

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Industri Tempe

a. Pengertian

Menurut Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2014 tentang Perindustrian, industri adalah seluruh bentuk kegiatan ekonomi yang mengolah bahan baku dan/atau memanfaatkan sumber daya industri sehingga menghasilkan barang yang mempunyai nilai tambah atau manfaat lebih tinggi, termasuk jasa industri. Industri pengolahan merupakan suatu kegiatan ekonomi mengubah suatu barang dasar baik secara mekanis, kimia, atau dengan tangan menjadi barang yang lebih tinggi nilainya, dan sifatnya lebih dekat kepada pemakai akhir (BPS, 2021). Menurut Badan Pusat Statistik (2021), berdasarkan banyaknya tenaga kerja industri dibagi dalam 4 kriteria yaitu:

- 1) Industri rumah tangga dengan jumlah tenaga kerja 1-4 orang
- 2) Industri kecil dengan jumlah tenaga kerja 5-19 orang
- 3) Industri sedang dengan jumlah tenaga kerja 20-29 orang
- 4) Industri besar dengan jumlah tenaga kerja 100 orang atau lebih

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, industri pengolahan kedelai adalah usaha dan/atau kegiatan yang memanfaatkan kedelai sebagai bahan baku utama yang tidak bisa digantikan dengan bahan

lain. Industri tempe usaha dan/atau kegiatan yang memanfaatkan kedelai sebagai bahan utama pembuatan tempe. Pada umumnya industri tempe masih tergolong industri rumah tangga dengan jumlah tenaga kerja 1-4 orang dan industri kecil dengan jumlah tenaga kerja 5-19 orang.

b. Proses Produksi

Tempe merupakan makanan yang terbuat dari bahan baku kacang kedelai yang diproses melalui fermentasi menggunakan ragi. Fermentasi pada kedelai terjadi karena aktivitas kapang *Rhizopus oligosporus*. Kapang yang tumbuh pada kedelai menghidrolisis senyawa-senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana yang mudah dicerna oleh manusia (BSN, 2012).

Proses pembuatan tempe kedelai di Dusun Karang Nongko melalui dua tahap perebusan. Tujuan direbus dua kali adalah untuk meningkatkan masa simpan dan kualitas tempe kedelai. Pada dasarnya, proses pembuatan tempe meliputi 2 bagian besar, yaitu proses perebusan kedelai dan proses fermentasi. Berikut ini adalah langkah-langkah pembuatan tempe kedelai di Dusun Karang Nongko :

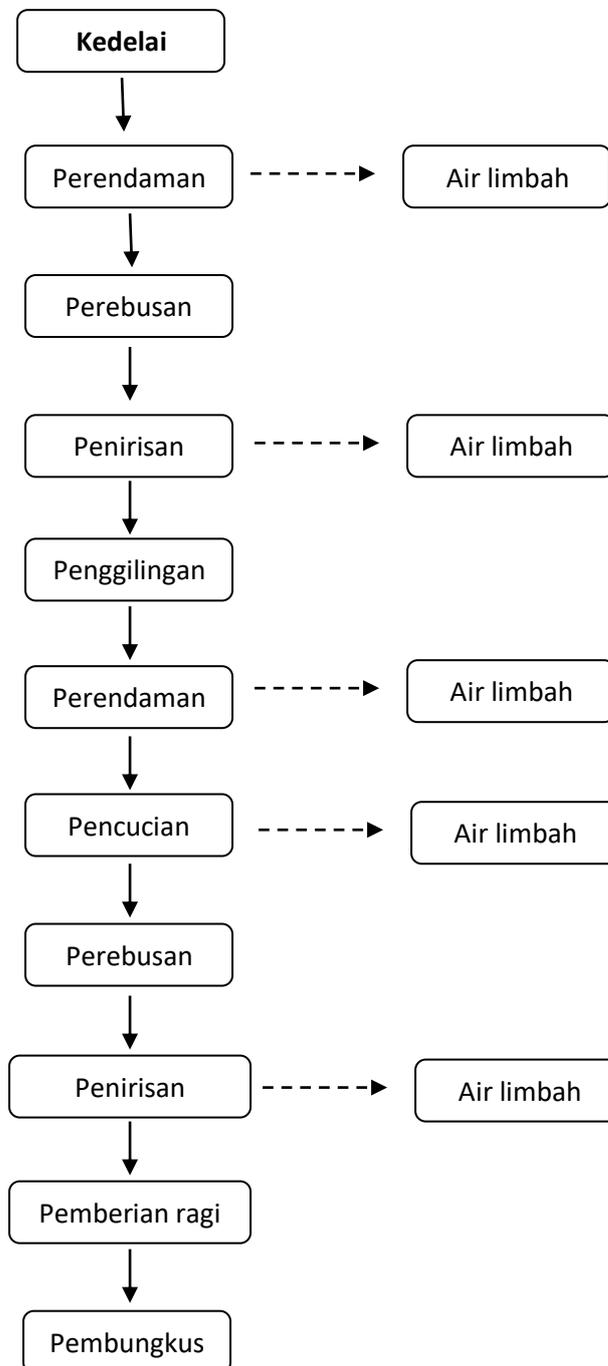
1. Kedelai direndam selama 4 jam.
2. Kedelai yang sudah direndam, kemudian direbus hingga mendidih.
3. Ketika rebusan kedelai sudah mendidih, kedelai diangkat dan ditiriskan.

