



**MODUL BIOINDUSTRI
(IBL 610)**

**MODUL SESI KE-13
INDUSTRI PENGOLAHAN LIMBAH**

**DISUSUN OLEH
Dr. Henny Saraswati, S.Si, M.Biomed**

Universitas
Esa Unggul

**UNIVERSITAS ESA UNGGUL
2020**

INDUSTRI PENGOLAHAN LIMBAH

A. Kemampuan Akhir Yang Diharapkan

Setelah mempelajari modul ini, diharapkan mahasiswa mampu :

1. Mahasiswa dapat menjelaskan mengenai Bioindustri Kaitannya dengan dampak lingkungan
2. Mahasiswa dapat menjelaskan tentang Bioremediasi
3. Menjelaskan teknologi pengolahan limbah menggunakan mikroba

B. Uraian dan Contoh

1. Limbah dan Dampaknya Pada Lingkungan

Saat ini telah terjadi perkembangan industri di seluruh negara. Hal ini ditandai dengan berdirinya unit-unit produksi suatu industri yang semakin banyak jumlahnya. Hal ini turut membangun perekonomian di suatu negara. Namun, meskipun demikian, perkembangan industri ini ternyata juga dapat berdampak negat pada lingkungan, yaitu terjadinya pencemaran lingkungan. Pencemaran lingkungan ini diakibatkan oleh sisa hasil produksi suatu industri yang tidak digunakan.



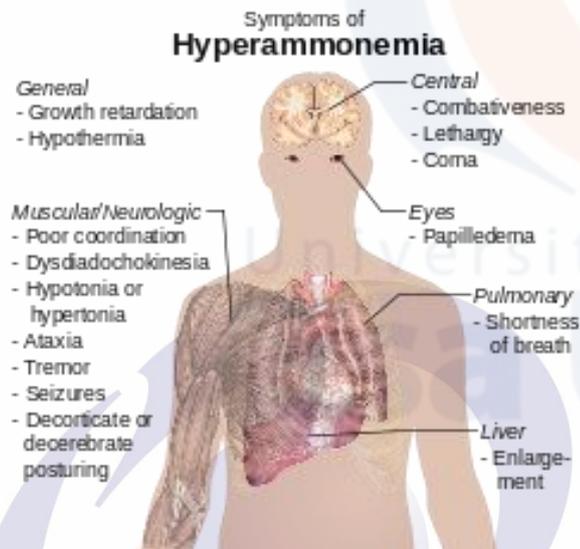
Gambar 1. Beberapa pencemaran lingkungan.

Pencemaran lingkungan bisa berupa pencemaran air, tanah dan udara. Hal ini akan menyebabkan adanya penurunan kualitas air dan tanah, melampaui baku dan bersifat racun. Ketiga hal ini berdampak dengan tidak dapatnya air, udara dan tanah untuk digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Mungkin hanya sedikit yang bisa digunakan. Jikapun digunakan, maka akan berbahaya bagi kesehatan manusia. Beberapa penyakit berbahaya dan mengancam keselamatan manusia dipengaruhi oleh pencemaran lingkungan. Kanker sebagai salah satu contohnya, merupakan salah satu penyakit dengan angka kematian tinggi, bahkan mungkin tertinggi secara global. Banyak faktor yang berperan dalam kejadian kanker. Salah satunya adalah polusi udara. Bahan pencemar pada polusi udara menyebabkan adanya mutasi DNA manusia yang dapat berpengaruh pada terganggunya proses pembelahan sel dan regulasinya. Bukan hanya pada manusia, pencemaran lingkungan juga berdampak pada hewan dan tumbuhan dengan adanya penurunan jumlah spesies tertentu, gangguan kesehatan hewan dan adanya mutasi sehingga mengakibatkan gangguan fungsi tubuh pada hewan dan tumbuhan.

Melihat begitu banyaknya dampak negatif yang dihasilkan dari polusi pada lingkungan, maka manusia melakukan berbagai cara pengendalian yaitu pencegahan dan penanggulangan polusi yang terjadi pada air tanah maupun udara agar sesuai dengan Baku Mutu Lingkungan (BML).

