

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Biological Oxygen Demand (BOD)

1. Definisi

BOD (*Biological Oxygen Demand*) didefinisikan sebagai banyaknya oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk memecahkan bahan-bahan organik yang terdapat di dalam air.⁽¹⁸⁾ BOD adalah jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroba untuk mengoksidasi senyawa anorganik dalam limbah cair pada suhu 20°C selama waktu inkubasi 5 hari.⁽¹⁹⁾

2. Nilai Ambang Batas

Nilai ambang batas adalah kadar tertinggi dari suatu zat yang diperbolehkan sehingga manusia dan makhluk hidup lainnya tidak mengalami gangguan penyakit atau terkena dampak dari zat tersebut.⁽²⁰⁾ Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 15 Tahun 2014 'Tentang baku mutu air limbah bagi usaha atau kegiatan pengolahan kedelai', batas kadar BOD maksimal dalam limbah cair yaitu 150 mg/l.⁽¹⁵⁾ Baku mutu untuk BOD dimaksudkan agar biota di perairan tetap dapat mendapat suplai dari oksigen terlarut.⁽²¹⁾

3. Dampak Terhadap Lingkungan

Pembuangan air limbah ke badan air dengan kandungan beban BOD diatas ambang batas akan menyebabkan turunnya jumlah oksigen dalam air dan akan mempengaruhi kehidupan biota yang hidupnya bergantung pada oksigen terlarut di air. Dampak lainnya dari adanya kandungan BOD yang melebihi batas waktu 18 jam, akan menyebabkan bau dan kematian ikan dalam air akibat penguraian (degradasi) secara anaerob.⁽²²⁾

4. Metode Pengujian BOD

Salah satu metode pengujian BOD yaitu menggunakan metode Winkler-Alkali iodida azida. Metode Winkler-Alkali iodida azida, adalah penetapan BOD yang dilakukan dengan cara mengukur berkurangnya kadar oksigen

terlarut dalam sampel yang disimpan dalam botol tertutup rapat, diinkubasi selama 5 hari pada temperatur kamar, kemudian diukur oksigen terlarutnya. Botol yang tersisa diukur oksigen terlarutnya pada hari ke nol dengan menambahkan 1 mL MnSO_4 + 1 mL reagen alkali iodida azida + 1 mL H_2SO_4 pekat. Setelah itu ditambah 3 tetes amilum dan dititrasi dengan larutan natrium thiosulfat. Selanjutnya dilakukan perhitungan BOD pada limbah tahu sebelum dan sesudah perlakuan.⁽¹⁸⁾

Prinsip pengujian BOD yaitu mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi polutan melalui reaksi biokimia oleh organisme hidup. Nilai BOD dapat diketahui dengan menghitung selisih konsentrasi oksigen terlarut sebelum dan setelah inkubasi.⁽²³⁾ Semakin tinggi nilai BOD maka semakin banyak mikroorganisme yang terdapat dalam air limbah sehingga membuat nilai DO turun.⁽²⁴⁾

B. Teknik Pengolahan Limbah

1. Fisika

Pengolahan limbah secara fisika merupakan proses pengolahan secara mekanis dengan tanpa penambahan bahan kimia. Pengolahan limbah secara fisika dapat dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya sebagai berikut :

a) Penyaringan (screening)

Tujuannya yaitu memisahkan padatan tidak terlarut dan bahan kasar lain yang bentuknya cukup besar sehingga padatan ini tertahan.

b) Proses Flotasi

Yaitu proses pengolahan limbah dengan cara menyisahkan bahan-bahan yang mengapung.

c) Proses Filtrasi

Yaitu teknik yang digunakan pada limbah yang mengandung partikel suspensi (mengendap).

d) Proses Absorpsi

Yaitu teknik pengolahan limbah dengan menggunakan karbon aktif untuk menyisahkan senyawa aromatik dan senyawa organik terlarut lainnya.⁽²⁵⁾

2. Kimia

Proses pengolahan secara kimia yaitu menggunakan bahan kimia untuk mengurangi konsentrasi zat pencemar dalam air limbah. Pengolahan limbah dengan bahan kimia membutuhkan biaya yang relatif mahal. Selain itu, pengolahan limbah secara kimia menghasilkan unsur hara baru yang nantinya akan mengendap sehingga akan merugikan apabila tidak dibuang. Kegiatan yang termasuk dalam proses kimia adalah pengendapan, klorimasi, oksidasi dan reduksi, netralisasi ion exchanger, desinfektansi.⁽²⁶⁾