4. Setelah direbus kedelai digiling menggunakan mesin. Penggilingan dilakukan untuk memecah kedelai.
5. Kedelai yang sudah digiling kedelai di rendam 1 malam atau 24 jam.
6. Setelah direndam selama 24 jam, kedelai dicuci hingga bersih.
7. Tempe yang sudah dicuci masuk pada tahap perebusan kedua. Perebusan dilakukan hingga mendidih.
8. Setelah mendidih, kedelai ditiriskan hingga dingin.
9. Setelah dingin kedelai diberi ragi dengan jumlah takaran 1 sendok teh ragi untuk setiap 10 kg kedelai.
10. Kedelai yang sudah tercampur ragi dengan rata, maka selanjutnya kedelai dibungkus dengan plastik.
11. Dalam jangka waktu 3 hari jamur tempe telah tumbuh dan siap diolah berbagai produk lainnya

c. Limbah Produksi

Proses produksi tempe membutuhkan banyak air untuk pencucian, pengelupasan kulit kedelai, perendaman, dan perebusan. Pembuatan tempe dengan kedelai sebanyak 100 kilogram dapat menghasilkan limbah hingga 2 m³ (Nurhasan, 1991 dalam Puspawati, 2017). Limbah cair tempe kedelai termasuk dalam limbah yang *biodegradable*. *Biodegradable* adalah limbah atau bahan buangan yang dapat dihancurkan oleh mikroorganisme. Berikut ini merupakan

bagan proses produksi untuk memperjelas proses produksi yang menghasilkan limbah cair.



Gambar 1. Bagan Alir Produksi Tempe

2. Karakteristik Limbah Industri Tempe

Karakteristik limbah cair tempe yang dihasilkan saat proses produksi dapat diketahui dengan cara mengukur parameter kimia dan fisika limbah cair tempe pada salah satu industri. Karakteristik kimia meliputi bahan organik, bahan anorganik, dan gas. Karakteristik fisika meliputi bau, warna, suhu, dan padatan total. Menurut Novita *et al.*, (2020) karakteristik limbah cair pembuatan tempe kedelai adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Karakteristik Limbah Cair Tempe

No	Parameter	Baku Mutu	Nilai	Satuan
1	BOD	150	4.200,50	mg/L
2	COD	300	22.500	mg/L
3	TSS	100	4.530	mg/L
4	Kekeruhan		1.410	NTU
5	Ph	6-9	4,5	
6	Nitrogen		64,7	mg/L

Sumber : Novita *et al.*, 2020

Tabel menunjukkan bahwa limbah cair pembuatan tempe kedelai cenderung asam dan mengandung *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solid* (TSS) yang tinggi. Limbah cair pembuatan tempe kedelai mengandung polutan organik yang cukup tinggi dan padatan tersuspensi maupun terlarut. Senyawa-senyawa organik tersebut menyebabkan limbah cair industri tempe mengandung BOD, COD, dan TSS yang tinggi.

Senyawa-senyawa organik tersebut dapat berupa, karbohidrat, protein, minyak, dan lemak. Kadar senyawa-senyawa mencapai 25%-50% karbohidrat, 40%-60% protein, dan 10% lemak. Semakin lama

jumlah dan jenis bahan organik maka semakin banyak, sehingga menyulitkan pengelolaan limbah, karena beberapa zat sulit diuraikan oleh mikroorganisme di dalam air limbah tempe. Gas-gas yang biasa ditemukan dalam limbah tempe adalah gas nitrogen (N_2), oksigen (O_2), hydrogen sulfide (H_2S), ammonia (NH_3), karbondioksida (CO_2) dan metana (CH_4). Gas-gas tersebut berasal dari dekomposisi bahan-bahan organik yang terdapat di dalam air buangan tempe (Ilmi, 2016 dalam Sayow *et al.*, 2020).

Karakteristik limbah cair yang dihasilkan berupa bahan organik padatan tersuspensi (kulit, selaput lendir, dan bahan organik lain). Warna putih keruh pada air limbah berasal dari pembuangan air rendaman dan pengelupasan kulit kedelai yang masih banyak mengandung pati, juga berasal dari air bekas pencucian peralatan proses produksi, peralatan dapur dan peralatan lainnya (Wignanto *et al.*, dalam Sayow *et al.*, 2020). Bau yang timbul karena adanya aktivitas mikroorganisme yang menguraikan zat organik secara biologis anaerobik dan menghasilkan gas CH_4 , H_2S , serta NH_3 yang menyebabkan bau. Kadar NH_3 sebesar 0,0037 mg/l sudah dapat menimbulkan bau NH_3 yang menyengat. Pada limbah domestik, sebagian besar nitrogen organik akan diubah menjadi ammonia pada proses pembusukan anaerobik dan menjadi nitrat atau nitrit pada proses pembusukan aerob (Said dan Wahjono, 1999).