Bahan Pencemar atau polutan sendiri dapat dibedakan menjadi bahan polutan tidak toksik dan polutan toksik. Polutan tidak toksik biasanya terdapat dalam lingkungan secara alami dan berperan sebagai nutrisi. Polutan jenis ini tidak berbahaya bagi lingkungan, sehingga tidak memerlukan penanganan lebih lanjut. Polutan toksik adalah polutan yang bersifat racun bagi makhluk hidup contohnya adalah logam berat seperti timbal (Pb), nikel (Ni), seng (Zn), tembaga (Cu) dan raksa (Hg). Logam-logam berat ini memiliki nomor atom < 20 . Selain itu juga terdapat senyawa-senyawa organik yang berasal dari pestisida, herbisida dan lain-lain. Gas klorin dan ammonia dapat bersifat juga sebagai polutan udara. Paparan terhadap gas klorin dapat mengakibatkan iritasi pada kulit, mata hingga saluran pernafasan. menghirup gas klorin dalam jumlah yang banyak dapat mengakibatkan

gangguan pernafasan. Hal yang sama juga dapat terjadi jika terkena paparan gas ammonia. Konsentrasi gas ammonia yang tinggi dan terhirup oleh manusia dapat mengakibatkan kerusakan paru-paru hingga kematian.



Gambar 2. Gejala akibat kelebihan ammonia (sumber : www.wikipedia.com).

Bahan polutan yang berbahaya juga bisa berasal dari anion seperti sianida, fluorida, sulfida dan sulfat. serta asam dan alkali.

Pada kehidupan sehari-hari, jenis limbah yang mencemari air sehingga dapat menurunkan baku mutu air bisa berupa :

1. Limbah, yang berasal dari limbah domestik, pupuk kotoran hewan maupun limbah industri.
2. Agen penyebab penyakit seperti bakteri yang berasal dari rumah sakit.
3. Bahan anorganik dan mineral yang berasal dari industri, irigasi, bahan bakar, pestisida.
4. Bahan organik yang berasal dari pestisida, herbisida, deterjen.
5. Sedimen yang berasal dari erosi, limbah pertanian, tambang, konstruksi dan kehutanan.
6. Bahan radioaktif yang berasal dari pembangkit tenaga nuklir, percobaan senjata nuklir.

Limbah yang mencemari lingkungan bisa berupa limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Sesuai dengan namanya, maka limbah ini dapat membahayakan organisme yang ada di sekitarnya (menyebabkan penyakit atau kematian) dan juga merusak lingkungan yang ada disekitarnya. Terdapat beberapa ciri dari limbah B3 ini, yaitu :

- Mudah menyala (*inflammable*)
- Mudah meledak (*explosive*)
- Korosif
- Reaktif
- Beracun
- Dapat menginfeksi



Gambar 3. Penanganan limbah B3 harus sesuai dengan aturan, ditempatkan pada container dengan standar khusus dan dibuang dengan prosedur yang benar.

Pada proses penanggulangan pencemaran lingkungan diperlukan kerja sama dari berbagai pihak. Berbagai aspek juga ditinjau dari kegiatan ini, antara lain :

- Aspek legal.
- Aspek engineering.
- Aspek kesehatan.
- Aspek sumber pencemaran.
- Aspek lingkungan hidup.

Aspek legal diperlukan dalam penyusunan berbagai kebijakan yang dapat mengurangi kejadian pencemaran lingkungan, seperti menetapkan standar baku mutu lingkungan hingga sanksi yang bisa diberikan kepada pelanggar yang melakukan pencemaran lingkungan secara sengaja. Seperti contohnya adalah kebijakan berupa Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Selain itu, aspek ini diperlukan untuk mendorong berbagai pihak untuk melakukan kegiatan yang dapat mengurangi pencemaran lingkungan.

Aspek *engineering* (teknis) diperlukan untuk mengatasi pencemaran lingkungan. Semisal terjadi pencemaran sungai, maka dinas-dinas terkait seperti dinas Pekerjaan Umum (PU) dapat terjun langsung dalam mengatasinya, sehingga sumber air ini tidak mencemari lingkungan di sekitarnya atau lebih bagus lagi pencemaran tidak terjadi dalam sungai tersebut.



Gambar 4. Contoh pengerukan sampah dari sungai di wilayah Kabupaten Bogor (www.beritasatu.com).

