

# TUGAS AKHIR

## PENURUNAN COD LIMBAH TEMPE DENGAN ANAEROBIC HORIZONTAL BAFFLED REACTOR SERTA EKOTOKSISITASNYA TERHADAP *Oriza sativa* DAN *Phaseolus radiatus*

**Mengetahui / Menyetujui**

**Dosen Pembimbing**



**Ir. Sarwoko M., MSc.ES.**

**NIP. 131 415 730**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
1995**

## ABSTRAK

Industri tempe pada proses produksinya menghasilkan limbah organik yang bila dibuang langsung ke badan air menimbulkan permasalahan lingkungan. Kemampuan industri tempe untuk mengolah limbahnya terbatas sehingga dibutuhkan unit pengolah limbah dengan teknologi yang sesuai. Untuk mengetahui efek limbah tempe bagi lingkungan dibutuhkan penelitian ekotoksistas limbah tempe.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan Anaerobic Horizontal Baffled Reactor ( AHBR ) sebagai unit pengolah limbah alternatif untuk menurunkan COD dan mengetahui ekotoksistas limbah tempe terhadap tanaman pertanian *Oryza sativa* ( padi ) dan *Phaseolus radiatus* ( kacang hijau ). AHBR dioperasikan dengan variasi beban organik volumetrik. Sedangkan pada penelitian ekotoksistas dilakukan uji akut terhadap perkecambahan, pertumbuhan tinggi batang dan berat kering serta memberikan informasi tentang abnormalitas morfologi yang tampak.

Penelitian terhadap kemampuan AHBR menurunkan COD limbah tempe pada pengoperasian pH 7 dengan peningkatan beban organik volumetrik dari 4 kg COD / m<sup>3</sup>.hari menjadi 24 kg COD / m<sup>3</sup>.hari menghasilkan efisiensi penurunan COD yang menurun dari 95,6 % menjadi 88,47%

Uji akut pada perkecambahan , pertumbuhan tinggi batang dan berat kering pada *Oryza sativa* dan *Phaseolus radiatus* tidak menghasilkan LC-50-4 hari dan EC-50-21 hari . Pada *Oryza sativa*, limbah tempe mulai memberikan efek pertumbuhan tinggi batang pada konsentrasi COD 4420 mg/lit dan efek berat tanaman pada konsentrasi 3157 mg/lit. Untuk *Phaseolus radiatus*, efek pertumbuhan tinggi batang mulai terjadi pada konsentrasi COD 2526 mg/lit dan efek berat tanaman pada konsentrasi 1894 mg/lit .*Oryza sativa* dan *Phaseolus radiatus* mengalami abnormalitas morfologi pada akar, batang, dan daun.

2.2.1.2. Katabolisma.....	II - 5
2.2.1.3. Degradasi Substrat Kompleks.....	II - 6
2.2.2. DENITRIFIKASI.....	II - 8
2.2.3. FAKTOR - FAKTOR YANG MEMPENGARUHI	
PROSES ANAEROBIK.....	II - 9
2.2.3.1. pH dan Alkalinitas.....	II - 9
2.2.3.2. Temperatur.....	II - 12
2.2.3.3. Kelembaban.....	II - 14
2.2.3.4. Karakteristik Fisik Substrat.....	II - 15
2.2.3.5. Nutrien : Nitrogen, Fosfor, Sulfur, dan Karbon.....	II - 15
2.2.3.6. Kation.....	II - 17
2.2.3.7. Pembatas Proses.....	II - 21
2.2.4. KINETIKA PROSES SISTEM SUSPENDED	
GROWTH.....	II - 22
2.2.5. PRODUKSI GAS.....	II - 28
2.2.6. ANAEROBIC HORIZONTAL BAFFLED	
REACTOR.....	II - 30
2.3. PADI.....	II - 32
2.3.1. KLASIFIKASI.....	II - 32
2.3.2. MORFOLOGI.....	II - 32
2.3.3. BUDI DAYA PADI.....	II - 35
2.3.4. UNSUR HARA.....	II - 38

---

2.2.1.2. Catabolisme.....	II - 5
2.2.1.3. Degradasi Substrat Kompleks.....	II - 6
2.2.2. DENITRIFIKASI.....	II - 8
2.2.3. FAKTOR - FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PROSES ANAEROBIK.....	II - 9
2.2.3.1. pH dan Alkalinitas.....	II - 9
2.2.3.2. Temperatur.....	II - 12
2.2.3.3. Kelembaban.....	II - 14
2.2.3.4. Karakteristik Fisik Substrat.....	II - 15
2.2.3.5. Nutrien : Nitrogen, Phosporus, Sulfur, dan Carbon.....	II - 15
2.2.3.6. Kation.....	II - 17
2.2.3.7. Rate Pembatas Proses.....	II - 21
2.2.4. KINETIKA PROSES SISTEM SUSPENDED GROWTH.....	II - 22
2.2.5. PRODUKSI GAS.....	II - 28
2.2.6. ANAEROBIC HORIZONTAL BAFFLED REACTOR.....	II - 30
2.3. PADI.....	II - 32
2.3.1. KLASIFIKASI.....	II - 32
2.3.2. MORFOLOGI.....	II - 32
2.3.3. BUDI DAYA PADI.....	II - 35
2.3.4. UNSUR HARA.....	II - 38

---

2.3.5. VARIETAS IR 64.....	II - 40
2.4. KACANG HIJAU.....	II - 41
2.4.1. KLASIFIKASI.....	II - 41
2.4.2. MORFOLOGI.....	II - 41
2.4.3. BUDI DAYA.....	II - 43
2.4.4. VARIETAS WALET.....	II - 46
2.4.5. FASE PERTUMBUHAN.....	II - 47
2.5. EKOTOKSIKOLOGI.....	II - 48
2.5.1. EFEK.....	II - 52
2.5.2. HUBUNGAN ANTARA KONSENTRASI DAN RESPON.....	II - 54
2.5.2.1. Kriteria Untuk Efek - Efek Dan LC-50.....	II - 56
2.5.2.2. Confidence Limit.....	II - 59
2.5.2.3. Slope.....	II - 59
2.5.2.4. Kurva Toksisitas.....	II - 60
2.5.3. TES TOKSISITAS.....	II - 61
2.5.3.1. Kriteria dan Pendekatan Tes Toksisitas.....	II - 61
2.5.3.2. Desain Secara Umum.....	II - 62
2.5.3.3. Organisme Uji.....	II - 63
2.5.3.4. Sistem Expose.....	II - 64
2.5.3.5. Standarisasi Prosedur.....	II - 65
2.5.3.6. Deskripsi Metode Tes.....	II - 66
2.5.3.7. Tes Toksisitas Akut.....	II - 66

---

2.5.3.8. Tes Toksisitas Kronik.....	II - 67
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>III - 1</b>
3.1. TAHAPAN PENELITIAN.....	III - 1
3.2. MATERIAL PENELITIAN .....	III - 5
3.2.1. SAMPEL LIIMBAH.....	III - 5
3.2.2. MODEL INSTALASI AHBR.....	III - 5
3.2.3. BIBIT TANAMAN UJI EKOTOKSISITAS.....	III - 8
3.2.4. MEDIA TANAM.....	III - 8
3.3. PROSEDUR PELAKSANAAN OPERASI AHBR.....	III - 9
3.3.1. SISTEM PENGOPERASIAN.....	III - 9
3.3.1.1. Seeding dan Aklimatisasi.....	III - 9
3.3.1.2. Pengoperasian Reaktor dengan Variasi Beban Organik Volumetrik.....	III - 11
3.3.2. TATA KERJA .....	III - 11
3.3.3. METODE ANALISA PARAMETER UJI.....	III - 13
3.4. PROSEDUR PELAKSANAAN UJI EKOTOKSISITAS.....	III - 13
3.4.1. TATA KERJA.....	III - 13
3.4.2. METODE INTERPRETASI.....	III - 15
3.4.2.1. Menentukan LC-50 dengan Metode Litchfield-Wilcoxon.....	III - 15

---

3.4.2.2. Analisis Varian Satu Arah untuk

Menentukan Konsentrasi yang Mulai

Memberikan Pengaruh.....III - 20

BAB IV . ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....IV - 1

4.1. ANALISA AWAL LIMBAH.....IV - 1

4.2. VARIASI BEBAN ORGANIK VOLUMETRIK.....IV - 3

4.3. PENGARUH LIMBAH TEMPE PADA

*Oryza sativa*.....IV - 11

4.4. PENGARUH LIMBAH TEMPE PADA

*Phaseolus radiatus*.....IV - 20

BAB V . KESIMPULAN DAN SARAN ✓

5.1. KESIMPULAN.....V - 1

5.2. SARAN.....V - 2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

---

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	: Debit influen.....	L - 1
Lampiran 2	: Distribusi F.....	L - 2
Lampiran 3	: Analisa MLSS dan MLVSS.....	L - 4
Lampiran 4	: Analisa Nitrat.....	L - 6
Lampiran 5	: Analisa Nitrit.....	L - 8
Lampiran 6	: AQC.....	L - 10
Lampiran 7	: Tinggi Batang Rata Rata <i>Oryza sativa</i> .....	L - 11
Lampiran 8	: Tinggi Batang Rata Rata <i>Phaseolus radiatus</i> .....	L - 12
Lampiran 9	: Pertumbuhan Tinggi Batang <i>Oryza sativa</i> .....	L - 13
Lampiran 10	: Pertumbuhan Tinggi Batang <i>Phaseolus radiatus</i> .....	L - 14
Lampiran 11	: Perhitungan ANAVA Untuk Pertumbuhan Tinggi Batang <i>Oryza sativa</i> .....	L - 15
Lampiran 12	: Perhitungan ANAVA Untuk Berat Kering Tanaman <i>Oryza sativa</i> .....	L - 16
Lampiran 13	: Perhitungan ANAVA Untuk Pertumbuhan Tinggi Batang <i>Phaseolus radiatus</i> .....	L - 17
Lampiran 14	: Perhitungan ANAVA Untuk Berat Kering Tanaman <i>Phaseolus radiatus</i> .....	L - 18
Lampiran 15	: Konsentrasi COD Pada Saat Uji Ekotoksistas.....	L - 19
Lampiran 16	: Foto - Foto Peralatan Penelitian.....	L - 20

## B A B II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### X 2.1. PROSES PEMBUATAN TEMPE

Biji kedelai yang baik, dipilih kemudian direndam semalam sehingga mudah dikuliti dengan meremas - remas dengan tangan. Dengan diairi, kulit biji mudah dipisahkan dari biji, kemudian biji direbus 30 - 90 menit sehingga masak betul. Jika sudah masak, biji dikeringkan sambil didinginkan dengan baik.

Biji dihamarkan diatas kertas setebal yang diinginkan kemudian ditaburkan bibit cendawan *Rhizopus oligosporus* . Hampan kedelai dibungkus dengan plastik dan ditutup dengan daun pisang kering selama 24 jam. Jika fermentasi berlangsung baik, bungkus kedelai terasa panas. Setelah 2 hari tempe penuh dengan miselia cendawan berwarna putih, berarti sudah dapat dimasak dan dipakai sebagai tempe yang dikehendaki.

Bibit cendawan dibuat dari tempe lama, yang mula - mula dijemur dan kemudian ditumbuk halus. Cara lain ialah kedelai yang dikupas disterilkan pada suhu 120 °C selama 30 menit, kemudian dikeringkan dan didinginkan. Kedelai dijadikan media pembiakan murni dari cendawan *Rhizopus oligosporus*, diinkubasi pada suhu 37° C sehingga miselia cendawan menutup penuh permukaan kedelai. Bahan dikeringkan dan digiling menjadi serbuk yang tidak terkontaminasi cendawan lain ( *Suprpto H.S., 1995* ).

## 2.2. PENGOLAHAN LIMBAH ORGANIK SECARA ANAEROBIK

Proses pengolahan limbah secara anaerobik merupakan metode yang efektif untuk mengolah limbah organik. Pengolahan ini dilakukan oleh bakteri fakultatif dan bakteri anaerobik dimana konversi material organik ke dalam hasil akhir berupa biogas yang mengandung metan dan karbon dioksida terjadi tanpa kehadiran oksigen. *Pfeffer* dalam *Metcalf and Eddy ( 1979 )* menyatakan bahwa kelebihan pengolahan biologis secara anaerobik dibandingkan dengan secara aerobik adalah :

1. Produksi biomassa perunit substrat ( organik material ) yang digunakan lebih kecil , yang berarti terjadi penurunan kebutuhan nitrogen dan fospor.
2. Nilai ekonomis dari gas metan yang dihasilkan.
3. Potensi organik loading yang lebih besar karena proses tidak dibatasi oleh kemampuan transfer oksigen pada nilai penggunaan oksigen yang tinggi.

Sedangkan kekurangannya adalah adanya kebutuhan peningkatan temperatur untuk mempertahankan aktivitas bakteri pada nilai yang diharapkan dan stabilitas organik kurang sempurna dengan waktu pengolahan yang ekonomis.

### 2.2.1. PROSES MIKROBIOLOGI dan BIODOKIMIA

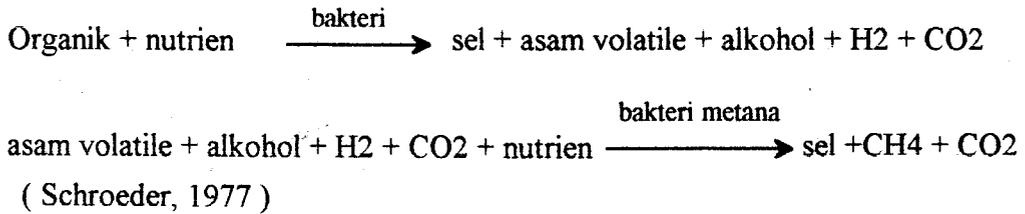
#### 2.2.1.1. Tahap Mikrobial

Konversi material organik dapat melalui rangkaian tiga tahap proses atau rangkaian dua tahap proses. Pada rangkaian tiga tahap proses, proses pertama adalah transformasi enzim dari senyawa dengan berat molekul yang lebih tinggi menjadi senyawa yang sesuai sebagai sumber energi dan sel . Proses kedua adalah konversi bakteri dari senyawa yang

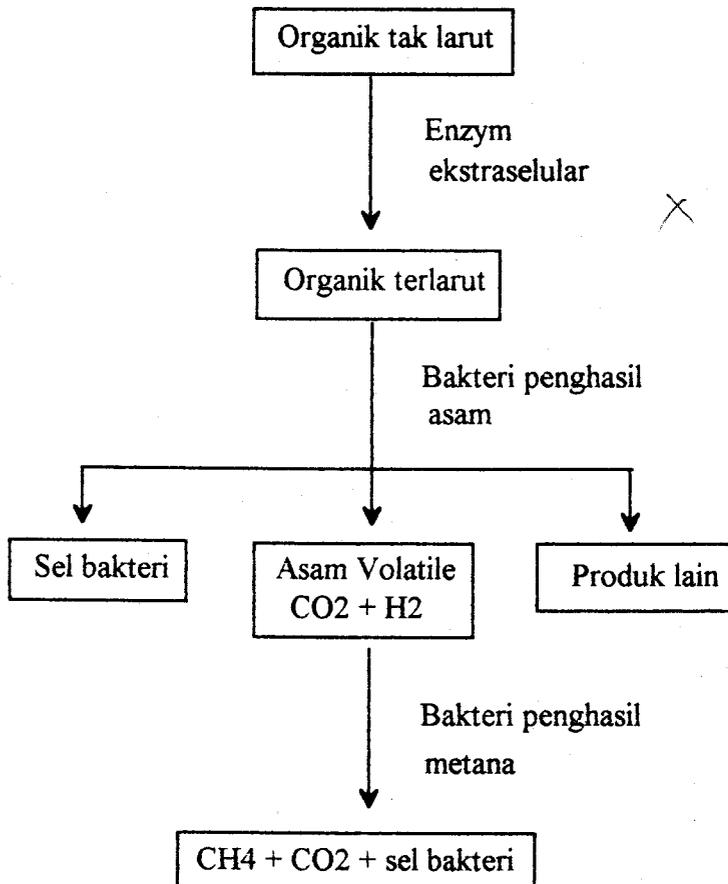
dihasilkan dari proses pertama menjadi senyawa intermediate. Proses ketiga adalah konversi senyawa intermediate menjadi senyawa yang lebih sederhana dalam hal ini adalah gas metana dan karbondioksida. Pada rangkaian dua tahap proses, proses pertama dan kedua dari rangkaian tiga tahap proses digabung dalam proses pertama.

Mikroorganisma yang berperan pada rangkaian dua tahap proses dibagi menjadi dua kelompok. Kelompok pertama adalah mikroorganisma yang berperan dalam proses hidrolisa dan fermentasi senyawa organik kompleks menjadi asam organik, yang pada umumnya adalah asam asetat dan asam propionat. Kelompok organisma ini adalah bakteri "nonmethanogenic" , yang terdiri dari bakteri fakultatif dan bakteri anaerobik obligat yang juga dikenal sebagai " acid former " . Bakteri "nonmethanogenic" yang berhasil diisolasi dari anaerobik digester adalah *Clostridium spp*, *Peptococcus anaerobus*, *Bifidobacterium spp*, *Desulphovibrio spp*, *Corynebacterium spp*, *Lactobacillus*, *Actinomyces*, *Staphylococcus*, dan *Eschericia coli* (Metcalf dan Eddy, 1979).

Kelompok mikroorganisma kedua merubah organik acid yang dihasilkan oleh kelompok mikroorganisma pertama menjadi gas metana dan karbondioksida. Bakteri yang berperan pada perubahan ini adalah bakteri anaerobik "methanogenic" yang dikenal sebagai " methan former " . Bakteri "methanogenic" yang berhasil diisolasi dari anaerobik digester adalah *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanococcus*, dan *Methanosarcina* ( metcalf dan Eddy, 1979 ). Bakteri yang terpenting dari kelompok "methanogenic" adalah yang berperan dalam proses degradasi asam asetat dan asam propionat. Bakteri tersebut mempunyai kecepatan pertumbuhan yang sangat lambat, dan merupakan faktor pembatas dalam pengolahan limbah secara anaerobik. Gambaran kedua tahapan proses dapat dilihat pada persamaan reaksi sebagai berikut :



Proses tersebut juga dapat dilihat pada gambar 2.1. : Mekanisme Pengolahan Limbah Secara Anaerobik

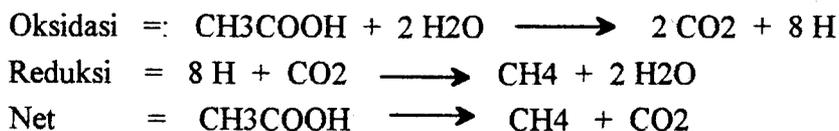


Gambar 2.1. : Mekanisme Pengolahan Limbah Secara Anaerobik ( After Andrews,1975)

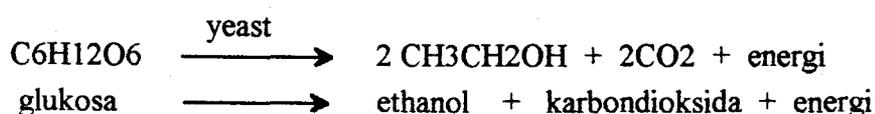
### 2.2.1.2. Katabolisma

Organisma hidup membutuhkan energi untuk memelihara sel dan tumbuh. Pada organisma nonfotosintesis, energi dihasilkan dari proses degradasi oksidatif dari material substrat, misalnya karbohidrat atau asam lemak. Degradasi dari senyawa organik kompleks ke dalam senyawa yang sederhana dengan melepaskan energi dikenal sebagai katabolisma. Energi yang dilepas selama oksidasi substrat ditangkap dan disimpan di dalam sel dalam bentuk ATP (adenosin triphosphate, senyawa penyimpan energi terbesar dalam sel).

Untuk memelihara netralitas elektron, oksidasi dari substrat harus disertai dengan reduksi dari senyawa yang lain. Respirasi merupakan reaksi katabolisma dimana senyawa organik yang berfungsi sebagai terminal hidrogen direduksi. Pada kondisi anaerobik bakteri melakukan proses katabolisma dengan mereduksi inorganik nitrat menjadi nitrogen, sulfat menjadi hidrogen sulfida, dan karbondioksida menjadi metana. Price dan Chermisinoff (1981) menggambarkan mekanisme oksidasi reduksi sebagai berikut :



Pada kondisi tanpa kehadiran inorganik oksidan, katabolisma dapat berjalan bersamaan antara oksidasi dan reduksi dari substrat itu sendiri. Proses ini dikenal sebagai proses fermentasi, dengan karakteristik reduksi senyawa organik, sebagai contoh :



Dua mol karbon dioksidasi menjadi karbondioksida ketika empat mol karbon direduksi menjadi etanol. Karbon di dalam molekul glukosa tak dapat dikonversi secara lengkap menjadi karbondioksida, sejumlah besar energi sisa yang belum digunakan berada di dalam senyawa substrat ( energi substansial tetap berada di dalam hasil akhir etanol ).

Dengan jumlah energi yang sama pertumbuhan sel pada kondisi anaerobik dapat mendegradasi glukosa 20 kali lebih banyak daripada pertumbuhan sel di dalam kondisi aerobik. Hal ini berarti :

- Dibutuhkan jangka waktu yang panjang untuk meningkatkan populasi bakteri sampai pada nilai yang dibutuhkan untuk mencapai efisiensi penggunaan substrat yang diinginkan.
- Kebutuhan nutrien rendah.
- Produksi massa sel rendah

### ***2.2.1.3. Degradasi Substrat kompleks***

Bahan organik dalam substrat digester sebagai limbah pertanian diklasifikasikan ke dalam tiga komponen utama yaitu karbohidrat, senyawa protein, dan lemak. Karbohidrat dalam kondisi normal terbentuk dari kompleks serat lignoselulosa, protein merupakan molekul besar yang terbangun atas rantai asam amino ( peptide ), dan lemak adalah glycerides yang kebanyakan terdiri dari variasi rantai lurus asam lemak. Jadi sumber substrat digester terdiri dari senyawa organik sangat kompleks , yang harus terlarut dan terurai menjadi senyawa yang lebih kecil supaya dapat dicerna oleh sel bakteri.

Langkah pertama dari proses degradasi adalah hidrolisa enzim yang terjadi pada larutan substrat ( di luar sel ) oleh aktivitas enzim eksoselular yang dihasilkan oleh sel.

Hasil hidrolisis pembentukan gula dari karbohidrat, asam amino dari protein, asam lemak acids dari lipid, sama baiknya dengan produk lainnya. Senyawa lebih kecil yang dihasilkan dapat diabsorpsi oleh sel dan melalui reaksi untuk memperoleh energi atau sintesa material sel baru.

Di dalam masalah sellulosa , tiga enzim digunakan secara bertahap untuk mendegradasi karbohidrat menjadi gula sederhana dalam hal ini glukosa. Di dalam sel , gula ini didegradasi menjadi pyruvat yaitu sebuah produk intermediate di dalam metabolisme sel yang darinya dapat dihasilkan banyak hasil akhir. Produk hasil akhir utama adalah  $\text{CO}_2$  ,  $\text{H}_2$  , dan acetat . Proses tersebut tergantung pada kondisi lingkungan seperti pH, temperatur, dan tekanan parsial hidrogen. Jalur reaksi yang berbeda juga dapat berperan penting dalam pembentukan reduksi senyawa seperti propionat, butirrat, dan laktat.

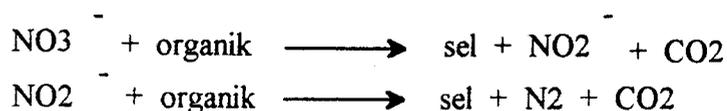
Seperti halnya di atas asam amino yang diperoleh dari hidrolisa protein didegradasi menjadi  $\text{NH}_3$  ,  $\text{CO}_2$  , asetat, format, dan propionat. Senyawa inorganik nitrogen juga dapat didegradasi dengan mengubah urea menjadi amino dan nitrat direduksi menjadi  $\text{N}_2$  . asam lemak yang terbentuk dari lipid , terutama didegradasi menjadi asetat dan molekul hidrogen (  $\text{H}_2$  ) sebagai hasil akhir , meskipun hasil reduksi seperti propionat dan butirrat juga dapat dihasilkan tergantung pada berbagai kondisi.

Catabolisma dari substrat kompleks diawali oleh hidrolisis dan diikuti dengan degradasi untuk membentuk relatif kecil variasi dari hasil akhir . Dalam hal ini termasuk  $\text{CO}_2$  ,  $\text{NH}_3$  ,  $\text{H}_2$  , format ,asetat, propionat, butirrat, lactat, dan etanol. Pada derajat katabolisma ini yang berperan adalah grup organisma bakteri fermentatif. Meskipun hasil akhir tetap mengandung sejumlah energi substansial yang dapat digunakan untuk

metabolisma sel, bakteri fermentasi tidak mampu untuk mendegradasi lebih lanjut. Katabolisma lebih lanjut dilakukan oleh bakteri lain yang dengan hasil akhir puncak berupa metana dan karbondioksida.

### 2.2.2. DENITRIFIKASI

Banyak di antara bakteri dapat menggunakan nitrat sebagai sumber elektron aseptor sama baiknya dengan oksigen. Ada dua tipe kejadian reduksi nitrat yaitu yang pertama proses asimilasi di mana nitrat direduksi menjadi amonia valensi untuk membentuk organik molekul. Karena tidak semua bakteri dapat melakukan reduksi nitrat dan sekaligus reduksi nitrit maka kedua proses dianggap terpisah yang oleh *Schroeder (1977)*



disederhanakan :

Denitrifikasi biasanya dilakukan oleh bakteri heterotropik yang menggunakan organik karbon sebagai sumber energi. *Hammer (1977)* menyatakan bahwa asam asetat, aseton, etanol, metanol, dan gula adalah senyawa organik yang baik sebagai sumber karbon tetapi pada umumnya digunakan metanol karena merupakan senyawa sintetik yang murah dan tidak meninggalkan sisa BOD pada effluennya.

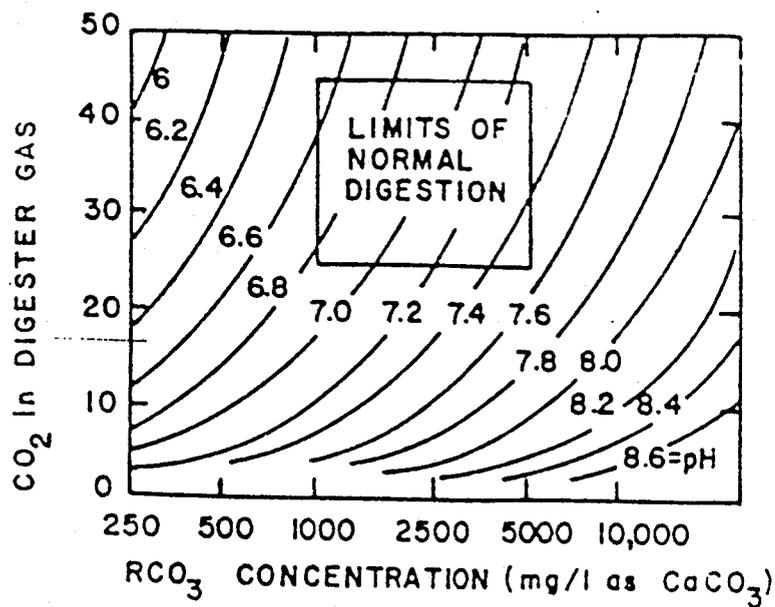
### 2.2.3. FAKTOR - FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PROSES ANAEROBIK

Penerapan dari proses anaerobik mengalami hambatan karena reputasinya yang mudah mengalami kegagalan dan tak dapat dipercaya. Pengembangan dari teknologi proses anaerobik tergantung pada pengertian yang lebih baik dari faktor - faktor yang berperan dalam stabilitas proses biologis . Ketidakstabilan proses seringkali menunjukkan adanya peningkatan yang tajam dari konsentrasi asam volatile, yang bersamaan dengan itu akan terjadi penurunan produksi metan akibat kegagalan proses biologis oleh bakteri metan. Faktor - faktor yang berpengaruh pada stabilitas proses antara lain pH dan alkalinitas, temperatur, kelembaban, karakteristik fisik substrat, nutrien, kation.

#### 2.2.3.1. pH dan Alkalinitas

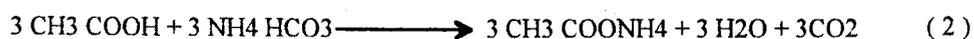
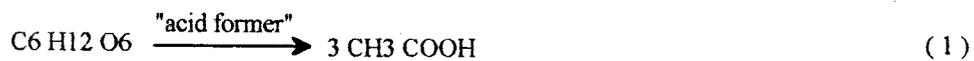
Kontrol pH diperlukan dalam proses anaerobik karena bakteri penghasil metan sangat sensitif terhadap perubahan pH. Kecepatan fermentasi metana fermentasi rates tidak bervariasi jika pH dipertahankan antara 6,0 sampai 8,5 ( *Schroeder, 1977* ) ; dan akan menurun bila di luar range tersebut. pH optimum adalah 6,6 - 7,4 dan sedapat mungkin dipertahankan mendekati 7 ( *Price dan Cheremisinoff 1981* ).

Di dalam anaerobik digester, sejumlah besar karbon dioksida diproduksi selama pembentukan metan. pH biasanya dipertahankan dengan sistem buffer bikarbonat. Hubungan antara pH , alkalinitas bikarbonat dari lumpur digester dan fraksi CO<sub>2</sub> dapat dilihat pada gambar 2.2. : Hubungan antara pH dan Konsentrasi Bikarbonat



Gambar 2.2. : Hubungan Antara pH dan Konsentrasi Bikarbonat  
( Price dan Chheremisinoff 1981 )

Persamaan untuk proses penghancuran dan pembentukan buffer menurut *Price dan Chheremisinoff (1981)* adalah sebagai berikut :



Reaksi yang diperlihatkan pada persamaan ( 1 ) menggambarkan penguraian dari glukosa menjadi asam asetat oleh "acid former". Asam tersebut kemudian dinetralisasi seperti terlihat pada persamaan ( 2 ) oleh buffer bikarbonat . Bila keberadaan buffer tidak mencukupi, pH akan drop dan konversi asetat menjadi metana seperti pada persamaan (3) akan terhambat.

Dalam pengoperasian digester, keseimbangan dinamik dipertahankan antara pembentukan dan penghancuran buffer . Bila terjadi gangguan maka "methan former" yang akan menerima pengaruhnya bukan "acid former". Pada saat terjadi gangguan, konsumsi buffer lebih besar dari pada pembentukan dan pH akan drop. Konversi dari asetat menjadi metana dan bikarbonat akan turun seiring dengan terhambatnya aktivitas "methan former". Jika hal ini terjadi maka diperlukan tambahan sumber alkalinitas dari luar untuk mempertahankan pH pada angka yang layak. Gambar 2.2. menunjukkan bahwa alkalinitas bikarbonat seharusnya dipelihara pada angka minimum 1000 mg/lit  $\text{CaCO}_3$  untuk menjamin terkontrolnya pH . Untuk menentukan alkalinitas bikarbonat maka konsentrasi asam volatile, dan total alkalinitas harus diatur. Alkalinitas bikarbonat diperoleh dari :

$$\text{Alkalinitas bikarbonat} = \text{Total alkalinitas} + 0,8 \text{ asam volatile}$$

Faktor konversi asam volatile 0,8 adalah dari mg/lit asam volatile sebagai asam asetat menjadi mg/lit  $\text{CaCO}_3$  . Rasio asam volatile terhadap total alkalinitas harus diatur agar tetap dibawah 0,5 untuk operasi yang baik .

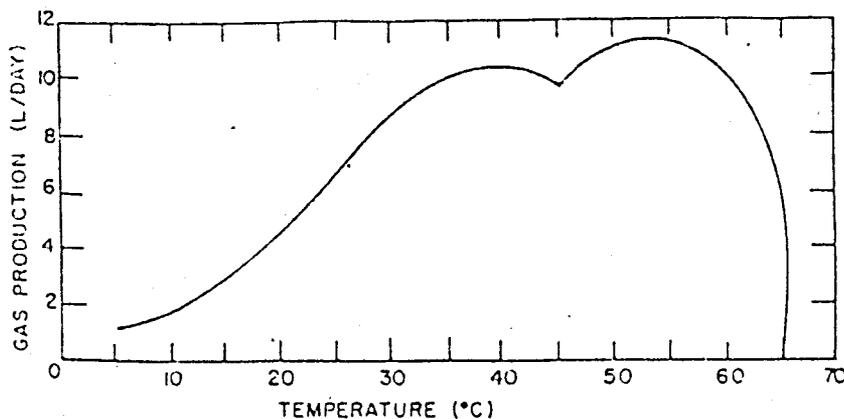
Menurut *Speece ( 1981 )* Ada tiga sumber alkalinitas yang terpenting yaitu lime, sodium bikarbonat dan Natrium karbonat ( soda ash ). Lime merupakan sumber alkalinitas yang murah baik berupa  $\text{Ca(OH)}_2$  atau  $\text{CaO}$  , tetapi mempunyai kekurangan karena dapat menimbulkan masalah akibat sifat yang agak sukar melarut sehingga penggunaannya

kurang efisien dan menyebabkan gangguan pada sistem perpipaan. Disamping itu perubahan  $\text{Ca(OH)}_2$  menjadi kalsium bikarbonat membutuhkan karbondioksida sebagai reaktan, maka sebagai akibatnya akan terjadi kondisi kekurangan karbondioksida yang dapat menyebabkan pH mudah melampaui kondisi netral dan hasil akhir pH akan terlalu tinggi. Kelebihan nilai pH akan merugikan sebagaimana halnya dengan kekurangan pH. Natrium bikarbonat adalah sumber alkalinitas yang baik sekali karena penanganannya sangat mudah, benar - benar melarut dan tidak membutuhkan karbondioksida sehingga bila terjadi over dosis pH yang tercapai tidak terlalu tinggi. Natrium bikarbonat lebih mahal daripada kapur. Sumber alkalinitas yang lain adalah natrium karbonat yang harganya antara kapur dan natrium bikarbonat.

#### 2.2.3.2. Temperatur

Menurut *Price dan Cheremisinoff ( 1981 )* penguraian dan produksi gas dapat berlangsung pada rentang temperatur  $4^\circ \text{C}$  sampai  $60^\circ \text{C}$  asalkan temperatur dipertahankan tetap stabil. Range temperatur yang efektif bila mengalami sedikit fluktuasi, dapat menyebabkan timbulnya gangguan proses. Temperatur optimum yang sering dipakai adalah  $37^\circ \text{C}$  sampai  $40^\circ \text{C}$  (*Fair dan Moore dalam Schroeder, 1977*).

Meskipun sebagian besar sludge digester dioperasikan pada range temperatur mesophilik ( $30^\circ \text{C} - 40^\circ \text{C}$ ), methanogenesis diketahui dapat terjadi pada temperatur serendah  $4^\circ \text{C}$ . Pengaruh peningkatan temperatur pada range  $4^\circ \text{C}$  sampai  $25^\circ \text{C}$  sangat besar, dimana rate produksi gas berubah dari 100 % sampai 400 % untuk 12 derajat peningkatan temperatur. Untuk lebih jelasnya maka pengaruh temperatur terhadap produksi gas dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. : Pengaruh Temperatur Terhadap Produksi Gas  
( Price dan Cheremisinoff, 1981 )

Stabilitas COD pada temperatur 25 ° C adalah 90 % dari pada stabilitas pada temperatur 35 ° C , dan pada temperatur 25 ° C lipid dan karbon rantai panjang tahan terhadap proses dekomposisi. Pada temperatur 20 ° C dan 15 ° C kemungkinan terjadinya kegagalan dalam proses degradasi akan semakin besar. Meskipun temperatur digestion rendah ( 20 ° C - 25 ° C ) memerlukan umur lumpur dua kali dari pada penguraian mesophilik , tetapi produksi gas , kualitas dan parameter lainnya menunjukkan adanya stabilitas proses yang baik.