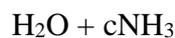
3. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

Kebutuhan oksigen biokimia atau BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme di dalam air lingkungan untuk mendegradasi bahan buangan organik yang ada di dalam air lingkungan tersebut (Wardana 2004 dalam Fatimah 2016). Semakin banyak bahan organik dalam air maka semakin besar BOD nya, sedangkan *Dissolved Oxygen* (DO) akan semakin rendah. DO merupakan oksigen terlarut yang terkandung di dalam air yang berasal dari udara dan hasil proses fotosintesis tumbuhan air. Makhluk yang hidup di air seperti ikan, udang, kerang dan hewan lainnya termasuk mikroorganisme seperti bakteri membutuhkan oksigen (Fikri, 2019).

Bakteri aerobik adalah mikroorganisme yang membutuhkan oksigen untuk memecahkan bahan buangan organik. Sedangkan bakteri anaerobik adalah mikroorganisme yang tidak membutuhkan oksigen untuk memecahkan bahan buangan organik (Wardana 2004 dalam Fatimah 2016). Penguraian bahan buangan organik melalui proses oksidasi oleh bakteri aerobik. Proses oksidasi tersebut terjadi menurut reaksi sebagai berikut :



Bahan Organik Oksigen Bakteri Aerobik



Bahan buangan dipecah dan diuraikan menjadi gas CO₂ air dan NH₃.

Penyebab bau busuk pada air lingkungan adalah NH₃.

Pada dasarnya prinsip pengukuran BOD cukup sederhana, yaitu mengukur kandungan oksigen terlarut awal (DO_i) dari sampel segera setelah pengambilan contoh, kemudian mengukur kandungan oksigen terlarut pada sampel yang telah diinkubasi selama 5 hari pada kondisi gelap dan suhu tetap yaitu 20°C yang sering disebut dengan DO_5 . Nilai BOD adalah selisih dari DO_i dan DO_5 yang dinyatakan dalam milligram oksigen per liter (mg/L). Tujuan penyimpanan pada kondisi gelap adalah supaya tidak terjadi proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen, dan dalam suhu yang tetap selama lima hari. Diharapkan hanya terjadi proses dekomposisi oleh mikroorganisme, sehingga yang terjadi hanyalah penggunaan oksigen dan oksigen tersisa ditera sebagai DO_5 (Atima, 2015).

4. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Kebutuhan oksigen warna atau COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan supaya bahan buangan yang ada di dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Nilai COD akan selalu lebih besar daripada BOD karena kebanyakan senyawa lebih mudah teroksidasi secara kimia daripada biologi. Pengukuran COD lebih cepat daripada BOD karena dapat dilakukan dapat dilakukan selama tiga jam, sedangkan BOD paling tidak memerlukan waktu lima hari (Siregar, 2005).

Bahan buangan organik akan dioksidasi oleh Kalium bichromat menjadi gas CO_2 dan H_2O serta sejumlah ion Chrom. Kalium bichromat

atau $K_2Cr_2O_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*).

Berikut merupakan reaksi oksidasi terhadap bahan organik :



Prinsip pengukuran COD adalah dengan penambahan sejumlah tertentu kalium bikromat ($K_2Cr_2O_7$) sebagai oksidator pada sampel yang telah ditambahkan asam pekat dan katalis perak sulfat, kemudian dipanaskan selama beberapa waktu. Selanjutnya, kelebihan kalium bikromat ditera dengan cara titrasi. Sehingga kalium bikromat yang terpakai untuk oksidasi bahan organik dalam sampel dapat dihitung dan nilai COD dapat ditentukan (Atima, 2015).

5. TSS (*Total Suspended Solid*)

Padatan tersuspensi (tidak terlarut) total atau TSS adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter $> 1\ \mu m$) yang tertahan pada saringan milipore dengan diameter pori $0,45\ \mu m$ (Fatimah, 2016). Padatan tidak larut merupakan senyawa kimia yang terdapat dalam air baik dalam keadaan melayang, terapung maupun mengendap dan menyebabkan air berwarna keruh. Kekerusuhan air disebabkan oleh zat padat tersuspensi, baik yang bersifat organik atau anorganik. Zat tersebut akan mengendap pada dasar air yang lama kelamaan menimbulkan pendangkalan pada dasar badan air. Padatan ini dapat menumbuhkan tanaman air tertentu dan dapat menjadi racun bagi makhluk hidup lainnya. Kekerusuhan juga mempengaruhi jumlah oksigen dalam air buangan karena oksigen

tersebut dipergunakan untuk menguraikan senyawa organik (Andini, 2009).

6. Dampak Pencemaran Limbah Cair Industri Tempe

Berikut merupakan dampak pencemaran limbah cair industri tempe:

- a. Limbah cair tempe dapat menurunkan konsentrasi oksigen terlarut dalam perairan karena saat proses penguraian zat organik membutuhkan oksigen. Keadaan tersebut sangat membahayakan kehidupan organisme perairan tersebut (Novita *et al.*, 2020). Selain itu, umumnya konsentrasi ion hidrogen limbah cair tempe cenderung bersifat asam, sehingga limbah yang dibuang ke perairan akan mengubah pH air dan dapat mengganggu kehidupan organisme air (Ilmi, 2016 dalam Sayow *et al.*, 2020) .
- b. Menimbulkan bau busuk, karena sisa bahan organik yang tidak terurai secara aerob akan diurai oleh bakteri anaerob (Novita *et al.*, 2020).
- c. Apabila dibuang langsung ke badan air maka dapat menurunkan daya dukung lingkungan pada perairan, karena limbah mengandung bahan organik tinggi dan kadar BOD, COD yang cukup tinggi (Agung dan Hanry, 2013 dalam Sayow *et al.*, 2020).
- d. Biaya yang dibutuhkan untuk pengolahan air minum meningkat dan timbulnya senyawa klororganik yang bersifat karsinogenik akibat proses klorinasi yang berlebihan (Herlambang, 2002 dalam Fatimah, 2016).

