

# PENGENDALIAN LIMBAH INDUSTRI



Penulis :

M Lukman Baihaqi Alfakihuddin, Rita Sunartaty, Dodi Satriawan,  
Tarzan Purnomo, Erma Suryani Sahabuddin, Darsini,  
Octovianus SR Pasanda, Fathan Mubina Dewadi, Erlinda Ningsih,  
Gregorio Antony Bani, Thomas Robert Hutaauruk, Sri Andayani

# **PENGENDALIAN LIMBAH INDUSTRI**

**M Lukman Baihaqi Alfakihuddin**

**Rita Sunartaty**

**Dodi Satriawan**

**Tarzan Purnomo**

**Erma Suryani Sahabuddin**

**Darsini**

**Octovianus SR Pasanda**

**Fathan Mubina Dewadi**

**Erlinda Ningsih**

**Gregorio Antonny Bani**

**Thomas Robert Hutauruk**

**Sri Andayani**



**PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI**



# **PENGENDALIAN LIMBAH INDUSTRI**

## **Penulis :**

M Lukman Baihaqi Alfakihuddin  
Rita Sunartaty  
Dodi Satriawan  
Tarzan Purnomo  
Erma Suryani Sahabuddin  
Darsini  
Octovianus SR Pasanda  
Fathan Mubina Dewadi  
Erlinda Ningsih  
Gregorio Antonny Bani  
Thomas Robert Hutaaruk  
Sri Andayani

**ISBN : 978-623-198-187-5**

**Editor :** Dr. Neila Sulung, N.S, S.Pd. M.Kes.  
Mila Sari, M.Si.

**Penyunting:** Tri Putri Wahyuni, S.Pd.

**Desain Sampul dan Tata Letak :** Atyka Trianisa, S.Pd.

**Penerbit :** PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI  
Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

## **Redaksi :**

Jl. Pasir Sebelah No. 30 RT 002 RW 001  
Kelurahan Pasie Nan Tigo Kecamatan Koto Tengah  
Padang Sumatera Barat  
Website : [www.globaleksekuatifteknologi.co.id](http://www.globaleksekuatifteknologi.co.id)  
Email : [globaleksekuatifteknologi@gmail.com](mailto:globaleksekuatifteknologi@gmail.com)

Cetakan pertama, Maret 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang  
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk  
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.



## **KATA PENGANTAR**

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan judul Pengendalian Limbah Industri dapat diselesaikan. Buku ini berisikan bahasan tentang pengendalian limbah industri pertanian, karakteristik limbah industri pertanian, teknologi pengolahan limbah secara fisika, teknologi pengelolaan limbah secara fitoremediasi, pengendalian limbah industri minuman, pengendalian limbah industri pengolahan tahu tempe, pengendalian limbah industri kertas, pengendalian limbah argoindustri padi, pengolahan limbah dengan pirolisis, pengendalian limbah melalui hidrolisis, valuasi ekonomi limbah, pengelolaan limbah industri mebel.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur yang mudah dipahami.

Padang,       Maret 2023  
Penulis

## DAFTAR ISI

|                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| KATA PENGANTAR .....                                                             | i         |
| DAFTAR ISI .....                                                                 | ii        |
| DAFTAR GAMBAR.....                                                               | v         |
| DAFTAR TABEL.....                                                                | vi        |
| <b>BAB 1 PENGENDALIAN LIMBAH INDUSTRI PERTANIAN .....</b>                        | <b>1</b>  |
| 1.1 Pendahuluan.....                                                             | 1         |
| 1.2 Karakteristik Limbah Industri Pertanian.....                                 | 2         |
| 1.2.1 Teknologi Pengelolaan Limbah secara Fisika .....                           | 3         |
| 1.2.2 Teknologi Pengelolaan Limbah secara Kimia.....                             | 3         |
| 1.2.3 Teknologi Pengelolaan Limbah secara Biologi .....                          | 3         |
| 1.2.4 Teknologi Pengelolaan Limbah secara Fitoremediasi .....                    | 3         |
| 1.2.5 Teknologi Pengelolaan Limbah Biomassa.....                                 | 4         |
| 1.2.6 Pengendalian Limbah Industri Minuman.....                                  | 5         |
| 1.2.7 Pengendalian Limbah Industri Pengolahan Tahu Tempe .....                   | 6         |
| 1.2.8 Pengendalian Limbah Industri Kertas.....                                   | 6         |
| 1.2.9 Pengendalian Limbah Industri Kelapa Sawit.....                             | 7         |
| 1.2.10 Pengendalian Limbah Agroindustri Padi .....                               | 7         |
| 1.2.11 Pengendalian Limbah Melalui Pirolisis dan Hidrolasi.....                  | 8         |
| <b>BAB 2 KARAKTERISTIK LIMBAH INDUSTRI PERTANIAN .....</b>                       | <b>13</b> |
| 2.1 Permasalahan dan potensi limbah pertanian.....                               | 13        |
| 2.2 Karakteristik limbah industri pertanian.....                                 | 15        |
| 2.2.1 Pengolahan limbah pertanian menjadi produk bernilai ekonomis.....          | 18        |
| 2.2.2 Peran institusi dalam pengolahan limbah pertanian .....                    | 21        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                                                       | <b>23</b> |
| <b>BAB 3 TEKNOLOGI PENGOLAHAN LIMBAH SECARA FISIKA.....</b>                      | <b>25</b> |
| 3.1 Pendahuluan.....                                                             | 25        |
| 3.2 <i>Technology Screen</i> (Teknologi Saringan).....                           | 27        |
| 3.3 <i>Technology Grit Removal</i> (Teknologi Penyaring Pasir).....              | 29        |
| 3.4 <i>Technology Equalization</i> (Teknologi bak Ekualisasi).....               | 32        |
| 3.5 <i>Technology Grease Removal</i> (Teknologi Pemisahan Lemak dan Minyak)..... | 33        |
| 3.6 <i>Technology Sedimentation</i> (Teknologi Sedimentasi) .....                | 35        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                                                       | <b>38</b> |
| <b>BAB 4 TEKNOLOGI PENGELOLAAN LIMBAH SECARA FITOREMEDIASI .....</b>             | <b>39</b> |
| 4.1 Pendahuluan.....                                                             | 39        |
| 4.2 Fitoremediasi.....                                                           | 41        |

|                                                                                  |            |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.1 Konsep Dasar Fitoremediasi .....                                           | 42         |
| 4.2.2 Mekanisme Fitoremediasi .....                                              | 43         |
| 4.3 Peran Tumbuhan Dalam Fitoremediasi .....                                     | 49         |
| 4.3.1 Proses Degradasi .....                                                     | 51         |
| 4.3.2 Proses Ekstraksi .....                                                     | 52         |
| 4.3.3 Proses Stabilisasi .....                                                   | 55         |
| 4.4 Aplikasi Teknologi Fitoremediasi Dalam Pengelolaan Limbah .....              | 57         |
| 4.5 Pertimbangan Dalam Menentukan Spesies Tumbuhan Sebagai<br>Fitomediator ..... | 66         |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                                      | <b>72</b>  |
| <b>BAB 5 PENGENDALIAN LIMBAH INDUSTRI MINUMAN .....</b>                          | <b>81</b>  |
| 5.1 Pengertian Pengendalian .....                                                | 81         |
| 5.2 Pengertian Limbah dan Klasifikasinya .....                                   | 86         |
| 5.3 Pengertian Industri Minuman .....                                            | 90         |
| 5.4 Pengendalian Limbah Industri Minuman .....                                   | 91         |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                                      | <b>98</b>  |
| <b>BAB 6 PENGENDALIAN LIMBAH INDUSTRI PENGOLAHAN TAHU<br/>    TEMPE .....</b>    | <b>103</b> |
| 6.1 Pendahuluan .....                                                            | 103        |
| 6.2 Proses Pembuatan Tahu dan Tempe .....                                        | 105        |
| 6.3 Karakteristik Limbah Industri Tahu dan tempe .....                           | 110        |
| 6.4 Pengolahan dan Pengendalian Limbah Tahu dan Tempe .....                      | 111        |
| <b>BAB 7 PENGENDALIAN LIMBAH INDUSTRI KERTAS .....</b>                           | <b>119</b> |
| 7.1 Pendahuluan .....                                                            | 119        |
| 7.2 Limbah Industri Pulp Dan Kertas .....                                        | 120        |
| 7.3 Dampak Limbah Kertas .....                                                   | 126        |
| 7.4 Pencegahan dan Pengelolaan Limbah Kertas .....                               | 130        |
| 7.5 Kertas Daur Ulang .....                                                      | 132        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                                      | <b>136</b> |
| <b>BAB 8 PENGENDALIAN LIMBAH ARGOINDUSTRI PADI .....</b>                         | <b>141</b> |
| 8.1 Pendahuluan .....                                                            | 141        |
| 8.2 Argoindustri Padi .....                                                      | 147        |
| 8.3 Soal-Soal iLatihan .....                                                     | 147        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                                      | <b>149</b> |
| <b>BAB 9 PENGOLAHAN LIMBAH DENGAN PIROLISIS .....</b>                            | <b>153</b> |
| 9.1 Latar Belakang Pirolisis Limbah .....                                        | 153        |
| 9.2 Pirolisis Limbah .....                                                       | 156        |
| 9.2.1 Pengertian Pirolisis .....                                                 | 157        |
| 9.2.2 Jenis Pirolisis .....                                                      | 159        |
| 9.2.3 Tipe Reaktor Pirolisis .....                                               | 164        |



|                                                                      |            |
|----------------------------------------------------------------------|------------|
| 9.2.4 Faktor – Faktor Operasi Pirolisis .....                        | 169        |
| 9.3 Produk Pirolisis dan Aplikasinya.....                            | 171        |
| 9.3.1 Gas .....                                                      | 172        |
| 9.3.2 Minyak.....                                                    | 173        |
| 9.3.3 Arang.....                                                     | 174        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                                           | <b>177</b> |
| <b>BAB 10 PENGENDALIAN LIMBAH MELALUI HIDROLISIS.....</b>            | <b>183</b> |
| 10.1 Pendahuluan.....                                                | 183        |
| 10.2 Pencemaran Lingkungan.....                                      | 185        |
| 10.3 Limbah.....                                                     | 185        |
| 10.4 Hidrolisis .....                                                | 186        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                                           | <b>193</b> |
| <b>BAB 11 VALUASI EKONOMI LIMBAH.....</b>                            | <b>197</b> |
| 11.1 Pendahuluan.....                                                | 197        |
| 11.2 Permasalahan dan Solusi Limbah Industri .....                   | 201        |
| 11.3 Pendekatan Dalam Penentuan Valuasi Ekonomi Limbah .....         | 203        |
| 11.3.1 Metode Langsung.....                                          | 208        |
| 11.3.2 Metode Tidak Langsung .....                                   | 208        |
| 11.4 Valuasi Ekonomi Total ( <i>Total Economic Value</i> , TEV)..... | 209        |
| 11.5 Model Valuasi Ekonomi Limbah.....                               | 212        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                                           | <b>219</b> |
| <b>BAB 12 PENGELOLAAN LIMBAH INDUSTRI MEBEL .....</b>                | <b>221</b> |
| 12.1 Pendahuluan.....                                                | 221        |
| 12.2 Limbah Hasil dari Industri Mebel .....                          | 223        |
| 12.3 Pengelolaan Limbah Industri Mebel.....                          | 225        |
| 12.3.1 Penimbunan.....                                               | 225        |
| 12.3.2 Pembakaran.....                                               | 225        |
| 12.3.3 Daur Ulang.....                                               | 227        |
| 12.4 Penutup.....                                                    | 229        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                                           | <b>230</b> |
| <b>BIODATA PENULIS</b>                                               |            |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 2.1. (a) Pembuatan pupuk kompos dan pupuk cair oleh mahasiswa Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Serambi Mekkah. (b). Aplikasi pupuk limbah industri pertanian pada tanaman (c). Promosi produk mahasiswa Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Serambi Mekkah..... | 22  |
| Gambar 3.1 Macam – macam Pengolahan Air Limbah.....                                                                                                                                                                                                                                   | 25  |
| Gambar 3.2 Macam-macam Teknologi Pengolahan Air Limbah Secara Fisika.....                                                                                                                                                                                                             | 26  |
| Gambar 3.3 Macam-macam Technology Screen. ....                                                                                                                                                                                                                                        | 27  |
| Gambar 3.5 Jenis jarak jeruji Technology Screen.....                                                                                                                                                                                                                                  | 29  |
| Gambar 3.6 Parameter Perhitungan Grit Chamber.....                                                                                                                                                                                                                                    | 30  |
| Gambar 3.7 Jenis Grease Trap.....                                                                                                                                                                                                                                                     | 34  |
| Gambar 3.8 Macam-macam penempatan proses sedimentasi .....                                                                                                                                                                                                                            | 36  |
| Gambar 4.1 Proses Fitostabilisasi (Phytostabilization) Kontaminan .....                                                                                                                                                                                                               | 58  |
| Gambar 4.2 Proses Fitoekstraksi/Fitoakumulasi Kontaminan .....                                                                                                                                                                                                                        | 58  |
| Gambar 4.3 Proses Rizofiltrasi (Rhizofiltration) Kontaminan .....                                                                                                                                                                                                                     | 59  |
| Gambar 4.4. Proses Fitodegradasi/Fitotransformasi Kontaminan .....                                                                                                                                                                                                                    | 60  |
| Gambar 4.5 Proses Rizodegradasi Kontaminan .....                                                                                                                                                                                                                                      | 61  |
| Gambar 4.6 Proses Fitovolatilisasi (Phytovolatilization) Kontaminan .....                                                                                                                                                                                                             | 61  |
| Gambar 5.1. Limbah yang dihasilkan industri minuman berkemasan .....                                                                                                                                                                                                                  | 94  |
| Gambar 6.1. Bagan Proses Pembuatan Tahu .....                                                                                                                                                                                                                                         | 108 |
| Gambar 6.2. Bagan Proses Pembuatan Tempe .....                                                                                                                                                                                                                                        | 109 |
| Gambar 6.3. Proses pengolahan limbah sederhana system kombinasi Anaerobik-Aerobik dengan Biofilter .....                                                                                                                                                                              | 114 |
| Gambar 6.3. Modifikasi Proses Lumpur Aktis (A) Sistem Aerasi Lanjutan (B). Parit Oksidasi .....                                                                                                                                                                                       | 116 |
| Gambar 7.1. European paper recycling 1995-2009 in million tonnes (European Declaration on Paper Recycling 2006 – 2010, Monitoring Report 2009 (2010)).....                                                                                                                            | 134 |
| Gambar 8.2. Banyaknya Limbah di Indonesia.....                                                                                                                                                                                                                                        | 143 |

|                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 9.1. Konsumsi Sampah Kota Padat Limbah di USA, China dan Eropa.....                                               | 155 |
| Gambar 9.2. Proses Konsep Pencairan Arketipe Pirolisis.....                                                              | 158 |
| Gambar 9.3. Depolimerisasi selulosa memodifikasi model waterloo .....                                                    | 159 |
| Gambar 9.4. Unit pirolisis yang ada dan yang diusulkan pada skala 1 – 10 t.h–1. Metso–Sistem Fortum terintegrasi.....    | 163 |
| Gambar 9.5. Reaktor Pirolisis Tipe Fluidized Bed.....                                                                    | 165 |
| Gambar 9.6. Tungku Reaktor Pirolisis Tipe Rotary Kiln .....                                                              | 166 |
| Gambar 9.7. Reaktor Pirolisis Tipe Screw Conveyor .....                                                                  | 166 |
| Gambar 9.8. Skema Sederhana Solar Reaktor Pirolisis .....                                                                | 168 |
| Gambar 10.1. Reaksi penguraian senyawa kompleks menjadi sederhana dalam reactor .....                                    | 188 |
| Gambar 10.1. Proyeksi Total Limbah Padat Perkotaan yang Dihasilkan Berdasarkan Kelompok Pendapatan (dalam juta ton)..... | 201 |
| Gambar 11.2. Kurva Utilitas .....                                                                                        | 205 |
| Gambar 11.3. Tiga Opsi Menghitung Valuasi Ekonomi Limbah....                                                             | 210 |
| Gambar 12.1 Penggunaan Biokompos Serbuk Gergaji Pada Tanaman Jagung.....                                                 | 229 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 2.1. Jenis limbah pertanian dan potensi pemanfaatannya..                                                                                                           | 18  |
| Tabel 4.1. Kontribusi Proses Fitoremediasi Pada Proses Degradasi<br>atau Transformasi Zat Pencemar Dalam Tanah dan Air.<br>.....                                         | 52  |
| Tabel 4.2. Proses Masuknya atau Ekstraksi Pencemar dari Tanah atau<br>Air ke Dalam Tumbuhan.....                                                                         | 53  |
| Tabel 4.3. Stabilisasi atau Proses Pencegahan Perpindahan isi atau<br>Pengangkutan.....                                                                                  | 55  |
| Tabel 8.1. Klasifikasi Limbah secara Umum .....                                                                                                                          | 146 |
| Tabel 9.1. Perbedaan Pirolisis Lambat dan Pirolisis Cepat .....                                                                                                          | 160 |
| Tabel 11.1. Perbandingan Biaya per satuan limbah industri tidak<br>mengandung unsur Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)<br>dengan limbah industri mengandung unsur B3 ..... | 202 |
| Tabel 11.2. Teknik Valuasi Ekonomi Lingkungan.....                                                                                                                       | 207 |
| Tabel 11.3. Pendekatan Valuasi Ekonomi Yang Hilang.....                                                                                                                  | 212 |
| Tabel 11.4. Pendekatan Biaya Pemulihan.....                                                                                                                              | 214 |
| Tabel 11.5. Pendekatan Biaya Penilaian.....                                                                                                                              | 214 |
| Tabel 11.6. Beberapa Model Valuasi Ekonomi Limbah.....                                                                                                                   | 216 |
| Tabel 12.1 Analisis Kadar Hara Biokompos Limbah Kayu.....                                                                                                                | 228 |



# **BAB 1**

# **PENGENDALIAN LIMBAH INDUSTRI**

# **PERTANIAN**

**Oleh M Lukman Baihaqi Alfakihuddin**

## **1.1 Pendahuluan**

Sektor pertanian adalah salah satu sektor utama yang menghasilkan limbah padat pertanian dalam jumlah terbesar, yang dapat dibiarkan menumpuk tanpa pandang bulu dan merupakan gangguan terhadap kesehatan global dan ancaman terhadap ketahanan pangan atau digunakan sebagai bahan baku untuk bio-ekonomi. Manfaat daur ulang limbah padat pertanian termasuk pengurangan emisi gas rumah kaca dan penggunaan sebagai bahan bakar fosil serta berkontribusi secara signifikan terhadap pengembangan pasar hijau baru, penciptaan lapangan kerja, produksi bio-energi dan bio-konversi limbah padat pertanian menjadi pakan ternak (Singh Nee Nigam and Pandey, 2009).

Penekanan pada pengelolaan limbah padat pertanian tidak bisa dibesar-besarkan. Limbah padat pertanian dihasilkan dari banyak sumber. Salah satu sumber tersebut adalah pestisida, termasuk herbisida dan insektisida. Diperkirakan bahwa produksi pangan global akan turun dengan perkiraan sekitar 42% jika penggunaan pestisida benar-benar dihentikan. Pengaruh limbah padat pertanian terhadap kesehatan manusia, kesehatan hewan, dan lingkungan sangat signifikan dan semua pihak harus berada di dek untuk mengatasi ancaman yang ditimbulkan oleh salah

urus limbah padat pertanian. Limbah padat pertanian salah urus sebagian besar karena ketidaktahuan. Banyak petani dan manajer rumah tangga yang menghasilkan limbah ini tidak tahu bagaimana mengelolanya secara efektif (Alfakihuddin and Paratih, 2022). Banyak dari mereka tidak tahu implikasi kesehatan dari apa yang mereka mainkan, sementara beberapa yang tahu 'cacat'. Tahun demi tahun, berton-ton besar limbah padat pertanian sedang diproduksi, dengan peningkatan tahunan sekitar 7,5%. Di banyak bagian di negara berkembang, limbah padat pertanian dibuang atau dibakar tanpa pandang bulu di tempat-tempat umum, sehingga mengakibatkan timbulnya polusi udara, kontaminasi tanah, gas berbahaya, asap dan debu dan residu dapat disalurkan ke sumber air sehingga mencemari air dan lingkungan akuatik (Drosg *et al.*, 2015).

## **1.2 Karakteristik Limbah Industri Pertanian**

Limbah pertanian (AW) dapat didefinisikan sebagai residu dari pertumbuhan dan pengolahan produk pertanian mentah seperti buah-buahan, sayuran, daging, unggas, produk susu dan tanaman. Limbah pertanian dapat berupa padat, cair atau bubur tergantung pada sifat kegiatan pertanian (Singh Nee Nigam and Pandey, 2009).

Selain itu, residu dan limbah industri pertanian merupakan proporsi yang signifikan dari produktivitas pertanian di seluruh dunia. Meskipun jumlah limbah yang dihasilkan oleh sektor pertanian secara signifikan rendah dibandingkan dengan limbah yang dihasilkan oleh industri lain, potensi polusi limbah pertanian tinggi dalam jangka panjang. Buku ini membahas karakteristik, jenis dan pilihan pengelolaan limbah pertanian (Patti, Cicala and Acierno, 2021).

### 1.2.1 Teknologi Pengelolaan Limbah secara Fisika

Pengolahan fisik air limbah adalah ketika sifat fisik dan mekanik dan pemisahan dan penghilangan materi partikulat eksternal dari air limbah digunakan. Membuang sampah sembarangan, menilai, mengambang, sekuestrasi, dan proses lainnya adalah contohnya.

### 1.2.2 Teknologi Pengelolaan Limbah secara Kimia

Pengolahan limbah secara kimiawi mengacu pada pengurangan sifat berbahayanya dengan menggunakan beberapa bahan kimia tertentu seperti asam, basa, pengoksidasi, reduksi, dll. Pengolahan kimia juga membantu memulihkan produk sampingan yang berharga dari limbah berbahaya; Dengan demikian, ini mengurangi biaya keseluruhan pembuangan limbah (*Organic Waste Composting through Nexus Thinking*, 2020).

### 1.2.3 Teknologi Pengelolaan Limbah secara Biologi

Teknologi Pengolahan Air Limbah Biologis adalah komponen penting dalam banyak sistem pengolahan air limbah. Sistem ini adalah alat yang efektif untuk memecah bahan organik dan polutan lainnya untuk membantu organisasi memenuhi persyaratan izin pembuangan dan mengurangi biaya tambahan saluran pembuangan (Singh and Kalia, 2017).

### 1.2.4 Teknologi Pengelolaan Limbah secara Fitoremediasi

Fitoremediasi, penggunaan tanaman hijau untuk mengolah dan mengendalikan limbah dalam air, tanah, dan udara, merupakan bagian penting dari bidang baru rekayasa ekologi. Aplikasi in situ dan ex situ diatur oleh karakteristik tanah dan air situs, keberlanjutan nutrisi, meteorologi, hidrologi, ekosistem yang layak, dan karakteristik kontaminan.



Fitotoksisitas dan keterbatasan transportasi massal atau ketersediaanhayati cenderung sangat penting dalam aplikasi. Sebagian besar aplikasi tidak mahal karena ketergantungan pada sinar matahari dan daur ulang nutrisi in situ tetapi perawatan di area lahan yang luas dan waktu yang lebih lama untuk perawatan biasanya terbatas pada zona akar dan air dangkal. Aplikasi lahan basah, padang rumput, tanaman, dan perkebunan pohon telah berhasil untuk berbagai limbah, biasanya hadir dalam konsentrasi rendah yang tidak fitotoksik akut. Limbah organik dan anorganik termasuk logam dan metalloid, beberapa kontaminan xenobiotik, dan garam lindi, limbah, lumpur, dan limbah konvensional lainnya. Beberapa pengobatan yang berlebihan atau cadangan mungkin diperlukan tergantung pada akutnya toksisitas untuk mengimbangi variabilitas sistem biologis. Namun, sangat sedikit teknik fitoremediasi yang telah dioptimalkan untuk keberlanjutan menggunakan prinsip-prinsip dasar rekayasa ekologi. Aplikasi monokultur hibrida dan kadang-kadang spesies asing, dan ekosistem sederhana tanaman dan mikroorganisme layak tetapi sulit diterapkan dalam beberapa kasus. Rekayasa diri dan desain sendiri perlu dieksplorasi dan digunakan untuk menerapkan ekosistem berkelanjutan untuk mengelola limbah. Kunci untuk menerapkan ekosistem berkelanjutan adalah pengetahuan tentang keanekaragaman genetik dan proteomik yang diperlukan untuk memilih tanaman dan organisme lain dengan kegiatan optimal untuk mengubah atau mengakumulasi polutan (Tjhin and Alfakihuddin, 2022).

### **1.2.5 Teknologi Pengelolaan Limbah Biomassa**

Fraksi organik mewakili hampir setengah dari limbah padat kota yang dihasilkan secara global (MSW), yang diproduksi pada tingkat 2,01 miliar ton per tahun (Kaza *et al.*,

2018). Fraksi organik sampah padat kota (OFMSW) ini terdiri dari limbah hijau dan makanan dari taman, rumah tangga, perdagangan, dan restoran (Al Seadi *et al.*, 2013). Ini adalah limbah organik yang melimpah, dengan kadar air tinggi dan komposisi kompleks dalam polisakarida, lignoselulosa, protein gula, lipid, dan makro / mikronutrien (Campuzano dan González-Martínez, 2016). Dari perspektif ekonomi sirkular, di mana sampah organik sebagai sumber bioproduk baru harus disimpan dalam siklus produksi selama mungkin (Wadleigh, 2013).

Baru-baru ini, fokusnya telah dialihkan ke produksi produk bernilai pasar yang lebih tinggi dan hidrolisis enzimatis telah muncul sebagai alat untuk mengekstraksi senyawa fungsional, seperti gula, asam lemak, atau protein (Pleissner dan Peinemann, 2020). Gula memiliki minat khusus karena dapat menjadi platform untuk produksi bioproduk melalui proses fermentasi (Cabas Candama *et al.*, 2020; Zhang dkk., 2020).

### 1.2.6 Pengendalian Limbah Industri Minuman

Setiap air limbah dari rantai produksi makanan dan minuman menghadirkan tantangan pengolahan spesifiknya sendiri. Rantai pengolahan daging, unggas atau ikan memiliki pengolahan air limbah yang berbeda: Sistem penguapan air limbah EVALED® sangat ideal untuk pengolahan air limbah susu, pengolahan air limbah industri minuman, untuk pengolahan air limbah produksi ragi serta untuk air limbah industri pengalengan buah dan sayuran. Kami tahu bahwa minuman, produksi jus buah, pembuatan bir, produksi minuman beralkohol, dan penyulingan memiliki kebutuhan pengolahan air limbah yang berbeda dan spesifik: itulah sebabnya produk pengolahan air limbah kami juga sangat cocok untuk pengolahan air limbah penyulingan dan untuk air

limbah dari bahan makanan atau proses produksi gula-gula (Alfakihuddin, Zakiyyah and Praditha, 2022).

### **1.2.7 Pengendalian Limbah Industri Pengolahan Tahu Tempe**

Limbah cair yang dihasilkan dari industri tahu dan tempe sebelum dibuang ke lingkungan haruslah dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Hal ini dimaksudkan agar limbah cair tersebut tidak mencemari lingkungan dan kualitas lingkungan yang sehat tetap terjaga. Limbah yang berasal dari industri olahan makanan, merupakan tempat yang subur untuk berkembangbiaknya mikroorganisme, terutama mikroba patogen. Mikroba patogen yang berkembangbiak dalam air tercemar menyebabkan timbulnya berbagai penyakit dan semuanya merupakan penyakit yang dapat menular dengan mudah. Kelestarian lingkungan bergantung pada kualitas lingkungan itu sendiri, dengan catatan dapat memberikan daya dukung yang optimal bagi kelangsungan hidup manusia, hewan dan tumbuhan di suatu wilayah (Ashworth and Azevedo, 2009).

### **1.2.8 Pengendalian Limbah Industri Kertas**

Pabrik pulp dan kertas melepaskan sejumlah besar limbah secara global. Sebagian besar limbah ini langsung dibuang ke tempat pembuangan sampah dengan pembakaran minimal dan daur ulang nihil. Meskipun ada uji coba untuk penggunaan kembali limbah ini di beberapa negara maju , trennya hampir tidak ada di negara berkembang. Tinjauan saat ini telah menunjukkan bahwa pabrik pulp dan kertas biomassa; selain penggunaan konvensional, dapat diubah menjadi biomaterial yang memiliki nilai tinggi untuk aplikasi serbaguna. Terungkap bahwa biomassa yang dihasilkan dari pabrik menyediakan bahan untuk sintesis biomaterial seperti lignin,

hemiselulosa, selulosa, dan berbagai mineral. Pentingnya bahan biomassa adalah bahwa mereka dapat diubah menjadi biomaterial bernilai tambah tinggi menggunakan sistem biorefinery yang sesuai. Dengan hal ini, kemungkinan diamati bahwa bahan teknik yang berpotensi penting seperti serat karbon, bioplastik, dan serat, CNC, dan biokomposit dapat diproduksi dari biomassa limbah untuk aplikasi teknik yang beragam. Biomaterial yang disintesis melalui teknologi yang tepat dan layak akan berguna untuk pembuatan produk berbasis bio serbaguna yang digunakan dalam aplikasi konvensional, berkinerja tinggi, dan cerdas yang tersebar luas.

### **1.2.9 Pengendalian Limbah Industri Kelapa Sawit**

Kelimpahan produk sampingan minyak sawit, pengelolaan berkelanjutan dari produk sampingan ini diperlukan untuk pembangunan berkelanjutan. Hal ini disebabkan bahwa sampah dari proses biologis, proses pengomposan, dan kompos dapat menjadi alternatif yang tepat untuk pengelolaan sampah berkelanjutan [6-8]. Pemanfaatan limbah menjadi suatu produk dapat mengurangi kerusakan lingkungan dan memberikan dampak positif bagi industri dan masyarakat sekitar. Kegiatan ini dapat meminimalisir dampak negatif limbah kelapa sawit dan mengoptimalkan dampak positifnya bagi masyarakat (Singh and Kalia, 2017; English *et al.*, 2019).

### **1.2.10 Pengendalian Limbah Agroindustri Padi**

Upaya sedang dilakukan untuk mengembangkan penggunaan limbah pertanian yang dapat diterima secara ekonomi dan sosial, dan seperti yang ditinjau oleh Moraes *et al.* (2014), penggunaan dapat dilakukan dari semua bahan dari siklus produksi beras. Dari berbagai yang disebut produk limbah, beras pecah dan dedak padi dapat dimanfaatkan

sepenuhnya oleh industri makanan, dan tidak dipertimbangkan dalam ulasan saat ini, meskipun perlu ditunjukkan bahwa dedak padi memiliki aplikasi potensial sebagai makanan fungsional melalui kemampuannya untuk menghambat kolonisasi *Salmonella* di saluran pencernaan (Bodie *et al.*, 2019), serta menjadi sumber minyak dengan berbagai sifat kesehatan bermanfaat yang dilaporkan dan titik asap yang tinggi. Selain itu, potensi penggunaan jerami padi untuk produksi bahan bakar dan berbagai produk lainnya telah ditinjau oleh Abraham *et al.* (2016). Karena sekam padi diproduksi di luar lokasi selama pemrosesan gabah, persentase yang lebih tinggi digunakan, meskipun secara tradisional juga dianggap sebagai limbah dan sering dibuang dan / atau dibakar.

### **1.2.11 Pengendalian Limbah Melalui Pirolisis dan Hidrolasi**

Pirolisis Pertama adalah teknologi yang memungkinkan kita untuk mengubah senyawa organik atau limbah kalori tinggi dan plastik menjadi gas syn (gas sintesis) yang berharga. Ini terutama dekomposisi kimia dari bahan limbah melalui panas. Pirolisis beroperasi pada sekitar 500oC tanpa oksigen untuk menghasilkan padat (arang), cair (tar), dan gas [1]. Dalam proses Pirolisis, di antara dua elektroda busur diproduksi dengan menggunakan catu daya DC, di mana generator tegangan tinggi dan frekuensi tinggi digunakan untuk menyerang plasma itu. Arak busur diputar oleh medan magnet di anoda, yang mengurangi keausan elektroda. Gas N<sub>2</sub> digunakan untuk menghasilkan plasma .

Ada tiga tahap yang diperlukan dalam proses Pirolisis: yang pertama adalah dosis dan pemberian bahan baku, yang kedua adalah massa organik harus diubah dan yang terakhir adalah mendapatkan produk dan memisahnya. Produk

yang kami lalui adalah coke, gas dan bio-oil. Tingkat pemanasan, komposisi bahan baku, suhu dan tekanan akhir adalah faktor-faktor yang mempengaruhi distribusi produk [3]. Proses hidrolisis sebagai metode untuk mengubah sampah organik menjadi bioetanol melalui aplikasi air dan distilasi selanjutnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alfakihuddin, M. and Paratih, A. (2022) 'Citizen Participation in Recycling Cooking Oil to Foster Circular Economy Program-Muhammad Lukman Baihaqi Alfakihuddin, Aprila Paratih CITIZEN PARTICIPATION IN RECYCLING COOKING OIL TO FOSTER A CIRCULAR ECONOMY PROGRAM', *Jurnal Ekonomi*, 11(02), pp. 1124–1131. Available at: <http://ejournal.seaninstitute.or.id/index.php/Ekonomi>.
- Alfakihuddin, M., Zakiyyah, N.H. and Praditha, O. (2022) 'Strategi Pengembangan Bisnis Ramah Lingkungan dalam Merebut Pasar di Era Circular Economy', *Seminar Teknologi, Akuntansi, Bisnis, Ekonomi, dan Komunitas 6 (STABEK 6)*, 6(6), pp. 13–19.
- Ashworth, G.S. and Azevedo, P. (2009) *Agricultural wastes, Agricultural Wastes*. doi:10.2175/106143099x133767.
- Drosg, B. et al. (2015) *Nutrient Recovery by Biogas Digestate Processing, IEA Bioenergy*.
- English, A. et al. (2019) *The State of Food Loss and Agriculture - Moving forward on food loss and waste reduction, Food Loss and Waste Reduction*.
- Organic Waste Composting through Nexus Thinking* (2020) *Organic Waste Composting through Nexus Thinking*. doi:10.1007/978-3-030-36283-6.
- Patti, A., Cicala, G. and Acierno, D. (2021) 'Eco-sustainability of the textile production: Waste recovery and current recycling in the composites world', *Polymers*, 13(1), pp. 1–22. doi:10.3390/polym13010134.
- Singh, L. and Kalia, V.C. (2017) *Waste biomass management - A holistic approach, Waste Biomass Management - A Holistic Approach*. doi:10.1007/978-3-319-49595-8.
- Singh Nee Nigam, P. and Pandey, A. (2009) *Biotechnology for*

*agro-industrial residues utilisation: Utilisation of agro-residues, Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation: Utilisation of Agro-Residues.* doi:10.1007/978-1-4020-9942-7.

Tjhin, S. and Alfakihuddin, M. (2022) 'Jurnal Pendidikan dan Konseling', *Al-Irsyad*, 105(2), p. 79. Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/322599509.pdf>.

Wadleigh, C.H. (2013) *Wastes in relation to agriculture and forestry /*, *Wastes in relation to agriculture and forestry /*. doi:10.5962/bhl.title.65877.





# BAB 2

## KARAKTERISTIK LIMBAH INDUSTRI PERTANIAN

Oleh Rita Sunartaty

### 2.1 Permasalahan dan potensi limbah pertanian

Indonesia adalah Negara agraria yang memiliki potensi pertanian cukup melimpah. Dampak penting dari potensi sektor pertanian selain menghasilkan manfaat dari sisi ekonomi juga menghasilkan produk samping berupa limbah yang mengganggu lingkungan. Limbah pertanian (*agricultural waste*) yakni buangan yang berasal dari berbagai kegiatan pertanian dan indsutri pertanian. Limbah pertanian umumnya berbentuk padat yang berasal dari sisa tanaman berupa dedaunan. Sedangkan limbah cair dihasilkan berupa cairan yang berasal dari kegiatan pengolahan hasil atau produk pertanian. Contoh limbah padat pertanian yang paling banyak ditemukan di lingkungan yaitu limbah biomassa sedangkan limbah cair biasanya limbah sisa pestisida yang tidak terserap tanaman pada poroses pemupukan.

Limbah pertanian dapat dikelompokkan menjadi:

1. Tanaman pangan

Adalah tanaman pangan yang banyak dimanfaatkan diusahakan petani, antara lain: padi, jagung dan tanaman pangan lainnya.

2. Tanaman hortikultura  
Adalah tanaman yang terdiri dari berbagai sayuran, buah-buahan dan tanaman hias.
3. Tanaman perkebunan  
Adalah tanaman komoditi yang menjadi komoditas utama Indonesia, contoh tanaman pangan yaitu kelapa sawit, tebu dan kakao.
4. Peternakan  
Adalah limbah ternak ruminansia dan unggas.
5. Limbah perkotaan  
Adalah sisa buangan yang terdapat di kawasan perkotaan. Limbah tersebut bisa berupa limbah sayir-sayuran maupun buah buahan yang meruapkan sisa buangan yang paling banyak ditemukan di pasar. Limbah tersebut terdapat di tempat pembuangan akhir (TPA).

Limbah pertanian jika tidak diolah akan menimbulkan berbagai masalah seperti:

1. Menghasilkan aroma yang tidak sedap yang dihasilkan proses dekomposisi senyawa organik dengan metode anaerob (tanpa melibatkan udara)
2. Terjadi pencemaran air tanah, pencemaran udara dan lingkungan perairan
3. Menjadi sumber terjadinya pencemaran oleh bakteri patogen sebagai sumber pathogen
4. Menimbulkan berbagai permasalahan sosial

Beberapa dampak yang timbul pada saat ini terkait pengelolaan limbah pertanian yaitu diuraikan sebagai berikut.

1. Masyarakat yang belum mampu menghargai dan mempunyai pengetahuan dalam pengelolaan limbah sehingga tidak tau cara penangan limbah di sekitar.
2. Pengelolaan limbah belum dimanfaatkan secara maksimal

3. Belum adanya teknologi dengan inovasi yang menarik untuk dipahami oleh masyarakat. Belum ada teknologi yang tepat dan mudah diterapkan di masyarakat.
4. Pola pemikiran masyarakat maupun pihak industri yang menganggap biaya perawatan dan pengolahan limbah itu memakan biaya produksi, dan limbah yang dihasilkan belum cukup ekonomis untuk dimanfaatkan.
5. Pemerintah belum cukup kreatif dan gencar untuk mendorong masyarakat dalam memanfaatkan limbah industri pertanian.

Berdasarkan beberapa poin permasalahan tersebut maka dapat dilakukan beberapa hal sebagai berikut:

1. Masyarakat mampu mengembangkan serta memanfaatkan limbah industri
2. Mengembangkan penelitian dalam pemanfaatan limbah. Meningkatkan penelitian pemanfaatan limbah yang mencakup aspek sosio-tekno-ekonomi.
3. Lebih banyak melakukan penelitian terkait pengolahan limbah
4. Meningkatkan kuantitas dan kualitas industri pengolahan/pemanfaatan hasil pertanian.
5. Pemanfaatan Limbah Pertanian memandang limbah industri hasil pertanian sebagai bahan industri.
6. Menerapkan peraturan pemerintah yang disertai sanksi.
7. Mengadakan subsidi dari pemerintah untuk merangsang usaha masyarakat dalam memanfaatkan limbah industri hasil pertanian.

## 2.2 Karakteristik limbah industri pertanian

Effluent dari limbah industri pertanian memiliki kandungan bahan organik, padatan (baik mengapung maupun bersifat suspensi, mengendap maupun terlarut), bernilai gizi ,

bersifat asam dan alkali, serta bersifat toksik. Kandungan bahan tersebut ketika dibuang ke lingkungan perairan maka akan menaikkan suhu air. Jika limbah berbahan organik dibuang ke lingkungan perairan maka kandungan oksigen dalam air akan berkurang. Hal ini disebabkan pada saat materi terdekomposisi akan membutuhkan oksigen dan akan mengakibatkan ketersediaan oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) berkurang. Dampak yang terjadi yaitu terjadi perubahan susunan organisme pada lingkungan perairan tersebut.

Dampak lain yang terjadi jika tingkat kelarutan oksigen terus berkurang hingga ambang batas di bawah 5 ppm maka biota air seperti ikan terganggu, begitu pula tanaman akuatik yang terganggu proses pertumbuhannya. Jika tingkat kelarutan oksigen di bawah ppm maka akan mengakibatkan ikan mati dan lingkungan perairan akan didominasi oleh organisme anaerob. Cara pemulihan kondisi tersebut jika terlanjur terjadi pencemaran maka perlu dilakukan transfer oksigen untuk memulihkan kondisi badan air tersebut maupun pengolahan limbah berbahan organik tersebut terlebih dahulu sehingga mencapai ambang batas yang ditetapkan oleh pemerintah. Demikian pula limbah padatan berupa lemak yang mengapung (lemak dan buih) dapat mempengaruhi kondisi badan air menjadi tercemar. Limbah berbentuk solid akan mengapung dan menurunkan kualitas lingkungan perairan. Padatan yang mengapung (lemak dan buih) dapat mempengaruhi sifat perairan. komponen padatan yang mengapung tersebut menurunkan kualitas air karena sinar matahari tidak dapat menembus lapisan perairan, sehingga mengganggu kehidupan biota perairan. Contoh terganggunya perairan yaitu penetasan ikan terganggu oleh padatan yang mengendap sehingga kadar oksigen menurun. Hal inilah yang menyebabkan biota perairan akan terganggu pertumbuhannya.

Limbah yang berasal dari pengolahan hasil pertanian secara umum ditandai dengan tingginya kadar protein, kandungan karbohidrat, tingginya kandungan pati dengan kandungan serat yang rendah. Limbah pertanian dan perkebunan dapat bersifat amba (*bulky*), berserat (*fibrous*), pencernaan rendah (*low digestibility*), dan rendahnya kandungan protein (*low protein*). Komponen berserat umumnya terdiri dari:

a. Selulosa

Selulosa merupakan bahan yang memiliki bobot molekul yang tinggi. Selulosa biasanya berada dalam jaringan tanaman dan terletak di dinding sel sebagai mikrofibril, tersusun dengan rantai glukosa yang diikat oleh ikatan hydrogen. Selulosa dapat dicerna oleh enzim selulase yang menghasilkan asam lemak yang bersifat volatile (*volatile fatty acid*) seperti asetat, propionat, dan butirat. ‘

b. Hemiselulosa

Hemiselulosa terdiri dari pentosan, pectin, xylan dan glikan. Hidrolisa oleh enzim hemiselulase menghasilkan lemak terbang.

c. Lignin

Lignin terdapat dalam tanaman seperti kulit gabah, fibrosa akar, batang maupun daun. Lignin bersama selulosa dan hemiselulosa untuk menyusun dinding sel. Lignin bersama selulosa dan hemiselulosa sering disalah tafsirkan sebagai karbohidrat, namun sesungguhnya lignin berbeda dengan karbohidrat.

d. Silika

Silica berbentuk Kristal dan berada di dalam dinding sel yang mengisi ruang antar sel.

### 2.2.1 Pengolahan limbah pertanian menjadi produk bernilai ekonomis

Mengingat Indonesia Negara yang kaya akan hasil pertanian maka sistem pengolahan limbah pertanian sejauh ini sangat gencar dilakukan untuk mengurangi produksi limbah. Berbagai kajian penelitian terkait potensi limbah pertanian telah dilaporkan mampu mereduksi tingkat pencemaran. Berbagai penelitian dari penggunaan biomassa limbah pertanian seperti pelepah kelapa, limbah biji-bijian , kulit kopi, cangkang kemiri, jerami, dan berbagai biomassa lainnya dari limbah pertanian yang digunakan sebagai bahan penyerap logam, bahan baku pembuatan sabun maupun pupuk cair.

Berbagai penelitian sudah dilakukan terkait pengolahan limbah pertanian dapat dilihat dalam Tabel 2.1 di bawah ini:

**Tabel 2.1.** Jenis limbah pertanian dan potensi pemanfaatannya

| No | Jenis limbah pertanian         | Pemanfaatan limbah pertanian                    |
|----|--------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1  | Limbah biji alpukat            | Sebagai sumber bahan pangan                     |
| 2  | Limbah daun katuk              | Sebagai sumber bahan pangan                     |
| 3  | Limbah cangkang kemiri         | Sebagai adsorben                                |
| 4  | Limbah kacang kedelai          | Sebagai bahan pangan                            |
| 5  | Limbah pelepah kelapa          | Sebagai bahan pengawet                          |
| 6  | Limbah pertanian (daun kering) | Sebagai pupuk kompos                            |
| 7  | Limbah kopi                    | Sebagai adsorben, sebagai pupuk cair dan kompos |
| 8  | Limbah biji nangka             | Sebagai bahan pangan                            |

Sumber: Penelitian Rita Sunartaty

Jenis limbah pertanian dan cara pengelolaannya dapat dilihat pada penjelasan di bawah ini:

1. Limbah biji alpukat

Limbah biji alpukat dapat dimanfaatkan untuk sumber bahan pangan dengan cara diolah menjadi tepung. Hal ini disebabkan Kandungan zat pati yang cukup tinggi pada biji alpukat memungkinkan biji alpukat sebagai salah satu sumber pati alternative. Dikarenakan kandungan pati yang cukup tinggi, maka dapat dijadikan sumber pati dalam pengolahan bahan pangan bergizi tinggi.

2. Limbah daun katuk

Limbah daun katuk dapat diolah menjadi tepung katuk. Daun katuk mengandung 7% protein dan serat kasar sampai 19% , vitamin K, pro-vitamin A (beta-karoten), B dan C. Karena kandungan serat yang terdapat dalam daun katuk masih tinggi, daun katuk masih dapat dimanfaatkan sebagai sumber makanan baru, yaitu diolah kembali menjadi biskuit dan lain sebagainya.

3. Limbah cangkang kemiri

Cangkang kemiri merupakan limbah agroindustri yang dihasilkan dari pengolahan buah kemiri yang merupakan produk pertanian. cangkang kemiri sangat berpotensi bila diproduksi menjadi karbon aktif yang selanjutnya akan digunakan sebagai salah satu cara penanganan pencemaran lingkungan. Pemanfaatan limbah cangkang kemiri untuk teknologi adsorpsi juga dapat bermanfaat bagi petani kemiri. Adsorben dari cangkang kemiri akan menghasilkan keuntungan bagi petani serta mengurangi tekanan terhadap lingkungan. Transformasi kulit kemiri menjadi bahan yang bermanfaat seperti bioadsorben akan memberikan pendapatan yang lebih tinggi, mengurangi jumlah limbah pertanian secara signifikan, dan



mempromosikan pelestarian lingkungan dengan mempertahankan sumber karbon sebagai struktur yang kokoh.

4. Limbah kacang kedelai

Limbah kacang kedelai merupakan produk pangan yang bernilai gizi tinggi. Salah satu pengembangan limbah ampas kacang kedelai adalah sebagai bahan pembuatan kerupuk. Kerupuk merupakan suatu jenis makanan kering yang terbuat dari bahan-bahan yang mengandung pati cukup tinggi.

5. Limbah pelepah kelapa

Limbah pelepah kelapa dapat diolah menjadi abu melalui pembakaran sempurna. Abu pelepah kelapa merupakan salah satu limbah dari pohon kelapa yang pemanfaatannya selama ini belum maksimal. Abu pelepah kelapa mengandung unsur garam  $MgCl_2$  dan  $KCl$  sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pengganti garam dalam proses pengawetan ikan.

6. Limbah daun tumbuhan

Limbah daun yang berjatuhan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk kompos. Pupuk kompos berasal dari limbah pertanian dapat digunakan sebagai pengganti penggunaan pupuk kimia. Penggunaan pupuk kompos dilakukan untuk mengurangi penggunaan pupuk kimia dan mengurangi pencemaran lingkungan oleh limbah pertanian dan peternakan.

7. Limbah kopi

Limbah yang berasal dari kopi berpotensi penting untuk dijadikan berbagai produk yang bermanfaat. Limbah pertanian ini dapat dimanfaatkan mulai dari cangkang, kulit sampai dengan biji kopi selesai digunakan dari berbagai industri kuliner dapat diolah menjadi produk yang berkualitas tinggi. Pemanfaatan biji ampas kopi dapat

dijadikan sabun antioksidan, pupuk cair maupun pupuk kompos. Selain itu cangkang dan kulit kopi dapat dijadikan bahan alternatif energi alternatif seperti briket dan adsorben dalam penyarapan logam berat, lindi, maupun menurunkan kadar COD dan BOD dalam cemaran limbah cair.

#### 8. Limbah biji nangka

Biji nangka dapat diolah menjadi berbagai bahan pangan. Biji nangka mengandung vitamin A, C dan B1. Mineral yang terkandung seperti kalsium (Ca), fosfor dan mineral lainnya seperti besi. Karena kandungan tersebut biji nangka dapat diolah menjadi berbagai bahan pangan seperti minuman serbuk dan lain sebagainya.

### 2.2.2 Peran institusi dalam pengolahan limbah pertanian

Institusi berperan penting dalam membentuk karakter mahasiswa yang inovatif, kreatif serta unggul. Kurikulum harus disusun dengan output tujuan yang jelas sehingga guna menghasilkan mahasiswa yang kredibel di bidangnya. Mata kuliah pengolahan limbah industri mahasiswa mampu mengolah limbah sehingga output yang dihasilkan *zero waste*. Di dalam mata kuliah ini mahasiswa belajar tentang berbagai karakteristik limbah baik itu limbah industri pertanian maupun limbah pangan, limbah berbahaya dan beracun dan lain sebagainya. Setelah mengikuti mata kuliah pengolahan limbah industri mahasiswa akan mendapat pengetahuan lebih mendalam tentang aspek-aspek yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan pendirian suatu proyek industri. Suatu ide usaha, baik di bidang pangan maupun non pangan, perlu diwujudkan dan dikembangkan menjadi suatu proyek industri sehingga dapat menghasilkan keuntungan dalam mata kuliah perencanaan proyek industri.

Berikut ini foto kegiatan pembuatan pupuk cair dan pupuk kompos dari limbah industri pertanian:



**Gambar 2.1.** (a) Pembuatan pupuk kompos dan pupuk cair oleh mahasiswa Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Serambi Mekkah. (b). Aplikasi pupuk limbah industri pertanian pada tanaman (c). Promosi produk mahasiswa Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Serambi Mekkah

## DAFTAR PUSTAKA

- (Agustina *et al.*, 2019; Amanda *et al.*, 2021; Chairuni AR *et al.*, 2019; Irmayanti *et al.*, 2019; irwansyah, Faiz Isma, 2018; Mistar *et al.*, 2023; Nurman *et al.*, 2019; Rahmiati *et al.*, 2020; Sunartaty *et al.*, 2019) Agustina, R., Sunartaty, R., Makmur, T., & Yulia, R. (2019). Innovation of Natural Preservation of Mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) Using Coconut Ashes With Drying Time Variation on Hedonics. *Serambi Journal of Agricultural Technology (SJAT) H*, 1(2), 52–57.  
<https://pdfs.semanticscholar.org/3cc1/74525db9336469af32aa2165494b0fba76b6.pdf>
- Amanda, H., Irmayanti, & Sunartaty, R. (2021). The Making of Cereal With Substition of Soybean Flour (*Glycine Max L. Merr*) and Pasta Fruit Bit (*Beta Vulgaris*) As Natural Dyes. *Serambi Journal of Agricultural Technology*, 3(1), 17–28.  
<http://ojs.serambimekkah.ac.id/index.php/sjat>
- Chairuni AR, Sunartaty, R., & Makmur, T. (2019). Utilization Of Soybean Daste Waste In The Development of Shrimp Crisp Product. *Serambi Journal of Agriculturah Technology (SJAT)*, 1(2), 52–57.  
<https://pdfs.semanticscholar.org/3cc1/74525db9336469af32aa2165494b0fba76b6.pdf>
- Irmayanti, I., Sunartaty, R., & Anwar, C. (2019). Rich in Fiber Biscuits Formulation with Katuk Leaf Flour Fortification (*Sauropus androgynus*) and Roasting Time Variation. *Serambi Journal of Agricultural Technology*, 1(2), 66–73.  
<https://doi.org/10.32672/sjat.v1i2.1599>
- irwansyah, Faiz Isma, M.P. 2018. Karakteristik Batu Bata Tanpa Pembakaran dari Limbah Industri Pertanian dan Material Alam. *Karakteristik Batu Bata Tanpa Pembakran dari Limbah Industi Pertanian dan Material Alam*, 4(2), 8–12.