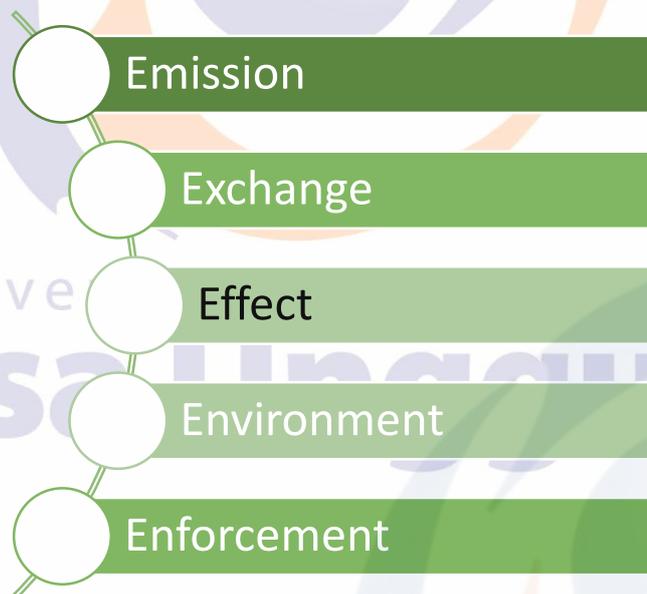
Aspek kesehatan juga perlu diperhatikan dalam rangka menanggulangi dampak dari pencemaran lingkungan. Departemen Kesehatan dalam hal ini dapat

menyiapkan kebijakan dan tindakan dalam mengatasi gangguan kesehatan yang dialami oleh masyarakat karena adanya pencemaran lingkungan.

Aspek sumber pencemaran lingkungan juga seharusnya diperhatikan oleh beberapa pihak terkait. Seperti industri, rumah sakit, rumah pemotongan hewan dan lain-lain. Dinas-dinas terkait juga harus memberikan penyuluhan dan sanksi kepada pelanggar.

Aspek lingkungan hidup menjadi hal yang perlu diketahui oleh semua pihak. Dinas lingkungan hidup harus terus menerus memberikan sosialisasi, penyuluhan dan sanksi kepada pelanggar sehingga akan tercipta suasana menjaga lingkungan hidup bersama-sama.

Dapat disimpulkan bahwa pada penanganan polusi secara menyeluruh diperlukan pengetahuan mengenai **sumber emisi/polusi** (*emission*), **mekanisme pertukaran dengan bahan non polutan** (*exchange*), **pengaruh polusi pada lingkungan** (*effect*), **faktor lingkungan** (*environment*) dan **adanya undang-undang yang mengatur** (*enforcement*).



Gambar 5. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penanganan pencemaran lingkungan.

a. Pencemaran Udara

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada pencemaran udara adalah jumlah atau konsentrasi dari bahan kimia pencemar dan dampaknya bagi lingkungan, apakah dapat menurunkan kualitas udara? Selain itu juga perlu diperhatikan bahan kimia hasil industri yang seperti apa yang dapat mengakibatkan pencemaran udara. Apakah ada bau yang dihasilkan dari industri, sehingga dapat mengganggu masyarakat di sekitarnya? Jangan pula dilupakan apakah ada peranannya dalam perubahan iklim yang terjadi.

Udara bersih memiliki konsentrasi partikel-partikel yang tidak membahayakan makhluk hidup. Berikut adalah standar kualitas udara bersih dan aman bagi lingkungan.

Tabel 1. Komposisi Partikel pada Udara yang Sehat

| Komponen | Konsentrasi (ppm) |
|-----------------|-------------------|
| Nitrogen | 780,800 |
| Oxygen | 209,500 |
| Argon | 9,300 |
| Carbon dioxide | 315 |
| Neon | 18 |
| Helium | 5.2 |
| Methane | 1.0 |
| Krypton | 1.0 |
| Nitrous oxide | 0.5 |
| Hydrogen | 0.5 |
| Xenon | 0.08 |
| Nitrous dioxide | 0.02 |
| Ozone | 0.01 |

Konsentrasi polutan di udara dipengaruhi oleh tinggi-rendahnya lokasi polusi dan keadaan cuaca. Pada tempat yang tinggi terdapat tekanan atmosfer yang tinggi dibandingkan dengan tempat yang rendah. Hal ini menyebabkan konsentrasi polutan dapat lebih besar pada lokasi tinggi dibandingkan tempat yang rendah. Kadar oksigen pada tempat yang tinggi juga lebih kecil dibandingkan dengan tempat rendah, sehingga polutan seperti karbon monoksida dapat dengan mudah

diserap oleh tubuh. Hal inilah yang menyebabkan polusi pada lokasi yang tinggi lebih berbahaya pada tempat yang rendah.