3. Biologi

Proses pengolahan limbah secara biologis yaitu memanfaatkan mikroorganisme (ganggang, bakteri, protozoa) untuk menguraikan senyawa organik menjadi senyawa yang lebih sederhana. Pengolahan secara biologi dinilai sebagai pengolahan yang paling murah dan efisien. Dalam beberapa dasawarsa telah berkembang berbagai metode pengolahan biologi.⁽²⁾ Salah satunya yaitu dengan menggunakan tanaman atau yang disebut fitoremediasi. Konsep dari fitoremediasi adalah adanya suatu saling ketergantungan antara tanaman air dan mikroorganisme. Tanaman air menyediakan tempat hidup dan memasok oksigen untuk mikroorganisme menguraikan bahan pencemar. Dan sebaliknya, tanaman membutuhkan mikroorganisme untuk menguraikan bahan pencemar menjadi unsure hara yang dapat diserap oleh tanaman.⁽²⁷⁾

4. Fitoremediasi

a. Definisi Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan suatu metode yang dapat mengubah zat kontaminan (pencemar) menjadi kurang atau tidak berbahaya lagi dengan bantuan tanaman hijau, dimana tanaman tersebut dapat menstabilkan, dan menghancurkan zat kontaminan.⁽²⁸⁾⁽¹⁴⁾⁽²⁹⁾ Fitoremediasi merupakan strategi remediasi yang murah, efisien, dapat diterapkan secara *in-situ*, dan ramah lingkungan yang dikendalikan oleh sinar matahari dengan memanfaatkan tumbuhan untuk mengurangi pengaruh bahan pencemar dalam lingkungan.⁽³⁰⁾

Istilah fitoremediasi berasal dari bahasa Inggris *phytoremediation* yang tersusun atas dua kata, yaitu *phyto* yang berasal dari bahasa Yunani (“phyton”) artinya tumbuhan dan *remediation* berasal dari bahasa Latin (“remediare”) yang artinya memperbaiki atau membersihkan sesuatu. Jadi fitoremediasi (*phytoremediation*) dapat didefinisikan sebagai suatu sistem yang memanfaatkan tanaman untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan, atau menghancurkan bahan pencemar, baik itu senyawa organik maupun anorganik.⁽³¹⁾⁽³²⁾

b. Keunggulan Fitoremediasi

Fitoremediasi memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode konvensional yang lain. Kelebihan fitoremediasi yaitu terbukti lebih murah dari segi biaya, pengoperasian dan perawatannya lebih mudah, mempunyai efisiensi yang tinggi, serta dapat mendukung fungsi ekologis.⁽³³⁾

Pemurnian air secara biologis menggunakan tanaman air dinilai oleh beberapa peneliti mempunyai tingkat keefektifan yang tinggi karena tumbuhan air dapat menyerap unsur hara yang berlebihan.⁽¹⁰⁾ Selain itu, tanaman tertentu diketahui mempunyai kemampuan menyerap logam dan mineral yang tinggi atau sebagai fitoakumulator dan fitochelator.⁽³⁴⁾

c. Kelemahan Fitoremediasi

Disamping keunggulannya, fitoremediasi memiliki beberapa kelemahan. Kelemahan tersebut diantaranya :

- 1) Lambatnya pertumbuhan tanaman hiperakumulator dan rendahnya biomassa yang dihasilkan mempengaruhi efisiensi fitoremediasi.
- 2) Hanya berlaku pada sumber pencemar dengan tingkat cemaran yang ringan sampai sedang.
- 3) Memiliki resiko kontaminasi rantai makanan jika pelaksanaan dan pengelolaannya tidak cermat.⁽³⁰⁾

d. Mekanisme Fitoremediasi

Ada beberapa proses yang terjadi pada saat degradasi bahan polutan pada saat fitoremediasi. Proses tersebut diantaranya :

1) *Phytoaccumulation*

Phytoaccumulation atau nama lainnya *phytoextraction* yaitu proses tumbuhan menarik zat kontaminan sehingga berakumulasi di sekitar akar tumbuhan. Proses ini juga dikenal hiperakumulasi.