- e. Gangguan kesehatan yang diakibatkan oleh air yang kotor dan sanitasi lingkungan yang tidak baik (Herlambang, 2002 dalam Fatimah, 2016).

7. Pengolahan Limbah Cair Industri Tempe

Tujuan utama pengolahan limbah cair adalah untuk mengurangi kandungan bahan pencemar seperti senyawa organik, padatan tersuspensi, mikroba patogen, serta senyawa organik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di alam. Pengolahan dilakukan hingga batas air limbah tidak mencemarkan lingkungan hidup (Setiadi, 2008). Efisiensi pengolahan limbah dengan proses biologis anaerob hanya sekitar 70%-80%, sehingga air limbah masih mengandung kadar pencemar organik cukup tinggi, serta bau yang masih ditimbulkan sehingga hal ini menyebabkan masalah tersendiri (Herlambang, 2002).

Limbah industri tempe setelah diolah dengan biofilter diperoleh hasil efisiensi penurunan rata-rata 98% untuk parameter BOD, COD, dan TSS, sehingga efluen yang dibuang ke sungai sudah memenuhi baku mutu (Nuerhayati *et al.*, 2011). Menurut Sugiharto (2014), secara garis besar kegiatan pengolahan limbah cair dikelompokkan menjadi 6 bagian yaitu:

- a. Pengolahan pendahuluan (*pre treatment*)

Dalam pengolahan pendahuluan dilakukan pembersihan-pembersihan supaya mempercepat dan memperlancar proses pengolahan selanjutnya. Kegiatan tersebut berupa pengambilan

benda terapung dan pengambilan benda yang mengendap seperti pasir dan kerikil. Pengolahan pendahuluan terdiri dari beberapa tahap meliputi penyaringan (*Screening*), pemisahan pasir (*Grit removal*), pemisahan minyak dan lemak (*Grease removal*), dan ekualisasi (*Equalization*).

b. Pengolahan pertama (*primary treatment*)

Tujuan pengolahan pertama adalah menghilangkan zat padat tercampur melalui pengendapan atau pengapungan. Pengendapan merupakan kegiatan utama pada tahap ini dan pengendapan yang dihasilkan pada kondisi tenang. Pengolahan kedua terdiri dari 2 jenis yaitu pengolahan secara kimia dan pengolahan secara fisik. Pengolahan kimia terdiri dari netralisasi dan penggumpalan. Pengolahan fisik terdiri dari *flotation*, *sedimentation*, dan *filtration*.

c. Pengolahan kedua (*secondary treatment*)

Pada umumnya pengolahan kedua mencakup proses biologis untuk mengurangi bahan-bahan organik melalui mikroorganisme yang ada di dalamnya. Terdapat 2 hal penting dalam proses biologis ini yaitu proses penambahan oksigen dan pertumbuhan bakteri. Pengolahan yang umum digunakan pada tahap ini yaitu *activated sludge*, *anaerobic lagoon*, *trickling filter*, *aerated lagoon*, *stabilization basin*, *rotating biological contactor*, serta *anaerobic contactor and filter*.

d. Pengolahan ketiga (*tertiary treatment*)

Pengolahan ini merupakan kelanjutan dari pengolahan-pengolahan terdahulu. Sehingga, pengolahan jenis ini baru akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua masih banyak zat tertentu yang berbahaya bagi manusia. Proses pengolahan tahap ketiga adalah *coagulation and sedimentation, filtration, carbon adsorption, ion exchange, membrane separation, dan thickening gravity or flotation*.

e. Pembunuhan kuman (*disinfection*)

Disinfection bertujuan untuk mengurangi atau membunuh mikroorganisme patogen yang ada di limbah cair. Pembunuhan bakteri dapat dilakukan dengan klorinasi dan ozonisasi. Klorinasi dengan bahan kimia dapat mematikan bakteri dengan cara merusak atau menginaktifkan enzim utama, sehingga terjadi kerusakan dinding sel. Ozonisasi dapat merusak langsung dinding sel seperti yang dilakukan apabila menggunakan bahan radiasi atau panas.

f. Pembuangan lanjutan (*ultimate disposal*)

Pengolahan lumpur yang masih sedikit mengandung bahan nitrogen dan mempermudah proses pengangkutan, maka perlu beberapa tahap pengolahan yaitu proses pemekatan, penstabilan, pengaturan, pengurangan air, pengeringan, dan pembuangan.

8. Sedimentasi

Sedimentasi adalah suatu proses pemisahan partikel padatan yang terkandung dalam air limbah dengan memanfaatkan gaya gravitasi, baik padatan organik atau anorganik. Proses sedimentasi bertujuan untuk memperoleh air buangan yang jernih dan mempermudah proses penanganan lumpur. Dalam proses sedimentasi hanya partikel-partikel yang lebih berat dari air yang dapat terpisah (Siregar, 2005). Menurut Metcalf dan Eddy (1979) waktu detensi pada sedimentasi pertama 1,5 – 2,5 jam. Waktu yang dibutuhkan partikel padat mengendap adalah 1,5 – 2,5 jam (Sudjarwo, 2008).