- Mistar, E. M., Sunartaty, R., Zein, I., & Amni, C. (2023). Review Potensi Biomassa Cangkang Kemiri (*Aleurites moluccana*) Sebagai Bahan Baku Karbon Aktif Penyerap Merkuri. *Serambi Engineering*, VIII(1), 4468–4473.
- Nurman, S., Ermaya, D., Hidayat, F., & Sunartaty, R. (2019). Pemanfaatan Limbah Pertanian Dan Peternakan Sebagai Pupuk Kompos. *JPPM (Jurnal Pengabdian Dan Pemberdayaan Masyarakat)*, 3(1), 5.  
<https://doi.org/10.30595/jppm.v3i1.2709>
- Rahmiati, T. M., Sunartaty, R., & Faisal, A. (2020). Pemanfaatan pati biji alpukat (*Persea americana*) pada pengolahan makanan tradisional (dodol) Application of avocado seed (*Persea americana*) starch in traditional food (dodol). *Jurnal TEKSAGRO*, 1(1), 38–45.
- Sunartaty, R., Irmayanti, & Afwadi, D. M. (2019). The Innovation of Making Powder Milk from Jackruit Waste (*Artocarpus Heterophyllus*) with Maltodextrin Addition. *Journal of Physics: Conference Series*, 1232(1), 1–8.  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1232/1/012047>

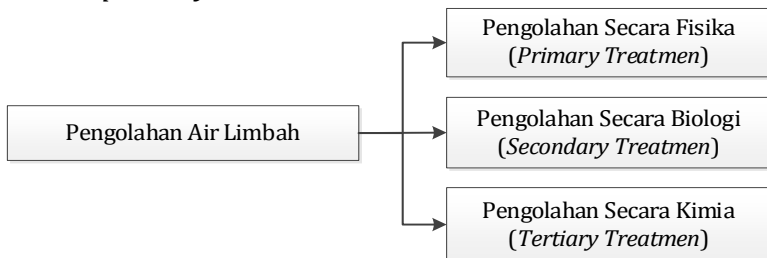
# BAB 3

## TEKNOLOGI PENGOLAHAN LIMBAH SECARA FISIKA

Oleh Dodi Satriawan

### 3.1 Pendahuluan

Air limbah secara umum dapat dilakukan pengolahan air limbah menjadi tiga tahapan pengolahan yaitu tahapan pengolahan secara fisika, tahapan pengolahan secara biologis dan tahapan pengolahan secara kimia. Tahapan pengolahan fisika sering juga disebut *primary treatment*. Pengolahan secara biologi sering juga disebut *secondary treatment*. Pengolahan secara kimia juga disebut *tertiary treatment*. Pada bab ini akan lebih di fokuskan pada pembahasan pengolahan limbah secara fisika atau *primary treatment*.

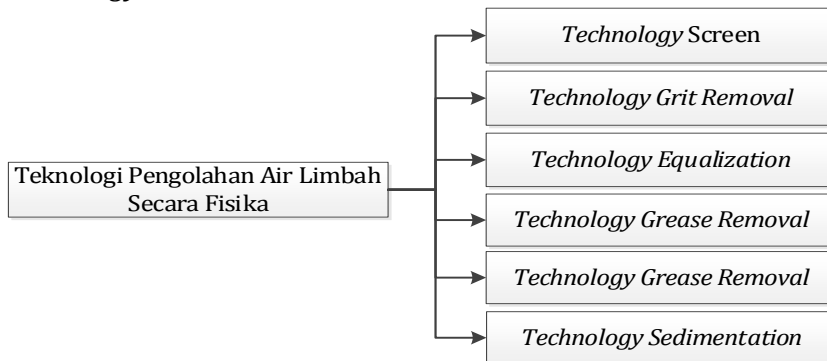


**Gambar 3.1** Macam – macam Pengolahan Air Limbah

Air limbah yang keluar yang keluar dari unit proses sebelum dilakukan pengolahan utama berupa pengolahan secara biologis atau pengolahan secara kimia, dilakukan pengolahan secara fisika terlebih dahulu. Pengolahan air limbah secara fisika ini bertujuan untuk menyaring

memisahkan padatan-padatan yang berukuran besar maupun kecil sehingga tidak masuk nantinya padatan-padatan ini kedalam pengolahan secara biologis maupun pengolahan secara kimia.

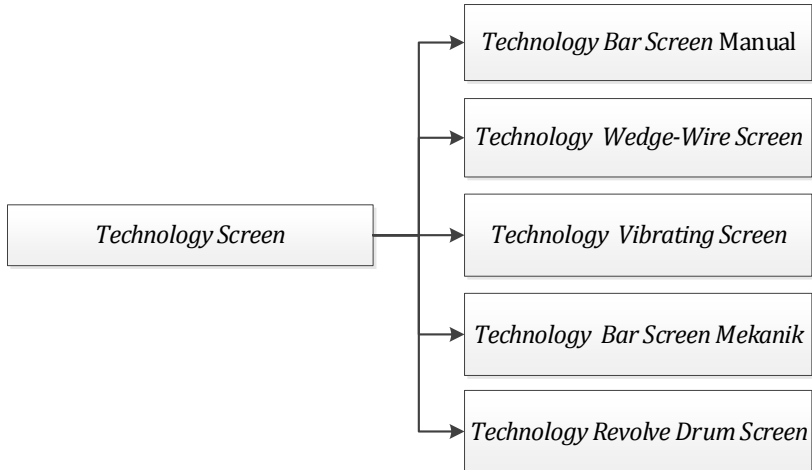
Fluktuasi dari air limbah yang berupa debit air limbah maupun polutan organik, anorganik, dan logam juga harus diperhatikan serta diatur sehingga proses pengolahan air limbah pada sesi pengolahan air limbah secara biologis dan secara kimia dapat berjalan dengan baik, efektif dan efisien. Ada beberapa kasus dimana air limbah harus dinetralkan terlebih dahulu pada proses pengolahan air limbah secara fisika sebelum masuk kedalam proses pengolahan air limbah secara biologis maupun kimia. Pada bab ini akan dibahas beberapa jenis teknologi pengolahan air limbah secara fisika yang berupa *technology screen*, *technology grit removal*, *technology equalization*, *technology grease removal*, dan *technology sedimentation*.



**Gambar 3.2** Macam-macam Teknologi Pengolahan Air Limbah Secara Fisika

### 3.2 *Technology Screen* (Teknologi Saringan)

Teknologi *screen* merupakan teknologi yang digunakan untuk menyaring atau menangkap padatan yang berupa sampah-sampah yang berukuran besar yang ikut bersama-sama dengan air limbah. Sampah ini berupa sampah ranting, plastik, kayu dan sampah lainnya yang berukuran besar. Teknologi *screen* ini dipasang biasanya pada proses awal atau bagian awal dari proses pengolahan air limbah. Fungsi penyaringan dengan teknologi *screen* ini bertujuan untuk menghindari terjadinya kerusakan pada pompa disebabkan oleh penyumbatan atau pun dapat menyebabkan pompa menjadi macet atau tidak berfungsi maupun peralatan mekanik lainnya yang beroperasi pada proses pengolahan air limbah. Bila teknologi *screen* ini tidak dipasang pada bagian awal akan menyebabkan terjadinya gangguan pada proses treatment selanjutnya.

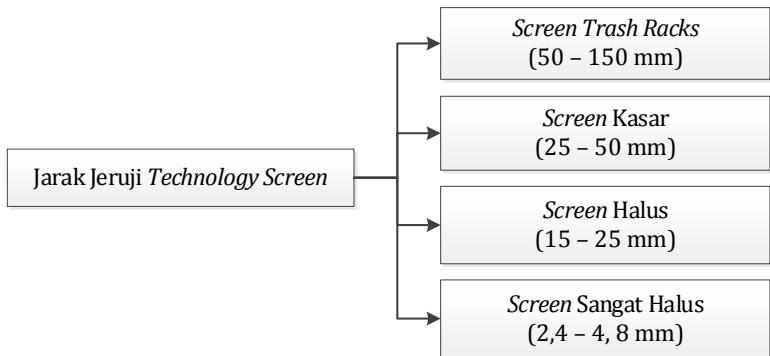


**Gambar 3.3** Macam-macam *Technology Screen*.



Teknologi *screen* dibagi menjadi beberapa tipe yang berupa *bar screen* manual, *wedge-wire screen*, *vibrating screen*, *bar screen mekanik*, *revolve drum screen* dan tipe teknologi *screen* lainnya. Setiap tipe dari jenis *screen* memiliki ukuran jarak jeruji yang berbeda-beda. Ukuran jarak jeruji ini tergantung dari besarnya padatan atau sampah yang akan ditangkap oleh teknologi *screen*. Biasanya untuk optimalisasi penangkapan atau penyaringan padatan atau sampah dilakukan pemasangan dua *screen* dengan jarak jeruji yang berbeda dan teknologi *screen* dipasang secara seri.

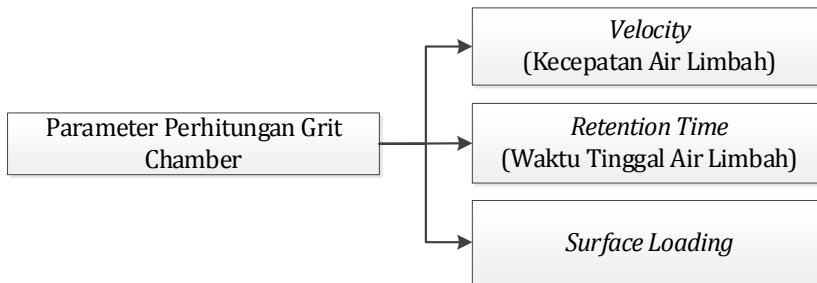
Jarak jeruji pada teknologi *screen* dibagi menjadi empat jenis yaitu *trash racks*, kasar, halus, dan sangat halus. *Trash racks* memiliki jarak jeruji 50 – 150 mm. Rata-rata *trash racks* digunakan pada jarak jeruji 75 mm dan dikombinasikan dengan jarak jeruji yang lebih halus lagi. Jarak jeruji kasar memiliki jarak jeruji 25 – 50 mm. Jarak jeruji kasar ini digunakan pada *technology bar screen* manual dan *technology bar screen* mekanik. Jarak jeruji halus memiliki jarak jeruji 15 - 25 mm. Jarak jeruji halus ini digunakan pada *technology bar screen* mekanik, atau dipakai pada *bypass* untuk *technology screen* halus, maupun *bypass* untuk *technology comminutor*. Jarak jeruji sangat halus memiliki jarak jeruji 2,4 – 4,8 mm. Jarak jeruji sangat halus ini digunakan pada *technology bar screen* mekanik.



**Gambar 3.5** Jenis jarak jeruji *Technology Screen*

### **3.3 *Technology Grit Removal* (Teknologi Penyaring Pasir)**

Teknologi grit removal merupakan teknologi pengolahan air limbah yang berfungsi untuk menyaring padatan anorganik seperti pasir, batu kecil, pecahan kaca maupun kerikil yang ikut bersamaan dengan air limbah. Pasir, batu kecil, pecahan kaca maupun kerikil yang ikut bersamaan dengan air limbah bila tidak disaring dan diambil maka akan menyebabkan kerusakan mekanik pada pengolahan air limbah. Kerusakan mekanik ini seperti kerusakan pada pompa. Selain itu padatan anorganik ini juga dapat menyebabkan penyumbatan pada pipa disebabkan padatan anorganik ini mengendap pada pipa. Padatan anorganik yang tidak dipisahkan pada proses pengolahan air limbah secara fisika ini juga dapat menyebabkan penambahan beban sedimentasi atau pengendapan pada tangka sedimentasi atau bak pengendapan lainnya.



**Gambar 3.6** Parameter Perhitungan Grit Chamber

Grit chamber merukan istilah yang digunakan sebagai bangunan atau ruangan yang digunakan sebagai tempat pemisahan padatan anorganik pada technology grit removal. Umum grit chamber digunakan pada instalasi IPAL yang cukup besar. Didalam desain grit chamber terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan dan tentukan. Parameter tersebut berupa *velocity* (kecepatan air limbah), *retention time* (waktu tinggal air limbah) dan *surface loading*.

Partikel anorganik yang biasanya dapat disaring pada teknologi grit removal berukuran lebih besar dari 0,2 mm ( $> 0,2$  mm). *Velocity* air limbah rata-rata digunakan pada kecepatan 0,3 m/detik. *Retention time* air limbah rata-rata yang digunakan selama 30 – 60 detik. Sedangkan *surface loading* air limbah rata-rata yang digunakan adalah  $1.800 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$  untuk padatan anorganik pasir yang memiliki *specific gravity* sebesar 2,65 dan diameter pasir 0,2 mm. perhitungan untuk desain grit chamber dapat dilihat pada contoh dibawah ini.

### **Contoh 3.1** Perhitungan desain *grit chamber*

PT A ingin membuat IPAL yang memiliki *grit removal*. Debit air yang akan masuk kedalam *grit removal* sebesar  $50.000 \text{ m}^3/\text{hari}$ . Bila desain yang diinginkan pada *grit chamber* memiliki kecepatan air limbah 0,2 m/detik, waktu tinggal 1 menit dan *surface loading*  $2.000 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$ . Tentukan berapa

panjang, lebar, kedalaman dan volume *grit chamber* yang ingin dibuat?

**Penyelesaian:**

➤ **Perhitungan panjang *grit chamber***

$$\text{Panjang grit chamber} = \text{velocity} \times \text{retention time}$$

$$\text{Panjang grit chamber} = 0,2 \frac{\text{m}}{\text{detik}} \times 60 \text{ detik}$$

$$\text{Panjang grit chamber} = 12 \text{ m}$$

➤ **Perhitungan volume *grit chamber***

$$\text{Volume grit chamber} = \text{debit air} \times \text{retention time}$$

$$\text{Volume grit chamber} =$$

$$50.000 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 60 \text{ detik} \times \frac{1 \text{ menit}}{60 \text{ detik}} \times \frac{1 \text{ jam}}{60 \text{ menit}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$$

$$\text{Volume grit chamber} = 34,72 \text{ m}^3$$

➤ **Perhitungan *surface area* grit chamber**

$$\text{surface area grit chamber} = \frac{\text{debit air}}{\text{surface loading}}$$

$$\text{surface area grit chamber} = \frac{50.000 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}}{2.000 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{hari}}}$$

$$\text{surface area grit chamber} = 25 \text{ m}^2$$

➤ **Perhitungan lebar grit chamber**

$$\text{Lebar grit chamber} = \frac{\text{surface area grit chamber}}{\text{Panjang grit chamber}}$$

$$\text{Lebar grit chamber} = \frac{25 \text{ m}^2}{12 \text{ m}}$$

$$\text{Lebar grit chamber} = 2,08 \text{ m}$$

➤ **Perhitungan kedalam grit chamber**

$$\text{Kedalaman grit chamber} = \frac{\text{volume grit chamber}}{\text{surface area}}$$

$$\text{Kedalaman grit chamber} = \frac{34,72 \text{ m}^3}{25 \text{ m}^2}$$

$$\text{Kedalaman grit chamber} = 1,39 \text{ m}$$

### **3.4 Technology Equalization (Teknologi bak Ekualisasi)**

Teknologi ekualisasi berfungsi untuk meratakan dan menstabilkan parameter-parameter air limbah yang utama sebelum air limbah masuk kedalam pengolahan utama didalam pengolahan air limbah. Parameter-parameter air limbah yang ditentukan pada bak ekualisasi ini berupa kandungan polutan air limbah, temperature, pH, total padatan terlarut dan parameter lainnya. Parameter-parameter air limbah ini ditentukan terlebih dahulu pada bak ekualisasi disebabkan dari waktu ke waktu debit air limbah maupun kandungan polutan yang terdapat didalam air limbah bisa fluktuasi atau bisa berubah-ubah. Sifat yang fluktuasi ini akan menyebabkan terjadinya penurunan efisiensi pengolahan air limbah bila tidak ada pemerataan parameter-parameter air limbah sebelum masuk kedalam proses utama didalam pengolahan air limbah

Tujuan dari teknologi ekualisasi berupa:

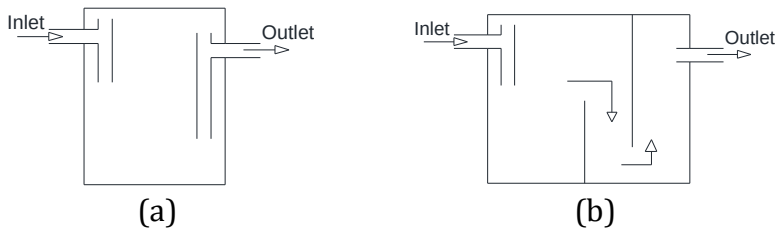
- Pemerataan debit air limbah pada saat masuk kedalam proses pengolahan air limbah,
- Penerataan kadar asam atau pH air limbah sehingga control air limbah menjadi mudah serta dapat meminimalisir penggunaan bahan kimia untuk proses netralisasi air limbah,

- Pemerataan beban fluktuasi organik sehingga shock load di proses pengelolaan air limbah tidak terjadi,
- Pemerataan kandungan polutan yang terdapat didalam air limbah sehingga memudahkan proses control serta dapat meminimalisasi penggunaan bahan kimia yang digunakan pada saat proses koagulasi maupun pada proses flokulasi.

### 3.5 *Technology Grease Removal* (Teknologi Pemisahan Lemak dan Minyak)

Air limbah kadangkalanya mengandung minyak maupun lemak. Kandungan minyak maupun lemak dapat mengganggu proses utama yang terjadi saat pengolahan air limbah secara biologis maupun kimia. Kandungan minyak dan lemak bila masuk kedalam pengolahan biologi akan terjadi penguraian yang membutuhkan waktu yang cukup lama. Selain itu, bila polutan minyak dan lemak yang terdapat didalam air limbah masuk kedalam bak sedimentasi maka akan menyebabkan terbentuknya scum yang mengapung pada permukaan air limbah. Oleh karena itu diperlukan teknologi didalam mengurangi atau menghilangkan kandungan polutan minyak dan lemak yang terdapat didalam air limbah. Teknologi yang dapat digunakan didalam mengurangi atau menghilangkan kandungan minyak dan lemak adalah teknologi *grease removal*.

Teknologi *grease removal* memanfaatkan perbedaan densitas dari air dan minyak. Perbedaan densitas ini lah yang digunakan didalam *grease removal* untuk membuat *grease trap* minyak dan lemak. *Grease trap* didalam pengolahan air limbah mengandung polutan minyak dan lemak ini terdapat dua jenis yang dapat dilihat pada Gambar 3.7.



**Gambar 3.7** Jenis *Grease Trap*

*Grease trap* pada Gambar 3.7 (a) dan 3.7 (b) terdapat perbedaan yang signifikan. Pada *grease trap* gambar 3.7 (a) tidak terdapat sekat, sedangkan *grease trap* gambar 3.7 (b) terdapat sekat. Sekat pada gambar 3.7 (b) akan mengoptimalkan proses pemisahan lemak dan minyak yang terdapat didalam air limbah dibandingkan dengan gambar 3.7 (a). Perhitungan desain pembuatan teknologi *grease trap* diberikan pada contoh 3.2.

### **Contoh 3.2** Perhitungan desain *grease trap*

Seorang mahasiswa ingin membuat desain sederhana *grease trap* dari air limbah pencucian piring di suatu tempat rumah makan Paadang. Diketahui air limbah yang dihasilkan per hari dari pencucian piring sebanyak 5 m<sup>3</sup>. Air limbah hasil pencucian piring tersebut didapatkan dari hasil pencucian piring selama 1 jam dipagi hari, 3 jam disiang hari dan 1 jam dimalam hari. Hitunglah berapa panjang, lebar, tinggi, dan volume dari *grease trap* yang ingin dibuat bila waktu tinggal air limbah yang diinginkan selama 10 menit.

### **Penyelesaian:**

#### ➤ **Perhitungan *flow rate grease trap***

$$\text{Flow rate grease trap} = \frac{\text{debit air limbah}}{\text{waktu}}$$

$$\text{Flow rate grease trap} = \frac{5 \text{ m}^3}{5 \text{ jam}} \times \frac{1 \text{ jam}}{60 \text{ menit}}$$

$$\text{Flow rate grease trap} = 0,017 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$\text{Flow rate grease trap} = 17 \text{ liter}/\text{menit}$$

➤ **Perhitungan volume grease trap**

$$\text{Volume grease trap} = \text{flow rate} \times \text{retention time}$$

$$\text{Volume grease trap} = 17 \frac{\text{liter}}{\text{menit}} \times 10 \text{ menit}$$

$$\text{Volume grease trap} = 170 \text{ liter}$$

$$\text{Volume grease trap} = 0,17 \text{ m}^3$$

➤ **Perhitungan kedalaman grease trap**

Perhitungan kedalaman *grease trap* didapatkan dengan penentuan berapa panjang dan lebar *grease trap* yang ingin dibuat. Bila di asumsikan panjang *grease trap* 1 meter dan lebar *grease trap* 0,5 meter maka kedalaman *grease trap* yaitu

$$\text{Kedalaman grease trap} = \frac{\text{volume grease trap}}{\text{panjang} \times \text{lebar}}$$

$$\text{Kedalaman grease trap} = \frac{0,17 \text{ m}^3}{1 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}}$$

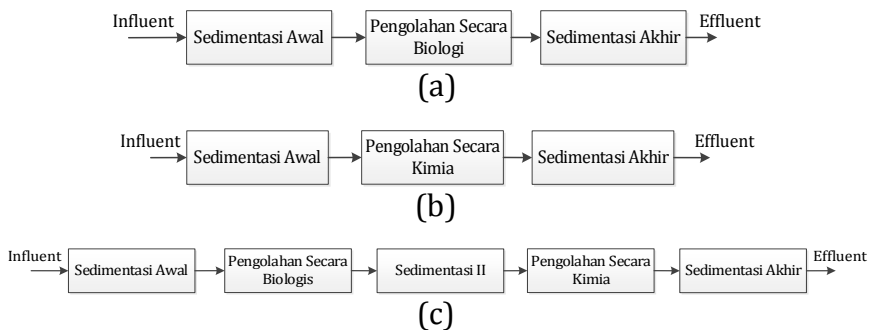
$$\text{Kedalaman grease trap} = 0,34 \text{ m}$$

### 3.6 Technology Sedimentation (Teknologi Sedimentasi)

Teknologi sedimentasi digunakan untuk mengendapkan polutan organik dan anorganik yang terdapat didalam air limbah secara gravitasi. Berbeda dengan teknologi *grit removal*, teknologi *grit removal* hanya mengendapkan polutan anorganik yang masih terbawa oleh air limbah sedangkan teknologi



sedimentasi mampu mengendapkan polutan organik maupun anorganik yang terbawa oleh air limbah. Biasanya bak sedimentasi di berikan pada bagian awal tahap pengolahan limbah sebelum masuk kedalam tahap pengolahan biologis maupun kimia. Namun setelah proses pengolahan biologis dan kimia, bak sedimentasi juga diberikan untuk mengendapkan polutan yang keluar dari proses biologis maupun kimia.



**Gambar 3.8** Macam-macam penempatan proses sedimentasi. (a) sedimentasi diberikan pada proses awal dan akhir pengolahan air limbah secara biologi. (b) sedimentasi diberikan pada proses awal dan akhir pengolahan air limbah secara kimia. (c) sedimentasi diberikan pada proses awal, pertengahan dan akhir pengolahan air limbah secara biologi dan kimia.

Pada proses sedimentasi, polutan organik air limbah diharapkan dapat turun dengan proses gravitasi. Polutan organik ini bisa dihitung dengan nama partikel tersuspensi pada air limbah atau *total suspended solid* (TSS). Total TSS didalam air limbah setelah melewati proses sedimentasi diharapkan dapat mengendapkan padatan tersuspensi hingga

50% - 70%. Jumlah padatan yang terendapkan ini juga akan mempengaruhi konsentrasi BOD (biological oxygen demand) didalam air limbah hingga berkurang menjadi 25% - 35%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Cheremisinoff, N.P. (2002) *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies*, Butterworth Heinemann.
- Crittenden, J.C. et al. (2012) *Water Treatment Principles and Design*. Third. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Hendricks, D. (2006) *Water Treatment Unit Processes Physical and Chemical*, CRC Press.
- Ostrovsky, I.S., Yacobi, Y.Z. and Koren, N. (2014) 'Sedimentation Processes Ilia', *Lake Kinneret, Ecology and Management*.
- Seader, J.D. and Henley, E.J. (2006) *Separation process principles*. Second, John Wiley & Sons, Inc. Second. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Sperling, M. von (2007a) *Basic Principles of Wastewater Treatment*, IWA Publishing.
- Sperling, M. von (2007b) *Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal*, IWA Publishing.

# BAB 4

## TEKNOLOGI PENGELOLAAN LIMBAH SECARA FITOREMEDIASI

Oleh Tarzan Purnomo

### 4.1 Pendahuluan

Fitoremediasi adalah memanfaatkan tumbuhan berpembuluh, alga, dan atau jamur untuk mengontrol, membuang, atau mengubah sisa metabolisme, atau untuk mempercepat degradasi zat pencemar di rhizosfer, atau daerah sekitar akar (McCutcheon dan Schnoor, 2003). Jadi fitoremediasi merupakan teknologi pengelolaan limbah menggunakan tumbuhan untuk remediasi tanah atau perairan yang tercemar limbah organik atau anorganik (Cunningham dan Ow, 1996), sehingga terjadi detoksifikasi polutan (Kuiper, *et al.*, 2004 dalam Raychaudhuri, *et al.*, 2007). Hal ini dimungkinkan karena tumbuhan mempunyai kemampuan ekstraksi, absorpsi, dan akumulasi polutan di dalam biomasnya.

Tumbuh pesatnya industrialisasi di semua sektor selain memberi manfaat untuk pemenuhan kebutuhan hidup manusia, juga menghasilkan limbah yang berdampak negatif bagi lingkungan. Keberadaan limbah ini seringkali tidak lagi mampu dikendalikan dan bahkan menyebar pada area yang sangat luas melampaui batas-batas administrasi dan geografi sehingga sangat potensial mengancam kelestarian lingkungan, kesehatan makhluk hidup, bahkan eksistensi manusia itu

sendiri. Misalnya berbagai logam berat yang berbahaya dari limbah pertambangan, limbah bencana geologi seperti semburan lumpur Lapindo di Sidoarjo, dll. Untuk itu diperlukan suatu teknologi pengelolaan limbah yang efektif, ekonomis, dan mudah diaplikasikan dengan memanfaatkan potensi anekaragam tumbuhan *hyperakumulator* logam berat sebagai fitoremediator melalui proses bioremediasi. Teknologi ini sangat prospektif karena selain efektif, ekonomis dan mudah diterapkan juga ramah lingkungan juga dapat diimplementasikan dalam skala komunal atau kawasan yang luas. Dengan demikian penggunaannya bersifat *sustainable*, karena tidak menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan.

Fitoremediasi dapat dibagi menjadi fitoekstraksi, rizofiltrasi, fitodegradasi, fitostabilisasi, dan fitovolatilisasi. Fitoekstraksi mencakup penyerapan kontaminan oleh akar tumbuhan dan translokasi atau akumulasi senyawa itu ke bagian tumbuhan seperti akar, daun atau batang. Rizofiltrasi adalah pemanfaatan kemampuan akar tumbuhan untuk menyerap, mengendapkan, dan mengakumulasi logam dari aliran limbah. Fitodegradasi adalah metabolisme kontaminan di dalam jaringan tumbuhan, misalnya oleh enzim dehalogenase dan oksigenase. Fitostabilisasi adalah suatu fenomena diproduksinya senyawa kimia tertentu untuk mengimobilisasi kontaminan di daerah rizosfer. Fitovolatilisasi terjadi ketika tumbuhan menyerap kontaminan dan melepaskannya ke udara lewat daun; dapat pula senyawa kontaminan mengalami degradasi sebelum dilepas lewat daun.

Fitoremediasi merupakan suatu sistem remediasi atau teknologi pengelolaan limbah yang menarik namun masih merupakan teknologi yang sedang berada dalam tahap awal perkembangannya. Meski biosorpsi merupakan teknik yang relatif baru dimulai pada tahun 1980an (Torrudey, *et al.*, 2004), namun berkembang pesat. Kemajuan dalam pemahaman

berbagai disiplin ilmu, terutama dalam fisiologi tumbuhan dan genetika akan mendorong perkembangan teknologi ini secara lebih cepat. Sebagai suatu teknologi yang sedang berkembang, fitoremediasi telah menarik banyak pihak termasuk peneliti dan pengusaha. Di Indonesia masalah pencemaran terus dihadapi sesuai dengan kemajuan industri sehingga usaha remediasi serta pencegahan pencemaran perlu diperhatikan. Fitoremediasi diharapkan dapat memberikan sumbangan yang nyata dan praktis bagi usaha mempertahankan dan memperbaiki kualitas lingkungan di Indonesia.

## 4.2 Fitoremediasi

Fitoremediasi berasal dari bahasa Yunani (*Greek*), yaitu *Phyton* yang berarti tumbuhan atau tanaman, dan *remedium* (Latin) = *to remedy* yaitu memperbaiki atau menyembuhkan atau membersihkan sesuatu. Fitoremediasi didefinisikan pemanfaatan tumbuhan berpembuluh, alga, dan jamur untuk mengontrol, membuang, atau mengubah sisa metabolisme, atau untuk mempercepat degradasi zat pencemar di rhizosfer, atau daerah sekitar akar (McCutcheon dan Schnoor, 2003). Jadi fitoremediasi (*phytoremediation*) adalah penggunaan tumbuhan untuk remediasi tanah yang tercemar limbah organik atau anorganik (Cunningham dan Ow, 1996), sehingga terjadi detoksifikasi polutan (Kuiper, *et al.*, 2004 dalam Raychaudhuri, *et al.*, 2007). Hal ini dimungkinkan karena tumbuhan mempunyai kemampuan ekstraksi, absorpsi, dan akumulasi polutan di dalam biomasnya. Meski biosorpsi merupakan teknik yang relatif baru dimulai pada tahun 1980an (Torrudey, *et al.*, 2004), namun berkembang pesat. Sivakumaran *et al.*, (2004) melaporkan, tumbuhan dapat mempercepat degradasi logam berat terutama As, Cr, Cu, dan B. Wright dan Otte (1999) menyatakan *Typha latifolia* L. dan *Glyceria fluitans* mampu mengabsorpsi Zn, Pb, Fe dan As. Laju

pengurangan kadar logam oleh *Typha* sp. dapat mencapai 92% (Zn), 97% (Fe), dan 59% (Pb) (O'Sullivant, *et al.*, 2001).

Aplikasi fitoremediasi dapat dilakukan secara *insitu* maupun *eksitu* (Bardos, 2002), tergantung pada urgensi dan efisiensinya. Selain itu dalam pemilihan spesies fitoremediator tergantung pada jenis logam berat yang akan diekstraksi, karena beberapa spesies tumbuhan tertentu menunjukkan kemampuan biobSORpsi yang lebih efektif terhadap suatu jenis logam. *Amaranthus caudatus* efektif untuk mengabsorpsi Ca, Cu dan Pb, *Amaranthus blithum* efektif untuk mengabsorpsi Ca, dan *Spinacia oleracea* untuk Cl dan Cu (Raychaudhuri, *et al.*, 2007).

#### 4.2.1 Konsep Dasar Fitoremediasi

Bioremediasi adalah proses pendegradasian dan pengurangan polutan menggunakan organisme hidup atau produknya (Vidali, 2001), sehingga toksisitas polutan menjadi berkurang atau hilang (Cunningham dan Ow, 1996; Vidali, 2001). Seiring peningkatan kasus pencemaran akibat industrialisasi, maka bioremediasi tanah dan perairan yang tercemar logam berat merupakan hal yang sangat penting dewasa ini.

Dalam bioremediasi dapat digunakan mikroorganisme (bakteri, fungi), tumbuhan maupun enzimnya (Kuiper, *et al.*, 2004 dalam Ray chaudhuri, *et al.*, 2007). Untuk mendesain suatu proses pengolahan limbah yang melibatkan organisme hidup dalam mengatasi permasalahan ion logam berat, bioremediasi merupakan metode yang sangat simpel. Organisme pilihan dikoleksi, ditumbuhkan dan selanjutnya dikontakkan dengan air atau tanah yang tercemar ion-ion logam berat. Proses pengontakkan dilakukan dalam jangka waktu tertentu yang ditujukan agar bioremediator berinteraksi dengan ion-ion logam berat dan selanjutnya terjadi proses

bioekstraksi, bioabsorpsi, dan bioakumulasi logam berat di dalam biomassa bioremediator. Biomassa yang mengakumulasi ion logam berat diregenerasi untuk digunakan kembali atau kemudian dibuang ke lingkungan. Widle *et al.*, (dalam Suhendrayatna, 2001), mengusulkan beberapa variabel yang perlu diperhatikan dalam mendesain dan mengoperasikan proses bioremediasi, yaitu:

- a. seleksi dan pemilihan spesies yang sesuai serta *treatment* awalnya,
- b. waktu tinggal dan waktu kontak proses,
- c. proses pemisahan dan rekoveri biomassa,
- d. pembuangan biomassa yang telah digunakan, dan
- e. pertimbangan ekonomis proses.

Seleksi dan pemilihan spesies yang sesuai serta proses *treatment* awal merupakan unsur yang penting dalam mendesain suatu proses bioremediasi. Proses ini meliputi pemilihan spesies yang sesuai, metode kultivasi dan kondisi fisik biomassa.

#### 4.2.2 Mekanisme Fitoremediasi

Secara alami di mana kondisi tanpa kendali, proses bioremoval ion logam berat umumnya terdiri dari dua mekanisme yang melibatkan proses *active uptake* dan *passive uptake*. Pada saat ion logam berat tersebar pada permukaan sel, ion akan terikat pada bagian permukaan sel berdasarkan kemampuan daya afinitas kimia yang dimilikinya.

##### a. *Passive uptake*.

*Passive uptake* dikenal dengan istilah proses *biosorpsi*. Proses ini terjadi ketika ion logam berat mengikat dinding sel dengan dua cara yang berbeda, yaitu pertama pertukaran ion di mana ion monovalent dan divalent seperti Na, Mg, dan Ca pada dinding sel digantikan oleh ion-ion logam berat; dan



kedua adalah terbentuk formasi kompleks antara ion-ion logam berat dengan gugus fungsional seperti karbonil, amino, thiol, hidroksi, fosfat, dan hidroksi-karboksil yang berada pada dinding sel. Proses biosorpsi ini bersifat bolak balik dan cepat. Proses bolak balik ikatan ion logam berat di permukaan sel ini dapat terjadi pada sel mati dan sel hidup dari suatu biomassa. Proses biosorpsi dapat lebih efektif pada pH tertentu dan dengan kehadiran ion-ion lainnya di media di mana logam berat dapat terendapkan sebagai garam yang tidak terlarut (Suhendrayatna, 2001). Misalnya, pH optimum biosorpsi ion Pb (II), Ni (II) dan Cu (II) oleh *Zoogloea ramigera* adalah berkisar antara 4,0 - 4,5 sedangkan untuk besi(II) adalah 2,0.

**b. Active uptake.**

*Active uptake* dapat terjadi pada berbagai tipe sel hidup. Mekanisme ini secara simultan terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan mikroorganisme atau/dan akumulasi intraselular ion logam tersebut. Logam berat dapat juga diendapkan pada proses metabolisme dan ekskresi pada tingkat ke dua. Proses ini tergantung dari energi yang terkandung dan sensitifitasnya terhadap parameter-parameter yang berbeda seperti pH, suhu, kekuatan ikatan ionik, cahaya dll. Disamping itu proses ini dapat dihambat oleh suhu yang rendah, tidak tersedianya sumber energi dan penghambat-penghambat metabolisme sel. Di sisi lain, biosorpsi logam berat dengan sel hidup ini terbatas dikarenakan oleh akumulasi ion yang menyebabkan racun (toksik) terhadap organisme. Hal ini biasanya dapat menghalangi pertumbuhan organisme disaat toksisitas atau keracunan terhadap ion logam tercapai.

Kedua mekanisme di atas dapat berjalan serentak. Beberapa hasil penelitian menunjukkan ikatan Cadmium (Cd) pada dinding sel *Ankistrodesmus* dan *Chlorella vulgaris* mencapai kira-kira 80% dari total akumulasinya di sel, sedangkan Arsenik (As) yang berikatan dengan dinding sel *Chlorella vulgaris* rata-rata 26% (Suhendrayatna, 2001). Nakajima bersama kelompoknya melaporkan *selektif uptake* ion logam hampir sama antara sel hidup dan sel mati dari *Chlorella regularis*, di mana jumlah total logam berat yang diabsorpsikan oleh sel mati kira-kira dua kali lebih besar dibandingkan dengan yang diabsorbsikan oleh sel hidupnya (Suhendrayatna, 2001).

Protein dan polysaccharida memegang peranan yang sangat penting dalam proses biosorpsi ion logam berat di mana terjadinya ikatan kovalent termasuk dengan gugus amino dan group carbonil. Pengambilan ion logam berat oleh *Chlorella regularis* secara selektif dikarenakan oleh adanya ikatan yang kuat antara pasangan ion logam berat dan komponen sel, khususnya protein. Menurut Suhendrayatna (2001), pada saat alga dikulturasikan pada medium yang mengandung Cadmium (Cd), cysteine-rich protein disintesisakan oleh sel *Chlorella vulgaris*, tetapi ketika algae dikulturasikan pada medium yang mengandung Arsenik (As), methallothionen-like protein tidak tersintesisakan. Secara umum tahapan proses bioremediasi menggunakan organisme hidup atau tumbuhan (fitoremediasi) adalah melalui mekanisme biodegradasi, bioekstraksi, bioabsorpsi, biodeposisi, bioakumulasi, dan biotransformasi.

#### **4.2.3 Kelebihan Fitoremediasi Menggunakan Tumbuhan *In Situ***

Penurunan kualitas tanah atau perairan yang tercemar akan mengancam eksistensi ekosistem, keamanan makanan, kelestarian pembangunan pertanian/perikanan dan kesehatan manusia. Untuk mengurangi resiko polutan logam berat pada tanah dan perairan, fitoekstraksi dengan hyperakumulator logam berat alami digunakan secara *biodegradable* untuk memicu phytoekstraksi *chelant*. Tujuannya untuk immobilisasi logam berat dan memperbaiki kondisi lingkungan untuk produksi pertanian atau perikanan. Metode remediasi ini ramah lingkungan dan dapat diterapkan secara sederhana (Kuiper, *et al.*, 2004 dalam Raychaudhuri, *et al.*, 2007).

Remediasi tanah yang terkontaminasi secara teknik rekayasa yang konvensional biayanya mencapai 50 – 500 dolar/ton, dengan teknik khusus dapat mencapai 1.000 dolar/ton. Dengan demikian untuk 1 acre (kedalaman 3 kaki) atau sekitar 4500 ton, biaya remediasinya sekitar ¼ miliar dolar (Cunningham dan Ow, 1996). Oleh karena itu penggunaan tumbuhan *in situ* sebagai bioremediator memiliki nilai tambah, karena selain sudah adaptif, mudah diperoleh, bersifat ekonomis dan *applicable*.

Potensi tumbuhan sebagai fitoremediator logam berat sangat besar, apalagi Indonesia memiliki biodiversitas tumbuhan yang sangat besar. Beberapa genera *Brassicaceae*, diketahui sebagai akumulator logam berat; yaitu sebagai hiperakumulator Ni (7 genera dan 72 spesies), Zn (3 genera dan 20 spesies). Bahkan beberapa spesies merupakan bioakumulator lebih dari satu jenis logam berat, misalnya *Thlaspi*. *T. caerulescens* (Cd, Ni, Pb, dan Zn), *T. goesingense* (Ni dan Zn), *Tochrolencum* (Ni dan Zn), dan *T. rotundifolium* (Ni, Pb, dan Zn) (Prasad dan Freitas, 2003).

Dalam aplikasi fitoremediasi, selain tumbuhan yang toleran terhadap logam, juga sebaiknya dipilih tumbuhan yang mempunyai system perakaran yang meluas. Hal ini disebabkan

mekanisme absorpsi logam berat berlangsung secara difusi (Igwe dan Abia, 2006), misalnya Pb dapat diambil secara fitoekstraksi menggunakan akar Maize (Jurkiewicz, *et al.*, 2004), sehingga sangat tergantung pada luas permukaan akar. Selain itu akar menjadi salah satu organ tempat mengakumulasi logam berat yang diserap tanaman, misalnya Cd terakumulasi di dalam akar edible (Cheng dan Huang, 2006). Untuk itu agar lebih aman, sebaiknya digunakan spesies tumbuhan yang tidak dikonsumsi oleh manusia dan hewan ternak, agar logam berat yang terakumulasi tidak sampai ke manusia.

Pembuangan limbah merupakan aspek yang terpenting dari suatu proses bioremediasi, walaupun issue ini sebenarnya diabaikan oleh beberapa literatur yang menekankan bahwa proses biologis dapat menengahi proses removal ion logam berat dari suatu limbah. Disamping itu terjadi banyak masalah yang menyangkut dengan lahan dan lautan dalam pembuangan lumpur yang mengandung ion logam berat sehingga metode yang ramah lingkungan sangat diperlukan untuk dikembangkan. Penggunaan biomassa memiliki beberapa pandangan *attractive* berkenaan dengan rekoveri dan buangan ikatan logam, termasuk di dalamnya; pertama, pada banyak kasus, logam yang berikatan dapat di *elute* dan biomassa dapat digunakan kembali untuk beberapa siklus proses; dan kedua, biomassa yang berikatan dengan logam berat dapat di reduksi dengan menggunakan sistem pengeringan. Pertimbangan ekonomis sangat penting untuk diperhatikan dalam mengevaluasi seluruh proses. Produksi biomassa suatu organisme, khususnya mikroalga diakui lebih mahal biayanya. Dua jenis alga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina* yang biasa diproduksi secara komersial di Meksiko, Israel, Thailand dan U.S tersedia dengan biaya produksi \$ 10-20 per kg. (Suhendrayatna, 2001). Namun demikian, produksi dalam

jumlah besar dapat menekan biaya produksi. Ketika rekoveri logam berat dilakukan dengan pertimbangan ekonomis, maka perlu juga dipertimbangkan pendekatan secara teknis yang menyangkut mekanisme akumulasi logam berat dengan menggunakan makroorganisme dalam hal ini tumbuhan akuatik atau lahan basah yang berpembuluh.

#### **4.2.4 Potensi Tumbuhan *In situ* yang Resisten Terhadap Logam Berat Sebagai Fitoremediator**

Secara teoritis tumbuhan yang resisten terhadap kondisi cemaran polutan tertentu mempunyai kemampuan untuk memanfaatkan nutrisi tersedia di lingkungan tersebut untuk kelangsungan hidupnya. Dengan demikian tumbuhan tersebut mempunyai kapasitas untuk mengekstraksi, mengabsorpsi, dan mendeposisi bahan-bahan tersebut di dalam jaringannya, sehingga mempunyai kemampuan bioakumulasi.

Berdasarkan hasil penelitian Purnomo (2008b), luapan lumpur lapindo di Porong, Sidoarjo yang mengandung berbagai logam berat (Purnomo, 2008a; BPLS, 2007) telah mencemari ekosistem perairan di sekitarnya (Purnomo, 2008c, mengkontaminasi biota akuatik (Purnomo, 2009a), mengakibatkan degradasi struktur komunitas organisme akuatik (Purnomo, 2008c), kematian mayoritas spesies tumbuhan, kecuali beberapa spesies tumbuhan air (hidrofita) yaitu *Eichhornia crassipes* (mart.) Solms.), *Pistia stratiotes* L., *Lemna major*, *Lemna minor*, *Ipomoea aquatica* dan tumbuhan lahan basah (*wetland*) *Typha latifolia* L. dan *Cyperus* sp., yang masih bertahan dan bahkan beberapa spesies tampak lebih subur atau pesat pertumbuhannya (Purnomo, 2008a). Spesies yang makin subur inilah yang mempunyai kemampuan sebagai hiperakumulator logam berat dari lumpur lapindo, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai fitoremediator (Purnomo, 2009b).

Tumbuhan *in situ* tersebut, selain mempunyai kapasitas sebagai bioakumulator logam berat, sudah teradaptasi dengan kondisi cemaran lumpur lapindo sehingga lebih mudah diaplikasikan. Disisi lain tumbuhan tersebut bukan spesies yang dikonsumsi oleh manusia atau hewan ternak sehingga relatif aman sebagai bioakumulator logam berat.

#### 4.3 Peran Tumbuhan Dalam Fitoremediasi

Tumbuhan dengan mekanisme fisik dan biokimianya dapat dijadikan alternatif untuk mengekstraksi, mengabsorpsi, dan mengakumulasi logam berat yang toksik dari lingkungan dan membentuk ikatan senyawa logam (Maiti, *et al.*, 2004). Proses remediasi polutan dalam sistem ini berlangsung secara alami melalui enam tahap proses secara serial (Ditjen Tata Perkotaan dan Tata Perdesaan, 2003), yaitu:

1. Fitoekstraksi (*Phytoextraction/Phytoaccumulation*) yaitu proses tumbuhan menarik zat kontaminan dari media tumbuhnya sehingga berakumulasi di sekitar akar tumbuhan, proses ini disebut juga *Hyperaccumulation*
2. Rhizofiltrasi (*Rhizofiltration*; rhizo = akar) adalah proses adsorpsi atau pengendapan zat kontaminan oleh akar untuk menempel pada akar sehingga memudahkan untuk diserap oleh akar.
3. Fitostabilisasi (*Phytostabilization*) yaitu penempelan zat-zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap ke dalam batang tumbuhan. Zat-zat tersebut menempel erat (stabil) pada akar sehingga tidak akan terbawa oleh aliran air dalam media atau lingkungan.
4. Rhizodegradasi (*Rhizodegradation*) disebut juga *enhanced rhizosphere biodegradation, or planted-assisted bioremediation degradation*, yaitu penguraian zat-zat kontaminan oleh aktivitas mikroba yang berada di sekitar akar tumbuhan, misalnya ragi, fungi dan bakteri.

5. Fitodegradasi (*Phytodegradation/Phytotransformation*) yaitu proses penguraian zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul yang kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan susunan molekul yang lebih sederhana yang dapat berguna bagi pertumbuhan tumbuhan itu sendiri. Proses ini dapat berlangsung pada daun, batang, akar atau di luar sekitar akar dengan bantuan enzim yang dikeluarkan oleh tumbuhan itu sendiri. Beberapa tumbuhan mengeluarkan enzim berupa bahan kimia yang mempercepat proses degradasi.
6. Fitovolatilisasi (*Phytovolatilization*) yaitu proses menarik dan transpirasi zat kontaminan oleh tumbuhan dalam bentuk yang telah menjadi larutan terurai sebagai bahan yang tidak berbahaya lagi untuk selanjutnya di uapkan ke atmosfer.

Dari penelitian diindikasikan bahwa vegetasi tanah dapat lebih efektif mendegradasi, mengubah, dan proses mineralisasi dari *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPHs), *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAHs), pestisida, larutan klorin, dan surfaktan (US EPA, 2000). Akar tumbuhan tertentu dapat menyerap atau melarutkan polutan yang berasal dari logam seperti Cadmium, Tembaga, Nikel, Seng, Timbal, dan Kromium. Selain itu spesies tumbuhan lainnya mampu memproses atau menyimpan bahan organik dan nutrisi zat pencemar. Kerumitan dan kekompleksan interaksi antara tumbuhan, mikroba-mikroba, tanah, dan polutan mengakibatkan beberapa proses fitoremediasi dapat terjadi.

Proses fitoremediasi akan sangat efektif apabila polutan terdapat pada kadar rendah hingga sedang, karena kadar polutan yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan tumbuhan dan aktivitas mikroba (US EPA, 2000). Polutan yang berasal dari logam, bahan organik dan bahan anorganik dalam air yang mengalir dan dalam tanah dapat didegradasi,

diekstraksi oleh tumbuhan, mengisi bagian dalam tumbuhan, atau gabungan dari beberapa mekanisme tersebut.

Tumbuhan akan memindahkan polutan dari tanah dan air baik secara langsung maupun tidak langsung. Proses secara langsung antara lain melalui penyerapan polutan oleh akar atau pengeluaran dan transformasi, penyimpanan, atau transpirasi. Proses secara tidak langsung diantaranya degradasi polutan oleh mikroba tanah, dan interaksi akar dalam rhizosfer (Hutchinson, *et al.*, 2003).

#### 4.3.1 Proses Degradasi

Dalam proses fitoremediasi degradasi polutan dalam air dan tanah berlangsung meliputi berbagai proses yaitu *Rhizodegradasi*, *Fitodegradasi*, *Fitovolatilisasi*, seperti pada Tabel 6.1. Proses degradasi ini dihambat oleh konsentrasi atau jumlah dan sebaran polutan, makin banyak polutan dan makin luas sebarannya, maka semakin sulit didegradasi (US EPA, 2000). Proses ini merupakan aktivitas metabolisme tumbuhan yang disebut *phytodegradation* atau *phytotransformation*. Istilah tersebut dapat juga digunakan untuk gangguan pencemar pada permukaan tumbuhan melalui pelepasan enzim yang diproduksi oleh tumbuhan dan campuran persenyawaan yang dihasilkan dalam proses transformasi (US EPA, 2000).



**Tabel 4.1.** Kontribusi Proses Fitoremediasi Pada Proses Degradasi atau Transformasi Zat Pencemar Dalam Tanah dan Air.

| Tipe                                                                             | Proses                                                                                                                                                                              | Zat Pencemar                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rhizodegradasi (tumbuhan yang berperan dalam proses bioremediasi, fitostimulasi) | Eksudat tumbuhan dan proses lain yang mempercepat pertumbuhan bakteri tanah, degradasi oleh jamur mikorhiza dan mikroba, menambah saluran aerasi dan oksigen di tanah               | Petroleum hidrokarbon, BTEX, PAHs, PCP, perklorat, pestisida, PCBs dan komponen organik lainnya                                                                          |
| Fitodegradasi                                                                    | Tumbuhan air dan darat mengabsorpsi, menyimpan dan mendegradasi secara biokimiawi atau mentransformasi komponen-komponen organik                                                    | Larutan klorin, metil bromida, atrazin, DDT, tetrabromoeten, tetrakloroetan, dikloroeten, Cl dan P yang menyusun pestisida, PCBs, fenol, anilin, nitril, nutrien-nutrien |
| Fitovolatilisasi                                                                 | Tumbuhan menguapkan unsur logam dan komponen organik dan transpirasi atau difusi zat pencemar atau mengubah bentuk zat pencemar ke luar dari akar, daun atau cabang-cabang tumbuhan | Arsenik, tritium, Se, merkuri, m-xylene, klorobenzen, tetraklorometan, triklorometan, trikloroetan, dan larutan klorin lainnya.                                          |

(Diadaptasi dari informasi dalam US EPA, 2000)

#### 4.3.2 Proses Ekstraksi

Ekstraksi polutan dalam ekosistem perairan oleh tumbuhan meliputi berbagai proses yaitu *Phytoextraction* /*Phytomining*, *Rhizofiltration*, *Phytovolatilization* seperti dalam Tabel 6.2. Proses ini bergantung pada jenis tumbuhan dan

polutan, dapat berlangsung secara cepat pada salah satu proses aktif maupun pasif (Chiou, 2000). Prinsip prosesnya menggunakan transport pasif, dengan transport utama perantara, permukaan air dan air tanah, membawa bahan pencemar ke dalam tanah. Transpor aktif tumbuhan membutuhkan energi, pada umumnya untuk nutrisi digunakan bahan organik lain dan ion anorganik yang diekstraksi oleh tumbuhan (Chiou, 2000).

**Tabel 4.2.** Proses Masuknya atau Ekstraksi Pencemar dari Tanah atau Air ke Dalam Tumbuhan.

| Jenis                                     | Proses                                                                                                                   | Bahan pencemar                                                                                                          |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Phytoextraction<br>( <i>Phytomining</i> ) | Bahan kimia, logam berat bersama air diabsorpsi oleh vegetasi yang akan dipanen atau sebaliknya logam berat di ekstraksi | Metal, metalloid, radionukleid, klorida, BTEX, PCP, kimia organik yang tidak secara rapat pada partikel tanah           |
| Rhizofiltration                           | Pencemar diendapkan oleh akar atau diserap oleh jamur, alga dan bakteri                                                  | Metal, radionukleid, kimia organik, nitrat, fosfat dan pathogen                                                         |
| Phytovolatilization                       | Terjadi penguapan logam berat dan senyawa organik dan diserap atau difusi keluar pada akar, daun atau batang tanaman     | Sentrifium, As, Hg, m-xylene, chlorobenzena, tetraklorometana, triklorometana, trikloroethana, dan bahan klor yang lain |

(Diambil dari informasi dalam US EPA, 2000)

Pada kenyataannya tumbuhan membutuhkan logam, terdiri dari seng (Zn) dan tembaga (Cu), sebagai nutrisi untuk tumbuh. Ketika tanah di sekeliling akarnya tidak terdapat

unsur tersebut, tumbuhan akan menunjukkan gejala gangguan (hilangnya warna daun, memutih, bintik noda dan lain sebagainya) (Stern, 2000). Beberapa tumbuhan, diwakili pada hiperakumulator, tidak membedakan antara logam berat (terdiri dari cadmium dan selenium) dan nutrisi logam dibutuhkan untuk pertumbuhan (Raskin dan Ensly, 2000; Stern, 2000). Tumbuhan menyerap logam berat melalui akar dan disimpan dalam vakuola sel, dimana jaringannya mempunyai ukuran yang berisi 1.000 sampai 10.000 ppm pada berbagai logam berat (Stern, 2000).