2) *Rhizofiltration*

Rhizofiltration yang juga dikenal sebagai *phytofiltration* adalah proses adsorpsi atau pengendapan zat kontaminan oleh akar agar menempel pada akar tumbuhan tersebut.

3) *Phytostabilization*

Phytostabilization adalah menempelnya zat-zat kontaminan secara erat dan stabil pada akar tumbuhan sehingga zat-zat tersebut tidak akan terbawa oleh aliran air di dalam media tersebut.

4) *Rhizodegradation*

Rhizodegradation disebut juga sebagai "*Enhanced rhizosphere biodegradation or plant-assisted bioremediation degradation*" yaitu proses penguraian zat-zat kontaminan oleh aktivitas mikroba yang berada di sekeliling tumbuhan yang memiliki rantai molekul yang kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan susunan molekul yang lebih sederhana yang dapat berguna untuk pertumbuhan tanaman itu sendiri.

5) *Phytovolatilization*

Phytovolatilization adalah proses pelepasan zat kontaminan oleh tumbuhan menjadi zat yang tidak berbahaya lagi yang kemudian akan menguap ke atmosfer. ⁽³⁵⁾

e. Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Fitoremediasi dalam Penurunan BOD

1) Suhu

Suhu lingkungan yang tinggi akan meningkatkan proses fotosintesis tanaman. Dengan suhu lingkungan yang semakin meningkat, kemampuan penyerapan tanaman akan ikut semakin meningkat. Pada umumnya suhu optimum untuk pertumbuhan tanaman berkisar antara 27-

30°C.⁽³⁶⁾ Pada penelitian sebelumnya yaitu menggunakan tanaman eceng gondok, tanaman dapat tumbuh dengan baik pada suhu 27 °C.⁽³⁷⁾

2) pH

pH atau derajat keasaman merupakan ukuran keasaman atau kebasaan yang dimiliki suatu perairan. Nilai pH sangat menentukan pertumbuhan dan produksi pada tanaman karena pada pH rendah pertumbuhan tanaman akan menjadi terhambat akibat rendahnya ketersediaan unsur hara. pH optimum untuk penggunaan tanaman pada fitoremediasi adalah 5-8.⁽³⁸⁾ Pada penelitian sebelumnya yaitu menggunakan tanaman eceng gondok, tanaman dapat tumbuh pada pH 5,5-7,00.⁽³⁷⁾

3) Jenis Tanaman

Tidak semua tanaman dapat digunakan dalam proses fitoremediasi, karena tidak semua tanaman dapat melakukan metabolisme, volatilisasi dan akumulasi semua polutan dengan mekanisme yang sama. Berbagai jenis tanaman yang sering digunakan untuk fitoremediasi adalah Anturium Merah/Kuning, Alamanda Kuning/Ungu, Bambu Air, Eceng Gondok, Teratai, Kangkung, dll.⁽³⁵⁾ Penelitian untuk menurunkan BOD limbah cair tahu dengan menggunakan jenis tanaman telah dilakukan sebelumnya. Salah satu contoh penelitian tersebut adalah yang dilakukan oleh Dharma, dengan menggunakan tanaman teratai telah berhasil menurunkan kadar BOD limbah cair tahu menjadi 63,44 mg / L.⁽¹⁶⁾

4) Umur Tanaman

Semakin tua umur tanaman, maka semakin tinggi pula konsentrasi polutan yang akan diserap. Berdasarkan penelitian sebelumnya, yaitu dengan menggunakan tanaman eceng gondok, antara eceng gondok muda dan tua paling efektif menyerap polutan menggunakan eceng gondok tua.⁽³⁹⁾

5) Lama Kontak

Semakin lama waktu penyerapan, maka semakin besar pula polutan diserap oleh tumbuhan air. Berdasarkan penelitian sebelumnya penyerapan cemaran oleh tanaman Hidrilla yang paling efektif dan efisien adalah pada hari ke-6.⁽³⁸⁾

C. Tanaman Teratai (*Nymphaea Sp.*)

1. Klasifikasi Tanaman Teratai

Klasifikasi tanaman teratai adalah sebagai berikut⁽⁴⁰⁾:

Kingdom : Plantae
Divisio : Spermathophyta
Kelas : Dicotyledoneae
Ordo : Nymphaeales
Famili : Nymphaeaceae
Genus : *Nymphaea*
Spesies : *Nymphaea pubescens* L.