Faktor yang mempengaruhi pengendapan partikel-partikel di dalam air yaitu kecepatan aliran, ukuran, bentuk, dan massa jenis partikel, sifat partikel, dan viskositas. Faktor kecepatan aliran, ukuran, bentuk, dan massa jenis partikel serta sifat partikel merupakan hal yang paling diperhatikan dalam perancangan bak sedimentasi. Ukuran partikel, bentuk partikel, dan konsentrasi partikel semakin besar maka semakin cepat mengendap dan semakin banyak yang terendapkan. Semakin berat massa jenis partikel dari berat jenis air maka partikel akan semakin cepat mengendap. Pengaruh viskositas cairan terhadap kecepatan sedimentasi yaitu dapat mempercepat proses sedimentasi dengan cara memperlambat cairan supaya partikel tidak lagi tersuspensi (Rita, 2019). Unit pengolahan sedimentasi pertama memiliki efisiensi penyisihan berkisar 50-70% untuk TSS dan 25-40% BOD5 (Metcalf dan Eddy, 1979).

Penelitian yang dilakukan oleh Andini (2009), mengolah limbah cair tempe dengan pengolahan anaerobik biofilter menggunakan EM4, sedimentasi, dan filtrasi terhadap kadar BOD dan TSS. Dalam penelitian tersebut menyebutkan bahwa penurunan kadar TSS terbesar dikarenakan adanya proses sedimentasi. Waktu tinggal bak sedimentasi selama 2 jam. Kadar BOD dan TSS mengalami penurunan yang berarti, namun kadarnya belum memenuhi syarat baku mutu yang ditetapkan.

Proses sedimentasi limbah cair digunakan untuk (Suharto, 2004 dalam Fatimah, 2016):

- a. Mereduksi mikroba sekitar 40% sampai 75%.
- b. Memindahkan endapan biologi dalam klasifikasi akhir lumpur aktif.
- c. Memisahkan padatan terlarut dalam klarifikasi primer sehingga mampu menurunkan BOD sekitar 30% sampai 75%.
- d. Menurunkan padatan terlarut sekitar 40% sampai 95%.
- e. Pemindahan humus dalam perlakuan *trickling filter*.
- f. Perolehan lumpur padat dikirim ke lokasi penguburan limbah padat (*landfill*).

9. Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah penggunaan tanaman untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan atau menghancurkan bahan pencemar baik itu senyawa organik atau anorganik (Fahrudin, 2010). Fitoremediasi merupakan suatu teknik yang menjanjikan dapat mengatasi pencemaran dengan biaya murah, efektif, dan dapat digunakan secara langsung di

tempat yang terkena pencemaran dengan menggunakan pepohonan, tanaman pangan, dan tanaman berbunga. Keuntungan paling besar dalam penggunaan fitoremediasi pada biaya operasi lebih murah bila dibandingkan pengolahan konvensional lain seperti insenerasi. Sedangkan kerugian fitoremediasi adalah memerlukan waktu lama, bergantung pada iklim, dan menyebabkan akumulasi logam berat pada tumbuhan, dan dapat mempengaruhi keseimbangan rantai makanan suatu ekosistem.

Fitoremediasi merupakan pengolahan kedua dengan prinsip pengolahan biologi dengan memanfaatkan tanaman untuk mengurai bahan organik dan menghasilkan oksigen. Oksigen akan dimanfaatkan mikroorganisme untuk mengurai zat organik air limbah. Rancangan alat pengolahan limbah tahu dan tempe pada bak pengurai anaerob dengan waktu tinggal selama 5-8 jam memiliki efisiensi penurunan BOD sebesar 74,5%, COD sebesar 75,4%, dan TSS sebesar 84%. Dengan kombinasi bak biofilter anaerob aerob dengan waktu tinggal 16-24 jam didapatkan efisiensi penurunan BOD sebesar 89,4%, COD sebesar 88,2%, dan TSS sebesar 94% (Said dan Wahjono, 1999).

Sebelum digunakan untuk fitoremediasi, tanaman dilakukan proses aklimatisasi terlebih dahulu. Aklimatisasi adalah proses dimana tanaman kontak dengan limbah untuk menyesuaikan diri dengan kondisi limbah (Rahadian *et al.*, 2020). Proses aklimatisasi membuat akar tanaman terbiasa berinteraksi dengan kondisi lingkungan limbah yang mengandung

bahan pencemar sehingga tanaman mampu menyesuaikan diri dengan kondisi limbah. Saat tanaman akan digunakan untuk pengolahan, maka tanaman dapat mengurai bahan organik yang ada dalam air limbah (Wati, 2011). Aklimatisasi tanaman selama 1 minggu supaya tanaman dapat menyesuaikan terhadap lingkungan sebelum ditanam (Puspita, 2011 dalam Widya *et al.*, 2015).

10. Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.)

a. Deskripsi Umum dan Klasifikasi

Kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) sering disebut kubis air atau selada air. Pertama kali diambil dari sungai Nil, dekat danau Victoria di Afrika. Namun, secara alami kini sudah dapat ditemui di hampir semua daerah tropis dan subtropis (Rijal, 2016). Tumbuhan ini merupakan tumbuhan air herba yang hidup mengapung dan mempunyai stolon, tumbuh liar di danau, kolam-kolam ikan atau sungai kecil yang berarus tidak deras dan sering ditemukan tumbuh di selokan-selokan. Pada tempat yang kandungan nutrisi airnya relatif tinggi seperti di sawah-sawah, kayu apu sering menjadi gulma. Umumnya tanaman ini ditemukan subur di dataran rendah (Yuzammi, 2018).

Pertumbuhan tanaman air dipengaruhi oleh pH pada $\text{pH} < 4$ sebagian besar tumbuhan air mati karena tidak dapat bertoleransi dengan pH rendah. Tanaman kayu apu relatif tidak tahan terhadap pH rendah, hal ini terbukti pada daun tumbuhan kayu apu

menguning, dan membusuk sehingga proses pengolahan bahan organik tidak optimal (Hariyanti, 2016). Tanaman ini memiliki banyak nama lokal antara lain kiambang kecil, kayu apu, apu-apu, atau kapu-kapu. Di negara lain kayu apu dikenal dengan sebutan *water cabbage*, *water lettuce*, *nile cabbage*, dan *shellflower* (Yuzammi, 2018).

Berikut ini merupakan klasifikasi kayu apu:



Gambar 2. *Pistia stratiotes* L.

Kingdom : Plantae

Subkingdom : Tracheobionta

Superdivisi : Spermatophyta

Divisi : Magnoliophyta

Kelas : Liliopsida

Subkelas : Arecidae

Ordo : Arales
Famili : Araceae
Genus : Pistia
Spesies : *Pistia stratiotes*

b. Morfologi

Kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) tidak memiliki batang yang jelas bahkan tidak memiliki batang. Daunnya merupakan daun tunggal dengan ujung membulat yang tersusun secara roset di dekat akar, sehingga disebut roset akar. Panjang daun sekitar 2 hingga 10 cm sedangkan lebar daun sekitar 2 hingga 6 cm. Daun-daun lembut dan tebal membentuk suatu pahatan seperti mawar. Bunga berwarna putih berada di tengah roset.

Perkembangbiakan dapat dilakukan secara generatif dan vegetatif (dilakukan dengan menghasilkan stolon). Panjang akar dapat mencapai 80 cm. Akar tumbuhan ini adalah akar serabut dan membentuk suatu struktur membentuk seperti keranjang yang dikelilingi gelembung udara. Hal ini menunjukkan bentuk fisiologi adaptasi kayu apu untuk mampu hidup di perairan dan tetap mendapat cahaya matahari dan udara untuk fotosintesis (Rijal, 2016).

c. Fungsi

Kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) memiliki banyak manfaat yaitu sebagai tanaman hias, obat tradisional, pakan ternak,

biopurification, dan *fitoremediator*. *Fitoremediator* yang dimaksud adalah tumbuhan memiliki kemampuan untuk mengolah limbah baik limbah berupa logam berat, zat organik maupun anorganik (Yuzammi, 2018). Tanaman ini dapat dimanfaatkan sebagai obat karena daunnya kaya akan vitamin A, vitamin C, protein, serta asam amino esensial (Tulika dan Mala, 2015).

Fungsi utama dari kayu apu adalah sebagai penjernih air karena termasuk jenis tanaman dengan daya serap dan simpan yang tinggi (*Hyperaccumulator*). Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa jenis ini dapat menghilangkan senyawa organik logam berat (Fe, Zn, Cu, Cr, dan Cd) termasuk Arsenik, dan radio-nuklida dari air. Ugya dan Priatamby (2016) menyebutkan bahwa tanaman kayu apu mampu menyerap logam berat dan efisien untuk mengurangi konsentrasi polutan dalam lindi.

Penelitian senada juga dilakukan oleh Novita *et al.*, (2017) terhadap penurunan parameter kekeruhan TSS, COD, BOD, dan N. Karakteristik limbah cair tempe pada penelitian tersebut dengan kadar BOD sebesar 4.200,50 mg/L, COD sebesar 22.500 mg/L, TSS sebesar 4.530 mg/L, dan N sebesar 64,7%. Tanaman kayu apu yang dimasukkan pada perlakuan sebanyak 300 gram dalam 10 liter limbah cair tempe. Efisiensi penurunan kekeruhan sebesar 71,91%, TSS sebesar 50,44%, COD sebesar 49,77%, BOD sebesar 71,41%, dan N sebesar 56,8%.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Rasyid (2016), membandingkan variasi biomassa tumbuhan kayu apu terhadap kualitas limbah cair industri tapioka. Kualitas limbah cair tapioka sebelum perlakuan untuk BOD sebesar 166,5 mg/L, COD sebesar 169,3 mg/L, TSS sebesar 410 mg/L, pH sebesar 4,82, dan CN sebesar 0,57 mg/L. Didapatkan hasil bahwa biomassa kayu apu 20 gram paling efektif menurunkan konsentrasi COD, biomassa kayu apu 30 gram paling efektif menurunkan konsentrasi TSS, biomassa kayu apu 40 gram paling efektif menurunkan konsentrasi BOD, dan biomassa kayu apu 50 gram paling efektif menurunkan konsentrasi pH serta sianida sehingga konsentrasi berada di bawah baku mutu. Setiap perlakuan dalam penelitian ini menggunakan 10 liter limbah tapioka.