Logam berat dalam air, yang terdiri dari seng (Zn), tembaga (Cu), dan cadmium (Cd) dapat diserap oleh tanah dan akar tumbuhan air (Fritoff dan Greger, 2003), sehingga terakumulasi dalam akarnya. Beberapa komponen yang penting pada hasil ekstrak fitoremediasi adalah tersedianya bahan senyawa (Dzantor dan Beauchamp, 2000). Lipophilicity atau larutan lipid dalam sel tanaman, merupakan faktor kontrol utama dalam tersedianya dan perpindahan bahan kimia organik yang diserap tumbuhan (Hutchinson, *et al.*, 2003). Salah satu bahan kimia yang diangkut ke dalam sel tumbuhan, dapat dimetabolisme dalam proses yang sangat mirip pada metabolisme mamalia; tumbuhan menggunakan proses ini yang seringkali disebut dengan “*green livers*” (Dzantor dan Beauchamp, 2000).

Pemakaian proses yang disebut *phytovolatilization*, merupakan bahan pencemar yang dapat berpindah secara cepat, dalam bentuk uap dan diserap melalui akar, batang atau daun (Doucette, *et al.*, 2003). Selenium (Se), sebagai contoh dapat berubah ke dalam uap *dimethyl selenide*, yang salah satunya diangkut melalui udara, tidak diketahui dampak resikonya bagi kesehatan. Senyawa organik dalam bentuk uap dapat secara cepat dan langsung diserap atau di difusi melalui akar, batang dan daun-daunan (Doucette, *et al.*, 2003).

### 4.3.3 Proses Stabilisasi

Stabilisasi polutan pada proses fitoremediasi berlangsung meliputi proses *Phytostabilisasi* dan *Rhizofiltrasi* seperti pada Tabel 6.3. Interaksi mikroba dan akar dapat menghentikan perpindahan bahan organik dan anorganik oleh ikatan keduanya, menuju partikel tanah yang merupakan sisa hasil penguraian. Proses pengikatan pencemar tanah pada area vegetasi (tumbuhan) memperkecil kerusakan partikel pencemar sekitar tanah dan mencegah pergerakan pencemaran di kenal sebagai Phytostabilisasi.

**Tabel 4.3.** Stabilisasi atau Proses Pencegahan Perpindahan isi atau Pengangkutan

| Tipe             | Proses                                                                                                                                                               | Ketersediaan isi                                                                                   |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Phytostabilisasi | Tumbuhan mencegah erosi dan perpindahan polutan, yang meliputi wilayah pertumbuhan dimana tumbuhan alami tidak dapat bertahan karena tingginya konsentrasi pencemar. | Logam, Phenol, Tetracklorometan, Triclorometan, Sebagian larutan chloride                          |
| Rhizofiltrasi    | Pengambilan zat pencemar melalui penyerapan atau pengendapan oleh akar atau tunas: penyerapan oleh jamur, alga, dan bakteri.                                         | Logam, Radionuklisida, kimia organik nitrat, ammonium, phosphate, dan pathogen (penyebab penyakit) |

Proses dimana logam berat di perairan diserap/diendapkan di dalam akar tanaman dikenal sebagai

Rhizofiltrasi. Tanaman mungkin bisa/ mungkin juga tidak bisa mengambil logam berat dan bahan pencemar dari tempat lain. Bahan pencemar dapat ditahan, dihentikan atau diakumulasi di dalam atau di atas struktur akar. Umumnya aplikasi tersebut merupakan penggabungan dengan pembawa zat pencemar di perairan dari pada pencemaran partikel tanah. Proses ini tergantung pada tingkatan pH dan pengurangan hasil panen tanaman dalam proses ini diperlukan untuk mengurangi masuknya kembali bahan pencemar ke dalam tanah atau air.

Penggunaan spesies tanaman alami untuk fitoremediasi adalah hal yang dianjurkan, karena lebih ekonomis dan rendahnya resiko bagi lingkungan dan manusia. Hal ini diperoleh melalui seleksi kumpulan spesies tanaman alami yang mempunyai toleransi terhadap kondisi tanah, iklim, dan perubahan musim baik penghujan maupun kemarau. Faktor utama pembatas efektivitas fitoremediasi adalah kondisi iklim, perbedaan temperatur dan pencemaran, serta pencahayaan area sekitar akar tanaman (Wolverton, 1987). Pada temperatur normal, periode dormansi untuk kebanyakan tanaman serupa dengan curah hujan tinggi merupakan batas penyerapan bahan pencemar. Efek phytoremediasi adalah memerlukan perluasan system akar yang tanpa diberi perlakuan rhizosphere.

Tumbuhan yang mempunyai kemampuan mengabsorbsi dan mengakumulasi logam berat disebut tumbuhan *hiperakumulator*. Beberapa spesies tumbuhan hiperakumulator telah digunakan untuk bioremediasi logam berat dari lingkungan tanah dan perairan. Hiperakumulator ini mengabsorbsi logam berat, mentranslokasinya ke dalam tonoplas dan mengakumulasinya di vacuola, dengan demikian melindungi metabolisme sel dari toksisitas logam (Maiti, *et al.*, 2004).

*Brasica juncea* L. dapat mengakumulasi Cd lebih dari 400 ug/g berat kering di akar, sehingga dapat digunakan untuk bioremediasi tanah dan perairan yang tercemar Cadmium (Kermer, *et al.*, 1999). Akumulasi Cd berkaitan dengan adaptasi metabolisme, laju induksi biosintesis fitochelatin (PC). Dengan demikian akumulasi Cd berkaitan dengan laju pertumbuhan, laju transpirasi, asimilasi CO<sub>2</sub>, dan sintesis fitochelatin.

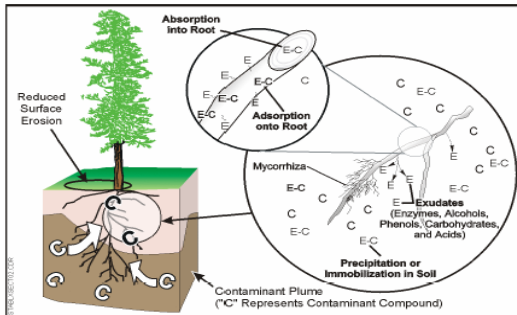
#### **4.4 Aplikasi Teknologi Fitoremediasi Dalam Pengelolaan Limbah**

Penyerapan logam berat oleh tanaman air berlangsung melalui akar, dan pada spesies tertentu tertimbun di bagian tajuk (Lakshman, 1987). Akumulasi logam berat terbanyak pada tanaman berturut-turut adalah di akar, batang, dan daun. Penyerapan terbesar logam berat terjadi pada tanaman air. Mekanisme penyerapan timbal dilakukan dengan bantuan senyawa fitokhelatin. Hal ini terbukti bahwa fitokhelatin hanya dapat dijumpai pada tumbuhan yang mengandung logam dalam jumlah yang dapat bersifat toksik. Proses penyerapan logam berat oleh tanaman air merupakan proses yang pasif, artinya tidak terlibat dalam proses metabolisme sel. Logam berat yang diabsorpsi oleh tanaman masuk menuju ke tempat yang bersifat anion dalam dinding sel dan tidak terlibat pada proses metabolisme.

Proses fitoremediasi secara umum dibedakan berdasarkan mekanisme fungsi dan struktur tumbuhan (Mangkoedihardjo (2005), tetapi US EPA (1999) dan US EPA (2005) mengklasifikasikan proses tersebut menjadi 6 tahap sebagai berikut:

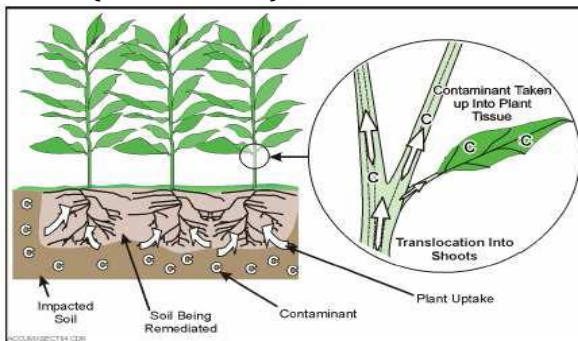
1. Fitostabilisasi (*Phytostabilization*); Akar tumbuhan mengimobilisasi polutan dengan cara mengakumulasi dan mengadsorpsinya pada permukaan akar serta mengendapkan presipitat polutan dalam zona akar.

Proses ini secara tipikal digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik yang terkandung minyak yaitu sulfur, nitrogen, dan beberapa logam berat (sekitar 2-50% kandungan minyak) (**Gambar 4.1**).



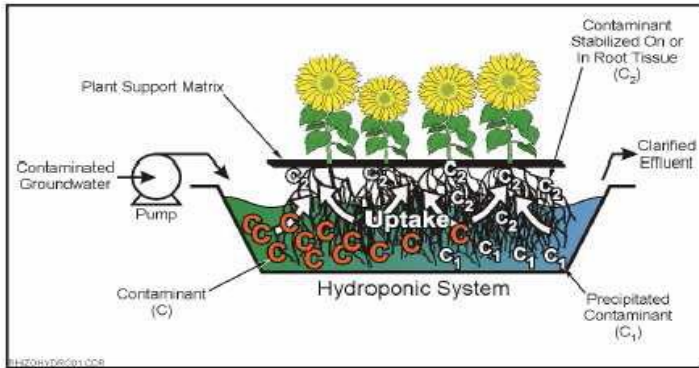
**Gambar 4.1** Proses Fitostabilisasi (*Phytostabilization*) Kontaminan (Sumber: *Mangkoedihardjo, 2005*).

2. Fitoekstraksi/Fitoakumulasi (*Phytoextraction/Phytoaccumulation*); Akar tumbuhan menyerap polutan dan selanjutnya ditranslokasi ke dalam organ tumbuhan. Proses ini cocok digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik seperti pada proses fitostabilisasi (**Gambar 4.2**).



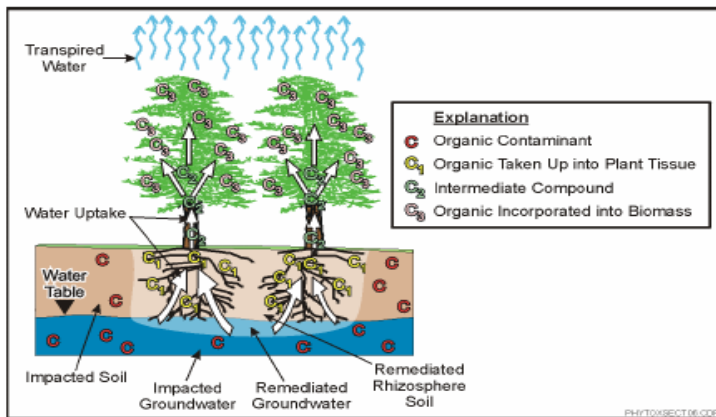
**Gambar 4.2** Proses Fitoekstraksi/Fitoakumulasi Kontaminan (Sumber: *Mangkoedihardjo, 2005*)

3. Rizofiltrasi (*Rhizofiltration*); Akar tumbuhan mengadsorpsi atau presipitasi pada zona akar atau mengabsorpsi larutan polutan dari sekitar akar ke dalam akar. Proses ini digunakan untuk polutan yang mengandung bahan organik maupun anorganik (**Gambar 4.3**).
4. Fitodegradasi/Fitotransformasi; (*Phytodegradation/Phyto transformation*); Organ tumbuhan menguraikan polutan yang diserap melalui proses metabolisme atau secara enzimatis (**Gambar 5.4**)



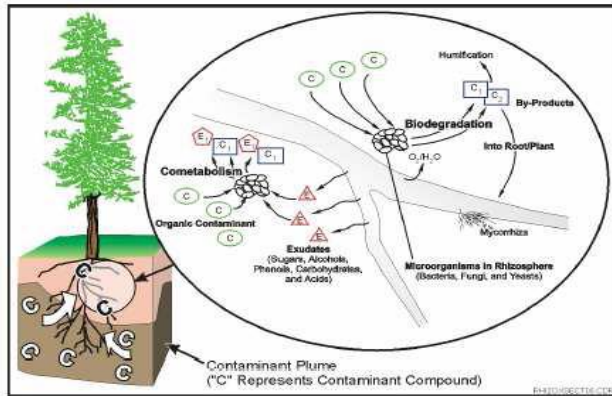
**Gambar 4.3** Proses Rizofiltrasi (*Rhizofiltration*) Kontaminan  
(Sumber: Mangkoedihardjo, 2005).





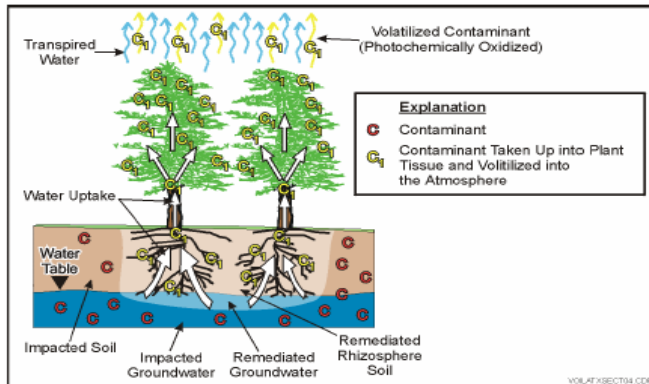
**Gambar 4.4.** Proses Fitodegradasi/Fitotransformasi Kontaminan (Sumber: Mangkoedihardjo, 2005)

5. Rizodegradasi (*Rhizodegradation/Enhanced rhizosphere biodegradation/Phytostimulation/Plant-assisted bioremediation /Degradation*); Polutan yang diuraikan oleh mikroba dalam tanah, yang diperkuat/sinergis oleh ragi, fungi, dan zat-zat keluaran akar tumbuhan (eksudat) yaitu gula, alkohol, asam. Eksudat itu merupakan makanan mikroba yang menguraikan polutan maupun biota tanah lainnya. Proses ini terutama untuk dekontaminasi zat organik (**Gambar 4.5**).



**Gambar 4.5** Proses Rizodegradasi Kontaminan  
(Sumber: Mangkoedihardjo,2005).

6. Fitovolatilisasi (*Phytovolatilization*); Penyerapan polutan oleh tumbuhan dan dikeluarkan dalam bentuk uap cair ke atmosfer. Kontaminan bisa mengalami transformasi sebelum lepas ke atmosfer. Proses ini tepat digunakan untuk kontaminan zat-zat organik (**Gambar 4.6**)



**Gambar 4.6** Proses Fitovolatilisasi (*Phytovolatilization*)  
Kontaminan (Sumber: Mangkoedihardjo, 2005).

Tumbuhan hiperakumulator adalah tumbuhan yang mempunyai kemampuan untuk mengkonsentrasikan logam di dalam biomasnya dalam kadar yang luar biasa tinggi. Batas hiperakumulator berbeda-beda tergantung pada jenis logamnya, misalnya kadmium 0,01% (100 mg/kg BK) sedangkan kobalt, tembaga dan timbal adalah 0,1% (1.000 mg/kg BK) serta seng dan mangan adalah 1% (10.000 mg/kg BK). Laporan pertama mengenai adanya tumbuhan hiperakumulator muncul pada tahun 1948 oleh Minguzzi dan Vergnano, yang menemukan kadar nikel setinggi 1,2% dalam daun *Alyssum bertolonii*. Sejak itu, terutama dengan mengandalkan analisis mikro terhadap spesimen herbarium, diketahui ada 435 taxa tumbuhan hiperakumulator logam yang tumbuh tersebar di lima benua dan semua wilayah iklim (Baker, 1999 dalam Priyanto & Prayitno, 2006).

Pohon bakau (*Rhizophora mucronata*) dapat mengakumulasi tembaga (Cu), mangan (Mn), dan seng (Zn). Hipokotil pohon bakau dapat mengakumulasi tembaga (Cu), besi (Fe), dan seng (Zn). Kemampuan vegetasi mangrove dalam mengakumulasi logam berat dapat dijadikan alternatif perlindungan perairan terhadap pencemaran logam berat. Tumbuhan yang hidup di daerah tercemar memiliki mekanisme penyesuaian yang membuat polutan menjadi nonaktif dan disimpan di dalam jaringan tua sehingga tidak membahayakan pertumbuhan dan kehidupan tumbuhan. Polutan tersebut akan memberi pengaruh jika dikeluarkan melalui metabolisme jaringan atau jika tumbuhan tersebut dikonsumsi. Pemberian polutan dapat merangsang kemampuannya untuk bertahan pada tingkat yang lebih toksik (Arisandi, 2001).

Tumbuhan mampu menyerap ion-ion dari lingkungannya melalui membran sel. Dua sifat penyerapan ion oleh tumbuhan adalah:

1. Faktor konsentrasi; kemampuan tumbuhan dalam mengakumulasi ion sampai tingkat konsentrasi tertentu, bahkan dapat mencapai beberapa tingkat lebih besar dari konsentrasi ion di dalam mediumnya.
2. Perbedaan kuantitatif akan kebutuhan hara yang berbeda pada tiap jenis tumbuhan; Sel-sel akar tumbuhan umumnya mengandung konsentrasi ion yang lebih tinggi daripada medium di sekitarnya. Sejumlah besar eksperimen menunjukkan adanya hubungan antara laju pengambilan ion dengan konsentrasi ion yang menyerupai hubungan antara laju reaksi yang dihantarkan enzim dengan konsentrasi substratnya. Analogi ini menunjukkan adanya barier khusus dalam membran sel yang hanya sesuai untuk suatu ion tertentu dan dapat menyerap ion tersebut, sehingga pada konsentrasi substrat yang tinggi semua barier berperan pada laju maksimum hingga mencapai laju pengambilan jenuh (Fitter, 1982 *dalam* Arisandi, 2001).

Menurut Fitter dan Hay (1982), mekanisme yang dilakukan oleh tumbuhan untuk menghadapi konsentrasi toksik adalah:

1. Penanggulangan (ameliorasi); untuk meminimumkan pengaruh toksin, dapat melalui empat pendekatan, yaitu :
  - a. *Lokalisasi* (intraseluler atau ekstraseluler); biasanya berlangsung pada organ akar.
  - b. *Ekskresi*; dapat berlangsung secara aktif melalui kelenjar pada tajuk atau secara pasif melalui akumulasi pada daun-daun tua yang diikuti dengan pengguguran daun.

- c. *Dilusi* (melemahkan); melalui pengenceran.
  - d. *Inaktivasi secara kimia*; pembentukan kompleks logam, seperti pada tembaga (Cu) yang biasanya mengalami translokasi pembentukan khelat dengan asam-asam poliamino-polikarboksilik.
2. Toleransi; tumbuhan mengembangkan sistem metabolik yang dapat berfungsi pada konsentrasi toksik.

Spesies tumbuhan yang mampu bertahan terhadap ion-ion toksik memiliki mekanisme berlapis (*multilayered*). Lazimnya adaptasi terhadap logam berat melibatkan diferensiasi ekotipe yaitu evolusi dari genotip-genotip yang beradaptasi. Pohon Api-api (*Avicennia marina*) yang termasuk dalam vegetasi mangrove, memiliki upaya penanggulangan materi toksik seperti logam berat, diantaranya dengan melemahkan efek racun melalui pengenceran (*dilusi*), yaitu dengan menyimpan banyak air untuk mengencerkan konsentrasi logam berat dalam jaringan tubuhnya sehingga mengurangi toksisitasnya. Pengenceran dengan penyimpanan air di dalam jaringan biasanya terjadi pada daun dan diikuti dengan terjadinya penebalan daun (*sukulensi*). Ekskresi juga merupakan upaya yang mungkin terjadi, yaitu dengan menyimpan materi toksik logam berat di dalam jaringan yang sudah tua seperti daun yang sudah tua dan kulit batang yang mudah mengelupas, sehingga dapat mengurangi konsentrasi logam berat di dalam tubuhnya. Metabolisme atau transformasi secara biologis (*biotransformasi*) logam berat dapat mengurangi toksisitas logam berat. Logam berat yang masuk ke dalam tubuh akan mengalami pengikatan dan penurunan toksisitas, karena diubah menjadi bentuk-bentuk persenyawaan yang lebih sederhana. Proses ini dibantu dengan aktivitas enzim yang mengatur dan mempercepat jalannya proses tersebut.

Menurut Bargagli (2004) ada tiga jalan yang dapat ditempuh oleh air dan ion-ion yang terlarut bergerak menuju sel-sel xylem dalam akar, yaitu (1) melalui dinding sel (*apoplas*) epidermis dan sel-sel korteks, (2) melalui sistem sitoplasma (*simplas*) yang bergerak dari sel-ke sel dan (3). melalui vakuola sel hidup pada akar (dimana sitosol dari setiap sel membentuk suatu jalur). Tanaman air mampu mengakumulasi logam berat tetapi tidak berbahaya bagi pertumbuhannya (Gwozdz, *et.al.*, dalam Priyanto dan Prayitno, 2008), karena adanya mekanisme antara lain:

1. mampu menyimpan banyak air untuk mengencerkan logam berat yang diserap sehingga toksisitasnya berkurang.
2. membentuk khelat berupa senyawa fitohkelatin yang akan mengikat logam berat, kemudian logam berat di khelat oleh atom S yang berasal dari peptida sistein.
3. logam berat yang sudah berikatan dengan fitokhelatin akan masuk ke dalam sel akar melalui transport aktif, selanjutnya diangkut oleh jaringan floem dan xylem menuju ke bagian tubuh yang lain.
4. logam berat yang masuk ke dalam tubuh tanaman air akan diekskresi dengan cara menggugurkan daunnya yang sudah tua sehingga kadarnya berkurang.

Logam dalam air biasanya diikat oleh senyawa lain sehingga akan berbentuk molekul. Ikatan tersebut dapat berupa garam, baik organik maupun anorganik. Garam tersebut diserap oleh akar dalam bentuk ion dan dapat bergerak melewati korteks secara apoplas, simplas maupun keduanya.

Tumbuhan yang hidup pada daerah tercemar mempunyai mekanisme penyesuaian tersendiri agar polutan menjadi nonaktif dan disimpan pada jaringan tua sehingga tidak membahayakan pertumbuhan dan kelangsungan

kehidupannya. Fitter dan Hay (1982) menyebutkan bahwa ada beberapa mekanisme yang dilakukan tanaman untuk mengatasi pengaruh toksik, yaitu dengan (1) lokalisasi, intra atau ekstraseluler yang biasanya terdapat dalam akar tanaman, (2) Ekskresi, secara aktif melalui kelenjar pada tajuk, atau secara pasif dengan akumulasi pada daun-daun yang tua kemudian diikuti dengan absisi daun (lepasnya daun), (3) dilusi (melemahkan), sangat penting dalam kaitannya dengan salinitas dan (4) inaktivasi secara kimia dengan pembentukan khelat, sehingga ion ada dalam bentuk kombinasi dengan toksisitas yang berkurang.

#### **4.5 Pertimbangan Dalam Menentukan Spesies Tumbuhan Sebagai Fitomediator**

Pemilihan spesies tumbuhan sebagai fitoremediator dalam aplikasi teknologi fitoremediasi dalam pengelolaan limbah sangat menentukan keberhasilannya. Sebagai contoh penggunaan tumbuhan ekor kucing (*Typha latifolia* L.) merupakan tumbuhan yang potensial digunakan dalam remediasi polutan yang mengandung logam berat timbal dan lingkungan bersalinitas tinggi (32-40‰), karena mempunyai resistensi tinggi terhadap salinitas air (Purnomo, 2008a). Tumbuhan ini mampu hidup pada tanah terkontaminasi timbal hingga 4000 ppm (McDonald, 2006), pH 3,0 – 8,5 (Zhang, *et al.*, 2010), toleran terhadap salinitas air, dan dapat hidup pada kedalaman air 12-18 inci, (Selbo, 2000). Potensi tersebut semakin tinggi karena tumbuhan ini mampu hidup dengan stress tanah kering hingga 12 minggu (Asamoah, *et. al.*, 2010 dalam Zhang, *et al.*, 2010). Kondisi ini sangat sesuai untuk kawasan yang tercemar lumpur lapindo, dimana kondisi tergenang dan kekeringan silih berganti. Selain itu struktur perakaran *Typha* mampu menciptakan kondisi aerobik di

sekitar akarnya sehingga sangat mendukung untuk kehidupan mikroba yang menstimulasi terjadinya degradasi hidrokarbon dan minyak mentah (Chris, *et.al.*, 2000 dalam Zhang, *et al.*, 2010).

*Typha latifolia* L. mampu menyerap Cu 1156,7 mg/kg, Ni 296,7 mg/kg, dan Zn 1231 mg/kg berat kering (Manios, *et.al.*, 2003), Phospor dalam bentuk orthofosfat sebesar 69%, sulfat 72%, ammonia 74%, COD 79% (Zhang, *et.al.*, 2010) Kemampuan *Typha* dalam menyerap Cu, Mn, Cd, Co, Zn, Pb, Ni dan Cr dengan faktor transfer diatas 1,0 (Sasmaz, *et al.*, 2008; Purnomo, 2009b)). Akumulasi logam tersebut tertinggi di akar>rizoma>daun tua>daun hijau, kecuali Cr penyerapan logam berat oleh *Typha* berlangsung efisien. Paling efektif dalam menyerap Co >Cd >Cr > Pb >Cu >Ni > Zn (Sasmaz, *et al.*, 2008), selain itu juga efektif menurunkan kadar ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) dan nitrat ( NO<sub>3</sub>) (Brix, *et al.*, 1996). Semua penelitian di atas dilakukan pada perairan tawar.

Menurut Zhang, *et al.*,(2010) fitoremediasi dapat digunakan untuk membersihkan dan mengontrol beberapa polutan termasuk logam berat, pestisida, dan minyak. Kemampuan tersebut akan berkurang jika komposisi tanah 40% atau lebih adalah liat (Zubillaga, *et al.*, 2008 dalam Zhang, *et al.*, 2010). Jenis-jenis tanaman yang sering digunakan untuk fitoremediasi adalah Anturium merah/kuning, Alamanda kuning/ungu, Akar wangi, Bambu air, Cana presiden merah/kuning/putih, Dahlia, Dracenia merah/hijau, Heleconia kuning/merah, Jaka, Keladi loreng /Sente/hitam, Kenyeri merah/putih, Lotus kuning/merah, Onje Merah, Pacing merah/putih, Padi-padian, Papyrus, Pisang mas, Ponaderia, Sempol merah/putih, Spider Lili, dll.



Pemanfaatan tumbuhan untuk remediasi lingkungan sangat ditentukan oleh pemahaman tentang penyerapan logam serta penyerapan dan atau degradasi senyawa organik oleh tumbuhan. Pada dasawarsa terakhir terjadi akumulasi yang cepat tentang pengetahuan mengenai aspek-aspek fisiologi tersebut. Chaney dan koleganya dari USDA-ARS yang aktif meneliti dan mengembangkan manfaat tumbuhan untuk remediasi logam telah mengidentifikasi karakteristik penting, sebagai berikut (Chaney, *et al.*, 1997): Tumbuhan harus bersifat hipertoleran agar dapat mengakumulasi sejumlah besar logam berat di dalam batang serta daun. Tumbuhan harus mampu menyerap logam berat dari dalam larutan tanah dengan laju penyerapan yang tinggi. Tumbuhan harus mempunyai kemampuan untuk mentranslokasi logam berat yang diserap akar ke bagian batang serta daun.

Beberapa jenis tumbuhan mempunyai sifat hiperakumulator yang luar biasa. Namun biasanya tumbuhan yang teradaptasi di tanah berkadar logam tinggi dan toleran terhadap logam mempunyai sifat tumbuh lambat. Karakter manakah yang lebih penting, sifat "hiperakumulator tetapi tumbuh lambat" atau "tumbuh cepat tetapi toleransi medium", memang bisa menjadi bahan perdebatan bila sudah sampai pada persoalan memilih jenis tumbuhan yang sesuai. Kelompok di USDA-ARS (Chaney, *et al.*, 1997) yakin bahwa hipertoleransi lebih penting daripada biomassa tinggi, dengan alasan sebagai berikut. Dalam kondisi optimum, *Brassica juncea* dapat menghasilkan hingga 20 ton/ha/musim tanam biomassa kering. Tanaman ini mampu mengakumulasi Zn dan Cd, namun pertumbuhannya akan terhambat hingga separuhnya bila kadar Zn dalam biomassa mencapai 500 mg/kg. Dengan demikian pada tingkat hasil biomassa sebesar 10 ton/ha, tanaman ini hanya mampu mengambil 5 kg Zn/ha. Di pihak lain *Thlaspi cearulescens* dapat mengakumulasi hingga 25.000 mg

Zn/kg tanpa reduksi hasil. Dengan demikian bahkan pada hasil panen hanya sebesar 5 ton/ha, jumlah seng yang ditarik dari dalam tanah mencapai 125 kg/ha atau 25 kali yang dicapai oleh *Brassica juncea*. Penggunaan tumbuhan hiperakumulator juga lebih menguntungkan bila harus mendaur ulang logam yang telah dihimpun di dalam biomassa tumbuhan. Dengan kadar akumulasi tinggi, biomassa yang harus ditangani jauh lebih sedikit.

Di pihak lain, usaha untuk meningkatkan akumulasi logam berat, khususnya timbal, telah dilakukan di beberapa laboratorium. Ilya Raskin dan kolega di *AgBiotech Center* berusaha menaikkan tingkat akumulasi Pb oleh *Brassica juncea* dengan memberikan zat pengkhelat ke dalam tanah (Blaylock, *et al.*, 1997). Hasilnya menunjukkan, bahwa dengan memberikan khelator EDTA ke dalam tanah yang mengandung 600 mg Pb/kg, *Brassica juncea* mampu mengakumulasi Pb hingga 1,5% biomasanya. Dengan demikian bila dianggap hasil biomassa adalah 12 ton/ha, maka sebanyak 180 kg Pb/ha dapat diambil dari dalam tanah. Untuk mencapai hasil yang tinggi ini tambahan biaya untuk pemberian EDTA diperhitungkan sekitar US\$7,50/ton tanah yang digarap. Hasil penelitian Scott Cunningham dan kolega di DuPont mendukung penemuan Raskin dan kawan-kawan tersebut (Huang, *et al.*, 1997). Dalam percobaan di tanah yang terkontaminasi, penambahan EDTA ke dalam tanah dapat meningkatkan akumulasi Pb pada jagung dan *Pisum sativum* dari 500 mg/ka menjadi >10.000 mg/kg (setara dengan >1% BK). Nilai akumulasi sebesar itu dianggap sebagai batas ekonomis bagi fitoremediasi.

Banyak desain awal pengolah limbah menggunakan tumbuhan timbul untuk mengolah limbah. Hasil analisis sistem pengolah limbah tersebut menunjukkan bahwa tumbuhan berperan sebagai tempat penyimpanan sementara, melalui

proses transformasi dan pemisahan polutan yang terjadi dalam substrat (Nichols, 1983). Tumbuhan timbul sering ditanam pada media kerikil untuk merangsang serapan hara dan menciptakan kondisi yang cocok untuk oksidasi substrat, sehingga kemampuan sistem untuk mengolah limbah menjadi meningkat.

Kriteria umum untuk menentukan spesies tumbuhan lahan basah yang cocok untuk pengolah limbah belum ada, karena sistem yang berbeda memiliki tujuan dan standar yang berbeda. Hal yang patut dipertimbangkan dalam pemilihan tanaman adalah toleran terhadap limbah, mampu mengolah limbah, dan pengaruhnya terhadap lingkungan. Untuk mengetahui tingkat toleransi tanaman terhadap limbah maka perlu diketahui konsentrasi nutrisi dalam limbah. Kemampuan dalam mengolah limbah meliputi kapasitas filtrasi dan efisiensi serapan nutrisi (Shutes, *et al.*, 1993). Tumbuhan timbul dan tumbuhan mengapung lebih banyak dipilih untuk digunakan dalam studi lahan basah buatan skala pilot. Jenis tumbuhan timbul *Scirpus californicus*, *Zizaniopsis miliaceae*, *Panicum helitomom*, *Pontederia cordata*, *Sagittaria lancifolia*, dan *Typha latifolia* adalah yang terbaik digunakan pada sistem lahan basah buatan untuk mengolah limbah peternakan (Surrency, 1993). *Phalaris*, *Spartina*, *Carex* dan *Juncus* memiliki potensi produksi dan daya serap hara tinggi, penyebarannya luas, dan toleran terhadap berbagai kondisi lingkungan.

Spesies tumbuhan mengapung digunakan karena tingkat pertumbuhannya tinggi, dan kemampuannya untuk langsung menyerap hara langsung dari kolom air (Reddy dan de Busk, 1985). Akarnya menjadi tempat filtrasi dan adsorpsi padatan tersuspensi dan pertumbuhan mikroba yang menghilangkan unsur-unsur hara dari kolom air.

Tanaman tenggelam tidak direkomendasikan untuk pengolah limbah, karena produksinya rendah, banyak spesies yang tidak tahan terhadap kondisi eutrofik dan memiliki efek yang merugikan bagi alga dalam kolom air (Hammer dan Bastian, 1989). Namun tumbuhan tenggelam mungkin memiliki peran yang penting bila dikombinasikan dengan jenis tanaman lain dalam sistem pengolah limbah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arisandi, P. 2001. *Mangrove Jenis Api-api (Avicennia marina) Alternatif Pengendalian Pencemaran Logam Berat Pesisir*, Lembaga Kajian Ekologi dan Konservasi lahan Basah, (Online), Diakses 4 Januari 2008.
- Bardos, V.E.A. 2002. *Remediation of Contaminated Land Technology Implementation in Europe*. Clarinet. Final Conference, Proceeding. Contaminated Land Rehabilitation Network For Environmental Technologies Contaminated. Viena, Austria, Octobre 2002.
- Bargagli, R. 1998. *Trace Elements in Terrestrial Plants: An Ecophysiological Approach to Biomonitoring and Biorecovery*. Springer. Berlin.
- Blaylock, M.J., D.E. Salt, S. Dushenkov, O. Zakharova, C. Gussman, Y. Kapulnik, B.D. Ensley, dan I. Raskin. 1997. Enhanced Accumulation of Pb in Indian Mustard by Soil-applied Chelating Agents. *Environ. Sci. Technol.* 31. 1997: 860-865.
- BPLS. 2007. *Hasil Penelitian Kajian Lingkungan Badan Geologi Departemen Sumber Daya Energi dan Mineral*. 2007. Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo. Surabaya.
- Brix, H., Sorrell, B.K., dan Schierup, H.H., 1996. Gas Fluxes Achieved By *In Situ* Convective Flow in *Phragmites australis*. *Aquat. Bot.* 54: 151-163.
- Bryan, G.W., In: A.P.M. Lockwood (Ed.), 1976. *Effects of Pollutants on Aquatic Organisms*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Brooks, R.R. 1998. *Plants That Hyperaccumulate Heavy Metals*. CAB International. New York.
- Chaney, R.L., M. Malik, Y.M. Li, S.L. Brown, E.P. Brewer, J.S. Angle dan A.J.M. Baker. 1997. *Phytoremediation of Soil Metals*. Publikasi di website. Diakses 15 April 2010.

- Cheng, S.F. dan C.Y.Huang. 2006. Influence of Cadmium On Growth of Root Vegetable And Accumulation of Cadmium In The Edible Root. Taiwan. *International Journal Applied Science & Engineering* 43.2006: 243- 252.
- Chiou, C.T. 2000. *Partition and Adsorption of Organic Contaminants in Environmental System*. Wiley-Interscience. Hoboken, NJ.
- Cornwell, W.K., B.L. Bedford, dan C.T.Chapin. 2001. *Occurrence of Arbusculat Mycorrhizal Fungi in a Phosphorus-Poor Wetland and Mycorrhizal Response to Phosphorus Fertilization*. *American Journal of Botany* 88(10) 2001: 1824–1829.
- Corstanje, R., K.R. Redy, K.M. Portier. 2006. *Typha latifolia and Cladium jamaicense Litter Decay in Response to Exogenous Nutrient Enrichment*. *Aquatic Botany* 84. 2006: 70–78
- Cunningham, S.D., dan D.W. Ow. 1996. Promises and Prospects of Phytoremediation. – *Plant Physiol.* 110. 1996: 715-719.
- Direktorat Jenderal Tata Perkotaan dan Tata Perdesaan. 2003. *Fitoremediasi Upaya Mengolah Air Limbah Dengan Tanaman*. [http://www. sanitasi.or.id /index. php?option=com\\_content &task=view&id=153&Itemid=1](http://www.sanitasi.or.id /index. php?option=com_content &task=view&id=153&Itemid=1). Diakses 5 November 2008
- Doucette, W.J., Bugbee, B.G, Smith, S.C., Pajak, C.J., & Ginn, J.S. 2003. L McCutcheon, S.C., & Schnoor, J.L. (Eds), *Phytoremediation: Transformation and Control of Contaminants*. Wiley-Interscience, Inc. Hoboken, NJ. 2003: 561-588.
- Dzuntor, E.K, & Beauchamp, R.G. 2000 June. *Phytoremediation, Part I: Fundamental Basis for the Use of Plants in Remediation of Organic and Metal Contamination. Environmental Practice. Journal of The National Association of Environmental Professionals*, 4. 2000: 77-87.

- Fitter, A.H dan Hay. 2001. *Fisiologi Lingkungan Tanaman*. UGM. Yogyakarta.
- Fitter, A.H dan Hay. 1982. *Fisiologi Lingkungan Tanaman*. UGM. Yogyakarta.
- Fritoff, A., & Greger, M. 2003. *Aquatic and Terrestrial Plant Species With Potential to Remove Heavy Metals from Stomwater. International Journal of Phytoremediation*, 211.
- Hammer, D.A., dan Bastian, R.K. 1989. *Wetlands Ecosystems: Natural Water Purifiers*. Dalam Hammer, D.A. (Ed.). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Municipal, Industrial and Agricultural*. Lewis Publishers, Michigan. p 5-10.
- Huang, J.W.W., J.J. Chen, W.R. Berti dan S.D. Cunningham. 1997. *Phytoremediation of Lead Contaminated Soils: Role of Synthetic Chelates in Lead Phytoextraction. Environ. Sci. Technol.* 31.1997: 800-805.
- Hutchinson, S.L., Schwab, A.P., & Banks, M.K. 2003. *Biodegradation of Petroleum Hydrocarbons in the Rhizosphere*. In McCutcheon, S.C., & Schnoor, J.L. (Eds), *Phyteromediatiion: Transformation and Control of Contaminants*. Hoboken, NJ:Wiley-Interscience, Inc. 2003:355-386.
- Igwe, J.C. dan A.A.Abia. 2006. *Sorption Kinetics And Intraparticulate Diffusivity of As (III) Bioremediation From Aqueous Solution Using Modified and Unmodified Coconout Fiber. Ecletica Quimica* Vol.31 No.3: 1-8
- Irawanto, R. 2010. *Fitoremediasi Lingkungan Dalam Taman Bali*. Local Wisdom. Vol.II No.4.hal.29-35.

- Jurkiewicz, A., E.Orlowska, T. Anielska, B.Godzik, dan K.Turnau. 2004. The Influence of Mycorrhiza And Application On Heavy Metal Uptake By Different Maize Varieties. Cracow, Polandia. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica* 46. 2004: 7-18.
- Kermer, A.H., H.J.Schafer, S. Heiss, C. Walter, dan T. Rausch. 1999. Cadmium Exposure in *Brassica juncea* Causes a Decline in Transpiration Rate and Leaf Expansion Without Effect on Fotosynthesis. *Journal of Experimental Botany*. Vol. 50. No.341 December 1999: 1827 – 1835.
- Lakshman, G. 1987. Ecotechnological Opportunities for Aquatic Plants A Survey of Utilization Options. *Aquatic Plants For Water Treatment And Resource Recovery* (Reddy dan Smith, Eds). 1987. Magnolia Publishing Inc. Orlando, Florida.
- Maiti, R.K., J.L.H. Pinero, J.A.G. Oreja, dan D. L. Santiago. 2004. *Plant Based Bioremediation and Mechanisms of Heavy Metal Tolerance of Plants: A Review*. Proc. Indian Natn. Sci Acad. B70 No. 1. 2004: 1 -12.
- Manios, T., E.I. Stentiford, dan P. Millner. 2003. Removal of Heavy Metals from a Metaliferous Water Solution by *Typha latifolia* Plants and Sewage Sludge Compost. *Elsevier. Chemosphere* 53. 2003: 487-494.
- Mangkoedihardjo, S. 2005. Fitoteknologi dan Ekotoksikologi dalam Desain Operasi Pengomposan Sampah, *Seminar Nasional Teknologi Lingkungan III ITS* (Online), (<http://www.its.ac.id/sarwoko-enviro-Seminar%20sampah%20TL.pdf>, diakses 8 Maret 2008).
- McCutcheon, S.C., dan Schnoor, J.L. (Eds.), 2003. *Phyteromediation: Transformation and Control of Contaminants*. Wiley-Interscience, Inc. Hoboken. NJ.



- McDonald, S. 2006. Phytoremediation of Lead-Contaminated Soil using *Typha latifolia* (Broadleaf Cattail). Thesis The Faculty of Humboldt State University.
- Nichols, D.S. 1983. Capacity of Natural Wetland to Remove Nutrients from Wastewater. *J. Water Pollut. Control Fed.* 55. 1983: 495-505
- O'Sullivan, A.D., D.A. Murray, dan M. L. Otte. 2001. *Bioremediation of Alkaline Mine Effluent Using Treatment Wetlands. In: Land Reclamation-a Different Approach: Proceedings of The 18 th Annual Meeting of The American Society for Surface Mining and Reclamation, (Ed.) Richard Vincent et al., The American Society for Surface Mining and Reclamation, Albuquerque, NM, USA, June 3-7, 2001: 292 – 293.*
- Prasad, M.N.V dan H.M.O. Freitas. 2003. *Metal Hyperaccumulation in Plants – Biodiversity Prospecting For Phytoremediation Technology. Electronic Journal of Biotechnology ISSN: 0717 – 3458 Vol.6 No.3. Issue December 15, 2003.*
- Priyanto, B. dan J. Prayitno. 2006. *Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat,* (Online). (<http://lfl.bppt.tripod.com/sublab/lflora1.htm>, diakses 4 Maret 2008).
- Priyanto, B dan J. Prayitno. 2008. *Fitoremediasi Sebagai Teknologi Pemulihan Pencemaran Khususnya Logam Berat.* <http://lfl.bppt.tripod.com/sublab/lflora1/html>.diakses tanggal 12 april 2009.
- Purnomo, T. 2008a. *Jenis-jenis Tumbuhan yang Resisten Terhadap Cekaman Lumpur Lapindo dan Potensinya Sebagai Bioremediator Logam Berat. Prosiding Seminar Nasional MIPA dan Pendidikan MIPA. Universitas Negeri Surabaya. Surabaya: Sabtu 29 Nopember 2008.*

- Purnomo, T. 2008b. *Struktur Komunitas Biota dan Kadar Logam Berat (Cd, Hg, Pb) Kali Porong Pasca Pembuangan Lumpur Lapindo. Prosiding Seminar Nasional MIPA dan Pendidikan MIPA*. Universitas Negeri Surabaya. Surabaya: Sabtu 29 Nopember 2008.
- Purnomo, T. 2008c. *Sedimentasi Lumpur Lapindo dan Dampaknya Terhadap Komunitas Plankton dan Serangga Akuatik Kali Porong. Prosiding Seminar dan Lokakarya Nasional Pendidikan IPA di Universitas Negeri Surabaya*. Surabaya: Sabtu 13 Desember 2008.
- Purnomo, T. 2009a. *Biodiversity of Aquatic Organism and Heavy Metal Content in Waters and Aquatic Organism As The Impact of Lapindo Mud Vulcano. Proceeding the International Conference on Biological Science (ICBS) in the Faculty of Biology, University of Gadjah Mada, Jogjakarta: 16-17 October 2009*.
- Purnomo, T. 2009b. *Bioremediasi Perairan Tercemar Lumpur Lapindo Menggunakan Tumbuhan In Situ Untuk Minimasi Degradasi Fungsi Ekosistem Pesisir Di Kawasan Sidoarjo. Laporan Hasil Penelitian Hibah Program Doktor*. Universitas Brawijaya. Malang.
- Raskin, I., & Ensley B.D. 2000. *Phytoremediation of Toxic or Metals: Using Plants to Clean up The Environment*. Jhon Wiley & Sons, Inc. New York NY.
- Raychaudhuri, S., S. Salodkar, M. Sudarshan, dan A.R. Thakur. 2007. *Integrated Resource Recovery at East Calcutta Wetland: How Safe is These? American Journal of Agricultural and Biological Science* ISSN 1557-4989. 2 (2): 2007: 75 – 80.
- Reddy, K.R., dan DeBusk, W.F.1985. Nutrient Removal Potential of Selected Aquatic Macrophytes. *J. Environ. Qual.* 14. 1985: 459-462.

- Sasmaz, A., E. Obek, dan H. Hasar. 2008. The Accumulation of Heavy Metals in *Typha latifolia* L. Grown in a Stream Carrying Secondary Effluent. Elsevier. *Ecological Engineering*. 33. 2008: 278-284.
- Selbo, S.M. 2000. *Hybridization Between Native and Introduced Populations of Cattail and Big Bluestem: Conservation implications*. MS Thesis, The Ohio State University.
- Sivakumaran, S., B. Robinson, T. Mills, I. Vogeler, B. Clothier, G.L. Northcott, dan D. McNaughton. 2004. *Bioremediation of Soil Contaminated With Organic Compounds*. Super Soil 2004: 3<sup>rd</sup> Australian New Zealand Soils Conference, 5-9 December 2004. University of Sydney, Australia. Published on CDROM. Website [www.regional.org.au/au/asssi](http://www.regional.org.au/au/asssi).
- Stern, K.R., 2000. *Introductory Plant Biology*. (8<sup>th</sup> ed). McGraw Hill. Boston, MA.
- Suhendrayatna. 2001. *Bioremoval Logam Berat Dengan Menggunakan Microorganisme: Suatu Kajian Kepustakaan (Heavy Metal Bioremoval By Microorganisms: A Literature Study)*. Makalah Disampaikan Pada Seminar On Air Bioteknologi Untuk Indonesia Abad 21 1 -14 Februari 2001. Sinergy Forum – PPI Tokyo Institute of Technology.
- Surrency, D. 1993. *Evaluation of Aquatic Plants for Constructed Wetlands*. In Moshiri, G.A (Ed.). *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. Lewis Publishers. Boca Raton, Florida. 533 hlm.
- Shutes, R.B., Ellis, J.B., Revitt, D.M., dan Zhang T.T. 1993. *The Use of Typha latifolia for Heavy Metals Pollution Controls in Urban Wetlands*. In Moshiri, G.A (Ed.). *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. Lewis Publishers. Boca Raton, Florida. 533 hlm.

- Torresdey, J.L.G., G. de la Rosa, dan J.R. Peralta-Vide. 2004. Use of Phytofiltration Technologies in The Removal of Heavy Metals: A Review. *Pure Appl. Chem.*, Vol. 76, No.4, 2004: 801 – 813.
- U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). 2005. *Standard Chlorine of Delaware, Inc. Hazardous Waste Cleanup*, Region 3, available on <http://epa.gov/reg3hwmd/npl/DED041212473.htm>, accessed on October 26th 2009.
- U.S. Enviromental Protection Agency (US EPA). 2000. *Introduction to Phytoremediation*, (Publication No. 600/R-99/107). Cincinnati, OH: Author.
- U.S.Enviromental Protection Agency (US EPA). 1999. *Phytoremediation Resource Guide* EPA/542/B-99/003. Available online at <http://www.epa.gov/tio>.
- Vidali, M. 2001. *Bioremediation. An Overview. Pure Appl. Chem.*, Vol. 73, No. 7, 2001: 1163 – 1172.
- Wolverton, B.C. 1987. Aquatic Plants For Wastewater Treatment: An Overview. *Aquatic Plants For Water Treatment And Resource Recovery* (Reddy dan Smith, Eds). 1987. Magnolia Publishing Inc. Orlando, Florida.
- Wright, D.J. dan M.L.Otte. 1999. *Wetland Plant Effects on The Biogeochemistry of Metals Beyond The Rhizosphere. Biology and Environment: Proceedings of The Royal Irish Academy*. Vol 99B No. 1.1999: 3 – 10.
- Zhang, M., A.K. Alva, Y.C. Li, and D.V. Calvert. 2010. *Chemical Association of Cu, Zn, Mn, and Pb in Selected Sandy Citrus Soils. Molecular Physiology of Zinc Transport in the Zn Hyperaccu- Soil Sci.* 162. 2010:181–188.



# BAB 5

## PENGENDALIAN LIMBAH

### INDUSTRI MINUMAN

Oleh Erma Suryani Sahabuddin

#### 5.1 Pengertian Pengendalian

Pengendalian adalah upaya untuk mencapai tujuan dengan tindakan atau perilaku yang telah ditentukan sebelumnya. Kemudian pengendalian juga diartikan adalah tindakan yang diambil untuk memastikan bahwa operasi produksi dan operasional dilakukan sesuai dengan rencana dan jika terjadi penyimpangan, penyimpangan tersebut dapat disesuaikan untuk menghasilkan hasil yang diinginkan (Lubis *et al.*, 2021). Pengendalian adalah upaya untuk menghindari, menguasai, atau memulihkan, menurut Pasal 1 peraturan pemerintah (Kusumaningtyas *et al.*, 2019). Terlaksananya proses kegiatan yang dilakukan seefektif mungkin ditentukan oleh pengendalian yang sangat signifikan. Pengendalian juga mengacu pada evaluasi dan peningkatan bagaimana bawahan melaksanakan tugas mereka sehingga rencana dapat ditetapkan untuk mencapai tujuan yang dapat dilakukan oleh bisnis (Dini *et al.*, 2020). Tujuannya adalah:

1. Untuk memastikan bahwa proses implementasi dilakukan sesuai dengan ketentuan rencana.
2. Jika terdapat penyimpangan, lakukan tindakan korektif (penyimpangan).
3. Agar tujuan akhir sesuai dengan strategi.

Diharapkan bahwa pelaksana akan mengambil langkah-langkah yang diperlukan untuk mencapai tujuan-tujuan ini, menjaganya tetap dalam batas-batas yang diperbolehkan (Phelia *et al.*, 2021). Seiring dengan membawa organisasi ke perencanaan, pengendalian juga mencakup siklus fungsi manajemen penuh (Azteria & Gani, 2020). Pengendalian akan lebih menyeluruh, perencanaan lebih jelas, lebih lengkap, dan lebih terintegrasi. Pengendalian meliputi harga standar, tindakan pengendalian atau pemeriksaan, hasil dibandingkan dengan standar, dan tindakan untuk menyesuaikan tindakan atau standar (Ibrahim *et al.*, 2019).

Peran perencanaan dan pengendalian saling melengkapi karena saling berhubungan. Pengendalian, sering dikenal sebagai fungsi pengawasan, mengacu pada melacak kemajuan perusahaan dalam kaitannya dengan tujuan yang harus dipenuhi dan membalikkan setiap penyimpangan (Arba *et al.*, 2020). Prosedur, personalia, dan perencanaan hanyalah beberapa dari berbagai unit yang harus diintegrasikan untuk fungsi ini.

Pengendalian adalah upaya sistematis untuk menetapkan standar yang sejalan dengan tujuan perencanaan, merancang sistem informasi, memenuhi implementasi dengan standar, menganalisis potensi penyimpangan antara implementasi dan standar, kemudian mengambil tindakan yang diperlukan untuk memastikan bahwa sumber daya yang digunakan berjalan lancar dan efektif dalam konteks memukul target. Tujuan mendasar dari pengendalian adalah untuk mengumpulkan informasi dan meninjaunya sehingga langkah-langkah kegiatan diarahkan menuju tujuan yang telah ditentukan sebelumnya (Yasin, 2018). Dengan menggabungkan temuan latihan yang telah dilakukan sesuai dengan tolok ukur yang telah dijelaskan dan memastikan bahwa penggunaan sumber daya efektif dan efisien, maka dilakukan pengendalian.