Gambar 2.1. Tanaman Teratai

2. Morfologi Tanaman Teratai

Teratai merupakan tanaman yang hidup di daerah perairan tawar, seperti rawa-rawa atau sungai dan danau yang tidak begitu dalam dan berair tenang juga lembab dengan suhu berkisar 20-30°C. Teratai memiliki akar yang kuat, panjang, dan berumbi. Bentuk daun bundar dengan diameter berkisar 9-12cm, bagian tepi daun melipat dan daunnya mempunyai tangkai.⁽¹¹⁾⁽⁴¹⁾ Teratai mempunyai daun lebar dan tipis serta dapat mengapung di air. Daun teratai

memiliki ruang udara yang besar sehingga memungkinkan teratai dapat mengapung di air. ⁽⁴²⁾

Teratai adalah jenis tanaman air yang termasuk dalam kelompok floating leaves (daunnya terapung), yaitu tanaman yang akarnya berada di dasar perairan dan daunnya berada dipermukaan air.⁽¹⁶⁾ Akar tumbuhan akan menyerap unsur-unsur pencemar yang terurai menjadi nutrisi didalam air untuk menurunkan kadar pencemar.⁽⁴³⁾ Selain itu, bentuk daun dan bunga teratai yang indah akan dapat menunjang fungsi estetika lingkungan bila digunakan sebagai media dalam pengolahan air limbah.

D. Tanaman Hidrilla (*Hydrilla Verticillata*)

1. Klasifikasi Tanaman Hidrilla

Klasifikasi dari tanaman hidrilla adalah sebagai berikut⁽⁴⁴⁾:

Kingdom : *Plantae*

Divisi : *Magnoliophyta*

Kelas : *Liliopsida*

Ordo : *Hydrocharitales*

Suku : *Hydrocharitaceae*

Genus : *Hydrilla*

Spesies : *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle



Gambar 2.2. Tanaman Hidrilla

2. Morfologi Tanaman Hidrilla

Hidrilla merupakan tumbuhan air yang berasal dari daerah Asia beriklim tropis yang mempunyai daya penyebaran yang sangat cepat dan merupakan tumbuhan liar. Daun hydrilla mempunyai lebar 2-4 mm, dan panjangnya 6-20 mm. Tumbuhan ini biasanya tumbuh pada sedimen yang kaya akan bahan organik menyebabkan warna menjadi merah kecoklatan, dan dapat berubah warna menjadi hijau karena adanya sinar matahari yang menghasilkan zat hijau daun.⁽³⁸⁾

E. Penyerapan Tanaman Teratai dan Hidrilla

Secara anatomi, teratai memiliki akar yang kuat, panjang, dan berumbi. Akar tanaman teratai tersebut akan menyerap unsur-unsur pencemar yang berada di dalam air dengan baik untuk menurunkan kadar pencemar.

Sedangkan tanaman hidrilla merupakan tumbuhan air terbenam mempunyai permukaan tubuh yang sangat luas, yang berfungsi sebagai substrat untuk tumbuhnya berbagai mikroorganisma pengurai material organik.⁽⁴⁵⁾ Pada penelitian sebelumnya, diketahui tanaman hidrilla mampu mengakumulasi logam berat Pb. Sel-sel akar tanaman hidrilla mengandung ion dengan konsentrasi yang lebih tinggi daripada media sekitarnya yang biasanya bermuatan negatif. Perbedaan konsentrasi tersebut memungkinkan terjadinya pertukaran ion.

