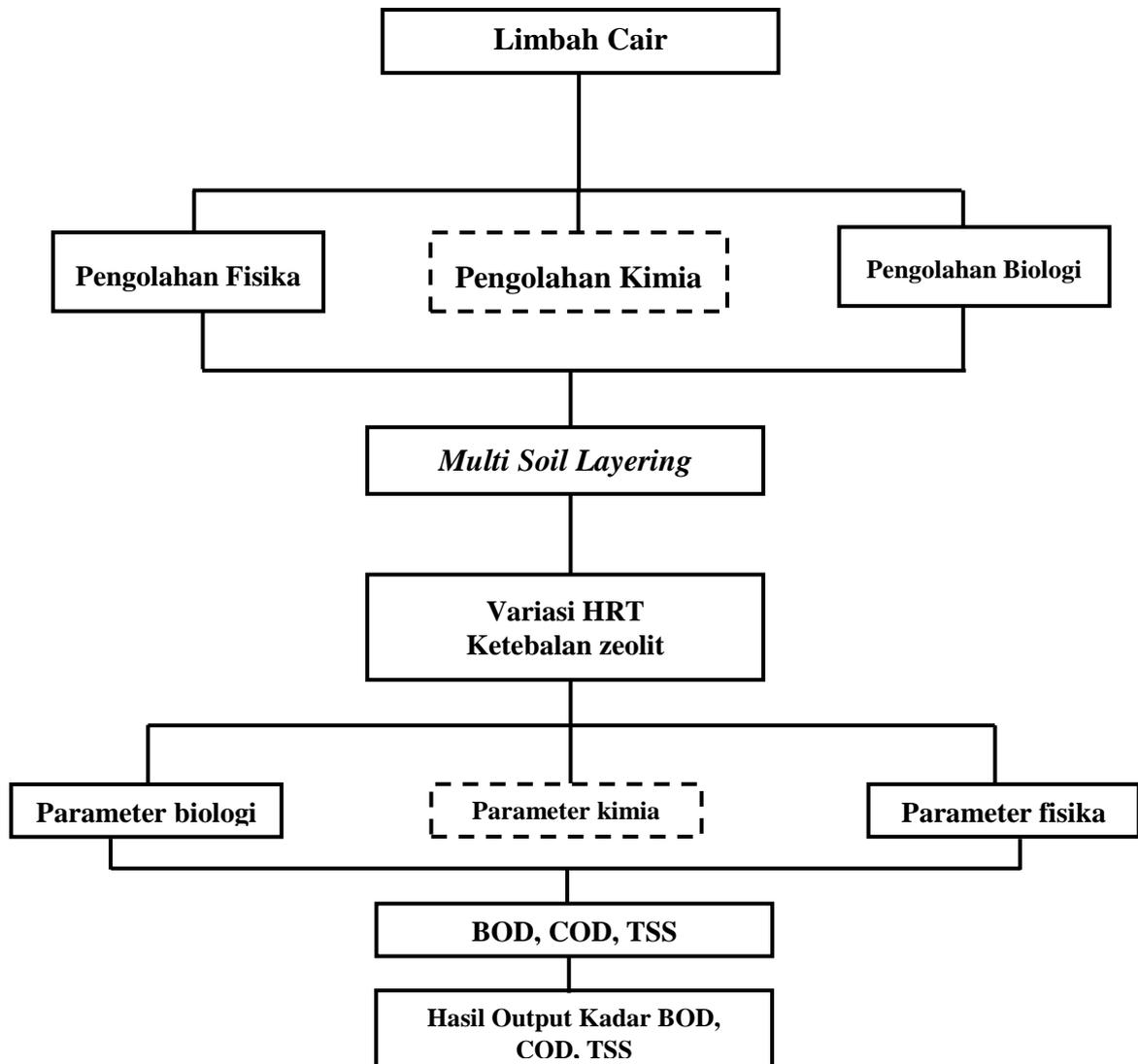
Denitrifikasi adalah proses biologis dimana nitrat direduksi menjadi nitrogen atau produk akhir gas lainnya. Hal ini terjadi jika bakteri dalam tanah kurang atau tidak mencukupi. Denitrifikasi pada sistem MSL berlangsung pada lapisan campuran tanah (Wakatsuki et al, 1993; Verawati, 2019).

K. Siklus Operasi *Multi Soil Layering* (MSL)

1. Waktu Detensi/*Hydraulic Retention Time* (HRT)

Waktu detensi adalah waktu yang diperlukan pada proses pengolahan limbah cair untuk mencapai tujuan pengolahan yang optimal. Semakin lama waktu detensi, semakin besar penyisihan kadar patogen (Anwar dkk., 2018). Waktu detensi menentukan lamanya proses kontak antara limbah dengan sistem pengolahan (Kasman dkk., 2018).