Kapasitas untuk mengarahkan atau mempengaruhi perilaku seseorang dikenal sebagai pengendalian. Pengendalian dalam konteks pengelolaan sampah menggambarkan tindakan dan langkah yang dilakukan untuk menangani dan membuang sampah secara bertanggung jawab dan aman (Rahman *et al.*, 2021). Ini mungkin termasuk aturan, pedoman, dan prosedur yang dimaksudkan untuk mengurangi efek berbahaya dari limbah terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat umum (Phelia *et al.*, 2021).

Hal-hal berikut dapat menghambat proses pengendalian:

1. Definisi Proyek

Keadaan proyek atau deskripsi proyek yang dibuat oleh perencana proyek berfungsi sebagai definisi proyek yang dimaksud. Agar proyek menjadi upaya terorganisir dan sistematis yang dilakukan untuk mencapai tujuan tertentu, biasanya dengan sumber daya yang terbatas, dalam kerangka waktu yang ditetapkan, dan dengan biaya yang telah ditentukan sebelumnya. Proyek biasanya digunakan untuk menyelesaikan pekerjaan atau mencapai tujuan tertentu, seperti membangun gedung, menciptakan produk baru, atau menerapkan sistem baru.

2. Faktor Tenaga Kerja

Konflik dapat muncul selama pelaksanaan proyek jika aspek tenaga kerja tidak dikontrol secara profesional. Seperti halnya konflik kepentingan, kinerja yang buruk, produktivitas yang rendah, dan kinerja yang jauh dari harapan. Hal-hal yang sering terjadi akibat masalah ketenagakerjaan, seperti menyalahkan dan mengalihkan tanggung jawab.

3. Faktor Sistem Pengendalian

Kekakuan dan paksaan akan dihasilkan dari penggunaan sistem informasi yang terlalu formal dan pengawasan



sementara mengabaikan hubungan manusia. Akibatnya, mengelola proyek konstruksi menjadi sulit. Selain itu, terdapat variabel pendukung selain faktor pembatas dalam proses pengendalian. Berikut adalah faktor-faktor pendukung dalam proses pengendalian:

- a. Ketepatan Waktu  
Pemantauan yang tertunda hanya akan menghasilkan data yang tidak lagi relevan dengan situasi.
- b. Akses Antar Tingkat  
Tingkat aksesibilitas di jalur pelaporan kinerja memiliki dampak yang signifikan dalam menjaga efisiensi sistem kontrol. Untuk segera mengidentifikasi bagian mana pun yang berkinerja buruk, jalur pelaporan dari atas ke bawah harus sederhana dan transparan.
- c. Perbandingan Data terhadap Informasi  
Data yang diperoleh dari pengamatan yang ada di lapangan harus mampu memberikan informasi secara proporsional.
- d. Data dan Informasi yang dapat Dipercaya  
Masalah ini berkaitan dengan integritas dan komposisi semua pihak yang terlibat dalam proyek. Kepatuhan hati-hati terhadap semua perjanjian dan perjanjian yang dibuat, seperti jadwal pengiriman persediaan dan peralatan untuk pembayaran, diperlukan.
- e. Obyektifitas Data  
Data yang dikumpulkan harus mencerminkan apa yang terjadi di lapangan. Asumsi, perkiraan, atau penilaian subyektif tidak diizinkan untuk dihitung sebagai data yang diamati. Fungsi Pengendalian memiliki dua fungsi yang sangat penting yaitu:
  - 1) Fungsi Pemantauan

Pelaksanaan bagian-bagian proyek akan berjalan efektif dan jujur sebagai hasil pemantauan kegiatan proyek yang baik.

## 2) Fungsi Manajerial

Penerapan kontrol dan sistem informasi yang efektif akan memudahkan manajer untuk mengidentifikasi komponen pekerjaan yang mengalami ketidaknormalan atau berkinerja buruk dengan segera pada proyek yang rumit dan mudah disesuaikan. Hal ini memungkinkan upaya untuk dilakukan untuk menghilangkan atau mengurangi kelainan ini.

Menurut Siregar (2021) secara umum prinsip pengendalian adalah sebagai berikut:

1. Hasil dari fungsi pengendalian pimpinan harus sederhana untuk diukur dan harus dipahami oleh tenaga kerja.
2. Peran pengendalian harus diakui oleh manajemen sebagai kegiatan penting dalam mencapai tujuan organisasi.
3. Peran manajemen harus dipandang sebagai tugas penting dalam mencapai tujuan perusahaan.
4. Ekspektasi kinerja harus dijelaskan kepada seluruh pegawai karena pimpinan akan terus mengevaluasi kinerja pegawai untuk menentukan siapa yang mendapat imbalan dan siapa yang tidak bagi mereka yang dianggap mampu bekerja

Pengendalian limbah adalah proses penanganan sampah dan membuangnya dengan cara yang memiliki pengaruh merugikan sesedikit mungkin terhadap lingkungan. Ini mencakup praktik seperti daur ulang, pengomposan, dan membuang bahan berbahaya dengan benar. Pengelolaan

limbah sangat penting untuk menjaga lingkungan dan kesehatan masyarakat umum.

## 5.2 Pengertian Limbah dan Klasifikasinya

Pengendalian Limbah dapat didefinisikan sebagai proses penanganan limbah dan membuangnya dengan cara yang memiliki pengaruh negatif terhadap lingkungan paling sedikit. Ini mencakup praktik termasuk pengomposan, daur ulang, dan pembuangan limbah berbahaya yang aman. Untuk menjaga lingkungan dan kesehatan masyarakat umum, pengelolaan Limbah sangat penting. Menurut definisi limbah, itu adalah bahan yang dibuat selama proses produksi rumah dan industri. Sampah, air toilet, dan air limbah dari aktivitas rumah adalah contoh limbah. Limbah didefinisikan sebagai sisa dan barang atau bahan bekas dari kegiatan atau proses pembuatan yang telah diubah peranannya dalam Pasal I Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan Republik Indonesia No. 231/MPP/Kep/7/1997 yang mengatur tentang tata cara untuk mengimpor limbah. Sampah kemudian didefinisikan sebagai residu atau limbah dari suatu usaha atau kegiatan manusia menurut Peraturan Pemerintah No. 18/1999 Jo.PP 85/1999. Dengan kata lain, limbah adalah bahan buangan dari suatu kegiatan yang tidak lagi memiliki tujuan atau memiliki nilai ekonomi.

Limbah adalah hasil sampingan dari suatu usaha atau kegiatan yang mengandung senyawa beracun atau berbahaya karena komposisi, konsentrasi, dan jumlahnya, yang dapat merusak lingkungan, kesehatan manusia, dan kemampuan makhluk hidup untuk bertahan hidup. Sampah akan dihasilkan oleh manusia sebagai pelaku konsumsi sebagai akibat dari aktivitasnya sehari-hari. Jumlah sampah yang dihasilkan akan meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk.

Berdasarkan wujudnya limbah dibagi menjadi 3 bagian yakni:

1. Limbah padat

Limbah yang sifatnya kering dan perlu dipindahkan disebut limbah padat. Jadi limbah padat adalah kategori limbah yang meliputi benda padat atau keras yang berasal dari rumah, usaha, atau kegiatan lainnya. Limbah yang terbuat dari bahan kimia, kertas, plastik, dan logam adalah beberapa contohnya. Sangat penting untuk mengatur dan mengelola limbah padat dengan hati-hati karena, jika tidak ditangani dengan benar, dapat berdampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia.

2. Limbah Cair

Limbah cair adalah limbah yang memiliki wujud cair. Limbah cair selalu larut dalam air dan selalu berpindah kecuali berada dalam tempat seperti wadah atau bak. Limbah cair berasal dari air bekas cuci pakaian, cucian piring, dari industri dan lain sebagainya. Contohnya termasuk air kotor, air hujan yang tercemar, dan sampah organik. Limbah cair dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan dan kesehatan jika tidak dikelola dengan benar, sehingga penting untuk mengatur dan mengelolanya secara bijak. Pembuangan yang tidak tepat dapat menyebabkan polusi air dan tanah.

3. Limbah gas

Limbah gas hanyalah sampah dalam keadaan gas. Limbah gas ini muncul sebagai asap dan terus bergerak, menyebabkannya menyebar secara luas. Limbah gas dapat berasal dari gas buang industri, gas buang kendaraan bermotor, dan sumber lainnya (Azteria *et al.*, 2021). Oleh karena itu, transportasi, proses industri, atau pembakaran bahan bakar merupakan sumber utama limbah gas. Contohnya termasuk gas industri, gas rumah kaca, dan gas

buang dari kendaraan. Limbah gas perlu dikontrol dan dikelola dengan baik karena jika tidak dapat membahayakan lingkungan dan kesehatan manusia. Polusi udara dapat disebabkan oleh pembuangan yang tidak tepat.

Jumlah sampah, jumlah kontaminan yang ada, dan frekuensi pembuangan semuanya berdampak pada kualitas sampah. Pertimbangan tambahan termasuk sejumlah lainnya, termasuk:

1. Jenis dan volume sampah yang dihasilkan oleh suatu usaha atau kegiatan dapat mempengaruhi kualitas sampah.
2. Metode dan praktik yang digunakan dalam proses pengolahan limbah secara khusus dapat berdampak pada kualitas sampah yang dihasilkan.
3. Cuaca dan iklim, khususnya keadaan cuaca dan iklim, dapat berdampak pada laju degradasi dan dekomposisi sampah.
4. Kualitas sampah dapat dipengaruhi oleh peraturan perundang-undangan, terutama yang mengatur pengelolaan sampah.
5. Menggunakan teknologi yang tepat dan cara pengelolaan khususnya dapat membantu meningkatkan kualitas sampah yang dihasilkan.

Sampah harus ditangani dan diolah untuk memerangi sampah ini. Pada dasarnya ada dua cara pengolahan sampah yaitu menurut tingkat pengolahan dan menurut karakteristik sampah. Karakteristik umum sampah adalah ukurannya kecil, sifatnya dinamis, sebaran dampaknya luas, dan efeknya berjangka panjang. Selain memiliki kualitas, sampah dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu menurut sumbernya dan menurut bagian penyusunnya.

#### 1. Klasifikasi Limbah Berdasarkan Sumbernya

Limbah rumah tangga dapat ditemukan di tempat tinggal dan komersial, termasuk pasar, tempat makan, dan

gedung perkantoran. Kemudian ada limbah industri, yaitu bahan sisa yang tersisa setelah menggunakan prosedur industri. Selain itu, sampah pertanian yang berasal dari tempat-tempat yang terdapat peternakan atau perkebunan. Selain itu, ada juga limbah pertambangan yang tertinggal setelah pengambilan bahan mentah seperti logam dan mineral.

Selain itu, terdapat produk limbah yang terkait dengan pariwisata, seperti sampah dari pusat transit atau tumpahan minyak yang disebabkan oleh kapal atau perahu motor di lokasi wisata. Mengenai limbah dari kesehatan internasional atau limbah medis, yang sebanding dengan limbah rumah tangga biasa. Contoh limbah medis termasuk obat-obatan dan beberapa zat.

2. Pengelompokan Limbah Berdasarkan Jenis Senyawanya:

Sampah organik timbul dari organisme hidup dan mudah terurai atau terurai. Contoh sampah organik antara lain daun-daunan, kulit telur, kotoran hewan peliharaan dan manusia, sisa sayuran, dan lain sebagainya. Sebaliknya, sampah anorganik adalah jenis yang tidak dapat atau membutuhkan waktu lama untuk terurai. Contohnya antara lain sabun bekas yang sudah tidak terpakai, limbah kantong plastik, pakaian bekas yang tidak dapat digunakan kembali, limbah pabrikasi, limbah oli, limbah botol, dan limbah lainnya.

Sampah B3 juga merupakan limbah bahan beracun dan berbahaya. Sampah jenis ini dapat membahayakan lingkungan, kesehatan manusia, dan makhluk hidup. Pengelolaan sampah B3 memerlukan penanganan khusus karena sifatnya. Hal ini disebabkan fakta bahwa mereka termasuk zat yang mudah meledak, beracun, berisiko, menjengkelkan, dan korosif. Selain industri, kegiatan rumah tangga juga menghasilkan sampah B3. Misalnya

pupuk, pembasmi tikus, kompor gas, pembersih toilet, cat kuku, dan berbagai produk pembersih. Jika diperlukan upaya pengurangan limbah B3 hingga nol sehingga merusak kehidupan, diharapkan dapat dieliminasi semaksimal mungkin. Untuk mendukung pengadopsian pengelolaan limbah B3 dengan sistem 3R, perlu dilakukan upaya pemanfaatan teknologi (Perdanawati Pitoyo *et al.*, 2016).

### 5.3 Pengertian Industri Minuman

Industri adalah suatu perusahaan atau kegiatan yang mengubah bahan baku atau barang setengah jadi menjadi barang jadi yang mempunyai nilai guna memperoleh keuntungan. Dalam bentuknya yang paling sederhana, industri mengacu pada bisnis yang terlibat dalam operasi di sektor sekunder ekonomi. Usaha tersebut meliputi pabrik yang memproduksi minuman ringan, pembuat kendaraan, dan pabrik tekstil.

Industri yang mengolah bahan baku atau produk jadi berupa minuman adalah industri minuman. Di Indonesia, sektor minuman memiliki pasar yang cukup besar. Karena banyaknya sampah yang dihasilkan oleh usaha ini, kerusakan lingkungan dapat terjadi jika limbah tidak dikelola dengan baik (Ryane *et al.*, 2013).

Industri diartikan sebagai kegiatan ekonomi yang mengubah bahan baku, bahan mentah, barang setengah jadi, dan/atau barang jadi menjadi barang yang lebih tinggi nilainya untuk kegunaannya dalam Undang-Undang RI Nomor 5 Tahun 1984 tentang Perindustrian Bab 1 Pasal 1 Ayat 2 (Republik Indonesia, 1984).

Tren peningkatan sektor minuman ringan ini diperkirakan akan terus berlanjut hingga tahun 2015, meskipun pasar minuman ringan selalu tumbuh. Sejak tahun

2004, baik untuk produk teh, minuman bersoda, maupun air mineral, pertumbuhan yang menguntungkan ini semakin baik setiap tahunnya. Untuk menarik pelanggan, hampir setiap jenis minuman selalu diperbaiki, baik dari segi rasa maupun kemasan. Kepopuleran minuman ringan siap saji mendorong para pelaku industri untuk terus bersaing memperebutkan pelanggan dengan meningkatkan standar kualitas dan pelayanan minuman (Nasution *et al.*, 2015).

Bidang air minum mineral merupakan salah satu bidang yang persaingannya semakin ketat dan berkembang pesat seiring dengan perkembangan zaman seiring dengan semakin kompleksnya kebutuhan manusia dan semakin banyak aktivitas yang dilakukan oleh manusia (Haqq, 2019). Orang juga memiliki kecenderungan untuk mencari barang yang berguna dan efektif saat ini. Begitu juga dengan kebutuhan mereka akan air minum yang bersih dan higienis yang dapat langsung siap dikonsumsi, sehingga tidak perlu direbus terlebih dahulu. Dalam memutuskan membeli air mineral tersebut tentu saja konsumen memperhatikan faktor-faktor yang dapat membuat mereka berminat untuk membelinya. Adapun beberapa faktor yang dapat mempengaruhi keputusan pembelian ulang suatu produk, yakni brand awareness dan kepercayaan konsumen atas mereka (Hendi Ariyan, 2019).

#### **5.4 Pengendalian Limbah Industri Minuman**

Sebelum memproses limbah, tujuan dan sasaran proses harus ditetapkan. Secara umum, berikut ini terkait dengan alasan pengolahan limbah (Salim *et al.*, 2021):

1. Menghilangkan item terapung dan tersuspensi
2. Pengolahan molekul organik yang terurai secara alami.  
Penghapusan organisme berbahaya.
3. Pemahaman yang lebih dalam tentang dampak lingkungan dari membuang sampah yang tidak diolah.



4. Pemahaman dan pertimbangan yang lebih besar terhadap potensi konsekuensi jangka panjang dari unsur-unsur tertentu dalam sampah yang dibuang ke badan air.
5. Menumbuhkan kesadaran di seluruh negeri tentang perlunya menjaga lingkungan.
6. Menumbuhkan minat pada beberapa bidang keilmuan, antara lain kimia, biokimia, dan mikrobiologi.
7. Pelestarian sumber daya alam.
8. Penciptaan berbagai prosedur pengolahan limbah yang sesuai.

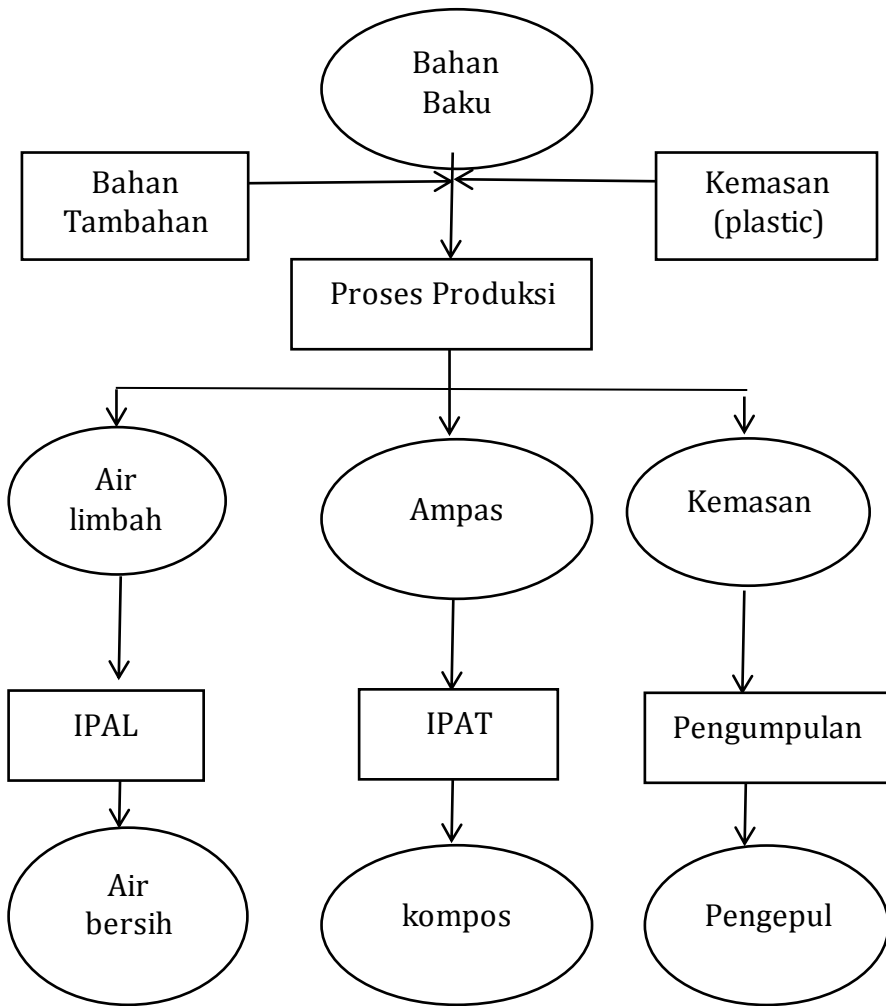
Ada banyak strategi untuk mengelola limbah di industri pertambangan, antara lain (Ningtyas & Khasanah, 2021; Haerana *et al.*, 2022):

1. Memanfaatkan limbah sebagai sumber bahan baku: Sampah industri minuman dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan baku produk lain, seperti tepung kulit buah atau pakan ternak berbahan dasar ampas tebu.
2. Pembuatan biogas dari limbah: Dengan penguraian anaerobik (tanpa oksigen), limbah organik dari industri pertambangan dapat diubah menjadi biogas, yang selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai pengganti bahan bangunan.
3. Melaksanakan kajian ilmu fisika, biologi, dan psikologi. Limbah dari bisnis minuman dapat dikelola dengan menggunakan teknik fisik, kimia, atau biologi untuk mengurangi tingkat keparahan dan cakupan kerusakan lingkungan.
4. Menggunakan teknologi ramah lingkungan: Memanfaatkan teknologi ramah lingkungan dapat membantu melindungi limbah dan mengurangi kerusakan lingkungan.
5. Terapkan program pembelajaran bahasa yang efektif. Ini akan membantu meningkatkan kualitas bahasa dan mengurangi risiko lingkungan.

Sama halnya dengan limbah cair dari sektor minuman ringan kemasan, sampah yang dihasilkan oleh suatu industri harus diperiksa terlebih dahulu untuk memastikan memenuhi persyaratan mutu yang ditetapkan oleh peraturan pemerintah sebelum dibuang ke lingkungan. Baik bisnis minuman ringan kemasan maupun proses industri menghasilkan limbah. Penggunaan metode PDCA dan ketujuh alat tersebut merupakan salah satu cara pengendalian kualitas yang dapat digunakan perusahaan untuk memastikan kualitas proses manufaktur dalam kondisi baik dan stabil. Ada pendekatan lain juga. Teknik manajemen yang disebut PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) digunakan untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi proses. Empat fase membentuk PDCA, termasuk (Isniah *et al.*, 2020):

1. *Plan*: Tahap ini melibatkan pengumpulan informasi tentang masalah, membuat rencana tindakan, dan menjadwalkan pelaksanaan rencana.
2. *Do* (Lakukan): Tahap ini melibatkan penerapan rencana yang telah disiapkan.
3. *Check* (Checking): Tahapan ini adalah evaluasi efektivitas rencana aksi yang telah dilaksanakan.
4. *Act* (aksi): Tahap ini merupakan tindak lanjut yang melibatkan modifikasi atau revisi rencana aksi berdasarkan temuan evaluasi dari tahap sebelumnya.

Suatu proses atau aktivitas dapat terus ditingkatkan kualitas dan efikasinya dengan menggunakan pendekatan PDCA yang bersifat repetitif dan berkesinambungan. Untuk bisnis, pendekatan PDCA dapat membawa stabilitas dan peningkatan berkelanjutan (Permana *et al.*, 2021).



**Gambar 5.1.** Limbah yang dihasilkan industri minuman berkemasan. (sumber: pabrik minuman ringan)

Sektor minuman ringan aneka rasa merupakan salah satu penghasil limbah cair. Bahan baku utama yang digunakan oleh industri adalah gula dan glukosa, sehingga menghasilkan limbah berupa bahan organik dengan konsentrasi antara 500 dan 1000 mg/l. Sistem lumpur aktif aerobik digunakan dalam pemrosesan. Saat memilih metode pengolahan air limbah, sifat dan fitur air limbah—khususnya kualitasnya, yang terdiri dari parameter—sangatlah penting (Ritni Megasari, Danang Biyatmoko, Wahyuni Ilham, 2012).

Setelah aturan dan peraturan setempat didukung dan rezim pengolahan untuk proyek tertentu telah ditetapkan, tingkat pengolahan dapat dinilai dengan membandingkan sifat-sifat limbah. Kombinasi pengendalian limbah terbaik dapat ditemukan dengan mengembangkan dan mengevaluasi berbagai pilihan pengolahan atau penggunaan limbah. Oleh karena itu, sangat penting untuk mempelajari sejumlah teknik pengolahan limbah dan memikirkan aplikasi potensial untuk teknik ini.

Pengolahan air limbah dan pengolahan air limbah adalah dua dari tiga masalah ketidakjelasan yang saling berhubungan dalam aturan tentang pengolahan air limbah. Ada beberapa tindakan krusial yang harus dilakukan, antara lain (Siswoyo *et al.*, 2020)

1. Tetapkan jenis tempat sampah dan variasinya.
2. Buang jenis sampah yang diinginkan.
3. Cari tahu seberapa kuat sebuah unit pemrosesan.
4. Memilih reaktor yang sesuai.
5. Identifikasi lokasi yang memberikan dukungan.
6. Bertanggung jawab untuk memastikan bahwa alat dan tenaga kerja yang diperlukan terwujud.

Proses pengolahan limbah dapat dipecah menjadi beberapa langkah, termasuk (Nababan *et al.*, 2020):

1. perlakuan awal,
2. perlakuan pertama,
3. perlakuan kedua,
4. perlakuan ketiga, perlakuan untuk endapan.

Dimana proses pemisahan komponen dari limbah cair merupakan pengolahan awal. Pemisahan fisik dan reaksi kimia berikutnya merupakan perlakuan pertama. Pengolahan tahap ketiga adalah pemurnian, yang melibatkan proses penghilangan bahan kimia atau mineral dari limbah cair. Tindakan berikut dapat dilakukan dalam pengelolaan limbah, seperti untuk pengolahan endapan yang dihasilkan oleh pengolahan sebelumnya (Siagian, 2014);

1. Identifikasi : Langkah pertama dalam pengelolaan sampah adalah menentukan jenis dan sumber sampah yang harus ditangani.
2. Klasifikasi: Limbah selanjutnya harus diklasifikasikan tergantung pada sifat dan tingkat bahayanya setelah ditemukan.
3. Pengurangan: Langkah ketiga memerlukan pengurangan volume sampah yang dihasilkan melalui berbagai teknik, termasuk daur ulang, pengurangan, dan bahan rekayasa.
4. Penanganan: Setelah sampah berkurang jumlahnya, maka sisa sampah dapat ditangani dengan teknik fisika, kimia, atau biologi untuk mengurangi bahayanya dan memudahkan penanganannya.
5. Pengolahan: Langkah selanjutnya adalah mengubah sampah menjadi bentuk yang lebih mudah ditangani atau digunakan sebagai bahan baku barang lain.
6. Pembuangan: Tahap terakhir adalah membuang sampah yang telah ditangani dan diolah dengan benar di lokasi yang

aman sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Oleh karena itu, ditetapkan bahwa menerapkan program daur ulang secara menyeluruh merupakan salah satu strategi untuk mengendalikan limbah dalam bisnis minuman. Untuk mendorong orang agar membuang limbah mereka dengan tepat, hal ini mungkin memerlukan penempatan tempat sampah daur ulang yang ditunjuk di berbagai tempat, seperti toko ritel dan tempat berkumpul umum. Daur ulang bahan mereka sendiri dapat ditingkatkan dengan investasi perusahaan minuman dalam teknologi dan prosedur, seperti menggunakan bahan daur ulang dalam kemasan mereka dan mengembangkan teknik produksi yang lebih efektif. Sektor minuman dapat mengurangi limbah dan membantu menciptakan masa depan yang lebih berkelanjutan dengan menerapkan konsep ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arba, I. T., Wibawati, W., & Pradnya Paramita, N. L. P. S. (2020). Pengendalian Kualitas Pengolahan Limbah Air PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk Menggunakan Grafik Kendali Multivariat Berbasis Time Series. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 8(2).  
<https://doi.org/10.12962/j23373520.v8i2.45581>
- Azteria, V., & Gani, R. A. (2020). Pengelolaan Limbah Minyak Pelumas Sebagai Upaya Pengendalian Pencemaran Lingkungan. *BIOLINK (Jurnal Biologi Lingkungan Industri Kesehatan)*, 6(2), 178–185.  
<https://doi.org/10.31289/biolink.v6i2.2725>
- Azteria, V., Kusumaningtiar, D. A., Irfandi, A., Veronika, E., & Nitami, M. (2021). Aktualisasi Diet Limbah (Sampah) Padat. *Jurnal Abdidas*, 2(4), 783–789.  
<https://doi.org/10.31004/abdidas.v2i4.342>
- Dini, Y. M., Zumroturida, A. A., Nurhalisa, S. S., & Saputra, B. H. (2020). Pengelolaan Limbah Domestik Rumah Tangga Menjadi Biokomposter Mikroorganisme Dengan Metode Aerob-Anaerob. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 2(1), 1–7.  
<https://doi.org/10.35970/jppl.v2i1.123>
- Haerana, H., Tahir, N., Sudarman, F., & Harakan, A. (2022). Pendampingan Pengolahan Limbah Plastik Minuman Kemasan Menjadi Kerajinan Tangan. *Wikrama Parahita: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 6(1), 49–54.  
<https://doi.org/10.30656/jpmwp.v6i1.3791>
- Haqq, A. A. (2019). Pemanfaatan Limbah Minyak Jelantah Penghasil Sabun Sebagai Stimulus Untuk Meningkatkan Kepedulian Masyarakat Terhadap Lingkungan. *Dimasejati: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 119–136. <https://doi.org/10.24235/dimasejati.v1i1.5410>

- Hendi Ariyan. (2019). *Pengaruh Brand Awareness Dan Kepercayaan Konsumen Atas Merek Terhadap Keputusan Pembelian Ulang Minuman Aqua Di Kota Padang*. 041(1), 1-11.
- Ibrahim, M. H., Karim, R., & Nide, J. (2019). Pengendalian Dampak Limbah Pabrik (Slag) Pada Pengolahan Bijih Nikel Menjadi Nikel Pig Iron (Npi) di PT. Fajar Bakti Lintas Nusantara Kecamatan Pulau Gebe Kabupaten Halmahera Tengah Propinsi Maluku Utara. *JTU - Jurnal Tambang Umum*, 2(1 SE-Articles), 34-38.  
<http://www.jurnal.umm.ac.id/index.php/JTU/article/view/683>
- Ir. Lestina Siagian, M. (2014). Dampak dan Pengendalian Limbah Cair Industri. In *Jurnal Teknik Nommensen* (Vol. 1, Issue 2, pp. 98-105).
- Isniah, S., Hardi Purba, H., & Debora, F. (2020). Plan do check action (PDCA) method: literature review and research issues. *Jurnal Sistem Dan Manajemen Industri*, 4(1), 72-81.  
<https://doi.org/10.30656/jsmi.v4i1.2186>
- Kusumaningtyas, R. D., Qudus, N., Putri, R. D. A., & Kusumawardani, R. (2019). Penerapan Teknologi Pengolahan Limbah Minyak Goreng Bekas Menjadi Sabun Cuci Piring Untuk Pengendalian Pencemaran Dan Pemberdayaan Masyarakat. *Jurnal Abdimas*, 22(2), 201-208.
- Lubis, M. R., Fathanah, U., Rosnelly, C. M., & Aflah, N. (2021). Degradasi Sampah Biomassa dengan Bioaktivator EM4 sebagai Bentuk Pengendalian Limbah di Desa Neuheun. *Jurnal ABDINUS : Jurnal Pengabdian Nusantara*, 5(2), 231-242. <https://doi.org/10.29407/ja.v5i2.15549>



- Nababan, D., Sitorus, M. E. J., Brahmana, N. E. B., & Silitonga, E. M. (2020). Kemampuan Biofilter Anaerob Berdasarkan Jenis Media dalam Pengolahan Air Limbah Domestik Tahun 2016. *Jurnal Riset Hesti Medan Akper Kesdam I/BB Medan*, 4(2), 105.  
<https://doi.org/10.34008/jurhesti.v4i2.143>
- Nasution, A. W., Mayendra, E., & Putri, R. N. (2015). *Review Industri Makanan dan Minuman*.
- Ningtyas, M. S., & Khasanah, K. (2021). Strategi Pengelolaan Limbah Pustaka Dalam Meningkatkan Pemberdayaan Masyarakat di Desa Muntang Kecamatan Kemangkon Kabupaten Purbalingga 2020. ... *Journal of Geography Education*, 5749. <https://www.e-journal.ivet.ac.id/index.php/ijge/article/view/1606>
- Perdanawati Pitoyo, P. N., Arthana, I. W., & Sudarma, I. M. (2016). Kinerja Pengelolaan Limbah Hotel Peserta Proper Dan Non Proper Di Kabupaten Badung, Provinsi Bali. *ECOTROPHIC: Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science)*, 10(1), 33.  
<https://doi.org/10.24843/ejes.2016.v10.i01.p06>
- Permana, H., Sulaiman, F., & Pramudita, M. (2021). Implementasi Metode Plan-Do-Check-Action (Pdca) Tulta Untuk Pengolahan Limbah Industri Minuman Ringan. *Jurnal Integrasi Proses*, 10(1), 27–36.
- Phelia, A., Pramita, G., & Misdalena, F. (2021). Pemanfaatan Limbah Minyak Jelantah Menjadi Sabun Sebagai Upaya Pengendalian Limbah Domestik Masa Pandemi Covid-19. *Jurnal Pengabdian Kepada ...*, 1(3), 181–187.  
<https://www.jurnal.radisi.or.id/index.php/PKMRADISI/article/view/76>

- Rahman, I., Amrullah, Z., Sutono, B., Kurniawan, A., Hasanah, B. H., & Elmazani, B. (2021). Pemanfaatan Pestisida Nabati Dari Limbah Batang Tembakau Virginia Untuk Mengendalikan Hama Penting Tanaman Kentang Di Sembalun. *Jurnal PEPADU*, 2(2), 149–156.
- Republik Indonesia, P. (1984). *Undang - Undang Republik Indonesia No. 5 Tahun 1984 Tentang Perindustrian*. 1, 1–5.
- Ritni Megasari, Danang Biyatmoko, Wahyuni Ilham, J. H. (2012). *Identifikasi keragaman jenis bakteri pada proses pengolahan limbah cair industri minuman dengan lumpur aktif limbah tahu*. 8, 89–101.
- Ryane, a., oktiawan, w., & syakur, a. (2013). *Penggunaan teknologi plasma dalam mengurangi kandungan bod dan warna pada limbah cair industri minuman ringan*. 1–6.
- Salim, A., M Aras, N. R., & Sitanggang, B. C. (2021). Modifikasi Bioadsorben Rumput Laut (*Eucheuma Cottonii*)-Abu Sekam Padi Sebagai Bioadsorben Limbah Cair Industri Minuman Ringan. *Journal of Chemical Process Engineering*, 6(2), 103–112. <https://doi.org/10.33536/jcpe.v6i2.800>
- Siswoyo, E., Faisal, F., Kumalasari, N., & Kasam, K. (2020). Constructed Wetlands Dengan Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Sebagai Alternatif Pengolahan Air Limbah Industri Tapioka. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 12(1), 59–67. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol12.iss1.art5>
- Yasin, A. (2018). Manajemen Limbah Pabrik Karet Dalam Rangka Penurunan Kadar Bod (Biological Oxygen Demand). *Jurnal Green Growth Dan Manajemen Lingkungan*, 7(1), 22–34. <https://doi.org/10.21009/jgg.071.02>



# **BAB 6**

## **PENGENDALIAN LIMBAH INDUSTRI**

### **PENGOLAHAN TAHU TEMPE**

**Oleh Darsini**

#### **6.1 Pendahuluan**

Tahu dan tempe merupakan makanan dengan nilai gizi, mengandung protein yang berbahan dasar kacang kedelai. Kebutuhan kedelai per tahun mencapai 2,3 juta ton, dimana 40% dikonsumsi dalam bentuk tahu, 50% dalam bentuk tempe, dan 10% dalam bentuk minyak kedelai (Pagoray, Sulistyawati, dan Fitriyani, 2021). Industri tahu selain dapat meningkatkan perekonomian masyarakat juga dapat berdampak negatif karena limbah yang dihasilkan mencemari lingkungan. Pabrik tahu merupakan industri kecil (rumah tangga) dan pabrik pengolahan limbahnya sangat sedikit karena biaya yang besar untuk pembangunan dan pengoperasiannya. Karena keterbatasan dana, usaha kecil (rumah tangga) ini seringkali membuang limbah domestik langsung ke sungai. Proses pembuatan tahu menghasilkan limbah yang mengandung protein, bahan organik dan padatan yang sangat larut dengan pH rendah. Limbah tahu ini juga akan menimbulkan aroma yang kurang sedap sehingga mengganggu estetika dan kehidupan ekosistem sekitarnya (Herlambang, 2002).

Proses pembuatan tempe membutuhkan waktu yang lama. Proses dimulai dengan merendam kedelai dalam tong selama  $\pm$  12 jam hingga kulit kedelai terkelupas secara perlahan. Proses

ini dimulai dari mencuci kedelai hingga merebus kedelai. Selain membutuhkan waktu yang lama, pembuatan tempe juga membutuhkan banyak air yang digunakan untuk proses perendaman, perebusan, pencucian dan pengupasan biji. Tahapan setelah proses pembuatan tempe tentunya menimbulkan sisa limbah produksi yang tidak dapat dimanfaatkan lagi. Limbah sisa dari produksi tempe dapat berupa limbah cair maupun limbah padat. Limbah padat pada pembuatan tempe berasal dari pengelupasan kulit kedelai selama proses perendaman. Sedangkan limbah cair berasal dari air yang digunakan dalam proses produksi kedelai mulai dari perendaman hingga pencucian, yang kemudian diangkut untuk dilakukan pengolahan setempat (Purnama, 2016)

Industri pengolahan tahu dan tempe banyak tersebar di kawasan perkotaan sampai di perdesaan. Tahu dan tempe merupakan makanan yang sudah konsumsi oleh hampir seluruh bangsa Indonesia. Karena besarnya pasar yang dapat menerima produk tahu dan tempe, maka industri ini tumbuh dan berkembang dengan mudah dimana saja di pelosok kota. Namun demikian, seperti halnya kegiatan industri lainnya, produksi tahu dan tempe pun menghasilkan limbah atau buangan. Bahan baku tahu dan tempe adalah kedelai (Herlambang and Martono, 2018). Limbah tahu dan tempe adalah limbah yang dihasilkan dari proses pembuatannya maupun dari hasil pencucian kedelai. Limbah yang dihasilkan berupa padat dan cair. Limbah padat ampas perasan kedelai dan kulit kedelai masih dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak. Sedangkan limbah cair proses pembuatan tahu, biasanya masih mengandung protein tinggi, dan apabila dibuang ke sungai dan terkena panas akan menyebarkan bau serta menyebabkan badan air atau sungai tercemar.

Air limbah industri tahu dan tempe jika langsung dibuang tanpa pengelolaan terlebih dahulu akan mempengaruhi badan air dan menimbulkan masalah bagi kualitas air dan organisme air. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Pagoray, Sulistyawati and Fitriyani, 2021) yang bertujuan untuk menguji dampak konsentrasi limbah cair industri tahu terhadap kualitas air, pola renang dan tingkah laku ikan, penelitian dilakukan dengan uji coba di laboratorium menggunakan akuarium dan dianalisis secara deskriptif. Adapun perlakuan yang dicobakan adalah limbah cair tahu dengan konsentrasi 0%; 0,4%; 0,6%; 0,8%; 1,0% dan 1,2% dari volume air 10 liter. Setiap akuarium diisi ikan sebanyak 24 ekor dengan ukuran 4-5 cm. Metode Pengamatan dilakukan selama 96 jam. Hasil pengukuran kualitas air pH, DO, CO<sub>2</sub>, COD, TSS dan H<sub>2</sub>S melebihi standar baku mutu, sedangkan suhu, BOD<sub>5</sub> dan amoniak masih dibawah standar baku mutu. Tingkah laku ikan bergerak menghindari limbah, perilaku bergerombol sedangkan pola renang ikan berenang dipermukaan, berenang tidak beraturan, pola renang berubah dengan posisi berdiri. Konsentrasi limbah cair tahu 0,4%; 0,6%; 8%; 1,0% dan 1,2% berpengaruh terhadap pola renang dan tingkah laku ikan.

## 6.2 Proses Pembuatan Tahu dan Tempe

Untuk merancang teknologi pengolahan tahu dan tempe, terlebih dahulu kita harus mengenalkan proses produksi tahu dan tempe. Dengan memahami cara pembuatan tahu dan tempe, Anda dapat memahami berapa banyak yang terbuang, serta tingkat pencemaran, waktu pengolahan, dan perilaku budaya masyarakat serta status sosial ekonomi. Keberhasilan pelaksanaan pengelolaan sampah tergantung pada teknologi yang digunakan dan kemampuan masyarakat dalam mengoperasikan dan memeliharanya (Herlambang, 2002)

Berikut tahapan proses pembuatan tahu secara umum menurut (Herlambang, 2002):

1. Cuci dan sortir kedelai pilihan. Bersihkan dengan menampi atau menggunakan alat pembersih.  
Rendam dalam air agar kedelai mengembang dan lunak, bisa digiling. Waktu perendaman berkisar antara 4 - 10 jam.
2. Bilas dengan air bersih. Banyaknya air yang digunakan tergantung dari ukuran atau jumlah kacang kedelai yang digunakan.
3. Giling kedelai menjadi bubur kedelai dengan alat penggiling kedelai. Untuk memudahkan penggilingan, perlu menambahkan air sebanding dengan jumlah kedelai.
4. Masak kacang kedelai dengan api besar selama 5 menit. Selama memasak, cegah pembusaan dengan menambahkan air dan diaduk.
5. Saring susu kedelai dengan kain saring. Peras ampas yang diperoleh dan bilas dengan air hangat. Jumlah residu basah sekitar 70% sampai 90% dari berat kering kedelai.
6. Kemudian gunakan air asam untuk menggumpal, suhunya 50°C, dan diamkan hingga menjadi besar. Juga, air di atas sedimen dihilangkan dan sebagian digunakan dalam proses aglomerasi kembali.
7. Langkah terakhir adalah embossing, yaitu dilapisi dengan kain saring hingga memadat. Setelah air tersisa sedikit, buka cetakan dan kembangkan (Gambar. 6.1).

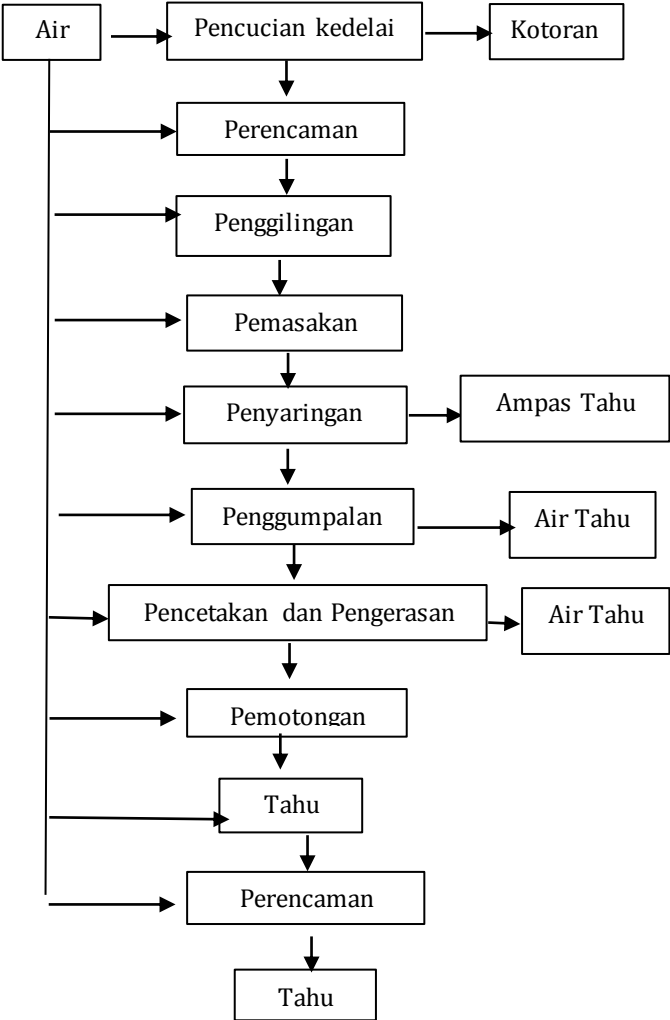
Tempe merupakan hasil fermentasi kedelai, dan proses pembuatan tempe adalah sebagai berikut:

1. Masak kacang kedelai, rendam kacang kedelai yang sudah dimasak semalaman hingga empuk dan lengket, lalu cuci bersih kacang kedelai.
2. Hancurkan kedelai dengan mesin penghancur hingga kedelai terbelah dua dan kulitnya terpisah. Cara pemisahan

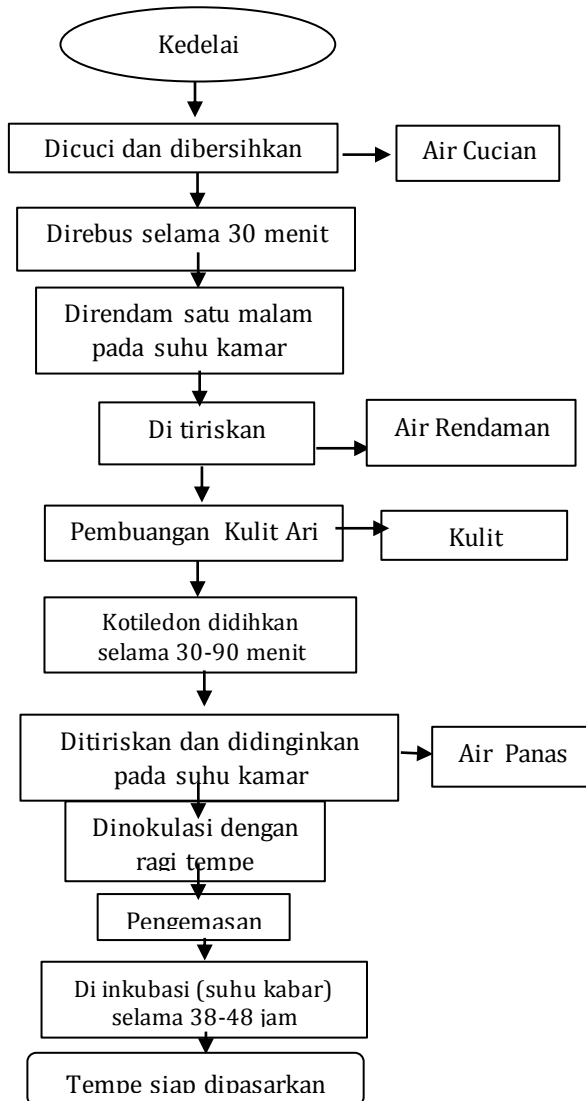
kulit kedelai adalah dengan memasukkan kedelai ke dalam air agar kulit kedelai mengapung, kemudian dapat dipisahkan.

3. Cuci kembali kedelai yang sudah dikupas, lalu campurkan ragi yang sudah larut dan diamkan kurang lebih 10 menit agar terfermentasi.
4. Tiriskan kacang kedelai yang sudah mengandung ragi hingga hampir kering, lalu bungkus dengan daun pisang. Setelah 2 hari fermentasi, Anda mendapatkan tempe (Lihat Gambar 6.2).





**Gambar 6.1.** Bagan Proses Pembuatan Tahu



**Gambar 6.2.** Bagan Proses Pembuatan Tempe

### 6.3 Karakteristik Limbah Industri Tahu dan tempe

Karakteristik buangan industri tahu ada dua hal yang perlu diperhatikan (Herlambang, 2002), yaitu : karakteristik fisika dan kimia. Karakteristik fisika meliputi padatan total, suhu, warna dan bau. Karakteristik kimia meliputi bahan organik, bahan anorganik dan gas. Karakteristik buangan industri tahu dinyatakan oleh Herlambang 2002 meliputi dua hal. Yaitu, sifat fisik dan kimia. Sifat fisik meliputi padatan total, padatan tersuspensi, suhu, warna dan bau. Sifat kimia meliputi zat organik, zat anorganik, dan gas. Kisaran suhu air limbah tahu 37 – 45 oC, kekeruhan 535 – 585 FTU, warna 2 225 – 2 250 Pt.Co, amoniak 23,3 – 23,5 mg/l, BOD5 6 000 – 8 000 mg/l dan COD 7 500 – 14 000 mg /l.

Suhu gas buang pada industri tahu berasal dari proses pemasakan kedelai. Suhu cairan ampas tahu umumnya lebih tinggi dibandingkan air baku yaitu 40oC hingga 46oC. Peningkatan suhu di lingkungan perairan mempengaruhi kehidupan biologis, kelarutan oksigen dan gas lainnya, serta densitas, viskositas, dan tegangan permukaan air (M. Arsalan, 2017).

Air buangan industri tahu kualitasnya bergantung dari proses yang digunakan. Apabila air prosesnya baik, maka kandungan bahan organik pada air buangannya biasanya rendah (Herlambang, 2002). Pada umumnya konsentrasi ion hidrogen buangan industri tahu ini cenderung bersifat asam. Komponen terbesar dari limbah cair tahu yaitu protein (N-total) sebesar 226,06 sampai 434,78 mg/l. sehingga masuknya limbah cair tahu ke lingkungan perairan akan meningkatkan total nitrogen di perairan tersebut.

Gas-gas yang biasa ditemukan dalam limbah adalah gas nitrogen (N<sub>2</sub>), oksigen (O<sub>2</sub>), hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S), amonia (NH<sub>3</sub>), karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan metana (CH<sub>4</sub>). Gas-

gas tersebut berasal dari dekomposisi bahan-bahan organik yang terdapat di dalam air buangan. Permasalahan yang sering muncul adalah kecepatan reaksi biokimia memerlukan oksigen yang lebih besar sejalan dengan meningkatnya Suhu (Herlambang, 2002).

Mengingat nilai BOD dan COD yang tinggi dibandingkan baku mutu air industri makanan yang hanya 75 mg/l untuk BOD dan 100 mg/l untuk COD, wajar jika lingkungan Jakarta terutama sungai-sungai utamanya berubah dari tahun ke tahun. tahun semakin parah dari tahun ke tahun karena beberapa industri terbesar saat ini masih belum memiliki pengelolaan limbah yang memadai. Hasil analisis ini menunjukkan variabilitas yang sangat tinggi baik pada tahu maupun keripik tempe.

#### **6.4 Pengolahan dan Pengendalian Limbah Tahu dan Tempe**

Tahapan setelah proses produksi tahu dan tempe secara alami menghasilkan limbah produk yang tidak dapat dimanfaatkan lagi. Limbah yang tertinggal dari pembuatan tempe dapat berupa limbah cair maupun padat. Limbah padat dari proses pembuatan tempe berasal dari pengupasan kulit kedelai selama proses perendaman. Limbah cair dihasilkan dari air yang digunakan dalam proses produksi, mulai dari perendaman hingga pencucian kedelai, yang kemudian dikirim ke pembuangan setempat. Limbah cair dari pembuatan tempe tentunya mengandung beberapa zat. Limbah tempe sangat kaya akan bahan organik. Senyawa organik yang terkandung dalam limbah berupa karbohidrat, protein, lemak dan minyak, di antara semua senyawa organik.

Pengolahan tahu dan tempe menimbulkan limbah atau residu yang dapat berupa limbah. Sampah yang tidak diolah dengan baik akan menjadi kotor (Faizah, 2008). Ampas tahu

merupakan sisa dari pengolahan kedelai yang terbuang sia-sia karena tidak berubah menjadi tahu. Ampas tahu berbentuk padat dan cair. Limbah padat yaitu kotoran dari pembersihan kedelai, massa sisa sering disebut limbah tahu, sedangkan hasil pencucian tahu adalah limbah cair. Limbah yang dihasilkan dibuang dalam bentuk cair dan dapat mencemari badan air.

Produksi tahu menghasilkan limbah cair yang dihasilkan dari pembersihan kedelai, pembersihan peralatan, perendaman dan pengepresan, serta pelepasan langsung ke air berbau busuk dan mencemari lingkungan. Menurut (Rolia, 2016) limbah tahu yang tidak diolah berbau dan berwarna hitam. Industri tahu yang menghasilkan limbah cair, apabila tidak dilakukan pengelolaan dan di dibuang ke perairan, akan mempengaruhi sifat fisik, kimia air yang berpengaruh pada kelangsungan hidup organisme perairan. Para pelaku usaha tidak menyadari dan minimnya wawasan tentang pengelolaan limbah cair tahu yang akan berdampak ke lingkungan (Pagoray, Sulistyawati and Fitriyani, 2021).

Air limbah tahu harus dilakukan pengolahan sebelum limbah tersebut dibuang ke perairan untuk mencegah timbulnya masalah buangan limbah tahu (Suganda *et al.*, 2014). Limbah industri tahu mengandung C organik yang mempengaruhi nilai BOD dan COD. Menurut (Herlambang *et al.*, 2004) ampas tahu mengandung bahan organik dan gas seperti oksigen terlarut ( $O_2$ ), hidrogen sulfida ( $H_2S$ ), karbon dioksida ( $CO_2$ ) dan amoniak ( $NH_3$ ). Ketika gas-gas ini melebihi norma, mereka berdampak negatif pada kehidupan air. Tahu dan keripik tempe merupakan limbah dari produksi dan pencucian kedelai. Limbah yang dihasilkan berupa padat dan cair. Limbah padat dari ekstrak kedelai dan sekam kedelai masih dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak. Limbah cair dari pembuatan tahu biasanya masih banyak mengandung protein, masuk ke sungai, menyebarkan bau dan mencemari badan air

atau sungai. Menurut (Pagoray, Sulistyawati and Fitriyani, 2021) limbah tahu yang mengandung BOD, COD dan bahan organik tinggi akan berpengaruh terhadap daya dukung lingkungan. Kualitas air memiliki dampak besar terhadap kelangsungan hidup organisme di dalam air. Kualitas air berubah ketika bahan-bahan seperti bahan organik masuk, yang dapat mencemari badan air, menghasilkan produk penguraian berupa amonia ( $\text{NH}_3$ ),  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , dan asam asetat, yang dapat menjadi racun bagi kehidupan air, dan kualitas air memburuk karena ke. untuk kerusakan bagi organisme akuatik. Jika limbah ini terus menerus dibuang ke sungai akan berdampak buruk bagi lingkungan perairan, termasuk budidaya ikan yang dipelihara dalam keramba di lingkungan perairan, dan ekosistem perairan akan menjadi tidak stabil. Hasil penelitian (Pagoray, Sulistyawati and Fitriyani, 2021), buangan dari kegiatan industri tahu apabila tidak dilakukan pengolahan terlebih dahulu dapat mengganggu kehidupan biota perairan. Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukan penelitian uji coba di laboratorium untuk melihat pengaruh limbah cair industri tahu terhadap kualitas air dan kelayakan untuk kehidupan biota perairan.