b. Pencemaran Tanah

Pencemaran tanah bisa menyebabkan perubahan lingkungan tanah alami. Hal ini bisa disebabkan oleh masuknya beberapa bahan kimia ke dalam tanah. Sumber pencemaran tanah bisa berasal dari kebocoran limbah cair, bahan kimia industri, penggunaan pestisida dan lain-lain. Dampak dari pencemaran ini mengganggu kesehatan kita maupun pada ekosistem. Kesehatan kita jelas akan terpengaruh karena adanya sumber makanan, juga adanya sumber air yang terdapat di tanah. Ekosistem juga terpengaruh oleh adanya pencemaran tanah ini, sebagai contohnya terganggunya keseimbangan rantai makanan dan juga peristiwa tanah longsor karena penurunan fungsi tanah.

Upaya untuk menanggulangi pencemaran tanah ini adalah dengan proses remediasi, yaitu kegiatan yang dilakukan untuk membersihkan cemaran pada permukaan tanah.



Gambar 6. Kegiatan remediasi lingkungan dapat dilakukan untuk mengurangi pencemaran tanah (sumber: www.bradenburg.com).

Mikroorganismen dapat digunakan dalam proses remediasi. Karena menggunakan makhluk hidup, maka proses remediasi ini dinamakan **bioremediasi**. Mengapa mikroba ini dapat digunakan dalam bioremediasi? Hal ini disebabkan adanya kemampuan mikroba-mikroba tertentu yang dapat menguraikan bahan-bahan polutan. Kegiatan bioremediasi ini dilakukan dalam kondisi terkendali sehingga dapat mengontrol dan mereduksi bahan pencemar dengan baik. Contoh-contoh mikroorganismen yang dapat dimanfaatkan untuk bioremediasi tercantum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Contoh spesies mikroorganismen dan bahan polutan yang dapat diuraikan.

| Mikroorganismen | Bahan yang Diuraikan |
|----------------------------------|------------------------|
| <i>Fusarium sp</i> | Minyak |
| <i>Bacillus cereus A</i> | Minyak mentah |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | Minyak diesel |
| <i>Penicillium ochrochloron</i> | Pewarna dalam industri |
| <i>Bacillus purnilus HKG 212</i> | Pewarna tekstil |
| <i>Aspergillus niger</i> | Hidrokarbon |
| <i>Bacillus licheniformis</i> | naftalene |
| <i>Pseudomonas putida</i> | Benzene |

(Sumber: Abatenh et al, 2017).

Bioremediasi tentu saja sebuah teknik yang memiliki kelebihan dan kekurangan. **Kelebihan** penggunaan bioremediasi dalam mengatasi pencemaran lingkungan adalah :

- a. Proses yang dilakukan bersifat alami, sehingga tidak menghasilkan produk yang berbahaya bagi lingkungan.
- b. Tidak memerlukan peralatan yang rumit dan dapat dilakukan pada lokasi pencemaran tanpa mengganggu aktivitas di lokasi tersebut.
- c. Tidak memerlukan biaya yang mahal dibandingkan dengan cara pengolahan limbah yang lain.

- d. Dapat digunakan untuk pengolahan limbah secara lengkap, polutan dapat diubah keseluruhannya menjadi bahan yang tidak berbahaya.
- e. Tidak menggunakan bahan kimia berbahaya.