Kemungkinan baik dan buruknya penguraian thermophilik ( 45 ° C - 55 ° C ) telah diteliti. Keuntungannya dibandingkan dengan penguraian mesophilik adalah umur lumpurnya yang lebih pendek, meningkatnya efisiensi penguraian , karakteristik lumpur yang lebih baik dan meningkatnya penghancuran organisma pathogenik. Kerugiannya adalah rasio asam volatile terhadap total alkalinitas semakin tinggi sehingga membutuhkan sistem buffer yang lebih baik, dan organisma thermophilik lebih sensitif terhadap fluktuasi temperatur daripada organisma mesophilik. Sebagai contoh, variasi temperatur kurang lebih 28 ° C dapat diterima untuk proses mesophilik pada temperatur 38 ° C dibandingkan dengan peningkatan temperatur 0,8 ° C dan 0,3 ° C untuk operasi thermophilik pada temperatur 49 ° C dan 52 ° C .

Operasi thermophilik juga membutuhkan pengadukan yang sangat baik untuk menjamin distribusi makanan dan panas yang lebih baik serta pemberian makanan lebih seragam sepanjang hari. Kebutuhan ekstra energi untuk memelihara kondisi thermophilik merupakan tambahan kekurangan proses ini.

### **2.2.3.3. Kelembaban**

Kelembaban dibutuhkan oleh semua bakteri, dimana bakteri dapat menerima kondisi dengan range dari kelembaban yang rendah sampai cairan. Hal ini berarti limbah sangat basah dapat digunakan tanpa konsumsi energi untuk pengeringan.

Pengaruh berbagai konsentrasi kelembaban pada limbah padat terhadap produksi gas telah dipelajari. Berbagai kandungan kelembaban dari 36 % - 99 % menaikkan produksi gas sebanyak 670 %. Kenaikan terbesar dicatat pada range kelembaban 60 % sampai 78 % dan cenderung sama pada kelembaban yang lebih tinggi.

Ada bukti sisa kelembaban dapat menghambat aktifitas methanogenik. Menurut teori, penambahan air menyebabkan penambahan konsentrasi oksigen yang lebih besar yang dapat bersifat racun terhadap organisma anaerobik.

#### 2.2.3.4. Karakteristik Fisik Substrat

Hasil tes menunjukkan ukuran partikel limbah padat berpengaruh cukup besar terhadap rate produksi gas. Pengecilan ukuran akan menaikkan kecepatan produksi gas.

*F.B. Walle dan E.S.K. Chian (1975)* menyatakan bahwa kenaikan densitas limbah padat menurunkan rate produksi gas karena kompaksi menurunkan luas permukaan efektif yang terekspos untuk hidrolisis enzimatis

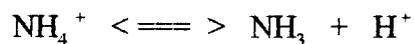
#### 2.2.3.5. Nutrien : Nitrogen, Fosfor, Sulfur, dan Karbon

Sel mikroba menurut *Mitchell (1974)* mengandung rasio C : N : P : S sekitar 100 : 10 : 1 : 1 . Oleh karena itu, untuk aktifitas pertumbuhan mikroba elemen - elemen ini harus ada dan mencukupi, ketidakhadiran atau kekurangan senyawa - senyawa ini dapat menghambat rate pertumbuhan. Menurut *Gohs et.al (1978)* rasio C : N ( 25 : 1 ) dan C : P ( 20 : 1 ) sangat dianjurkan . Hasil tes membuktikan bahwa air limbah industri yang banyak mengandung karbohidrat seperti juga buangan domestik ,mengalami kekurangan nitrogen dan phosporus ( *Fruton, 1959 dan Payne, 1976* ). Untuk proses penguraian yang efisien rasio C/N dibawah 10 sampai 90 ( *Stuckey, 1986* ).

Rasio C : N dan C : P hanya digunakan jika berhubungan dengan substansi yang dapat difermentasi serta keberadaan nitrogen dan Fosfor. Lignin dalam bubur kayu, residu

selulosa dan buangan sayuran serta komponen - komponen lainnya, sulit diuraikan oleh mikroba dan hal ini tidak diinginkan terjadi.

Jika substrat mempunyai kandungan protein yang tinggi, dapat menyebabkan deaminasi dari kandungan protein . Keseimbangan antara amonia bebas (  $\text{NH}_3$  ) dan ion amonium (  $\text{NH}_4^+$  ) berdasarkan pada pH dari lumpur digester .



Amonia bebas lebih toksik dari pada ion amonium, batas toksisitas amonia sangat sensitif terhadap pH. Level amonia bebas seharusnya dipertahankan dibawah 80 mg / lt , sedangkan ion amonium secara umum dapat ditoleransi sampai 1500 mg / lt sebagai N. Amonium nitrogen pada konsentrasi lebih besar dari pada 3000 mg/lt dan pH diatas 7,4 bersifat toksik ( *Biselli et.al 1975* ).

Pada konsentrasi 9 mmol, semua komponen organik sulfur, selain sulfat menghambat degradasi selulosa dan asosiasi methanogenesis yang diurut sebagai berikut :



Bakteri pengguna sulfat bersaing dengan bakteri methan untuk memakai hidrogen. Kemampuan organisma pengguna sulfat dalam menggunakan hidrogen untuk menghalangi "methan former" sudah terbukti, tetapi bakteri pereduksi sulfat maupun bakteri penghasil metana dapat terjadi dengan kehadiran sisa hidrogen ( *Chynoweth et.al 1979* ). Pada digester sulfat direduksi menjadi sulfit . Proses biologis akan mengalami kegagalan bila konsentrasi sulfit lebih dari 200 mg / l .

Beberapa komponen organik dapat menghambat penguraian anaerobik. Termasuk pelarut organik, alkohol, dan asam lemak rantai panjang pada konsentrasi tinggi. Pestisida dalam limbah padat juga merupakan masalah yang potensial ( *Biselli, 1975* ).

Pengaruh struktur molekul petro kimia telah diteliti dan diketahui bahwa adanya chloro, aldehyd dan ikatan ganda menunjukkan toksisitas, tetapi penambahan gugus hidroksil dan meningkatnya karbon rantai panjang menurunkan toksisitasnya. Beberapa komponen yang bersifat toksik terhadap kultur yang tidak diaklimatisasi, dapat didegradasi setelah perioda aklimatisasi.

Merubah feed material substrat dapat menghasilkan ketidakseimbangan dalam populasi bakteri dan menyebabkan akumulasi hasil fermentasi yang bersifat toksik.

#### **2.2.3.6. Kation**

Semua kation dapat menghasilkan efek toksik pada berbagai organisme jika konsentrasinya cukup tinggi, tetapi tingkat toksisitasnya relatif . Biasanya toksisitas meningkat sesuai dengan valensi dan berat atom. Hasil studi pengaruh kation dalam proses anaerobik menunjukkan bahwa bakteri methan memberi respon yang sama terhadap kation seperti mikroorganisma lainnya, tetapi lebih sensitif terhadap efek toksik kation dari pada bakteri pembentuk asam.

Tiga efek dasar : toksisitas, antagonisme dan stimulasi. Toksisitas dapat bervariasi dengan kehadiran kation lainnya .Kemampuan sebuah kation untuk mempengaruhi ( menaikkan dan menurunkan ) toksisitas yang lainnya disebut antagonisme. Konsentrasi kation yang rendah memiliki efek stimulasi pada metabolisme mikroorganisma ( khususnya bakteri penghasil metana ) . Stimulasi terjadi pada konsentrasi mendekati 1,5 kali tingkat toksik.

Kation berperan penting dalam aturan nutrisi pada metabolisme semua organisme, berlaku sebagai aktivator berbagai jenis enzim. Secara teori disebut sebagai

dalil interaksi yang menghasilkan stimulasi jika aktivator logam yang tepat bersatu dengan enzim, tetapi toksisitaslah yang akan dihasilkan jika enzim bersatu dengan kation yang salah. Antagonisma dapat digambarkan sebagai kompetisi singkat antara kation yang berfungsi dan yang tidak pada permukaan enzim (*Kugelman dan Mc. Carty, 1985*).

Pengaruh kation dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pengaruh kation dalam pengolahan anaerobik merupakan fungsi semua jenis dan konsentrasi kation.
2. Konsentrasi optimum ion 0,01 M untuk monovalent : Na, K, NH<sub>4</sub> dan 0,005 M untuk ion divalent Ca dan Mg.
3. Konsentrasi di atas atau di bawah optimum menghasilkan efisiensi yang lebih kecil dari maksimum.
4. Penghambatan yang disebabkan oleh konsentrasi yang berlebihan dari salah satu ion dapat diminimalkan dengan penambahan optimum ion lain.
5. Antagonisme maksimal dari kation penghambat dapat diperoleh dengan penambahan konsentrasi optimum beberapa kation lainnya , lebih dari satu.

Logam berat bersifat toksik dari pada logam, meskipun pada konsentrasi yang sangat rendah tembaga dan raksa menghasilkan efek stimulasi. Toksisitas logam berat dalam digesti anaerobik tergantung pada bentuk kimianya, misalkan logam berat dalam bentuk endapan sulfida mempunyai konsekuensi terhadap sistem biologis dan konsentrasi logam berat toksik yang tinggi dapat ditoleransi jika kekurangan sulfida dapat dianggap berperan sebagai endapan (*S.Gosh et.al, 1978*).

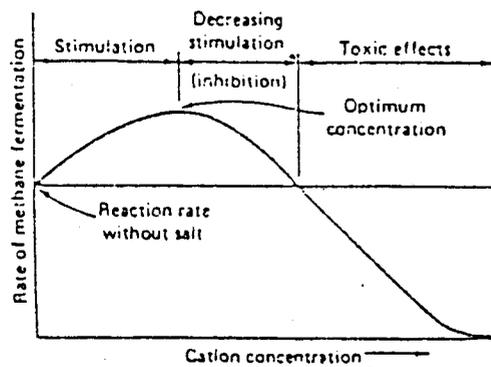
Terlihat bahwa bakteri dapat mengkonsentrasikan ion logam berat yang terlarut di sekitar dinding sel yang bergabung dengan protein dan efek toksiknya berhubungan dengan pemakaian maksimum logam oleh bakteri. Penurunan toksisitas berdasarkan berat atau molar :  $Ni > Cu \gg Cr(VI) = Cr(III) > Pb > Zn$

Metoda feed berpengaruh pada tingkat toksisitas, biasanya feeding yang bervariasi atau shock feeding menghasilkan batas toksik yang lebih rendah daripada step feed logam yang bersangkutan. Tingkat penghambatan didefinisikan sebagai waktu ketika terjadinya pengurangan gas yang terlihat dengan jelas. Batas toksik ditentukan jika terjadi pengurangan produksi total gas sebesar 70 % dari nilai rata - rata. Batas toksik untuk logam berat dapat dilihat pada tabel 2.1. : Batas Toksisitas Logam Berat Untuk Digesti Anaerobik

Pengontrolan diperlukan untuk mengurangi pengaruh logam berat pada digesti anaerobik termasuk penambahan anion untuk presipitasi seperti sulfida dan operasi pada pH maksimum yang diijinkan, karena kebanyakan logam berat hidroksida hanya sedikit yang terlarut. Menurut *Kugelman dan McCarty (1965)* dijumpai adanya pengaruh kation pada produksi gas, dimana pada range konsentrasi yang rendah kation memberi efek stimulator. Sedangkan pada konsentrasi lebih rendah dari pada konsentrasi optimum maka fermentasi metana akan mengalami penurunan. Untuk lebih jelasnya maka dapat dilihat pada gambar 2.4. : Efek kation pada Fermentasi Metana.

Tabel 2.1. : Batas Toksisitas Logam Berat Untuk Digesti Anaerobik  
 ( C.P. Elizabeth dan Chremisionoff, 1981 )

	STEP FEED		PULSE FEED
	KONSENTRASI INHIBIT ( mg/lt )	BATAS TOKSIK ( mg/lt )	BATAS TOKSIK ( mg/lt )
Cr (III)	130	260	< 200
Cr (VI)	110	420	< 180
Cu	40	70	< 50
Ni	10	30	< 30
Cd	-	> 20	> 10
Pb	340	> 340	> 250
Zn	400	600	< 1700



Gambar 2.4. : Pengaruh Kation Pada Fermentasi Methan  
 ( Kugelman dan McCarty, 1965 )

### **2.2.3.7. Pembatas Proses**

Kekurangan salah satu nutrien esensial merupakan pembatas kecepatan reaksi. Ada empat langkah pembatas kecepatan yang potensial dalam konversi selulosa menjadi metan secara anaerobik yaitu :

1. Konversi selulosa menjadi gula terlarut oleh enzim ekstraseluler
2. formasi asam volatile oleh bakteri pembentuk asam.
3. Konversi dari asam volatile menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{CH}_4$  oleh bakteri methana.
4. Tansfer hasil reaksi yang terlarut dari fase cairan ke gas.

Langkah ke tiga sering dianggap sebagai pembatas kecepatan , karena pengurangan waktu tinggal rata - rata mikrobial akan menaikkan konsentrasi asam volatile. Menurut teori, penambahan konsentrasi ini terjadi karena metabolisme yang lambat. Bakteri ini terbangun secara besar - besaran dari digester apabila umur lumpur 2 hari atau kurang. Kejadian ini berhubungan dengan kemungkinan ke tiga atau ke empat, atau konversi biologi dan fase transfer sebagai langkah pembatas kecepatan.

#### 2.2.4. KINETIKA PROSES SISTEM SUSPENDED GROWTH

Lawrence dan McCarty mempelajari kinetika perubahan asam lemak volatile, asetat, propionat dan butirat, menjadi metana dan karbondioksida. Langkah ini merupakan pembatas proses anaerobik, artinya akan menggambarkan kinetika seluruh proses.

Rate pertumbuhan mikroorganisma murni dalam aliran kontinu dengan sistem teraduk sempurna dengan pengolahan anaerobik dapat digambarkan dengan persamaan :

$$\frac{dX}{dt} = a \left( \frac{dF}{dt} \right) - bX \quad \dots\dots\dots(1)$$

di mana :

$dX/dt$  = kecepatan pertumbuhan mikroorganisme murni per unit volume digester ( massa / volume. waktu )

$dF/dt$  = kecepatan penggunaan buangan per unit volume digester ( massa / volume. waktu )

$X$  = konsentrasi mikroorganisme ( massa / volume )

$a$  = Koefisien yield pertumbuhan ( waktu<sup>-1</sup> )

$b$  = Koefisien decay mikroorganisme ( waktu<sup>-1</sup> )

Rate penggunaan substrat (  $dF/dt$  ) berhubungan dengan konsentrasi substrat oleh persamaan Michaels Menten :

$$\frac{dF}{dt} = \frac{k X S}{K_s + S} \quad \dots\dots\dots(2)$$

di mana :

$S$  = konsentrasi substrat dalam reaktor ( massa / volume )

$k$  = kecepatan penggunaan buangan maksimum per unit berat mikroorganisma yang terjadi pada buangan konsentrasi tinggi ( waktu<sup>-1</sup> )

$K_s$  = Koefisien setengah kecepatan sama dengan konsentrasi air buangan ketika  $dF / dt = 1,5$  kali rate maksimum (  $k$  )  
( massa / volume )

Dari persamaan ( 1 ) dan ( 2 ) diperoleh :

$$\frac{(dX / dt)}{X} = \frac{a k S}{K_s + S} - b \quad \dots\dots\dots(3)$$

Jumlah (  $dX / dt$  ) /  $X$  sama dengan rate pertumbuhan murni per unit berat mikroorganisma per unit waktu dan direncanakan sebagai kecepatan pertumbuhan spesifik murni (  $\mu$  ) .

Untuk mencapai kondisi steady , mikroorganisma harus dibuang dari sistem pada rate yang sama dengan produksinya. Oleh sebab itu , rate pertumbuhan spesifik murni tiap hari (  $S / T / M$  ) merupakan kebalikan dari waktu tinggal biologis solid , SRT :

di mana :

$$SRT = \frac{X}{(\Delta X / \Delta T)_T} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$X$  = berat total zat padat mikrobial aktif dalam sistem ( massa )

$(\Delta X / \Delta T)_T$  = jumlah total zat padat mikrobial aktif yang dibuang tiap hari  
( massa / waktu )

SRT merupakan retensi waktu rata - rata mikroorganisme dalam sistem dan sama dengan konsep umur lumpur aktif. SRT dapat bervariasi tergantung pada waktu retensi hidrolis ( HRT ) jika mikroorganisma diresirkulasi ke reaktor.

Kesalahan proses karena kesalahan kinetika akan terjadi jika SRT dikurangi menjadi sebuah nilai di mana mikroorganisma dibuang dari sistem pada rate yang lebih besar dari pada rate pertumbuhan spesifik. Jika konsentrasi substrat cukup tinggi dan lebih besar dari  $K_s$  , maka nilai minimum SRT (  $SRT_m$  ) untuk menjaga nilai pengurasan terhadap proses mikrobial dapat dinyatakan sebagai :

$$\frac{1}{SRT_m} = \mu_m - b \quad \dots\dots\dots(5)$$

Kebalikan  $SRT_m$  adalah  $\mu_m$  , rate pertumbuhan spesifik proses mikroorganisme yang terbatas, yang mana berhubungan dengan penggandaan atau waktu pembiakan yang digunakan untuk pembentukan karakteristik spesies bakteri, adalah sebagai berikut :

$$T_d = \frac{0,693}{\mu_m} \quad \dots\dots\dots(6)$$

di mana

$T_d$  = waktu yang dibutuhkan untuk penggandaan massa mikrobial pada konsentrasi substrat yang terbatas ( waktu )

Nilai  $SRT_m$  untuk sistem digesti anaerobik dari 2 - 10 hari . Sebagai perbandingan, nilai  $SRT_m$  untuk sistem aerobik biasanya 0,5 hari atau kurang.

Konstanta  $a$ ,  $b$ ,  $k$ , dan  $K_s$  dapat dihitung dari data percobaan. Koefisien pertumbuhan dapat ditentukan dari bentuk linear persamaan ( 1 ) :

$$\frac{1}{\text{HRT}} = aU - b \quad \dots\dots\dots(7)$$

di mana,  $U = dS / dt / X$

dan bentuk linear persamaan 2 dapat digunakan untuk menghitung  $k$  dan  $K_s$  :

$$\frac{1}{U} = \frac{K_s}{k} \frac{1}{S} + \frac{1}{k} \quad \dots\dots\dots(8)$$

Persamaan ( 8 ) sama dengan plot lineweaver-Burke terhadap persamaan Michaelis Menten yang digunakan oleh ahli biokimia dalam studi kinetika enzim :

$$\frac{1}{V} = \frac{1}{V_{\text{maks}}} + \frac{K_m}{V_{\text{maks}}} \frac{1}{S} \quad \dots\dots\dots(9)$$

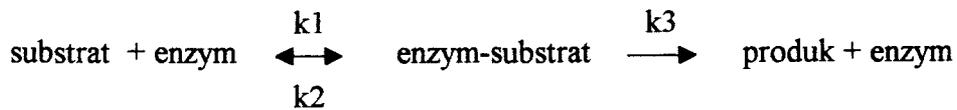
di mana :

$V$  = rate reaksi

$V_{\text{maks}}$  = rate kecepatan maksimum ketika enzim jenuh oleh substrat

$S$  = konsentrasi substrat

$K_m$  = konstanta Michaelis Menten dengan konsentrasi substrat saat rate reaksi setengah  $V_{\text{maks}}$  dan pengukuran stabilitas pada saat enzim substrat kompleks.



$$K_m = \frac{k_2 + k_3}{k_1}$$

Data percobaan menegaskan untuk fermentasi metana dari asam lemak volatile, hubungan kinetika kondisi steady antara biological solid retention time atau kebalikannya, rate pertumbuhan spesifik murni dan konsentrasi asam volatile effluen dapat digambarkan dengan model matematika :

$$\frac{1}{\text{SRT}} = \mu = \frac{a k S}{K_s + S} - b \quad \dots\dots\dots(10)$$

Nilai - nilai  $\text{SRT}_m$  dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan nilai SRT pada disain dan operasi. Nilai  $\text{SRT}_m$  dari 2,7 - 10 hari berhubungan dengan waktu penggandaan,  $T_d = 1,9 - 6,9$  hari, nilai yang lebih besar dibandingkan dengan organisme aerobik, yang  $T_d$ -nya hanya 17 menit untuk *E coli* pada  $37^\circ \text{C}$  dan untuk lumpur aktif,  $T_d = 2,3$  jam pada  $30^\circ \text{C}$ .

Dua faktor berpengaruh terhadap variasi  $k$  dan  $K_s$ . Pertama, koefisien yang bervariasi dengan suhu. Kedua, jenis mikroorganisma yang ada tergantung pada substrat dan pada beberapa kasus, juga tergantung pada suhu. Sebagai contoh, pada suhu  $35^\circ \text{C}$ , bacilli (*Methanobacterium soehgenis*) merupakan bakteri dominan dan sarcina (*Sarcina methanica*) merupakan populasi minoritas. Jumlah relatif sarcina berkurang pada SRT kurang dari 9 hari. Pada  $25^\circ \text{C}$ , sarcina merupakan bakteri utama. Oleh sebab itu, baik

biological solids retention time dan suhu mempengaruhi komposisi populasi kultur campuran dan stabilisasi sistem. Nilai koefisien kinetika untuk penggunaan substrat dapat dilihat pada tabel 2.3 :

Tabel 2.3. : Koefisien Kinetika Untuk Penggunaan Substrat dan Pertumbuhan Biologis

Substrat	Suhu ( C )	k* (mg/mg-hari)	ks (mg/l)	a** (mg/mg)	b ( 1/hari)	SRTm ( hari)
- Asam asetat	20	3,6	2130	0,04	0,015	7,8
- Lumpur Buangan kota						
- Asam asetat	25	5,0	869	0,05	0,011	4,2
- Asam propionat		7,8	613	0,051	0,04	2,8
- Lumpur Buangan kota						7,5
- Buangan susu Sintesis		0,38	24	0,37	0,07	4,7
- Asam asetat	30	5,1	333	0,054	0,037	4,2
- Asam asetat	35	8,7	154	0,04	0,019	3,1
- Asam propionat		7,7	32	0,042	0,01	3,2
- Asam butirat		8,3	5	0,047	0,027	2,7
- Lumpur Buangan kota						2,8
- Buangan Pengepakan		0,32	5,5	0,76	0,17	

Sumber : Price, E.C. dan Cheremisinoff, 1981

- \* Menunjukkan sebagai COD yang dikonversi menjadi metan mg solid biologis
- \*\* Menunjukkan mg solid biologis yang diproduksi per mg COD yang dikonversi menjadi metan .

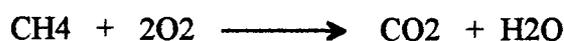
Menurut teori , variasi k karena perubahan suhu dapat menyebabkan dominasi populasi . Suhu tergantung pada koefisien setengah kecepatan  $K_s$  , dapat digambarkan dengan persamaan :

$$\log \frac{(K_s)_2}{(K_s)_1} = 6980 \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \dots\dots\dots(11)$$

**2.2.5. PRODUKSI BIOGAS**

Produksi biogas dapat diestimasi berdasarkan material balance dengan menghitung chemical oxygen demand dari semua aliran termasuk sebagai biogas, yang masuk dan keluar dari digester. COD secara analitis ditentukan dengan penambahan oksidant kuat misalnya ion dikromat ke dalam sampel, yang sama dengan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi kandungan organik sampel menjadi  $CO_2$  dan  $H_2O$  .

Hasil akhir dalam fase gas yaitu karbon dioksida mempunyai kandungan COD nol karena telah sempurna teroksidasi . COD dari metan dapat dihitung secara stoichiometry berdasarkan reaksi oksidasi sebagai berikut :



Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa satu mol dari metan memerlukan dua mol oksigen sehingga membutuhkan COD  $2 \times 32\text{g} = 64\text{g}$ . Pada kondisi standard (STP) 1 mol gas sama dengan 22,4 liter sehingga 1 liter gas metan ekuivalen dengan  $64 / 22,4 = 2,86\text{g COD}$ .

Untuk proses anaerobik dengan tanpa kehadiran oksigen, COD merupakan parameter yang konservatif. Di mana jumlah total COD input sama dengan jumlah total COD output. Ini berarti bahwa COD yang teremoval (COD influen - COD effluen) sama dengan COD dalam biogas. Removal 1 gram COD menghasilkan 1 gram gas COD atau  $1 / 2,86 = 0,35\text{ l metan}$  pada kondisi STP. Biogas yang dihasilkan pada proses anaerobik mengandung kurang lebih 50 - 70 % gas metan (Price dan Cheremisinoff, 1981). Penerapannya pada continuous flow digester pada kondisi steady state, volumetrik metan production rate (Stuckey, 1986) adalah :

$$V = 0,35 (S_i - S_o) Q$$

di mana  $S_i$  = influen COD, g/l

$S_o$  = effluen COD, g/l

$Q$  = influen flow rate, lt/hari

$V$  = metan production rate (pada STP), lt/hari

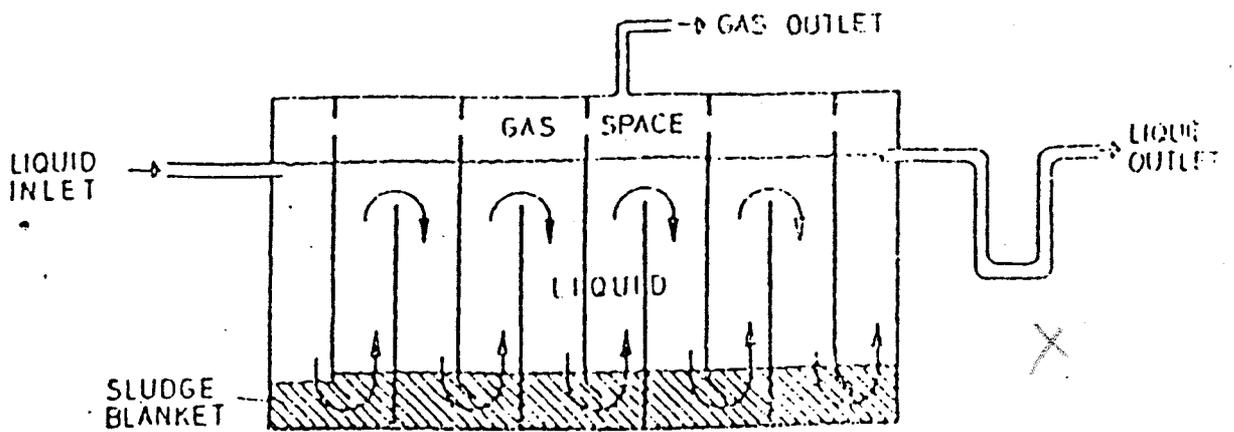
Persamaan di atas menghitung kemampuan biodegradabel substrat.  $S_o$  merupakan fraksi yang sulit diuraikan dari substrat dan dihitung sebagai level residu dari penguraian organik di dalam effluen, yang tidak terkonversi secara sempurna. Dengan menggunakan persamaan di atas  $S_i$  dan  $S_o$  secara analitis dihitung untuk kepentingan penyediaan substrat. COD dapat dihubungkan dengan kandungan volatile solid (VS) dari sampel. Analisa VS dapat digunakan untuk memprediksi produksi gas. Hubungan antara COD dan VS

bersifat empiris dan sangat bervariasi dari sampel ke sampel. Sebagai contoh COD / VS rasio dari karbohidrat berkisar 1,1 , lipid 2,9 dan untuk protein 1,5 ( McCarty ,1972 ). Prediksi produksi gas berdasarkan nilai VS harus dilakukan secara hati - hati.

### **2.2.6. ANAEROBIC HORIZONTAL BAFFLED REACTOR**

Desain reaktor jenis ini termasuk baru, yang dikembangkan oleh Bachman dan McCarty di Stanford University pada tahun 1982. Reaktor tersebut berbentuk tangki persegi panjang yang sederhana di mana bentuk fisiknya mirip dengan tangki septik dan dibagi dalam 5 sampai 6 kompartemen yang berukuran sama. Masing - masing kompartemen dipisahkan oleh dinding dari arah atas dan dasar tangki. Zat cair yang dialirkan akan menuju ke atas lalu ke bawah antara dinding dan menuju atas lagi melewati sludge anaerobic blanket dan seterusnya hingga melewati kompartemen 5 dan 6. Dalam reaktor ini akan terjadi kontak intim antara air limbah dengan biomassa aktif di mana direncanakan dengan reaktor ini biomassa akan tertahan sebanyak mungkin.

Berdasarkan hasil penelitian Bachman et al ( 1982 ) berpendapat bahwa reaktor jenis ini mampu menyisihkan COD hingga 80% dengan produksi gas volumetrik sebesar 2,9 dimana COD influennya sebesar 7,1 gr / lt dengan waktu detensi hidrolis selama 1 hari pada suhu 35 °C . Uji yang sama telah dilakukan dengan air buangan yang diencerkan ( 0,48 gr / lt COD ) dengan unjuk kerja yang sama dapat diperoleh pada suhu 25° C . Berdasarkan bentuk fisiknya, jenis reaktor ini dapat mengolah air limbah yang konsentrasi zat padatnya cukup tinggi . Untuk lebih jelasnya maka sketsa bentuk reaktor dapat dilihat pada gambar 2.5. : Anaerobic Horizontal Baffled Reaktor



Gambar 2.5. : Anaerobic Horizontal Baffled Reaktor  
( David C. Stuckey, 1986 )

## 2.3. PADI

( Sumber : Suparyono dan Agus Setyono, 1993 )

### 2.3.1. KLASIFIKASI

Padi termasuk famili Gramineae, sub famili Oryzidae, dan genus Oryzae. Dari 20 spesies anggota genus Oryzae yang sering dibudidayakan adalah *Oryza sativa* L. dan *O. glaberrima* Steud. *Oryza sativa* berbeda dengan *O. glaberrima* karena spesies ini memiliki cabang - cabang sekunder yang lebih panjang dan malai daun ligula. Namun kedua spesies berasal dari leluhur yang sama yaitu *O. parennis* Moench yang berasal dari Goundwanaland.

### 2.3.2. MORFOLOGI

Pada dasarnya tanaman padi terdiri dari dua bagian utama yaitu bagian vegetatif ( akar, batang, daun ) dan bagian generatif yaitu malai dan bunga.

#### Bagian Vegetatif

Organ - organ tanaman yang berfungsi mendukung atau menyelenggarakan proses pertumbuhan adalah bagian vegetatif. Termasuk ke dalam bagian ini adalah akar, batang, daun.

#### Akar

Akar padi tergolong akar serabut. Akar yang tumbuh dari kecambah biji disebut akar utama ( primer, radikula ) . Akar lain yang tumbuh di dekat buku disebut akar seminal. Akar padi tidak memiliki pertumbuhan sekunder sehingga tidak banyak mengalami perubahan.

Akar tanaman padi berfungsi untuk menopang batang, menyerap nutrisi dan air, serta untuk pernapasan.

### *Batang*

Secara fisik batang padi berguna untuk menopang tanaman secara keseluruhan yang diperkuat oleh pelepah daun. Secara fungsional batang berfungsi untuk mengalirkan nutrisi dan air ke seluruh bagian tanaman.

Batang padi bentuknya bulat, berongga dan beruas-ruas. Antar ruas dipisahkan oleh buku. Pada awal pertumbuhan, ruas - ruas sangat pendek dan bertumpuk rapat. Setelah memasuki stadium reproduktif, ruas - ruas memanjang dan berongga. Oleh karena itu, stadium reproduktif disebut juga stadium perpanjangan ruas. Ruas batang makin ke bawah makin pendek.

Pada buku paling bawah tumbuh tunas yang akan menjadi batang sekunder. Selanjutnya batang sekunder menghasilkan batang tersier, dan seterusnya. Peristiwa ini disebut pertunasan. Pembentukan anakan sangat dipengaruhi oleh unsur hara, sinar, jarak tanam, dan teknik budi daya.

### *Daun*

Daun padi tumbuh pada buku - buku dengan susunan berseling. Pada tiap buku tumbuh satu daun yang terdiri dari pelepah daun, helai daun, telinga daun (uricle), dan lidah daun (ligula). Daun yang paling atas mempunyai ukuran terpendek dan disebut daun bendera. Daun ke empat dari daun bendera merupakan daun terpanjang. Jumlah daun per tanaman tergantung varietas. Varietas unggul umumnya memiliki 14 - 18 daun.

Sifat daun sering dipakai sebagai salah satu sifat morfologi yang dipakai untuk membedakan antar varietas. Sifat - sifat itu adalah ketegakan, panjang daun , lebar daun , tebal daun, warna daun, dan kecepatan penuaan.

### **Bagian Generatif**

Organ generatif padi terdiri dari malai, bunga, dan buah padi ( gabah ) . Awal fase generatif diawali dengan fase primordia bunga yang tidak sama untuk setiap varietas.

#### *Malai*

Malai terdiri dari 8 - 10 buku yang menghasilkan cabang - cabang primer . Dari buku pangkal malai umumnya hanya muncul satu cabang primer dan dari cabang primer tersebut akan muncul lagi cabang - cabang sekunder. Panjang malai diukur dari buku terakhir sampai butir gabah paling ujung. Kepadatan malai adalah perbandingan antara jumlah bungai tiap malai dengan panjang malai.

#### *Bunga*

Bunga padi berkelamin dua dan memiliki 6 buah benangsari dengan tangkai sari pendek dan dua kandung serbuk di kepala sari. Bunga padi juga mempunyai dua tangkai putik dengan dua buah kepala putik yang berwarna putih atau ungu. Sekam mahkotanya ada dua dan yang bawah disebut lemma, sedang yang atas disebut palea.

Pada dasar bunga terdapat dua daun mahkota yang berubah bentuk disebut lodicula. Bagian ini sangat berperan dalam pembukaan palea. Lodicula mudah menghisap air dari bakal buah sehingga mengembang. Pada saat palea membuka , maka benang sari akan keluar. Pembukaan bunga diikuti oleh pemecahan kantung serbuk dan penumpahan serbuk sari.

Setelah serbuk sari ditumpahkan, lemma dan palea menutup kembali. Penempelan serbuk sari pada kepala putik mengawali proses penyerbukan dan pembuahan. Proses tersebut menghasilkan lembaga dan endosperm yang berfungsi sebagai reservoir makanan bagi benih yang baru tumbuh.

### *Buah padi*

Buah padi ( gabah ) terdiri dari bagian luar yang disebut sekam dan bagian dalam yang disebut karyopsis. Sekam terdiri dari lemma dan palea. Biji yang sering disebut beras pecah kulit adalah karyopsis yang terdiri dari lembaga ( embrio ) dan endosperm . Endosperm diselimuti oleh lapisan aleuron, tegmen, dan perikarp.

### **2.3.3. BUDI DAYA PADI**

Petani lahan sawah selalu berusaha agar sawahnya tergenangi air. Caranya dengan membuat penahan air yang disebut pematang atau galengan. Pematang dibuat mengelilingi petakan sehingga air yang masuk ke dalam petakan akan tertahan dan terjadilah genangan.

Tanah yang cocok untuk persawahan adalah tanah lempung yang berat, atau tanah tanah yang memiliki lapisan keras di kedalaman kira - kira 30 cm di bawah permukaan. Tanah semacam ini akan memperkecil kehilangan air akibat perkolasi sehingga petakan sawah tidak cepat kering.

Langkah - langkah yang ditempuh dalam pembudidayaan tanaman padi adalah :

#### **Persiapan Sebelum Tanam**

Persiapan diawali dengan pembajakan yaitu proses pemecahan tanah menjadi gumpalan besar. Kemudian tanah hasil bajakan dibiarkan tergenang selama 2 - 3 hari agar proses pelumpuran berjalan baik. Proses pelumpuran dilakukan dengan cara melakukan

pembajakan yang berulang agar tanah hasil bajakan pertama menjadi lebih kecil dan halus. Tujuan dari pengolahan tanah adalah :

1. Memperbaiki struktur tanah untuk pertumbuhan tanaman padi. Dengan penggemburan dan pelumpuran , tanah akan menjadi media tumbuh padi yang baik. Keadaan tanah yang demikian memungkinkan akar tanaman lebih mudah menembus partikel tanah untuk memperoleh makanan yang tersedia.
2. Memperbaiki aerasi dalam tanah . Dengan pembalikan dan pelembutan, pertukaran udara dalam tanah menjadi lebih baik. Persediaan oksigen akan lebih terjamin dan sistem pernapasan perakaran berjalan lebih baik.
3. Membantu menekan gulma. Biomas gulma yang ada sebelum pengolahan tanah akan tercampur dengan tanah secara merata. Kemudian dengan bantuan mikroba biomas campuran tanah dan rumput tersebut dirombak menjadi unsur - unsur yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman.