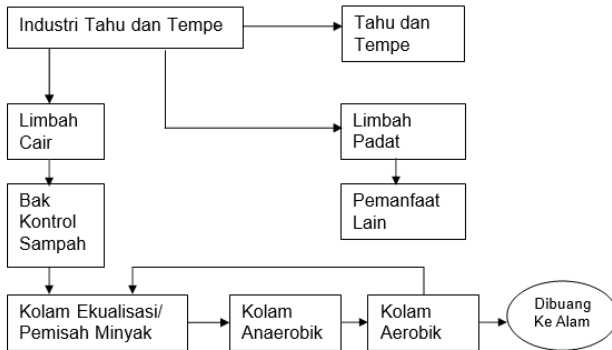
Ada banyak variasi atau teknik pengolahan limbah organik dari industri pengolahan tahu dan tempe, antara lain:

#### 1. Sistem gabungan anaerobik-aerobik

Setiap sistem memiliki kelebihan dan kekurangan, dan penggunaannya membutuhkan kesesuaian dengan masalah yang dihadapi. Umumnya, pertanyaan yang muncul berkisar pada:

- a. Kemampuan alat untuk menurunkan tingkat pencemaran sesuai baku mutu yang berlaku,
- b. biaya investasi dan operasi yang diperlukan,
- c. Kemampuan untuk diperbaiki dan suku cadang serta persyaratan negara.

Salah satu cara untuk mengatasi masalah air limbah industri tahu dan tempe adalah dengan menggabungkan proses pengolahan biologis anaerobik dan aerobik. Secara umum, proses pengolahan dibagi menjadi dua tahap, yang pertama adalah pencernaan anaerobik, dan yang kedua adalah pengolahan lanjutan sistem filter biologis anaerobik dan aerobik. Secara garis besar proses pengolahan air limbah industri tahu dan tempe ditunjukkan seperti pada Gambar 9.3.



**Gambar 6.3.** Proses pengolahan limbah sederhana system kombinasi Anaerobik-Aerobik dengan Biofilter  
Sumber: (Herlambang and Martono, 2018)

## 2. Pengolahan limbah system Anaerobik

Pencernaan anaerobik adalah serangkaian proses mikrobiologis yang mengubah bahan organik menjadi metana. Produksi metana adalah fenomena luas yang terjadi di berbagai lingkungan alami, dari gletser hingga sedimen, rawa, dari hewan penggembalaan hingga ladang minyak. Fenomena alam yang berkaitan dengan proses pembentukan metana (metanogenesis) telah ditemukan lebih dari seratus tahun yang lalu (Herlambang, 2002). Jika

hanya beberapa jenis mikroorganisme yang terlibat dalam proses aerobik, sebagian besar proses terjadi karena bakteri dalam proses anaerobik.

Pencernaan anaerobik, atau selanjutnya pencernaan anaerobik, telah lama digunakan untuk menstabilkan lumpur limbah cair. Proses ini sering digunakan dalam penghancuran limbah industri. Eksploitasi proses ini dimungkinkan jika proses mikrobiologis dipahami dengan baik dan desain reaktor diperbaiki.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses aerobik:

- a. suhu
  - b. lama tinggal
  - c. Keasaman (pH)
  - d. yaitu Komposisi kimia air limbah
  - e. Persaingan metanogen dengan bakteri pengurai sulfat
  - f. Zat beracun
3. Pengolahan Limbah Aerobik

Pengolahan limbah dengan sistem aerobik yang banyak dipakai antara lain, sistem lumpur aktif (*activated sludge*) dan modifikasinya, sistem piring biologi berputar atau biasa disebut *rotating biological contactor (RBC)*, dan parit oksidasi (*oxidation ditch*).

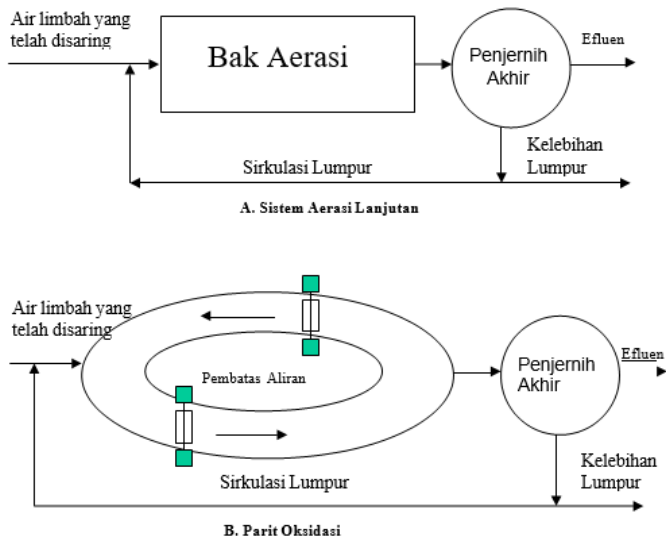
- a. Proses lumpur aktif

Parameter yang umum digunakan dalam lumpur aktif (Davis dan Cornwell, 1985; Verstraete dan van Vaerenbergh, 1986) adalah sebagai berikut:

- 1) *Mixed-liquor suspended solids (MLSS)*.
- 2) *Mixed-liquor volatile suspended solids (MLVSS)*.
- 3) *Food - to - microorganism ratio (F/M Ratio)*.
- 4) Waktu tinggal hidraulik (*Hidraulic retention time = HRT*).

Berikut gambar berikut (Kesuma *et al.*, 2022)





**Gambar 6.3.** Modifikasi Proses Lumpur Aktis (A) Sistem Aerasi Lanjutan (B). Parit Oksidasi  
Sumber: (Kesuma *et al.*, 2022)

Proses lumpur aktif dengan sistem aerasi canggih digunakan saat memasang paket perawatan berikut:

1. Waktu ventilasi lebih lama dari sistem tradisional (sekitar 30 jam). Umur lumpur juga lebih lama, hingga 15 hari.
2. Limbah yang masuk ke tangki penampung gas tidak diolah begitu dijelaskan.
3. Sistem beroperasi pada rasio F/M yang lebih rendah (biasanya  $<0,04$  kg BOD/kg MLSS/hari) dibandingkan sistem konvensional (0,09 hingga 0,23 kg BOD/kg MLSS/hari).
4. Dibandingkan dengan pemrosesan tradisional, sistem ini membutuhkan lebih sedikit ventilasi, terutama cocok untuk komunitas kecil yang menggunakan pemrosesan paket.

## DAFTAR PUSTAKA

- Faizah. 2008. Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Berbasis Masyarakat. *Skripsi*, pp. 1–154.
- Herlambang, A. 2002. Pengolahan Limbah Tahu-Tempe. *Teknologi Pengolahan Limbah Cair Tahu-Tempe*, pp. 151–222.
- Herlambang, A. *et al.* 2004. Pengelolaan dan Pengolahan Air Limbah Industri', *BUKU PANDUAN Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Cair Kota Tegal*, 3(Juli), pp. 18–69.
- Herlambang, A. and Martono, D. H. 2018. Teknologi Pengolahan Sampah Dan Air Limbah. *Jurnal Air Indonesia*, 4(2), pp. 146–160. doi: 10.29122/jai.v4i2.2422.
- Kesuma *et al.* 2022. Pengelolaan dan Pengolahan Air Limbah Industri. (1), pp. 115–124.  
doi: 10.20961/carakatani.v31i2.11998.
- M. Arsalan. 2017. Studi Pengelolaan Limbah Cair Industri Tahu Di Desa Samili Kecamatan Woha Kabupaten Bima', *Journal of Chemical Information and Modeling*, 110(9), pp. 1689–1699.
- Pagoray, H., Sulistyawati, S. and Fitriyani, F. 2021. Limbah Cair Industri Tahu dan Dampaknya Terhadap Kualitas Air dan Biota Perairan. *Jurnal Pertanian Terpadu*, 9(1), pp. 53–65.  
doi: 10.36084/jpt.v9i1.312.
- Purnama, S. G. 2016. Modul analisis dampak limbah cair industri tempe di denpasar. pp. 1–15. Available at: [https://simdos.unud.ac.id/uploads/file\\_pendidikan\\_dir/db35df387a32bf541ae53329438cd1aa.pdf](https://simdos.unud.ac.id/uploads/file_pendidikan_dir/db35df387a32bf541ae53329438cd1aa.pdf).
- Rolia, E. 2016. Perencanaan Bangunan Pengolahan Limbah Cair Pada Pabrik Tahu Di Kelurahan Mulyojati 16 c kota Metro. (*Teknologi Aplikasi Konstruksi*). Available at: <https://ojs.ummmetro.ac.id/index.php/tapak/article/view/153>.



# **BAB 7**

## **PENGENDALIAN LIMBAH INDUSTRI KERTAS**

**Oleh Octovianus SR Pasanda**

### **7.1 Pendahuluan**

Menurut Badan Perlindungan Lingkungan [EPA], 27 persen limbah padat kota terdiri dari limbah kertas. Serat merupakan komponen utama dalam produksi kertas dan diekstraksi dari dua sumber utama, kayu dan produk kertas daur ulang (United States Environmental, 2012). Ada berbagai macam pabrik kertas, dan bergantung pada sumber seratnya, proses fabrikasi dan produk sampingannya juga akan berbeda (United States Environmental, 2012). Tiga jenis utama pabrik kertas adalah pabrik pulp (serat segar), pabrik pemrosesan kertas daur ulang, dan pabrik hibrida yang memanfaatkan serat daur ulang dan segar.

Dari tahun 2010 hingga 2060, konsumsi pulp dan kertas global diperkirakan akan meningkat dua kali lipat. Begitu juga dengan jumlah sampah kertas. Peningkatan produksi kertas juga akan menambah tekanan terhadap hutan dunia yang sudah dalam keadaan kritis - dan terus bertambah buruk.

Dari tahun 2001 hingga 2019, total 386 juta hektar hutan hilang secara global (dalam semua tipe hutan). Kehilangan ini menunjukkan penurunan tutupan pohon hampir 10% sejak tahun 2000 (The World Counts, 2023).

Di era elektronik saat ini, orang mulai mempertimbangkan untuk tidak menggunakan kertas. Namun jalan masih panjang sebelum kita kehilangan ketergantungan pada produk yang sangat penting bagi manusia.

Dari surat kabar hingga kertas pembungkus, kertas masih ada di mana-mana dan sebagian besar berakhir di tempat pembuangan sampah sehingga menghasilkan limbah kertas dalam jumlah yang mencengangkan. Ada suatu masa ketika kertas menjadi komoditas langka dan berharga. Awalnya kertas diciptakan sebagai alat komunikasi, namun saat ini kertas lebih banyak digunakan untuk kemasan.

Untuk memproduksi kertas dibutuhkan energi dua kali lipat dari yang digunakan untuk memproduksi kantong plastik. Semuanya membutuhkan energi untuk diproduksi. Dalam kasus kertas, ini juga melibatkan penebangan pohon. Deforestasi adalah salah satu masalah lingkungan utama yang kita hadapi saat ini. 42% dari semua panen kayu global digunakan untuk membuat kertas. Apakah benar-benar layak untuk menebang pohon hanya untuk menghasilkan sesuatu produk yang ditengarai sebagai penyelamat hidup kita?

## 7.2 Limbah Industri Pulp Dan Kertas

Permintaan dan penggunaan pulp dan kertas telah menandai tingkat peradaban dan perkembangan banyak masyarakat (Armstrong *et al.* 1998; Lwako *et al.* 2013). Bubur dan pabrik kertas memanfaatkan sumber kayu dalam memproduksi pulp dan kertas. Meskipun analisis yang tepat secara kuantitatif tentang limbah yang dihasilkan dari pabrik pulp dan kertas belum dilakukan, namun hanya beberapa

persen dari sumber kayu digunakan sebagai produksi pulp dan kertas (Bajpai 2015b). Sisanya dibuang sebagai padat dan limbah cair. Mengingat negara berkembang, analisis kuantitatif maupun kualitatif biomassa yang dihasilkan dari pabrik belum dilakukan. Kecuali beberapa persen limbah kertas yang digunakan didaur ulang dan selebihnya berupa kertas sisa dibuang sebagai sampah atau dibiarkan di TPA atau dibakar tanpa bisa dikomersialkan. Di samping itu tidak ada skema daur ulang limbah yang memuaskan untuk diterapkan. Selanjutnya, di negara-negara berkembang, kecenderungan menuju konversi limbah menjadi bahan berharga tidak dipraktikkan dengan baik. Kelestarian lingkungan merupakan isu prioritas dan sejauh ini sangat terkait dengan pembangunan berkelanjutan bangsa secara progresif. Ini juga menjadi perhatian global dan menyingkirkan faktor-faktor yang menjadi penangkal kelestarian lingkungan seperti perubahan iklim, penipisan sumber daya alam, pencegahan ekosistem, dan degradasi lingkungan. Pabrik pulp yang satu dengan lainnya saling berkontribusi menghasilkan limbah sehingga membutuhkan perbaikan yang layak dan dirancang untuk perlindungan lingkungan secara keseluruhan serta keberlanjutannya. Air limbah industri pulp dihasilkan dari beberapa sumber seperti pencucian bahan baku kayu sebelum pulping, pencucian pulp, pemutihan pulp, dan sistem pemulihan kimia (Song *et al.* 2019). Limbah padat dihasilkan terutama dari proses penyaringan, lumpur primer dan sekunder dari pengelolaan air limbah, dan lumpur kapur dari sistem pemulihan bahan kimia (Đurđević *et al.* 2020). Saat ini, limbah padat dan cair dalam jumlah besar yang dihasilkan oleh pabrik pulp dan kertas akan berdampak pada aspek lingkungan

dan menjadi perhatian utama yang perlu penanganan (Adane Haile *et al.* 2021).

Di seluruh dunia, lebih dari 95 juta metrik ton kertas dikumpulkan setiap tahun untuk dibuat menjadi kertas dan kertas karton daur ulang. Menurut Environment Canada, dari 6 juta ton kertas dan karton yang digunakan setiap tahun, hanya 25% yang didaur ulang; limbah kertas menyumbang lebih dari 1/3 dari semua limbah di negara tersebut.

Limbah kertas merupakan masalah yang parah di banyak industri dan perkantoran. Karena kesalahan pencetakan, surat sampah, tagihan, dan pengemasan, kertas dapat mencapai 70% dari total limbah perusahaan. Seorang pegawai kantor rata-rata akan menggunakan sekitar 10.000 lembar kertas dalam setahun. Selain kertas yang digunakan untuk mencetak, perusahaan juga mengkonsumsi produk kertas lainnya, seperti kardus, amplop, dan pembungkus (Bale Force, 2021).

Limbah yang dihasilkan dari pabrik pulp dan kertas berdampak buruk terhadap lingkungan. Emisi dari industri pulp dan kertas memiliki efek yang signifikan terhadap lingkungan. Limbah yang dihasilkan dari industri pulp dan kertas menyebabkan kerusakan parah pada kehidupan akuatik, mengganggu rantai makanan, dan juga menyebabkan berbagai implikasi kesehatan (Gupta *et al.* 2019). Efek polutan terhadap lingkungan sudah dilaporkan oleh beberapa peneliti, namun mitigasi mereka masih memiliki tantangan yang signifikan. Selain itu, banyak negara berkembang tidak memproduksi pulp, tetapi menggunakan pulp impor dan kertas bekas sebagai bahan bakunya. Hal ini dirasa jauh lebih baik dari sudut pandang lingkungan dan sosial ekonomi. Mengubah limbah pabrik pulp dan kertas menjadi produk yang sangat berharga akan berdampak positif pada kehidupan sehari-hari, namun membutuhkan analisis menyeluruh terhadap biomassa yang

dihasilkan baik secara kuantitatif maupun kualitatif serta potensi untuk produksi biomaterial dan aplikasi diversifikasinya. Selain menjaga lingkungan dari dampak limbah yang tidak diinginkan, pemanfaatan limbah akan sangat mendukung skema keragaman produk dan potensi pertumbuhan ekonomi (Landrigan dan Fuller 2015).

Industri pulp dan kertas dianggap sebagai salah satu industri yang paling mencemari dunia (Thompson *et al.*, 2001; Sumathi & Hung, 2006). Proses produksi terdiri dari dua langkah utama, yaitu: pembuatan pulp dan pemutihan. Pembuatan pulp merupakan tahap awal dan merupakan sumber pencemaran terbesar industri tersebut. Dalam proses ini, serpihan kayu sebagai bahan baku diolah untuk menghilangkan lignin kemudian mengolah seratinya untuk pembuatan kertas. Pemutihan merupakan langkah terakhir dari proses yang bertujuan untuk memutihkan dan mencerahkan pulpa. Seluruh proses industri ini sangat banyak membutuhkan energi dan air (Pokhrel & Viraraghavan, 2004). Air limbah yang dihasilkan dari proses produksi industri ini meliputi bahan kimia konsentrasi tinggi seperti natrium hidroksida, natrium karbonat, natrium sulfida, bisulfit, unsur klorin atau klorin dioksida, kalsium oksida, asam klorida, dll (Sumathi & Hung, 2006). Masalah utama dari air limbah adalah kandungan organik yang tinggi (20-110 kg COD/kertas kering), halida organik (AOX), polutan beracun, dll.

Masalah lingkungan industri pulp dan kertas bukan karena konsumsi air yang tinggi. Produksi air limbah yang dihasilkan, seperti: limbah padat termasuk lumpur yang dihasilkan dan emisi udara adalah masalah pada industri ini sehingga diperlukan pendekatan pembuangan dan pengolahan yang efektif. Pembuangan limbah padat ini menyebabkan



masalah lingkungan karena kandungan organik yang tinggi, partisi organik terklorinasi, patogen, abu dan kandungan logam berat dalam jumlah kecil (Monte *et al.*, 2009).

Banyak jenis limbah seperti yang dirangkum di atas dihasilkan dari proses yang berbeda. Jumlah, jenis dan karakteristik limbah ini penting untuk memberikan teknologi pengolahan yang terbaik. Teknologi pengolahan fisikokimia dan biologi digunakan secara ekstensif untuk pabrik pulp dan kertas. Studi skala laboratorium dan skala penuh tentang sedimentasi/floatasi, koagulasi dan presipitasi, adsorpsi, oksidasi kimia dan filtrasi membran dilakukan dalam literatur untuk menguji pendekatan fisika-kimia (Pokhrel & Viraraghavan, 2004). Pengolahan biologis baik teknologi aerobik maupun anaerobik lebih disukai pada pengolahan pabrik pulp dan kertas karena komposisi air limbah yang terdiri dari senyawa organik yang tinggi dan aspek ekonomis. Selain itu, beberapa spesies jamur digunakan untuk menghilangkan warna dan AOX dari limbah (Taseli dan Gokcay, 1999). Di beberapa negara, perlakuan tersier diterapkan untuk mendapatkan peraturan batasan limbah yang layak untuk dibuang (Thompson *et al.*, 2001). Pada akhirnya, aplikasi yang banyak dipakai di pabrik skala penuh untuk pabrik pengolahan pulp dan kertas adalah sistem hibrida, yang menggabungkan alternatif pengolahan fisiko-kimia dan biologis (Pokhrel & Viraraghavan, 2004).

Strategi pembuangan limbah padat yang dihasilkan dari industri pulp dan kertas bervariasi tergantung pada negara dan peraturan yang dipatuhi. Setelah penyortiran dan penanganan, dewatering, aplikasi termal seperti pembakaran dan pencernaan anaerobik untuk memperoleh energi dan endapan

di tempat pembuangan sampah adalah aplikasi umum. Namun, limbah padat harus dipantau setelah penimbunan TPA karena karakteristik racun dari senyawa tersebut (Monte *et al.*, 2009). Juga polutan gas adalah masalah lingkungan lain yang dihasilkan dari industri pulp dan kertas. Untuk meminimalkan polutan ini, metode fisika-kimia seperti adsorpsi ke filter batubara aktif, penyerapan, oksidasi termal, oksidasi katalitik dan kondensasi telah banyak digunakan (Eweis *et al.*, 1998). Dalam dekade terakhir, tren biaya rendah dan efektif telah dikembangkan untuk mencegah keterbatasan aplikasi fisika-kimia seperti biaya energi dan menghasilkan polutan sekunder (Bahar K, *et al.*, 2011).

Ada dua langkah utama dalam produksi kertas, pembuatan pulp dan pemutihan. Pembuatan pulp merupakan tahap awal dan sumber dari sebagian besar pencemaran yang dihasilkan oleh industri kertas (Ince, Cetecioglu, & Ince 2011). Pulp merupakan campuran serat selulosa dan air dan digunakan sebagai bahan dasar semua produk kertas (United States Environmental, 2012). Pulp diproduksi dengan memisahkan serat kayu secara mekanis atau kimiawi dari serpihan kayu dalam proses yang disebut pulping.

Operasi persiapan kayu, pembuatan pulp, pencucian pulp, penyaringan, pencucian, pemutihan, mesin kertas dan pelapisan merupakan sumber polusi terpenting di antara berbagai tahapan proses. Sekitar 100 juta kg polutan beracun dilepaskan setiap tahun dari industri kertas (Ince, Cetecioglu, & Ince 2011).

Masalah lingkungan yang terkait dengan industri pulp dan kertas tidak terbatas pada konsumsi air yang tinggi. Limbah padat termasuk lumpur yang dihasilkan dari instalasi pengolahan air limbah dan emisi udara menyebabkan masalah

lebih lanjut, sehingga pendekatan pembuangan dan pengolahan yang efektif sangat penting (Ince, Cetecioglu, & Ince 2011).

Kertas merupakan komoditas penting yang digunakan secara internasional. Ahli Limbah B3 tidak mau menghentikan produksi kertas; kami ingin menyediakan sarana pembuangan limbah industri pulp dan kertas yang benar dan sah dengan cara yang ramah lingkungan dengan biaya nominal. Selain itu sebagian besar sampah yang kami kelola akan didaur ulang. Hubungi kami hari ini di 800-936-2311, (Douglas Macklin, 2014).

Industri kertas memiliki banyak sektor yaitu kertas untuk percetakan dan kemasan. Bahkan sekarang sudah di era digital dimana penggunaan kertas untuk mencetak dokumen sangat diminimalis, hal yang berbeda terjadi pada kertas yang digunakan untuk kemasan. Kemasan kertas material saat ini masih sangat dibutuhkan dan diminati terutama pada jenis corrugated box yang saat ini melalui sistem online shop yang sedang menjadi trend dewasa ini. Kecenderungan ini membawa hasil bahwa kemasan pengiriman dalam bentuk kotak bergelombang sangat banyak digunakan, terutama penggunaan plastik dikritik di berbagai bagian dunia karena merusak ekosistem perairan. Sama seperti industri lainnya, industri kertas juga secara alami menghasilkan limbah. Dihasilkan dua jenis limbah yaitu limbah padat dan limbah cair.

### **7.3 Dampak Limbah Kertas**

Dengan banyaknya perhatian yang terfokus pada pembuangan plastik, dampak limbah kertas seringkali terabaikan. Namun, pembuangan dan daur ulang limbah kertas yang tidak tepat dapat berdampak pada ekonomi dan

lingkungan seperti produk limbah lainnya. Beberapa dampak yang ditimbulkan oleh limbah kertas, antara lain:

- **Kerugian Keuangan**

Biaya penggunaan kertas yang tidak efisien di tempat kerja terlalu signifikan untuk diabaikan. Pengeluaran dari perlengkapan seperti toner dan kertas, serta perawatan peralatan dapat bertambah dengan cepat. Mungkin yang lebih penting daripada biaya ini adalah semua waktu staf yang terbuang untuk menyesuaikan printer dan mesin fotokopi, mengarsipkan dokumen, dan kemudian berusaha menemukannya lagi, tetapi pada akhirnya akan terbuang lagi. Beberapa temuan dari studi penelitian produktivitas:

Penggunaan printer, mesin fotokopi, dan mesin faks yang tidak efisien dapat memboroskan antara 1 hingga 3 persen pendapatan perusahaan setiap tahunnya (Gartner Group, 2001).

Untuk setiap dolar yang dihabiskan untuk penyalinan, perusahaan mengeluarkan \$6 lagi dalam penanganan dan distribusi, dan setengah dari semua dokumen yang dicetak dibuang dalam waktu 24 jam (Hesseldahl, 2008). Rata-rata 17% dari semua yang dicetak dianggap sampah (Lexmark International., 2006). Ketika dokumen yang salah dicetak atau kebocoran kartrid menodai kertas, reaksi umumnya adalah membuangnya dan mencetak lagi. Jika itu terjadi setiap hari, kesalahan dalam pencetakan dan perawatan peralatan seperti printer dan mesin faks dapat bertambah dengan cepat. Tingginya biaya penggunaan kertas yang tidak efisien sulit untuk diabaikan.

Menurut penelitian Gartner, 2001, limbah kertas ini dapat memakan antara 1% hingga 3% dari pendapatan perusahaan. Selain itu, dalam laporan terpisah, 17% dari semua hal yang dicetak tidak berarti apa-apa selain pemborosan.

▪ **Dampak Lingkungan**

Menggunakan lebih sedikit kertas dapat menghemat uang organisasi Anda dan juga dapat membantu beberapa masalah lingkungan. Dari semua pohon yang dipanen untuk keperluan industri, 42% digunakan untuk pembuatan kertas. Sayangnya, degradasi hutan hanyalah bagian dari cerita. Industri pulp dan kertas juga merupakan industri pengguna air terbesar, pencemar air terbesar, dan penghasil polusi pemanasan global terbesar ketiga di sebagian besar negara industri.

Penggundulan hutan adalah efek utama dari penggunaan kertas. Kelompok konservasi telah membuat kemajuan yang mengagumkan dalam melindungi hutan yang kaya secara ekologis dan membatasi akses komersial. Ini adalah kemajuan besar bagi umat manusia! Bayangkan saja berapa lama sebuah pohon akan tumbuh hingga ukuran penuhnya. Perlu disadari bahwa pemanfaatan pohon yang tidak berguna akan menyebabkan kerugian karena pohon mengeluarkan oksigen sehingga dapat melindungi planet ini dari Pemanasan Global lebih lanjut.

Polusi kertas adalah efek lain dari limbah kertas dan merupakan masalah serius. Diperkirakan pada tahun 2020, pabrik kertas akan memproduksi 500.000.000 ton kertas dan kertas karton setiap tahunnya. Pulp dan kertas adalah pencemar udara, air, dan tanah industri terbesar ke-3. Pemutih berbasis klorin digunakan selama produksi yang menghasilkan bahan beracun yang dilepaskan ke air, udara, dan tanah kita. Saat kertas membusuk, ia mengeluarkan gas metana yang 25 kali lebih beracun daripada CO<sub>2</sub>.

Konsekuensi lingkungan dari limbah kertas toilet, memproduksi 42 juta ton kertas toilet membutuhkan: 712 juta pohon, 1.165 juta ton air, dan 78 juta ton minyak (The World Counts, 2023).

- **Menghasilkan Sampah**

Dari kertas sobek hingga pembungkus bekas, tidak heran jika sepertiga dari semua sampah adalah produk kertas. Membuang sampah sembarangan dapat membuat area sama sekali tidak menarik bagi wisatawan dan pemilik bisnis. Selain itu, mereka menarik serangga dan hewan pengerat, mengubah suatu daerah menjadi tempat berkembang biak yang sempurna untuk berbagai penyakit.

- **Penggundulan hutan**

40% dari seluruh kayu industri yang diperdagangkan di dunia dipergunakan untuk industri pulp dan kertas, yang kemudian dapat menghasilkan berbagai macam kertas, diantaranya: kertas kantor, tisu, dan kemasan berbahan dasar kertas.

Deforestasi merugikan ekosistem karena hilangnya habitat dapat menyebabkan kepunahan flora dan fauna. Sementara banyak industri telah berkomitmen untuk proyek reboisasi dan hutan buatan, namun seringkali tidak terealisasi dan tidak berkelanjutan sehingga tidak dapat mendukung keanekaragaman hayati.

- **Volume TPA**

Dari 85 juta ton kertas yang dibuang setiap tahun, sekitar 40% dibuang ditempat pembuangan sampah. Mengangkut sampah membutuhkan biaya, begitu juga mengelola fasilitas sampah. Demikian pula, dengan meningkatnya volume sampah, lahan yang dibutuhkan untuk menampungnya juga perlu diperluas. Selain itu, limbah kertas seringkali dibakar sehingga menyebabkan polusi udara, dan beberapa bahan kimia yang terkandung dalam produk tersebut dapat merusak lingkungan.

## 7.4 Pencegahan dan Pengelolaan Limbah Kertas

Pencegahan limbah kertas adalah praktik mengurangi atau menghilangkan penggunaan kertas sehingga potensi kertas untuk digunakan secara tidak efisien atau dibuang dapat dicegah sejak awal. Mencetak kertas di kedua sisi lembaran, bukan di satu sisi, merupakan contoh klasik pencegahan limbah kertas, karena dapat mengurangi kebutuhan kertas hingga 50 persen.

Pemulihan kertas adalah praktik pengumpulan kertas untuk menghasilkan kertas daur ulang atau produk lain, seperti insulasi selulosa. Metode yang paling terlihat adalah program daur ulang ditepi jalan perumahan, yaitu mengumpulkan berbagai jenis kertas yang dihasilkan oleh rumah tangga. Namun, sebagian besar kertas yang dipulihkan berasal dari sektor bisnis dan industri. Tingkat pemulihan kertas nasional pada tahun 2013 adalah 63,3 persen, naik dari 48,1 persen dalam 10 tahun (2013 Fact Sheets, 2015). Namun, jelas ada ruang yang cukup besar untuk meningkatkan pemulihan kertas.

Pencegahan adalah cara yang paling ramah lingkungan untuk mengurangi limbah kertas. Bahkan jika semua kertas didaur ulang, akan masih dibutuhkan bahan baku utama untuk membuat kertas, karena serat kertas individu hanya dapat didaur ulang beberapa kali (umumnya 5-10). Pencegahan limbah kertas mengurangi dampak lingkungan yang terkait dengan pembuatan kertas (termasuk permintaan akan sumber daya hutan kita) dan daur ulang kertas.

Limbah kertas merupakan hampir sepertiga dari limbah padat yang dihasilkan di seluruh dunia. Sebelumnya, limbah kertas dibuang di tempat pembuangan sampah, memakan banyak tempat, atau dibakar. Pembakaran kertas melalui pembakaran melepaskan karbon dioksida, mengganggu keseimbangan atmosfer alami. Peningkatan efek rumah kaca

bertanggung jawab atas pemanasan global dan perubahan iklim, membuat pembuangan TPA dan pembakaran menjadi pilihan yang tidak sesuai dan berbahaya untuk pengelolaan limbah kertas.

Daur ulang kertas adalah solusi "hijau" untuk pengelolaan limbah kertas. Daur ulang kertas adalah proses yang mengubah kertas bekas menjadi kertas yang dapat digunakan kembali dan produk lainnya. Praktik daur ulang kertas terdiri dari tahapan-tahapan berikut:

- **Koleksi**

Sampah kertas, seperti koran, kertas printer, dan karton serta kotak produk, dikumpulkan dengan menempatkan tempat sampah daur ulang di tempat umum, sekolah, kantor, dan rumah tangga. Proses pengumpulan dilakukan oleh organisasi kota dan perusahaan swasta yang berspesialisasi dalam daur ulang limbah.

- **Penyortiran**

Setelah terkumpul, sampah kertas dipilah menjadi beberapa tumpukan tergantung kualitas dan jenis kertas. Tumpukan tersebut kemudian dikompresi untuk membentuk bal dan bal ini digunakan untuk memproduksi kertas daur ulang.

- **Mencabik-cabik**

Selama produksi wafer tipis daur ulang, kertas bekas dipotong kecil-kecil. Bit ini selanjutnya dipecah menjadi serat.

- **Re-Pulping (Bubur)**

Serat tersebut kemudian dicampur dengan air untuk membentuk bubur. Pulp ini mungkin mengandung berbagai komponen yang tidak diinginkan seperti kotoran, tinta lama, dan serat yang lemah.



▪ **Menghilangkan tinta**

Pulp dicuci, dipisahkan, diayak dan diputar. Akibatnya, kotoran, tinta lama, dan serat yang lemah terlepas dari pulp dalam bentuk lumpur yang kemudian dibuang. Bubur bersih digunakan untuk memproduksi kertas daur ulang dan produk lain seperti peti telur, baki buah, kertas karton, insulasi dan langit-langit palsu.

Kertas Daur Ulang adalah proses ramah lingkungan yang untuk satu hal, membantu membatasi praktik deforestasi. Banyak spesies tumbuhan dan hewan menjadi punah ketika habitat alaminya dihancurkan karena penggundulan hutan. Ketika pohon ditebang, juga mengganggu keseimbangan gas di atmosfer. Satu ton kertas daur ulang dapat menyelamatkan hingga 17 pohon dari penebangan. Dalam hal penghematan energi, produksi daur ulang membutuhkan energi 40 hingga 60% lebih sedikit daripada kertas yang diproduksi dari pulp murni. Setiap ton kertas daur ulang menghemat sekitar 225 kilowatt jam energi. Selain itu, setiap ton kertas daur ulang menghemat 60.000 liter air, merupakan keuntungan besar karena produksi kertas baru menggunakan banyak air. Ini hanyalah beberapa dari banyak cara mendaur ulang kertas yang dapat bermanfaat bagi planet ini dan berkontribusi pada lingkungan yang berkelanjutan untuk generasi mendatang.

## **7.5 Kertas Daur Ulang**

Diketahui bahwa produksi kertas (begitu pula merek-merek industri lainnya) memiliki dampak yang sangat besar terhadap lingkungan. Penggunaan dan pengolahan bahan baku memiliki berbagai dampak negatif terhadap lingkungan. Di sisi lain ada teknologi yang dapat memoderasi dampak negatif terhadap lingkungan dan juga memiliki efek ekonomi yang

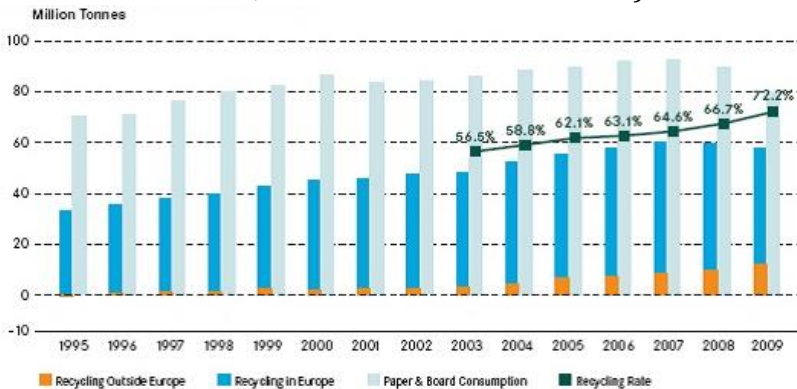
positif. Salah satu proses tersebut adalah daur ulang, yang tidak hanya pemanfaatan limbah selanjutnya. Manfaat utama dari daur ulang adalah pengurangan beban lingkungan dua kali lipat, yang dikenal sebagai pengurangan dampak lingkungan. Dari sudut pandang pertama, sumber daya alam menghemat di sisi input proses manufaktur, dari sudut pandang kedua, jumlah senyawa berbahaya yang bocor ke lingkungan berkurang di sisi output proses manufaktur.

Produksi kertas dari serat daur ulang mengkonsumsi lebih sedikit energi; melestarikan sumber daya alam yaitu kayu dan mengurangi pencemaran lingkungan. Konflik antara optimalisasi ekonomi dan perlindungan lingkungan telah mendapat perhatian luas dalam program penelitian terbaru untuk perencanaan sistem pengelolaan limbah. Ini juga menghasilkan serangkaian tujuan pengelolaan limbah baru dalam perencanaan sistem logistik terbalik. Pati *et al.* (2008) telah mengusulkan model mixed integer goal programming (MIGP) untuk menangkap hubungan antar sistem jaringan daur ulang kertas. Penggunaan model ini secara tidak langsung dapat memberikan manfaat bagi lingkungan serta meningkatkan kualitas kertas bekas yang sampai ke unit daur ulang.

Pada tahun 2005, total produksi kertas di Eropa adalah 99,3 juta ton yang menghasilkan 11 juta ton limbah, mewakili sekitar 11% dari total produksi kertas. Produksi kertas daur ulang, selama periode yang sama, adalah 47,3 juta ton menghasilkan 7,7 juta ton limbah padat (sekitar 70% dari total limbah yang dihasilkan dalam pembuatan kertas) yang mewakili 16% dari total produksi dari bahan mentah (CEPI 2006).

Konsumsi kertas daur ulang terus meningkat selama beberapa dekade terakhir. Menurut Konfederasi Industri Kertas Eropa (CEPI), penggunaan kertas daur ulang hampir

sama dengan penggunaan serat murni pada tahun 2005. Perkembangan ini tidak hanya didorong oleh kemajuan teknologi dan daya saing harga serat daur ulang yang baik, tetapi juga oleh faktor lingkungan. Kesadaran, baik di sisi produsen maupun konsumen – dan regulasi yang telah memengaruhi permintaan akan kertas daur ulang. Industri kertas Eropa mengalami tahun yang sangat sulit pada tahun 2009 di mana industri mengalami lebih banyak down-time dan penutupan kapasitas sebagai akibat dari melemahnya ekonomi global. Pemanfaatan kertas daur ulang di Eropa menurun pada tahun 2009, namun ekspor kertas daur ulang ke negara-negara di luar CEPI terus meningkat, terutama ke pasar Asia (96,3%). Namun, tingkat daur ulang yang dinyatakan sebagai “volume daur ulang kertas/volume konsumsi kertas” menghasilkan rekor tingkat daur ulang tertinggi 72,2% setelah mencapai 66,7% tahun sebelumnya (Gbr. 1) (Hujala *et al.* 2010; CEPI 2006; European Declaration on Paper Recycling 2010; Huhtala & Samakovlis 2002; CEPI Annual Statistic 2010).



**Gambar 7.1.** European paper recycling 1995-2009 in million tonnes (European Declaration on Paper Recycling 2006 – 2010, Monitoring Report 2009 (2010) ([www.erpa.info](http://www.erpa.info)))

Kertas daur ulang semakin banyak diproduksi dalam berbagai kelas di industri kertas. Namun, masih terdapat kendala teknis diantaranya penurunan kekuatan mekanik untuk kertas daur ulang. Terutama, kertas asal bubur kimia, yaitu kertas halus membutuhkan tingkat kekuatan tertentu. Howard & Bichard (1992) melaporkan bahwa pulp kraft yang dikelantang menghasilkan lembaran yang besar, lemah dalam kekuatan tarik serta pecah dengan daur ulang. Perilaku ini dapat dijelaskan dengan berkurangnya kemampuan mengembang kembali atau berkurangnya fleksibilitas serat pulp yang dibasahi ulang karena hornifikasi serat dan mungkin juga karena hilangnya partikel halus selama proses daur ulang sehingga mengurangi area pengikatan total dan kekuatan kertas (Iveta Cabalova *et al.* 2011).

Daur ulang kertas semakin penting untuk pembangunan berkelanjutan industri kertas sebagai bagian dari ramah lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adane Haile\*, Gameda Gebino Gelebo, Tamrat Tesfaye, Wassie Mengie, Million Ayele Mebrate, Amare Abuhay and Derseh Yilie Limeneh, 2021. Pulp and paper mill wastes: utilizations and prospects for high value-added biomaterials. Bioresour. Bioprocess. (2021) 8:35. <https://doi.org/10.1186/s40643-021-00385-3>.
- Armstrong AD, Bentley KM, Galeano SF, Olszewski RJ, Smith GA, Smith JR, (1998). The pulp and paper industry. Ecol Ind 12:86.
- Bahar K, Ince, Zeynep Cetecioglu and Orhan Ince, 2011. Pollution Prevention in the Pulp and Paper Industries. Environmental Management in Practice, Istanbul, Turkey.
- Bajpai P (2015b) Generation of waste in pulp and paper mills. Springer, Management of Pulp and Paper Mill Waste.
- Bale Force, 2021. Paper Waste: Why Does It Matter?. <https://baleforce.com/wpcontent/uploads/2021/03/baleforce-logo.png>.
- CEPI (Confederation of European Paper Industries). 2006 Special Recycling 2005 Statistics- European Paper Industry Hits New Record in Recycling. 27.02.2011, Available from: [http://www.erpa.info/images/Special\\_Recycling\\_2005\\_statistics.pdf](http://www.erpa.info/images/Special_Recycling_2005_statistics.pdf)
- CEPI (Confederation of European Paper Industrie). (2010). Annual Statistic 2009. 27.02.2011, Available from: [http://www.erpa.info/download/CEPI\\_annual\\_statistics%202009.pdf](http://www.erpa.info/download/CEPI_annual_statistics%202009.pdf).
- Deforestation Facts for Kids. <https://www.theworldcounts.com/assets/images/logo-text-20x275.png>.

- Douglas Macklin, 2014. Paper and Pulp Waste Basics. Hazardous Waste Experts, Fitchburg. <https://www.hazardouswasteexperts.com/wp-content/uploads/2022/11/hwe-logo-horiz.png>.
- Đurđević D, Trstenjak M, Hulenec I (2020) Sewage Sludge Thermal Treatment Technology Selection by Utilizing the Analytical Hierarchy Process. *Water* 12:1255.
- European Declaration on Paper Recycling 2006 – 2010, Monitoring Report 2009 (2010), 27.02. 2011, Available from: [http://www.erpa.info/images/monitoring\\_report2009.pdf](http://www.erpa.info/images/monitoring_report2009.pdf)
- Eweis, J.B.; Ergas, S.J.; Chang, D.P.Y. & Schroeder, E.D. (Eds.), (1998). *Bioremediation Principles*, ISBN 9780070577329, McGraw-Hill, Singapore.
- Gartner Group 2001. Rightsizing Output Fleets: The Hidden Gold Mine. <https://emtemp.gcom.cloud/ngw/commonassets/images/build-graphics/gartner-logos/gartner.svg>.
- Gupta GK, Liu H, Shukla P (2019) Pulp and paper industry-based pollutants, their health hazards, and environmental risks. *Current Opinion in Environmental Science & Health* 12:48–56.
- Hesseldahl, A. (2008, May 27). The New Push to Get Rid of Paper. *BusinessWeek*. Springer.
- Howard R. C., Richard W. J. 1992 The basic effect of recycling on pulp properties, *Journal of pulp and paper science* 18 (4), 1992, 151159, 0826-6220.
- Huhtala A, Samakovlis E, 2002. Does International Harmonization of Environmental Policy Instruments Make Economic Sense? *Environmental and Resource Economics*.

- Hujala M, Puumalainen K, Tuppur A, Toppinen A, 2010. Trends in the Use of Recovered Fiber- Role of Institutional and Market Factors. *Progress in Paper Recycling*, 19 2 2010, 311 , 1061-1452.
- Ince, B.K., Cetecioglu, Z., Ince, O. (2011). Pollution Prevention in the Pulp and Paper Industries, *Environmental Management in Practice*. DOI: 10.5772/23709. Retrieved From:  
<http://www.intechopen.com/books/environmental-management-in-practice/pollution-prevention-in-the-pulp-and-paper-industries>.
- Iveta Cabalova, Frantisek Kacik, Anton Geffert and Danica Kacikova, 2011. The Effects of Paper Recycling and its Environmental Impact. *Environmental Management in Practice*.
- Lexmark International. (2006). Retail Topped European League of Paper Wasters.
- Lwako M, Byaruhanga J, Babtist K, 2013. A review on pulp manufacture from non-wood plant materials. *Int J Chem Eng Appl* 4:144–148.
- Monte MC, Fuente E, Blanco A, Negro C. Waste management from pulp and paper production in the European Union. *Waste Manag* 2009;29(1):293–308.
- Pati RK, Vrat P, Kumar P (2008) A goal programming model for paper recycling system. *Omega* 36:405–417
- Pokhrel D, Viraraghavan T, 2004. Treatment of pulp and paper mill wastewater—a review. *Sci Total Environ* 2004;333(1):37–58.
- Song K, Zhu X, Zhu W, Li X (2019) Preparation and characterization of cellulose nanocrystal extracted from *Calotropis Procera* biomass. *Bioresour Bioprocess* 6:1–8.

- Sumathi S, Hung YT. Treatment of pulp and paper mill wastes. In: Waste treatment in the process industries. United States: CRC Press-Taylor & Francis Group; 2006. p.453–97.
- Taseli, B. & Gokcay, C.F. (1999). Biological treatment of paper pulping effluents by using a fungal reactor. *Water Sci Technol*, Vol. 40, No. 11– 12, pp. 93–09.
- The World Counts, 2023. Paper Waste Facts. <https://www.theworldcounts.com/assets/images/logo-text-20x275.png>.
- Thompson, G.; Swain, J.; Kay, M. & Forster, C. (2001). The treatment of pulp and paper mill effluent: a review. *Bioresource Technology*, Vol. 77, pp. 275–286.
- United States Environmental Protection Agency. (2012). Paper Making and Recycling. Retrieved From: the Environmental Protection Agency website:
- 2013 Fact Sheet, 2015. Advancing Sustainable Materials Management: Assessing Trends in Material Generation, Recycling and Disposal in the United States.





# BAB 8

## PENGENDALIAN LIMBAH

### ARGOINDUSTRI PADI

Oleh Fathan Mubina Dewadi

#### 8.1 Pendahuluan

Pengertian limbah industri merupakan masalah yang cukup besar yang dialami hampir semua negara. Jumlah sampah bahkan bertambah seiring berjalannya waktu. Permasalahan sampah muncul dari berbagai sektor, terutama industri (Nandy, 2021). Masalah limbah industri merupakan salah satu hal yang harus diperhatikan oleh para pelaku industri dan pemerintah, karena jika ditangani dengan baik, limbah industri dapat menimbulkan berbagai bahaya dan kerusakan lingkungan yang mengganggu kehidupan makhluk hidup (Dewadi, *et al.*, 2021).

Limbah industri adalah sisa atau limbah dari kegiatan industri. Dengan kata lain, limbah industri adalah limbah yang dihasilkan selama kegiatan produksi industri. Ada berbagai jenis limbah ini tergantung pada produk industri yang dibuat (Wibowo, *et al.*, 2022). Sebagai contoh dapat dilihat pada industri tekstil, dimana tidak hanya dihasilkan limbah berupa sisa bahan, tetapi juga jenis limbah lainnya berupa air limbah dari pohon kain bekas (Surbakti, *et al.*, 2022). Berikut akan

ditampilkan pada gambar 1 mengenai contoh limbah industri

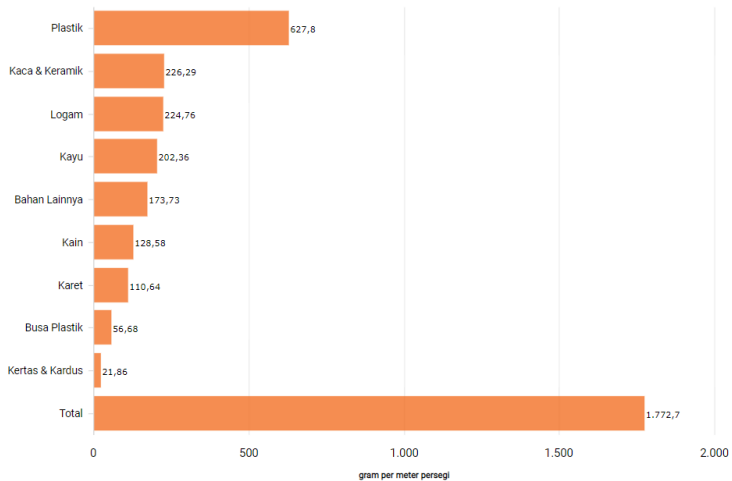


**Gambar 8.1.** Contoh Limbah Industri (PT. Nebraska, 2010)

Dengan tumbuhnya kegiatan industri, limbah yang dihasilkan kini semakin beragam. Limbah industri dibagi menjadi empat kelompok, yaitu limbah cair, limbah padat, limbah gas, dan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Ini penjelasannya (Nanda, *et al.*, 2022). Limbah cair, seperti namanya, limbah dalam bentuk cair yang dihasilkan selama produksi industri. Limbah ini biasanya dibuang di selokan, sungai atau bahkan laut. Limbah cair memiliki konsentrasi yang berbeda-beda tergantung produksi industrinya (Nanda, *et al.*, 2022).

Ada limbah industri cair yang dapat dinetralkan dengan mudah dan cepat, serta limbah industri cair yang memiliki kandungan berbahaya. Pembuangan limbah cair berbahaya tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat menyebabkan pencemaran air dan merusak ekosistem serta membunuh organisme yang ada di dalamnya (Nanda, *et al.*, 2022). Limbah industri cair misalnya sisa cap, sisa tahu, sisa pewarna makanan atau pakaian, sisa bahan pengawet, air pencuci dari bahan produksi, kandungan besi dalam air dan sisa bahan kimia lainnya (Dewadi, *et al.*, 2021).

Limbah padat yang dihasilkan selama pengolahan atau limbah dari kegiatan industri dan tempat umum. Limbah industri padat dapat berupa limbah organik maupun anorganik. Limbah padat tergolong limbah sisa dari kegiatan industri, tidak hanya limbah produksi yang sebenarnya berwujud padat, karena sludge atau lumpur juga tergolong limbah padat (Murtalim, 2020). Limbah padat yang dibuang ke air mencemari air dan dapat merusak atau bahkan mematikan ekosistemnya. Jika limbah padat dibuang di lahan tanpa pengolahan terlebih dahulu, hal itu menyebabkan pencemaran lingkungan di daerah tersebut (Dewadi, *et al.*, 2021). Contoh limbah padat industri adalah limbah pakaian, limbah plastik, serpihan kayu, limbah pulp, kabel, limbah pulp semen dan besi (Dewadi, *et al.*, 2021). Berikut akan ditampilkan pada gambar 2 mengenai banyaknya limbah yang ada di Indonesia.



**Gambar 8.2.** Banyaknya Limbah di Indonesia (Dihni, 2022)

Limbah Gas adalah limbah berupa molekul gas yang dihasilkan selama kegiatan industri. Molekul gas menjadi limbah jika jumlahnya terlalu banyak atau melebihi norma. Limbah ini mencemari udara, yang memiliki efek negatif pada makhluk hidup jika tidak ditangani dengan baik. Beberapa contoh emisi industri adalah kebocoran gas, asap pabrik, pembakaran pabrik, kelebihan gas metana, karbon monoksida, dan hidrogen peroksida (Wibowo, *et al.*, 2021).

Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) adalah limbah industri yang mengandung bahan berbahaya dan beracun. Limbah B3 harus ditangani secara khusus karena mengandung zat racun yang cukup banyak (Wibowo & Dewadi, 2022). Pembuangan limbah B3 secara sembarangan atau tanpa pengolahan awal secara khusus mencemari dan merusak lingkungan serta mengancam kesehatan makhluk hidup. Contoh kegiatan industri yang menghasilkan limbah B3 adalah industri penyulingan minyak pelumas, industri semen, industri pemurnian pulp, dan industri farmasi (Sitorus, *et al.*, 2022).

Rumah Sakit merupakan sarana pelayanan kesehatan yang banyak menggunakan produk dari industri farmasi. Oleh karena itu, pengelolaan limbah atau limbah rumah sakit perlu mendapat perhatian. Berikut ini adalah buku yang menjelaskan pengelolaan limbah rumah sakit (Raja Ma'arof, *et al.*, 2021). Limbah industri yang dibuang sembarangan tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat menimbulkan berbagai dampak yang merugikan bagi lingkungan dan makhluk hidup. Berikut ini adalah beberapa dampak buruk yang ditimbulkan oleh limbah industri (Farahdiansari, *et al.*, 2021).