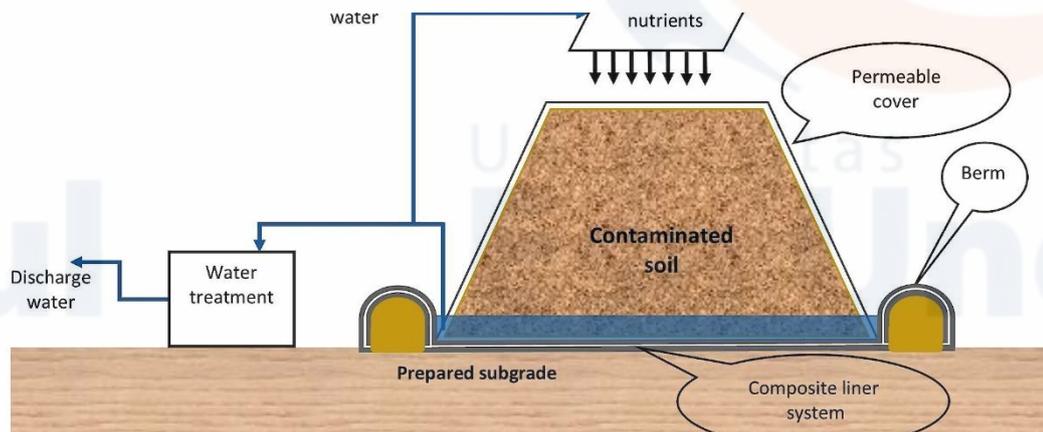
Sedangkan **kekurangan** yang bisa didapatkan dari proses bioremediasi antara lain :

- a. Terbatas pada polutan yang bersifat *biodegradable* (dapat didegradasi dengan makhluk hidup).
- b. Kondisi lokasi bioremediasi harus memiliki kondisi tertentu yang menyokong pertumbuhan mikroba.
- c. Kesulitan dalam mengaplikasikan hasil remediasi dalam skala riset dan *pilot-plant* ke skala lapangan.
- d. Memerlukan riset yang mendukung perkembangan teknologi bioremediasi.
- e. Proses yang dilakukan memerlukan waktu yang relatif lebih lama dibandingkan metode lain seperti ekskavasi dan penghilangan tanah terkontaminasi dan insinerasi.
- f. Evaluasi hasil bioremediasi belum memiliki standar tertentu, sehingga definisi “bersih” setelah bioremediasi tidak memiliki batas yang jelas. (sumber: Abatenh et al, 2017).

Metode bioremediasi bisa dibedakan menjadi 2 cara yaitu **ex situ** dan **in situ**. Apa perbedaan antara keduanya? Mari kita telaah. Metode bioremediasi secara **ex situ** dilakukan dengan cara memindahkan tanah atau air tercemar dari lokasi awal ke lokasi baru dan dilakukan proses bioremediasi di lokasi baru ini. Teknik ini dilakukan dengan mempertimbangkan biaya pengolahan limbah, kedalaman pencemaran, tipe polutan, derajat pencemaran, lokasi geografis dan geologi lokasi pencemaran (Azubuike et al, 2017). Beberapa metode bioremediasi secara ex situ antara lain :

- a. Biopile
- b. Composting
- c. Bioreactor.
- d. Land farming.

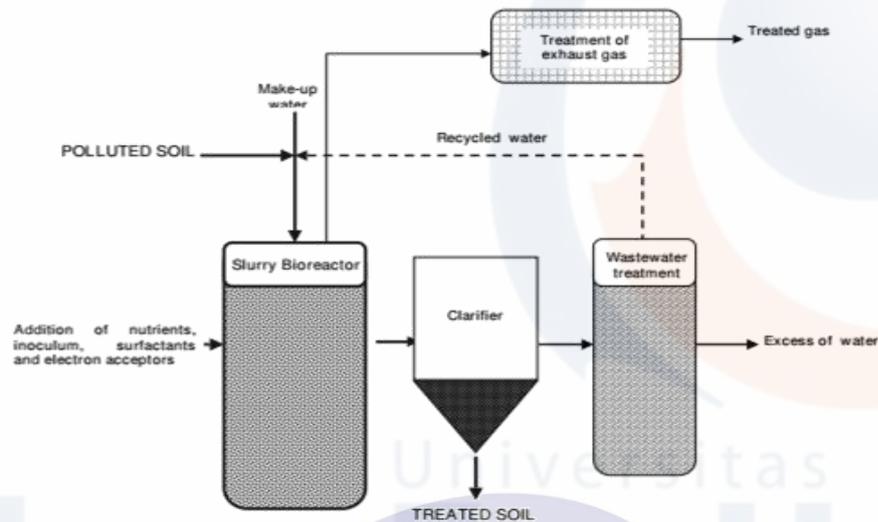
Pada metode **biopile**, tanah terkontaminasi dipindahkan ke permukaan, ditumpuk dan diberikan penambahan air, udara dan nutrisi untuk pertumbuhan mikroba pendegradasi. Diharapkan dari proses ini, tanah terkontaminasi mendapatkan kembali fungsinya.