### **Pembibitan**

Kegiatan pembibitan dilakukan dengan urutan pemilihan benih, penyiapan lahan persemaian dan pemeliharaan persemaian.

Pemilihan benih merupakan salah satu kunci budi daya padi. Benih yang baik adalah yang memiliki daya kecambah tinggi ( 90 - 100 % ) , sehat dan murni. Benih yang memiliki persyaratan tersebut diharapkan akan menghasilkan bibit yang kekar , seragam, dan sehat.

Lahan untuk persemaian sebaiknya dipilih salah satu bagian dari lahan yang akan ditanami. Pengaturan air untuk lahan persemaian harus baik karena stadium awal bibit merupakan stadium yang sangat sensitif terhadap lingkungan. Kekurangan air akan

menyebabkan bibit kecil mati, kelebihan air akan menyebabkan bibit membusuk. Kecambah yang baru ditaburkan di atas tanah membutuhkan kelembaban yang cukup yang diperoleh dari imbibisi air yang ada di sekitar saluran.

Sebelum ditabur benih direndam dulu selama 48 jam , kemudian diperam selama 48 jam . Saat merendam semua benih harus terendam sempurna, pemeraman dilakukan dengan tujuan untu memberi kesempatan bagi bibit untuk berkecambah.

Persemaian harus dipelihara dengan baik. Kebutuhan tanaman akan nitrogen, fosfor dan kalium terpenuhi. Sampai bibit berumur satu minggu , kebutuhan haranya masih dapat dicukupi oleh kandungan zat dalam keping biji. Sesudah periode itu , bibit perlu tambahan nutrisi dari luar.

### **Penanaman**

Penanaman dapat dilakukan dengan cara sebar langsung dan pindah bibit. Cara sebar langsung dilakukan pada permukaan lahan yang sudah rata melumpur. Kelebihan cara ini adalah dapat dilakukan dengan cepat, dan tanaman tidak mengalami stres akibat pencabutan dan pemindahan tanaman. Kekurangannya adalah pengendalian gulma sulit.

### **Pemeliharaan**

Agar padi dapat berproduksi sesuai dengan potensi genetiknya , dibutuhkan lingkungan yang optimal bagi tanaman untuk tumbuh dan berproduksi. Faktor lingkungan tersebut adalah sumber makanan, air, suhu, kelembaban, sinar matahari, populasi tanaman persatuan luas serta keadaan hama dan penyakit. Agar faktor lingkungan ini baik maka dilakukan pemupukan, pengaturan air, penyiangan , pengendalian hama dan penyakit, serta pengelolaan pasca panen.

#### **2.3.4. UNSUR HARA**

##### **Nitrogen**

Di samping sebagai penyusun protein, nitrogen merupakan bagian integral kloroplas. Secara fungsional protein adalah enzim yang selalu dibentuk dan dipecahkan. Salah satu senyawa protein yang sangat vital ialah asam deoksiribonukleat (DNA). DNA memiliki peranan yang sangat penting dalam hal keturunan. Sedangkan klorofil adalah penyerap sumber energi utama (sinar matahari) dalam proses fotosintesis.

Fotosintesis merupakan proses utama penghasil gula dan tenaga untuk kegiatan pertumbuhan dan reproduksi. Suplai nitrogen yang cukup akan terlihat dari pertumbuhan tanaman yang kekar, dan hijau tua. Namun harus dijaga bahwa pemberian nitrogen tidak berlebih, relatif terhadap unsur hara lain seperti fosfor dan kalium. Kalau hal ini terjadi menyebabkan perpanjangan masa vegetatif dan pemendekan periode pemasakan. Nitrogen yang berlebih menyebabkan karbohidrat yang terkumpul di jaringan vegetatif dipakai untuk sintesa protein sehingga protoplasma banyak terdapat di bagian vegetatif. Sifat protoplasma yang mudah mengalami hidrasi menyebabkan jaringan tanaman sukulentis. Tanaman sukulen mudah rebah, terserang hama, dan terinfeksi penyebab penyakit.

Sedangkan kekurangan nitrogen menyebabkan karbohidrat yang terbentuk melalui fotosintesis terkumpul di jaringan vegetatif yang mengakibatkan penebalan batang. Unsur nitrogen diserap tanaman dalam bentuk nitrat, amonium, dan urea. Dalam kondisi tropis, lembab, panas, dan aerasi baik, penyerapan nitrogen dalam bentuk nitrat lebih dominan.

##### **Fosfor**

Padi juga memerlukan fosfor untuk pertumbuhannya. Fosfor berguna untuk penyimpanan dan transfer energi serta penyusun senyawa biokimia (asam nukleat,

koenzym , fosfolipid, dan gula fosfat ). Unsur fosfor banyak dijumpai dalam organ biji dan buah. Fosfor yang cukup sangat diperlukan pada saat reproduksi. Suplai fosfor juga berhubungan erat dengan perpanjangan akar. Unsur fosfor diserap tanaman dalam bentuk ion  $H_2 PO_4^-$  .

### **Kalium**

Unsur kalium berperan secara individual sebagai katalisator pada hampir semua proses fisiologis enzimatis . Kalium merupakan unsur yang mobil dan sangat berperan dalam transfer hasil asimilasi ke jaringan muda. Secara garis besar , unsur kalium berperan dalam enam kegiatan :

1. Aktivator enzim

Lebih dar 60 enzim dalam menjalankan fungsinya memerlukan kalium. Kalium berperan dalam metabolisme tanaman dan berpengaruh pada morfologi tanaman dan memperkeras jaringan sehingga meningkatkan ketahanan tanaman terhadap proses infeksi patogen dan proses makan serangga.

2. Hubungan kalium dengan air

Unsur kalium berperan sekali dalam pengaturan tekanan osmosis tanaman , terutama yang berhubungan dengan penyerapan air oleh akar. Tanaman yang kekurangan kalium tidak tahan terhadap kekeringan karena tidak mampu memanfaatkan sumber air yang tersedia. Pembukaan dan penutupan stomata memerlukan kalium yang menentukan kecepatan transpirasi.

3. Hubungan kalium dengan tenaga

Unsur kalium diperlukan tanaman dalam proses fotosintesis dan respirasi yang

menghasilkan ikatan fosfor energi tinggi . Jumlah CO<sub>2</sub> yang diubah menjadi gula turun drastis pada tanaman yang tidak cukup memperoleh suplai kalium.

4. Pembentukan pati

Pati katalase merupakan satu - satunya enzim yang berfungsi menggabungkan gula menjadi rangkaian panjang , yang disebut pati. Perubahan gula terlarut menjadi pati merupakan tahapan utama periode pengisian gabah.

5. Pengaruh kalium terhadap hama dan penyakit

Kalium berpengaruh pada timbulnya patogen dan penyebaran dalam tanaman melalui pengaruh pada struktur tanaman ( seperti ketebalan dinding sel, ketebalan kutikula, dan kekerasan jaringan ) , serta melalui fungsi stomata. Kalium juga mempengaruhi stabilitas tanaman untuk sembuh dari gangguan jasad pengganggu melalui perbaikan jaringan yang rusak.

6. Keseimbangan nitrogen - kalium

Nitrogen yang tinggi menurunkan ketahanan tanaman , sedangkan kalium sebaliknya. Keseimbangan antara kedua unsur lebih penting dari pada dosis absolut kedua unsur, karena kelebihan nitrogen relatif atau kekurangan kalium relatif cenderung berpengaruh sama terhadap penurunan ketahanan.

### **2.3.5. VARIETAS IR 64**

Padi varietas ini mempunyai rasa yang enak dengan produksi 5 - 8 ton/ha dan lama masa tanam kurang lebih 115 hari. Tanaman padi IR 64 tahan terhadap wereng coklat biotipe 1,2,3 , bakteri hawar, dan wereng hijau.

## 2.4. KACANG HIJAU

### 2.4.1. KLASIFIKASI

Kacang hijau merupakan salah satu tanaman semusim yang berumur pendek ( 60 hari ) . Tanaman ini disebut disebut juga mungbean, green gram, atau golden gram. Dalam dunia tumbuhan tanaman ini diklasifikasikan sebagai berikut :

Divisi	=	spermatophyta
Sub-divisi	=	Angiospermae
Kelas	=	Dicotyledoneae
Ordo	=	Rosales
Famili	=	Papilionaceae
Genus	=	Vigna
Spesies	=	<i>Phaseolus radiatus</i> atau <i>Vigna radiata</i>

### 2.4.2. MORFOLOGI

Tanaman kacang hijau berbatang tegak dengan ketinggian sangat bervariasi , antara 30 - 60 cm , tergantung varietasnya. Cabangnya menyamping pada batang utama , berbentuk bulat, dan berbulu . Warna batang dan cabangnya ada yang hijau ada yang ungu.

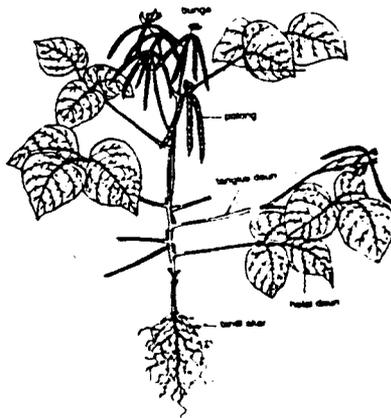
Daunnya trifoliolate ( terdiri dari tiga helai ) dan letaknya berseling . Tangkai daunnya cukup panjang , lebih panjang dari daunnya. Warna daunnya hijau muda sampai hijau tua.

Bunga kacang hijau berwarna kuning , tersusun dalam tandan , keluar pada cabang serta batang, dan dapat menyerbuk sendiri.

Polong kacang hijau berbentuk silindris dengan panjang antara 6 - 15 cm dan biasanya berbulu pendek. Sewaktu muda polong berwarna hijau dan setelah tua berwarna hitam atau coklat. Setiap polong berisi 10 - 15 biji.

Biji kacang hijau lebih kecil dibanding biji kacang - kacangan yang lain. Warna bijinya kebanyakan hijau kusam atau mengkilap, beberapa ada yang berwarna kuning, coklat, dan hitam. Tanaman kacang hijau berakar tunggang dengan akar cabang pada permukaan. Untuk lebih jelasnya maka tanaman kacang hijau dapat dilihat pada gambar

2.6. : Kacang Hijau



Gambar 2.6. : Kacang Hijau

### **2.4.3. BUDI DAYA**

#### **Syarat Tumbuh**

Kacang hijau merupakan tanaman tropis yang menghendaki suasana panas selama hidupnya. Tanaman ini dapat hidup di dataran rendah hingga ketinggian 500 m di atas permukaan laut.

Tanaman kacang hijau dapat tumbuh di daerah dengan curah hujan rendah dengan memanfaatkan sisa - sisa kelembaban pada tanah bekas tanaman yang diairi , misalnya padi. Tanaman ini tumbuh baik pada musim kemarau. Pada musim penghujan pertumbuhan vegetatifnya sangat cepat sehingga mudah rebah. Hambatan utama penanaman pada musim penghujan adalah penyakit yang menyerang daun dan polong.

Kacang hijau dapat tumbuh di segala tipe tanah yang berdrainase baik. Namun, pertumbuhan terbaiknya pada tanah lempung biasa sampai yang mempunyai bahan organik tinggi. Tanah yang mempunyai pH 5,8 paling ideal untuk pertumbuhan kacang hijau . Sedangkan tanah yang sangat asam tidak baik karena akan menghambat penyediaan makanan. Kacang hijau menghendaki tanah dengan kandungan hara ( fosfor, kalium, magnesium, dan belerang ) yang cukup. Unsur hara penting untuk meningkatkan produksinya.

#### **Pola Tanam**

Kacang hijau kebanyakan ditemui dalam pertanaman campuran . Tanaman ini memberikan hasil yang baik jika ditanam secara tumpang gilir dengan jagung dan tebu. Di beberapa tempat juga ada yang ditanam secara monokultur. Di Asia tanaman ini sangat cocok untuk rotasi tanaman setelah padi sawah. Alasan kuatnya adalah untuk memanfaatkan sisa - sisa kelembaban tanah pada bekas tanaman padi.

## **Penyiapan Lahan**

Kacang hijau banyak ditanam setelah panen padi. Penanamannya dilakukan dengan atau tanpa pengolahan tanah. Namun, untuk mengoptimalkan produksi, penggarapan tanah merupakan faktor utama, terutama untuk tanah padat. Penggarapan tanah akan membantu perkecambahan biji yang nantinya akan mempengaruhi ketepatan dan keseragaman masak.

Pengolahan tanah yang benar akan menghasilkan kelembaban tanah yang ideal. Pembajakan hanya dilakukan bila tanahnya tidak terlalu basah. Jika dilakukan pada saat tanah basah, maka struktur tanah menjadi rusak. Setelah tanah dibajak atau dicangkul, selanjutnya digaru atau dicangkul lagi untuk menghancurkan dan meratakan. Kemudian dibuat saluran - saluran untuk pengairan atau drainase.

## **Inokulasi**

Kacang hijau termasuk tanaman leguminosae yang memiliki bintil akar. Di dalam bintil akar terdapat bakteri *Rhizobium* yang dapat mengikat nitrogen dari udara. Peristiwa penambatan nitrogen ini dikenal dengan nama penambatan N secara simbiosis. Selanjutnya nitrogen tersebut digunakan oleh tanaman untuk keperluan hidupnya.

Bagi daerah yang biasa ditanami kacang hijau, dengan sendirinya tanahnya banyak mengandung bakteri *Rhizobium*. Oleh karena itu, untuk penanaman selanjutnya tidak perlu mendatangkan *Rhizobium* lagi. Untuk daerah yang belum pernah ditanami kacang hijau, perlu dilakukan inokulasi bakteri sebelum dilakukan penanaman.

Inokulasi bakteri dilakukan dengan cara benih kacang hijau diletakkan di suatu tempat, lalu disemprotkan dengan sedikit air dan diaduk. Kemudian inokulumnya disebar dan diaduk dengan biji secara merata dan setipis mungkin. Hal ini dilakukan beberapa

waktu sebelum penanaman dan dijaga jangan sampai terkena sinar matahari langsung karena dapat mematikan bakteri.

Tidak semua bintil akar efektif mengikat nitrogen. Bintil akar yang efektif umumnya membesar, berwarna agak merah muda di bagian dalamnya, dan banyak terdapat pada tudung akar serta cabang akar utama. Bintil akar yang tidak efektif berbintil kecil, berwarna agak putih dan banyak terdapat pada akar samping.

### **Penanaman**

Pada waktu penanaman, jarak tanam harus diperhatikan. Dengan jarak tanam yang tepat, sinar matahari akan dimanfaatkan secara optimum oleh kacang hijau dalam proses fotosintesis. Kacang hijau membutuhkan tanah yang cukup lembab untuk perkecambahan. Sedangkan untuk masa pertumbuhan pertama (vegetatif), hujan yang merata sangat diperlukan. Mulai saat pergantian masa vegetatif ke masa generatif hingga masaknya buah diperlukan iklim kering. Keadaan lembab yang terus menerus tidak menguntungkan karena mengurangi pembuahan (bunga rontok), mengakibatkan berkecambahnya biji dalam polong, dan mengundang serangan penyakit.

### **Pengairan**

Salah satu sifat yang menonjol dari kacang hijau dibandingkan dengan kacang tanah dan kedelai adalah sifatnya yang relatif lebih tahan terhadap kekeringan. Air berguna sebagai pembentuk protoplasma, pelarut, media pengangkut hara, media berlangsungnya reaksi metabolik, bahan baku fotosintesis, dan berpengaruh dalam fase pemanjangan serta proses pertumbuhan. Kurangnya air pada sel tanaman akan berpengaruh pada berbagai proses metabolisme, termasuk fotosintesis, sehingga dapat mengganggu produksi

karbohidrat. Bila kekurangan air berlangsung terus - menerus, akan mengakibatkan hancurnya protoplasma dan dapat mematikan tanaman.

Kacang hijau yang ditanam di sawah perlu mendapatkan pengairan apabila tidak turun hujan selama satu minggu . Pengairan ini diberikan sampai satu minggu menjelang panen. Air di masukkan melalui parit dan tidak boleh lama menggenang karena kacang hijau tidak tahan genangan air. Pada masa pertumbuhannya, pengaturan kelembaban sangat penting.

### **Pemupukan**

Tanaman kacang - kacangan biasanya tidak tanggap terhadap pupuk nitrogen ( N ) terutama apabila ditanam di tanah subur dan tidak ada bakteri bintil akar yang aktif. Hal ini disebabkan karena kacang - kacangan pada umumnya dapat mengikat N dari udara bebas dengan menggunakan bintil akar. Tetapi pengikatan N ini mulai aktif pada waktu daun pertama muncul sehingga perlu diberi pupuk N untuk digunakan selama bintil akar belum aktif mengikat N dari udara.

Tanah yang miskin fosfor dan kalium memerlukan pemupukan lengkap. Pada umumnya pemupukan tidak dilakukan pada tanaman kacang hijau yang ditanam di bekas tanaman padi karena unsur hara tercukupi dari residu pupuk yang diberikan pada tanaman padi.

#### **2.4.4. VARIETAS WALET**

Varietas ini merupakan hasil seleksi varietas introduksi dari AVRDC dengan nomor induk AV 7904-1-2B . Tinggi tanamannya 45 cm dengan warna batang dan daun hijau. Bunganya berwarna kuning dan muncul pada umur 35 hari. Polongnya yang telah

masak berwarna hitam dan bijinya berwarna hijau mengilap . Varietas ini dapat dipanen pada umur 58 hari dengan kisaran hasil 1500 - 2000 kg / ha . Varietas ini polongnya masak serempak dan tidak mudah pecah. Tanamannya tahan terhadap penyakit bercak daun , embun tepung, dan agak tahan penyakit rhizoctonia.

#### 2.4.5. FASE PERTUMBUHAN

Tabel 2.4. : Fase Pertumbuhan

( *Suprpto H.S., 1993* )

Fase dan keadaan tanaman	Waktu / hari
Biji berkecambah dan keluar dari permukaan tanah sampai fase kotiledon	4 - 5
Daun pertama ( unifoliolate leaf ) setelah daun tembaga	9 - 11
Daun bertangkai tiga ( trifoliolate leaf ) yang pertama	13
Daun bertangkai tiga kedua	16
Daun bertangkai tiga ketiga dan keempat	24
Daun bertangkai tiga kelima dan keenam	30
Daun bertangkai tiga ketujuh ( tanaman mulai berbunga )	34
Daun bertangkai tiga ke delapan dan pengembangan polong	41
Polong berwarna hijau gelap	45
Polong mulai masak	49
Panen	65

## 2.5. EKOTOKSIKOLOGI

( Sumber : Rand dan Petrocelli, 1985 )

*Toksik* berarti racun

*Toksikan*, artinya zat yang menimbulkan efek negatif pada sistem biologis, kerusakan serius pada struktur atau fungsinya, ataupun menyebabkan kematian.

*Toksisitas* adalah sifat relatif suatu zat kimia yang mengacu pada kemampuan untuk menimbulkan efek berbahaya pada makhluk hidup.

*Uji ekotoksisitas* adalah uji untuk mendapatkan hasil secara kualitatif atau kuantitatif efek suatu zat terhadap organisma.

*Toksikologi* adalah suatu studi secara kualitatif dan kuantitatif terhadap efek negatif atau efek racun dari bahan - bahan kimia dan material lain hasil kegiatan manusia atau adanya benda - benda asing pada organisma.

Guna uji ekotoksisitas adalah

1. Mengevaluasi efek negatif toksikan terhadap makhluk hidup yang sudah distandarisasi.
2. Perbandingan dengan toksikan lain.

Tiap ekosistem merupakan hasil interaksi yang kompleks antara komponen hidup dan komponen tak hidup. Unsur - unsur fisik dan kimia suatu ekosistem memiliki pengaruh yang besar terhadap aktifitas biologis serta berdampak terhadap bahan - bahan kimia serta zat atau benda asing. Kesensitifan lingkungan terhadap pencemaran zat kimia tergantung pada faktor - faktor :

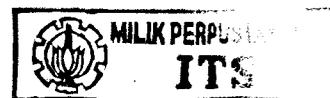
1. Unsur fisik dan kimia dari zat kimia serta hasil transformasinya.
2. Konsentrasi zat kimia yang masuk lingkungan.

3. Waktu pemaparan dan tipe input ( akut, kronik, intermiten, kontinyu )
4. Unsur - unsur ekosistem yang mampu bertahan terhadap perubahan yang timbul akibat adanya zat kimia ( contoh : kemampuan pH buffering pada air laut ) atau kemampuan kembali ke kondisi awal bila zat kimia dihilangkan dari sistem ( contoh : penggelontoran pada estuaria saat pasang naik ).
5. Lokasi ekosistem berkaitan dengan tempat pelepasan zat kimia.

Ekosistem melibatkan interaksi yang kompleks antara unsur - unsurnya ( fisik, kimia, biologis ) , karena sulit untuk mengerti respon sistem terhadap zat kimia jika hubungan antara komponen sistem diketahui dengan baik. Ekosistem yang sama belum tentu menunjukkan efek yang sama untuk penambahan bahan kimia yang sama.

Toksikan memasuki ekosistem dapat dengan sengaja atau tidak. Sumber - sumber toksikan meliputi :

1. Nonpoint source , contohnya :
  - buangan dari lahan pertanian
  - buangan pemukiman
  - hasil pengerukan sedimen
  - jatuhnya dari atmosfer
2. Point source , contohnya :
  - effluen pabrik
  - lokasi pembuangan limbah B3
  - pengolahan limbah domestik



Secara umum tidak ada zat kimia yang benar - benar aman dan tidak ada yang benar - benar berbahaya. Faktor penentu berbahaya atau tidaknya suatu zat kimia, adalah :

1. Hubungan antara konsentrasi ( kuantitas ) zat kimia dan organisma terpapar.
2. Lama pemaparan ( durasi exposure )

Faktor - faktor yang mempengaruhi konsentrasi toksikan di lingkungan adalah :

1. Sifat fisik dan kimia dari toksikan
2. Sifat fisik , kimia, dan biologis dari ekosistem
3. Sumber dan rate input zat kimia ke dalam lingkungan

Dengan mengetahui sifat fisik dan kimia dari toksikan maka dapat diestimasi bagian lingkungan yang terpapar paling banyak serta untuk mengetahui kemampuan senyawa untuk bergerak dan melewati lingkungan.

Bentuk zat kimia bila berada di air yang berpengaruh terhadap kemampuan organisma adalah :

1. Terlarut.
2. Teradsorpsi ke dalam komponen biotik / abiotik dan tersuspensi dalam badan air serta tersedimen di dasar.
3. Terakumulasi di tubuh organisma.

Zat kimia yang terakumulasi ( tidak terdegradasi dengan baik ) akan dapat mencapai tingkat toksik. Persistensi ( ketidak mampuan untuk terdegradasi ) dinyatakan dengan waktu paruh ( half-life ) . Half-life adalah waktu yang dibutuhkan untuk mereduksi konsentrasi awal menjadi setengahnya.

Zat kimia dapat diubah ke bentuk lain sebagai hasil transformasi biotik atau abiotik ( hidrolisis , oksidasi, fotolisis ). Namun kecenderungannya adalah melalui biotik transformasi ( biotransformasi ) . Secara umum biotransformasi cenderung untuk mendegradasi zat kimia menjadi zat lain yang lebih polar dan terlarut dalam air dengan tingkat toksik yang lebih rendah . Namun juga dapat dihasilkan zat yang masih toksik.

Faktor - faktor yang mempengaruhi toksisitas :

1. Faktor yang berkaitan dengan exposure.

Eksposur ialah kontak - reaksi antara organisma dan zat kimia ( toksikan )

Untuk mengetahui efek harus ada :

- kontak dan reaksi pada tempat yang tepat
- konsentrasi cukup besarnya
- waktu kontak cukup

Efek toksik dapat dihasilkan di laboratorium atau di lingkungan alami secara akut ( waktu singkat ) atau kronik ( waktu lama ) untuk satu kejadian saja atau beberapa kejadian.

2. Faktor yang berkaitan dengan organisme, meliputi : rate dan pola metabolisme dari organisme. Karena organisme yang tua dan muda maupun yang sehat atau sakit memiliki rate dan pola metabolisme yang berbeda. Secara sederhana uji toksisitas zat kimia tertentu dilaksanakan dengan organisma yang sehat. Organisma yang sehat atau sakit menunjukkan tingkat sensitifitas yang berbeda.
3. Faktor yang berkaitan dengan lingkungan meliputi DO, pH, suhu, zat padat terlarut , dan lain - lain.

4. Faktor yang berkaitan dengan zat kimia , meliputi komposisi .

Hal ini berpengaruh pada keselektifan zat bereaksi dengan sel dan jaringan tissue organisme. Karenanya zat kimia dapat dibedakan :

a . Non selektif

Zat ini mudah bereaksi dengan jaringan sel dan tissue manapun sehingga dengan memberikan konsentrasi yang sedikit saja memberi efek yang besar.

b . Selektif

Zat ini hanya bereaksi menimbulkan efek negatif pada satu tipe sel atau jaringan tissue tertentu baik pada organisma yang sama atau tidak. Efek selektif itu adalah akibat adanya keseragaman dan variasi respon oleh sel dan jaringan tissue terhadap zat kimia. Mekanisme yang menghasilkan efek selektif adalah :

- Mekanisme yang melibatkan ada tidaknya target spesifik atau lokasi penerima pada sistem sel yang terekspos.
- Mekanisme yang melibatkan faktor yang bertanggung jawab terhadap distribusi dan pemilihan konsentrasi zat kimia pada sel tertentu .

### 2.5.1. EFEK

Efek toksik yang terjadi akibat pemaparan toksikan pada organisma meliputi :

1. Efek akut

Efek akut adalah efek yang terjadi dengan cepat, sebagai hasil dari pemaparan toksikan jangka pendek. Ukuran yang paling umum digunakan adalah lethalitas atau mortalitas. Suatu toksikan dikatakan sangat beracun apabila dengan pemakaian secara langsung dapat mengakibatkan kematian sebesar 50 % atau lebih

populasi dalam organisma uji dalam jangka waktu pemaparan relatif singkat yaitu antara 96 jam sampai 14 hari.

2. Efek kronis

Efek kronis terjadi sebagai akibat pemaparan tunggal atau jangka panjang yang berulang - ulang dari suatu toksikan yang menghasilkan efek yang mengganggu . Efek kronis dapat bersifat lethal maupun sub lethal . Efek lethal merupakan kegagalan dari suatu organisma untuk menghasilkan keturunan yang dapat terus hidup. Efek sub lethal yang paling umum adalah terjadinya perubahan tingkah laku, perubahan psikologi, perubahan biokimia, perubahan histologi dll. Beberapa efek sub lethal secara tidak langsung dapat mengakibatkan kematian, tetapi beberapa efek sub lethal yang lain hanya berakibat sangat kecil atau bahkan tidak sama sekali, hal ini dapat terjadi karena adanya kemampuan dari organisme untuk dengan cepat kembali ke keadaan semula seiring dengan berjalannya waktu.

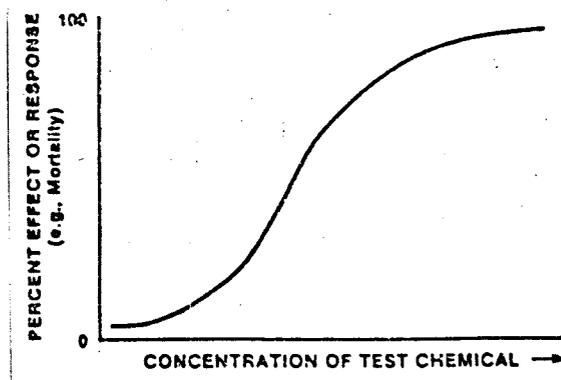
Efek toksik dapat bersifat reversible dan irreversible . Reversibilitas atau irreversibilitas dari efek suatu toksikan dapat diketahui dari perpindahan organisme dari suatu media yang beracun ke media lain yang bebas racun.

Untuk memperkirakan efek kimia yang terjadi, perlu dipertimbangkan bahwa di dalam lingkungannya , organisme tidak hanya dipapari oleh satu macam toksikan tetapi banyak sekali substansi yang menjadi suatu campuran. Pemaparan yang terjadi dalam campuran tersebut akan menimbulkan interaksi toxicological.

Pada umumnya jumlah bahan kimia yang masuk ke dalam suatu organisme tidak dapat diukur. Dalam hal ini respons hasil observasi lebih tepat berhubungan dengan konsentrasi, sehingga di dapatkan hubungan konsentrasi - respons.

Konsentrasi dalam tes kimiawi di dalam air dinyatakan dalam satuan part per milion ( ppm ) atau unit tes kimiawi. Jika organisme diuji dalam tes larutan effluen limbah cair industri, konsentrasi effluen dalam air umumnya dinyatakan dalam persen volume.

Hubungan konsentrasi respons adalah suatu hubungan pengaruh yang bertingkat antara konsentrasi dari tes bahan kimia terhadap organisme yang menghasilkan respons bermacam - macam . Pada Gambar 2.7. : Kurva Konsentrasi - Respons , menunjukkan suatu hubungan yang pada umumnya asymptotic.



Gambar 2.7. : Kurva Konsentrasi - Respons  
( Rand dan Petrocelli, 1985 )

Pada kondisi di bawah nilai batas minimum, tidak menghasilkan respons merugikan yang terukur, sedangkan pada semua konsentrasi di atas nilai batas maksimum, sebagian besar atau semua kelompok tes ( respons yang dihasilkan ) adalah merugikan. Pada kurva yang curam menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi dapat menyebabkan perubahan respons yang tinggi. Dan perubahan ini terjadi pada range konsentrasi yang sempit. Untuk mendapatkan hasil yang lebih valid , maka jangka waktu pemaparan juga harus ditentukan.

#### **2.5.2.1. Kriteria Untuk Efek - Efek dan LC-50**

Dalam mengevaluasi substansi kimia yang aman , perlu untuk mendapatkan arti yang tepat untuk menyatakan toksisitas dan metode kuantitatif dalam menghitungnya.

Terdapat variasi kriteria untuk efek - efek atau nilai toksisitas yang dapat digunakan untuk membandingkan antara organisme yang terpapar secara kimiawi dengan organisme yang tidak terpapar. Sebagai alternatif dapat dipilih suatu toksisitas yang pasti, relevan, dapat diobservasi dengan cepat, dapat digambarkan, dapat diukur, penting secara biologis dan dapat direproduksi. Untuk pengukuran tes dalam evaluasi toksikologi , umumnya digunakan lethalitas dan mortalitas sebagai indeks.

Pada gambar 2.8. , titik - titik ordinat menunjukkan proses mortalitas, sedangkan absis menunjukkan konsentrasi bahan kimia. Grafik menggambarkan hasil tes dalam suatu kelompok tes organisma dalam spesies yang sama yang mengalami pemaparan dengan konsentrasi kimiawi yang bervariasi untuk jangka waktu tertentu.

Pada gambar 2.8.a, rata - rata prosen mortalitas untuk masing - masing kelompok uji di plot dalam kertas grafik biasa ( menggunakan skala aritmatik ) yang dihubungkan dengan konsentrasi yang dapat menyebabkan mortalitas.

Variabilitas terkecil pada kurva adalah pada 50 % tingkat respon. Di mana 50 % individu ( median ) bereaksi setelah jangka waktu tertentu yaitu 24 jam atau 48 jam.

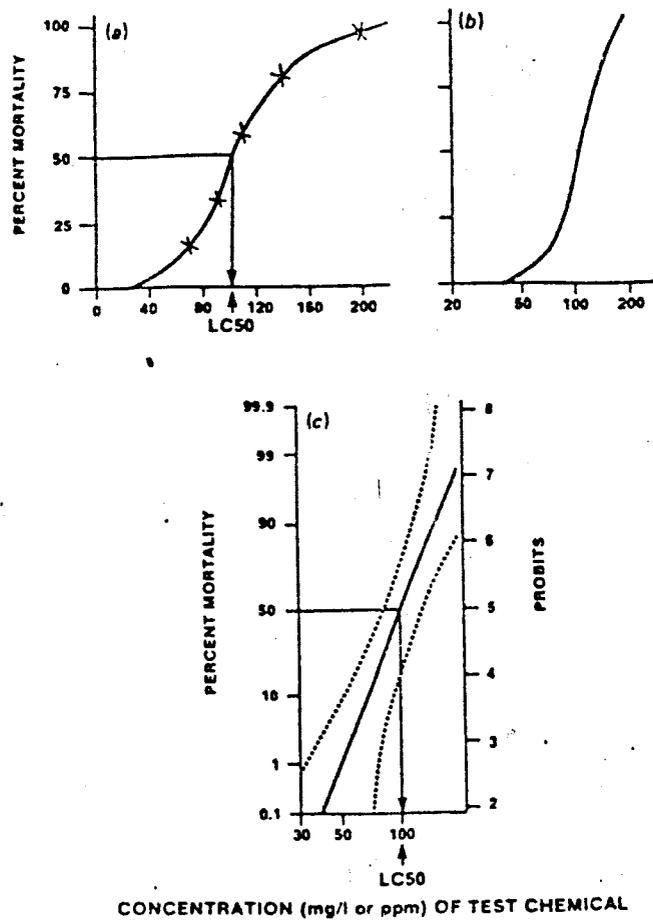
✕ LC-50 adalah konsentrasi yang terestimasi untuk mendapatkan mortalitas pada 50 % populasi setelah jangka waktu tertentu.

↘ Efek lain selain perhitungan mortalitas adalah dengan menggunakan median effective concentration ( EC-50 ) . EC-50 adalah konsentrasi bahan kimia yang terestimasi untuk menghasilkan efek khusus, misalnya fisiologis dan perilaku , pada 50 % populasi spesies yang diuji dalam waktu pemaparan tertentu.

LC-50 dapat diinterpolasi dari kurva pada figur 2.8.a , dengan menggambar garis horisontal mulai dari titik ordinat 50 % mortalitas menuju kurva konsentrasi - respons, dan kemudian dilanjutkan dengan menggambar garis vertikal mulai dari titik potong / pertemuan kurva menuju absis. Titik potong antara garis vertikal dengan absis menunjukkan nilai LC-50.

Gambar 2.8.b. merupakan suatu penggambaran data - data dalam gambar 2.8.a , tetapi konsentrasi digambarkan dalam suatu skala logaritmik . Bentuk sigmoid tetap kelihatan, tetapi bentuk kurva mendekati suatu garis lurus.

Gambar 2.8.c. menggambarkan perubahan ke bentuk yang lain dari data - data yang sama, dengan menggunakan logaritma dilakukan plot antara konsentrasi dengan prosen mortalitas.



Gambar 2.8.a. : Prosen Mortalitas Versus Konsentrasi skala aritmatik

Gambar 2.8.b. : Prosen mortalitas skala aritmatik Versus Konsentrasi Skala Logaritmik

Gambar 2.8.c. : Prosen mortalitas skala probits Versus Konsentrasi Skala logaritmik

( Rand dan Petrocelli, 1985 )

#### 2.5.2.2. *Confidence Limits*

Nilai hasil observasi yang tersebar dapat dievaluasi dengan perhitungan dan dinyatakan sebagai confidence limits . Confidence limits ditunjukkan oleh garis putus - putus di kedua sisi garis penuh. Batas tersebut menunjukkan daerah dari range dalam garis konsentrasi - respons yang akan diharapkan berubah dalam replica test melalui 19 dari 20 sampel ( 95% confidence limits ) diambil secara acak dari populasi uji pada kondisi yang sama.