Pembuangan limbah industri secara ilegal di wilayah perairan merupakan salah satu penyebab terpenting pencemaran air. Membuang sampah ke laut atau sungai merugikan atau bahkan membunuh kehidupan di dalamnya (A, *et al.*, 2022). Hal ini mungkin disebabkan oleh tingginya kadar

BOD dan COD pada limbah yang menghilangkan sumber oksigen dari laut atau sungai. Juga, bahan mentah menyebar dari limbah dan dapat menyebabkan bakteri atau virus berbahaya. Jadi, ketika orang mengkonsumsi air, itu menyebabkan masalah kesehatan bagi orang (Abbas, *et al.*, 2020).

Limbah industri dapat menghasilkan gas beracun berbau busuk yang mencemari udara dan menyebabkan gangguan pernapasan. Lansia, anak-anak di bawah usia 1 tahun dan penderita penyakit bawaan lebih mudah mengalami bahaya gas yang ditimbulkan dari limbah industri. Gas ini juga dapat menyebabkan berbagai penyakit seperti penyakit paru-paru, asma, kanker, dan penyakit jantung jika seseorang menghirupnya dalam waktu yang lama (Nanda, *et al.*, 2022).

Limbah industri yang ditanam sembarangan di dalam tanah atau di atas tanah dapat merusak kesuburan tanah sehingga mengganggu produktivitas tanaman. Populasi pencemar tanaman bahkan bisa lebih besar dari polusi tanah, karena molekul dari limbah industri dapat menumpuk di tanaman. Makan tanaman yang terkontaminasi dapat menimbulkan risiko bagi kesehatan manusia (Dewadi, *et al.*, 2019). Untuk menghindari berbagai dampak berbahaya dari limbah industri, pembuangan limbah harus dilakukan dengan hati-hati. Berikut adalah beberapa cara untuk menangani limbah industri (Dimiyati, *et al.*, 2021).

Pemeliharaan limbah cair yang dihasilkan dari produksi dilakukan untuk menghilangkan kotoran atau zat berbahaya pada limbah, sehingga limbah cair yang diendapkan bersih dan tidak menimbulkan pencemaran atau kerusakan lingkungan hidup. Pengelolaan limbah cair dibagi menjadi tiga cara, yaitu pengelolaan secara fisik, kimia dan biologi (Supriyono, *et al.*, 2022).

Selama pengolahan fisik limbah cair, semua pengotor dipisahkan dari cairannya. Pemisahan dilakukan melalui tahapan presipitasi, flokulasi, absorpsi dan filtrasi. Proses pengolahan limbah cair secara kimia dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu metode ozon, metode oksidasi, metode koagulasi dan pertukaran ion (Dewadi & Dewadi, 2022). Penggunaan metode pengolahan fisik disesuaikan dengan jenis kontaminan yang akan dihilangkan. Pada saat yang sama, metode pengolahan biologis memecah kotoran atau zat berbahaya dalam limbah menggunakan biota atau organisme hidup seperti mikroorganisme (Jati, *et al.*, 2022). Secara umum, pengelompokkan limbah dibagi menjadi dua yaitu limbah pertanian dan limbah argoindustri, berikut akan ditampilkan pada Tabel 8.1.

**Tabel 8.1.** Klasifikasi Limbah secara Umum  
(Almuchtaron, et al., 2017)

| Kelompok Bahan          | Nama Bahan Baku      |                      |
|-------------------------|----------------------|----------------------|
| I. Limbah Pertanian     | 1. Pucuk Tebu        | 8. Kulit Kopi        |
|                         | 2. Daun Tebu         | 9. Kulit Kc. Tanah   |
|                         | 3. Jerami Kedele     | 10. Jerami Kc. tanah |
|                         | 4. Kulit Kedele      | 11. Kulit kakao      |
|                         | 5. Janggal Jagung    | 12. Kulit Nenas      |
|                         | 6. Batang Jagung     | 13. Jerami Padi      |
|                         | 7. Kulit Singkong    |                      |
| II. Limbah Agroindustri | 1. Ampas Tebu        | 9. Ampas kecap       |
|                         | 2. Onggok            | 10. Wheat Polard     |
|                         | 3. Tumpi Jagung      | 11. Empok Jagung     |
|                         | 4. Dedak Padi        | 12. Tetes Tebu       |
|                         | 5. Bungkil Kerteng   | 13. Tepung Terigu    |
|                         | 6. Bungkil Sawit     | 14. Ampas Tahu       |
|                         | 7. Bungkil Kopra     | 15. Ampas Pabrik     |
|                         | 8. Bungkil Kc. tanah | 16. Ampas Bir        |

8.2

Argoindustri

Industri pertanian adalah kegiatan yang menggunakan hasil pertanian sebagai bahan baku, merancang dan menyediakan peralatan serta jasa untuk kegiatan tersebut. Austin (1981) dengan jelas mengemukakan konsep agroindustri, yaitu usaha yang mengolah bahan tumbuhan (berasal dari tumbuh-tumbuhan) atau hewan (dihasilkan dari hewan) (Wikimedia Project, 2021). Proses yang digunakan

meliputi transformasi dan pengawetan dengan perlakuan fisik atau kimiawi, penyimpanan, pengemasan dan distribusi. Produk agroindustri ini dapat berupa produk akhir yang siap dikonsumsi atau produk yang dihasilkan dari bahan baku industri lainnya (Dewadi, 2021).

## 8.2 Argoindustri Padi

Penggunaan bahan organik asli merupakan salah satu metode yang sering digunakan oleh petani, namun bahan organik pasang surut tidak dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara karena tidak diperkaya sebelum aplikasi. Bahan organik lokal yang mungkin ada di wilayah Barito Kuala adalah jerami padi, tandan kosong kelapa sawit (EFB) dan tikus (*Eleocharis dulcis*), yang kemungkinan lebih bermanfaat bila diperkaya dalam bentuk kompos. dan bahan pelengkap lainnya (Abdillah & Widiyastuti, 2022).

## 8.3 Soal-Soal Latihan

1. Berikan analisis mengenai dampak limbah serta bahaya bagi kesehatan secara kuantitatif (Della, *et al.*, 2022)!
2. Jelaskan dampak limbah dalam sisi yang menguntungkan bagi lingkungan (Dewadi, 2016)!
3. Di Indonesia sudah ada tempat penukaran sampah menjadi uang meski itu masih kecil nominalnya, apakah hal ini cukup membantu dalam penanganan sampah (Dewadi, 2021)?
4. Bagaimana karakteristik limbah yang berguna dan tidak berguna bagi masyarakat (Dewadi, 2022)?



5. Apakah yang dapat diaplikasikan dari limbah sisa industri terlebih industri pangan seperti padi dsb (Mulyadi & Dewadi, 2021)?

## DAFTAR PUSTAKA

- Farahdiansari, A. P., Dewadi, F. M. & Rahdiana, N., 2021. Analisis Unjuk Kerja BBM dengan Eco-Racing sebagai Campuran BBM yang Ekonomis. *JTMMX*, II(1), pp. 1-5.
- Wibowo, C., Sukarno, S., Nursanti, Y. B. & Dewadi, F. M., 2022. Kebutuhan Perguruan Tinggi di Wonogiri sebagai Bagian dari Pengembangan Sumber Daya Manusia. *VISIONER : Jurnal Penelitian Komunikasi dan Sosial Politik*, IV(1), pp. 20-27.
- Abbas, A. *et al.*, 2020. *Implementation of clustering unsupervised learning using KMeans mapping techniques*. Medan, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.
- Abdillah, M. H. & Widiyastuti, D. A., 2022. Peningkatan Kualitas Kimia Tanah Sulfat Masam dengan Aplikasi Kombinasi Bahan Organik Lokal dan Limbah Agroindustri. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, 27(1), pp. 120-131.
- A. & Dewadi, F. M., 2022. Perancangan Mesin Roll Plat Listrik sebagai Peningkatan Efisiensi Kerja di Industri Manufaktur. *Jurnal Mekanika Terapan*, III(1), pp. 18-25.
- A, F. M. *et al.*, 2022. Optimization of Vapor Compression Type for Desalination of Seawater Using the DFMA Method. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore (JTMMX)*, III(1), pp. 1-8.
- A. *et al.*, 2021. Analisis Rancangan Sel Surya untuk Kebutuhan Cadangan Energi Listrik di Kolam Wilayah Graha Raya Bintaro, Tangerang Selatan. *JTMMX*, II(1), pp. 6-12.
- Almuchtarom, H., S. & S., 2017. *BBPPBATU*. [Online] Available at: <https://bbppbatu.bppsdp.pertanian.go.id/2017/07/27/pemanfaatan-limbah-pertanian-dan-agro-industri-sebagai-pakan-ternak-ruminansia/> [Accessed 19 Februari 2023].
- Della, R. H. *et al.*, 2022. *Kesehatan & Keselamatan Kerja Era Society 5.0*. 1st ed. Purbalingga: Eureka Media Aksara.
- Dewadi, F. M., 2016. *Perancangan Mesin Roll Pelat Dengan Penggerak Motor Listrik Ac 1 Fasa Kapasitas Daya Listrik 180 W*, Jakarta: Institut Sains dan Teknologi Al-Kamal.

- Dewadi, F. M., 2021. Analisis Efektivitas Liquid Section Heat Exchanger dengan Tube in Tube Heat Exchanger dari Sisi Aplikatif. *JTMMX*, II(1), pp. 28-36.
- Dewadi, F. M., 2021. Efisiensi Pada Sepeda Listrik Dengan Dinamo Sepeda Sebagai Generator. *Praxis : Jurnal Sains, Teknologi, Masyarakat dan Jejaring*, IV(1), pp. 13-23.
- Dewadi, F. M., 2022. Klasifikasi Perpindahan Panas. In: R. Pido, ed. *Perpindahan Panas: Dasar dan Praktisi dari Perspektif Akademisi dan Praktisi*. Bandung: Indie Press, pp. 1-8.
- Dewadi, F. M., Dahlan, D. & Maulana, E., 2019. Frame e-Bike Optimization Capacity 48V. *JOJAPS*, Volume XIV, pp. 129-138.
- Dihni, V. A., 2022. *databoks*. [Online] Available at: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/05/18/ada-beberapa-banyak-sampah-di-laut-indonesia> [Accessed 18 Februari 2023].
- Dimiyati, D. *et al.*, 2021. Evaluasi Kekuatan Resistance Spot Welding Pada Proses Tailor Welded Blankss Menggunakan Mill-Steel Beda Ketebalan. *Borobudur Engineering Research (BENR)*, I(1), pp. 96-107.
- Jati, R. R., Sofiyanti, B. & Dewadi, F. M., 2022. Pengenalan Material Yang Digunakan Dalam Proses Pengelasan Berdasarkan Spesifikasi Material. *Empowerment: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, I(3), pp. 300-305.
- K, Nanda, R. A., A. & Dewadi, F. M., 2022. Pelatihan Pemanfaatan Aquaponik Bagi Warga Kavling Rawa Bunga, Tangerang Selatan. *Journal of Entrepreneurship and Community Innovations*, I(1), pp. 16-21.
- K, Nanda, R. A. & Dewadi, F. M., 2022. Pengukuran Intensitas Cahaya Menggunakan Sensor BH-1750 Berbasis Mikrokontroler: Studi Kawasan Kampus UBP Karawang. *Praxis*, V(1), pp. 74-81.
- K. *et al.*, 2022. Archimedes' Principle Applied to Buoy Design for Measuring Purposes in Offshore Illumination Conditions. *JTMMX*, III(1), pp. 40-48.

- K. *et al.*, 2021. A Report on Metal Forming Technology Transfer from Expert to Industry for Improving Production Efficiency. *Mechanical Engineering for Society and Industry*, I(2), pp. 96-103.
- M., Dewadi, F. M., A. & Sigalingging, W. S., 2021. Pengaruh Parameter Temperatur Quenching terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Rear Hub Spindles. *Buana Ilmu*, V(2), pp. 101-118.
- M., 2020. *Analisis Unjuk Kerja Eco Racing sebagai Suplemen Penghemat Bahan Bakar*. Malang, Universitas Widyagama Malang.
- Mulyadi, D. & Dewadi, F. M., 2021. Analisis Rancangan Sel Surya untuk Kebutuhan Cadangan Energi Listrik di Kolam Wilayah Graha Raya Bintaro, Tangerang Selatan. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, II(1), pp. 6-12.
- N., 2021. *Gramedia Blog*. [Online] Available at: <https://www.gramedia.com/literasi/limbah-industri/> [Accessed 17 Februari 2023].
- Nanda, R. A. *et al.*, 2022. Perancangan dan Perakitan Elektronika Mikrokontroler berbasis IOT untuk Studi Pengukuran Sistem HVAC. *JTMMX*, VII(1), pp. 43-55.
- PT. Nebraska, 2010. *nebraska*. [Online] Available at: <https://nebraska.co.id/blog/view/berbagai-macam-limbah-industri-beserta-contohnya> [Accessed 18 Februari 2023].
- Raja Ma'arof, R. A., Saputra, O. . A., Dewadi, F. M. & Noor, A., 2021. *Engaging Students: Blending Class Activities with Industry-linked Teaching Approach in Occupational Safety and Health Course Delivery*, Kuala Lumpur: Universiti Kuala Lumpur.
- S. *et al.*, 2021. Pengaruh Penahanan Suhu Reaktor pada Pengujian LDPE dengan Debit Air 46 L/Min. *JTMMX*, II(1), pp. 19-27.
- Sitorus, E. *et al.*, 2022. *Kesehatan dan Keselamatan Kerja Era Sociey 5.0*. Indonesia, Patent No. 000338122.
- Supriyono, T. *et al.*, 2022. Analisis Chassis Mobil Robot Penanaman Bibit Kangkung Menggunakan Metode Elemen Hingga. *JTMMX*, II(2), pp. 1-8.

- Surbakti, D., Wibowo, C. & Dewadi, F. M., 2022. Perbaikan Gerobak Sampah sebagai Bagian dari Manajemen Sampah Sisi Hulu di Lingkungan Permata Penggilingan Jakarta. *Indonesian Journal of Engagement, Community Services, Empowerment and Development*, II(2), pp. 165-174.
- Wibowo, C. & Dewadi, F. M., 2022. Design Pressure Reduction System (PRS) untuk Compressed Natural Gas (CNG) Kapasitas 30 Nm<sup>3</sup>/h dalam Sisi Teknis dan Ekonomis. *TEKINFO: Jurnal Penelitian Teknik dan Informatika*, II(2), pp. 60-65.
- Wibowo, C., Dewadi, F. M. & Afgani, A. A., 2021. Impementasi Material Titanium pada Sepeda Listrik sebagai Rangka yang Efisien. *JTMMX*, II(1), pp. 13-18.
- Wikimedia Project, 2021. *Wikipedia*. [Online] Available at: <https://id.wikipedia.org/wiki/Agroindustri> [Accessed 18 Februari 2023].

# **BAB 9**

## **PENGOLAHAN LIMBAH DENGAN PIROLISIS**

**Oleh Erlinda Ningsih**

### **9.1 Latar Belakang Pirolisis Limbah**

Setiap orang mengkonsumsi sejumlah produk, tetapi selama proses ini banyak limbah yang dihasilkan dan dibuang. Pembuangan produk berlebih dan limbah telah berada di garis depan pertempuran perubahan iklim. Dalam masyarakat modern, jumlah rata-rata sampah yang dihasilkan oleh setiap konsumen mengejutkan dan terus meningkat. Diperkirakan khas penduduk Eropa Barat menghasilkan lebih dari 450 kg sampah per tahun. Seluruh dunia berkomitmen untuk membangun ekonomi dan lingkungan sehingga sumber daya alam menjadi terbatas dan pengelolaan limbah menjadi penting.

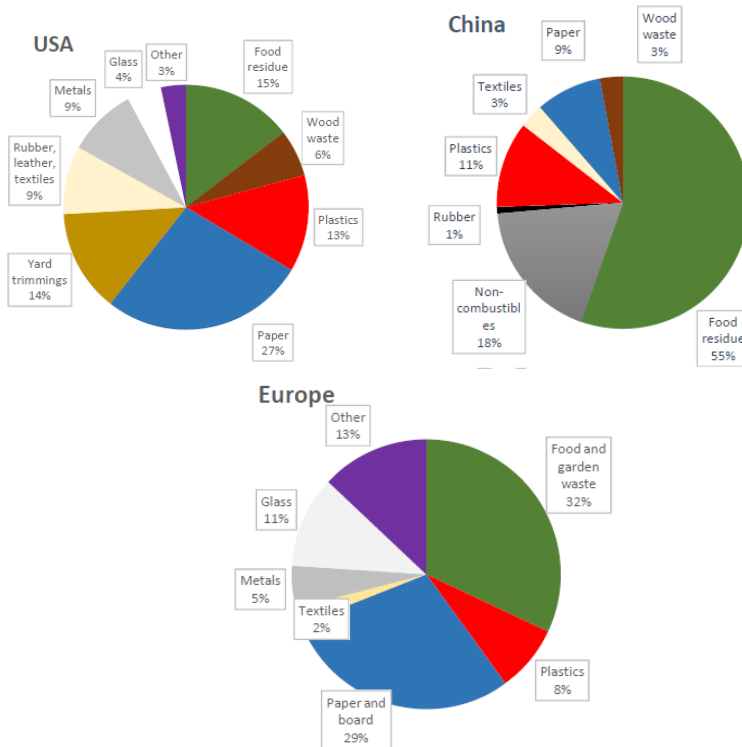
Konsumsi global dan penipisan bahan disorot dalam Milenium Development Goals dirumuskan pada tahun 2000 oleh PBB. Seperangkat tujuan terbentuk dengan kepentingan berat pada Tujuan ke-7: Menjamin Kelestarian Lingkungan. Selain itu, Arahan Kerangka Kerja Limbah 2008 mencakup target daur ulang 50% untuk limbah dari rumah tangga, hingga dipenuhi pada tahun 2020.

Pada tahun 2014, di Amerika Serikat, sekitar 258 juta ton kota limbah padat (Municipal Solid Waste/MSW) yang dihasilkan. Lebih dari 89 juta ton sampah kota telah didaur

ulang dan kompos (34,6 wt %), lebih dari 33 juta ton dibakar dengan pemulihan energi dan 136 juta ton ditempatkan di tempat pembuangan sampah.

Umumnya, Kota limbah padat mencakup limbah dari rumah tangga. Namun, sebagian besar limbah berasal dari perdagangan, gedung perkantoran, lembaga dan usaha kecil, pekarangan dan sampah kebun, penyapuan jalan, isi bak sampah dan sampah pembersih pasar termasuk juga. Dalam ekonomi yang berkembang dan berkembang, Kota limbah padat biasanya didefinisikan sebagai limbah diproduksi di kota, dan dapat diklasifikasikan sebagai berbahaya atau tidak berbahaya. Kota limbah padat berdampak pada lingkungan dan kualitas hidup terutama terkait dengan pencemaran udara, air, dan tanah. Penggunaan lahan, bau, dan prasangka terhadap jenis pengolahan limbah tertentu juga harus diperhatikan.

Sampah kota yang dikumpulkan terutama dari rumah tangga terdiri dari plastik, kertas, logam, tekstil, sampah organik, kulit, karet, logam, kaca, keramik, bahan tanah dan lain-lain bahan. Berikut adalah beberapa komposisi kota limbah padat di USA, Cina dan Eropa. Limbah rumah tangga khas mengandung berbagai macam bahan yang bervariasi signifikan dalam komposisi tergantung pada jenis komunitas dan pendapatan konsumennya dan gaya hidup, dan tingkat industrialisasi, institusionalisme dan komersialisme.



**Gambar 9.1.** Konsumsi Sampah Kota Padat Limbah di USA, China dan Eropa

(Sumber : D. Czajczyńska, L. Anguilano, H. Ghazal, R. Krzyżyńska, A.J. Reynolds, N. Spencer, H. Jouhara, Potential of Pyrolysis Processes in the Waste Management Sector, 2017)

Secara umum, timbulan sampah tertinggi berkorelasi dengan pendapatan tertinggi. Apalagi, bahkan musim tahun atau jumlah orang yang tinggal dalam satu rumah tangga mempengaruhi jumlah dan komposisi sampah. Misalnya, lebih banyak limbah makanan dan lebih sedikit kertas yang dihasilkan selama musim panas. Selain itu, semakin besar



masyarakat, semakin banyak sampah yang dihasilkan per kapita.

## **9.2 Pirolisis Limbah**

Pirolisis adalah dekomposisi termokimia bahan organik pada suhu tinggi dan dalam tidak adanya oksigen atau dalam atmosfer gas inert. Dibandingkan dengan pembakaran, pirolisis memiliki tingkat yang lebih rendah suhu proses dan emisi polutan udara yang lebih rendah seperti difenileter polibrominasi. Selain itu, skala pabrik pirolisis lebih fleksibel daripada pabrik insinerasi.

Saat ini, pirolisis mendapat perhatian karena fleksibilitasnya untuk menghasilkan kombinasi padat, produk cair dan gas dalam proporsi yang berbeda hanya dengan variasi parameter operasi tersebut sebagai suhu atau tingkat pemanasan. Hal itu dapat memberikan peluang untuk mengubah bahan berenergi rendah densitas menjadi bahan bakar nabati dengan densitas energi tinggi, pada saat yang sama memulihkan bahan kimia bernilai tinggi. Salah satu keuntungan besar dari proses ini adalah banyak jenis bahan baku yang dapat digunakan, termasuk limbah industri dan domestik. Berbagai jenis pirolisis telah dikembangkan: cepat, katalitik cepat, menengah, lambat, vakum.

Dalam praktiknya, proses pengolahan limbah secara termal bisa beroperasi dengan sedikit udara yang ada dapat menyebabkan gasifikasi parsial. Pada pirolisis terjadi di zona bagian dalam lapisan. Proses-proses ini disebut sebagai "kuasi-pirolisis". Metode konversi termal lainnya yang juga digunakan dalam pengelolaan limbah adalah karbonisasi, gasifikasi, dan torefaksi.

Selanjutnya, berbagai jenis bahan organik bisa dapat digunakan untuk mengisi reaktor seperti kayu, limbah organik (biomassa lunak dan keras) dari residu pertanian, kehutanan

industri. Prasyarat untuk keberhasilan penerapan pirolisis adalah pemilihan bahan input yang tepat dan pengaturan kondisi proses yang optimal. Pentingnya pemilihan jenis limbah dan campurannya untuk proses pirolisis perlu diverifikasi berkali-kali oleh laboratorium percobaan dengan penilaian selanjutnya dari kuantitas dan kualitas masing-masing produk pirolisis.

### 9.2.1 Pengertian Pirolisis

Menurut (Kamaruddin *et al*, 1999) Pirolisis berasal dari dua kata yaitu pyro (panas ) dan lysis (penguraian/degradasi). Singkatnya, pirolisis adalah proses penguraian biomassa akibat panas pada suhu diatas 150°C. Hal serupa juga sependapat dengan (Ohliger *et al*, 2013) bahwa pirolisis merupakan proses dekomposisi termokimia dari material organik tanpa ada udara (oksigen) selama proses penguraian berlangsung.

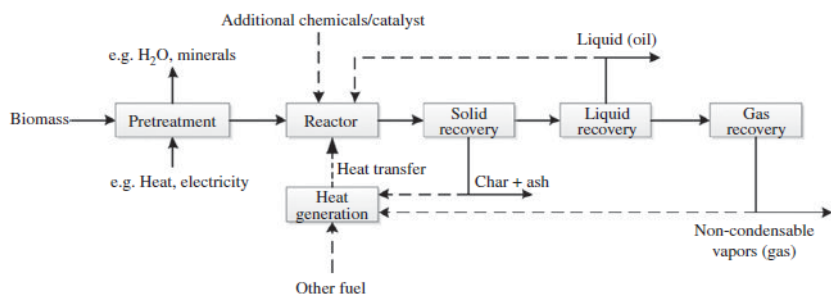
Proses pirolisis dapat mengubah limbah biomassa menjadi produk cair, padat, dan gas yang dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif untuk peningkatan CO<sub>2</sub> akibat penggunaan bahan bakar fosil. Keuntungan lainnya dari teknologi pirolisis sangat berpotensi karena sumber daya bahan biomassa tersedia melimpah, teknologi mudah digunakan, bersifat ramah lingkungan dan menguntungkan secara ekonomi untuk menghasilkan biofuel dengan potensi besar. (Garcia-Perez *et al*, 2010)

Pada umumnya proses pirolisis biomassa berlangsung pada rentang temperatur 300°C - 600°C. Kemudian dari hasil konversi termodinamika tersebut merupakan cairan awal terbentuknya bio-oil, biodiesel atau bioethanol (Basu, 2010). Pada proses kesetimbangan massa, secara umum reaksi pirolisis sebagai berikut:

Biomassa  $\longrightarrow$  residu padat + {organik + H<sub>2</sub>O} + gas permanen

Residu padat mengandung karbon dan mengandung banyak abu senyawa dalam bahan baku. Gas permanen biasanya  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ , dan  $\text{H}_2$ . Air menjadi umpan dan diproduksi dalam reaksi. Organik adalah campuran multi komponen hidrokarbon teroksigenasi. Dalam reaktor pirolisis, bahan organik ini hadir sebagai uap dan aerosol, sedangkan setelahnya kondensasi mereka dikumpulkan bersama dengan air sebagai cairan.

Elemen inti dalam proses pirolisis likuifaksi tanaman adalah pretreatment (pengeringan, pemotongan, dll), reaktor, sistem produksi panas, perpindahan panas ke reaktor, pemulihan dan pengumpulan cairan, residu padat pengambilan dan pemanfaatan, dan pemulihan dan pemanfaatan gas. Pola dasar ini proses divisualisasikan pada gambar berikut.



**Gambar 9.2.** Proses Konsep Pencairan Arketipe Pirolisis

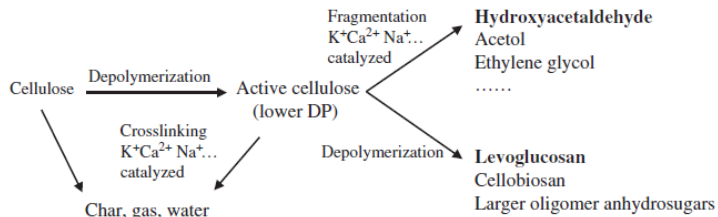
(Sumber : Stijn R. G. Oudenhoven, Sascha R.A Kersten, 2015)

Selain itu, terdapat pirolisis lignoselulosa biomassa dengan mengutamakan bahan baku, teknologi yang digunakan dan sifat produk yang dihasilkan (Dhyani, Bhaskar 2018). Produk pirolisis mengandung sulfur dan gas Nox yang rendah sehingga bersifat ramah lingkungan, mengurangi emisi gas rumah kaca dan pemanasan global.

Skema jalur reaksi yang sering digunakan untuk pirolisis selulosa ditunjukkan pada Gambar 2. Dalam skema ini,

selulosa padat terurai pertama kali menjadi zat antara (cair), seringkali disebut selulosa aktif, dengan DP (Degree of Polymerization) yang lebih rendah. Selulosa aktif dapat terdepolimerisasi menjadi anhydrosugars. Selain itu juga bisa bereaksi melalui fragmentasi (misalnya, pembukaan cincin) atau cross-linking reaksi, yang dikatalisis oleh logam alkali seperti kalium, natrium, dan magnesium (hadir dalam abu).

Pada pirolisis selulosa murni, reaksi depolimerisasi lebih selektif yakni hasil levoglucosan hingga 70%. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahan kimia tersedia untuk selulosa murni, sedangkan untuk hemiselulosa, lignin, dan nyata biomassa lignoselulosa, pemahaman ini masih dalam tahap awal.



**Gambar 9.3.** Depolimerisasi selulosa memodifikasi model waterloo. (Sumber : Piskorz, *et al* 1989)

### 9.2.2 Jenis Pirolisis

Terdapat dua tingkatan proses pirolisis yaitu pirolisis lambat (slow pyrolysis) dan pirolisis cepat (fast pyrolysis). Perbedaan kedua jenis pirolisis ini terdapat pada suhu panas yang digunakan dan hasil produk (penguraiannya).

**Tabel 9.1.** Perbedaan Pirolisis Lambat dan Pirolisis Cepat

| No/<br>Jenis | Pirolisis Lambat<br>(slow pyrolysis)                                                                       | Pirolisis cepat<br>(fast pyrolysis).                                                                          |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1            | Suhu yang digunakan rendah, dibawah 400°C (< 600°C)                                                        | Suhu yang digunakan 400- 600°C                                                                                |
| 2            | Produk yang dihasilkan berupa karbon (arang), biochar 35%, bio-oil 30% dan gas 35%                         | Produk yang dihasilkan berupa bio-oil 75% dan gas (flash, ultra cepat)                                        |
| 3            | Manfaat produk biochar pada lingkungan diaplikasikan pada tanah meningkatkan kualitas dan menyerap karbon. | Manfaat produk dapat menghasilkan jumlah keuntungan ekonomi karena produk yang dihasilkan punya nilai tinggi. |
| 4            | Tingkat laju pemanasan rendah (0.1 – 0.8 °C/s)                                                             | Laju pemanasan cepat (>100°C/min)                                                                             |
| 5            | Waktu penguraian pirolisis lebih lama (5-30 menit, suhu 330-550°C)                                         | Waktu penguraian cepat (< 2 s) tergantung suhu zona panas                                                     |

\*(sumber dari Qureshi et, al, 2019, Hornung, 2014, Mohan *et al*, 2006)

Secara lebih lengkap berikut adalah aplikasi dari empat proses pirolisis cepat terpilih: Ensyn, Dynamotive, BTG-BTL, dan Metso-Fortum. Elemen inti dari pirolisis tanaman sudah diperkenalkan. Berikut elemen inti dari proses pirolisis:

**Pretreatment:** Terdiri dari proses pengurangan ukuran dan homogenisasi, dan menyederhanakan pengumpanan ke dalam reaktor untuk mendapatkan tingkat pemanasan yang tinggi dari padatan dan pengeringan hingga 10–20% berat air.

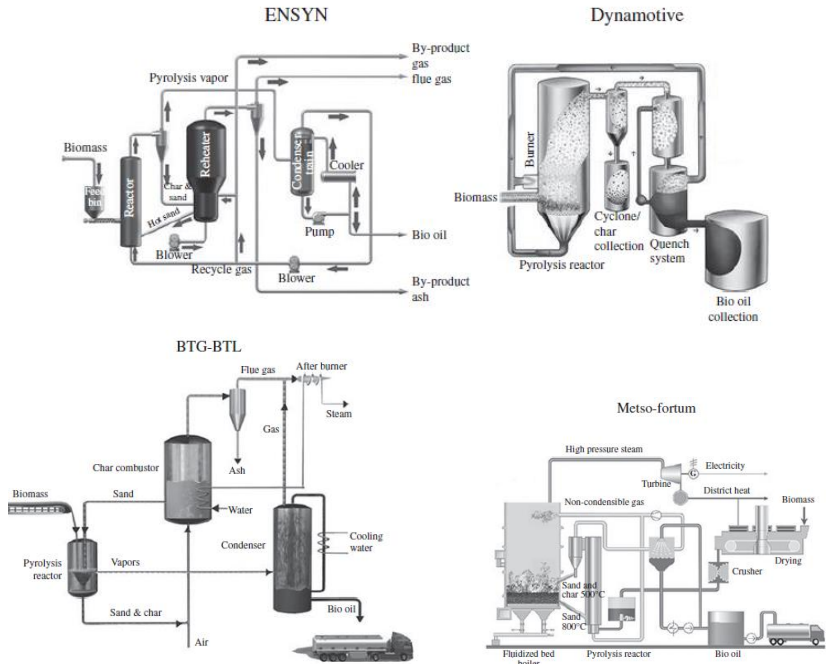
**Sistem pengumpanan:** Konveyor sekrup paling sering digunakan untuk instalasi skala besar.

**Reaktor:** Sebagian besar operasional atau terencana unit berskala lebih besar adalah tipe unggun fluida. Reaktor ini dapat diskalakan, bahan bakar fleksibel, dan menunjukkan karakteristik perpindahan panas yang baik. Fluidisasi bed mendinginkan gas yang dihasilkan dalam proses fluidisasi secara berurutan untuk mencegah kebutuhan gas tambahan.

Parameter desain penting untuk reaktor pirolisis adalah:

- Suhu pengoperasian: 450–550°C.
- Waktu tinggal biomassa: Harus cukup lama untuk mencapai tinggi konversi partikel biomassa dihitung dengan menggunakan model partikel tunggal. Untuk partikel kecil beberapa milimeter, biasanya, diperlukan puluhan detik, sedangkan untuk partikel besar (sentimeter), diperlukan hingga beberapa menit.
- Waktu tinggal dan suhu uap: Waktu tinggal seharusnya diminimalkan menjadi ca. 2 detik di dalam reaktor. Hilir, di zona panas, retak reaksi diminimalkan di bawah 400°C, memungkinkan waktu tinggal lebih lama.
- Penahanan biomassa/arang: Waktu kontak uap-arang harus diminimalkan menjadi membatasi reaksi cracking dan polimerisasi. Penahanan biomassa/char di reaktor dapat diperkirakan dengan menggabungkan model partikel tunggal dengan biomassa/ keseimbangan populasi char.
- Perpindahan panas ke reaktor: Dapat dilakukan secara langsung melalui media perpindahan panas (pasir, gas) yang didaur ulang antara reaktor dan utilitas panas (mis., ruang bakar) atau tidak langsung melalui dinding reaktor atau pipa pemanas.

- ***Ensyn, BTG, dan Metso mengedarkan pasir panas dari ruang bakar (boiler) ke reaktor, sementara Dynamotive mengedarkan gas panas.***
- Pembangkitan energi (panas): Umumnya dilakukan dengan pembakaran yang dihasilkan arang, gas, dan/atau uap ringan. Untuk informasi rinci tentang ruang bakar,
- Pembuangan padat (arang): Biasanya dilakukan dengan sistem siklon. Penghapusan yang dalam padatan dari minyak harus dilakukan dalam fase cair dengan penyaringan.
- Pemulihan/pengumpulan cairan: Sistem tipikal yang digunakan adalah presipitator elektrostatik
- (ESP) dan kolom semprot (berlawanan arah). Pemulihan cairan tidak hanya melibatkan kondensasi tetapi juga menangkap aerosol. ESP mengumpulkan aerosol dengan mengisinya menggunakan medan listrik, saat berada di kolom semprotan aerosol ditangkap. Dalam kolom semprot, minyak yang dihasilkan dapat digunakan sebagai cairan penyemprotan. Pemisahan pertama bisa dicapai dengan menerapkan serangkaian kondensor pada penurunan suhu.



**Gambar 9.4.** Unit pirolisis yang ada dan yang diusulkan pada skala 1–10 t.h–1. Metso–Sistem Fortum terintegrasi (Sumber: dari situs web perusahaan Ensyn, Dynamotive, BTG dan Metso)

Pirolisis katalitik dipertimbangkan untuk mengatasi karakteristik bermasalah minyak pirolisis, sebagaimana disebutkan dalam pendahuluan, dan untuk menghasilkan lebih selektif senyawa sasaran. Meresapi senyawa tertentu seperti  $H_2SO_4$  dan  $ZnCl_2$  ke dalam partikel biomassa untuk mengontrol reaksi utama dan penggunaan heterogen katalis dalam reaktor untuk mengarahkan reaksi sekunder telah menerima signifikan perhatian dalam beberapa tahun terakhir.



Reaksi deoksigenasi dikatalisis oleh asam, dan yang paling banyak dipelajari adalah asam padat seperti zeolit dan lempung. Bertujuan untuk produksi bahan kimia, hasil aromatik ca. 20% (karbon dasar) ketika menggunakan zeolit ZSM-5 yang dimodifikasi telah dilaporkan (Cheng *et al.*, 2012). Semua hasil pirolisis yang dilaporkan pada katalisis untuk mengarahkan reaksi heterogen menunjukkan hal itu hasil produk yang rendah dan pembentukan coke dan air yang berlebihan masih merupakan barang yang dibutuhkan perhatian yang cukup besar.

Selain itu terdapat jenis pirolisis cepat yang ditingkatkan dan dimodifikasi disebut dengan flash pyrolysis menggunakan suhu 900-1200 °C dengan kecepatan laju pemanasan sangat cepat berkisar 0.1-1 detik (Li *et al* 2012). Biasanya proses ini menghasilkan lebih banyak gas daripada cairan dan solid.

### 9.2.3 Tipe Reaktor Pirolisis

Beragam jenis reaktor pirolisis telah dirancang untuk mengkonversi biomassa menjadi bahan bakar fuel tergantung pada konfigurasi reaktor pada perpindahan panas, pasokan panas (jenis pirolisis lambat atau cepat), bahan yang mudah menguap (*volatile*) dan waktu tinggal.

Reaktor pirolisis merupakan alat yang digunakan untuk mengurai senyawa-senyawa organik dari proses pemanasan dengan suhu 300-600°C tanpa udara (oksigen) memakai bahan bakar kompor minyak tanah atau gas. Berikut adalah penjelasan tipe-tipe reaktor pirolisis yang banyak digunakan untuk aplikasi sampah kota (Modul 07, Teknologi Termal WtE Berbasis Pirolisis, 2018)

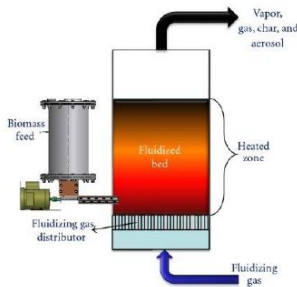
#### 1. *Fixed bed*

Dalam reaktor ini, material hidrokarbon ditempatkan pada grate dalam kondisi inert, suhu reaktor dinaikkan ke suhu yang telah ditentukan, hingga material hidrokarbon

menguap. Bahan hidrokarbon yang dipirolisis dengan teknik ini tidak memerlukan perlakuan khusus sebelumnya

## 2. *Fluidized bed*

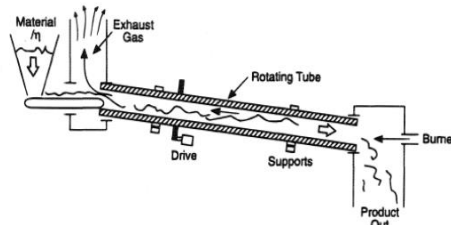
Reaktor ini, gas inert meniup bahan hidrokarbon, menyebabkan bahan mengapung di dalam reaktor. Selama fluidisasi, material juga menguap dengan meningkatnya suhu. Pasir silika sering digunakan dalam reaktor tersebut dicampur dengan material terfluidisasi untuk meningkatkan perpindahan panas akibat tumbukan padat.



**Gambar 9.5.** Reaktor Pirolisis Tipe Fluidized Bed (Sumber : <https://www.hindawi.com/journals/ijce/2012/542426.fig.003.jpg>)

## 3. *Rotary Kiln*

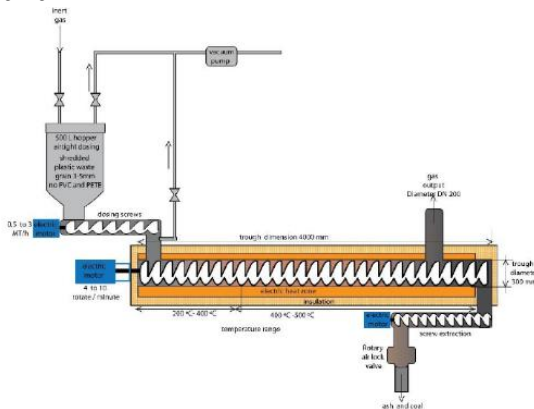
Rotary kiln adalah jenis reaktor yang digunakan secara luas dalam produksi semen. Kiln putar terdiri dari silinder baja miring yang berputar di sekitar porosnya. Bahan diumpankan dari atas laras, sumber panas diekstraksi dari bawah laras. Di dalam silinder, tulang rusuk dipasang ke dinding silinder untuk mengatur laju aliran material, produk mengalir keluar dari bawah silinder.



**Gambar 9.6.** Tungku Reaktor Pirolisis Tipe Rotary Kiln  
(Sumber: Modul-07, Teknologi Termal WtE Berbasis Pirolisis, 2018)

#### 4. Tubular Reactor

Reaktor tubular merupakan reaktor silinder yang materialnya bergerak dengan cara mekanis yang berbeda. Contoh reaktor tubular adalah konveyor sekrup. Dalam reaktor pirolisis tipe konveyor sekrup ini, bahan hidrokarbon dimasukkan ke dalam silinder reaktor, yang bergerak sepanjang arah putaran sekrup di dalam silinder. Waktu pemrosesan ditentukan oleh rotasi sekrup. Reaktor jenis ini dapat dioperasikan secara kontinyu dengan sistem yang sederhana.



**Gambar 9.7.** Reaktor Pirolisis Tipe Screw Conveyor  
(Sumber: <http://www.solidsforum.com/>)

### 5. *Plasma Reaktor*

Plasma adalah gas terionisasi yang dianggap oleh banyak orang sebagai wujud materi keempat, bersama dengan padat, cair, dan gas. Gas dapat dilihat sebagai campuran gas dari elektron bermuatan negatif dan elektron bermuatan positif. Ion yang diciptakan oleh pemanasan gas yang kuat atau efek elektromagnetik yang kuat. Ada dua kelompok utama plasma, yaitu plasma suhu tinggi atau fusi dan plasma suhu rendah atau pelepasan gas.

Generasi plasma termal dapat dicapai dengan menggunakan pelepasan listrik DC atau AC atau induksi frekuensi tinggi atau pelepasan gelombang mikro. Magnetron hingga angka 2,45 GHz tersedia dari oven microwave komersial digunakan untuk membuat plasma. Ketika partikel karbon dari limbah disuntikkan ke dalam plasma, partikel tersebut menjadi sangat panas dengan cepat di bawah pengaruh plasma, kemudian zat yang mudah menguap dilepaskan dan retak, menghasilkan hidrogen dan hidrokarbon ringan seperti metana dan asetilena.

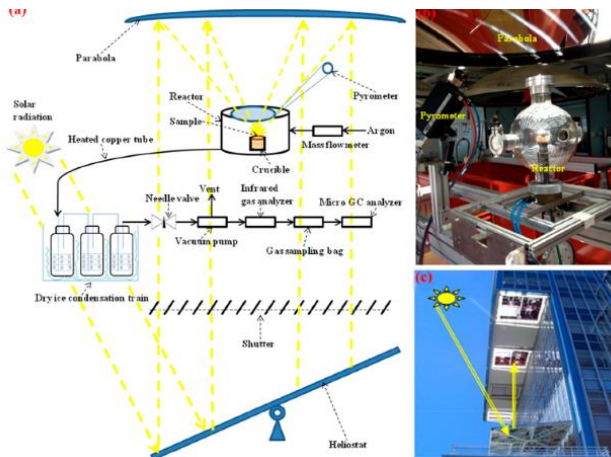
Pirolisis plasma meningkatkan kontrol sehingga terjadi pemanasan yang cepat dan pengoperasian yang efisien pada suhu yang relatif rendah. Menurut Guddeti dkk bahwa residu padat dari pirolisis polipropilena mengandung hampir 100 rb. Mereka menemukan sejumlah struktur karbon baru, menunjukkan potensi beberapa struktur bernilai tinggi. Aplikasi karbon tetap ini sebagai katalis permukaan tinggi, penyerap karbon atau aplikasi elektronik seperti superkapasitor.

### 6. *Solar Reaktor*

Solusi yang sangat menarik untuk memanaskan reaktor pirolisis diusulkan oleh Zeng *et al.* Mereka mempelajari pirolisis kayu beech dalam reaktor surya skala laboratorium.

Itu Eksperimen pirolisis dilakukan dalam reaktor bola pyrex transparan di bawah argon mengalir Pelet kayu ditempatkan dalam wadah grafit berlapis busa hitam dan terisolasi ditempatkan dalam oven surya sumbu vertikal 1.5kW. Struktur ini memungkinkan sistem untuk mencapai pada suhu dari 600 hingga 2000 °C tanpa sumber panas tambahan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu dan laju pemanasan terhadap komposisi batubara dan Struktur. Produksi batubara maksimum sekitar 14%, yang dicapai pada 600 °C a. Laju pemanasan adalah 50 °C/s dan hasil karbon terendah sekitar 6,5% saat suhu dan laju pemanasan adalah 2000 °C dan 450 °C/s.



**Gambar 9.8.** Skema Sederhana Solar Reaktor Pirolisis (Sumber:Elsevier, 2017)

Penggunaan reaktor pirolisis dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan, untuk kepentingan pemilihan tipe reaktor yang tepat setiap wilayah berbeda-beda.

### 9.2.4 Faktor – Faktor Operasi Pirolisis

Beberapa parameter operasi yang penting dalam menentukan produk dari pirolisis menurut Akhtar (2012) antara lain: temperatur, waktu tinggal uap, ukuran partikel, pengaruh jenis bahan, dan pengaruh kelembapan jenis bahan.

#### 1. Temperatur

Komposisi yang dihasilkan tergantung pada pirolisis Suhu yang dapat menguraikan biomassa. Pada suhu rendah antara  $<300$  sampai  $>600^{\circ}\text{C}$  menghasilkan produksi gas yang lebih tinggi dibandingkan dengan Charring/residu dan lilin. Suhu akhir pirolisis adalah menghasilkan berbagai lilin. Umumnya suhu berkisar antara  $400^{\circ}\text{C}$  hingga  $550^{\circ}\text{C}$  menghasilkan produksi lilin yang tinggi.

#### 2. Waktu Tinggal Uap

Pada suhu rendah pirolisis dan waktu tinggal uap mempengaruhi produksi gas terkondensasi. waktu tinggal uap hanya memakan waktu beberapa menit. Waktu Degradasi biomassa harus memakan waktu lebih dari waktu steam, sehingga produksi gas yang dihasilkan banyak.

Lamanya penetapan waktu tinggal uap dapat dipertimbangkan variabel generasi kualitas gas lainnya terkondensasi yang lebih baik. Elemen yang mempengaruhi waktu tinggal uap idealnya meliputi: ukuran partikel, sifat biomassa gas kondensasi yang diharapkan, suhu, optimum dan laju pemanasan.

#### 3. Ukuran Partikel

Biomassa adalah konduktor panas yang buruk mencegah perpindahan panas selama pirolisis. Pengaruh ukuran partikel limbah sangat penting lilin diperoleh dengan pirolisis dan meminimalkan masalah migrasi panas. Umumnya, ukuran partikel kecil digunakan dalam

pirolisis cepat, misalnya ukuran partikel bisa 14 dapat mendistribusikan panas secara merata.

Adapun ukuran Partikel yang digunakan memiliki ukuran partikel  $< 200 > 1-2$  cm menggunakan solid pada pirolisis. Selain itu, kepadatan dan kandungan sampah oksigen dari biomassa juga mempengaruhi perpindahan panas dalam proses pirolisis.

#### 4. Pengaruh Jenis Bahan

Biomassa terdiri dari lignin, hemiselulosa, selulosa, sedikit bahan anorganik. Rasio masing-masing komponen tergantung pada jenis biomassa. penurunan nilai selama Pirolisis tergantung pada persentase biomassa. Pada pirolisis Bahan selulosa dan hemiselulosa menghasilkan lebih banyak lilin dibandingkan dengan lignin. Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa penurunan berat terjadi pada selulosa 94,5N hemiselulosa pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$  atau  $268^{\circ}\text{C}$ , hanya pada lignin 54,3 % pada  $900^{\circ}\text{C}$ .

#### 5. Pengaruh Kelembapan Jenis Bahan

Pada umumnya jenis biomassa memiliki kelembapan 50 60%. Oleh sebab itu, pada proses pirolisis kelembapan pada biomassa harus  $< 30\%$ . Pada pengeringan menggunakan matahari dan udara dapat mengurangi kelembapan 3-12%, oleh karena itu dilakukan pengeringan menggunakan mesin. Kelembapan berpengaruh selama proses pirolisis dan kandungan kimia *wax* dari produk pirolisis.

Adanya kelembapan yang tinggi dari jenis bahan menyebabkan adanya energi tinggi untuk mengeringkan biomassa dan juga meningkatkan temperatur pirolisis. Kadar air yang tinggi pada biomassa menyebabkan meningkatnya kandungan air pada *wax* hasil pirolisis.

## 6. Pengaruh Jenis Plastik

Semua jenis plastik dapat ditambang Suhu meliputi: PS 420°C, PET 480°C, PE 495°C dan PP 480 °C (Caglar *et al.*, 2009).

Dalam studi pirolisis sebelumnya Sampel sebanyak 100 gram dari masing-masing jenis plastik yang digunakan PE, PP, PS dan PET dengan volume reaktor 3,5 dm<sup>3</sup> dan aliran Nitrogen 1 dm<sup>3</sup>/menit pada 500°C untuk waktu yang lama Menembak selama 30 menit menghasilkan 40,9% lilin, gas 25,6 n 53,5% padatan (Adrados *et al.*, 2014).

Studi pirolisis sebelumnya menggunakan jenis plastik LDPE, PP, PS dengan campuran bunga cemara (1:1). Reaktor digunakan diameter 8 cm dan tinggi 16 cm. Suhu yang digunakan adalah 450 °C selama 15 menit. Massa yang dimasukkan ke dalam reaktor adalah 10 g dan Cincang Studi ini melaporkan 100% padatan (Obeid *et al.*, 2014).

## 9.3 Produk Pirolisis dan Aplikasinya

Secara umum, pirolisis limbah bertujuan untuk memulihkan energi karena produknya seringkali bagus Properti seperti bahan bakar. Apalagi energi (terutama listrik) selalu menjadi komoditas yang didambakan mudah dijual Selain itu, sebagian produk dapat dibakar untuk membuat pirolisis permintaan energi. Pirolisis juga memungkinkan untuk mengubah limbah menjadi sumber energi untuk rumah dan pabrik pirolisis yang lebih besar dapat menggunakan produk pirolisis untuk tujuan lain yang mana meningkatkan profitabilitas proses. Komposisi kompleks minyak pirolitik dan sesuatu Sifat-sifat batubara dapat membuatnya layak sebagai bahan baku untuk banyak industri dan suku cadang saran tersebut disebutkan di bawah ini.



### 9.3.1 Gas

Secara umum dapat dikatakan bahwa komposisi gas pirolisis sangat bergantung suhu pirolisis dan bahan baku. Pirolisis lambat limbah biomassa seperti kayu, limbah taman dan residu pada suhu rendah (di bawah 400 °C) menghasilkan sejumlah kecil gas yang tinggi CO<sub>2</sub>, CO dan hidrokarbon ringan. Hasil gas dalam kondisi ini biasanya tidak melebihi 30% berat. Peningkatan suhu meningkatkan produksi gas karena udara sekunder Reaksi karbon dan dekomposisi parsial. Nilai kalor gas pirolisis lambat sekitar 10-15 MJ/Nm<sup>3</sup> dan bervariasi dengan suhu dan laju pemanasan [168]. Pirolisis cepat biomassa menghasilkan gas dengan nilai kalor sekitar 14 MJ/Nm<sup>3</sup>. Di sisi lain, suhu yang lebih tinggi (di atas 700°C), terutama ketika pirolisis digabungkan dengan gasifikasi, menghasilkan gas sintesis lebih banyak hidrogen dan karbon monoksida. Dalam hal ini, gas adalah produk utama dari proses tersebut.

Hidrokarbon: metana, etana, etilen, propana, propilena, butana dan butana. Gas ini memiliki nilai kalor yang signifikan, Nilai kalor gas PP dan PE bervariasi antara 42 dan 50 MJ/kg [169]. Sifat serupa adalah karakteristik gas dari pirolisis pneumatik atau preparat lainnya produk seperti tekstil. Co-pirolisis polimer dan biomassa, di sisi lain, menghasilkan produksi yang lebih tinggi CO dan CO<sub>2</sub> ada terutama pada suhu yang lebih rendah. Akhirnya, pirogase limbah kota terdiri dari CO<sub>2</sub>, CO, hidrogen, metana dan hidrokarbon ringan lainnya dengan nilai kalor rata-rata sekitar 15 MJ/Nm<sup>3</sup>, yang meningkat dengan meningkatnya suhu. Persyaratan yang paling tepat untuk pirogen adalah penggunaannya sumber energi yang dibutuhkan untuk proses pirolisis. Namun, pemicunya harus dikendalikan Pneumogases mengandung konsentrasi H<sub>2</sub>S yang relatif tinggi, yang dapat teroksidasi menjadi SO<sub>2</sub>.

Sejumlah besar HCl terbentuk selama pirolisis PVC. Terakhir, pengolahan makanan dapat menjadi sumber senyawa nitrogen berbahaya. Komposisi yang tepat dari limbah biasanya ditentukan tidak diketahui, oleh karena itu beberapa senyawa yang tidak diinginkan mungkin ada dalam pirogue. Oleh karena itu, peralatan pembersih gas dan pembersih gas harus digunakan, terlepas dari apakah gas tersebut terbakar atau tidak.