Kerangka Teori



Gambar 2.2 Kerangka Teori

(Sumber: Puspita; Melia, 2023., Adi Rahmadi Noor Mirad Sari 2021., Guan et al 2016)

Ket:

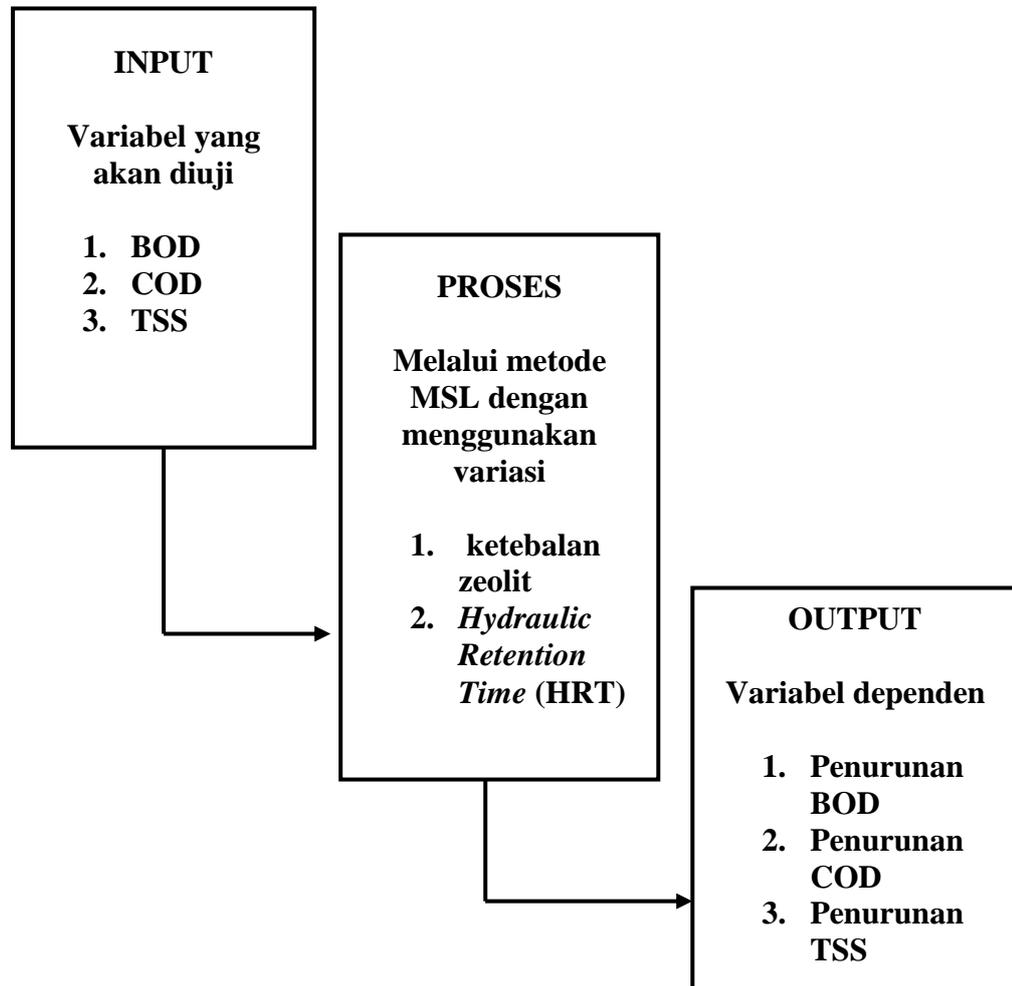


Variabel yang diteliti



Variabel yang tidak diteliti

L. Kerangka Konsep



Gambar 2.3 Kerangka Konsep

M. Hipotesis

H₀ = Tidak terdapat pengaruh metode *Multi Soil Layering* dengan variasi ketebalan zeolit terhadap penurunan BOD, COD, dan TSS limbah cair tahu

H_a = Tidak terdapat pengaruh metode *Multi Soil Layering* dengan variasi ketebalan variasi waktu tinggal (HRT) terhadap penurunan BOD, COD, dan TSS limbah cair tahu

H_a = Terdapat pengaruh metode *Multi Soil Layering* dengan variasi ketebalan zeolit terhadap penurunan BOD, COD, dan TSS limbah cair tahu

H₀ = Terdapat pengaruh metode *Multi Soil Layering* dengan variasi ketebalan variasi waktu tinggal (HRT) terhadap penurunan BOD, COD, dan TSS limbah cair tahu