Kurva - kurva tersebut dapat mempunyai korelasi yang baik pada 50% tingkat mortalitas, tetapi pada tingkat mortalitas yang mendekati 0% atau mendekati 100% korelasinya tidak baik. Hal ini menunjukkan bahwa LC-50 dapat diestimasi dengan lebih tepat bila dibandingkan dengan efek - efek yang lebih besar maupun yang lebih kecil.

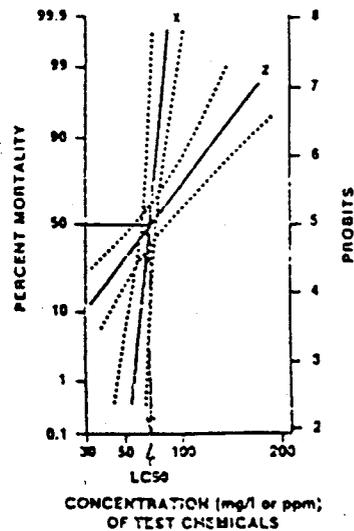
#### 2.5.2.3. *Slope*

Gambar 2.9. , menggambarkan kurva konsentrasi - respons ( pada skala logprobit ) untuk dua bahan kimia, yaitu x dan z. Nilai LC-50 untuk bahan - bahan kimia itu adalah sama, tetapi slope dari kurva konsentrasi - mortalitas adalah berbeda.

Slope yang datar pada garis z menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi bahan kimia yang relatif besar, akan mengakibatkan penambahan mortalitas yang sedikit. Sebaliknya , slope yang curam pada garis x menunjukkan bahwa penambahan mortalitas yang besar disebabkan oleh kenaikan konsentrasi bahan kimia yang relatif sedikit.

nilai slope merupakan suatu indeks yang menunjukkan sensitivitas organisme terhadap bahan kimia. Slope yang datar , seperti pada bahan kimia z , juga dapat

menunjukkan absorpsi yang lambat, pengeluaran yang cepat atau toksisitas lambat. Slope yang curam seperti gambar x biasanya menunjukkan absorpsi yang cepat dan efek permulaan yang cepat.



Gambar 2.9 : Kurva Konsentrasi - Respons Untuk Dua Bahan Kimia

( Rand dan Petrocelli, 1985 )

#### 2.5.2.4 . Kurva Toksisitas

Jika tes toksisitas seperti 96 jam LC-50 dilaksanakan akan dihasilkan data mortalitas untuk periode waktu lanjutan yang bervariasi. LC-50 dalam periode - periode waktu tersebut dapat digunakan selama percobaan untuk menggambarkan atau membuat kurva toksisitas, dengan menggunakan skala logaritmik untuk konsentrasi dan waktu pemaparan.

LC-50 pada waktu pemaparan tertentu yang berada pada asymptot dalam kurva disebut ambang atau incipient LC-50 . Ini adalah konsentrasi di mana 50 % populasi uji dapat hidup untuk waktu yang tidak dapat ditentukan atau konsentrasi lethal dari 50 % organisme uji adalah dalam pemaparan jangka panjang.

### **2.5.3. TES TOKSISITAS**

✓ Tes toksisitas digunakan untuk mengevaluasi besarnya konsentrasi zat dan durasi expose yang dapat menimbulkan efek toksik.

✕ Seringkali tes toksisitas disamakan dengan bioassay . Definisi bioassay adalah tes untuk mengevaluasi potensi relatif dari suatu zat , yaitu membandingkan dosis tertentu dari zat tersebut dengan efek yang ditimbulkannya terhadap organisme. (Bioassay dilakukan untuk mengetahui kemampuan zat tersebut menghasilkan tingkat respon tertentu dari organisme, bukan untuk memperkirakan konsentrasi zat yang dapat menimbulkan efek toksik bagi organisma. Dengan demikian terdapat perbedaan antara bioassay dengan tes toksisitas. Bioassay seringkali digunakan pada industri farmasi.

#### **2.5.3.1. Kriteria dan Pendekatan Tes Toksisitas**

Kriteria untuk menentukan prosedur tes toksisitas yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

1. Tes harus dapat diterima secara luas
2. Tes harus mampu memprediksi efek dari berbagai zat dengan organisme yang berbeda.

3. Prosedur tes harus memiliki dasar secara statistik dan harus dapat diulang pada laboratorium yang berbeda dengan hasil yang relatif sama.
4. Data harus meliputi efek dari suatu range konsentrasi tertentu dengan durasi expose tertentu , dan juga harus dapat dilakukan interpolasi secara grafis, analisa statistik dan evaluasi kuantitatif lain.
5. Data harus dapat digunakan untuk memperkirakan dampak.
6. Tes harus mudah dilakukan dan ekonomis
7. Tes harus sensitif dan realistis dalam desain.

Ada dua macam pendekatan yang dapat digunakan dalam melakukan tes yaitu :

1. Efek dipelajari dalam laboratorium dengan kondisi terkontrol dan variabel tertentu.
2. Efek dipelajari dalam ekosistem alami.

Metode tes yang umum digunakan adalah single-spesies test , multi-spesies test dan ekosistem test. Single spesies tes dilakukan di laboratorium dengan organisma uji yang mewakili kelasnya. Kekurangan dari metode ini adalah :

- ◆ tingkat efek yang terjadi di laboratorium mungkin berbeda dengan di lapangan.
- ◆ tidak dapat mengukur tingkat adaptasi dari organisma uji secara alami
- ◆ tidak dapat mensimulasi interaksi yang kompleks antar spesies dan pengaruh lingkungan pada sistem di alam.

Multi spesies tes dan ekosistem tes dilakukan di laboratorium mikrokosmos atau model ekosistem . Keuntungan dari tes ini adalah efek dapat lebih teridentifikasi dibandingkan single-spesies test , karena informasi berhubungan langsung dengan pengaruh secara ekologis akibat adanya toksikan.

Single-spesies, multi-spesies, dan ekosistem tes dapat dilakukan di ekosistem alami dengan hasil yang mendekati kenyataan . Kekurangannya adalah adanya variabel pada alam yang tidak stabil sehingga sulit memonitor tes di lapangan.

#### **2.5.3.2. *Desain Secara Umum***

Tes toksisitas di laboratorium umumnya dimulai dengan tes yang sederhana dalam jangka waktu yang pendek, kemudian dilanjutkan dengan tes yang lebih kompleks dalam jangka waktu panjang berdasarkan tes yang sebelumnya.

Organisme uji dipapari oleh toksikan dengan konsentrasi yang bervariasi pada setiap chamber. Kriteria untuk efek misalnya kematian, pertumbuhan, reproduksi dll telah ditentukan sebelumnya, kemudian dievaluasi dengan membandingkan organisme terpapar dengan organisme kontrol. Semua tes toksisitas harus menggunakan kontrol, untuk menjamin efek yang terjadi adalah akibat dari toksikan.

#### **2.5.3.3. *Organisme Uji***

Kriteria untuk menyeleksi organisme untuk tes toksisitas adalah :

1. Spesies memiliki range sensitivitas yang luas
2. Spesies mudah di dapat
3. Bila memungkinkan, spesies diteliti pada ekosistem seperti asalnya.
4. Spesies yang penting secara ekologis atau komersial perlu dipertimbangkan
5. Spesies dapat ditangani di laboratorium dan tersedia teknis untuk memeliharanya, sehingga tes toksisitas kronik dapat dilakukan.

6. Bila tersedia informasi tentang latar belakang spesies tersebut, data - data dari tes akan lebih mudah untuk dianalisa.

#### **2.5.3.4. Sistem Expose**

Ada beberapa sistem expose dalam tes toksisitas yaitu :

1. Statik test

Toksikan ditambahkan sampai mencapai konsentrasi yang diinginkan. Tidak ada pengaliran air dan penambahan apapun selama tes dilakukan.

2. Resirkulasi test

Hampir sama dengan statik test tetapi air dialirkan melalui filter untuk mempertahankan kualitas air tetapi tidak mengurangi konsentrasi toksikan.

3. Renewal test

Seperti statik test tetapi secara periodik dilakukan pergantian air.

4. Flow through test

Air dialirkan secara kontinyu atau intermiten .

Umumnya metoda yang sering digunakan adalah statik tes dan flow through test. Namun statik tes memiliki beberapa kekurangan yaitu :

- ◆ Toksikan dapat mengalami degradasi, penguapan, adsorpsi, atau perubahan lain. Dengan demikian konsentrasi toksikan juga akan berubah.
- ◆ Toksikan kemungkinan memiliki BOD tinggi, sehingga dapat terjadi penurunan dissolved oxygen pada air.
- ◆ Hasil metabolisme atau buangan dari organisma dapat bereaksi dengan toksikan, sehingga dapat menghasilkan respon yang berbeda dari yang seharusnya.

### **2.5.3.5. Standarisasi Prosedure**

Keuntungan dari standarisasi prosedur tes adalah :

1. Seleksi dari satu atau lebih tes yang seragam dan bermanfaat oleh laboratorium yang berbeda.
2. Alat perbandingan data dan hasil serta peningkatan kegunaan dari data yang dipublikasikan.
3. Peningkatan akurasi dari sebuah data
4. Peniruan tes
5. Tes lebih mudah dilakukan oleh bermacam - macam personal ( bila prosedur didokumentasikan dengan baik).
6. Keuntungan legal bila prosedur diterima oleh hukum.
7. Berguna untuk maksud pengawasan rutin.

Standarisasi dapat dicapai dengan :

1. Mengambil detail metode standarisasi yang diminimisasi dari efek - efek pengganggu.
2. Menggunakan jenis tes standard
3. Seleksi dari tipe - tipe test yang spesifik didisain untuk tujuan yang spesifik
4. Menggunakan referensi zat beracun atau sertifikat bebas penyakit hewan tes.

Standarisasi metode tes toksisitas tipikal adalah pemaparan organisma tes dengan konsentrasi kandungan bahan kimia tertentu pada periode waktu yang ditetapkan. Bahan

kimia ditambahkan pada lingkungan dengan konsentrasi konstan . Waktu penambahan bisa kontinyu , intermiten atau hanya sekali.

#### **2.5.3.6. Deskripsi Metode Tes**

Metode tes toksisitas dapat dikategorikan dalam lama paparan, situasi tes, kriteria efek untuk dievaluasi, dan organisme tes. Data yang diperoleh pada tes tersebut memungkinkan periset untuk menentukan NOEC ( no observed effect concentration ) konsentrasi maksimal dari material tes secara statistik significant tidak menimbulkan efek yang berbahaya bagi organisme tes dibandingkan dengan kontrol pada tes yang spesifik.

LOEC ( the lowest observed effect concentration ) atau MTC ( minimum threshold concentration ) adalah konsentrasi terendah yang secara statistik significant memberi efek merusak pada organisme tes dibandingkan dengan kontrol pada tes yang spesifik .

#### **2.5.3.7. Tes Toksisitas Akut**

Tes yang didisain untuk mengevaluasi toksisitas relatif dari bahan kimia pada organisme terseleksi untuk jangka waktu paparan yang pendek dengan konsentrasi bahan kimia yang bervariasi.

Kriteria efek untuk ikan adalah kematian , untuk invertebrata adalah kemampuan berpindah atau kehilangan keseimbangan, serta pada alga adalah pertumbuhan.

Tes tersebut sebelumnya telah ditetapkan jangka waktunya , 24 jam atau 96 jam LC-50 atau 48 jam EC-50 ( time dependent test ) atau dapat juga tidak ditetapkan sebelumnya ( time independent test = TI ) . Pada tes TI , paparan pada organisme tes

terus berlangsung sampai pengaruh racun tampak. Kurva toksisitas memberi indikasi bahwa konsentrasi ambang dapat diestimasi.

#### **2.5.3.8. Tes Toksisitas Kronik**

Kenyataan bahwa bahan kimia tidak mempunyai efek merugikan organisma pada tes toksisitas akut tidak memberi indikasi bahwa bahan kimia tersebut tidak beracun pada organisma tersebut. Tes toksisitas kronik mengevaluasi efek merugikan yang mungkin dari bahan kimia pada pemaparan jangka panjang dengan konsentrasi sub lethal. Pada tes ini organisma tes dipapari sepanjang siklus reproduksi kehidupan atau dapat juga pada sebagian siklus hidup yaitu pada tahap kehidupan yang sensitif.

Data yang diperoleh dari sebagian siklus hidup atau seluruh siklus hidup dapat digunakan untuk mengestimasi MATC ( maximum acceptable toxic concentration ) , yaitu estimasi konsentrasi ambang dari bahan kimia yang dibatasi oleh NOEC ( konsentrasi tertinggi yang tidak merusak ) dan LOEC ( konsentrasi terendah yang berefek merusak ) dengan kata lain  $NOEC < MATC < LOEC$  .

Tes siklus hidup juga digunakan untuk menentukan faktor aplikasi ( AFs ) ; di mana  $AFs = MATC / LC-50$  . Aplikasi faktor dimaksudkan untuk memberikan estimasi hubungan antara tes material kronik dan toksisitas akut yang dapat diterapkan pada organisma uji.

## **B A B III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. TAHAPAN PENELITIAN**

Tahapan penelitian merupakan acuan dalam pelaksanaan aktivitas penelitian yang penyusunannya didasarkan pada pemikiran akan adanya masalah dalam ide studi dan langkah - langkah yang ditempuh untuk mencapai tujuan penelitian. Dengan adanya tahapan penelitian maka aktivitas penelitian akan berjalan lebih sistematis, terarah , dan dapat mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan dalam pelaksanaan penelitian.

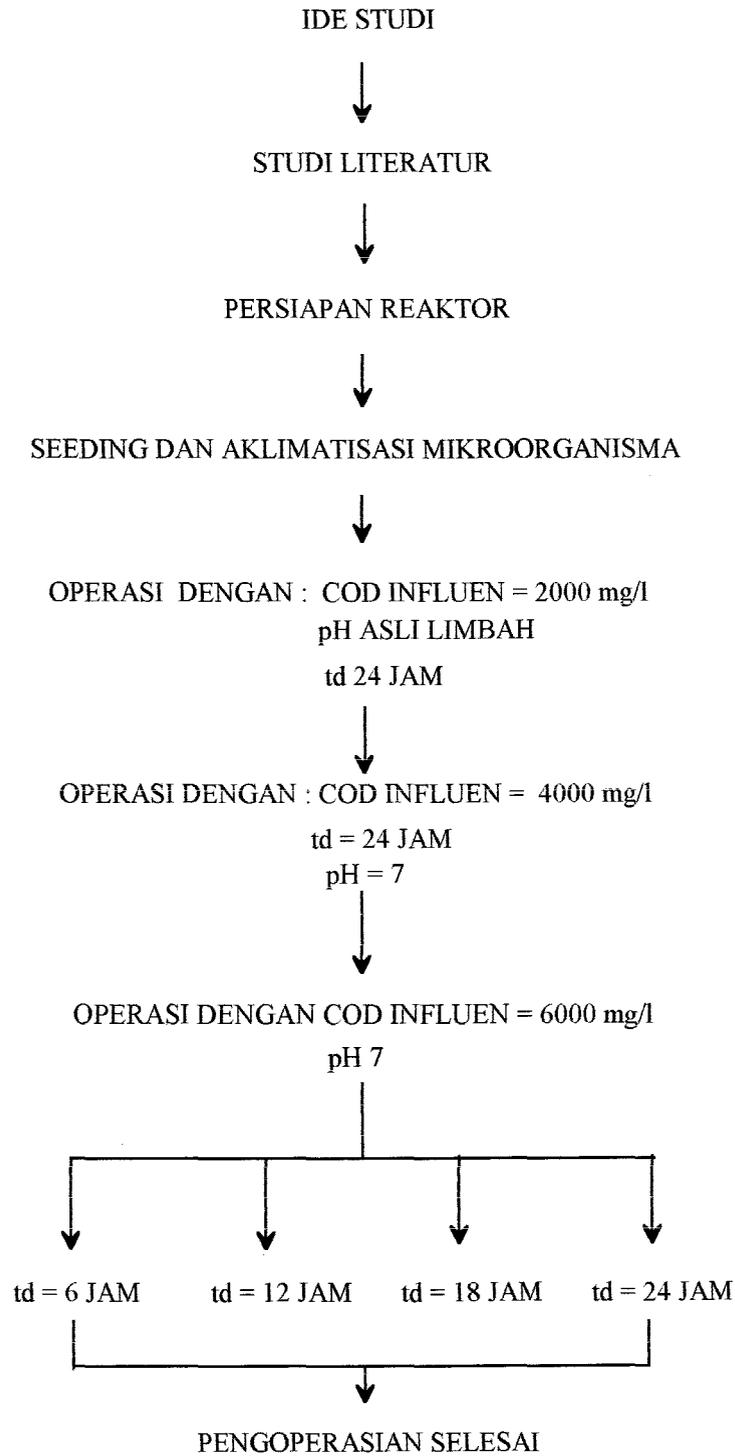
Penelitian dalam tugas akhir ini terbagi dalam dua rangkaian tahapan penelitian yaitu tahapan penelitian untuk mengetahui kemampuan removal COD reaktor AHBR dan tahapan penelitian untuk uji ekotoksisitas. Untuk mengetahui gambaran secara utuh dari tahapan penelitian maka dapat dilihat pada gambar 3.1. : Diagram Alir Tahapan Penelitian. Sedangkan untuk tahapan penelitian bagi reaktor AHBR dapat dilihat pada gambar 3.2. : Diagram Alir Pengoperasian reaktor AHBR ; dan untuk uji ekotoksisitas dapat dilihat pada gambar 3.3. : Diagram Alir Uji Ekotoksisitas.

Penyusunan tahapan penelitian secara utuh dimaksudkan untuk memberi pengertian bahwa kedua tahapan penelitian berjalan beriringan dan memiliki bobot yang sama. Sedangkan uraian yang lebih terinci dapat dilihat pada diagram alir masing - masing tahapan.

Gambar 3.1. : Diagram Alir Tahapan Penelitian

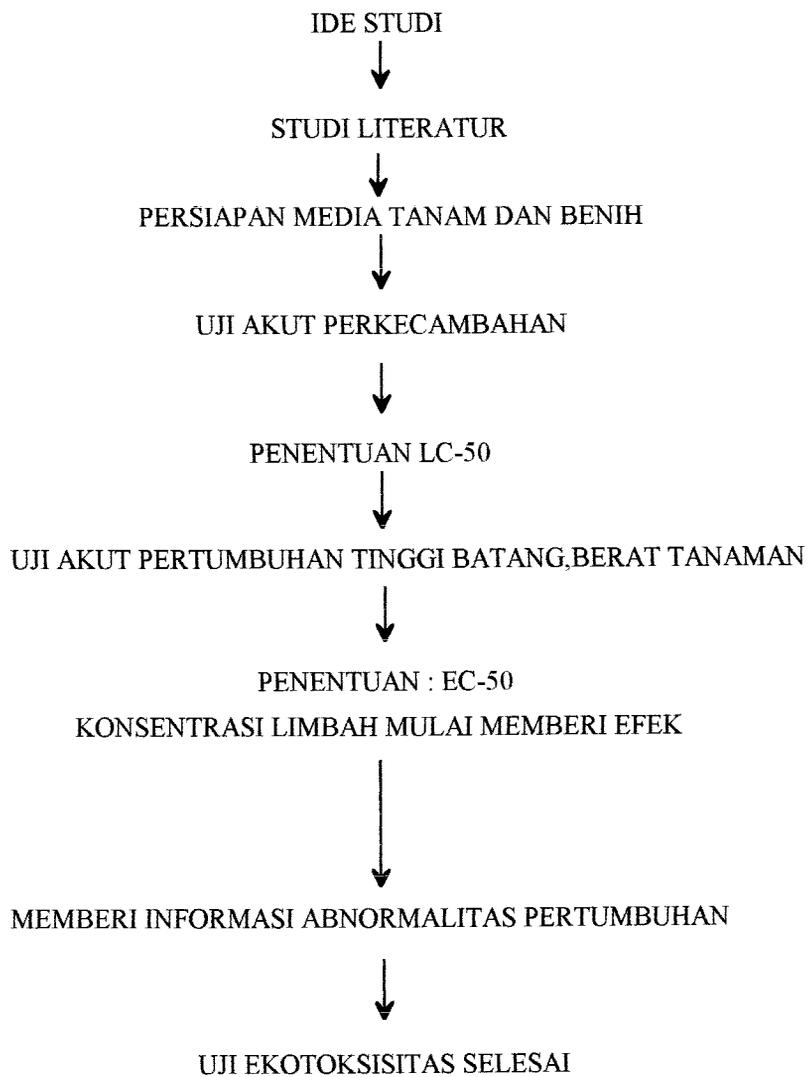


GAMBAR 3.2. : DIAGRAM ALIR PENGOPERASIAN AHBR



GAMBAR 3.3. : DIAGRAM ALIR Uji Ekotoksistas

✕



### **3.2. MATERIAL PENELITIAN**

#### **3.2.1. SAMPEL LIMBAH**

Pada penelitian ini digunakan sampel limbah tempe dari home industri tempe di jalan Petemon IV Surabaya. Limbah yang digunakan adalah limbah campuran antara air pencucian dan air rebusan kedelai. Perbandingan volume antara air pencuci dan air rebusan adalah enam banding satu.

#### **3.2.2. MODEL INSTALASI AHBR**

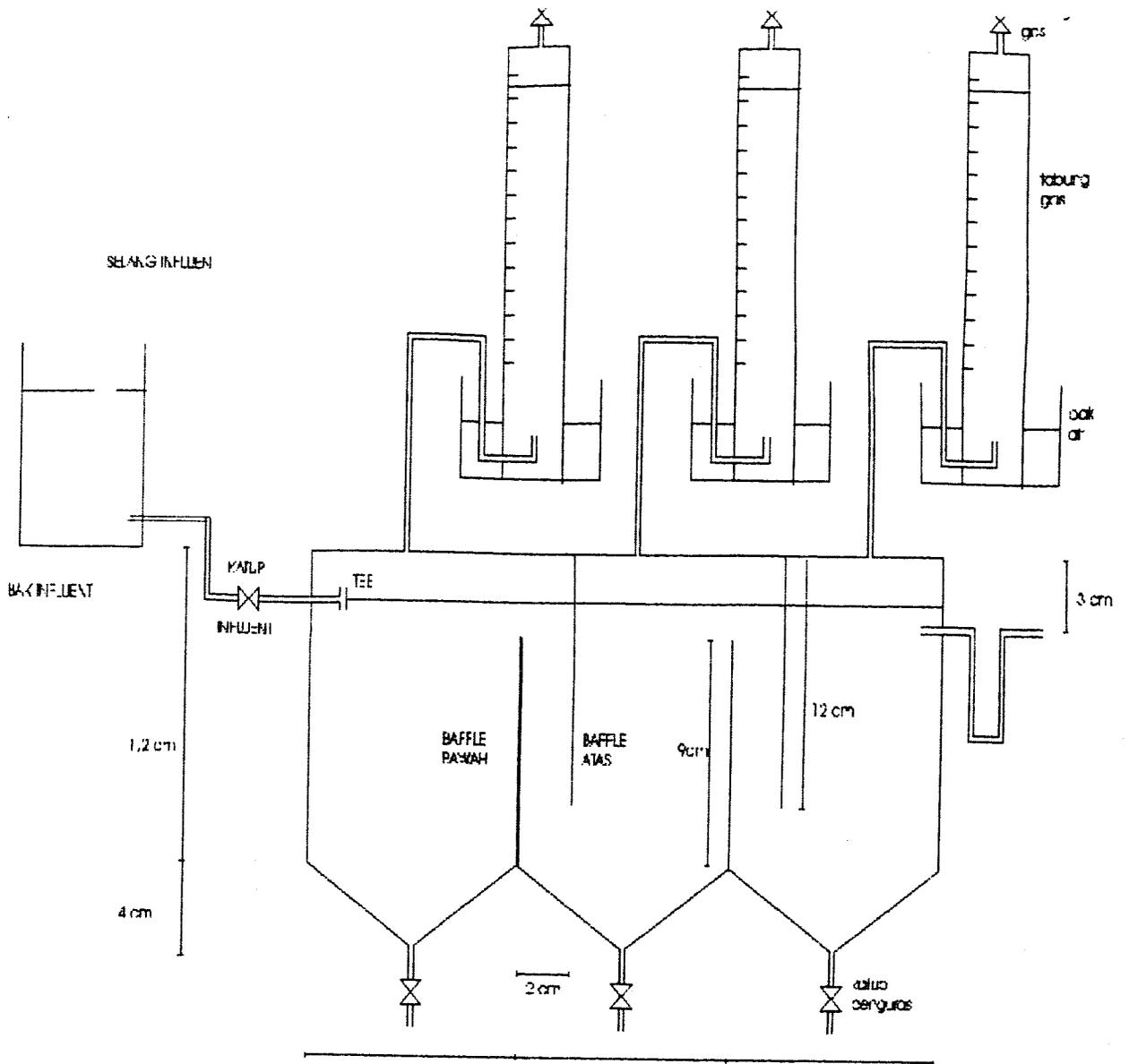
Model instalasi AHBR terdiri dari tiga bagian yaitu :

1. Bak influen.

Bak influen dihubungkan ke reaktor dengan selang influent dilengkapi katup influen untuk mengatur debit aliran .

2. Reaktor.

Reaktor AHBR yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua unit reaktor dimana untuk masing - masing unit terbagi dalam tiga kompartemen berukuran sama yang dipisahkan oleh sistem baffle yang berupa dinding penyekat dari arah atap dan dasar reaktor. Pada masing - masing kompartemen terdapat ruang lumpur dengan selang pengurasnya yang dilengkapi katup penguras dan selang gas pada bagian atapnya yang akan dihubungkan dengan tabung penangkap gas. Efluen dari reaktor dialirkan ke bak efluen dengan selang efluen yang dilengkapi dengan selang berbentuk huruf U yang berfungsi sebagai syphon ( perangkat biogas ) agar udara luar tidak masuk ke dalam reaktor. Bahan untuk pembuatan reaktor berasal dari



### 3.2.3. BIBIT TANAMAN UJI EKOTOKSISITAS

Bibit tanaman uji adalah dari varietas unggulan yang saat ini banyak ditanam. Untuk tanaman padi (*Oryza sativa*) digunakan varietas IR 64 sedangkan untuk kacang hijau (*Phaseolus radiatus*) digunakan varietas Walet. Sebelum digunakan benih diuji kualitasnya; benih yang baik adalah yang berukuran besar, seragam, dan tenggelam bila dimasukkan dalam air.

### 3.2.4. MEDIA TANAM

Media tanam yang digunakan untuk uji ekotoksisitas disesuaikan dengan kebutuhan tanaman uji. Pada penelitian ini digunakan tanah yang sesuai untuk tanaman uji *Oryza sativa* karena tanaman tersebut merupakan tanaman pertanian utama sedangkan *Phaseolus radiatus* merupakan tanaman rotasi yang memanfaatkan sisa - sisa kelembaban tanah bekas tanaman padi. Perbandingan media tanam yang digunakan adalah tanah : pupuk = 2 : 1 dimana tanah yang digunakan banyak mengandung tanah liat. Pupuk yang digunakan adalah pupuk organik dengan komposisi :

$$N = 1,50 \%$$

$$P = 1,82 \%$$

$$K = 0,85 \%$$

Media tanam untuk tanaman uji padi ditempatkan pada pot tanah liat dengan memberi lubang kecil pada bagian dasarnya untuk mencegah air mengalir keluar dari media dengan deras karena tanaman padi membutuhkan air yang menggenang. Lubang juga diberikan pada bagian tengah pot untuk mengganti air yang menggenang dengan air yang baru (sesuai dengan sistem pengairan sawah) dengan cara membuka dan menutup lubang

pada pot dengan tanah liat. Sedangkan untuk tanaman kacang hijau media tanam ditempatkan pada polybag.

### 3.3. PROSEDUR PELAKSANAAN OPERASI AHBR



#### 3.3.1. SISTEM PENGOPERASIAN

Sistem pengoperasian reaktor meliputi tiga tahap pengoperasian yaitu seeding dan aklimatisasi, pengoperasian reaktor dengan variasi pH untuk memperoleh pH optimum serta dilanjutkan dengan pengoperasian reaktor dengan variasi beban organik volumetrik.

##### 3.3.1.1. Seeding dan Aklimatisasi

Sebelum reaktor siap dioperasikan perlu dilakukan beberapa persiapan yaitu meliputi :

##### 1. Seeding mikroorganisma.

Pada proses pengolahan biologis diperlukan kehadiran mikroorganisma yang sesuai untuk dapat menurunkan kandungan organik dalam hal ini COD dengan baik. Pada penelitian ini yang merupakan sumber mikroorganisma adalah lumpur yang diambil dari reaktor anaerobik pengolah limbah tahu. Dasar pertimbangannya adalah limbah tahu dan limbah tempe keduanya menggunakan kedelai sebagai bahan baku utama produksinya sehingga limbah yang dihasilkan akan memiliki karakteristik yang hampir sama meskipun ada beberapa perbedaan yang terjadi pada proses produksinya baik yang menyangkut bahan tambahan yang digunakan ataupun

tahapan - tahapan dalam proses produksinya. Kegiatan seeding dilakukan di dalam reaktor dengan penambahan lumpur dalam jumlah yang sama dan mengalirkan limbah secara kontinyu dengan beban kecil serta melakukan pengamatan pada produksi gas. Bila produksi gas relatif stabil maka dilakukan tahapan aklimatisasi limbah.

## 2. Aklimatisasi

Pada tahap ini dilakukan pembebanan secara bertahap sampai dicapai beban COD 2000 mg/l dengan pH asli limbah dan waktu tinggal 24 jam. Efisiensi removal yang diinginkan pada kondisi " steady " mencapai lebih dari 60 %. Yang dimaksud dengan kondisi " steady " adalah kondisi dimana nilai COD efluen telah relatif konstan (penyimpangan tidak lebih dari 10 %).

### 3.3.1.2. Pengoperasian Reaktor dengan Variasi Beban Organik Volumetrik

Pada tahap ini reaktor telah siap dioperasikan pada beban 4000 dan 6000 mg/l COD atau beban asli limbah. Variasi beban organik volumetrik dilakukan dengan cara melakukan running pada konsentrasi COD yang sama, tetapi dengan waktu tinggal (HRT) yang bervariasi. Waktu tinggal yang dipilih adalah 24 jam, 18 jam, 12 jam, dan 6 jam. Pengoperasian dilakukan pada pH optimum. Efisiensi removal yang diinginkan pada kondisi steady adalah lebih dari 60% . Bila angka ini tidak tercapai maka running dihentikan.

### 3.3.2. TATA KERJA

Tata kerja untuk pengoperasian reaktor adalah sebagai berikut :

#### 1. Pengaturan konsentrasi COD influen

Konsentrasi COD limbah asli berfluktuasi dan perlu dilakukan pengenceran untuk memperoleh nilai konsentrasi COD influen yang sesuai dengan tahapan operasi.

Pengenceran dilakukan dengan cara menambahkan air pada limbah asli. Formula yang dipakai adalah :

$$V_1 \times C_1 = V_2 \times C_2$$

dimana  $V_1$  = Volume sampel ( lt )

$V_2$  = Volume pengenceran ( lt )

$C_1$  = Konsentrasi awal sampel ( mg/lt )

$C_2$  = Konsentrasi yang diinginkan ( mg/lt )

#### 2. Pengontrolan pH influen limbah

pH adalah suatu besaran yang menyatakan sifat asam dan basa dari suatu larutan

atau suspensi. Bila diinginkan nilai pH yang lebih tinggi dari pH asli limbah ( sesuai dengan tahapan operasi ) maka dilakukan penambahan larutan NaOH. Pengukuran nilai pH dilakukan dengan alat pH meter.

3. Pengaturan debit

Untuk mendapatkan variasi beban organik volumetrik yang diinginkan maka dilakukan pengontrolan terhadap waktu tinggal hidrolik dengan cara mempertahankan debit influen limbah pada nilai tertentu. Formula yang dipakai adalah :

$$\text{Organik Loading} = \frac{\text{COD influen}}{td}$$

$$Q \text{ influen} = \frac{\text{Volume reaktor}}{td}$$

Hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran 1 .

4. Pengamatan produksi gas disertai uji nyala dan pH effluen sebagai kontrol proses.
5. Melakukan analisa pada konsentrasi COD effluen .
6. Mengulang langkah 1 sampai 5 hingga tercapai kondisi steady.
7. Memplot data yang diperoleh dalam bentuk tabel dan grafik.

### 3.3.3. METODE ANALISA PARAMETER UJI

Chemical Oxygen Demand ( COD ) adalah jumlah oksigen ( mg O<sub>2</sub> ) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat - zat organis yang ada dalam 1 lt sampel air, dimana pengoksidasi K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> digunakan sebagai sumber oksigen. Metode analisa selengkapnya dapat dilihat pada standard methods for the Examination of Water and Wastewater.

### 3.4. PROSEDUR PELAKSANAAN UJI EKOTOKSISITAS

#### 3.4.1. TATA KERJA

##### 1. Persiapan media tanam

###### *Oryza sativa*

1 kg campuran tanah dan pupuk organik dimasukkan dalam pot kemudian ditambahkan air dan dilumpurkan. Tanah bagian tengah dibuat lebih tinggi dari pada bagian tepi yang akan berfungsi sebagai saluran penampung air (pada tahap pembenihan diinginkan air diserap oleh bibit secara imbibisi dari saluran penampung air bagian tepi pot ke media tanam bagian tengah pot agar bibit tidak membusuk akibat adanya air yang menggenang) .

###### *Phaseolus radiatus*

1,5 kg campuran tanah dan pupuk organik dicampur sampai merata dan gembur ( agar aerasi dalam tanah berjalan dengan baik ) kemudian dimasukkan dalam polybag.

##### 2. Persiapan benih

###### *Oryza sativa*

benih padi dipilih yang baik, direndam selama 2 hari dan diperam selama 2 malam.

Bila pada ujung benih telah muncul bakal akar maka benih telah siap disemai .

*Phaseolus radiatus*

benih dipilih yang baik dengan memasukkan dalam air ( bibit yang baik akan tenggelam )

3. Penyemaian

*Oryza sativa*

Benih padi 10 biji disemai pada bagian permukaan tanah ( bagian tengah yang tidak tergenang )

*Phaseolus radiatus*

10 biji bibit disemai pada permukaan tanah kemudian ditutup dengan lapisan tanah setebal kurang lebih 2 cm.

4. Penyiraman

Penyiraman dilakukan dengan menambahkan air yang mengandung limbah dengan konsentrasi yang bervariasi ( dinyatakan dalam % volume ). Pada penelitian ini digunakan 10 buah pot dengan konsentrasi limbah pada air penyiram yang bervariasi yaitu 10 %, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100% dan 1 pot tanpa campuran limbah pada air penyiram sebagai kontrol.

*Oryza sativa*

Pada masa uji akut perkecambahan ( selama 4 hari ) dilakukan sekali sehari sebanyak 100 ml ditambahkan pada saluran penampung di tepi pot ( air tidak menggenangi bibit ) sedangkan pada masa uji tinggi batang dan berat tanaman dilakukan dua kali sehari masing - masing 100 ml ( air menggenangi bibit ).

*Phaseolus raditus*

Penyiraman dilakukan dua kali sehari masing - masing 150 ml sehingga tanah senantiasa dalam keadaan lembab.

5. Pendataan

Uji akut perkecambahannya : Dilakukan penghitungan % pertumbuhan bibit pada hari ke empat ( Akhir masa pembenihan )

Uji tinggi batang dan berat tanaman : Dilakukan pencatatan tinggi batang tanaman ( tinggi batang diukur mulai dari pangkal batang tanaman yang tampak di permukaan tanah sampai pada ujung tanaman dimana tunas daun terakhir tumbuh )

Pencatatan dilakukan sampai hari ke 21. Berat tanaman ditimbang pada hari terakhir pengamatan . Dilakukan pengamatan untuk abnormalitas pertumbuhan.