### 9.3.2 Minyak

Minyak menawarkan lebih banyak kemungkinan daripada gas, tetapi komposisinya penting. Komposisi produk pirolisis cair dapat bervariasi tergantung pada bahan baku dan parameter proses radikal. Minyak pirolisis yang diperoleh dari biomassa terutama terdiri dari senyawa-senyawa berikut: Gula, alkohol, keton, aldehida, fenol dan turunannya, furan dan aditif lainnya untuk mengoksidasi. Senyawa fenolik sering hadir dalam konsentrasi tinggi (hingga 50%) yang ada Fenol, eugenol, kresol, xilenol dalam jumlah yang relatif kecil dan jumlah yang jauh lebih besar alkylated (poly)phenols. Bahan-bahan baku tersebut dapat digunakan untuk menghasilkan panas, listrik dan gas sintesis atau bahan kimia. Suhu 500-600°C memberikan hasil minyak tertinggi dalam hal biomassa diproses dengan daya kalori sekitar 15 - 20 MJ/kg. Di sisi lain, minyak pirolisis nilai kalor plastik lebih tinggi, sekitar 30 - 45 MJ/kg, tergantung polimer dan konsentrasinya kandungan air lebih rendah.

Ahmad dkk. membandingkan minyak yang diperoleh dari pirolisis PP dan HDPE dengan bensin dan solar. Sifat fisik seperti viskositas, angka oktan Nomor dan angka oktan mesin, titik tuang, titik nyala atau indeks diesel bisa bagus indikasi kualitas minyak pirolisis sebagai bahan bakar.

Nilai kalor minyak dari campuran plastik jumlah limbah dapat diperkirakan sebesar 40 MJ/kg. Akhirnya, co-pirolisis plastik dan biomassa, dua komponen terpenting dari MSW, diproduksi cairan yang terdiri dari fase air dan tar. Dibandingkan dengan degradasi termal dari biomassa saja, co-pirolisis menghasilkan lebih sedikit fase berair dan lebih banyak minyak. Itu hasil arang juga menurun. Selain itu, tar pirolisis yang diperoleh dari biomassa berwarna coklat kemerahan berbau menyengat, sedangkan minyak yang diperoleh dari co-pyrolisis berwarna kuning dengan ciri khas bau hidrokarbon minyak bumi. Tar mengandung banyak air bahkan setelah pemisahan fase air.

Di sisi lain, minyak dari co-pyrolisis terdiri dari hidrokarbon. Pemanasan nilai minyak bervariasi antara 41 dan 46 MJ/kg. Rutkowski dan Kubacki juga memeriksa densitas, titik tuang, dan bilangan asam total ketika polistiren ditambahkan ke selulosa. Secara umum, co-pirolisis biomassa dan polimer sintetik bisa menjadi cara yang ramah lingkungan untuk transformasi limbah menjadi produk berharga seperti bahan kimia atau bahan bakar. Selain itu, co-pirolisis memungkinkan penyederhanaan proses pemisahan dan klasifikasi sampah yang mahal dan rumit dan masih menyediakan produk yang berharga.

### 9.3.3 Arang

Kondisi pirolisis biasanya dioptimalkan untuk memaksimalkan produk cair dan gas; Namun, Fraksi padat yang disebut karbon pirolitik juga terbentuk. Arang ini terutama terdiri dari batubara berlemak matriks yang mengandung hampir semua senyawa anorganik yang ada dalam limbah mentah dan penting jumlah produk sampingan terkondensasi yang terbentuk dan terdispersi selama proses pirolisis struktur berpori padat.

Nilai kalor Arang dari co-pirolisis limbah (campuran biodegradable dan non-biodegradable) adalah sekitar 34 MJ/kg, yang sebanding batubara yang khas. Namun, seperti yang diharapkan, beberapa logam berat dan elemen berbahaya lainnya seperti S, Cl dan N, juga dapat disimpan dalam produk padat. Itulah mengapa penting untuk mencirikan karakter setiap produk untuk menilai dampaknya terhadap lingkungan dan manusia.

Arang yang diperoleh selama pirolisis tidak hanya menjadi bahan bakar yang baik, tetapi juga dapat diolah menjadi karbon aktif. Aplikasi yang mungkin ini diusulkan oleh (Budianto *et al.*, 2019). Reaktivitas karbon diukur secara berurutan Temukan korelasi antara pengembangan permukaan karbon dan volume pori dan temperatur dan laju pemanasan.

Secara teori, setiap bahan baku dengan kandungan karbon tinggi dapat digunakan untuk menghasilkan karbon aktif. Dalam praktiknya, terutama batubara, tempurung kelapa, kayu, gambut dan buah batu digunakan untuk produksi Karbon aktif. Namun, ada banyak bahan baku alternatif untuk penelitian skala laboratorium Bahan yang digunakan untuk membuat karbon aktif. Penggunaan residu dalam produksi dimungkinkan. Arang menguntungkan karena menurunkan biaya produksi karbon aktif. Menarik penggunaan karbon, yang terjadi selama pirolisis campuran limbah, harus dievaluasi sebagai adsorben, sebuah polutan.

Pada tahun 2012, Bernard *et al.* mempelajari sifat fisikokimia arang dan selama co-pyrolysis. Logam umum dalam batubara diperoleh dari pirolisis plastik Biomassa adalah magnesium (Mg). Kalsium (Ca), Kalium (K) dan Besi (Fe) merupakan unsur yang penting juga batubara ini. Seng (Zn), Kromium (Cr), Nikel (Ni), Molibdenum (Mo), Mangan (Mn) dan aluminium (Al) juga muncul.

Peneliti menggunakan ekstraksi pelarut berurutan dengan pelarut Tingkatkan polaritas untuk menghilangkan produk pirolisis fase cair dari batubara/arang. ini menyebabkan efisiensi penghilangan yang signifikan, terutama Mg, Ca dan K. Pada saat yang sama, jumlah yang signifikan minyak pirolitik diperoleh kembali, meningkatkan hasil produk cair. Karena tidak ada pengobatan aktivasi karbonisasi yang dilakukan memiliki luas permukaan yang relatif kecil.

Penggunaan lain untuk karbon dari pirolisis kayu adalah sebagai pupuk organik, yang disediakannya banyak keuntungan. Biochar meningkatkan akumulasi nutrisi dan air di dalam tanah, dan juga menyediakan habitat sehingga mikroorganisme simbiotik meningkatkan hasil. Selain itu, biochar juga dapat mengikat karbon, karena struktur karbon aromatiknya sangat tahan terhadap biodegradasi.

Peters *et al.* mensimulasikan sistem pirolisis lambat untuk menghasilkan panas dan biochar Tanaman energi lignoselulosa dan kinerja siklus hidupnya dibandingkan langsung dengan biomassa untuk membakar Serpihan kayu mentah dari perkebunan pohon digunakan (ukuran butiran 50-100 mm), yang kemudian dikeringkan. Kandungan air 70n digiling untuk mendapatkan ukuran partikel 3mm. Biomassa kemudian dikonversi dengan pirolisis lambat menjadi gas, tar, dan produk batubara. Gas dan tar yang dihasilkan dibakar di lokasi Pembangkitan panas, memenuhi kebutuhan panas reaktor pirolisis dan menghasilkan panas untuk keperluan lain. Produk yang paling diinginkan - lumpur biokarbon - diangkut dari pabrik pirolisis ke lapangan, diaplikasikan dengan truk dan sebagai pupuk cair.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Smith, K. Brown, S. Ogilvie, K. Rushton, J. Bates, Waste management options and climate change: final report to the European Commission, DG Environ. (2001), [http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00532-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00532-5).
- Adrados, A., Marco, de., Caballero, B. M., López, A., Laresgoiti, M. T., Torees, A. 2012. Pyrolysis of Plastic Packaging Waste: A Comparison of Plastic Residuals from Material Recovery Facilities with Simulated Plastic Waste. *Waste Management* 32:826-832
- Ayuningtiyas, G., Harditya, F., & Ningsih, E. (2020). *Production of Briquette Made of Sugarcane Bagasse and Dry Leaves Mixture by Microwave Torrefaction Using Tapioca Flour as Adhesive*. 2020, 140–144. <https://doi.org/10.11594/nstp.2020.0521>.
- Basu, P. (2010). Biomass gasification and pyrolysis: practical design and theory. Amsterdam, Netherlands: Academic press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374988-8.00002-7>.
- Budianto, A. (2017). Pirolisiss Botol Plastik Bekas Minuman Air Mnieral Jenis Pet Menjadi Fuel. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan V*, 201–206. <http://conference.itats.ac.id/index.php/sntekpan/2017/paper/view/156>.
- Budianto, A., Kusdarini, E., Effendi, S. S. W., & Aziz, M. (2019). The Production of Activated Carbon from Indonesian Mangrove Charcoal. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 462(1), 4–11. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/462/1/012006>

- Caglar, A., Aydinli, B. 2009. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. Isothermal Co –Pyrolysis of Hazelnut Shell and Ultra High Molecular Weight Polyethylene : The Effect of Temperature and Composition on the Amount of Pyrolysis Products 86 : 304-309.
- D. Czajczyńska, L. Anguilano, H. Ghazal, R. Krzyżyńska, A.J. Reynolds, N. Spencer, H. Jouhara, Potential of Pyrolysis Processes in the Waste Management Sector, 2017
- Dhyani, V., & Bhaskar, T. (2018). A comprehensive review on the pyrolysis of lignocellulosic biomass. *Renewable Energy*, 129, 695–716. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.04.035>.
- Fanani, N., Novianarenti, E., Ningsih, E., Udyani, K., Budianto, A., & Tuhuloula, A. (2020). Study of The Effect of Zeolite Catalyst Use on Renewable Energy Products from HDPE Plastic Pyrolysis. *Journal of Applied Sciences, Management and Engineering Technology*, 1(2), 58–63. <https://doi.org/10.31284/j.jasmet.2020.v1i2.1305> .
- Fanani, N., Novianarenti, E., Ningsih, E., Udyani, K., Saputra, A., Surabaya, U. T., Perkapalan, P., Surabaya, N., Teknologi, I., & Tama, A. (2017). *Konversi plastik hdpe menjadi fuel melalui proses pirolisis*. 452–456.
- Garcia-Perez, M., Shen, J., Wang, X. S., & Li, C. Z. (2010). Production and fuel properties of fast pyrolysis oil/bio-diesel blends. *Fuel Processing Technology*, 91(3), 296–305 <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2009.10.012>.
- Guanyu Wang, Yujie Dai, Haiping Yang, Qingang Xiong, Kaige Wang, Jinsong Zhou, Yunchao, Shurong Wang, A Review of Recent Advances in Biomass Pyrolysis, 2020.

- H. Zhou, A. Meng, Y. Long, Q. Li, Y. Zhang, An overview of characteristics of municipal solid waste fuel in China: physical, chemical composition and heating value, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 36 (2014) 107–122, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.024>.  
<http://www.solidsforum.com/>  
<https://www.hindawi.com/journals/ijce/2012/542426.fig.003.jpg>
- Hornung, A. (2014). Transformation of biomass: theory to practice. New Jersey, United States: John Wiley & Sons.
- J. Pichtel, Waste Management Practices. Second Edition. Municipal, Hazardous, and Industrial, Taylor and Francis Group, Boca Raton, 2014
- Jung SH, Cho MH, Kang BS, Kim JS. Pyrolysis of a fraction of waste polypropylene and polyethylene for the recovery of BTX aromatics using a fluidized bed reactor. *Fuel Process Technol* 2010;91:277–84. doi:10.1016/j.fuproc.2009.10.009.
- Kepala Pusat Pendidikan dan Pelatihan Jalan, Perumahan, Pemukiman, dan Pengembangan Insfratraktur Wilayah, Modul-07, Teknologi Termal WtE Berbasis Pirolisis, 2018.
- Li, R., Zhong, Z., Jin, B., & Zheng, A. (2012). Selection of temperature for bio-oil production from pyrolysis of algae from lake blooms. *Energy & fuels*, 26(5), 2996–3002. <https://doi.org/10.1021/ef300180r>.
- Mohan, D., Pittman, C. U., & Steele, P. H. (2006). Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: A critical review. In *Energy and Fuels*. <https://doi.org/10.1021/ef0502397>.
- Mirzayanti, Y. W., Bhismoko, B., Fathurrahman, M. Q., & Ningsih, E. (2021). Parameter Variation of Microwave Torrefaction Time of Blotong and Bagasse Briquettes. *Journal of Physics: Conference Series*, 2117(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2117/1/012022>.



- Ningsih, E., Mirzayanti, Y. W., Himawan, H. S., & Indriani, H. M. (2016). *Pengaruh Jenis Perekat pada Briket dari Kulit Buah Bintaro terhadap Waktu Bakar*. 1–8.
- Ningsih, E., Udyani, K., Budianto, A., Hamidah, N., & Afifa, S. (2020). Pengaruh ukuran partikel arang dari limbah tutup botol plastik terhadap kualitas briket. *Majalah Kulit, Karet, Dan Plastik*, 36(2), 101. <https://doi.org/10.20543/mkkip.v36i2.6140>.
- Novianarenti, E., & Ningsih, E. (2018). Upaya Peningkatan Nilai Ekonomi Sampah Plastik Dengan Program Bank Sampah Di Simo Jawar Baru Kecamatan Sukomanunggal Surabaya. *JPP IPTEK (Jurnal Pengabdian Dan Penerapan IPTEK)*, 2(2), 47–52. <https://doi.org/10.31284/jjpp-iptek.2018.v2i2.283>.
- Obeid, F., Joseph, Z., Al-Muhtaseb, A.H., Bouhadir, K. 2014. Thermo-catalytic Pyrolysis of Waste Polyethylene Bottles in a Packed Bed Reactor with Different Bed Materials and Catalysts. *Energy Conversion and Management* 85:1-6.
- Ohliger, A., Förster, M., & Kneer, R. (2013). Torrefaction of beechwood: A parametric study including heat of reaction and grindability. *Fuel*, 104, 607-613. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.06.112>
- Parama, M. A. Y., Ningsih, E., & Mirzayanti, Y. W. (2016). *Analisa Proksimat Terhadap Pemanfaatan Limbah Kulit Durian dan Kulit Pisang sebagai Briket Bioarang*. 333–340.
- Qonita Rachmawati, 2015. Pengolahan Sampah Secara Pirolisis dengan Variasi Rasio Komposisi Sampah dan Jenis Plastik,
- Qureshi, K. M., Abnisa, F., & Daud, W. M. A. W. (2019). Novel helical screw-fluidized bed reactor for bio-oil production in slow-pyrolysis mode: A preliminary study. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 142, 104605. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2019.04.021>.

- Sugietaofi, Laporan Tugas Akhir Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung.
- Sri Aulia Novita, Santosa, Nofialdi, Andasuryani, Ahmad Fudholi, Parameter Operasional Pirolisis Biomassa, 2021
- Stijn R. G. Oudenhoven, Sascha R.A Kersten, 2015
- T. Karak, R.M. Bhagat, P. Bhattacharyya, Municipal solid waste generation, composition, and management: the world scenario, Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 42 (2012) 1509–1630, <http://dx.doi.org/10.1080/10643389.2011.569871>.
- Wiebren de Jong, J. Ruud van Ommen, Biomass as Sustainable Energy Source for the Future, 2015
- Williams PT, Besler S. The Influence of Temperature and Heating Rate on the Slow Pyrolysis of Biomass. Renew Energy 1996;7:233–50. doi:10.1016/0960-1481(96)00006-7



# **BAB 10**

## **PENGENDALIAN LIMBAH MELALUI HIDROLISIS**

**Oleh Gregorio Antonny Bani**

### **10.1 Pendahuluan**

Pesatnya pertumbuhan populasi manusia, ikut meningkatkan kegiatan dari segala sektor, terutama di bidang industri. Kegiatan tersebut menghasilkan limbah yang kemudian dibuang begitu saja karena tidak diinginkan dan dianggap tidak berguna.

Limbah yang dibuang langsung ke lingkungan dapat menyebabkan masalah pencemaran yang berbahaya bagi kelangsungan hidup setiap organisme yang ada pada lingkungan yang tercemar tersebut. Salah satu metode yang dapat diaplikasikan untuk mengendalikan masalah lingkungan yang tercemar adalah hidrolisis.

Hidrolisis menggunakan air sebagai media utama dalam menjalankan reaksi, dimana zat kimia yang kompleks dan rumit akan terdekomposisi untuk menghasilkan zat baru atau lebih yang lebih sederhana, sehingga lebih mudah diuraikan di lingkungan (Praputri, Sundari, Firdaus, & Sofyan, 2018). Penggunaan metode hidrolisis limbah umumnya dilakukan dengan menggunakan katalis berupa asam, basa, dan juga enzim (Fenida, 2010).

Hidrolisis limbah jerami padi dengan menggunakan katalis asam selama 2 hari dengan tekanan 1 atm pada suhu

30<sup>0</sup> C dengan pH 3 menghasilkan glukosa sebesar 40,33% (Andayana, 2014). Hidrolisis ampas tebu dengan menggunakan katalis asam selama 15 menit dengan tekanan 1 atm pada suhu 121<sup>0</sup> C dengan pH 1 menghasilkan glukosa sebesar 4,2% (Sutikno, Marnisa, & Sari, 2015). Hidrolisis pelepah sawit dengan menggunakan katalis asam selama 100 menit dengan tekanan 1 atm pada suhu 121<sup>0</sup> C dengan pH 1 menghasilkan glukosa sebesar 19,49% (Rilek, Hidayat, & Sugiarto, 2017).

Hidrolisis limbah jerami padi dengan menggunakan katalis enzim selama 64 jam dengan tekanan 1 atm pada suhu 50<sup>0</sup> C dengan pH 5 menghasilkan glukosa sebesar 17,35% (Ferdiansyah, Sumarlan, & Argo, 2015). Hidrolisis ampas tebu dengan menggunakan katalis enzim selama 15 hari dengan tekanan 1 atm pada suhu 50<sup>0</sup> C dengan pH 5 menghasilkan glukosa sebesar 13,442% (Saparianti, Dewanti, & Dhoni, 1992). Hidrolisis pelepah sawit dengan menggunakan katalis enzim selama 124 jam dengan tekanan 1 atm pada suhu 60<sup>0</sup> C dengan pH 5 menghasilkan glukosa sebesar 18,7% (F, Sitompul, & Putra, 2016).

Dalam reaksi hidrolisis, terdapat beberapa faktor yang berpengaruh, antara lain: suhu, waktu, kelarutan zat, konsentrasi katalis dan kadar suspensi (Mastuti, 2010). Kondisi optimal untuk menghidrolisis limbah kulit pisang sebanyak 10 gram menjadi bioetanol sebanyak 11,26 mg/100 mL adalah berada pada suhu 121<sup>0</sup> C dengan menggunakan katalis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 M selama 15 menit (Sukowati, Sutikno, & Rizal, 2014). Penggunaan NaOH sebagai katalis juga dinyatakan baik dalam proses hidrolisis limbah kulit kopi dan eceng gondok (Widad, 2017). Reaksi dekomposisi limbah cair kelapa sawit selama 30 hari berhasil menurunkan nilai TS dan COD di atas 50% (Rambe, 2015). Namun, hidrolisis hanya merupakan proses awal penanganan limbah dan diperlukan perlakuan lanjutan agar zat yang diuraikan dapat dijadikan zat lain yang dapat

dimanfaatkan kembali oleh manusia. Proses lanjutan tersebut berupa asidogenesis dan metanogenesis.

Berdasarkan ulasan yang telah dipaparkan sebelumnya di atas, maka BAB ini akan menguraikan tentang Pengendalian Limbah melalui Hidrolisis

## **10.2 Pencemaran Lingkungan**

Undang-undang Nomor 04 Tahun 1982 tentang Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup menyatakan bahwa pencemaran lingkungan adalah masuknya polutan yang mengakibatkan berubahnya tatanan lingkungan, sehingga kualitas lingkungan menurun dan tidak dapat berfungsi lagi sebagaimana mestinya.

Hilangnya atau berkurangnya fungsi sumber daya alam, seperti tanah, air, udara dalam mendukung segala proses kehidupan di dalamnya akan berujung pada kematian beberapa jenis spesies flora dan fauna, sehingga hal tersebut merupakan ciri utama bahwa telah terjadi kerusakan lingkungan, dan akan berdampak buruk pula bagi kelangsungan hidup manusia, apabila tidak ditanggulangi secara baik.

## **10.3 Limbah**

Limbah merupakan bahan buangan sisa yang tidak dipakai atau tidak diinginkan lagi, yang berasal dari kegiatan antropogenik (Puwendro & Nurhidayat, 2006). Rata-rata limbah yang dihasilkan dalam suatu wilayah akan sangat variatif, karena sangat bergantung pada beberapa faktor sosial ekonomi dalam suatu wilayah, yaitu:

1. Kepadatan penduduk.
2. Taraf hidup manusia dalam suatu wilayah.
3. Perbedaan iklim dan musim.
4. Pola hidup dan arus perpindahan penduduk.

5. Teknik pengelolaan bahan makanan  
(Damanhuri & Padmi, 1989):

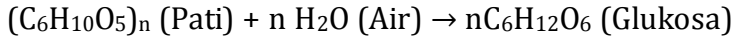
Menurut sifat fisik, biologi dan kimianya limbah dibagi menjadi (Neolaka, 2008):

1. Limbah Hayati  
Limbah ini berasal dari makhluk hidup dan biasanya dihasilkan dalam jumlah yang relatif kecil, dan lebih mudah diuraikan melalui proses dekomposisi alami di lingkungan
2. Limbah Non Hayati  
Limbah ini tidak berasal dari makhluk hidup, biasanya dalam bentuk produk buatan seperti plastik, dan juga berasal dari produk hasil proses pabrikan, seperti logam dan sejenisnya.
3. Limbah B3 (Bahan berbahaya beracun)  
Limbah ini umumnya berasal dari sisa pengolahan industri besar. Pengelolaan limbah B3 ini perlu dilakukan secara khusus, karena tidak dapat dicampurkan dengan limbah lainnya.

## 10.4 Hidrolisis

Hidrolisis berasal dari kata *hydro* dan *lysis*. *Hydro* artinya air, sedangkan *lysis* artinya penguraian. Jadi reaksi hidrolisis adalah reaksi kimia yang dapat menguraikan suatu zat dalam air, yang dimana dari proses tersebut akan membentuk ion positif dan negatif (Sari, 2020). Reaksi tersebut akan menyerap kalor dari lingkungan ke dalam sistem reaksi, dimana saat terjadi penguraian akan memutuskan rantai ikatan kimia yang panjang dan kompleks dari suatu senyawa yang dihidrolisis, untuk dipecahkan lagi menjadi menjadi zat baru atau lebih dengan rantai ikatan kimia yang lebih pendek dan sederhana. Salah satu contoh reaksi hidrolisis dalam mengubah pati yang

terkandung dalam limbah untuk dipecahkan menjadi glukosa sederhana ditunjukkan dengan persamaan reaksi di bawah ini: (Praputri, Sundari, Firdaus, & Sofyan, 2018)



Melalui persamaan kinetika reaksi, maka laju reaksi hidrolisis adalah sebagai berikut: (Tembhurkar & Mhaisalkar, 2007)

$$\frac{dC}{dt} = k(C_o - Ct)$$

Dimana:

t = waktu (jam)

Ct = Konsentrasi terdegradasi pada waktu (t)

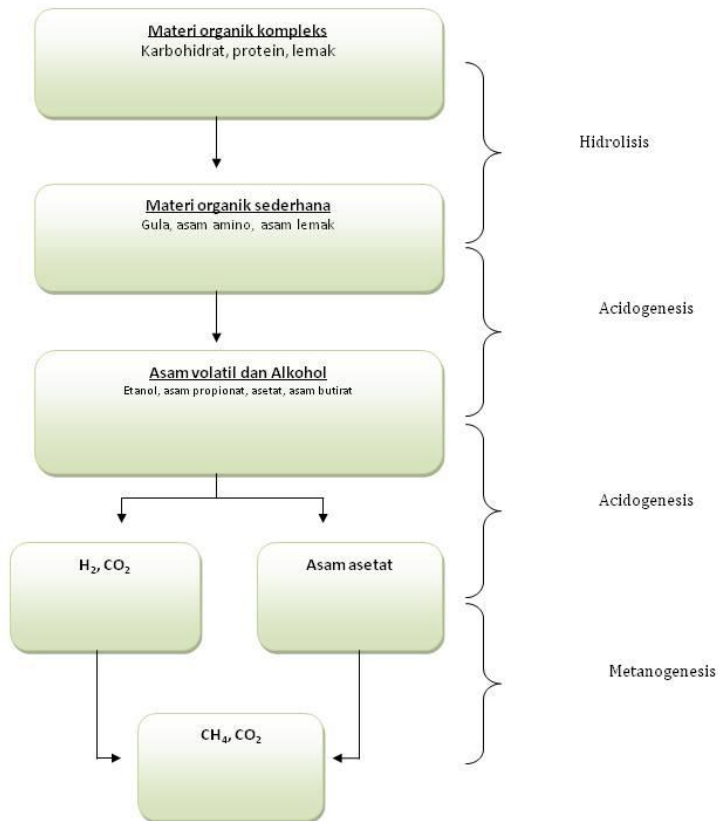
Co = Konsentrasi terdegradasi pada waktu (0)

K = Koefisien kecepatan reaksi degradasi

Reaksi hidrolisis dapat dikategorikan juga sebagai reaksi depolimerisasi karena makromolekul akan dipecahkan lagi menjadi menjadi molekul-molekul baru yang lebih kecil dan sederhana (Broughton, 2009). Hidrolisis hanya mengubah suatu senyawa yang besar menjadi senyawa baru yang lebih sederhana, agar lebih mudah dan cepat untuk diuraikan lagi oleh mikroorganisme (Barber & Stuckey, 1999). Oleh karena itu, proses hidrolisis harus dilanjutkan lagi ke proses berikutnya.

Proses selanjutnya adalah asidogenesis. Melalui proses ini, hasil dari reaksi hidrolisis akan diserap oleh mikroba dan kemudian akan diuraikan lagi dengan cara difermentasikan dalam kondisi tertutup untuk menghasilkan senyawa yang baru yang tidak berbahaya atau dapat dimanfaatkan untuk keperluan lain manusia (Broughton, 2009). Segala proses pengolahan limbah dengan hidrolisis ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini.





**Gambar 10.1.** Reaksi penguraian senyawa kompleks menjadi sederhana dalam reaktor (Anonim, 2013).

Berdasarkan Gambar 10.1 di atas, maka diketahui bahwa senyawa kompleks (karbohidrat, protein, lemak) akan dipecahkan menjadi bentuk yang lebih sederhana (gula, asam amino, asam lemak) melalui proses hidrolisis, yang kemudian akan diuraikan oleh mikroba menjadi bentuk yang lebih kecil lagi (asam volatil dan alkohol), dan mikroba pengurai tersebut akan merubahnya lagi menjadi gas  $H_2$ ,  $CO_2$  dan asam asetat dan

produk akhir yang dihasilkan adalah gas metana ( $\text{CH}_4$ ) dan karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ).

Segala proses reaksi di atas dilakukan di dalam reaktor. Reaktor tersebut merupakan digester tertutup yang disebut *Anaerobic baffled reactor* (ABR) (Mc Carty, 1982). ABR menggunakan sistem rangkaian sekat vertikal yang mendorong limbah untuk mengalir dari bawah lalu ke atas, dan kemudian terus memutar secara kontinu terus menerus (Munazah & Soewondo, 2008). Konsentrasi senyawa organik akan berbeda, karena proses penguraian di setiap sekat bervariasi pula, hal ini kemudian menjadikan kondisi spesifik lingkungan di dalamnya juga ikut berbeda, sehingga pertumbuhan populasi bakteri pengurai akan tidak sama pada setiap sekat (Munazah & Soewondo, 2008).

Prinsip kerja reaktor asidogenesis, yakni dengan cara melakukan proses penggabungan antara sedimen hasil hidrolisis dan dekomposisi senyawa di setiap ruang dalam reaktor tersebut, dimana proses tersebut akan menghasilkan biogas dengan kandungan metana lebih dari 45%, sehingga berpotensi juga untuk dijadikan sebagai sumber energi terbarukan di masa yang akan datang.

Dalam proses dalam reaktor, perlu diperhatikan beberapa parameter yang harus dikontrol, yakni suhu, pH, rasio C/N, laju beban organik dan waktu detensi.

1. Suhu

Suhu optimum bagi pertumbuhan dan kerja mikroorganisme yang paling maksimal berada dalam kisaran 30 - 60<sup>0</sup> C, dimana jenis mikroba yang digunakan adalah yang bersifat mesofilik dan termofilik (Anonim, 2013).

2. pH

Ketika kondisi lingkungan menjadi asam, mikroorganisme pengurai metana tidak dapat berkembang dengan baik,

sehingga perlu ditambahkan beberapa jenis bahan untuk menaikkan kembali nilai pH di dalam reaktor.

3. Rasio karbon-nitrogen (rasio C/N)

Kebutuhan nutrisi mikroorganisme dalam reaktor akan sangat ditentukan oleh rasio C/N (Jabeen, Zeshan, Yousaf, Haider, & Malik, 2015). Dimana apabila rasio C/N yang terlalu besar mengindikasikan bahwa terdapat konsumsi nitrogen yang terlalu banyak oleh mikroba pengurai metana dan akan berakibat pada menurunnya produksi biogas (Vogeli, Lohri, Gallardo, Diener, & Zurbrugg, 2014).

4. Inokulasi dan *start-up*

Pada tahap awal pengoperasian reaktor dibutuhkan pembiakan mikroba yang sesuai agar dapat bekerja optimal dalam kondisi anaerob. (Vogeli, Lohri, Gallardo, Diener, & Zurbrugg, 2014). Indikator utama bahwa mikroba pada tahap inokulasi telah cukup adalah dengan adanya keberadaan gas CO<sub>2</sub> yang cukup besar di dalam reaktor, dan hal tersebut merupakan kondisi yang pas untuk melaksanakan tahap *start-up* bagi reaktor.

5. Laju beban organik

Banyaknya bahan yang dapat dimasukkan ke dalam reaktor harus disesuaikan berdasarkan laju beban organik (Vogeli, Lohri, Gallardo, Diener, & Zurbrugg, 2014). Jika beban organik terlalu besar, maka akan menjadikan naiknya kadar asam volatil dan berakibat pada kegagalan seluruh proses. Oleh karena itu, parameter ini perlu ditentukan berdasarkan kapasitas ruang dalam reaktor dan jumlah bahan yang akan diproses secara berkelanjutan.

6. Waktu

Parameter ini mengukur waktu yang dibutuhkan dalam menjalankan segala alur proses reaksi di dalam reaktor. Penentuan waktu reaksi yang tepat menjadikan segala

proses akan berjalan lengkap dan mendapatkan produk yang maksimal (Ricci & Confalonieri, 2016).

7. Sistem pengadukan

Proses pengadukan perlu dilakukan terus menerus, agar bahan yang lama dan yang baru dimasukkan dapat terus tercampur merata, karena mikroba dalam reaktor akan terampur merata pula (Deublein & Steinhauser, 2011).

8. Inhibitor

Terbentuknya  $\text{NH}_3$  dengan kadar tertentu dapat menjadi zat yang memperlambat proses asidogenesis dan juga kadar  $\text{NH}_3$  yang tinggi dapat menjadi racun yang membunuh mikroba anaerob dalam reaktor, sehingga segala rangkaian proses menjadi terhambat.

Produk akhir dari segala tahapan proses hidrolisis hingga asidogenesis adalah biogas dengan kandungan  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}_2$ . Terdapat juga berbagai macam gas lain dengan kadar yang reaktif sedikit seperti  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ , dan  $\text{H}_2$ .

Biogas yang dihasilkan memiliki kadar  $\text{CH}_4$  lebih dari 45%, sehingga memiliki sifat yang sangat mudah terbakar. Apabila produk mampu menghasilkan gas  $\text{CH}_4$  yang semakin besar lagi, maka kualitas dari produk akan semakin baik. Selain produk akhir biogas, terdapat juga sisa yang disebut digestate. Digestate bisa berupa campuran padatan dan cairan/semi-padatan dan padatan (Anonim, 2013).

Tahap akhirnya adalah melakukan pengeringan reaktor untuk memisahkan substrat dari bentuk padat dan cair. Produk yang dalam bentuk padatan dapat dibuat menjadi pupuk kompos, sedangkan produk dalam bentuk cairan dapat langsung diaplikasikan sebagai pupuk cair. Penggunaan digestate sebagai alternatif pupuk kimia memiliki keuntungan sebagai berikut:

1. Membuat suatu sistem agrikultur yang berwawasan lingkungan karena dapat mengambil nutrisi penting yang bermanfaat bagi tanaman dari limbah untuk dapat dikembalikan lagi ke dalam tanah
2. Efisiensi biaya pembelian pupuk buatan. Diperkirakan bahwa dalam 1 m<sup>3</sup> digestate (yang belum melalui proses pengeringan) dapat mengurangi 20 - 30 kg penggunaan pupuk kimia. Hal ini dapat menjadi keuntungan bagi petani karena sangat menghemat biaya pemupukan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andayana, Yudhi. 2014. Pembuatan Ethanol dari Jerami Padi dengan Proses Hidrolisis dan Fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 08 (02), 54–57.  
<http://ejournal.upnjatim.ac.id/index.php/tekkim/article/view/717>
- Anonim. 2013. *Technical Document on Municipal Solid Waste Organics Processing*. Public Works and Government Services of Canada.
- Barber, W. P., & Stuckey, D. C. 1999. The use of the anaerobic baffled reactor (ABR) for wastewater treatment: a review. *Water Research*, 33(7), 1559-1578.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135498003716>
- Broughton, Alistair David. 2009. *Hydrolysis and Acydogenesis of Farm Dairy effluent for Biogas Production at Ambient Temperatures*. Thesis. Master of Engineering in Enviromental Engineering, at Massey University, Palmerston North, New Zealand.
- Damanhuri, E, & Padmi, T. 1989. *Pengkajian Laju Timbulan Sampah di Indonesia*. Puslitbang PU. LPM ITB. Bandung.
- Deublein, D., & Steinhauser, A. 2011. *Biogas from waste and renewable resources: an introduction. Second ed. s.l. Wiley-VCH*.
- F, Nugrahini Panca., Sitompul, H., & Putra, D. R. 2016. Pengaruh Waktu dan Konsentrasi Enzim Selulase pada Proses Hidrolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Glukosa. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 01 (01), 8–16.  
<https://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/1107375>

- Fenida, T. M. 2010. *Studi Reaksi Hidrolisis Glukosa untuk Menghasilkan Senyawa Asam Levulinat Menggunakan Katalis Homogen dan Katalis Heterogen Asam*. Skripsi. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Ferdiansyah, H., Sumarlan, S. H., & Argo, B. D. 2015. Hidrolisis Enzimatis Menggunakan Enzim Selulase dari *Trichoderma reesei* dan *Aspergillus niger* pada Produksi Bioetanol Jerami Padi," *Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 03 (02), 211-216. <https://jkptb.ub.ac.id/index.php/jkptb/article/view/282>
- Jabeen, M., Zeshan., Yousaf, Sohail., Haider, Muhammad Rizwan., Mali, Riffat Naseem. 2015. High-solids Anaerobic Co-Digestion of Food Waste and Rice Husk at Different Organic Loading Rates. *International Biodeterioration & Biodegradation*, Volume 102, 149-153. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964830515000979>
- Mastuti, Endang & Dwi Ardiana Setyawardhani. 2010. Pengaruh Variasi Temperatur dan Konsentrasi Katalis Pada Kinetika Reaksi Hidrolisis Tepung Kulit Ketela Pohon. *Jurnal Ekuilibrium*, 09 (01), 23-27. <https://jurnal.uns.ac.id/ekuilibrium/article/view/49533>
- Mc Carty, P. L. 1982. *One hundred years of anaerobic treatment digestion*. Anaerobic Digestion. International Symposium on Anaerobic Digestion, Oxford. Elsevier Biomedical Press, 3-22. New York.
- Munazah A. R., & Soewondo, P. 2008. Penyisihan Organik melalui Dua Tahap Pengolahan dengan Modifikasi ABR dan Constructed wetland pada Industri Rumah Tangga. *Jurnal Teknologi Lingkungan Universitas Trisakti*, 04 (04), 93-100. <https://ojs.petra.ac.id/ojsnew/index.php/jtl/article/view/17553>

- Neolaka, Amos. 2008. *Kesadaran Lingkungan*. Penerbit PT Rinika Cipta. Jakarta.
- Praputri, E., Sundari E., Firdaus F., & Sofyan S. 2018. Penggunaan Katalis Homogen dan Heterogen pada Proses Hidrolisis Pati Umbi Singkong Karet Menjadi Glukosa. *Jurnal Litbang Industri*, 08 (02), 105-110. <http://dx.doi.org/10.24960/jli.v8i2.4189.105-110>
- Purwendro, S., & Nurhidayat. 2006. *Mengolah Sampah untuk Pupuk dan Pestisida Organik*. Seri Agritekno, Penebar Swadaya. Jakarta.
- Rambe, Siti Marsiani. 2015 Penentuan Model Kinetika Reaksi Hidrolisis pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dengan Anaerob Baffle Reactor. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 26 (02), 77-84. <http://litbang.kemenperin.go.id/dpi/article/view/1599>
- Ricci, M., & Confalonieri, A. 2016. Technical Guidance on the Operation of Organic Waste Treatment Plants. International Solid Waste Association.
- Rilek, N. M., N. Hidayat & Y. Sugiarto. 2017. Hidrolisis Lignoselulosa Hasil Pretreatment Pelepah Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) menggunakan  $H_2SO_4$  pada Produksi Bioetanol. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 6 (2), 76-82. <https://industria.ub.ac.id/index.php/industri/article/view/193>
- Saparianti, E., Dewanti, T., & Dhoni, S. K. 1992. Hidrolisis Ampas Tebu Menjadi Glukosa Cair oleh Kapang *Trichoderma viride*. *Jurnal Teknik Pertanian*, 05 (01), 1-10.
- Sari, N. A. 2020. *Hidrolisis Garam*. SMK Negeri 5, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. Palembang.



- Sukowati, A., Sutikno, & Rizal, S. 2014. Produksi Bioetanol dari Kulit Pisang Melalui Hidrolisis Asam Sulfat. *Jurnal Teknologi dan Industri Hasil Pertanian*, 19 (03), 274-288. <https://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JTHP/article/view/608>
- Sutikno, Marniza, & Sari, N. 2015. Pengaruh Perlakuan Awal Basa dan Hidrolisis Asam terhadap Kadar Gula Reduksi Ampas Tebu. *Jurnal Teknologi Industri dan Hasil Pertanian*, 20 (02), 65-72. <https://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JTHP/article/view/1378/1289>
- Thembhurkar A. R., & Mhaisalkar, V. A. 2007. Studies of Hydrolysis and Acydogensis of Kitchen Waste in the two phase Anaerobic Digestion. *Journal of the IPHE*, 200708 (02). India.
- Undang-undang Nomor 04 Tahun 1982 tentang Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Vogeli, Y., Lohri, C. R., Gallardo, A., Diener, S., Zurbrügg, C. 2014. *Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries: Practical Information and Case Studies*. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Dübendorf, Switzerland.
- Widad, S. 2017. *Perlakuan Hidrolisis Basa pada Campuran Eceng Gondok dan Kulit Kopi terhadap Produksi Biogas Limbah Cair Pengolahan Kopi*. Skripsi. Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian. Universitas Jember. Jember.

# BAB 11

## VALUASI EKONOMI LIMBAH

Oleh Thomas Robert Hutauruk

### 11.1 Pendahuluan

Pengukuran valuasi ekonomi lingkungan adalah sesuatu yang sangat penting dalam pembahasan masalah ekonomi lingkungan, yaitu untuk:

- (1) penentuan tingkat polusi optimal;
- (2) konsep kerusakan marjinal (*marginal damage cost*) dan biaya penanggulangan marjinal (*marginal abatement cost*);
- (3) pengukuran nilai dalam analisis biaya-manfaat; dan
- (4) pilihan di antara alternatif-alternatif perbandingan biaya-biaya dan manfaat-manfaat pada setiap pilihan tersebut.

Worldbank mencatat terjadi peningkatan limbah padat perkotaan akibat peningkatan gaya hidup, Diperkirakan pada tahun 2025 akan terjadi peningkatan jumlah penduduk perkotaan hingga 4,3 miliar yang akan menghasilkan limbah padat sekitar 1,42 kg/kapita/hari. Limbah akan terus ada sepanjang kebutuhan manusia terhadap barang masih terjadi. Limbah sendiri dihasilkan dari rangkaian suatu proses, mulai dari penyediaan, pengolahan, pengemasan, pengiriman, hingga penggunaan akhir. Ditinjau dari wujudnya, ada limbah padat, limbah cair, dan gas. Setiap limbah yang dilepas ke alam bebas akan menjadi persoalan bagi keseimbangan ekosistem. Timbulan limbah padat menimbulkan persoalan pada gangguan kesehatan, estetika, dan kerusakan lingkungan.

Demikian juga dengan limbah cair yang masuk ke badan air permukaan juga akan menimbulkan pencemaran dan kerusakan lingkungan. Limbah cair menjadi stimulus dalam meningkatkan daya rusak air bagi kehidupan makhluk hidup dan berbagai macam utilitas lingkungan. Selanjutnya limbah gas akan meningkatkan polutan di udara yang membahayakan kesehatan dan korosif bagi bangunan-bangunan gedung dan permukiman.

Sebagai upaya meminimalisir limbah yang terus meningkat United Nations Environment Programme (UNEP) pada tahun 1989 mencanangkan produksi bersih. Produksi bersih yang dimaksud tindakan dalam pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif atau pencegahan dan terpadu yang perlu diterapkan secara terus menerus pada proses produksi dan daur hidup produk dengan tujuan mengurangi resiko terhadap manusia dan lingkungan (UNEP, 1991).

Prinsip-prinsip pokok dalam strategi produksi bersih dalam Kebijakan Nasional Produksi Bersih (KLH, 2003) dituangkan dalam 5R (*Re-think, Re-use, Reduction, Recovery and Recycle*). • *Re-think* (berpikir ulang), adalah suatu konsep yang harus dimiliki pada saat awal kegiatan akan beroperasi, dengan implikasi : a) Diperlukan adanya tindakan perubahan dalam pola produksi dan konsumsi berlaku baik pada proses maupun produk yang dihasilkan, b) Tindakan produksi bersih tidak akan membuahkan hasil tanpa adanya perubahan dalam pola pikir, sikap dan tingkah laku dari semua pemangku kepentingan. • *Reduce* (pengurangan) adalah upaya untuk menurunkan atau mengurangi timbunan limbah di sumbernya. • *Reuse* (pakai ulang/penggunaan kembali) adalah upaya yang memungkinkan suatu limbah dapat digunakan kembali. • *Recycle* (daur ulang) adalah upaya mengolah limbah untuk memanfaatkannya menjadi produk lain yang memiliki nilai

ekonomis. • Recovery/Reclaim (pungut ulang, ambil ulang) adalah upaya mengambil bahan-bahan yang masih mempunyai valuasi ekonomi tinggi dari suatu limbah, kemudian dikembalikan ke dalam proses produksi.

Data Susenas 2014 menunjukkan bahwa perilaku 3-R masih jarang dilakukan oleh rumah tangga. Persentase rumah tangga yang paling sering memperlakukan sampah dengan mendaur ulang (0,19 persen), menjadikan kompos/pupuk (0,53 persen), dimanfaatkan untuk makanan hewan (0,26 persen) masih kurang dari satu persen. Sementara sekitar 54,65 persen rumah tangga paling sering membuang sampah dengan cara dibakar (Statistik Lingkungan Hidup Indonesia, 2017).

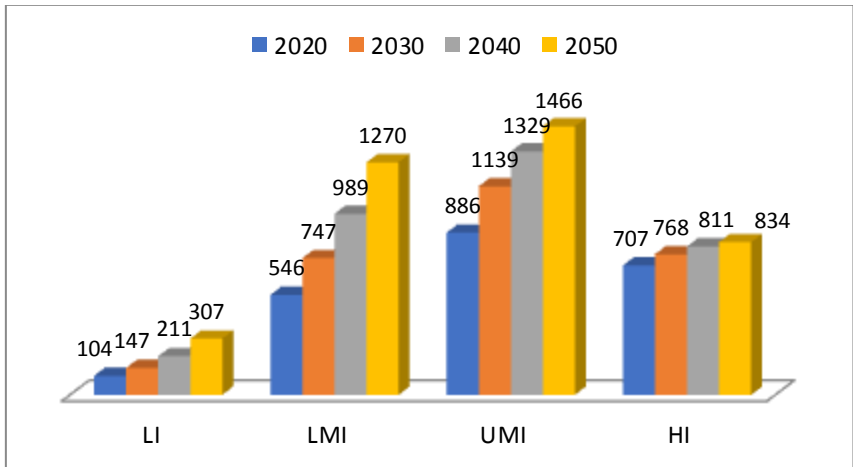
Konsep produksi bersih di atas, sangat baik untuk dapat diimplementasikan, hanya saja kerap kali untuk mengolah limbah menjadi sesuatu yang bermanfaat membutuhkan kemampuan teknologi dan sumberdaya manusia. Kondisi yang demikian menyebabkan masih banyaknya limbah-limbah rumah tangga maupun industri yang tidak termanfaatkan, bahkan menjadi pemicu terjadinya kerusakan dan penemaran lingkungan. Efek dari teknologi tinggi dan ekonomi produksi yang efektif mampu berkontribusi pada penurunan polusi, serta permintaan udara bersih.

Dalam tahun 2012 world Bank melaporkan bagaimana pengelolaan limbah seharusnya dilakukan, dengan melihat hubungan antara pendapatan per kapita penduduk terhadap limbah yang dihasilkan. Berdasarkan besarnya pendapatan per kapita World Bank membagi negara-negara menjadi 4 kelompok, yaitu: negara berpendapatan rendah (LI), negara berpendapatan menengah ke bawah (LMI), negara berpendapatan menengah ke atas (UHI), dan negara berpendapatan tinggi (HI). Berdasarkan data tersebut

Indonesia termasuk kelompok negara berpendapatan menengah ke bawah (Hoornweg and Tata, 2012).

Ada kecenderungan terjadi peningkatan limbah padat seiring dengan peningkatan pendapatan per kapita, meskipun peningkatan pendapatan per kapita juga berkorelasi dengan peningkatan kemampuan masyarakat melakukan pengelolaan terhadap limbah padat yang dihasilkan. Pada tahun 2020, negara berpenghasilan tinggi menghasilkan limbah padat rata-rata sebanyak 1,60 kg per orang per hari, dibandingkan dengan negara berpenghasilan rendah dengan produksi limbah padat mencapai 0,41 kg per orang per hari.

Worldbank memprediksi pada tahun 2050 terjadi pertumbuhan limbah padat perkotaan hingga mencapai 3.88 miliar ton. Peningkatan limbah sebesar 1,09 kg per kapita per hari. Selanjutnya, dengan asumsi penggunaan teknologi pengolahan limbah tidak berubah, maka akan terjadi penumpukan limbah padat yang tidak dikelola sebanyak 3,32 miliar ton, sebagai akumulasi dari produksi limbah padat tidak termanfaatkan rata-rata 0,94 kg per kapita per hari (Kaza *et al*, 2021) .



**Gambar 10.1.** Proyeksi Total Limbah Padat Perkotaan yang Dihasilkan Berdasarkan Kelompok Pendapatan (dalam juta ton)

Di Indonesia sendiri diperkirakan, setiap rumah tangga/penduduk di Indonesia dapat menghasilkan limbah padat sebanyak 0,52 kg per kapita per hari (Jambeck, *et al*, 2015).

## 11.2 Permasalahan dan Solusi Limbah Industri

Limbah industri dilihat dari jenisnya terdiri dari cair, padat, dan gas. Limbah cair industri merupakan limbah dalam wujud cair baik berupa zat kimia pelarut atau larutan yang bercampur dengan zat-zat kimia tertentu. Limbah industri padat adalah limbah yang dihasilkan suatu proses industri dalam bentuk padatan. Limbah padat industri dapat berupa: 1) limbah padat rentan terbakar, 2) limbah padat sukar terbakar, 3) limbah padat mudah terurai, 4) limbah padat abu, 5) lumpur, 6) limbah padat dapat di daur ulang, 7) limbah padat radioaktif, dan 8) limbah padat infeksius.

Permasalahan pada limbah industri adalah komposisi pembentuk barang hasil industri yang mengandung unsur-unsur kimia tertentu, yang kebanyakan mengandung unsur Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) sehingga ketika langsung dilepas ke alam akan menimbulkan toksik, atau korosif yang dapat merusak dan mencemari lingkungan. Dari aspek biaya yang dikeluarkan dalam mengelola limbah industri yang mengandung unsur B3 akan lebih tinggi dibanding limbah industri yang tidak mengandung unsur B3.

**Tabel 11.1.** Perbandingan Biaya per satuan limbah industri tidak mengandung unsur Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dengan limbah industri mengandung unsur B3

| No. | Deskripsi         | Tidak Mengandung Unsur B3 | Mengandung Unsur B3 |
|-----|-------------------|---------------------------|---------------------|
| 1   | Biaya Penyimpanan | Rendah                    | Tinggi              |
| 2   | Biaya Angkutan    | Rendah                    | Tinggi              |
| 3   | Biaya Pemrosesan  | Rendah                    | Tinggi              |
| 4   | Biaya Pemusnahan  | Rendah                    | Tinggi              |
| 5   | Biaya Pemulihan   | Rendah                    | Tinggi              |

Di satu sisi limbah industri merupakan masalah lingkungan hidup yang keberadaannya cukup mengganggu kenyamanan, sehingga harus dimusnahkan. Namun, dengan kemajuan IPTEK membuat limbah memiliki nilai ekonomi. Sehingga dalam beberapa kasus limbah menjadi sumber pendapatan yang bernilai ekonomi tinggi.

### 11.3 Pendekatan Dalam Penentuan Valuasi Ekonomi Limbah

Secara fisik limbah merupakan barang tidak berguna, yang sudah tidak dimanfaatkan lagi karena alasan-alasan tentu. Alasan tertentu yang dimaksud dapat karena nilai guna menurun sebagian atau keseluruhan, adanya barang substitusi yang lebih efisien, perubahan preferensi pengguna barang, atau perubahan standar dengan barang komplementernya.

- a. karena nilai guna menurun sebagian atau keseluruhan

Menurunnya nilai guna suatu barang terjadi karena dikonsumsi atau digunakan berulang kali secara terus-menerus yang menyebabkan menurunnya nilai teknis. Nilai teknis juga dapat menurun karena barang tidak pernah digunakan atau lama tidak digunakan. Misalnya untuk jenis barang-barang elektrik. Penurunan nilai teknis akan menimbulkan gangguan kenyamanan dalam penggunaan barang, sehingga akan diabaikan yang berujung pada perubahan dari barang berguna menjadi limbah.

Beberapa ahli ekonomi menggambarkan kurva nilai guna suatu barang sebagai bentuk lengkung yang menunjukkan bahwa nilai guna akan meningkat sehubungan dengan penggunaan yang berulang, namun pada titik tertentu akan mencapai titik optimal dan selanjutnya menurun seiring dengan pertambahan waktu penggunaan.

- b. adanya barang substitusi yang lebih efisien

Munculnya produk-produk baru yang lebih efisien akan berdampak pada menurunnya nilai guna produk-produk yang telah digunakan sebelumnya. Contoh penggunaan huller sebagai mesin pengolah padi menjadi beras yang semula digerakkan mesin manual dengan sistem analog, dengan kemajuan teknologi telah menciptakan mesin



huller dengan sistem digital, telah menggeser penggunaan mesin huller sistem analog, yang pada saatnya akan menjadi limbah padat.

c. perubahan preferensi pengguna barang

Preferensi yang dimiliki seseorang akan menentukan keputusan dalam penggunaan suatu barang. Seseorang dengan pengetahuan dan pengalaman yang cukup akan memilih atau menggunakan barang yang lebih efisien dan efektif. Sehingga barang-barang yang tidak efektif dan efisien akan tersingkir menjadi limbah. Di sini ada korelasi antara peningkatan kemampuan sumber daya manusia dengan pemilihan barang hasil industri yang tepat.

d. Perubahan standar dengan produk komplementernya

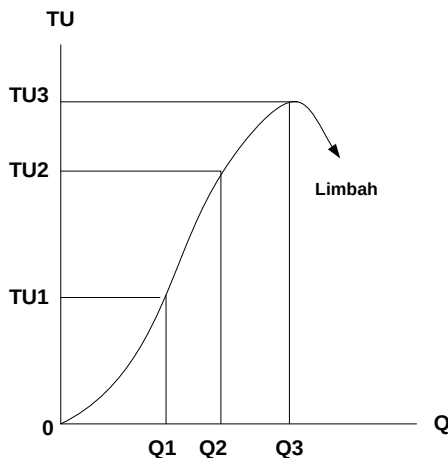
Perubahan standar suatu jenis barang yang biasa digunakan dalam mendukung suatu aktifitas akan berdampak langsung pada nilai guna produk komplementer yang mengikutinya. Misalnya, dalam penggunaan memory Laptop yang semula hanya cukup hingga 2 Gigabyte, namun seiring dengan meningkatnya kebutuhan yang membutuhkan memori lebih besar, maka memori 2 Gigabyte sudah tidak digunakan lagi sehingga memori 2 Gigabyte atau di bawahnya menjadi tidak terpakai yang pada akhirnya menjadi limbah. Demikian pula masih banyak produk komplementer yang melekat pada produk-produk elektronik yang akan menjadi limbah saat tidak lagi mampu memenuhi kebutuhan.