Tanaman teratai dan hidrilla termasuk jenis tanaman akuatik. Akar tanaman yang berada dibawah permukaan air memungkinkan tanaman dapat menyerap polutan yang berada di air. Akar tanaman tersebut akan melepaskan oksigen dan membentuk zona rizosfer. Selanjutnya, oksigen tersebut akan mengalir ke akar melalui batang tanaman. Pelepasan oksigen oleh akar tanaman menyebabkan air disekitar rambut akar memiliki kadar oksigen terlarut yang lebih tinggi, sehingga mikroorganisme pengurai dapat hidup disekitar akar tumbuhan tersebut. Banyaknya mikroorganisme yang hidup disekitar tanaman, akan membantu menguraikan zat kontaminan dalam air menjadi zat hara yang dapat diserap oleh tanaman.⁽²⁷⁾

F. Limbah Tahu

1. Definisi Limbah Tahu

Limbah tahu adalah limbah yang berasal dari buangan atau sisa pengolahan kedelai menjadi tahu yang tidak terbentuk dengan baik menjadi tahu sehingga tidak dapat dikonsumsi.⁽⁴⁶⁾ Limbah tahu pada umumnya dibagi menjadi 2, yaitu limbah padat dan limbah cair. Limbah padat tahu berupa kotoran hasil pembersihan kedelai (batu, tanah, kulit kedelai, dan benda padat lain yang menempel pada kedelai) dan ampas tahu.⁽⁴⁷⁾

2. Karakteristik Limbah Tahu

Limbah cair tahu mengandung bahan-bahan organik kompleks yang tinggi terutama protein dan asam-asam amino dalam bentuk padatan tersuspensi maupun terlarut yang akan mengalami perubahan fisik dan kimia. Adanya senyawa-senyawa organik tersebut menyebabkan limbah cair industri tahu mengandung BOD, COD dan TSS yang tinggi. Apabila dibuang ke perairan tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat menyebabkan pencemaran dan penyakit.⁽⁴⁶⁾⁽⁴⁸⁾

Terdapat 2 jenis karakteristik dalam limbah tahu, yaitu karakteristik fisika dan kimia. Karakteristik fisika meliputi padatan total, suhu, warna dan bau. Karakteristik kimia meliputi bahan organik, bahan anorganik dan gas.⁽⁴⁹⁾ Berikut adalah karakteristik limbah cair tahu dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1. Karakteristik Limbah Cair Tahu⁽⁵⁰⁾

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	pH	-	4-5
2	COD	mg/l	30.000 – 40.000
3	BOD	mg/l	10.000 – 15.000
4	N-NH3	mg/l	30 – 40
5	N-total	mg/l	300 – 350
6	Protein	%	0,30 – 0,40
7	Padatan tersuspensi	mg/l	6.000 – 8.000

Limbah cair yang dihasilkan pabrik tahu masih mengandung zat organik yang sangat tinggi seperti protein, karbohidrat, lemak dan zat terlarut yang mengandung padatan tersuspensi. Di antara senyawa-senyawa tersebut yang

memiliki jumlah paling besar adalah protein dan lemak dengan presentase sebesar 40-60% protein, 25-50% karbohidrat dan 10% lemak. Adanya bahan organik yang cukup tinggi menyebabkan mikroba menjadi aktif dan menguraikan bahan organik tersebut secara biologis menjadi senyawa asam-asam organik. ⁽⁴⁸⁾

Sebagian besar sumber limbah cair industri tahu adalah *whey* atau cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu yang disebut dengan air dadih. Cairan ini mengandung kadar protein yang tinggi dan dapat segera terurai. Secara fisik, *whey* berwarna kuning, kental, dan berbau menyengat jika tersimpan lebih dari 24 jam. *Whey* adalah limbah cair dari tahu yang paling berbahaya apabila dibuang secara langsung ke lingkungan. ⁽¹³⁾

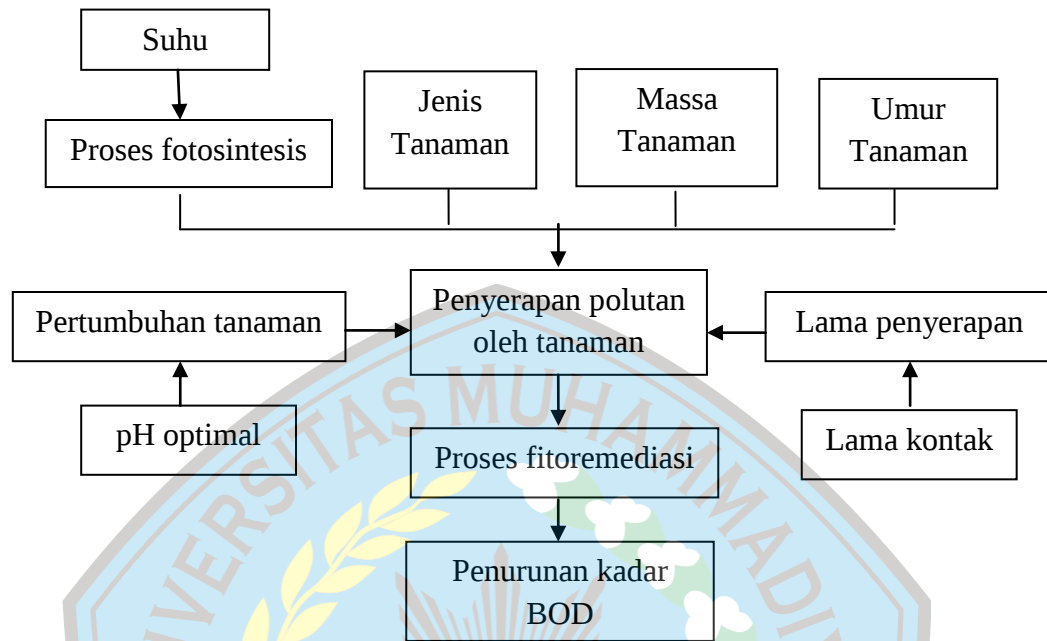
3. Baku Mutu Limbah Tahu

Dalam proses pembuatannya, industri tahu menggunakan kedelai sebagai bahan baku utama pembuatannya. Air yang dihasilkan dari pembuatan tahu tersebut wajib memenuhi baku mutu air limbah. *Baku mutu limbah* cair adalah batas kadar yang diperbolehkan bagi zat atau bahan pencemar untuk dibuang ke sumber air, sehingga tidak melampaui baku mutu air. Sesuai dengan lampiran Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, seperti pada tabel 2.2 berikut ini :

Tabel 2.2. Baku Mutu Limbah Tahu ⁽¹⁵⁾

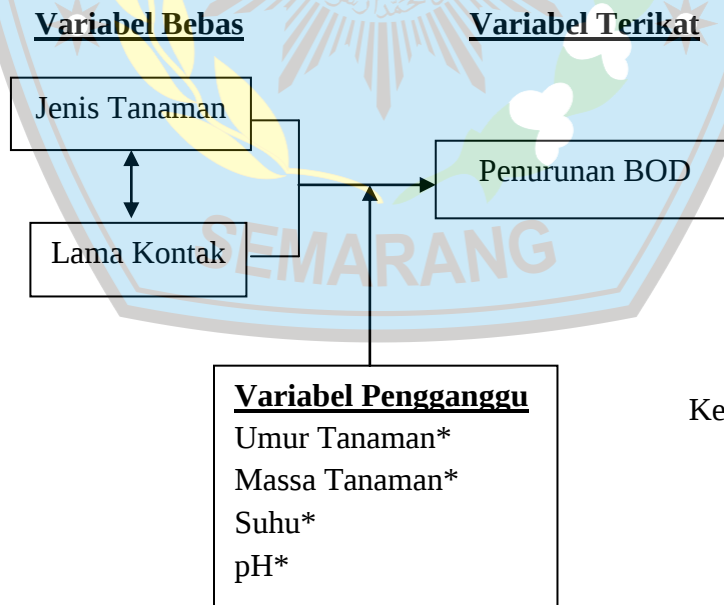
Parameter	Pengolahan Kedelai	
	Kadar (mg/l)	Beban (kg/ton)
BOD ₅	150	3
COD	300	6
TSS	200	4
pH	6 - 9	
Debit Maksimum (m ³ /ton)	20	

G. Kerangka Teori



Gambar 2.3. Kerangka Teori⁽³⁸⁾⁽⁵¹⁾

H. Kerangka Konsep



Ket :

* dikendalikan

** diukur

Gambar 2.4. Kerangka Konsep

I. Hipotesis

1. Ada pengaruh jenis tanaman terhadap penurunan kadar BOD pada limbah cair pabrik tahu
2. Ada pengaruh lama kontak terhadap penurunan kadar BOD pada limbah cair pabrik tahu
3. Ada pengaruh interaksi jenis tanaman dan lama kontak terhadap penurunan kadar BOD pada limbah cair pabrik tahu