Gambar 7. Skema proses biopile (sumber: [www. antartica.gov.au](http://www.antartica.gov.au)).

Pada metode *composting*, tanah dicampur dengan jerami atau bahan lain yang dapat memudahkan masuknya air, nutrisi dan udara ke dalam tanah. Hal ini akan membantu mikroba untuk tumbuh dan dapat melakukan degradasi bahan polutan pada tanah. Proses pengomposan bisa dilakukan di dalam **lubang, mechanically-agitated in vessel dan tumpukan**.

Metode bioreaktor atau slurry phase menggunakan suatu reaktor yang dapat menampung tanah atau air yang tercemar yang ditambahkan dengan mikroba pendegradasi serta nutrisi yang diperlukan untuk melakukan bioremediasi.



Gambar 8. Skema bioreaktor yang digunakan dalam bioremediasi (sumber: Roblez-Gozales et al, 2008).

Di dalam bioreaktor ini, proses pencampuran mikroba, nutrisi dan tanah tercemar di dalam reaktor akan berlangsung secara optimal dikarenakan adanya pengadukan (agitasi). Hal ini menyebabkan polutan akan semakin cepat didegradasi. Inilah salah satu keunggulan metode slurry-phase atau bioreaktor ini. Keunggulan lain yang didapatkan adalah adanya kondisi proses degradasi polutan yang terkontrol. Nutrisi, kebutuhan oksigen dan pH mikroba dapat diatur dan dikontrol sehingga pertumbuhan mikroba bisa optimal. Proses bioremediasi ini akan menghasilkan air, gas dan tanah yang telah “dibersihkan”. Bentuk reaktor untuk bioremediasi ini bisa berupa *batch*, *fed-batch* maupun *continuous* tergantung dari biaya yang digunakan (Azubuiké et al, 2016).

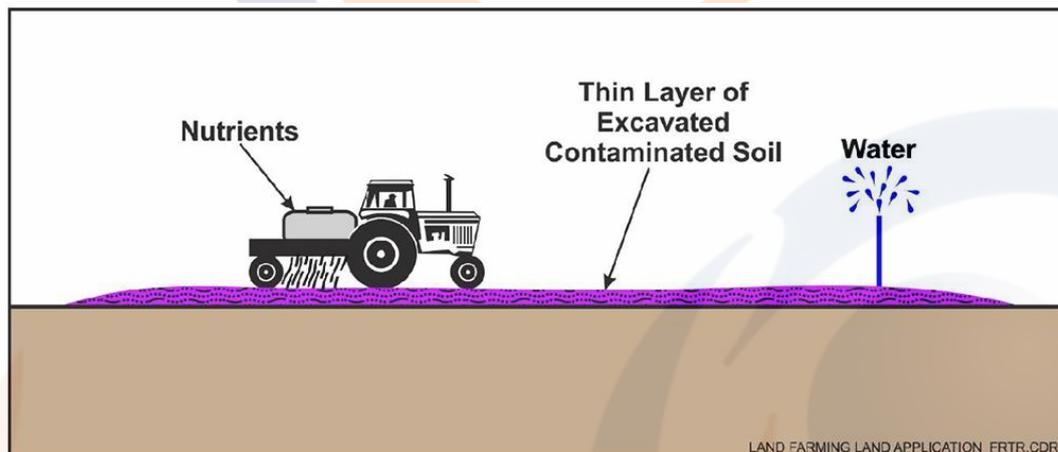
Setelah dilakukan proses bioremediasi, maka tanah terkontaminasi dapat dikembalikan lagi ke lokasi semula. Penambahan bejana *clarifier* dalam metode ini hanya berupa tambahan (opsional). Air dan gas yang terbentuk juga digunakan lagi atau diolah dulu jika masih mengandung polutan.

Keunggulan lain yang dimiliki oleh metode slurry phase adalah adanya kesempatan untuk mengoptimalkan kondisi bioremediasi dengan menambahkan spesies mikroba berpotensi atau mikroba yang telah mengalami rekayasa genetik sehingga dapat mendegradasi polutan. Hal ini dapat mengoptimalkan proses bioremediasi. Seperti halnya pada degradasi PAH (*Polycyclic Aromatic Hydrocarbon*) yang sangat berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan, dengan

menggunakan beberapa spesies bakteri (konsorsium bakteri) dapat meningkatkan proses degradasi PAH (Nasseri et al, 2010).

- a. Meskipun demikian, terdapat pula kekurangan dari proses slurry-phase ini antara lain :
- b. Terbatasnya volume tanah atau air tercemar yang bisa dimasukkan ke dalam bioreaktor.
- c. Kurang optimalnya beberapa parameter bioreaktor dapat menyebabkan kurang optimalnya pertumbuhan mikroba.
- d. Polutan dapat menghasilkan respon yang berbeda-beda tergantung dari bioreaktor yang digunakan.
- e. Biaya metode ini sangat tinggi jika diaplikasikan dalam skala industri.

Sesuai dengan namanya, metode land-farming memiliki metode yang mirip dengan pengolahan tanah untuk pertanian. Pada metode ini, tanah tercemar akan diletakkan di atas permukaan tanah, kemudian ditambahkan dengan mikroba pendegradasi. Secara teratur akan dilakukan pembolak-balikan tanah tercemar ini sehingga dapat terjadi proses aerasi yang efektif. Hal ini dapat meningkatkan pertumbuhan mikroba pendegradasi.



Gambar 9. Skema proses land farming untuk bioremediasi (sumber: www.frtr.gov).

Metode land farming ini memiliki keunggulan yaitu biayanya yang terjangkau dan dapat digunakan untuk mengolah tanah tercemar dalam volume yang banyak serta dampak terhadap lingkungan juga kecil. Namun terdapat juga

kekurangan dari metode ini, yaitu diperlukan lahan yang luas, kondisi pertumbuhan mikroba yang tidak terkontrol serta tidak dapat digunakan untuk polutan yang bersifat volatil.

Jika di atas kita banyak membahas metode bioremediasi secara *ex situ*, maka sekarang kita melihat sedikit mengenai bioremediasi secara *in situ*. Berbeda dengan *ex situ*, bioremediasi **in situ** dilakukan pada lokasi tempat pencemaran terjadi. Metodenya bisa berupa *composting*, *bioslurping*, *bioventing*, *biosparging*, fitoremediasi dengan bantuan mikroba.

c. Industri Bioremediasi

Semakin berkembangnya industri saat ini menyebabkan peningkatan jumlah limbah yang mencemari lingkungan, Hal ini tentu meningkatkan kebutuhan akan proses pengolahan limbah yang ramah lingkungan dan berbiaya rendah. Bioremediasi adalah salah satu jawaban. Diperkirakan industri bioremediasi akan semakin berkembang. Saat ini saja sudah terdapat beberapa pihak yang mengkhususkan diri memberikan layanan jasa bioremediasi baik *ex situ* maupun *in situ*.

C. Latihan

- a. Mengapa perlu dilakukan pengelolaan limbah?
- b. Apa keunggulan bioremediasi dengan mikroba dibandingkan dengan pengolahan limbah lain?
- c. Peningkatan bioremediasi yang seperti apakah yang bisa dilakukan?

D. Kunci Jawaban

- a. Karena limbah dapat bersifat membahayakan bagi lingkungan di sekitarnya, termasuk manusia dan hewan di sekitarnya.
- b. Lebih aman bagi lingkungan, tidak memerlukan peralatan yang rumit, biaya yang dibutuhkan lebih murah dibandingkan dengan metode remediasi yang lain, tidak menggunakan bahan kimia berbahaya.

- c. Menggunakan beberapa mikroba pendegradasi dan juga melakukan rekayasa genetika pada mikroba, sehingga bioremediasi berjalan lebih optimal.

E. Daftar Pustaka

1. Smith, E.E. (2009). *Biotechnology*. Cambridge. Cambridge University Press.
2. Azubuike, C.C. et al. 2016. *Bioremediation techniques-classification based on site of application: principles, advantages, limitations and prospects*. World J Microbiol Biotechnol. 32: 180.
3. Abanteh, E. et al. 2017. *The Role of Microorganisms in Bioremediation - A Review*. Open J Environ Biol. 2(1): 038-046.
4. Robles-Gonzalez, IV. 2008. *A Review on slurry bioreactors for bioremediation of soils and sediments*. Microb Cell Fact. 7:5.
5. Maitra, S. 2018. *In Situ Bioremediation - An Overview*. Life Science Information Publication. 4(6): 576-598.