Nilai guna suatu barang akan berdampak pada nilai ekonomi. Nilai guna searah dengan nilai ekonomi suatu barang. Semakin tinggi atau beragam nilai guna suatu barang maka nilai ekonominya pun akan semakin tinggi, demikian berlaku sebaliknya. Sebuah barang yang telah berubah menjadi limbah akan memiliki nilai ekonomi rendah. Namun, dengan kemajuan

Ilmu Pengetahuan dan Teknologi akan mengangkat nilai ekonomi limbah, sehingga terjadi pegeseran persepsi dari angapan limbah yang tidak berguna menjadi sesuatu yang sangat berharga. Dengan demikian limbah bernilai ekonomi bila memiliki nilai guna.

Sesuai dengan teori nilai guna “Tambahan nilai guna yang akan diperoleh seseorang dari mengkonsumsi suatu barang akan menjadi semakin sedikit apabila orang tersebut terus menerus menambah konsumsinya atas barang tersebut dan pada akhirnya tambahan nilai guna akan menjadi negatif”

Pada Gambar 11.2. nampak bahwa terjadinya penggunaan barang tertentu dalam jumlah tertentu selama kurun waktu tertentu akan menurunkan nilai teknis yang diikuti dengan turunnya nilai ekonomis. Setiap barang akan menjadi limbah, namun karena limbah yang tidak dikelola akan menimbulkan persoalan lingkungan, maka limbah yang dihasilkan diminimalisir, di antaranya dengan menaikkan status limbah menjadi barang-barang yang bernilai ekonomis.



**Gambar 11.2.** Kurva Utilitas

Untuk menentukan Valuasi ekonomi limbah, dapat menggunakan pendekatan nilai jual dan nilai jasa pemusnahan. Pendekatan nilai jual dilakukan dengan cara memperhitungkan selisih dari nilai manfaat dengan banyaknya biaya yang dikeluarkan dalam mengolah limbah terbuang menjadi barang bermanfaat. Sedangkan pendekatan nilai jasa pemusnahan adalah nilai yang melekat pada limbah yang akan dimusnahkan. Meskipun ada dua pendekatan yang dapat digunakan sesuai dengan tujuan pengelolaan limbah, namun pada prinsipnya komponen biaya terbagi menjadi biaya jasa penyimpanan sementara, biaya jasa pengangkutan, biaya jasa pengolahan, biaya jasa pemrosesan akhir/pemusnahan. Gabungan semua komponen akan membentuk biaya total pengelolaan limbah. David Perce *dalam* Suparmoko dan Maria Ratnaningsing membagi teknik melakukan valuasi ekonomi terhadap lingkungan menjadi 3 (tiga), yaitu harga pasar, nilai barang substitusi/komplemen, dan survei. Hal ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

**Tabel 11.2.** Teknik Valuasi Ekonomi Lingkungan

| Harga Pasar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Nilai barang substitusi/komplemen                                                                                                                                                                                                       | Survei                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Metode Langsung</p> <p>-Harga neto (rente ekonomi) atau harga yang dapat dibayarkan langsung.</p> <p>Metode Tak Langsung</p> <p>- Modal manusia:</p> <p>+ perubahan produktivitas</p> <p>+ Biaya sakit</p> <p>+ Hilangnya waktu kerja</p> <p>- Biaya kesempatan (opportunity cost)</p> <p>- Proyek bayangan</p> <p>- Biaya pencegahan</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Biaya pengangkutan</li> <li>2. Biaya penyimpanan sementara</li> <li>3. Biaya pengolahan</li> <li>4. Biaya pemrosesan akhir/pemusnahan.</li> <li>5. Biaya investasi alat pemrosesan</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lelang (kesediaan membayar atau kesediaan menerima pembayaran)</li> <li>2. Suvei langsung (kesediaan membayar atau kesediaan menerima pembayaran)</li> <li>3. Teknik Panel "Delphi"</li> </ol> |

### 11.3.1 Metode Langsung

Metode langsung yang dimaksud adalah dengan menentukan secara langsung valuasi ekonomi sesuatu jenis limbah. Metode yang digunakan valuasi kontingensi.

Metode valuasi kontingensi ditentukan dengan cara kesepakatan antara produsen/penjual limbah dengan pembeli. Pada kasus tertentu nilai limbah telah ditentukan dalam suatu katalog. Tinggi atau rendahnya nilai ekonomi limbah tergantung pada nilai guna yang masih dimiliki. Misalnya untuk limbah alat berat yang telah tidak dioperasikan lagi, maka yang bernilai ekonomi adalah harga satuan berat besi tua atau bagian (komponen) yang masih memiliki nilai guna. Artinya sebuah barang yang dianggap limbah, ketika ada yang membutuhkan karena memiliki nilaiguna, maka limbah tersebut memiliki nilai ekonomi. Metode langsung cocok digunakan untuk melakukan valuasi ekonomi limbah yang bersifat padat.

### 11.3.2 Metode Tidak Langsung

Di sini untuk menentukan valuasi ekonomi limbah dengan metode tidak langsung dapat menggunakan pendekatan pada nilai kerugian yang timbul. Metode tidak langsung dapat dilakukan dengan pendekatan metode biaya pengganti (*Replacement Cost Method* = RCM), yang dihitung berdasarkan pada biaya ganti rugi dan pemulihan kerusakan dan/atau pencemaran lingkungan akibat limbah. Metode tidak langsung cocok digunakan untuk melakukan valuasi ekonomi limbah yang bersifat cair dan gas.

### 11.4 Valuasi Ekonomi Total (*Total Economic Value* , TEV)

Perhitungan valuasi ekonomi limbah dilakukan sebagai upaya untuk memberikan nilai kuantitatif terhadap limbah yang dihasilkan atas dasar nilai pasar maupun nilai non pasar (Suparmoko, 2014). Dengan kata lain, valuasi ekonomi lingkungan dalam pemanfaatan limbah merupakan upaya mengestimasi nilai uang (nominal) dari limbah yang dihasilkan. Limbah tersebut dinilai menggunakan pendekatan harga pasar yang sebenarnya dengan teknik perhitungan berupa Metode Perubahan Produktivitas dan Metode Biaya Pengganti. Valuasi ekonomi limbah sendiri merupakan Valuasi Ekonomi Total.

Konsep Valuasi Ekonomi Total (TEV) pada dasarnya menilai semua yang tercakup dalam aset lingkungan yang dibagi menurut nilai manfaat atau bukan manfaat (manfaat pasif) (Pearce *et al.*, 2006). Dalam kasus tertentu, Valuasi Ekonomi Total merupakan gabungan valuasi ekologi, valuasi sosial, dan valuasi ekonomi. Namun dalam kasus yang lain Valuasi Ekonomi Total merupakan penjumlahan seluruh nilai guna langsung, nilai guna tak langsung, nilai pilihan dan nilai keberadaan (Ariftia, 2014).

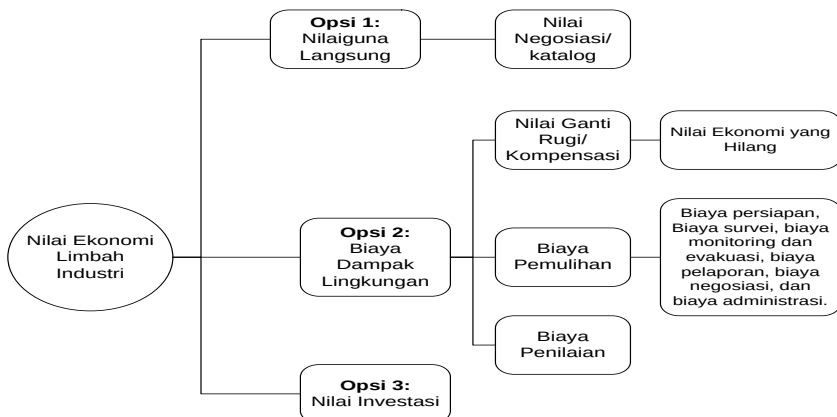
Penghitungan total nilai kerugian dampak pencemaran limbah industri tergantung pada kepentingan pengambil keputusan. Dalam hal ini ada 3 skenario yang kemungkinan dilakukan.

- (1) Valuasi ekonomi limbah berdasarkan pada manfaat langsung limbah yang ada, yaitu dengan pertimbangan nilai guna yang terkandung pada limbah dimaksud. Di sini nilai ekonomi limbah merupakan harga barang yang dinilai dari hasil negosiasi atau sebagaimana tertera pada katalog.

(2) Valuasi ekonomi limbah berdasarkan pada dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan. Disini ada 3 (tiga) komponen nilai yang diperhitungkan, yaitu Nilai Ganti Rugi / kompensasi (*Compensable Value*), Biaya Pemulihan (*Restoration Cost*) dan Biaya Penilaian (*Assesment Cost*) (Ofiara & Seneca, 2001).

Penilaian kerusakan (*damage assessment*) untuk menentukan nilai ganti kerugian yang dialami masyarakat terdampak. Penentuan ganti kerugian dilakukan melalui *privat settlement* (antara pihak yang terlibat).

(3) Valuasi ekonomi limbah adalah investasi yang dilakukan dalam rangka membangun infrastruktur untuk mengatasi permasalahan limbah di masyarakat.



**Gambar 11.3.** Tiga Opsi Menghitung Valuasi Ekonomi Limbah

Dalam melakukan valuasi limbah perlu mempertimbangkan: jenis limbah, peluang pasar, hasil akhir yang diharapkan, dan teknologi pengolahan yang digunakan. Prinsip Pencemar Berkewajiban Membayar (*application of polluter must pay principle*), mengingatkan bahwa setiap pencemar memiliki kewajiban untuk menanggung biaya yang

dibutuhkan untuk penanganan dan pemulihan. Untuk merealisasikan penggantian kerugian atas pencemaran/kerusakan lingkungan perlu proses identifikasi yang terinci dan terukur.

Berikut beberapa tahap yang dapat dilakukan terhadap lingkungan yang terdampak pencemaran/kerusakan lingkungan:

- 1) Klasifikasi terhadap proses terjadinya pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan. Verifikasi dugaan terjadinya pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan dilakukan melalui 2 langkah:
  - a. Identifikasi sumber pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan.
  - b. Proses terjadinya pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan.
- 2) Identifikasi lingkungan yang terkena pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan terdiri dari langkah-langkah:
  - a. Identifikasi jenis media lingkungan yang tercemar dan/atau rusak.
  - b. Penghitungan lamanya pencemaran dan/atau kerusakan berlangsung.
  - c. Identifikasi pencemaran dan/atau kerusakan terjadi secara langsung atau tidak langsung.
  - d. Pengukuran derajat pencemaran dan/atau kerusakan yang terjadi (menyangkut skala spasial dan jumlah pihak yang terlibat).
  - e. Identifikasi status kepemilikan sumber daya alam dan lingkungan, terdiri dari:
    - (1) lingkungan milik publik
    - (2) lingkungan milik perorangan:
      - (a) siapa pemilik lingkungan yang sebenarnya
      - (b) tipe hak pemilik (individu, komunal, sewa, hak milik, dan lain-lain)
      - (c) durasi kepemilikan



(d) intensitas pemanfaatan dengan kepemilikan lingkungan  
Hasil identifikasi di atas sangat bermanfaat dalam menentukan nilai ganti kerugian bagi pihak-pihak terdampak.

11.5 Model Valuasi Ekonomi Limbah

Salah satu contoh dalam melakukan valuasi ekonomi limbah adalah pada kasus pencemaran limbah minyak di perairan. Perhitungan dimaksudkan untuk mengetahui berapa besar nilai ganti rugi yang harus ditanggung oleh di pelaku pencemar.

(1) Nilai Ganti Rugi/Kompensasi (*Compensable Value*)

Nilai Ganti Rugi/Kompensasi merupakan segala sesuatu yang diterima dapat berupa fisik maupun non fisik dan harus dihitung dan diberikan kepada pihak objek yang terkena dampak tumpahan minyak. Nilai ganti rugi akibat tumpahan limbah minyak dihitung dengan pendekatan nilai ekonomi yang hilang.

Tabel 11.3. Pendekatan Valuasi Ekonomi Yang Hilang

| No | Jenis Valuasi Ekonomi yang Hilang                                                                       | Teknik Analisis Data                                                                              |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Nilai ekonomi yang hilang dari aktivitas Penangkapan Ikan (ekosistem terumbu karang, mangrove dan laut) | Effect on Production (Pendekatan Pendapatan, Residual Rent) / Analisis Biaya Manfaat /Bio Ekonomi |
| 2  | Nilai ekonomi yang hilang dari aktivitas budi daya (darat, payau dan laut)                              | Effect on Production (Pendekatan Pendapatan, Residual Rent) / Analisis Biaya Manfaat              |
| 3  | Nilai ekonomi yang hilang dari aktivitas terkait                                                        | Metode Biaya Perjalanan                                                                           |

| No | Jenis Valuasi Ekonomi yang Hilang                                                                                    | Teknik Analisis Data                                           |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 4  | Nilai ekonomi dari kerusakan ekosistem pesisir (mangrove, terumbu karang dan lamun)                                  | Metode Biaya Pengganti / Benefit Transfer                      |
| 5  | Nilai ekonomi yang hilang dari aktivitas pengolahan perikanan                                                        | Pendekatan Pendapatan, Residual Rent) / Analisis Biaya Manfaat |
| 6  | Nilai ekonomi yang hilang dari terganggunya estetika lingkungan pesisir                                              | Metode Valuasi Kontinen                                        |
| 7  | Nilai ekonomi yang hilang dari kerusakan alat produksi penangkapan (kapal, alat tangkap, dan alat bantu penangkapan) | Metode Biaya Pengganti                                         |
| 8  | Nilai ekonomi yang hilang dari kerusakan sarana produksi budidaya (Keramba, Tambak dan lainnya                       | Metode Biaya Pengganti                                         |
| 9  | Nilai ekonomi yang hilang dari kerusakan sarana dan prasarana wisata terkait.                                        | Metode Biaya Pengganti                                         |

Sumber: Costanza *et al.* (1997); Nunes *et al.* (2000); Adrianto (2006) dalam Ramadhan *et al* (2017)

## (2) Biaya Pemulihan (*Restoration Cost*)

Tindakan pemulihan merupakan bagian dari upaya pengendalian pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup yang dilaksanakan dalam rangka pelestarian lingkungan. Biaya pemulihan adalah biaya yang dikeluarkan untuk menjadikan lingkungan hidup

atau bagian-bagiannya berfungsi kembali sebagaimana adanya. Lingkungan hidup yang tercemar dan/atau rusak harus dipulihkan sebagai bentuk pertanggungjawaban atas pemanfaatan sumberdaya alam, sehingga dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan.

**Tabel 11.4.** Pendekatan Biaya Pemulihan

| No | Jenis Biaya Pemulihan                                                        | Teknik Analisis Data |
|----|------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 1  | Biaya Pembersihan Tumpahan Minyak pada Kawasan Pesisir dan Laut              | Analisis Biaya       |
| 2  | Biaya Rehabilitasi Lingkungan Ekosistem (Mangrove, Terumbu Karang dan Lamun) | Analisis Biaya       |

Sumber: Costanza *et al.* (1997); Nunes *et al.* (2000); Adrianto (2006) dalam Ramadhan *et al* (2017)

### (3) Biaya Penilaian (*Assessment Cost*)

Biaya penilaian yang dilakukan terhadap limbah cair tumpahan minyak yang dimaksud di sini adalah semua biaya yang dikeluarkan oleh penanggung jawab kegiatan mulai dari persiapan, proses sampai dengan pelaporan.

**Tabel 11.5.** Pendekatan Biaya Penilaian

| No | Jenis Biaya Penilaian          | Teknik Analisis Data |
|----|--------------------------------|----------------------|
| 1  | Biaya Persiapan                | Analisis Biaya       |
| 2  | Biaya Survey                   | Analisis Biaya       |
| 3  | Biaya Monitoring               | Analisis Biaya       |
| 4  | Biaya Evaluasi                 | Analisis Biaya       |
| 5  | Biaya Pelaporan                | Analisis Biaya       |
| 6  | Biaya Negosiasi dan Penuntutan | Analisis Biaya       |
| 7  | Biaya Administrasi             | Analisis Biaya       |

Sumber: Costanza *et al.* (1997); Nunes *et al.* (2000); Adrianto (2006) dalam Ramadhan *et al* (2017)

Melalui pendekatan valuasi ekonomi di atas, maka dalam kasus tumpahan minyak yang pernah terjadi di beberapa tempat (perairan) telah membantu dalam perhitungan kerugian yang harus ditanggung oleh pelaku pencemaran.

Salah satunya adalah contoh yang diberikan oleh Ramadhan *et al* (2017) yaitu kasus tumpahan minyak di Teluk Meksiko tahun 2010. Kasus yang terjadi pada tahun 1989 ini dikenal dengan *Exxon Valdez spill* sebagai dasar penghitungan ganti rugi (Roach *et al.*, 2010). Estimasi kerugian diperkirakan mencapai US \$ 40 milyar sampai dengan US \$ 100 milyar dimana minyak tertumpah sebesar 4,9 juta barrel. Penerapan prinsip pencemar membayar kemudian diterapkan dalam kasus ini dimana Amerika menggunakan *Clean Water Act* (CWA) dalam pengenaan denda kepada pencemar. Berdasarkan CWA setiap minyak yang tertumpah dapat dikenakan denda sebesar US \$ 1.100 sampai dengan US \$ 4.300 jika kejadian tumpahan murni akibat kelalaian pengelola. Dengan demikian estimasi total denda yang harus ditanggung oleh pencemar adalah US \$ 5,4 milyar – US \$ 21 Milyar. Pada kasus ini, pengenaan denda berdasarkan aturan hukum yang berlaku, berada jauh dari nilai estimasi kerugian yang ditimbulkan.

Dari apa yang telah dijelaskan sebelumnya, maka pilihan dalam menentukan metode dan formulasi Valuasi Ekonomi Limbah bergantung pada jenis limbah dan tujuan melakukan valuasi. Berikut adalah beberapa contoh model valuasi ekonomi limbah yang pernah dilakukan..

Tabel 11.6. Beberapa Model Valuasi Ekonomi Limbah

| No. | Model Valuasi                                                                                       | Formulasi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Tujuan Valuasi                                                                                                                                                 |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Valuasi Ekonomi Pemanfaatan Limbah Langsung                                                         | $TEV = DUV = P1.Q1 + P2.Q2 + P3.Q3$<br>Keterangan:<br>$DUV = \text{Nilai Manfaat Langsung}$<br>$P1 = \text{Harga Sampah Plastik (Rp)}$<br>$Q1 = \text{Sampah Plastik (Kg)}$<br>$P2 = \text{Harga Sampah Nonplastik (Rp)}$<br>$Q2 = \text{Sampah Non plastik (Kg)}$<br>$P3 = \text{Harga Sampah Organik (Rp)}$<br>$Q3 = \text{Sampah Organik (Kg)}$<br>$\text{Nilai Ekonomi Pertahun} = TEV \times 12$                  | Mengetahui Nilai manfaat langsung yang didapatkan masyarakat sekitaran Tempat Pembuangan Akhir (TPA)                                                           |
| 2.  | Valuasi Ekonomi Dampak Tumpahan Minyak Di Wilayah Pesisir Dan Laut                                  | $TEV = \text{total nilai dampak ekonomi} = LC + RhC + ACL$<br>$LC = \text{biaya kerugian ekonomi yang dikompensasi}$<br>$RhC = \text{biaya rehabilitasi}$<br>$ACL = \text{biaya administrasi penghitungan kerugian}$                                                                                                                                                                                                   | Mengetahui berapa besar nilai pertanggungjawaban bagi pelaku pencemaran untuk memulihkan lingkungan hidup                                                      |
| 3.  | Valuasi Ekonomi Limbah Cair sebagai Peningkat Produksi Pertanian dan Pengurang Biaya Input Produksi | <b>Peningkat Produksi Pertanian:</b><br>$VLc = (Q1 - Q2) \times Hp \times Ls$<br>Keterangan :<br>$VLc = \text{Nilai Limbah Cair (Rp)}$<br>$Q1 = \text{Produksi padi pada sawah yang tercampur limbah cair (kg/Ha)}$<br>$Q2 = \text{Produksi padi pada sawah yang tidak tercampur limbah cair (kg/Ha)}$<br>$Hp = \text{Harga Padi (Rp)}$<br>$Ls = \text{Luas Sawah Irigasi (Ha)}$<br><b>Pengurang Biaya-Biaya Input</b> | Penggunaan valuasi ekonomi limbah cair bermanfaat dalam memperhitungkan peningkatan produksi di satu sisi, sementara di sisi lain menurunkan penggunaan input. |

| No. | Model Valuasi                                        | Formulasi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Tujuan Valuasi                                                                                                                                                                               |
|-----|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     |                                                      | <b>Produksi</b><br>$VL_c = (N1 - N2) \times P_p \times L_s$<br>$VL_c =$ Nilai Limbah Cair (Rp)<br>$N1$ = Jumlah penggunaan pupuk pada sawah yang tidak tercampur limbah cair (kg/Ha)<br>$N2$ = Jumlah penggunaan pupuk pada sawah yang tercampur limbah cair (kg/Ha)<br>$P_p$ = Harga Pupuk (Rp)<br>$L_s$ = Luas Sawah Irigasi (Ha)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                              |
| 4.  | Valuasi Ekonomi Lingkungan Pemanfaatan Limbah Cair   | <b><math>TEV = VL_p + VL_c</math></b><br><b><math>VL = (N1 - N2) \times P_p \times L_{la}</math></b><br>Keterangan:<br>$VL$ = Nilai Ekonomi Limbah (Rp)<br>$N1$ = Jumlah penggunaan pupuk pada lahan yang tidak tercampur limbah (kg/Ha)<br>$N2$ = Jumlah penggunaan pupuk pada lahan yang tercampur limbah (kg/Ha)<br>$P_p$ = Harga Pupuk (Rp)<br>$L_{la}$ = Luas Lahan Aplikasi (Ha)<br>Valuasi Ekonomi Limbah Cair <i>Sludge</i> sebagai Pengurang Biaya Input Produksi<br><b><math>VL_p = (N1 - N2) \times P_p \times L_{la}</math></b><br>Valuasi Ekonomi limbah padat tankos sebagai Pengurang Biaya Input Produksi<br><b><math>VL_c = (N1 - N2) \times P_p \times L_{la}</math></b> | Pada kasus ini perhitungan nilai ekonomi mempergunakan Teknik Perubahan Produktivitas, yaitu nilai ekonomi limbah sebagai pengurang biaya-biaya input produksi (mengurangi penggunaan pupuk) |
| 5.  | Valuasi Ekonomi Total dari Pemanfaatan <b>Limbah</b> | <b><math>TEV = (DUV1 + DUV2 + DUV3 + \dots + DUVn) + (IUV1 + IUV2 + IUV3 + \dots + IUVn)</math></b><br>Keterangan:<br>$DUV$ = Nilai Guna Langsung<br>$IUV$ = Nilai Guna Tidak Langsung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Hubungan antara Nilai Guna Langsung dan Nilai Guna Tidak Langsung menggambarkan perbandingan besar manfaat yang                                                                              |

• Pengendalian Limbah Industri

---

| No. | Model Valuasi | Formulasi | Tujuan Valuasi                                                                                                                                                                       |
|-----|---------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     |               |           | diperoleh hasil klasifikasi Nilai Guna Langsung yang lebih kecil daripada Nilai Guna Tidak Langsung dapat dikatakan untuk menunjukkan manfaat yang didapatkan oleh penghasil limbah. |

## DAFTAR PUSTAKA

- Ariftia, R.I; Qurniati, R. dan Herwanti, S. 2014. Nilai Ekonomi Total Hutan Mangrove Desa Margasari kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Sylva Lestari*. Vol. 2(3): 19-28.
- Febian, Afirus; Biyatmoko, Danang; Akbar; Arief R. M. dan Emmy Lilimantik. 2020. Nilai Ekonomi Lingkungan Pemanfaatan Limbah Cair Dan Limbah Tankos Hasil Pengolahan Industri Kelapa Sawit PT. Musirawas Citraharpindo. *EnviroSciencieae* Vol. 16 (3): 351-357.
- Hoorneweg, Daniel and Tata, Perinaz Bhada. 2012. *A Waste: A Global Review of Solid Waste Management*. Worldbank.
- Kaza, Silpa, Siddarth Shrikanth, and Sarur Chaudhary. 2021. *More Growth, Less Garbage. Urban Development Series*. Washington, DC: World Bank. doi:10.1596/978-1-4648 - 1329-0. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO
- Nunes, Paulo A.L.D; Jeroen C.J.M van den Bergh and Peter Nijkamp. 2000. *Ecological - Economic Analysis and Valuation of Biodiversity*. The Netherlands: Department of Spatial Economics, Free University, Amsterdam.
- Ofiara, D.D. and J.J. Seneca. 2001. *Economic Losses from Marine Pollution : A Hand Book for Assessment*. Washington D.C.: Island Press.
- Pearce, D., G. Atkinson and S. Mouratou. 2006. *Cost-Benefit Analysis and The Environment: Recent Developments*. France: Organisation for Economic Cooperation and Development. OECD Publishing.
- Ramadhan, Andrian; Suryawati, Siti Hajar dan Koeshendrajana Sonny. 2017. Pendekatan Valuasi Ekonomi Untuk Menghitung Dampak Ekonomi Akibat Tumpahan Minyak Di Wilayah Pesisir dan Laut. *Jurnal Sosek KP* Vol. 12 (1): 1-10



- Roach, B., J. M. Harris and A. Williamson. 2010. The Gulf Oil Spill: Economics and Policy Issues. Global Development And Environment Institute. Medford: Tufts University.
- Statistik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Tahun 2017. Jakarta: Pusat Data dan Informasi Sekretaris Jenderal Kementerian lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Suparmoko; Sudirman, Dadang; Setyarko, Yugi; dan Wibowo, Haryo Setyo. 2014. Valuasi Ekonomi Sumberdaya Alam dan Lingkungan. Edisi Pertama. Yogyakarta: Fakultas Ekonomi dan Bisnis UGM.

# **BAB 12**

## **PENGELOLAAN LIMBAH INDUSTRI**

### **MEBEL**

**Oleh Sri Andayani**

#### **12.1 Pendahuluan**

Saat ini perkembangan sektor industri di Indonesia semakin meningkat, hal tersebut tentunya akan menimbulkan dampak baik yang menguntungkan (positif) maupun merugikan (negative). Terciptanya lapangan pekerjaan yang banyak, merupakan dampak positif dari adanya perkembangan sektor industri. Selain itu meningkatnya sektor industri tentunya juga akan memanfaatkan teknologi di berbagai bidang. Disamping dampak positif, akibat berkembangnya sektor industri juga akan menimbulkan dampak negatif. Limbah industri merupakan contoh dampak negatif yang ditimbulkan akibat berkembangnya sektor industri. Apabila limbah industri ini dibiarkan saja maka akan merugikan masyarakat sekitar dan mencemari lingkungan.

Saat ini di daerah-daerah tertentu di Indonesia, industri mebel masih menjadi primadona, dikarenakan di kalangan perdagangan dunia, industri mebel masih memiliki pamor yang menggembirakan. Di Indonesia, industri mebel tersebar hampir diseluruh Propinsi. Industri mebel berbahan dasar kayu memiliki peluang yang sangat menggiurkan untuk senantiasa dikembangkan, seiring dengan permintaan masyarakat akan alat-alat seperti meja, kursi, pintu, jendela yang semakin

meningkat. Meningkatnya industri mebel merupakan potensi ekonomi yang pertumbuhannya harus selalu didorong agar mampu memberikan kontribusinya terhadap perekonomian daerah dan nasional.dari waktu ke waktu.

Dari data statistik, tercatat bahwa pada tahun 2021, terdapat kenaikan industri furniture sebesar 8,16% yang mana produk domestik bruto (PDB) atas dasar harga konstan (ADHK) industri furnitur pada tahun tersebut sebesar Rp29,39 triliun. Sementara pada tahun 2020 hanya mencapai Rp27,17 (Karnadi, 2022).

Semakin meningkatnya produksi mebel ini, maka hasil buangannya juga semakin besar. Apabila limbah tersebut tidak ditanggulangi dengan seksama maka pencemaran lingkungan pasti akan terjadi.

Beberapa hal yang dapat ditimbulkan akibat adanya limbah industri yang tidak ditangani dengan baik antara lain :

- Timbulnya gas yang bersifat racun, seperti amoniak dan asam sulfat
- Kualitas udara yang menurun akibat adanya sampah yang ditumpuk
- Kualitas air menjadi menurun
- Permukaan tanah menjadi rusak
- Timbulnya berbagai macam penyakit seperti penyakit leptospirosis, penyakit diare dan penyakit kulit.

Masalah pencemaran lingkungan sangat penting untuk diselesaikan, tidak boleh dianggap sepele, karena terkait dengan kehidupan manusia, selain itu juga terkait dengan kesehatan dan keselamatan manusia. Oleh karena itu perlu dilakukan pengelolaan hasil buangan industri dengan benar untuk mencegah terjadinya pencemaran lingkungan.

## 12.2 Limbah Hasil dari Industri Mebel

Rotan, kayu atau bahan alami lainnya yang diolah dari bahan baku ataupun bahan separuh jadi menjadi benda jadi, berupa mebel, maka industrinya disebut dengan industri mebel. Bahan-bahan seperti kayu, rotan dan bahan alami lainnya akan mempunyai nilai tambah dan manfaat yang lebih tinggi setelah dilakukan pengolahan. Barang-barang yang dihasilkan dari industri mebel biasanya memiliki nilai seni cukup tinggi, dengan demikian barang-barang yang dihasilkan dari industri mebel merupakan salah satu komoditas ekspor sebagai penghasil devisa negara sesudah minyak dan gas. Pasar industri mebel masih memiliki peluang yang cukup besar untuk dikembangkan dengan semakin terbukanya peluang ekspor. (Shalehah, Muttalib dan Nasrullah, 2017).

Semakin meningkatnya industri mebel, maka limbahnya juga akan semakin meningkat. Limbah adalah bahan yang karena sifatnya, konsentrasinya, dan jumlahnya dapat membahayakan lingkungan, kesehatan, kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya baik secara langsung maupun tidak langsung. (Khalid, 2021).

Perkembangan industri di Indonesia saat ini lumayan besar serta bisa digolongkan sebagai negara semi industri (semi industrialized country), maka pengelolaan lingkungan hidup dengan baik dan benar wajib dilakukan bersama-sama antara pemerintah, maupun pelaku industri, dan masyarakat luas.

Pengelolaan berbagai jenis limbah atau sampah yang dihasilkan dari industri terkadang dikesampingkan oleh para pelaku industrinya. Sebagian dari para pelaku industri belum tanggap terhadap pentingnya mengendalikan pencemaran lingkungan akibat proses bisnis yang dilakukannya. Padahal telah diketahui bahwa limbah amat tidak baik untuk kesehatan ataupun kelangsungan kehidupan warga umumnya.

Sampah atau limbah jika dilihat secara sekilas merupakan bahan yang tidak ada artinya, sehingga biasanya langsung dibuang oleh kebanyakan orang, namun jika dikelola dengan benar, sampah ini akan menjadi sesuatu yang dapat dijadikan sebagai peluang wirausaha.

Yang penulis maksud dengan mebel dalam tulisan ini yaitu perlengkapan rumah yang mencakup semua barang yang terbuat dari kayu seperti kursi, meja, lemari, pintu, jendela.

Mempersiapkan bahan baku, melaksanakan proses produksi, dan melakukan pengemasan produk merupakan tahapan yang dilakukan dalam menghasilkan industri mebel. Hal ini dimulai dengan kayu dibersihkan dari kotoran yang menempel, selanjutnya kayu dipotong menjadi ukuran yang diinginkan kemudian penghalusan pada kayu tersebut sehingga kayu siap digunakan merupakan tahapan dalam mempersiapkan bahan baku. Pembuatan bahan baku jadi produk yang di idamkan ialah proses produksi. Penghalusan, pewarnaan (pengecatan), proses finishing dan pengepakan merupakan tahap terakhir yaitu pengemasan produk.

Sampah yang sering dihasilkan dari pembuatan mebel yaitu :

- a. Sampah kayu berupa : potongan-potongan kecil kayu, serutan kayu dan serbuk gergaji;
- b. Sampah non kayu berupa : peralatan bantu beserta limbah bahan finishing, bahan kimia sekunder, dan bahan untuk proses finishing seperti plastik pembungkus, kain, kertas amplas bekas dan kardus.

Yang akan penulis bahas disini dari beberapa limbah hasil industri mebel hanyalah limbah kayu berupa potongan-potongan kecil kayu, serutan kayu dan serbuk kayu hasil gergaji, yang mana sampah tersebut tidak mungkin untuk dikurangi dalam proses produksi mebel.

Limbah berupa potongan-potongan kecil kayu, serutan kayu dan serbuk gergaji yang dihasilkan dari produksi mebel,

merupakan limbah organik yang semuanya masih dapat dimanfaatkan lagi.

### **12.3 Pengelolaan Limbah Industri Mebel**

Penting untuk mengetahui cara pencegahan pencemaran lingkungan dengan melakukan pengelolaan limbah industri mebel secara benar. Hal ini dikarenakan pencemaran lingkungan merupakan masalah yang penting untuk diselesaikan sebab menyangkut kesehatan dan keselamatan kehidupan dan umat manusia.

Limbah padat berupa potongan-potongan kayu kecil serutan kayu dan serbuk gergaji merupakan limbah buangan dari hasil industri mebel. Limbah-limbah tersebut semuanya masih dapat dimanfaatkan, melalui pengelolaan dengan cara : Penimbunan, pembakaran, daur ulang dan pembuatan kompos.

#### **12.3.1 Penimbunan**

Bahan organik berbentuk padat berupa potongan-potongan kayu kecil, serutan kayu dan serbuk gergaji yang merupakan limbah mebel dapat dilakukan penimbunan dengan cara membuat lubang, kemudian limbah mebel tersebut dimasukkan ke dalam lubang tersebut, selanjutnya lubang ditutup dengan tanah. Timbunan limbah tersebut dapat menyuburkan tanah karena akan diuraikan oleh berbagai organisme pengurai.

#### **12.3.2 Pembakaran**

Pembakaran limbah mebel berupa bahan organik yang terdiri dari potongan-potongan kecil kayu, serutan kayu dan serbuk gergaji dilakukan sampai bahan organik tersebut menjadi abu.

Ada beberapa manfaat dari abu (Kumampung, 2021), yaitu :

1. Sebagai Nutrisi bagi Tanaman

Abu kayu mengandung unsur hara antara lain sekitar 20% unsur Ca, 5% kalium, 2% Mg, P dan S. Selain itu abu kayu juga mengandung Fe, Mn, Al Zn, B, yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang sedikit. Nutrisi tersebut dibutuhkan tanaman untuk tumbuh dan berkembang. Abu kayu juga bermanfaat untuk menaikkan pH tanah, hal ini dikarenakan abu kayu mengandung karbonat yang tinggi.

2. Abu Kayu sebagai Pembersih

Abu kayu bermanfaat untuk menghilangkan lemak dan noda pada permukaan benda-benda yang terbuat dari besi, perak dan lain sebagainya. Caranya dengan menggunakan kain yang sebelumnya sudah dibasahi air selanjutnya dicelupkan ke dalam abu kayu, kemudian diusapkan pada permukaan benda yang kotor yang terkena noda tadi, sehingga permukaan benda yang kotor menjadi segera bersih. Selain itu abu kayu juga berfungsi sebagai alkali jika dimasukkan ke dalam sabun.

3. Abu Kayu untuk Mengusir Siput

Siput dapat dicegah masuk ke areal tanaman, dengan cara menaburkan abu kayu mengitari tanaman, usahakan tidak ada celah yang dapat dilewati siput. Abu ini berfungsi untuk mengiritasi tubuh siput saat menyentuhnya, sehingga tanaman aman akan gangguan siput

4. Abu kayu dapat meningkatkan pH Kompos

Kompos yang sangat asam dapat ditanggulangi dengan menaburkan abu kayu berupa lapisan tipis di atas tumpukan kompos, perlakuan ini dapat secara efektif meningkatkan pH kompos.

### 12.3.3. Daur Ulang

Limbah kayu dari industri mebel dapat pula diproses kembali dan bisa didaur ulang menjadi barang yang baru atau dibuat menjadi barang lain yang memiliki nilai ekonomis tinggi seperti kerajinan tangan. Proses pembuatan kerajinan tangan yang mudah dan sederhana memungkinkan produk tersebut diproduksi dalam jumlah melimpah.

Selain itu limbah kayu dapat pula dimanfaatkan dengan membuat kerajinan tangan yang memiliki nilai seni yang tinggi sehingga dapat dijual dengan harga yang tinggi pula, misalnya dengan membuat kreasi pada bentuk penampilannya.

### 12.3.4 Pembuatan Pupuk Kompos

Limbah mebel berupa serbuk gergaji dapat pula dimanfaatkan sebagai bahan untuk pembuatan pupuk kompos. Kompos yang diberikan ke dalam tanah dapat memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kesuburan tanah karena kompos mengandung unsur hara yang diperlukan tanaman. Selain itu kompos juga dapat memperbaiki sifat biologi tanah karena pada kompos terdapat mikroba dapat menguraikan bahan organik berupa unsur hara yang dibutuhkan tanaman.

Proses pembuatan pupuk kompos dengan memanfaatkan serbuk gergaji adalah sebagai berikut (Sukendar, I., Romadhon, A., Pranoto, B., Anam, M., K., Ridlo, M., R., Santoso, R., Arosyidi, C., 2022) : rendam serbuk gergaji kayu dan sekam padi di dalam ember yang berisi air, selama 2 hari. Lakukan penjemuran hingga mengering untuk menghilangkan kadar air. Campurkan air, gula molase dan EM4 di satu wadah, dengan perbandingan 10:1:1. Aduk berlawanan arah jarum jam selama minimal 5 menit, untuk mengaktifkan mikroorganisme pasif. Siramkan campuran tadi ke serbuk gergaji kayu dan sekam yang telah tersedia dengan kelembaban sekitar 50-60%. Kemudian aduk hingga merata. Setelah diaduk hingga merata,



wadahi sekam tadi ke dalam karung dan simpan di tempat yang kering. Setelah disimpan 3 hari, kemudian buka karung dan lakukan pengadukan lagi biar merata. Lalu masukkan lagi ke dalam karung, dan lakukan penyimpanan lagi hingga seminggu. Pupuk kompos yang sudah siap diaplikasikan ditandai dengan ciri-ciri : tidak berbau, memiliki suhu lebih dingin, warna berubah lebih pekat dan tekstur serbuk gergaji menjadi lebih halus.

Selain itu serbuk gergaji juga dapat dibuat biokompos. Biokompos dapat dimanfaatkan untuk budidaya tanaman pertanian. Penelitian yang penulis lakukan dengan penggunaan biokompos pada tanaman jagung memberikan hasil yang positif baik dari pertumbuhan maupun produksinya.

Hasil analisis kadar hara biokompos limbah kayu dapat dilihat pada Tabel 12.1 berikut ini.

**Tabel 12.1** Analisis Kadar Hara Biokompos Limbah Kayu

| Parameter Analisis  | Satuan | Nilai |
|---------------------|--------|-------|
| pH                  |        | 7,24  |
| Carbon organik (C)  | %      | 46,71 |
| Nitrogen Total (N)  | %      | 4,08  |
| C/N rasio           |        | 11,45 |
| Ekstraksi HCl 1 : 1 |        |       |
| Phosphor (P)        | %      | 1,31  |
| Kalium (K)          | %      | 0,56  |
| Kalsium (Ca)        | %      | 0,13  |
| Magnesium (Mg)      | %      | 0,51  |

Sumber: Hasil Analisis (2022)



**Gambar 12.1** Penggunaan Biokompos Serbuk Gergaji Pada Tanaman Jagung

(Sumber : Dokumentasi Penelitian, 2023)

## 12.4 Penutup

Berdasarkan pembahasan di atas dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Limbah industri mebel apabila tidak dikelola dengan baik akan menimbulkan dampak negatif, antara lain dapat mencemari lingkungan.
2. Limbah mebel dapat dikelola dengan baik dengan cara Penimbunan, pembakaran, daur ulang dan pembuatan kompos.

## DAFTAR PUSTAKA

- Karnadi, A., 2022. <https://dataindonesia.id/sektor-riil/detail/industri-furnitur-tumbuh-816-pada-2021>
- Kumampung, D., R., 2021. Jangan Buru-buru Dibuang, Ini 4 Manfaat Abu Bakaran Kayu <https://www.kompas.com/homey/read/2021/04/12/123900976/jangan-buru-buru-dibuang-ini-4-manfaat-abu-bakaran-kayu?page=all>.
- Shalehah, St.,A.,J., Muttalib, A dan Nasrullah, 2017. Pengaruh Faktor Modal Dan Tenaga Kerja Terhadap Output Marginal Pada Pander Jaya Mebel. Jurnal Profitability Fakultas Ekonomi Dan Bisnis. 1(1), 130-138. <https://journal.unismuh.ac.id/index.php/profitability>.
- Sukendar, I., Romadhon, A., Pranoto, B., Anam,M., K., Ridlo, M., R., Santoso, R., Arosyidi, C., 2022. [http://research.unissula.ac.id/file/hki/210600022/6755RKT\\_Kompos.pdf](http://research.unissula.ac.id/file/hki/210600022/6755RKT_Kompos.pdf)

## BIODATA PENULIS



**M Lukman Baihaqi Alfakihuddin, M.S.**  
Dosen Universitas Sampoerna

Muhammad Lukman Baihaqi Alfakihuddin lahir di Mojokerto. Penulis adalah dosen di Universitas Sampoerna. Selain itu, penulis juga dosen di Broward College Florida Amerika Serikat sejak tahun 2021. Sebelumnya pada tahun 2020, penulis aktif di Atlas Corps sebagai mentor untuk beberapa akademisi di Indonesia. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Universitas Islam Negeri Malang dan melanjutkan S2 di Florida Institute of Technology. Sebelum bergabung dengan Universitas Sampoerna, penulis adalah fellow pada Climate Cornell University Fellow pada tahun 2020. Selain itu, penulis juga seorang tergabung dalam asosiasi peneliti di Cornell University pada tahun 2015 -2018.

## BIODATA PENULIS



**Rita Sunartaty**

Dosen Universitas Serambi Mekkah

Penulis menyelesaikan jenjang S1 di Fakultas MIPA Jurusan Kimia USK pada tahun 2011. Kemudian pada tahun 2014 merampungkan studi jenjang S2 pada Magister Teknik Kimia USK. Pada saat ini menjadi dosen tetap pada Universitas Serambi Mekkah, mengampu mata kuliah analisis dampak lingkungan dan Pengolahan limbah dan Kimia. Selain aktif di kampus penulis juga aktif di lembaga Riset penelitian LP2STM Aceh sebagai Sekretaris Lembaga dan juga editor jurnal Teksagro. Kegiatan sehari-hari saat ini adalah menulis, meneliti dan sedang melanjutkan studi S3 pada Program Studi Doktor Ilmu Teknik USK.

## BIODATA PENULIS



**Dodi Satriawan, S.T., M.Eng., CPHCEP., CPMP., CPRW.,  
CBOA., CNPHRP., CLMA.**

Staf Dosen Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan,  
Politeknik Negeri Cilacap

Penulis lahir di Bengkulu tanggal 07 Mei 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi D-IV Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Kimia, Universitas Sriwijaya dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Kimia, Magister Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Universitas Gadjah Mada. Penulis menekuni bidang bioproses, bioenergi, dan pengolahan air limbah.

## BIODATA PENULIS



### **Dr. Tarzan Purnomo, M.Si.**

Dosen Program Studi Biologi  
Fakultas MIPA Universitas Negeri Surabaya

**Dr. Tarzan Purnomo, M.Si.**, lahir di Mojokerto, Jawa Timur tanggal 5 Mei 1965. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Surabaya sejak 1992. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Biologi FPMIPA IKIP Surabaya (1991), S2 Program Studi Biologi, Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta (1998), dan Program Doktor (S3) Lingkungan Pesisir dan Lautan, Program Pascasarjana Universitas Brawijaya Malang (2011). Mengikuti *Postdoctoral Programe* Marine Ecology di Victoria University of Wellington, New Zealand (2013). Penulis menekuni bidang Ekologi, Ekologi Perairan, Ekologi Laut, Biologi Perairan, Ilmu Lingkungan, Konservasi Sumber Daya Alam, Manajemen Ekosistem Perairan, serta Ekologi Pesisir dan Kelautan.

**BIODATA PENULIS****Dr. Erma Suryani Sahabuddin, M.Si.**

Dosen Jurusan Pendidikan Guru Sekolah Dasar (PGSD)  
Universitas Negeri Makassar (UNM)

Penulis lahir di Bantaeng, Sulawesi Selatan. Tamat di SDN 1 Bantaeng, SMPN 3 Bantaeng, SMAN 1 Bantaeng, Strata Satu Fakultas Pendidikan MIPA Jurusan Pendidikan Kimia Institut Keguruan dan Ilmu Pendidikan Ujung Pandang, Strata Dua Kekhususan Ilmu Kimia Terapan pada Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin, Strata tiga Pendidikan Kependudukan dan Lingkungan Hidup. Pernah bertugas pada jurusan Pendidikan MIPA FKIP Universitas Nusa Cendana Kupang (1994-2011). Saat ini bertugas pada Fakultas Ilmu Pendidikan, Jurusan Pendidikan Guru Sekolah Dasar (PGSD) Universitas Negeri Makassar (UNM) Mata kuliah pokok Pendidikan Lingkungan Hidup dan Sains Terapan.

**Hasil Penelitian yang Telah Dipublikasi:** 1. Pengembangan Perangkat Pembelajaran Karakter Berbasis Kearifan Lokal (2019), 2. *The Analysis of Natural Intelligence Relates to Environmental Attitudes in Elementary School Students* (2019),



3. Pengaruh Penggunaan Media Audio Visual Film Kartun Terhadap Keterampilan Menyimak Mata Pelajaran Bahasa Indonesia Siswa Kelas V SD Inpres Mariso 1 Kota Makassar (2021), 4. *The Development of Character Strengthening Implementation Guidelines For Students* (2022), 5. Pengembangan Media PAKEM *The Box of Pinisi* Dalam 4 Pilar Budaya Bugis-Makassar (Sipakatau, Sipakainge', Sipakalebbi, dan Sipatokkong) Sebagai Pemberdayaan Karakter Siswa Sekolah Dasar (2022), 6. Pengaruh Penerapan Metode *Storytelling* Terhadap Keterampilan Berbicara Peserta Didik

***Buku yang Telah diTerbitkan:*** 1. Integritas PKLH dalam Pembelajaran (2013), 2. Filosofi Cemaran Air (2015), 3. Materi Ajar Pendidikan Lingkungan Hidup (2018), 4. Penuntun Praktikum Kimia dan Biologi untuk Mahasiswa PGSD (2020), 5. Ayo Hidup Sehat dan Jaga Lingkungan Kata Dokter Kecil (2021). Ilmu Lingkungan (2022). Penulis dapat dihubungi melalui email: **ermasuryani@unm.ac.id**

## BIODATA PENULIS



**Ir. Darsini, S.T, M, Si.**

Dosen Program Studi Teknik Industri  
Fakultas Teknik Universitas Veteran Bangun Nusantara  
Sukoharjo

Penulis lahir di Boyolali tanggal 08 Desember 1973. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik, Universitas Veteran Bangun Nusantara Sukoharjo. Penulis juga bergabung di program Profesi Insinyur Indonesia (PII) dan di Persatuan Ergonomi Indonesia (PEI). Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Industri dan melanjutkan S2 pada Ilmu Lingkungan Universitas Sebelas Maret Surakarta, Penulis menekuni bidang:

1. Teknik Industri dalam bidang optimasi.
2. Sistem Lingkungan Industri
3. Perancangan Model Optimasi dalam pengolahan limbah dan sampah

## BIODATA PENULIS



### **Octovianus SR Pasanda, ST., MT.**

Dosen Program Studi Teknologi Kimia Industri  
Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang

Penulis lahir di Kota Ujung Pandang tahun 1965. Menyelesaikan pendidikan S1 di UGM dan S2 di ITS. Saat ini penulis merupakan Dosen di Politeknik Negeri Ujung Pandang Jurusan Teknik Kimia. Beberapa Buku Referensi Ilmiah hasil kolaborasi yang ditulis telah terbit. Penulis juga aktif menulis dalam beberapa Jurnal Nasional dan Internasional serta mempunyai paten yang bersertifikat dan saat ini sedang menunggu publikasi paten berikutnya.

## BIODATA PENULIS



**Ir. Fathan Mubina Dewadi, S.T., M.T., IPP.**  
Dosen Universitas Buana Perjuangan Karawang

Fathan Mubina Dewadi merupakan pria yang berusia 30 tahun sudah tertarik dengan bidang Pendidikan tinggi sejak tahun 2015. Sejak lulus jurusan Teknik mesin program pascasarjana Universitas Pancasila. Kini penulis sedang bekerja sebagai dosen tetap program studi Teknik mesin di Universitas Buana Perjuangan Karawang. Kini kesibukan penulis ialah lebih menghabiskan waktu untuk mengajar dan menulis. Karya-karya yang telah dibuat dimuat di media online, jurnal nasional, jurnal internasional dan jurnal nasional bereputasi. Sudah lebih dari 50 karya yang telah dibuat dan sedang proses untuk pembuatan buku dan bab buku. Jurnal yang telah ditulis bekerjasama dengan para pakar di luar negeri dan dalam negeri. ii

**Email : fathan.mubina@ubpkarawang.ac.id**

## BIODATA PENULIS



**Erlinda Ningsih, S.T., M.T.**

Dosen Jurusan Teknik Kimia

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Penulis lahir di Bangkalan tanggal 09 Juni 1984. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Menyelesaikan Pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Kimia dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Kimia. Penulis menekuni bidang Energi terbarukan.

## BIODATA PENULIS



**Gregorio Antonny Bani, S.Si., M.Si.**

Dosen Program Studi Agroteknologi

Fakultas Sains dan Pertanian Universitas Aryasatya Deo Muri

Penulis lahir di Kupang tanggal 14 Juni 1987. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Sains dan Pertanian, Universitas Aryasatya Deo Muri. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Katolik Widya Mandira Kupang dan melanjutkan S2 pada Jurusan Ilmu Lingkungan Universitas Nusa Cendana. Penulis menekuni menulis di bidang Kimia dan Ilmu Lingkungan.

## BIODATA PENULIS



**Dr. Thomas Robert Hutaauruk, S.P., M.Si.**

Dosen Program Studi Manajemen  
Sekolah Tinggi Ilmu Manajemen Indonesia - Samarinda

Penulis lahir di Samarinda tanggal 17 Desember 1971. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Manajemen, STIMI Samarinda dan Dosen Luar Biasa di Politeknik Negeri Samarinda. Selain, sebagai Dosen penulis juga dipercaya mengemban tugas sebagai Ketua LPPM STIMI Samarinda Periode 2016 – 2020, 2020 – 2024; Koordinator Wilayah XI *Science and Technology Index* (SINTA) Periode 2018 - sekarang; tim Pakar DPRD Kota Samarinda bidang Lingkungan Hidup Periode 2021 - Sekarang; tim penjaminan mutu Kelitbangan Kota Samarinda, Praktisi Lingkungan Hidup

Menyelesaikan pendidikan S1 Program Studi Ekonomi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman (1996), S2 Program Pascasarjana Magister Ilmu Lingkungan Universitas Mulawarman (2006), S3 Program Doktoral Ilmu Kehutanan Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman. Training of Trainers (ToTTaplai) Pemantapan Nilai-nilai Kebangsaan di Lembaga Ketahanan Nasional Republik Indonesia (2022).

## BIODATA PENULIS



**Ir. Sri Andayani, M.MA**

Dosen Program Studi Agroteknologi  
Fakultas Pertanian Universitas Panca Bhakti

Penulis lahir di Pontianak tanggal 16 September 1968. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Panca Bhakti. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Budidaya Pertanian dan melanjutkan S2 pada Jurusan Manajemen Agribisnis. Sudah banyak penelitian yang dilakukan terkait dengan kompos dan biochar yang berasal dari limbah pertanian.