d. Cara Kerja Kayu Apu

Akar serabut pada tanaman kayu apu selain dapat menjadi tempat menempelnya koloid yang melayang di air juga banyak menghasilkan oksigen hasil proses fotosintesis yang dimanfaatkan mikroorganisme untuk menguraikan zat organik air limbah. Bahan organik yang terdapat dalam air limbah akan dirombak oleh mikroorganisme menjadi senyawa yang lebih sederhana dan akan dimanfaatkan tumbuhan sebagai nutrient. Berikut merupakan mekanisme penyerapan tanaman kayu apu dalam menyerap polutan (Hariyanti, 2016).

1) Penyerapan pada akar

Polutan yang larut dalam air diambil oleh akar sedangkan senyawa hidrofobik diserap oleh permukaan akar. Akar serabut tanaman kayu apu menjadi tempat menempelnya koloid yang melayang di air.

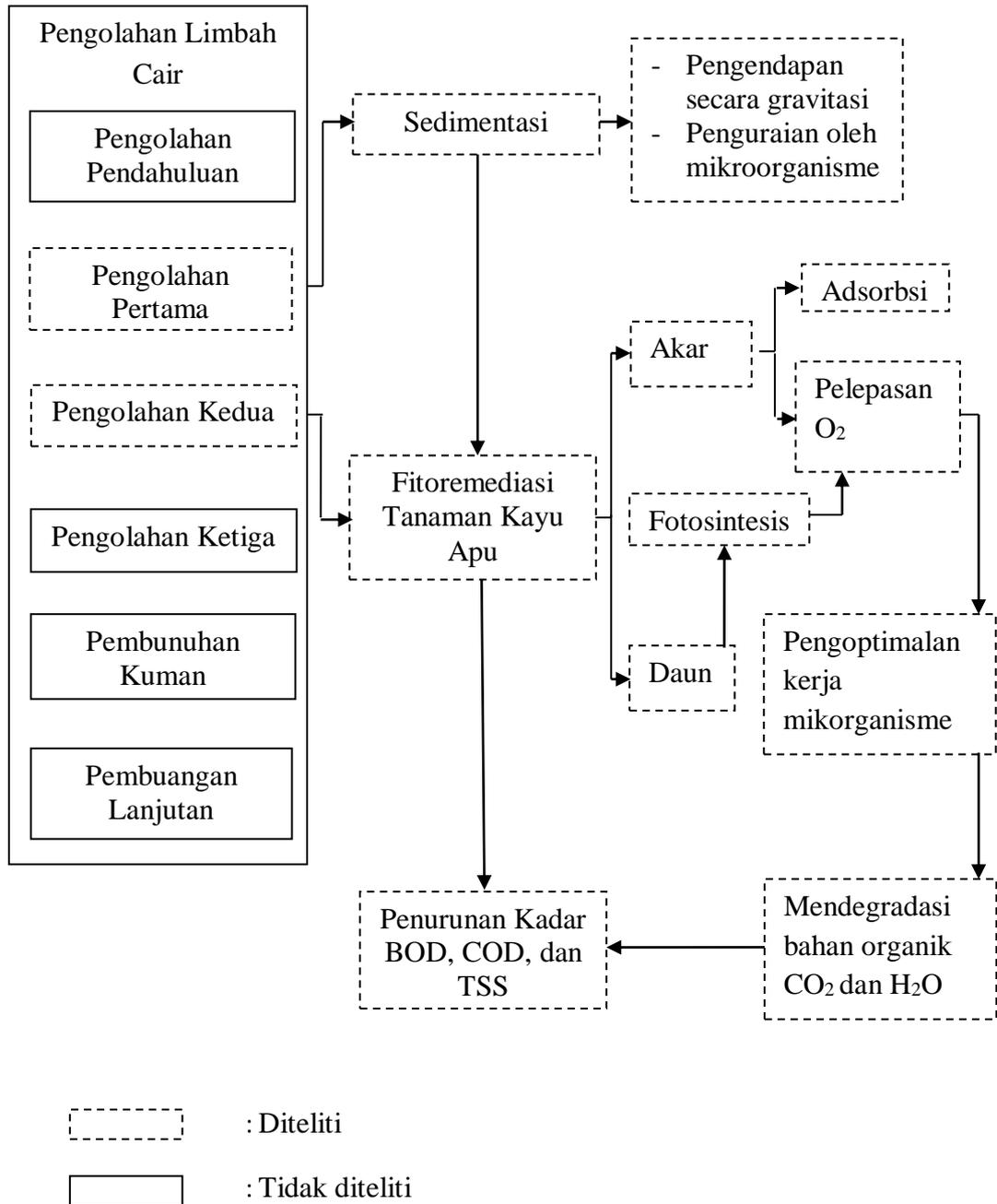
2) Translokasi polutan dari akar ke bagian tanaman lain

Polutan yang menembus endodermis akar mengikuti aliran transpirasi ke bagian atas tanaman melalui jaringan pengangkut ke bagian batang.