Uji ekotoksitas dilakukan sebanyak tiga kali agar diperoleh hasil yang lebih dapat dipercaya secara statistik.

**3.4.2. METODE INTERPRETASI**

Yang dimaksud metode interpretasi adalah metode yang digunakan dalam pengolahan data untuk menentukan nilai LC-50, dan menentukan konsentrasi awal yang memberikan pengaruh negatif pada tanaman uji.

**3.4.2.1. Menentukan LC-50 dengan Metode LITCHFIELD - WILCOXON**

Langkah - langkah dalam metode Litchfield - Wilcoxon adalah sebagai berikut :

1. Siapkan kertas log-log dan tabulasi data dengan urutan sebagai berikut :

- Konsentrasi polutan ( KP ) , %
- Jumlah biodata uji ( N)
- Jumlah biodata uji berefek ( PRP ) %
- Proporsi respon harapan ( PRH ) , %
- Selisih mutlak PRP dan PRH
- Angka  $Chi^2$

Catatan :

- Jika dalam pengujian terdapat lebih dari satu datum PRP = 0 % maupun PRP = 100 % , cukup dilaporkan pada tabel tersebut satu saja.
2. Plot besaran konsentrasi polutan pada absis dan % efek akut sesuai konsentrasinya pada ordinat, serta buat garis penghubung koordinat sebagai garis harapan. Tentukan angka koreksi untuk PRP = 0% dan PRP = 100% berdasarkan tabel 3.1 : Angka Koreksi untuk Efek Pengujian 0% atau 100%.
3. Identifikasi PRH pada garis harapan itu untuk tiap besaran konsentrasi , dan masukkan pada tabel di atas. Untuk titik - titik yang letaknya menyimpang dari garis harapan, informasi ini tidak perlu diperhatikan untuk perhitungan selanjutnya.
4. Hitung perbedaan mutlak PRP dan PRH untuk tiap konsentrasi.
5. Hitung  $Chi^2$  tiap konsentrasi dengan bantuan nomograf ( gambar 3.5. : Nomograf Litchfield - Wilcoxon ) dengan cara menarik garis lurus antara PRH dan perbedaan PRH - PRP . Total nilai  $Chi^2$  dikalikan dengan rata - rata jumlah biota dari data yang diperhitungkan ( K ), hasilnya merupakan nilai  $Chi^2$  perhitungan.

6. Hitung tingkat kebebasan (  $N$  ) =  $K - 2$ , dan berdasarkan angka tingkat kebebasan (  $N$  ) ini dapat dilihat nilai  $\chi^2$  pada tabel 3.2. : Nilai  $\chi^2$  untuk Batas Kepercayaan 95 % . Nilai  $\chi^2$  ini merupakan nilai  $\chi^2$  tabuler.
7. Jika nilai  $\chi^2$  perhitungan <  $\chi^2$  tabuler, maka garis harapan yang dibuat dapat diterima untuk perhitungan selanjutnya. Jika tidak, maka coba lagi pembuatan garis harapan yang berbeda posisi, ulangi perhitungan sehingga ketentuan  $\chi^2$  perhitungan <  $\chi^2$  tabuler dapat dipenuhi. Apabila tidak mungkin diperoleh garis harapan yang dapat diterima, maka berarti pengujian ekotoksitas perlu diulang.

TABEL 3.1. : ANGKA KOREKSI UNTUK EFEK PENGUJIAN  
0 % ATAU 100 %

PRH	ANGKA KOREKSI UNTUK PRP									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	----	0,3	0,7	1,0	1,3	1,6	2,0	2,3	2,6	2,9
10	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7	4,9	5,2	5,5	5,7
20	6,0	6,2	6,5	6,7	7,0	7,2	7,4	7,0	7,8	8,1
30	8,3	8,4	8,6	8,8	9,0	9,2	9,3	9,4	9,6	9,8
40	9,9	10,0	10,1	10,2	10,3	10,4	10,4	10,4	10,4	10,5
50	----	89,5	89,6	89,6	89,6	89,7	89,7	89,8	89,9	90,0
60	90,1	90,2	90,4	90,5	90,7	90,8	91,0	91,2	91,4	91,6
70	91,7	91,9	92,2	92,4	92,6	92,8	93,0	93,3	93,5	93,8
80	94,0	94,3	94,5	94,8	95,1	95,3	95,6	95,9	96,2	96,5
90	96,8	97,1	97,4	97,7	98,0	98,4	98,7	99,0	99,3	99,7



TABEL 3.2. : NILAI CHI2 UNTUK BATAS KEPERCAYAAN 95%

TINGKAT KEBEBASAN (N)	CHI 2	TINGKAT KEBEBASAN (N)	CHI 2
1	3,84	6	12,6
2	5,99	7	14,1
3	7,82	8	15,5
4	9,49	9	16,9
5	11,1	10	18,8

8. Hitung LC - 50 dan batas - batas kepercayaannya sebagai berikut :

a. Dengan garis harapan yang diterima, tentukan besaran konsentrasi - konsentrasi yang berkaitan dengan persentase efek akut sebesar 16%, 50%, 84%.

b. Hitung kemiringan garis harapan :

$$(S) = 1/2 ( LC - 84 / LC - 50 + LC - 50 / LC - 16 )$$

c. Hitung jumlah biota uji pada data konsentrasi yang diperhitungkan dalam rentang 16% dan 84% (= N')

d. Hitung faktor LC - 50 dengan formula :

$$f ( LC - 50 ) = S^{\{2,77 / (N')^{0,5}\}}$$

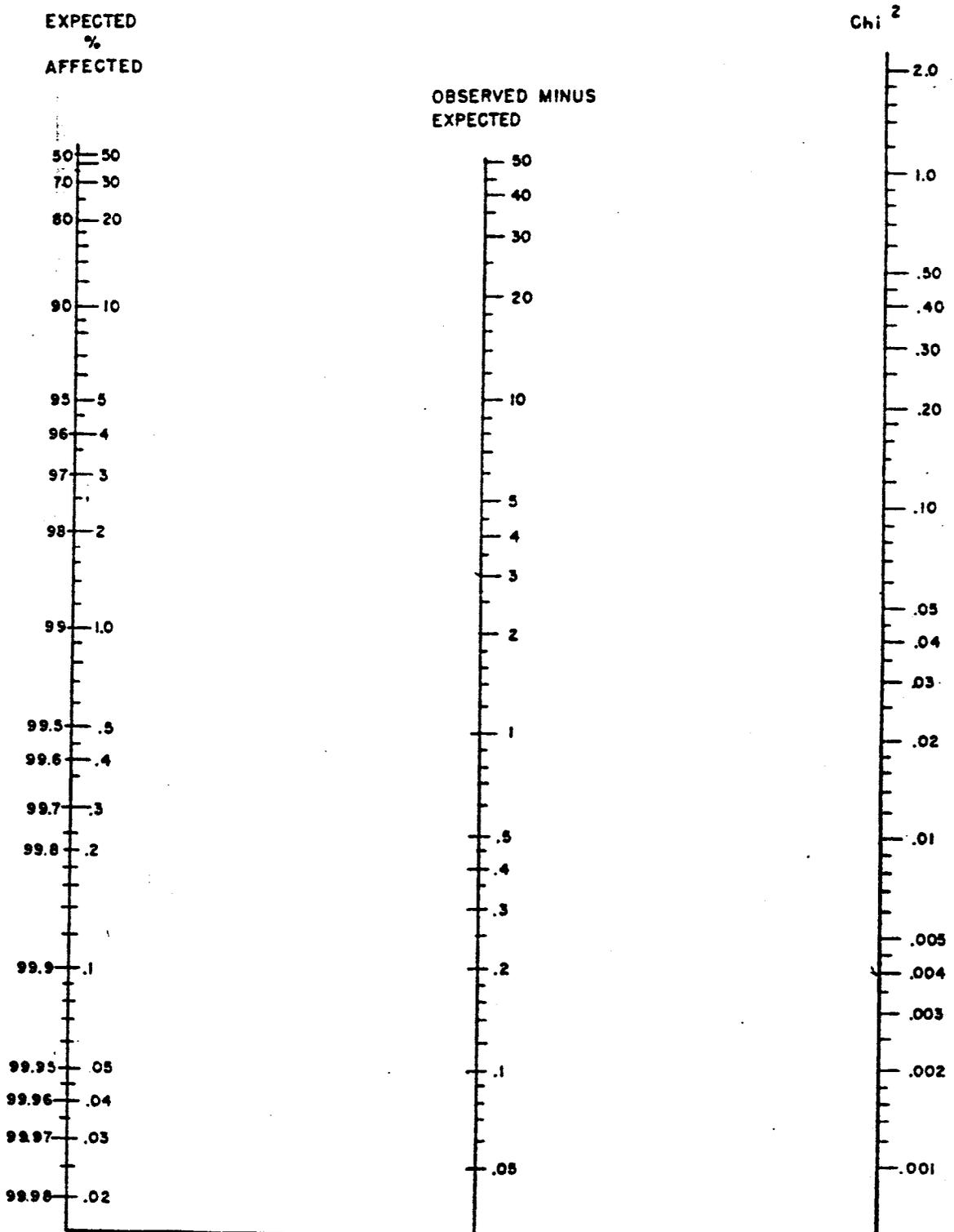
atau dengan cara nomograf hubungkan S dengan eksponennya .

e. Hitung batas - batas kepercayaan LC - 50 :

$$\text{- batas atas} = LC - 50 \times f ( LC - 50 )$$

$$\text{- batas bawah} = LC - 50 : f ( LC - 50 )$$

GAMBAR 3.5. : NOMOGRAF LITCHFIELD WILCOXON



**3.4.2.2. Analisis Varians Satu Arah untuk Menentukan Konsentrasi yang Mulai Memberikan Pengaruh pada Tanaman Uji**

Langkah - langkah dalam analisa varians adalah sebagai berikut :

- ♦ Tentukan hipotesis nol  $H_0$  dengan hipotesis tandingan  $H_1$  .

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

$H_1$  : paling sedikit satu tanda " sama dengan " tidak berlaku .

- ♦ Buat daftar data sampel dari K buah populasi berdistribusi normal, dalam bentuk tabulasi

	DARI POPULASI KE				
	1	2	3	.....	k
Data Hasil Pengamatan	Y11	Y21	Y31	.....	Yk1
	Y12	Y22	Y32	.....	Yk2
	:	:	:	:	:
	:	:	:	:	:
	Y1n1	Y2n2	Y3n3	.....	Yknk
Jumlah	J1	J2	J3	.....	Jk
Rata - rata	Y1	Y2	Y3	.....	Yk

- ♦ Hitung jumlah kuadrat - kuadrat ( JK ) berdasarkan sumber - sumber variasi rata - rata antar kelompok, dalam kelompok, dan total, dengan rumus - rumus sebagai berikut :

$$R_y = J^2 / \sum n_i ; \text{ dengan } J = J_1 + J_2 + \dots + J_k$$

$$A_y = \sum ( J_i / n_i ) - R_y$$

$$\sum Y^2 = \text{jumlah kuadrat - kuadrat ( JK ) dari semua nilai pengamatan}$$

$$D_y = \sum Y^2 - R_y - A_y$$

- Untuk memudahkan analisis, buat daftar analisis varian dalam bentuk tabulasi :

Sumber Variasi	dk	JK	KT	F
Rata rata	1	$R_y$	$R = R_y/1$	
Antar Kelompok	$k - 1$	$A_y$	$A = A_y/(k-1)$	A/D
Dalam Kelompok	$\Sigma (n_i-1)$	$D_y$	$D = D_y/ (n_i-1)$	
Total	$\Sigma n_i$	$\Sigma Y^2$	-----	-----

dimana  $dk =$  derajat kebebasan

$JK =$  Jumlah kuadrat

$KT =$  Kuadrat tengah

Dari perhitungan di atas, diperoleh nilai F hitung

- Dari daftar distribusi F ( dapat dilihat pada lampiran 2 ) dengan  $dk$  pembilang (  $k - 1$  ) dan  $dk$  penyebut (  $\Sigma (n_i - 1)$  ) serta peluang 0,95 (  $\alpha = 0,05$  ) , didapat nilai F tabel.
- Apabila nilai F hitung  $<$  F tabel , maka hipotesis nol (  $H_0$  ) dapat diterima atau dengan kata lain faktor yang diuji mempengaruhi data hasil pengamatan.

## B A B IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. ANALISA AWAL LIMBAH

Pada tahap awal penelitian dilakukan analisa limbah tempe yang meliputi :

COD = 8738,793 mg/lt

BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> = 3757,681 mg/lt

N Kjeldahl = 23,77 mg/lt

P total = 1,92 mg/lt

Sulfat = 154,26 mg/lt

✕ Dari hasil analisa awal limbah diperoleh nilai perbandingan BOD<sub>5</sub><sup>20</sup> / COD = 0,43. Nilai ini menunjukkan bahwa limbah tempe bersifat biodegradable sehingga dapat diolah secara biologis ( *Alaerts dan Sri Sumestri, 1984* ).

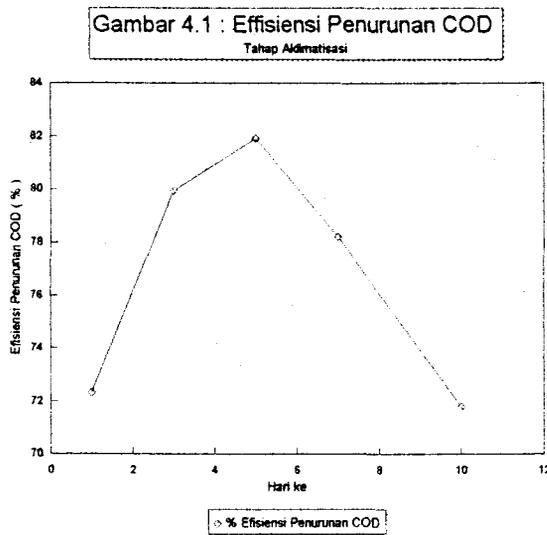
✕ Dengan komposisi limbah seperti pada hasil analisa awal limbah maka dilakukan tahap aklimatisasi limbah dengan beban COD 2000 mg/lt, HRT 24 jam pada pH asli limbah yaitu sekitar 5,3 | Hasil pengoperasian dapat dilihat pada tabel 4.1. : Pengoperasian Tahap Aklimatisasi dan pada gambar 4.1. : Efisiensi Penurunan COD Tahap Aklimatisasi.

TABEL 4.1. : OPERASI TAHAP AKLIMATISASI

COD influen 2000 mg/l  
 pH asli limbah ( 5,3 – 5,4 )  
 HRT = 24 jam

HARI KE	TANGGAL	COD EFLUEN ( mg/l )	EFISIENSI PENURUNAN ( % )	pH INFLUEN	pH EFLUEN	PRODUKSI BIOGAS ( ml )
1	6-4-1995	553.6	72.32	5.3	7.6	1950
3	8-4-1995	401.4	79.93	5.3	7.7	3300
5	10-4-1995	361.6	81.92	5.3	7.7	3900
7	12-4-1995	435.5	78.22	5.3	7.7	3400
10	15-4-1995	564.2	71.79	5.4	7.6	2100

Dari tabel dapat diperoleh efisiensi penurunan COD pada kondisi steady 81,92%



Dari tabel tersebut di atas diperoleh efisiensi penurunan COD pada kondisi steady 81,92 %. Dengan komposisi nutrien yang kurang memadai ternyata reaktor tetap dapat menghasilkan efisiensi penurunan yang cukup tinggi sehingga pengoperasian reaktor dapat diteruskan pada tahap selanjutnya yaitu variasi beban organik volumetrik.

4.2. VARIASI BEBAN ORGANIK VOLUMETRIK

✕ Pada tahap ini reaktor dioperasikan dengan beban organik volumetrik 4 kg COD / m<sup>3</sup>.hari, 6 kg COD/m<sup>3</sup> .hari, 8 kg COD / m<sup>3</sup> . hari, 12 kg COD /m<sup>3</sup> . hari serta 24 kg COD/ m<sup>3</sup> .hari. pH influen dikontrol dengan penambah NaOH sampai mencapai pH optimum 7 ( Price dan Cheremisinoff, 1984 ) . Efisiensi penurunan COD untuk tiap pengoperasian diambil dari nilai rata - rata 3 buah data efisiensi penurunan yaitu data efisiensi penurunan tertinggi dan data pada saat menjelang dan sesudahnya Hasil pengoperasian selengkapnya adalah sebagai berikut :

TABEL 4.2. : OPERASI BV 4 Kg COD/m<sup>3</sup>.hari  
 COD influen 4000 mg/l  
 pH 7  
 HRT = 24 jam

HARI KE	TANGGAL	COD EFLUEN (mg/l)	EFISIENSI PENURUNAN (%)	pH INFLUEN	pH EFLUEN	PRODUKSI BIOGAS (ml)
1	9-5-1995	432.3	89.10	7.2	7.6	3400
3	11-5-1995	407.3	90.96	7.2	7.5	4000
5	13-5-1995	337.6	91.49	7.4	7.6	5000
9	17-5-1995	308.8	92.00	7.2	7.7	5600
11	19-5-1995	244.4	93.89	7.3	7.6	6000
14	22-5-1995	229.6	94.26	7.2	7.6	6200
16	24-5-1995	187.9	95.30	7.2	7.6	7400
19	27-5-1995	155.8	96.10	6.9	7.7	8700
20	29-5-1995	112.8	97.20	7.0	8.0	10500
21	30-5-1995	267.8	93.49	7.3	7.7	5700

Dari tabel diperoleh efisiensi penurunan COD = 1/3(96,1+97,2+93,49)% = 95,6%

TABEL 4.3. : OPERASI BV 6 Kg COD/m<sup>3</sup>.hari  
 COD influen 6000 mg/l  
 pH 7  
 HRT = 24 jam

HARI KE	TANGGAL	COD		EFISIENSI PENURUNAN (%)	pH		PRODUKSI BIOGAS		
		INFLUEN (mg/l)	EFLUEN (mg/l)		INFLUEN	EFLUEN (ml)	KOMP 1 ml	KOMP 2 ml	KOMP 3 ml
1	12-6-1995	6000	576	90.4	6.9	7.8			8700
3	14-6-1995	6086	1220.243	79.95	6.8	7.6	25	50	8600
5	16-6-1995	4552	466.856	89.7	7	7.6			9050
8	19-6-1995	5293	288.469	94.55	7	7.7			10950
10	21-6-1995	6000	280.2	95.33	7.1	7.8	125		12900
12	23-6-1995	6000	192.6	96.79	6.8	7.8	325	175	13700
14	25-6-1995	5035.79	320.341	93.46	7	7.7			12300
15	26-6-1995	5035.79	369.123	92.67	7.2	7.6			8500
17	28-6-1995	6000	603.6	89.94	7.1	7.8			8200

Dari tabel diperoleh efisiensi penurunan COD = 1/3( 95,33+96,79+93,46)% = 95,19%

TABEL 4.4. : OPERASI BV 6 Kg COD/m<sup>3</sup>.hari

COD influen 6000 mg/l

pH 7

HRT = 18 jam

HARI KE	TANGGAL	COD		EFISIENSI PENURUNAN %	pH		PRODUKSI BIOGAS		
		INFLUEN (mg/l)	EFLUEN (mg/l)		INFLUEN	EFLUEN (ml)	KOMP. 1 ml	KOMP. 2 ml	KOMP. 3 ml
1	12-6-1995	6000	152.4	97.46	7	7.7			9100
3	14-6-1995	6086	1504.46	75.28	6.9	7.7			8150
5	16-6-1995	4552	620.89	86.36	6.9	7.7	100	150	9050
8	19-6-1995	5293	495.42	90.69	6.8	7.6			10300
10	21-6-1995	6000	304.8	94.92	7.1	7.7			11200
12	23-6-1995	6000	288.6	95.19	7.1	7.8	175		14100
14	25-6-1995	5035.79	570.555	88.67	7	7.7			10200
15	26-6-1995	5035.79	658.178	86.93	7	7.8			9200
17	28-6-1995	6000	1239	79.35	7	7.8			7900

Dari tabel diperoleh efisiensi penurunan COD =  $1/3(94.92+95.19+88.67)\% = 92.93\%$

TABEL 4.5. : OPERASI BV 12 Kg COD/m<sup>3</sup>.hari

COD influen 6000 mg/l

pH 7

HRT = 12 jam

HARI KE	TANGGAL	COD		EFISIENSI PENURUNAN %	pH		PRODUKSI BIOGAS		
		INFLUEN (mg/l)	EFLUEN (mg/l)		INFLUEN	EFLUEN (ml)	KOMP. 1 ml	KOMP. 2 ml	KOMP. 3 ml
1	10-7-1995	6000	1501.2	74.98	7.1	7.6	75	100	7850
3	12-7-1995	6000	1468.2	75.53	7	7.4	100	150	8600
5	14-7-1995	6000	877.8	85.37	7.1	7.4	125	150	10800
8	17-7-1995	5115.38	408.207	92.2	6.8	7.4	200	800	15100
10	19-7-1995	6394.23	738.535	88.45	6.8	7.5	75	725	14900
12	21-7-1995	6000	560.76	90.654	7.2	7.6	150	525	15700
14	23-7-1995	6000	398.4	93.36	7.2	7.7	350	250	18700
15	24-7-1995	6133.33	759.92	87.61	7	7.7	125	150	13300
17	26-7-1995	6133.33	894.24	85.42	7	7.6	100	125	10700

Dari tabel diperoleh efisiensi penurunan COD =  $1/3(90.645+93.36+87.61)\% = 90.54\%$

TABEL 4.6. : OPERASI BV 24 Kg COD/m<sup>3</sup>.hari  
 COD influen 6000 mg/l  
 pH 7  
 HRT = 6 jam

HARI KE	TANGGAL	COD INFLUEN (mg/l)	COD EFLUEN (mg/l)	EFISIENSI PENURUNAN %	pH INFLUEN	pH EFLUEN	PRODUKSI BIOGAS		
							KOMP 1 ml	KOMP 2 ml	KOMP 3 ml
1	10-7-1995	6000	1662.0	72.3	7	7.5	50	100	8250
3	12-7-1995	6000	1281.0	78.65	7.1	7.5	100	100	9300
5	14-7-1995	6000	1480.8	75.32	7.1	7.5	50	250	8300
8	17-7-1995	5115.38	873.707	82.92	7.2	7.5	50	100	13800
10	19-7-1995	6394.23	943.788	85.24	6.8	7.4	250	300	15700
12	21-7-1995	6000	558.6	90.69	7	7.5	250	400	25200
14	23-7-1995	6000	630.6	89.49	6.9	7.5	150	350	18450
15	24-7-1995	6133.33	1554.799	74.65	7	7.4	150	250	11700
17	26-7-1995	6133.33	1582.706	74.195	7	7.4	200	250	11400

Dari tabel diperoleh efisiensi penurunan COD = 1/3(85.24+90.69+89.49)% = 88.47%

✕ Pada pengoperasian dengan beban organik volumetrik 6 kg COD/m<sup>3</sup>.hari dan 8 kg COD/m<sup>3</sup>.hari mulai terlihat adanya produksi biogas pada kompartemen 1 dan 2 di samping selalu terjadi pada kompartemen 3. Sedangkan pada operasi dengan beban 12 kg COD/m<sup>3</sup>.hari dan 24 kg COD/m<sup>3</sup>.hari, produksi biogas selalu terjadi pada kompartemen 1, 2, dan 3. Dengan beban organik yang tinggi maka DO limbah akan segera habis dan terjadi kondisi anaerobik. Untuk lebih meyakinkan terjadinya kondisi anaerobik, dilakukan analisa konsentrasi nitrat dan nitrit dari influen dan efluen reaktor. Hasil analisa dapat dilihat pada tabel data pelengkap berikut ini :

TABEL 4.7. : NITRAT DAN NITRIT

TANGGAL	INFLUEN		EFFLUEN			
	NITRAT (mg/l)	NITRIT (mg/l)	NITRAT (mg/l)		NITRIT (mg/l)	
			BV 12 kg COD/m <sup>3</sup> .hari	BV 24 kg COD/m <sup>3</sup> .hari	BV 12 kg COD/m <sup>3</sup> .hari	BV 24 kg COD/m <sup>3</sup> .hari
25-6-1995	1.282	0.2497	0.238	0.189	0.051	0.114
26-6-1995	1.099	0.214	0.288	0.065	0.018	0.032
19-7-1995	1.622	0.306	0.312	0.139	0.121	0.068
21-7-1995	1.518	0.153	0.139	0.263	0.032	0.051
23-7-1995	2.312	0.343	0.189	0.213	0.04	0.04
24-7-1995	2.873	0.302	0.313	0.436	0.093	0.162

X Dari tabel tersebut dapat dilihat konsentrasi nitrat dan nitrit pada efluen reaktor mengalami penurunan. Kondisi ini merupakan salah satu ciri proses anaerobik di mana nitrat digunakan sebagai aseptor elektron untuk menjaga netralitas elektron pada saat terjadi proses penguraian bahan organik limbah. \*

Produksi biogas mengalami kenaikan dengan semakin meningkatnya beban organik. Hasil uji nyala menunjukkan biogas yang terdapat pada tabung penangkap gas mengandung metana karena pada saat dibakar nyala biogas berwarna biru. X Untuk mengetahui apakah kondisi di dalam reaktor telah optimal untuk proses anaerobik maka dapat dilakukan perbandingan antara jumlah produksi biogas yang secara nyata telah dihasilkan reaktor dengan jumlah biogas yang diperoleh secara teoritis berdasarkan material balance di mana 1 gram COD terolah dapat menghasilkan 0,35 lt gas metana yang merupakan 50% -70 % dari jumlah total biogas. ||

Perhitungan produksi biogas secara teoritis berdasarkan material balance untuk pengoperasian dengan beban organik volumetrik 4 kg COD/ m<sup>3</sup>.hari sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{COD terolah} &= 1/3 ( 3 \times 4000 - (155,8 + 112,8 + 267,8) ) \text{ mg/lt} \times 5 \text{ lt} \times 10^{-3} \text{ g/mg} \\ &= 19,9987 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{COD terolah per hari} = 24/24 \times 19,9987 \text{ g} = 19,9987 \text{ g}$$

$$\text{Produksi metana teoritis} = 0,35 \text{ lt/g} \times 19,9987 \text{ g} = 6,9995 \text{ lt}$$

$$\text{Produksi biogas teoritis} = 1/0,7 \times 6,9995 \text{ lt} = 9,142 \text{ lt}$$

$$\text{Produksi biogas nyata} = 1/3 ( 8,7 + 10,5 + 5,7 ) \text{ lt} = 8,3 \text{ lt}$$

$$\text{Biogas nyata/teoritis} = 8,3 / 9,142 = 0,91$$

Hasil perhitungan produksi biogas untuk pengoperasian yang lain dan perbandingannya dengan produksi biogas nyata dapat dilihat pada tabel berikut ini :

TABEL 4.8. : BIOGAS REAL/BIOGAS TEORITIS

BY	RATA RATA	COD TEROLAH	PROD CH <sub>4</sub>	PROD.BIOGAS	PROD.BIOGAS	BIOGAS
kgCOD/m <sup>3</sup> .HARI	COD TEROLAH	PER-HARI	TEORITIS	TEORITIS	NYATA	NYATA/TEORITIS
	gr	gr	lt	lt	lt	
4	19.9987	19.9987	6.3885	9.1423	8.3	0.91
6	27.055	27.055	9.46925	13.5275	13.175	0.97
8	26.455	37.793	13.22755	18.891	11.891	0.63
12	27.355	54.71	19.1485	27.355	16.416	0.6
24	21.68	86.72	30.352	43.36	20.35	0.47

Tabel tersebut di atas menunjukkan perbandingan biogas nyata / biogas teoritis cenderung semakin kecil untuk beban organik volumetrik yang semakin besar. Beban organik yang besar dapat menyebabkan proses perubahan asam volatile menjadi gas metana dan karbondioksida di dalam reaktor berjalan kurang optimal. Perbandingan biogas nyata / biogas teoritis terbesar terjadi pada beban organik volumetrik 6 kg COD/m<sup>3</sup>.hari yaitu 0,97 atau 97%.

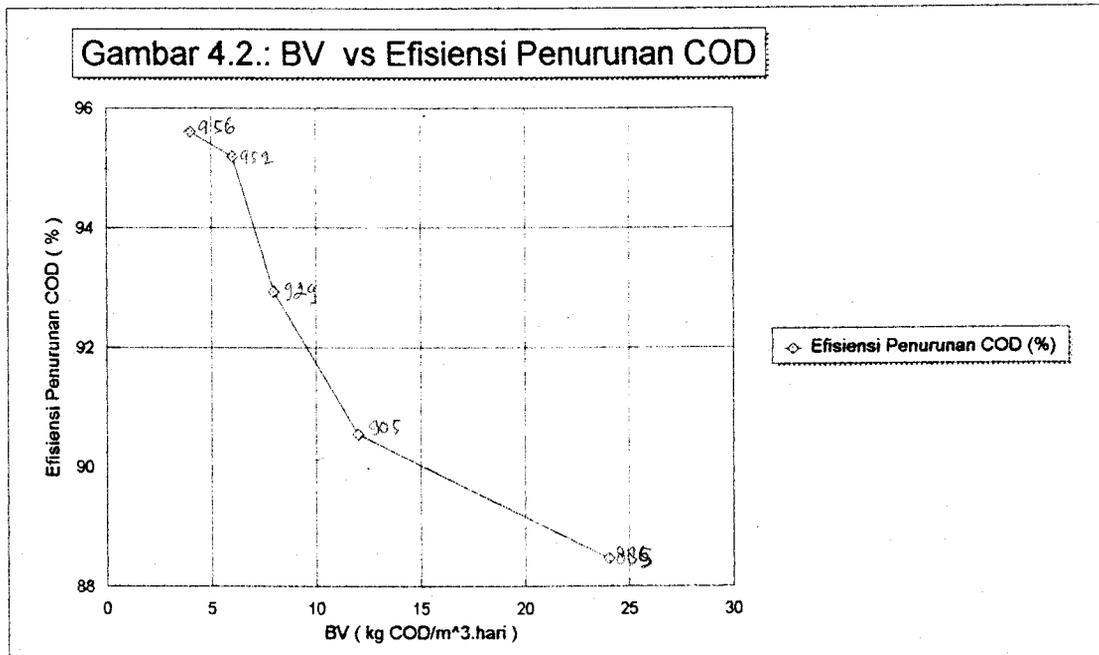
Pengaruh beban organik volumetrik pada pertumbuhan mikroorganisma dapat dilihat pada tabel 4.9. : MLSS dan MLVSS. Kecepatan pertumbuhan mikroorganisma ( $\mu$ ) semakin meningkat dengan beban organik volumetrik yang semakin besar. Meningkatnya jumlah substrat yang tersedia akan menyebabkan mikroorganisma memberikan tanggapan berupa peningkatan pertumbuhan biomassa. Umur lumpur rata - rata dalam reaktor untuk beban 6 kg COD/m<sup>3</sup>.hari dan 8 kg COD/m<sup>3</sup>.hari adalah 18 hari, untuk beban 12 kg COD/m<sup>3</sup> .hari adalah 17 hari, sedangkan untuk 24 kg COD/m<sup>3</sup>.hari adalah 14 hari.

TABEL 4.9 : MLSS DAN MLVSS

	KOMPARTEMEN I			KOMPARTEMEN II			KOMPARTEMEN III		
	12-6-1995	28-6-1995	10-7-1995	12-6-1995	28-6-1995	10-7-1995	12-6-1995	28-6-1995	10-7-1995
RUNNING V BV 6kg COD/m <sup>3</sup> hari	MLSS ( mg/lit )	12756	24623	11304	22827	10613	20984	20984	20984
	MLVSS ( mg/lit )	4503	8298	3527	6734	4882	9189	9189	9189
	MLVSS/MLSS	0.353	0.337	0.312	0.295	0.46	0.46	0.44	0.44
	RATE PERTUMBUHAN MIKROORGANISMA ( 1/hari ) *	0.0527		0.0568				0.0551	
	SRT ( hari ) **	18.98		17.61		18.15			
RUNNING VI BV 8kg COD/m <sup>3</sup> hari	MLSS ( mg/lit )	10511	21812	19616	22536	10233	20871	20871	20871
	MLVSS ( mg/lit )	3889	7416	4221	8113	5321	10018	10018	10018
	MLVSS/MLSS	0.37	0.34	0.31	0.36	0.52	0.52	0.48	0.48
	RATE PERTUMBUHAN MIKROORGANISMA ( 1/hari )	0.0567		0.0576				0.0552	
	SRT ( hari )	17.64		17.36		18.12			
RUNNING VII BV 12kg COD/m <sup>3</sup> hari	MLSS ( mg/lit )	19340	40603	16598	30967	23862	41932	41932	41932
	MLVSS ( mg/lit )	8123	15505	6523	13161	9075	17192	17192	17192
	MLVSS/MLSS	0.42	0.38	0.393	0.425	0.38	0.38	0.41	0.41
	RATE PERTUMBUHAN MIKROORGANISMA ( 1/hari )	0.0568		0.0636				0.0559	
	SRT ( hari )	17.61		15.72		17.89			
RUNNING VIII BV 24kg COD/m <sup>3</sup> hari	MLSS ( mg/lit )	17873	36266	23816	58066	20350	49343	49343	49343
	MLVSS ( mg/lit )	7328	15957	7621	16939	9768	20724	20724	20724
	MLVSS/MLSS	0.41	0.44	0.32	0.29	0.48	0.42	0.42	0.42
	RATE PERTUMBUHAN MIKROORGANISMA ( 1/hari )	0.0736		0.0756				0.0701	
	SRT ( hari )	13.58		13.23		14.27			

X = MLVSS  
 \* Rate pertumbuhan m.o. = (dX/dT) / X  
 \*\* SRT = 1/ Rate Pertumbuhan

✕ Hubungan antara beban organik volumetrik dengan efisiensi penurunan COD dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar di atas menunjukkan bertambahnya beban organik volumetrik akan menyebabkan efisiensi penurunan COD semakin kecil. Berdasarkan uraian sebelumnya, beban organik volumetrik yang semakin besar juga akan menyebabkan peningkatan kecepatan pertumbuhan mikroorganisma dan penurunan produksi biogas. Hal ini kemungkinan disebabkan karena jumlah mikroorganisma yang ada masih belum mencukupi untuk dapat menguraikan bahan organik ( COD ) pada pembebanan yang tinggi atau dapat juga disebabkan karena kondisi lingkungan yang kurang optimal bagi bakteri pembentuk metana.

Peningkatan beban organik volumetrik akan menyebabkan kecepatan pertumbuhan mikroorganisma semakin besar. Bakteri fermentasi mempunyai kecepatan pertumbuhan yang lebih cepat dibandingkan dengan bakteri pembentuk metana, sehingga peningkatan kemampuan bakteri fermentasi dalam melakukan proses katabolisma substrat menjadi asam volatile kurang dapat diimbangi oleh aktivitas bakteri pembentuk metana yang akan merubah asam volatile menjadi biogas. Akumulasi asam volatile bila telah melebihi kemampuan pembentukan buffer akan menyebabkan terjadinya penurunan pH sehingga proses metabolisme bakteri pembentuk metana mengalami gangguan dan efisiensi penurunan COD serta pembentukan gas mengalami penurunan.

Pada tabel berikut ini akan disajikan data pelengkap rasio BOD/COD influen dan efluen.

TABEL 4.10.: BOD DAN COD

TANGGAL	INFLUEN		EFFLUEN				BOD/COD INFLUEN	BOD/COD EFFLUEN	
	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)		COD (mg/l)			A	B
			A	B	A	B			
21-7-1995	3240	6000	121.68	155.29	560.76	558.5	0.54	0.217	0.278
23-7-1995	3240	6000	93.624	135.579	398.4	630.6	0.54	0.235	0.215
24-7-1995	3005.3	6133.3	277.301	505.31	759.92	1554.799	0.49	0.365	0.324
26-7-1995	3005.3	6133.3	264.695	527.041	894.24	1582.706	0.49	0.296	0.333

Dari tabel di atas nilai BOD/COD influen berkisar antara 0,3 - 0,6 yang menunjukkan limbah bersifat biodegradable dan memungkinkan untuk diolah secara biologis. Nilai BOD/COD efluen lebih kecil dari pada nilai BOD/COD influen. Bila efluen reaktor dibuang ke badan air maka akan sedikit mengkonsumsi DO air sehingga efek toksiknya akan lebih rendah.

#### 4.3. PENGARUH LIMBAH TEMPE PADA *Oryza sativa*

Uji akut perkecambahan pada tanaman uji *Oryza sativa* menunjukkan bahwa penyiraman dengan konsentrasi limbah tempe yang bervariasi ( dinyatakan dalam % volume, mulai dari 0% sampai 100% ) tidak mempengaruhi proses perkecambahan dengan kata lain perkecambahan terjadi 100 % untuk semua pot. Hal ini disebabkan karena pada proses perkecambahan benih membutuhkan air untuk menjaga kelembaban tanah sedangkan kebutuhan haranya sampai bibit berumur satu minggu masih dapat dicukupi oleh kandungan zat dalam keping biji sehingga penyiraman limbah tempe tidak berpengaruh pada proses perkecambahan .

Pada hasil uji akut perkecambahan di mana bibit dapat tumbuh seratus persen dengan penyiram limbah tempe yang bervariasi bukan berarti bahwa limbah tempe tidak akan memberikan efek pada tanaman uji *Oryza sativa* sehingga perlu dilakukan uji lanjutan berupa uji akut terhadap pertumbuhan tinggi dan berat kering tanaman serta dilakukan pengamatan terhadap gejala abnormalitas yang terjadi. Data hasil uji akut lanjutan dianalisa menggunakan metode analisa varian dengan tingkat keyakinan 95 % (  $\alpha = 0,05$  ) untuk memperoleh konsentrasi yang memberikan efek . Perhitungan anava dapat dilihat pada lampiran .

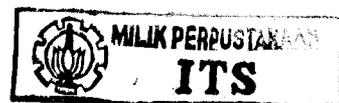
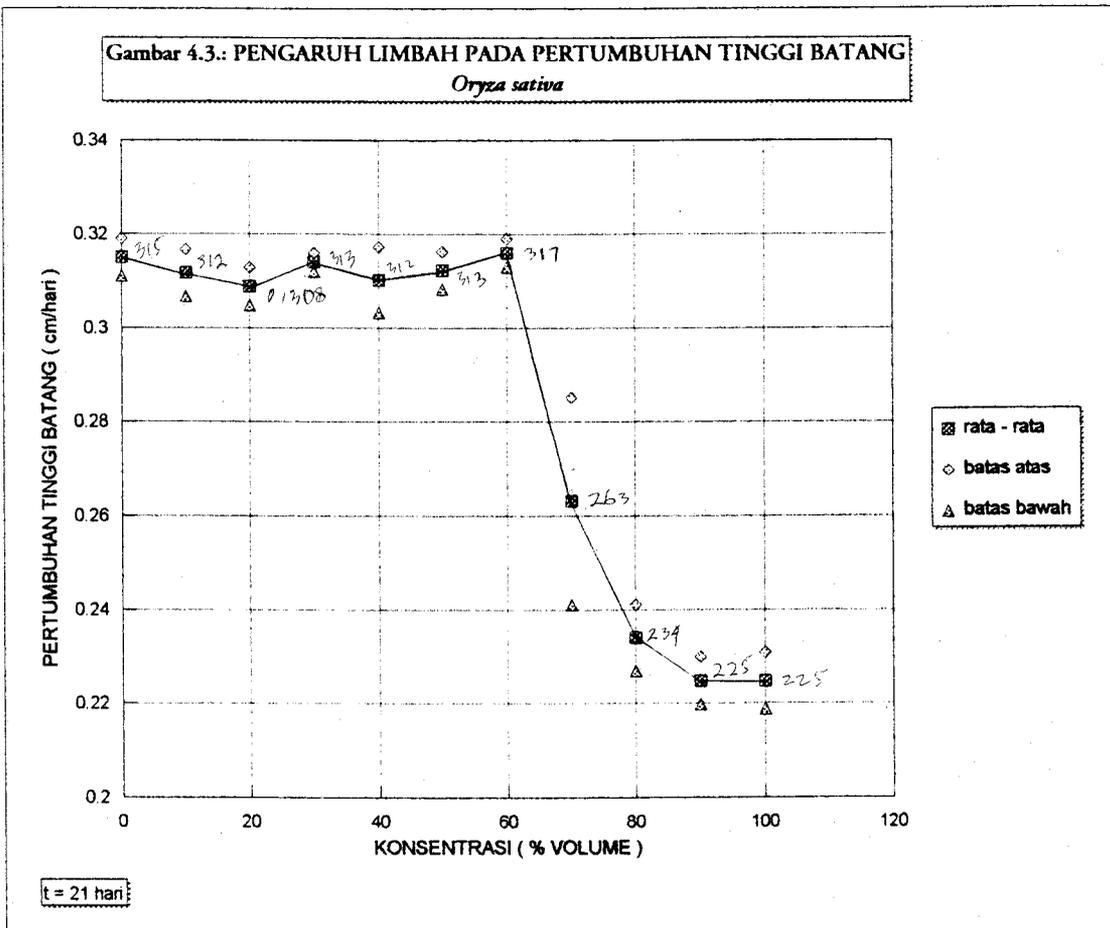
Hasil analisa varian terhadap data pertumbuhan tinggi batang menunjukkan bahwa penyiraman pada konsentrasi COD rata - rata 3789 mg/lt ( 60 % volume ) belum memberikan efek negatif ; efek negatif baru mulai terjadi pada konsentrasi COD rata - rata 4420 mg/lt ( 70 % volume ) . Sedangkan hasil analisa varian pada berat kering tanaman menunjukkan pada penyiraman dengan konsentrasi COD rata - rata 2526. mg/lt ( 40 % volume ) tidak berefek negatif pada berat tanaman ; efek negatif baru terjadi pada

konsentrasi COD rata - rata 3157 mg/lit ( 50 % volume ) . Sampai pada penyiraman konsentrasi 100% tidak terjadi efek 50 % ( EC-50) untuk pertumbuhan tinggi batang dan berat kering. Limbah tempe sedikit memberikan efek bagi *Oryza sativa* sehingga tidak bersifat toksik. ✱

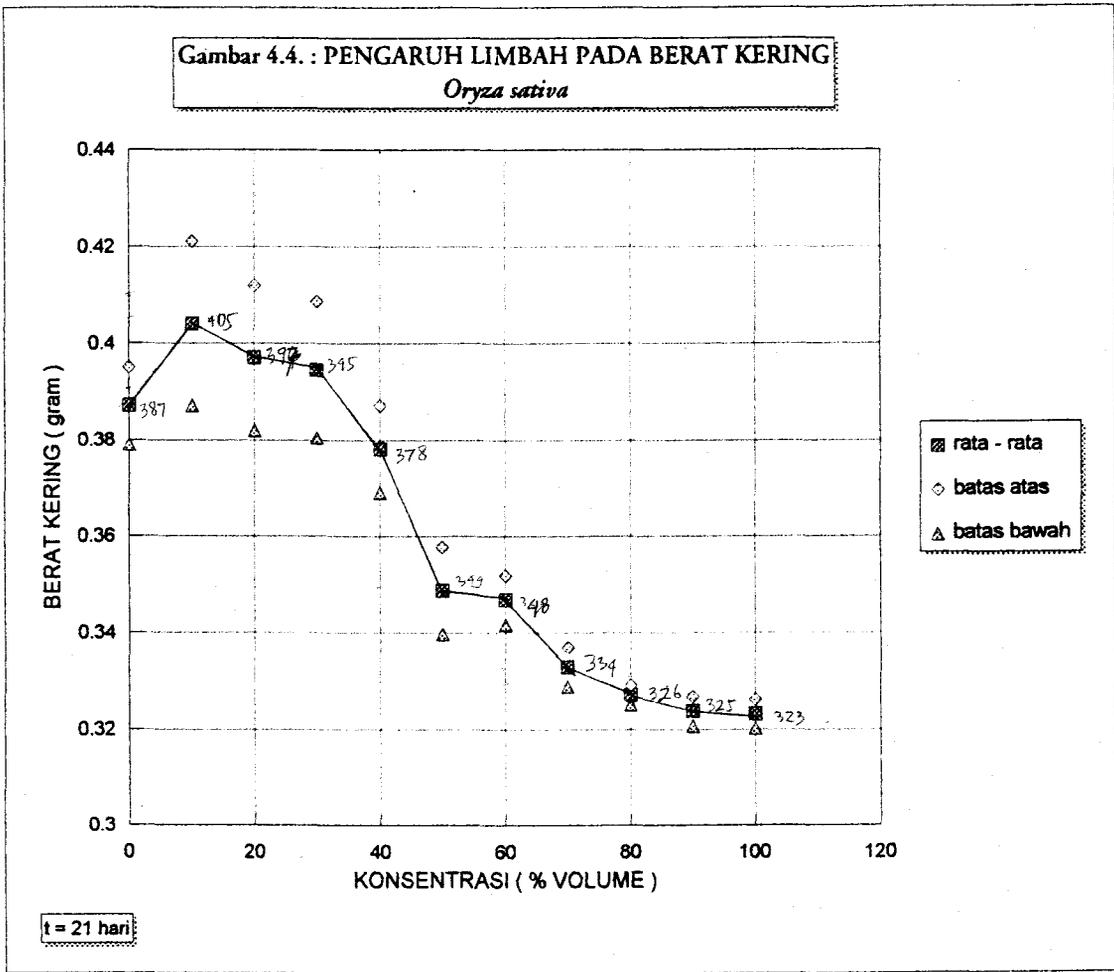
Besar konsentrasi yang mulai memberikan pengaruh dari hasil analisa varian terhadap tinggi dan berat tanaman *Oryza sativa* di atas menunjukkan bahwa pengaruh limbah tempe pada berat tanaman lebih dahulu terjadi dibandingkan pada pertumbuhan tinggi tanaman. Tanaman yang mendapat penyiraman pada konsentrasi COD rata - rata 3157 mg/lit ( 50 % volume ) dan 3789 mg/lit ( 60 % volume ), pertumbuhan tinggi batang tanaman tidak terpengaruh tetapi berat tanaman telah mengalami pengaruh negatif dengan kata lain tanaman menjadi kurus.

Untuk mengetahui pengaruh limbah tempe pada pertumbuhan tinggi batang dan berat kering tanaman uji *Oryza sativa* serta standard deviasinya untuk masing - masing konsentrasi COD dapat dilihat pada gambar 4.3. dan gambar 4.4. . Pada gambar 4.3. tinggi tanaman relatif stabil sampai pada penyiraman dengan konsentrasi COD rata - rata 3789 mg/l ( 60 % volume ) meskipun mengalami penurunan bila dibandingkan dengan kontrol . Pada konsentrasi COD yang lebih besar tinggi batang mulai menurun tajam . Dari gambar 4.4. dapat dilihat adanya kenaikan berat tanaman sampai pada penyiraman dengan konsentrasi COD 1894 mg/lit (30 % volume) bila dibandingkan dengan kontrol , pengaruh positif ini tidak cukup besar untuk dapat diterima dengan tingkat keyakinan 95 % (  $\alpha = 0,05$  ) sehingga analisa varian tidak dapat menunjukkan adanya pengaruh tersebut. Penurunan tajam pada berat tanaman mulai terjadi pada konsentrasi COD lebih besar daripada 2526 mg/lit ( 40 % ).

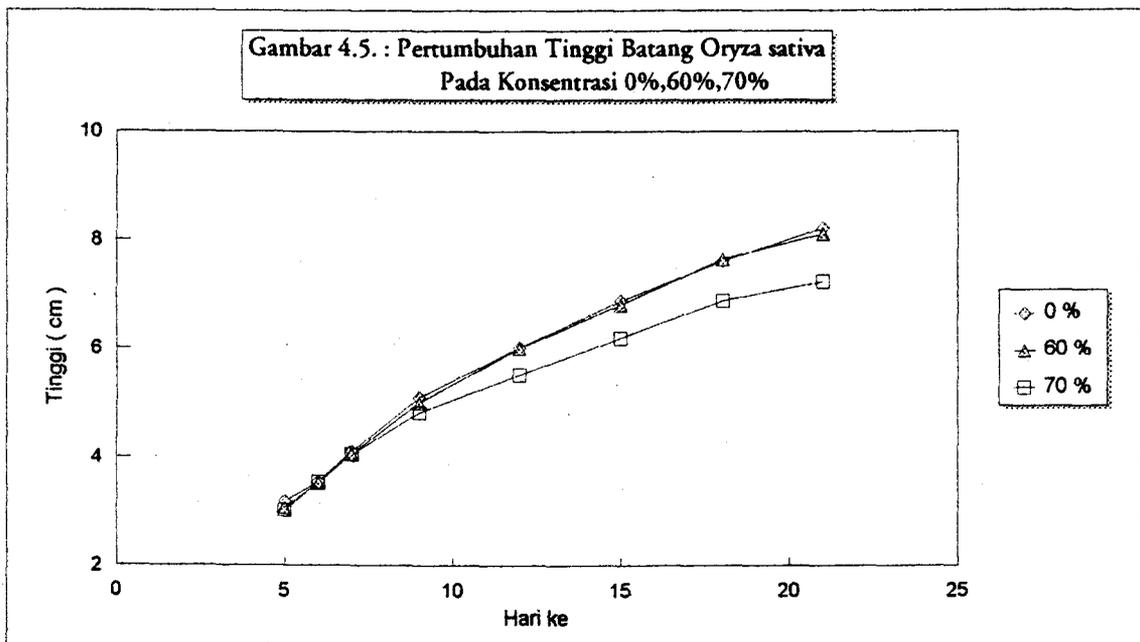
Gambar 4.3.: PENGARUH LIMBAH PADA PERTUMBUHAN TINGGI BATANG  
*Oryza sativa*



Gambar 4.4. : PENGARUH LIMBAH PADA BERAT KERING  
*Oryza sativa*



Pada gambar 4.5. dapat dilihat pertumbuhan tinggi batang tanaman uji *Oryza sativa* pada penyiraman dengan konsentrasi 0 % ( kontrol ), konsentrasi 60 % dimana tanaman uji belum terpengaruh oleh pemberian limbah dan konsentrasi 70 % . Dari gambar itu dapat terlihat bahwa pertumbuhan tinggi batang pada konsentrasi 60 % relatif berhimpit dengan pertumbuhan kontrol. Pertumbuhan tinggi batang dengan konsentrasi 70% baru mulai mengalami penurunan bila dibandingkan dengan kontrol pada hari ke 9 yaitu dua hari setelah cadangan zat hara pada keping biji habis sehingga tanaman harus mengambil makanan dari tanah , pada saat inilah pengaruh limbah tempe mulai terjadi.

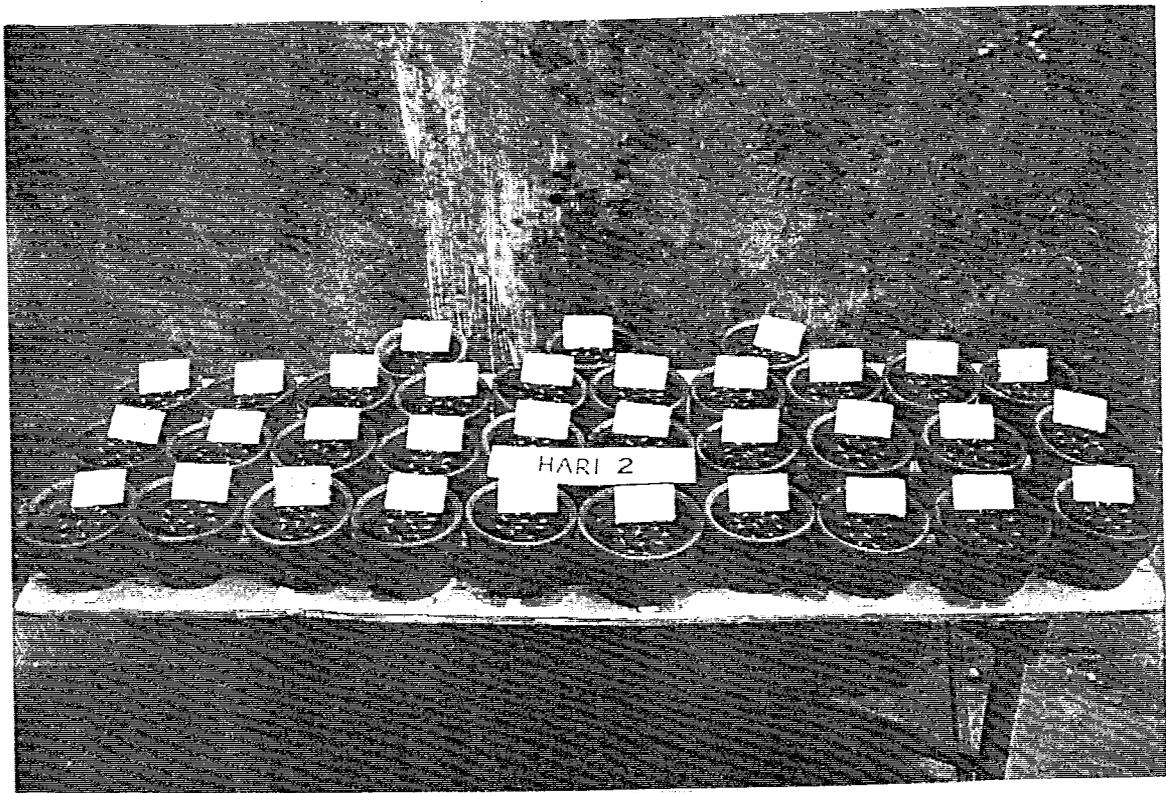


X Gejala abnormalitas morfologi yang terjadi pada daun, akar, dan batang dapat dilihat pada tabel 4.11.

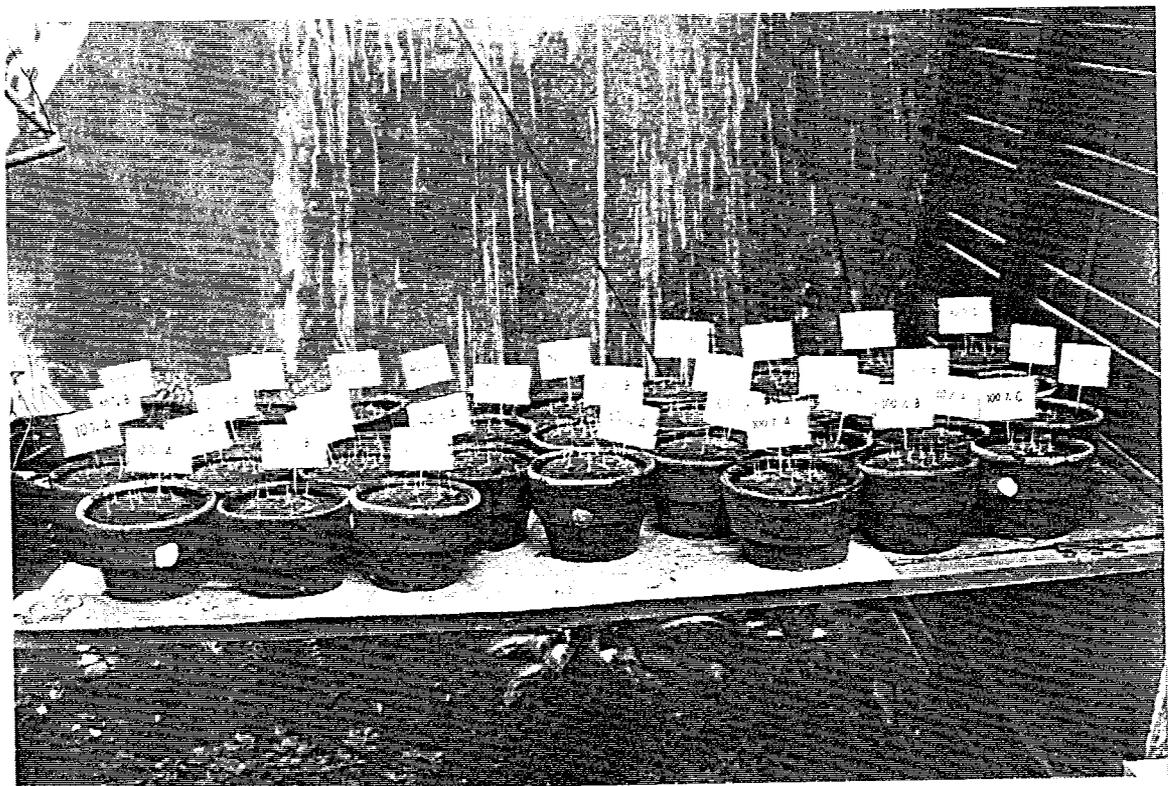
TABEL 4.11 : ABNORMALITAS MORFOLOGI *Oryza sativa*

BAGIAN TANAMAN	ABNORMALITAS
DAUN	Pada konsentrasi lebih besar daripada 80 % daun berwarna lebih tua, berukuran lebih pendek dan lebih lemas.
AKAR	Pada konsentrasi lebih besar dari 60 % akar mulai berkurang dan lebih kaku
BATANG	Pada konsentrasi 90 % dan 100 % batang mudah rebah

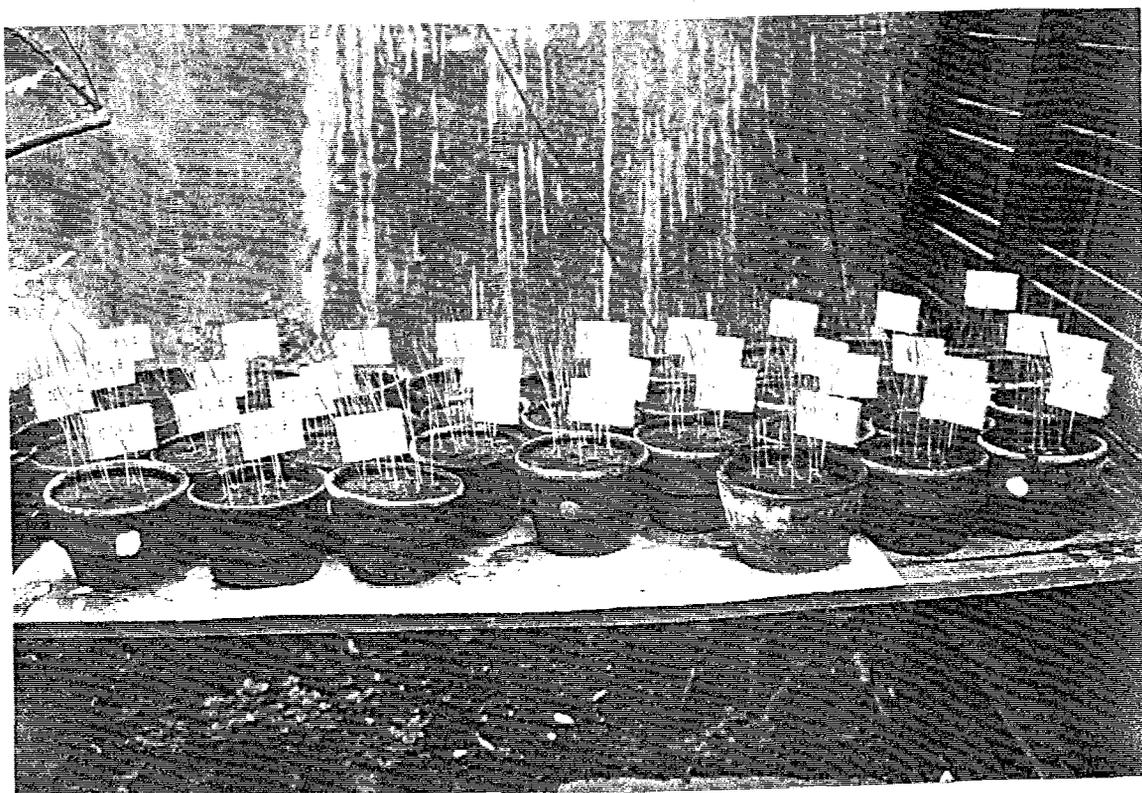
Agar dapat memperoleh gambaran yang jelas tentang hasil pengamatan terhadap pertumbuhan tinggi batang dan gejala abnormalitas morfologi maka berikut ini akan disajikan foto - foto hasil pengamatan yaitu dimulai dari proses perkecambahan sampai pengamatan pada hari terakhir.



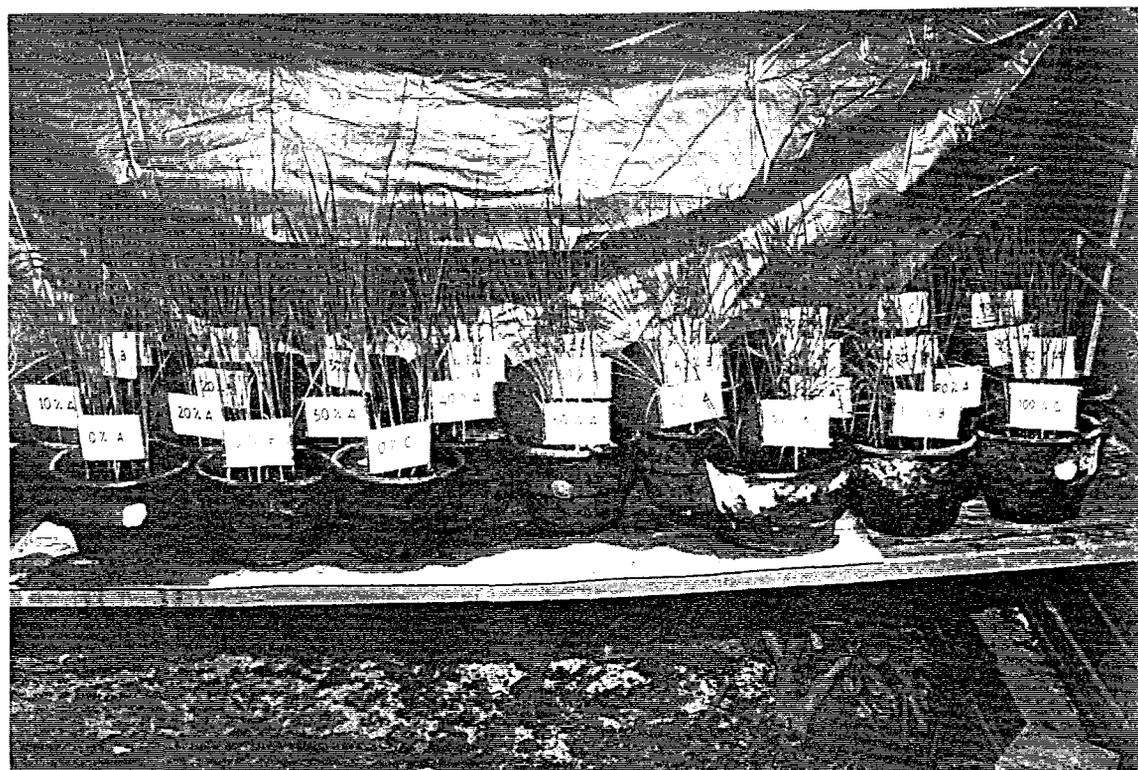
Gambar 4.6. : Awal uji akut perkecambahan *Oryza sativa* ( hari 1 )



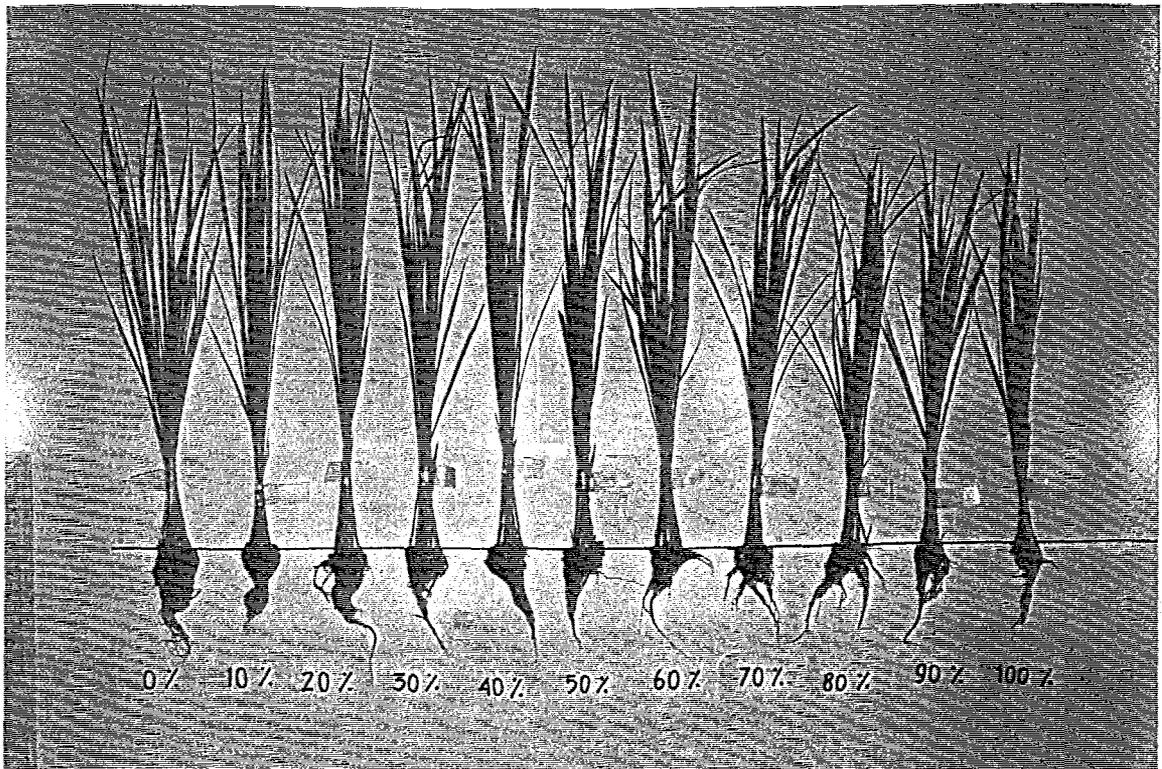
Gambar 4.7. : Akhir uji akut perkecambahan *Oryza sativa* ( hari 4 )



Gambar 4.8. : Uji pertumbuhan tinggi batang *Oryza sativa* ( hari 14 )



Gambar 4.9. : Uji pertumbuhan tinggi batang *Oryza sativa* ( hari 21 )  
( pada konsentrasi besar, batang mudah rebah, pendek, lebih hijau )



Gambar 4.10. : Pengamatan hari terakhir ( hari 21 )

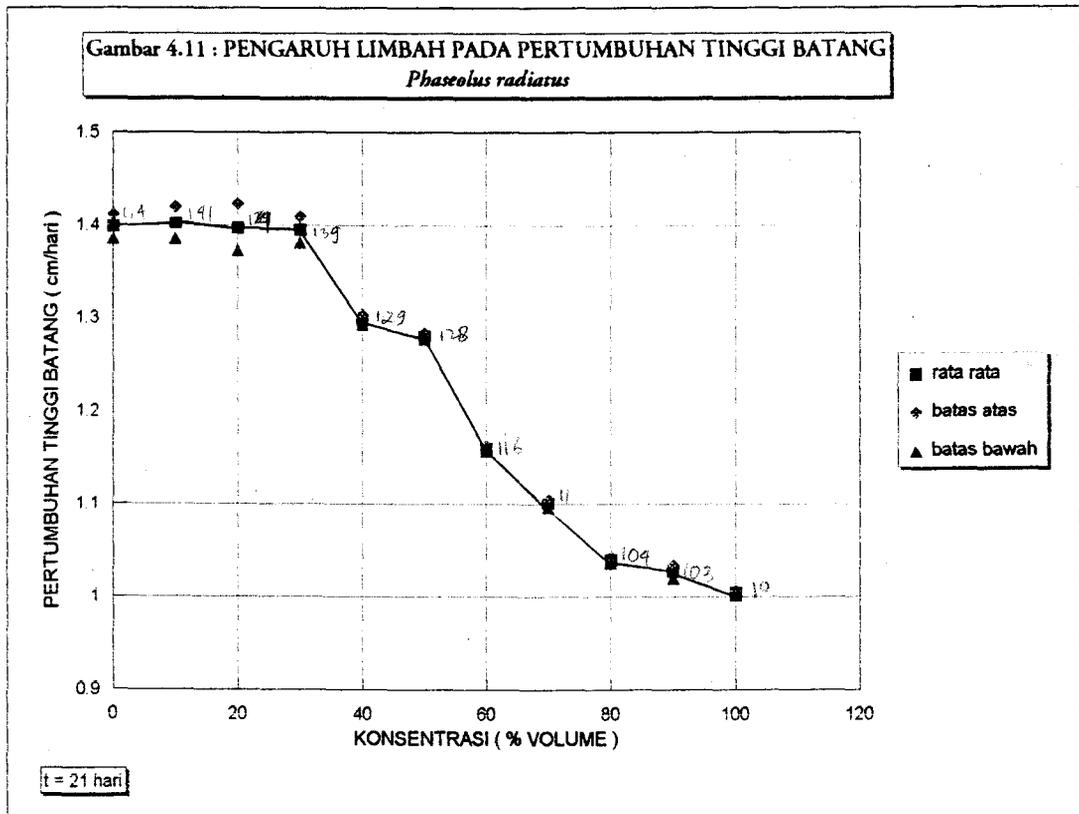
#### **4.4. PENGARUH LIMBAH TEMPE PADA *Phaseolus radiatus***

Uji akut perkecambahan pada tanaman uji *Phaseolus radiatus* menunjukkan bahwa penyiraman dengan konsentrasi limbah tempe yang bervariasi ( dinyatakan dalam % volume, mulai dari 0% sampai 100% ) tidak mempengaruhi proses perkecambahan, dengan kata lain bibit tumbuh 100 % untuk semua pot. Hal ini disebabkan pada masa perkecambahan kebutuhan unsur hara telah dicukupi oleh kandungan zat dalam keping biji sehingga limbah tempe belum cukup memberikan pengaruh . Pada masa perkecambahan tanaman lebih peka pada kondisi kelembaban tanah.

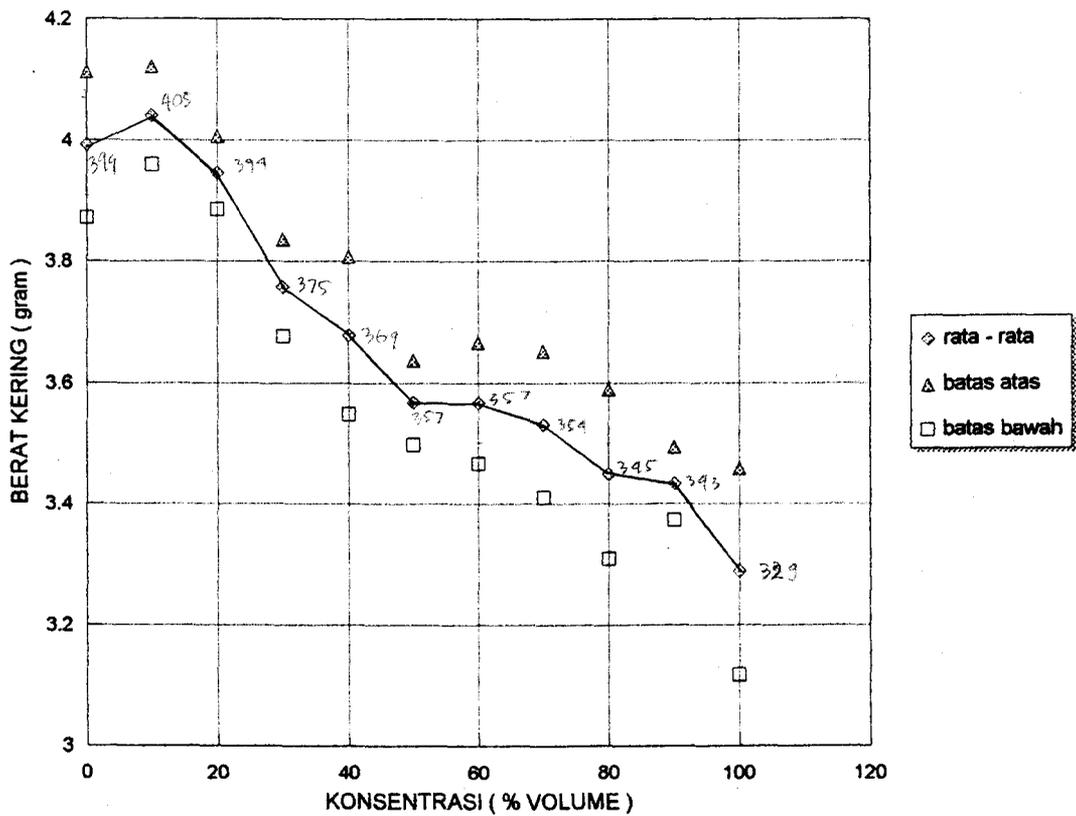
Untuk mengetahui pengaruh limbah tempe lebih jauh maka perlu dilakukan uji lanjutan berupa uji akut tinggi batang dan berat kering tanaman. Hasil uji dianalisa dengan metode analisa varian dengan tingkat keyakinan 95 % (  $\alpha = 0,05$  ) untuk memperoleh konsentrasi yang mulai memberi pengaruh . Perhitungan analisa varian dapat dilihat pada lampiran.

Dari hasil analisa varian terhadap tinggi batang, ternyata penyiraman dengan konsentrasi COD rata - rata 1894 mg/lt ( 30 % volume ) belum memberikan efek sedangkan penyiraman pada konsentrasi COD rata - rata 2526 mg/lt ( 40 % volume ) pengaruh telah terjadi. Hasil analisa varian terhadap berat kering menunjukkan konsentrasi yang mulai memberikan efek adalah lebih rendah yaitu 1894 mg/lt ( 30 % volume ). Dengan demikian maka pengaruh pada berat lebih dulu terjadi dibandingkan pada tinggi batang. Bila konsentrasi yang mulai memberikan efek pada tanaman uji *Phaseolus radiatus* dibandingkan dengan tanaman uji *Oryza sativa*, maka *Phaseolus radiatus* bersifat lebih peka terhadap pengaruh penyiraman dengan limbah tempe. (

Untuk mengetahui pengaruh limbah tempe pada tinggi dan berat tanaman uji *Phaseolus radiatus* beserta standard deviasinya pada masing masing konsentrasi COD penyiraman maka dapat dilihat pada gambar 4.11 dan 4.12 . Pada kedua gambar ini tampak adanya peningkatan tinggi maupun berat tanaman uji dibandingkan dengan kontrol yaitu pada penyiraman dengan konsentrasi COD 631 mg/lit ( 10 % volume ) meskipun dari hasil analisa varian dengan tingkat keyakinan 95 % belum dapat menerima adanya gejala positif ini. Untuk konsentrasi penyiraman yang lain, tinggi dan berat kering tanaman semakin menurun.

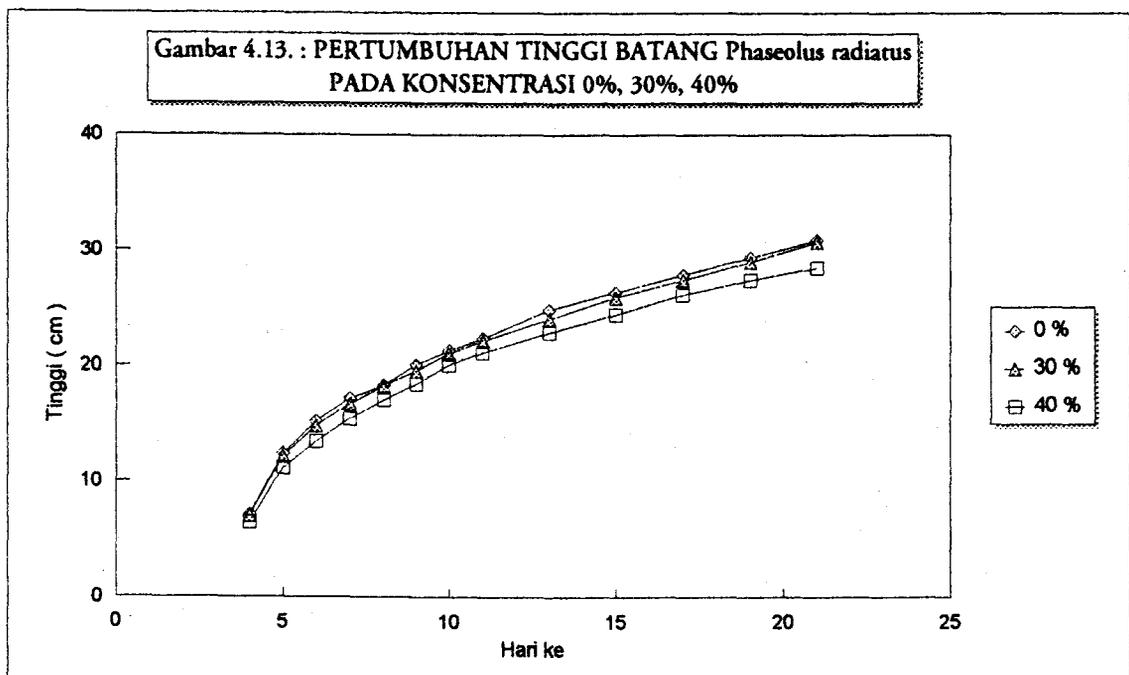


Gambar 4.12 : PENGARUH LIMBAH PADA BERAT KERING  
*Phaseolus radiatus*



t = 21 hari

Pada gambar 4.13 dapat dilihat pertumbuhan tinggi batang tanaman uji *Phaseolus radiatus* pada penyiraman dengan konsentrasi 0 % ( kontrol ) , konsentrasi 30 % volume dimana tanaman belum menerima efek dan konsentrasi 40 % volume yaitu pada saat tanaman mulai mengalami efek penyiraman . Gambar ini menunjukkan efek limbah tempe pada konsentrasi 40 % volume telah terjadi pada masa awal pertumbuhan dan terus meningkat seiring dengan bertambahnya waktu. Sedangkan pada konsentrasi 30 % grafik pertumbuhannya relatif berhimpit dengan grafik pertumbuhan kontrol.



Abnormalitas morfologi yang terjadi pada *Phaseolus radiatus* dapat dilihat pada tabel 4.12.

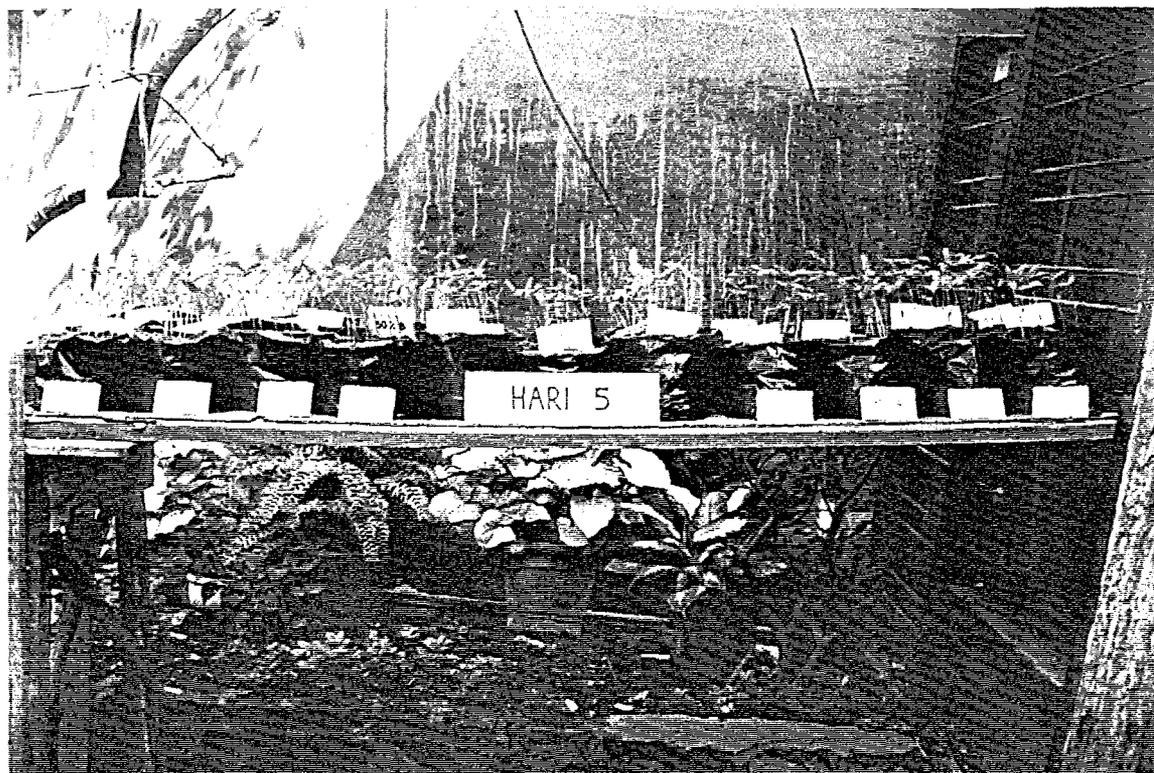
TABEL 4.12 : ABNORMALITAS MORFOLOGI *Phaseolus radiatus*

BAGIAN TANAMAN	ABNORMALITAS
DAUN	Semakin besar konsentrasi, daun semakin tebal dan berwarna lebih tua, sudut daun lebih kecil
WAKTU TUMBUH DAUN BERANGKAI TIGA YANG PERTAMA	Pada konsentrasi limbah 0 – 60% , rata-rata 50 % daun telah tumbuh pada minggu ke dua
BATANG	Pada konsentrasi 0 – 50% batang berwarna hijau kemerahan dan tumbuh tegak ; pada konsentrasi yang lebih besar berwarna hijau, berukuran lebih kecil, lebih pendek, tumbuh melengkung
AKAR	Semakin besar konsentrasi , akar semakin berkurang
BINTIL AKAR	Semakin besar konsentrasi , semakin sedikit bintil akar, berwarna semakin putih, dan hampir tidak ada pada konsentrasi 90 dan 100%

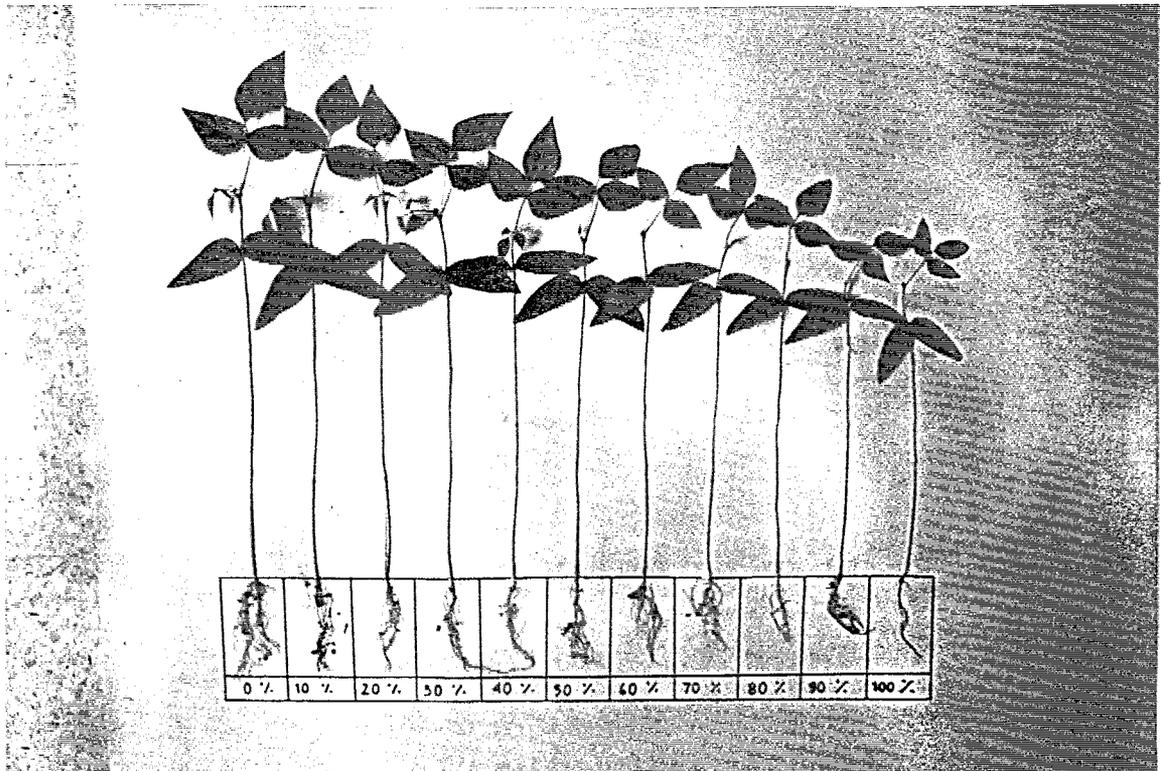
Agar dapat memperoleh gambaran yang jelas tentang hasil pengamatan terhadap pertumbuhan tinggi batang dan gejala abnormalitas morfologi maka berikut ini akan disajikan foto - foto hasil pengamatan yaitu dimulai dari proses perkecambahan sampai pengamatan pada hari terakhir.



Gambar 4.14. : Uji akut perkecambahan *Phaseolus radiatus* ( hari 2 )



Gambar 4.15. : Awal uji akut pertumbuhan tinggi batang *Phaseolus radiatus* ( hari 5 )



Gambar 4.16. : Pengamatan hari terakhir *Phaseolus radiatus*

( Semakin besar konsentrasi, batang makin pendek, daun berwarna hijau tua, terjadi abnormalitas bentuk daun, bintil akar semakin sedikit )

## B A B V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. KESIMPULAN

1. Pengoperasian Anaerobic Horizontal Baffled Reactor pada pH 7 dengan peningkatan beban organik volumetrik dari 4 kg COD / m<sup>3</sup> .hari menjadi 24 kg COD / m<sup>3</sup> .hari menghasilkan efisiensi penurunan COD yang menurun dari 95,6 % menjadi 88,47 %
2. Pengaruh limbah tempe pada *Oryza sativa* :
  - Tidak berpengaruh pada perkecambahan, benih dapat tumbuh 100 %.
  - Tidak terjadi efek EC-50-21 hari pada uji akut pertumbuhan tinggi batang dan berat kering tanaman .
  - Pada konsentrasi COD 4420 mg/l mulai memberikan efek pada pertumbuhan tinggi batang.
  - Pada konsentrasi COD 3157 mg/l mulai memberikan efek pada berat kering tanaman.
3. Pengaruh limbah tempe pada *Phaseolus radiatus* :
  - Tidak berpengaruh pada perkecambahan , benih dapat tumbuh 100 %
  - Tidak menimbulkan efek EC-50-21 pada pertumbuhan tinggi batang dan berat kering tanaman .

- Pada konsentrasi COD 2526 mg/lt mulai memberikan efek pada pertumbuhan tinggi batang.
- Pada konsentrasi COD 1894 mg/lt mulai memberikan efek pada berat kering tanaman.

## 5.2. SARAN ✕

1. Jenis reaktor anaerobik AHBR ditekankan pada terjadinya kontak antara substrat dengan biomassa aktif dan tertahannya biomassa aktif di dalam reaktor sebanyak mungkin , karena itu perlu dilakukan studi lebih lanjut tentang pengaruh perletakan baffle yang memungkinkan efek mixing hidrolis terjadi sebaik mungkin.
2. Perlu dilakukan uji kronik untuk menentukan NOEC, MATC, LOEC serta mengetahui pengaruh limbah tempe pada produktifitas hasil pertanian.

## LAMPIRAN 1

## Debit Influen

$$\text{Volume reaktor} = 5 \text{ lt} = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$1. \text{ Beban organik Volumetrik (BV)} = 6 \text{ kg COD} / \text{m}^3 \cdot \text{hari}$$

$$C = 6000 \text{ mg} / \text{lt} = 6 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$BV = \frac{Q \times C}{V}$$

$$BV = \text{kg/m}^3 \cdot \text{hari}$$

$$C = \text{kg/m}^3$$

$$Q = \frac{BV \times V}{C}$$

$$Q = \text{m}^3/\text{hari} = 694,44 \text{ ml/mt}$$

$$V = \text{m}^3$$

$$Q = (6 \times 5 \times 10^{-3}) / 6 = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{hari} = 3,4722 \text{ ml/menit}$$

$$2. \text{ BV} = 8 \text{ kg COD} / \text{m}^3 \cdot \text{hari}$$

$$Q = (8 \times 5 \times 10^{-3}) / 6 = 4,6296 \text{ ml/menit}$$

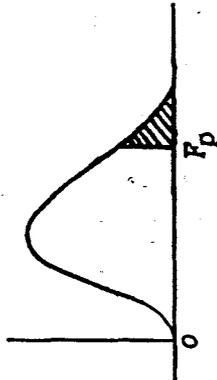
$$3. \text{ BV} = 12 \text{ kg COD} / \text{m}^3 \cdot \text{hari}$$

$$Q = (12 \times 5 \times 10^{-3}) / 6 = 6,9444 \text{ ml/menit}$$

$$4. \text{ BV} = 24 \text{ kg COD} / \text{m}^3 \cdot \text{hari}$$

$$Q = (24 \times 5 \times 10^{-3}) / 6 = 13,8888 \text{ ml/menit}$$

LAMPIRAN 2 : DISTRIBUSI F



DAFTAR I  
 Nilai Persentil  
 Untuk Distribusi F  
 (Bilangan Dalam Badan Daftar  
 Menyatakan  $F_p$ ; Baris Atas Untuk  
 $p = 0,05$  dan Baris Bawah Untuk  $p = 0,01$ )

$V_1$ = dk penyebut	$V_2$ = dk pembilang																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	$\infty$
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	246	248	249	250	251	252	253	254	254	254	254
2	4052	4990	5403	5625	5764	5859	5928	5981	6022	6066	6106	6142	6169	6208	6234	6258	6286	6302	6323	6334	6352	6361	6366	
3	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,36	19,37	19,38	19,39	19,40	19,41	19,42	19,43	19,44	19,45	19,46	19,47	19,48	19,49	19,49	19,50	19,50	
4	98,49	99,01	99,17	99,25	99,30	99,33	99,34	99,36	99,38	99,40	99,41	99,42	99,43	99,44	99,45	99,46	99,47	99,48	99,48	99,49	99,49	99,50	99,50	
5	10,13	9,56	9,28	9,12	9,01	8,94	8,88	8,84	8,81	8,78	8,76	8,74	8,71	8,69	8,66	8,64	8,62	8,60	8,58	8,57	8,56	8,54	8,54	
6	34,12	30,51	29,46	28,71	28,24	27,91	27,67	27,49	27,34	27,23	27,13	27,06	26,92	26,83	26,76	26,69	26,60	26,50	26,41	26,30	26,27	26,23	26,14	
7	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,93	5,91	5,87	5,84	5,80	5,77	5,74	5,71	5,70	5,68	5,66	5,65	5,64	
8	21,20	18,00	16,69	15,98	15,62	15,21	14,98	14,80	14,66	14,54	14,45	14,37	14,24	14,16	14,02	13,93	13,83	13,74	13,69	13,61	13,57	13,52	13,46	
9	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,78	4,74	4,70	4,65	4,64	4,60	4,56	4,53	4,50	4,46	4,44	4,42	4,40	4,38	4,37	
10	16,26	12,27	12,06	11,39	10,97	10,67	10,48	10,27	10,15	10,06	9,96	9,89	9,77	9,68	9,58	9,47	9,38	9,29	9,24	9,17	9,13	9,07	9,04	
11	8,99	8,14	7,76	7,53	7,39	7,28	7,19	7,10	7,00	6,94	6,84	6,77	6,63	6,53	6,43	6,32	6,24	6,15	6,07	6,00	5,95	5,88	5,85	
12	13,74	10,92	9,78	9,18	8,75	8,47	8,26	8,10	7,96	7,87	7,79	7,72	7,60	7,52	7,39	7,31	7,23	7,14	7,09	7,02	6,99	6,94	6,90	
13	5,69	4,74	4,36	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,63	3,60	3,57	3,53	3,49	3,44	3,41	3,38	3,34	3,32	3,29	3,28	3,25	3,24	
14	12,25	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	7,00	6,84	6,71	6,62	6,54	6,47	6,36	6,27	6,18	6,07	6,00	5,90	5,85	5,78	5,75	5,70	5,67	
15	6,22	4,45	4,07	3,84	3,69	3,63	3,59	3,54	3,50	3,44	3,39	3,31	3,23	3,20	3,15	3,12	3,08	3,05	3,03	3,00	2,98	2,96	2,94	
16	11,26	8,68	7,69	7,01	6,63	6,37	6,19	6,06	5,91	5,82	5,74	5,67	5,56	5,48	5,38	5,28	5,20	5,11	5,06	5,00	4,96	4,91	4,88	
17	8,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,13	3,10	3,07	3,03	2,98	2,93	2,89	2,86	2,83	2,80	2,77	2,76	2,73	2,71	
18	10,66	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,62	5,47	5,33	5,26	5,18	5,11	5,00	4,92	4,80	4,73	4,64	4,56	4,51	4,45	4,41	4,36	4,31	



---

## LAMPIRAN 3

### Analisa MLSS dan MLVSS

#### Alat - alat :

- a. Cawan
- b. Oven untuk pemanasan 105°C
- c. Muffle Furnaca untuk Pembakaran 550°C
- d. Neraca Analitis dengan ketelitian 0,1 mg
- e. Filter kertas Whatman
- f. Vacuum filter beserta pompanya

#### Cara kerja analisa MLSS :

1. Memanaskan filter kertas di dalam oven pada suhu 105° C selama 1 jam. Kemudian mendinginkan dalam desikator selama kurang lebih 15 menit. Menimbang filter kertas kering ini.
2. Memasukkan 25 ml sampel yang sudah dikocok merata ke dalam alat penyaring yang sudah ada filter kertas di dalamnya. Melakukan penyaringan dengan sistem vacuum.
3. Filter kertas beserta residu hasil penyaringan bersama - sama dipanaskan kembali dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam. Didinginkan dalam desikator, lalu ditimbang.

**Cara kerja analisa MLVSS :**

1. Setelah penentuan MLSS , filter kertas saring beserta residu diletakkan ke dalam cawan yang telah dipanaskan, mula - mula dalam muffle furnace pada suhu 550°C, kemudian dalam oven pada suhu 105°C.
2. Setelah dibakar dalam muffle furnace selama 10 - 20 menit kemudian dipindahkan ke dalam oven 105° C selama 30 menit. lalu didinginkan dalam desikator selama 15 menit kemudian segera ditimbang.

**Perhitungan :**

$$\text{MLSS ( mg / lt )} = \frac{( a - b ) \times 1000}{c}$$

$$\text{MLVSS ( mg / lt )} = \frac{( d - e ) \times 1000}{c}$$

di mana :

a = berat filter kertas dan residu setelah pemanasan 105°C ( mg )

b = berat filter kertas ( sesudah dipanaskan ) pada suhu 105 °C ( mg )

c = volume sampel yang disaring ( ml )

d = berat cawan dan residu ( termasuk filter kertas ) sesudah pemanasan 105°C ,  
sebelum pembakaran 550°C ( mg )

e = berat cawan dan residu sesudah pembakaran pada suhu 550°C ( mg )

---

## LAMPIRAN 4

### Analisa Nitrat

#### Alat - alat :

- a. Labu takar 100 ml
- b. Labu erlenmeyer 25 ml
- c. Pipet 1 ml, 5 ml
- d. Spectronic-20

#### Bahan :

- a. Aquades bebas nitrat
- b. Brucin asetas 0,5 % : Melarutkan 0,5 gr brucin dalam labu takar 100 ml dengan asam asetat glacial (  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pekat ) sampai 100 ml.
- c.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat
- d. Larutan standard nitrat ( 100 mg / N- $\text{NO}_3$  / lt )

Melarutkan 721.8 mg  $\text{KNO}_3$  ( yang telah dikeringkan dalam oven  $105^\circ \text{C}$  selama 24 jam ) dengan aquades sampai 1000 ml; kemudian menambahkan 2 ml  $\text{CHCl}_3$  untuk mengawetkan larutan.

#### Cara kerja :

1. Mengencerkan larutan standar nitrat 100 mg N- $\text{NO}_3$  / lt dalam beberapa konsentrasi untuk kalibrasi pada spektrofotometer. Pengenceran menggunakan aquades bebas nitrat.

2. Membaca absorpsi pada spectronic 20 untuk beberapa konsentrasi yang telah diketahui, dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) = 400 nm.
3. Membuat grafik kalibrasi nitrat berdasarkan hasil dari butir 2.
4. Memasukkan 2 ml sampel pada erlenmeyer 25 ml, kemudian menambahkan 2 ml brucin acetat 0,1 % dan 4 ml H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> pekat.
5. Mengocok campuran tersebut , dan membiarkan selama 7 menit .
6. Membaca absorbansi campuran tersebut pada spectronik 20 dengan  $\lambda = 400$  nm.
7. Menentukan konsentrasi nitrat berdasarkan grafik kalibrasi.

## Kalibrasi nitrat

Konsentrasi Nitrat ( mg / lt )	Absorbansi
0,00	0,00
0,20	0,03
0,4	0,07
0,5	0,08
1,0	0,195
2,0	0,41
4,0	0,8
5,0	1,0

---

## LAMPIRAN 5

### Analisa Nitrit

#### Alat - alat :

- a. Labu takar 100 ml
- b. Beker glass 50 ml
- c. Kertas saring
- d. Corong plastik
- e. Spectronik-20

#### Bahan :

- a. Aquades bebas nitrit
- b. Sulfanic acid :

Melarutkan 1 gr sulfanic acid dan 5 ml HCl pecat dengan aquades sampai 100 ml.

- c. Larutan NED dihidroklorida

Melarutkan 100 mg NED dihidroklorida dengan aquades sampai 100 ml

- d. Larutan standar nitrit ( 250 mg N-NO<sub>2</sub> / lt )

Melarutkan 1,232 gr NaNO<sub>2</sub> dengan aquades sampai 1000 ml . Untuk mengawetkan ditambahkan dengan 1 ml CHCl<sub>3</sub> .

- e. Spektrofotometer ( spectronic-20 )

#### Cara Kerja :

1. Mengencerkan larutan standar nitrit 250 mg / lt N-NO<sub>2</sub> / lt dalam beberapa konsentrasi untuk kalibrasi pada spektrofotomeer. Pengenceran menggunakan aquades bebas nitrit.

2. Membaca absorbansi pada spectronik-20 untuk beberapa konsentrasi yang telah diketahui, dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) = 540 nm.
3. Membuat grafik kalibrasi nitrit berdasarkan hasil dari butir 2.
4. Memasukkan 25 ml sampel yang telah disaring ke dalam beerglass 50 ml.
5. Menambahkan 0,5 ml sulfanic acid , kemudian dikocok dan dibiarkan selama kurang lebih 2 menit.
6. Menambahkan 0,5 ml NED dihidroklorida, kemudian dikocok dan didiamkan selama kurang lebih 10 menit sampai dengan 2 jam.
7. Membaca absorbansi campuran tersebut pada spectronic-20 dengan  $\lambda = 540$  nm.
8. Menentukan konsentrasi nitrit berdasarkan grafik kalibrasi .

## Kalibrasi Nitrit

Konsentrasi Nitrit ( mg / lt )	Absorbansi
0,005	0,025
0,01	0,04
0,02	0,05
0,1	0,42
0,2	0,52
0,5	1,35

## LAMPIRAN 6

## A Q C

PROSEDURE AQC DAPAT DILIHAT PADA STANDARD METHOD

SAMPEL KE	COD mg / lt
1	3385.8407
2	367.7168
3	345.2035
4	375.2212
5	375.2212
6	345.2035
7	393.5575
8	345.2035
9	367.7168
10	385.8407
11	375.2212
12	367.7168
13	345.20035
14	385.8407
15	367.7168
16	345.2035
17	375.2212
18	367.71688
19	385.8407
20	393.5575
21	367.7168
22	385.8407
23	345.2035
24	375.2212
25	375.2212
26	385.8407
27	367.7168
28	345.2035
29	393.5575
30	385.8407

SD = 16,51263402

COD RATA - RATA = 370.7775567

SIMPANGAN = 4.453 % = 0.04

## LAMPIRAN 7

## TINGGI BATANG RATA – RATA

*Oryza sativa*

KONSENTRASI LIMBAH	HARI PENGAMATAN KE							
	5	6	7	9	12	15	18	21
0%	3.18	3.54	4.10	5.10	6.02	6.88	7.60	8.22
10%	3.14	3.50	4.08	5.12	6.02	6.75	7.62	8.13
20%	3.16	3.48	4.18	5.08	6.00	6.86	7.58	8.10
30%	3.08	3.50	4.18	4.96	5.94	6.90	7.68	8.11
40%	3.14	3.46	3.98	5.00	6.02	6.82	7.68	8.10
50%	3.12	3.46	4.12	5.12	6.10	6.80	7.64	8.11
60%	3.06	3.52	4.06	5.00	6.00	6.80	7.64	8.11
70%	3.02	3.54	4.04	4.82	5.52	6.20	6.88	7.23
80%	3.00	3.54	3.92	4.63	5.24	5.74	6.32	6.74
90%	2.96	3.48	3.86	4.60	5.18	5.72	6.34	6.55
100%	2.96	3.44	3.88	4.58	5.16	5.74	6.30	6.55



TINGGI BATANG RATA RATA *Phaseolus radluis*

KONSENTRASI LIMBAH	HARI PENGAMATAN KE																				
	4	5	6	7	8	9	10	11	13	15	17	19	21								
0%	7.09	12.37	15.17	17.17	18.31	20.07	21.31	22.40	24.83	26.37	27.87	29.41	30.87								
10%	7.15	13.19	15.19	17.16	18.20	19.99	21.21	22.36	24.43	26.21	27.85	29.43	30.99								
20%	6.99	12.29	14.91	17.01	18.25	20.09	21.19	22.39	24.31	26.16	27.53	29.02	30.75								
30%	6.97	12.11	14.78	16.70	18.27	19.55	21.03	22.15	24.05	25.89	27.45	29.02	30.69								
40%	6.41	11.12	13.45	15.42	17.01	18.41	20.06	21.10	22.88	24.46	26.11	27.41	28.48								
50%	6.43	11.15	13.12	15.21	17.13	18.17	19.09	20.07	22.10	23.41	25.11	26.47	28.19								
60%	6.39	11.13	13.01	14.50	16.17	17.22	18.49	19.43	21.12	22.22	24.14	25.08	26.11								
70%	6.39	10.12	12.69	14.10	15.45	17.11	18.09	19.03	20.46	22.11	23.11	24.11	25.09								
80%	6.46	9.99	12.46	13.52	15.01	16.45	17.49	18.51	20.10	21.43	22.44	23.49	24.13								
90%	6.02	9.07	11.06	13.07	14.05	15.05	16.08	16.99	19.07	21.12	22.08	23.08	23.48								
100%	5.91	9.11	11.09	12.45	13.47	14.46	15.41	16.49	18.51	20.01	21.07	22.03	22.98								

## LAMPIRAN 9

## PERTUMBUHAAN TINGGI BATANG

*Oryza sativa*

KONSENTRASI ( % volume )	POT	TINGGI BATANG RATA RATA ( cm )		PERTUMBUHAN ( cm / hari )	PERTUMBUHAN RATA-RATA ( cm/hari )
		HARI KE 5	HARI KE 21		
0	A	3.22	8.24	0.3138	0.3150
	B	3.15	8.12	0.3106	
	C	3.17	8.3	0.3206	
10	A	3.17	8.22	0.3156	0.3117
	B	3.11	8.14	0.3144	
	C	3.14	8.02	0.3050	
20	A	3.15	8.12	0.3106	0.3088
	B	3.16	8.01	0.3031	
	C	3.18	8.18	0.3125	
30	A	3.08	8.06	0.3113	0.3140
	B	3.1	8.14	0.3150	
	C	3.07	8.12	0.3156	
40	A	3.1	8.22	0.3200	0.3102
	B	3.11	8.02	0.3069	
	C	3.2	8.06	0.3038	
50	A	3.15	8.14	0.3119	0.3123
	B	3.16	8.08	0.3075	
	C	3.04	8.12	0.3175	
60	A	3.1	8.1	0.3125	0.3160
	B	3.1	8.16	0.3163	
	C	2.97	8.08	0.3194	
70	A	2.99	7.22	0.2644	0.2631
	B	3	7.64	0.2900	
	C	3.06	6.82	0.2350	
80	A	2.92	6.82	0.2438	0.2340
	B	3	6.64	0.2275	
	C	3.07	6.76	0.2306	
90	A	2.95	6.64	0.2306	0.2248
	B	2.98	6.48	0.2188	
	C	2.94	6.54	0.2250	
100	A	2.91	6.58	0.2294	0.2248
	B	3.01	6.48	0.2169	
	C	2.95	6.6	0.2281	

Hal IV - 13

## LAMPIRAN 10

## PERTUMBUHAAN TINGGI BATANG

*Phaseolus raditus*

KONSENTRASI ( % volume )	POT	TINGGI BATANG RATA RATA ( cm )		PERTUMBUHAN ( cm / hari )	PERTUMBUHAN RATA-RATA ( cm/hari )
		HARI KE 5	HARI KE 21		
0	A	7.14	31.22	1.4165	1.3984
	B	7.2	30.86	1.3918	
	C	6.94	30.52	1.3871	
10	A	7.14	31.22	1.4165	1.4024
	B	7.22	31.22	1.4118	
	C	7.08	30.52	1.3788	
20	A	7.04	30.42	1.3753	1.3976
	B	6.96	31.3	1.4318	
	C	6.96	30.52	1.3859	
30	A	6.84	30.88	1.4141	1.3953
	B	7.08	30.58	1.3824	
	C	6.98	30.6	1.3894	
40	A	6.4	28.44	1.2965	1.2984
	B	6.4	28.58	1.3047	
	C	6.42	28.42	1.2941	
50	A	6.46	28.16	1.2765	1.2804
	B	6.42	28.2	1.2812	
	C	6.4	28.22	1.2835	
60	A	6.38	28.14	1.1624	1.1600
	B	6.44	28.08	1.1553	
	C	6.36	28.12	1.1624	
70	A	6.34	25.08	1.1024	1.1004
	B	6.48	25.1	1.0953	
	C	6.34	25.1	1.1035	
80	A	6.4	24.1	1.0412	1.0396
	B	6.54	24.14	1.0353	
	C	6.44	24.16	1.0424	
90	A	5.9	23.52	1.0365	1.0271
	B	6.1	23.44	1.0200	
	C	6.06	23.48	1.0247	
100	A	5.9	22.92	1.0012	1.0039
	B	5.88	22.96	1.0047	
	C	5.96	23.06	1.0059	

Hal IV-21

## LAMPIRAN 11

PERHITUNGAN ANAVA UNTUK PERTUMBUHAN TINGGI BATANG *Oryza sativa*PERTUMBUHAN TINGGI BATANG RATA – RATA  
*Oryza sativa*

POT	PERTUMBUHAN TINGGI BATANG RATA RATA										
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
A	0.3138	0.3156	0.3106	0.3113	0.3200	0.3119	0.3125	0.2644	0.2438	0.2306	0.2294
B	0.3106	0.3144	0.3031	0.3150	0.3069	0.3075	0.3163	0.2900	0.2275	0.2188	0.2169
C	0.3206	0.3050	0.3125	0.3156	0.3038	0.3175	0.3194	0.2350	0.2306	0.2250	0.2281
JUMLAH	0.9450	0.9350	0.9262	0.9419	0.9307	0.9369	0.9482	0.7894	0.7019	0.6744	0.6744
RATA-RATA	0.3150	0.3117	0.3087	0.3140	0.3102	0.3123	0.3161	0.2631	0.2340	0.2248	0.2248

## ANALISA VARIAN UNTUK KONSENTRASI 0%,10%,20%,30%,40%,50%,60%

HO : Konsentrasi limbah tidak berpengaruh pada pertumbuhan tinggi batang  
HO diterima bila F hitung < F tabel

$$\begin{aligned} R_y &= 2.051656343 \\ A &= 0.0001234533 \\ Y^2 &= 2.05218161 \\ D_y &= 0.0004018137 \end{aligned}$$

## KONSENTRASI 0%,10%,20%,30%,40%,50%,60%

SUMBER VARIASI	dk	JK	KT	F
RATA-RATA	1	2.051656343	2.051656343	
ANTAR KELOMPOK	6	0.0001234533	0.00002505755	0.873
DALAM KELOMPOK	14	0.0004018137	0.0000287009	
TOTAL	21	2.052181609		

$$F \text{ hitung} = 0.873$$

$$F \text{ tabel } (6,14) = 2.85$$

F hitung < F tabel -----> HO diterima

Jadi konsentrasi limbah sampai 80 % tidak menimbulkan efek pada pertumbuhan tinggi batang

## ANALISA VARIAN UNTUK KONSENTRASI 0%,10%,20%,30%,40%,50%,60%,70%

$$\begin{aligned} R_y &= 2.252959204 \\ A_y &= 0.0065380463 \\ Y^2 &= 2.26141397 \\ D_y &= 0.0019167203 \end{aligned}$$

## KONSENTRASI 0%,10%,20%,30%,40%,50%,60%,70%

SUMBER VARIASI	dk	JK	KT	F
RATA-RATA	1	2.252959204	2.252959204	
ANTAR KELOMPOK	7	0.0065380463	0.000934	7.796
DALAM KELOMPOK	16	0.0019167203	0.0001111198	
TOTAL	24	2.26141397		

$$F \text{ hitung} = 7.796$$

$$F \text{ tabel } (7,16) = 2.66$$

F hitung > F tabel -----> HO ditolak

Jadi konsentrasi limbah sampai 70 % terjadi efek pada pertumbuhan tinggi batang

## LAMPIRAN 12

PERHITUNGAN ANAVA UNTUK BERAT KERING TANAMAN *Oryza sativa*

## BERAT KERING TANAMAN PADA PENGAMATAN HARI TERAKHIR

*Oryza sativa*

POT	BERAT KERING TANAMAN PADA KONSENTRASI										
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
A	0.3823	0.4127	0.4178	0.3895	0.3884	0.3599	0.3525	0.3298	0.3271	0.3223	0.3205
B	0.3989	0.3805	0.3924	0.4133	0.3672	0.3496	0.3404	0.3385	0.3298	0.3279	0.3213
C	0.3802	0.4188	0.3813	0.3807	0.3783	0.3367	0.3475	0.3304	0.3245	0.3208	0.3278
JUMLAH	1.1614	1.2120	1.1915	1.1835	1.1339	1.0462	1.0404	0.9987	0.9814	0.9710	0.9696
RATA-RATA	0.3871	0.4040	0.3972	0.3945	0.3780	0.3487	0.3468	0.3329	0.3271	0.3237	0.3232

Hal IV - 14

## ANALISA VARIAN UNTUK KONSENTRASI 0%,10%,20%,30%,40%

HO : Konsentrasi limbah tidak berpengaruh pada pertumbuhan tinggi batang  
 HO diterima bila F hitung < F tabel

Ry = 2.306763553  
 Ay = 0.001192337  
 $Y^2 = 2.31050673$   
 Dy = 2.55084

## KONSENTRASI 0%,10%,20%,30%,40%

SUMBER VARIASI	dk	JK	KT	F
RATA-RATA	1	2.306763553	2.306763553	
ANTAR KELOMPOK	4	0.001192337	0.0002980843	1.168572901
DALAM KELOMPOK	10	0.00255084	0.000255084	
TOTAL	15	2.07137874		

F hitung = 1.168572901  
 F tabel (4,10) = 3.48  
 F hitung < F tabel -----> HO diterima  
 Jadi konsentrasi limbah sampai 40 % tidak menimbulkan efek pada berat kering

## ANALISA VARIAN UNTUK KONSENTRASI 0%,10%,20%,30%,40%,50%

Ry = 2.666895125  
 Ay = 0.005905555  
 $Y^2 = 2.677562179$   
 Dy = 0.00282111

## KONSENTRASI 0%,10%,20%,30%,40%,50%

SUMBER VARIASI	dk	JK	KT	F
RATA-RATA	1	2.666895125	2.666895125	
ANTAR KELOMPOK	5	0.005905555	0.001181111	5.024026713
DALAM KELOMPOK	12	0.0082111	0.0002350925	
TOTAL	18	2.68101178		

F hitung = 5.024026713  
 F tabel (5,12) = 3.11  
 F hitung > F tabel -----> HO ditolak  
 Jadi konsentrasi limbah sampai 50 % terjadi efek pada berat kering



## LAMPIRAN 13

PERHITUNGAN ANAVA UNTUK PERTUMBUHAN TINGGI BATANG *Phaseolus raditus*PERTUMBUHAN TINGGI BATANG RATA – RATA  
*Phaseolus raditus*

POT	PERTUMBUHAN TINGGI BATANG RATA RATA										
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
A	1.4165	1.4165	1.3753	1.4141	1.2965	1.2765	1.1624	1.1024	1.0412	1.0365	1.0012
B	1.3918	1.4118	1.4318	1.3824	1.3047	1.2812	1.1553	1.0953	1.0353	1.0200	1.0047
C	1.3871	1.3788	1.3859	1.3894	1.2941	1.2835	1.1624	1.1035	1.0424	1.0247	1.0059
JUMLAH	4.1954	4.2071	4.1930	4.1859	3.8953	3.8412	3.4801	3.3012	3.1189	3.0812	3.0118
RATA-RATA	1.3985	1.4024	1.3977	1.3953	1.2984	1.2804	1.1600	1.1004	1.0366	1.0271	1.0039

## ANALISA VARIAN UNTUK KONSENTRASI 0%,10%,20%,30%

IV - 22

HO : Konsentrasi limbah tidak berpengaruh pada pertumbuhan tinggi batang  
HO diterima bila F hitung < F tabel

Ry = 23.46794883  
A = 0.00007763  
Y<sup>2</sup> = 23.4717279  
D = 0.00370144

## KONSENTRASI LIMBAH 0%, 10%, 20%, 30%

SUMBER VARIASI	dk	JK	KT	F
RATA-RATA	1	23.46794883	23.46794883	
ANTAR KELOMPOK	3	0.00007763	0.00002588	0.0559
DALAM KELOMPOK	8	0.00370144	0.00046268	
TOTAL	12	23.4717279		

F hitung = 0.0559

F tabel (3,8) = 4.07

F hitung < F tabel -----> HO diterima

Jadi konsentrasi limbah sampai 30 % tidak menimbulkan efek pada pertumbuhan tinggi batang

## ANALISA VARIAN UNTUK KONSENTRASI 0%,10%,20%,30%,40%

Ry = 28.50172819  
A = 0.024085633  
Y<sup>2</sup> = 28.52957705  
Dy = 0.003763227

## KONSENTRASI LIMBAH 0%, 10%, 20%, 30%, 40%

SUMBER VARIASI	dk	JK	KT	F
RATA-RATA	1	28.50172819	28.50172819	
ANTAR KELOMPOK	4	0.024085633	0.0060214083	16.00068
DALAM KELOMPOK	10	0.003763227	0.0003763227	
TOTAL	15	28.52957705		

F hitung = 16.00068

F tabel (4,10) = 3.48

F hitung > F tabel -----> HO ditolak

Jadi konsentrasi limbah sampai 40 % terjadi efek pada pertumbuhan tinggi batang

## LAMPIRAN 14

PERHITUNGAN ANAVA UNTUK BERAT KERING TANAMAN *Phaseolus raditus*

## BERAT KERING TANAMAN PADA PENGAMATAN HARI TERAKHIR

*Phaseolus raditus*

POT	BERAT KERING TANAMAN PADA KONSENTRASI										
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
A	3.9402	3.9402	3.8876	3.8752	3.7122	3.5667	3.5918	3.5221	3.2828	3.3864	3.0484
B	3.8822	4.0578	3.9259	3.7131	3.5088	3.4840	3.3440	3.3922	3.4475	3.5221	3.4305
C	4.1526	4.1225	4.0240	3.6823	3.8124	3.6506	3.5033	3.6801	3.6159	3.3922	3.3864
JUMLAH	11.975	12.121	11.838	11.271	11.033	10.701	10.439	10.594	10.346	10.301	9.865
RATA-RATA	3.9917	4.0402	3.9458	3.7569	3.6778	3.5671	3.4797	3.5315	3.4487	3.4336	3.2884

hal 14 - 22

## ANALISA VARIAN UNTUK KONSENTRASI 0%, 10%, 20%

HO : Konsentrasi limbah tidak berpengaruh pada pertumbuhan tinggi batang  
HO diterima bila F hitung < F tabel

$$\begin{aligned} R_y &= 143,4668943 \\ A_y &= 0,0133512 \\ Y^2 &= 143,543633 \\ D &= 0,06511784 \end{aligned}$$

## KONSENTRASI LIMBAH 0%, 10%, 20%

SUMBER VARIASI	dk	JK	KT	F
RATA-RATA	1	143.4668943	143.4668943	
ANTAR KELOMPOK	2	0.0133512	0.0066756	0.615094112
DALAM KELOMPOK	6	0.06511784	0.010852973	
TOTAL	9	143.5453633		

F hitung = 0.615094112  
F tabel (2,6) = 5.14  
F hitung < F tabel -----> HO diterima  
Jadi konsentrasi limbah sampai 20 % tidak menimbulkan efek pada berat kering

## ANALISA VARIAN UNTUK KONSENTRASI 0%, 10%, 20%, 30%

$$\begin{aligned} R_y &= 185.6840146 \\ A_y &= 0.1383724 \\ Y^2 &= 185.9072529 \\ D_y &= 0.0848659 \end{aligned}$$

## KONSENTRASI LIMBAH 0%, 10%, 20%, 30%

SUMBER VARIASI	dk	JK	KT	F
RATA-RATA	1	185.6840146	185.6840146	
ANTAR KELOMPOK	3	0.1383724	0.046124133	4.347954439
DALAM KELOMPOK	8	0.0848659	0.010608237	
TOTAL	12	185.9072529		

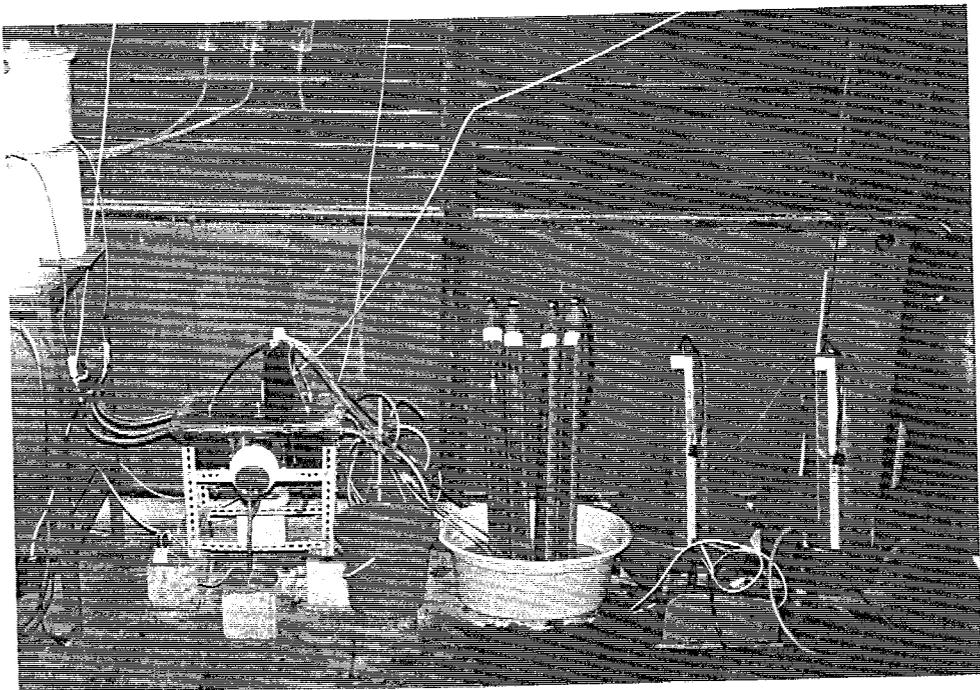
F hitung = 4.347954439  
F tabel (3,8) = 3.84  
F hitung > F tabel -----> HO ditolak  
Jadi konsentrasi limbah sampai 30 % terjadi efek pada berat kering

## LAMPIRAN 15 : KONSENTRASI COD PADA SAAT UJI EKOTOKSISITAS

TANGGAL	COD (mg/lt)
16 - 5 - 1995	6375.23
19 - 5 - 1995	5827.54
21 - 5 - 1995	6817.34
24 - 5 - 1995	6714.24
27 - 5 - 1995	5724.24
29 - 5 - 1995	5938.62
1 - 6 - 1995	6521.72
3 - 6 - 1995	6283.51
5 - 6 - 1995	6672.13
7 - 6 - 1995	6215.95
9 - 6 - 1995	6333.33
11 - 6 - 1995	6540
13 - 6 - 1995	6133.33
RATA - RATA	6315.16

10% VOLUME = 632 mg/lt  
20% VOLUME = 1263 mg/lt  
30% VOLUME = 1895 mg/lt  
40% VOLUME = 2526 mg/lt  
50% VOLUME = 3158 mg/lt  
60% VOLUME = 3789 mg/lt  
70% VOLUME = 4421 mg/lt  
80% VOLUME = 5052 mg/lt  
90% VOLUME = 5684 mg/lt  
100% VOLUME = 6315 mg/lt

Lampiran 16 : FOTO FOTO PERALATAN PENELITIAN



Model instalasi AHBR

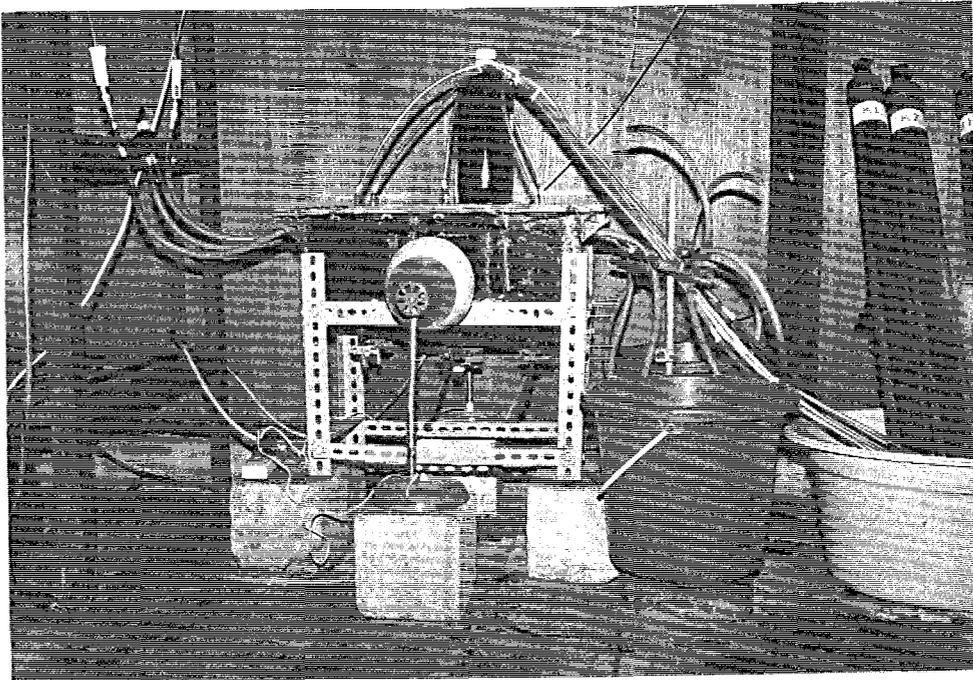
Keterangan : a = Bak influen

b = Reaktor AHBR

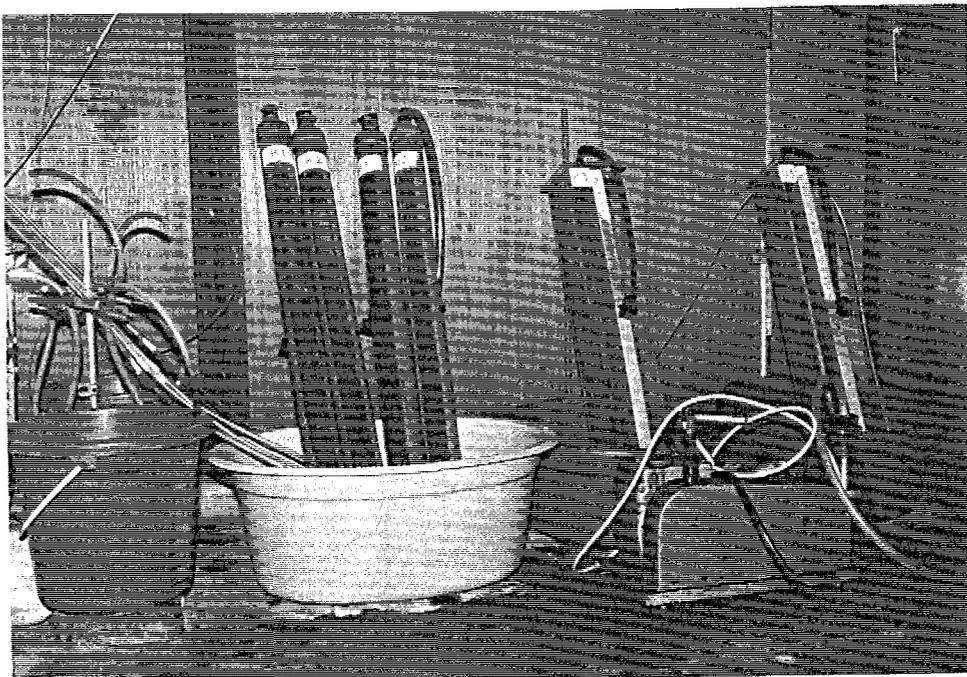
c = Bak effluen

d = Tabung gas

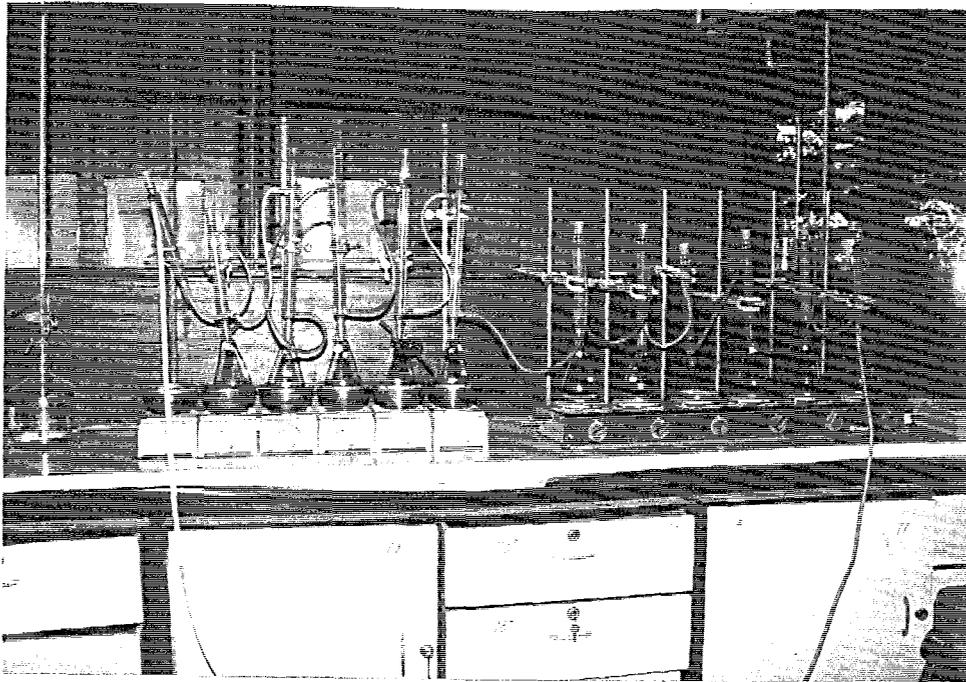
e = pompa vacuum



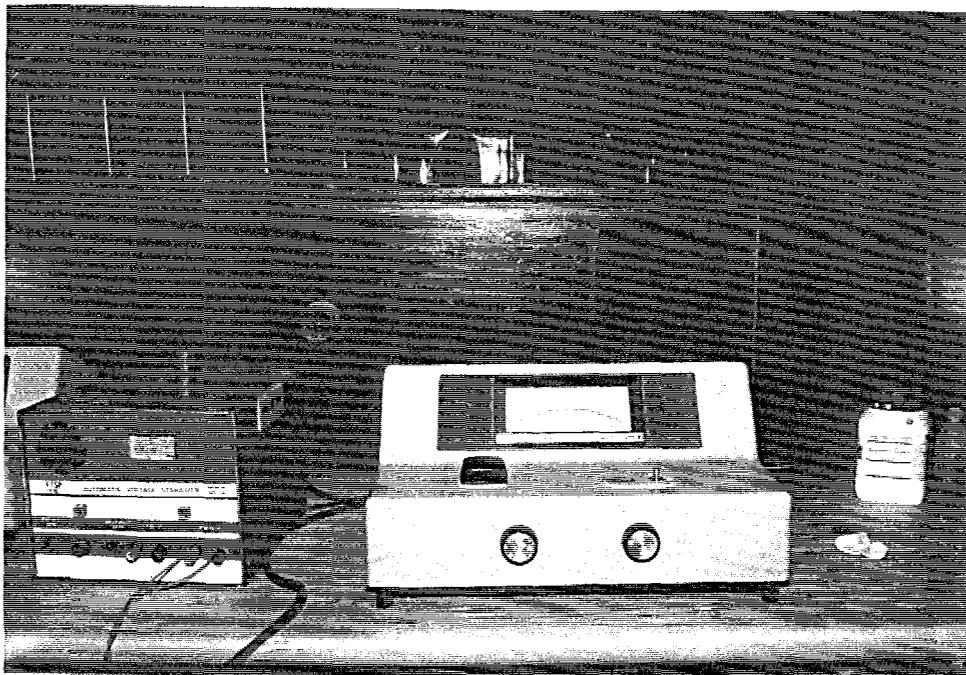
Model Reaktor AHBR



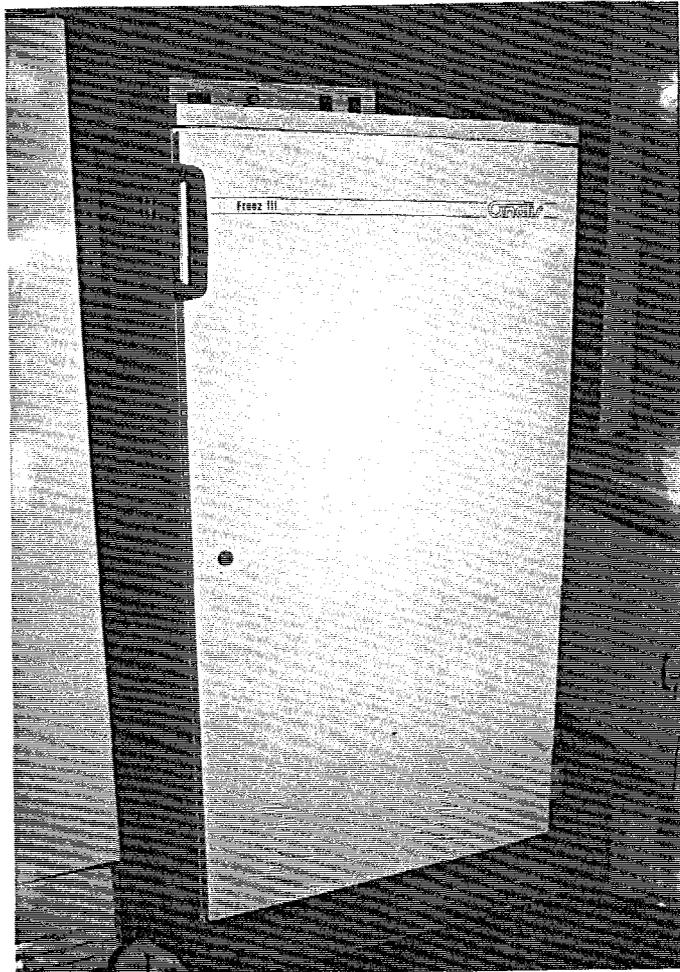
Tabung gas dan pompa vacuum



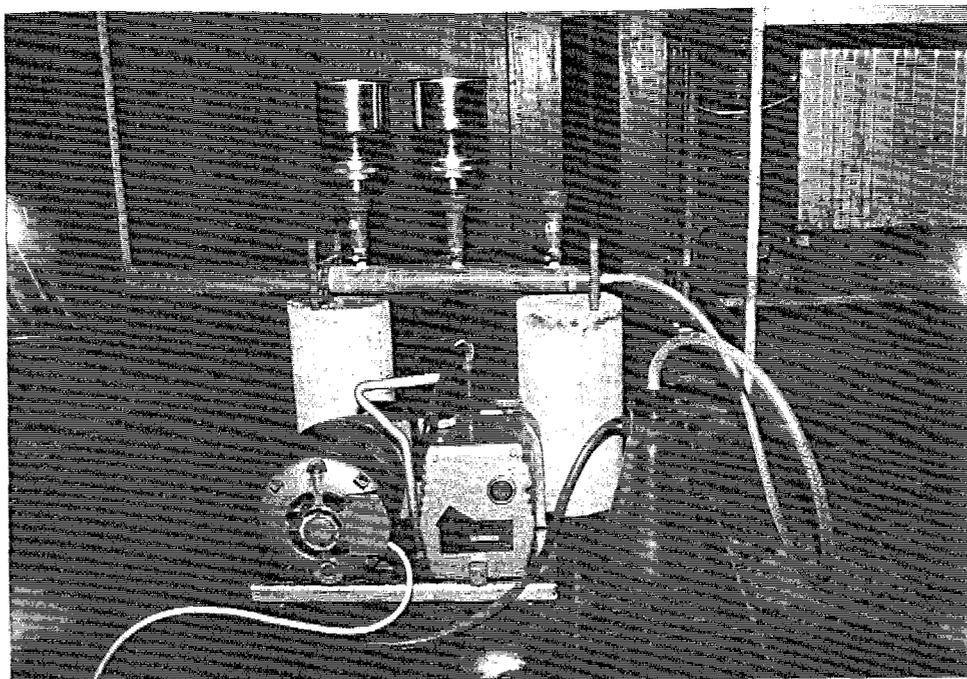
Peralatan uji COD



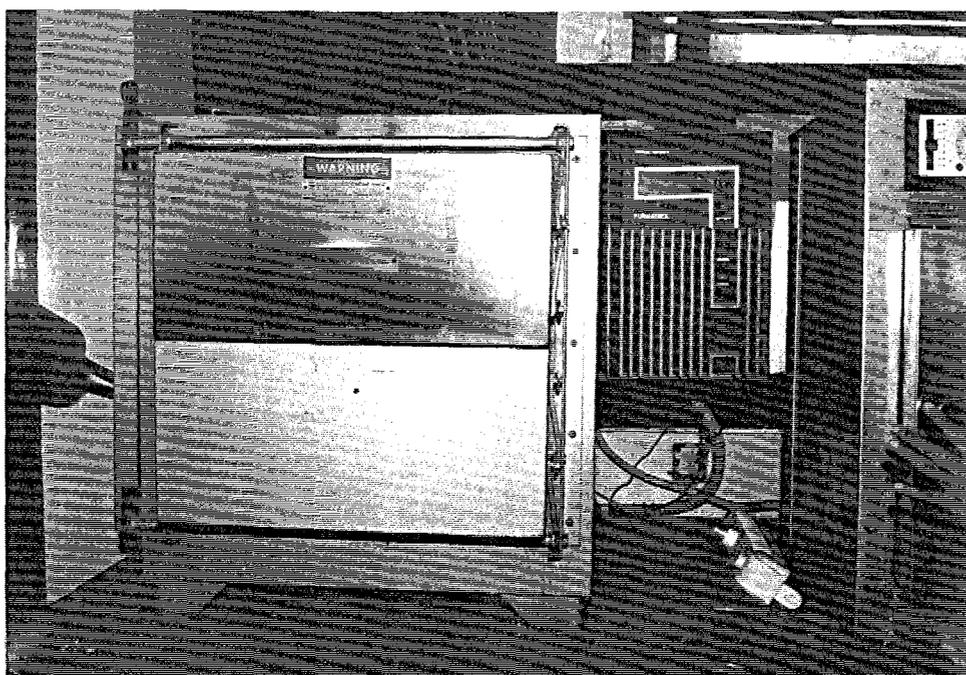
Spectronic-20



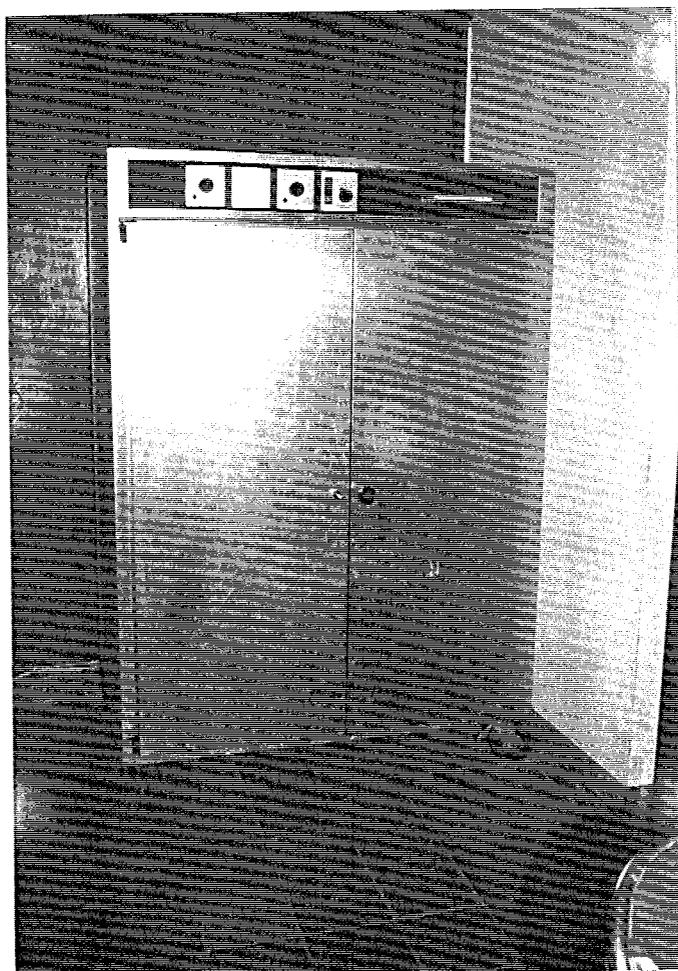
Inkubator 20° C



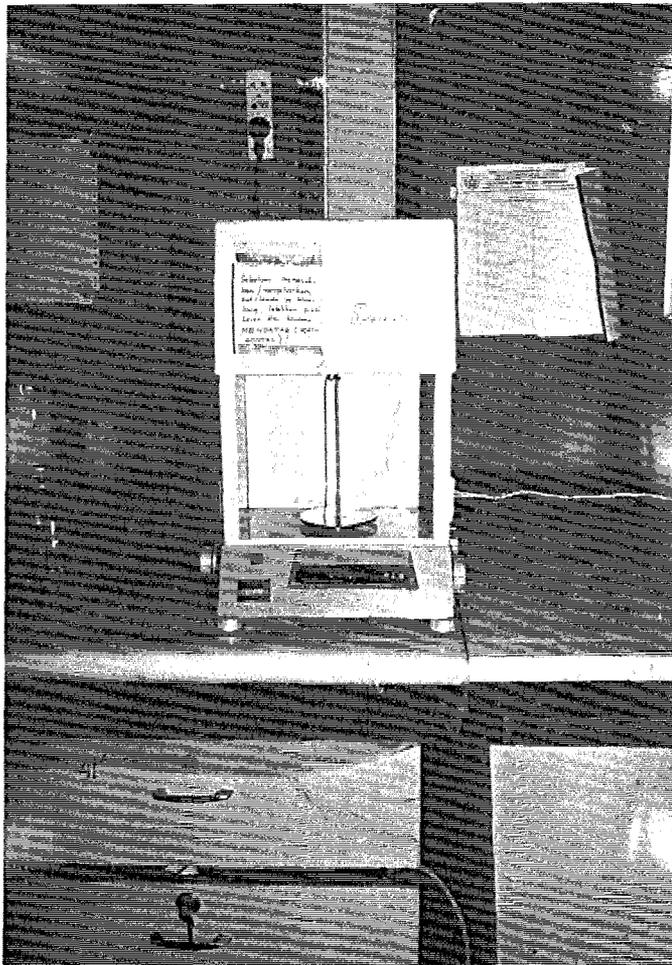
Vacuum filter



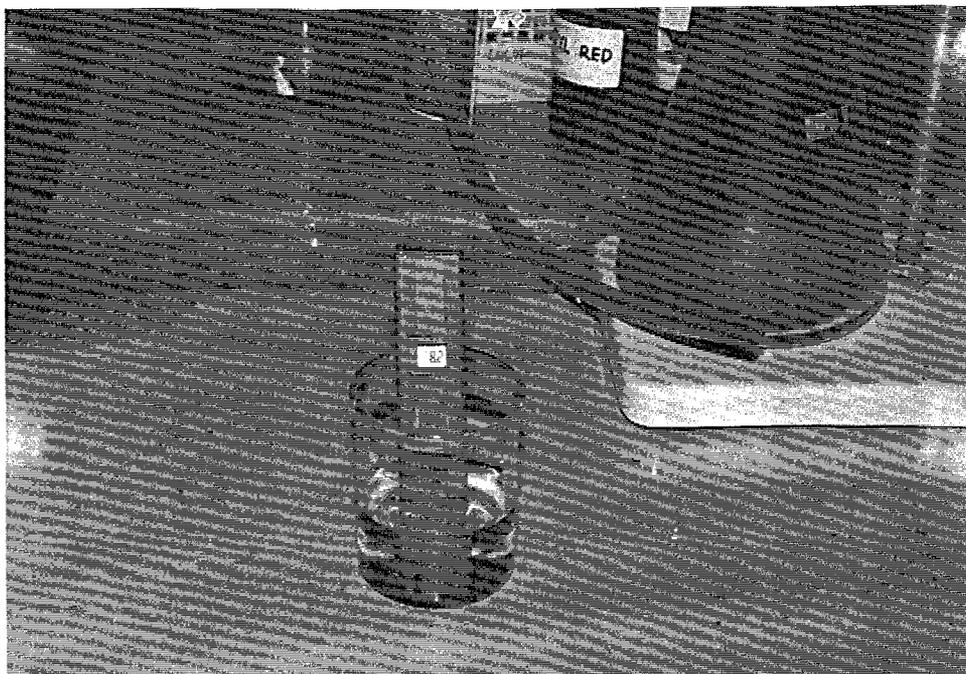
Muffle Furnace 550°C



Oven 105° C



Neraca analitik



pH meter

FORMULIR PERBAIKAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / Nrp. : .....  
Bidang Studi : .....  
Judul Tugas Akhir : .....  
.....  
.....

Yang perlu diperbaiki :

1. Perbaiki babasan
2. lengkapi dan perbaiki daftar pustaka
3. perbaiki soal tk dan perbaiki kesesuaian babasan
4. perbaiki foto<sup>1</sup> hasil pengamatan dari lampiran
5. tujus kembali penggunaan regresi dlm. kurva<sup>2</sup> hal IV-15, 16 dit.

Surabaya , .....

Mengetahui / Menyetujui :  
Dosen Pembimbing ,

Team Penguji :

1. ....
2. ....
3. Julmaifhi, Yulinah Trihadiningrum
4. ....
5. ....

Nip. \_\_\_\_\_