3) Lokalisasi polutan pada sel dan jaringan

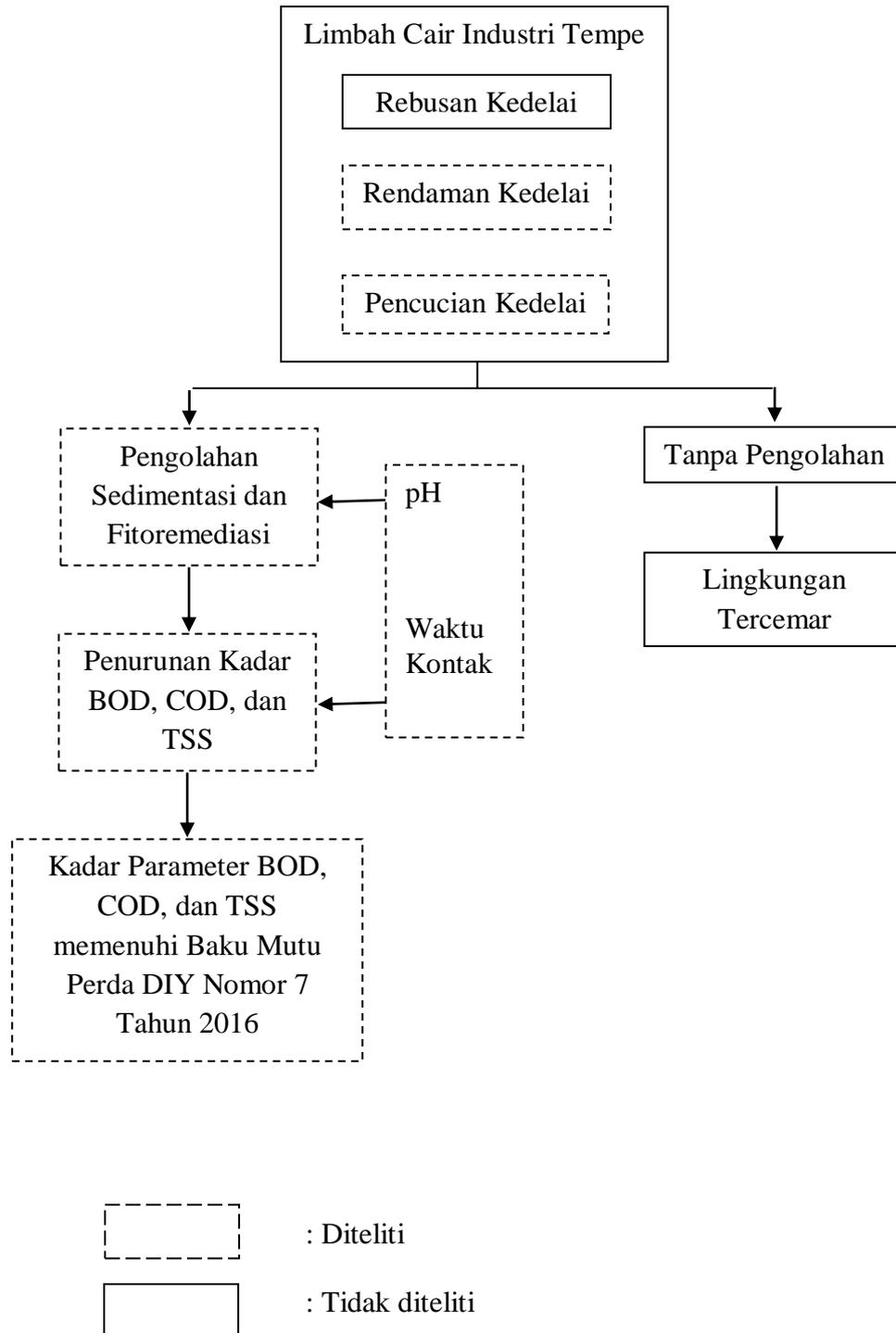
Polutan yang telah diserap akan diuraikan melalui proses metabolisme tumbuh secara enzimatik.

B. Kerangka Teori



Gambar 3. Kerangka Teori

C. Kerangka Konsep



Gambar 4. Kerangka Konsep

D. Hipotesis Penelitian

1. Hipotesis Mayor

Pengolahan limbah cair tempe dengan sedimentasi dan fitoremediasi tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) efektif dalam memperbaiki kualitas limbah cair tempe.

2. Hipotesis Minor

- a. Ada perbedaan penurunan kadar BOD limbah cair tempe pada kelompok kontrol dan kelompok perlakuan menggunakan sedimentasi dan fitoremediasi kayu apu (*Pistia stratiotes* L.).
- b. Ada perbedaan penurunan kadar COD limbah cair tempe pada kelompok kontrol dan kelompok perlakuan menggunakan sedimentasi dan fitoremediasi kayu apu (*Pistia stratiotes* L.).
- c. Ada perbedaan penurunan kadar TSS limbah cair tempe pada kelompok kontrol dan kelompok perlakuan menggunakan sedimentasi dan fitoremediasi kayu apu (*Pistia stratiotes* L.).
- d. Kadar BOD, COD, dan TSS limbah cair tempe setelah diolah dengan sedimentasi dan fitoremediasi kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) memenuhi baku mutu pada Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah.