



**MODUL BIOINDUSTRI
(IBL 610)**

**MODUL SESI KE-14
LATIHAN PERENCANAAN INDUSTRI LIMBAH:
PROSES PENGOLAHAN LIMBAH ORGANIK MENGGUNAKAN
MIKROBA**

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

**UNIVERSITAS ESA UNGGUL
2021**

**LATIHAN PERENCANAAN INDUSTRI LIMBAH:
PROSES PENGOLAHAN LIMBAH ORGANIK MENGGUNAKAN
MIKROBA**

A. Kemampuan Akhir Yang Diharapkan

Setelah mempelajari modul ini, diharapkan mahasiswa mampu :

1. Menjelaskan proses pengolahan limbah organik dengan mikroba.
2. Merencanakan industri pengolahan limbah organik dengan mikroba secara sederhana.
3. Menjelaskan rencana pengolahan limbah ini kepada publik.

B. Uraian dan Contoh

Salah satu jenis limbah yang dapat dihasilkan oleh manusia adalah limbah organik. Limbah ini bisa berasal dari berbagai sumber, semisal dari rumah tangga, pasar, restoran bahkan industri skala besar. Contoh limbah industri adalah sisa makanan, daun, kayu, batok kelapa, dan lain-lain. Pada intinya adalah bahwa limbah organik ini berasal dari sumber organik seperti manusia, hewan dan tumbuhan. Limbah organik ada yang bersifat berbahaya seperti bekas biopsi jaringan, darah dan lain-lain yang berasal dari rumah sakit atau pelayanan kesehatan lain sehingga harus diolah dengan penanganan khusus sehingga tidak berbahaya bagi lingkungan. Ada juga limbah organik yang dapat dimanfaatkan lagi sehingga dapat digunakan untuk kepentingan lain.

Volume limbah organik di Indonesia mendominasi komposisi limbah di Indonesia berdasarkan catatan dari Kementerian Lingkungan Hidup. Sekitar 60% komposisi limbah di Indonesia adalah berupa limbah organik. Sedangkan sisanya berupa limbah plastik, karet, kertas, kaca dan lain-lain. Oleh karena itu pengolahan limbah organik menjadi sangat penting untuk dilakukan. Sebagai catatan, volume limbah di Indonesia sendiri mencapai 64 juta ton/tahun. Jika tidak dilakukan pengolahan yang baik, maka volume ini akan terus meningkat, mencemari lingkungan dan berbahaya bagi kehidupan organisme termasuk manusia.



Gambar 1. Komposisi limbah di Indonesia.

Pengolahan sampah organik bisa dilakukan dengan mikroba yaitu dengan pembuatan kompos. Selain untuk pertanian, hasil pengolahan limbah organik dengan mikroba juga dapat digunakan secara maksimal untuk keperluan yang lain semisal produksi biogas.

Pada pertemuan ini kita akan mengenal cara pengolahan limbah organik menggunakan mikroba. Setelah itu kalian akan berlatih merencanakan suatu industri pengolahan limbah organik dengan mikroba. Selain dengan mikroba kita juga akan belajar bahwa limbah organik bisa juga diolah dengan organisme lain seperti larva serangga.

Pembuatan Pupuk Kompos

Pembuatan kompos ini terhitung sederhana dan dapat dilakukan dalam skala rumah tangga. Meskipun demikian, jika dilakukan dalam skala industri hal ini juga merupakan industri yang sangat menjanjikan. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan limbah organik

Limbah organik bisa berupa buah, sayur, daun dan lain-lain.



Gambar 1. Bahan limbah organik bisa berasal dari buah-buahan, sayuran dan daun-daunan.

Bahan limbah organik ini sangat mudah ditemui di sekitar kita. Jika dikumpulkan, maka jumlah atau volume limbah organik ini akan sangat cukup digunakan untuk pengolahan limbah dalam skala besar. Potensi pengolahan limbah secara industri juga besar karena limbah domestik ini dihasilkan setiap hari dalam jumlah yang besar. Sehingga dalam hal sumber bahan baku industri kemungkinan besar tidak menemui kendala berarti.

2. Pemilahan sampah organik.

Pemilahan sampah diperlukan untuk memisahkan sampah dari bahan non-organik. Pada umumnya dalam pengumpulan sampah di tingkat rumah tangga, pembuangan sampah tidak dibedakan mana yang limbah organik dan mana yang tidak. Setelah itu tempat pengumpulan sampah sementara juga terkadang tidak dilakukan pembedaan mana yang organik dan mana yang tidak, sehingga seringkali limbah-limbah organik ini tercampur.

Proses pemilahan limbah jika skala kecil bisa dilakukan secara manual. Tetapi jika volume limbah sangat besar, maka metode ini sangat menguras tenaga dan waktu yang diperlukan cukup banyak. Sehingga pengolahan limbah skala besar umumnya menggunakan mesin penyortiran.

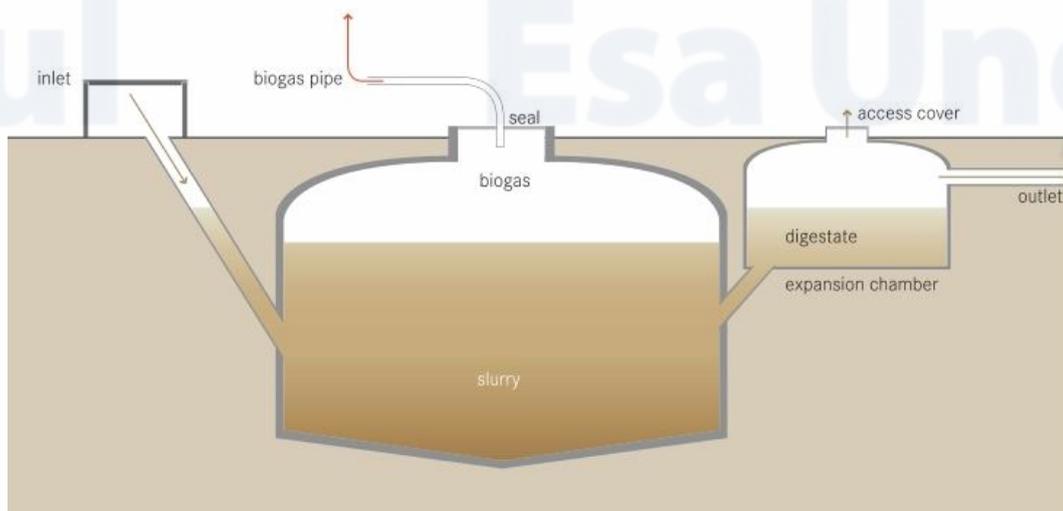


Gambar 2. Contoh mesin pemilahan sampah (sumber: <http://monacolife.developerhire.com/>).

Setelah pemilahan, sampah non-organik akan dikumpulkan di tempat tersendiri untuk diolah lebih lanjut dengan beberapa metode, demikian juga limbah organik akan mengalami prosedur lanjut yaitu proses fermentasi pada fermentor.

3. Proses fermentasi limbah organik.

Limbah organik yang sudah dipilah kemudian dipotong-potong menjadi ukuran yang kecil kemudian ditambahkan air sehingga menjadi lebih cair. Kemudian bahan ini dituangkan ke dalam fermentor yang dijaga dalam kondisi anaerob. Mikroba kemudian ditambahkan di dalam fermentor ini sehingga terjadi proses fermentasi. Jenis mikroba yang bisa ditambahkan dalam proses fermentasi ini bisa berupa bakteri seperti *Thermus sp.*, *Actinomyces* dan fungi. Karena proses fermentasi berlangsung dalam kondisi anaerobik, maka bakteri dan fungi yang ditambahkan adalah yang bersifat anaerob.

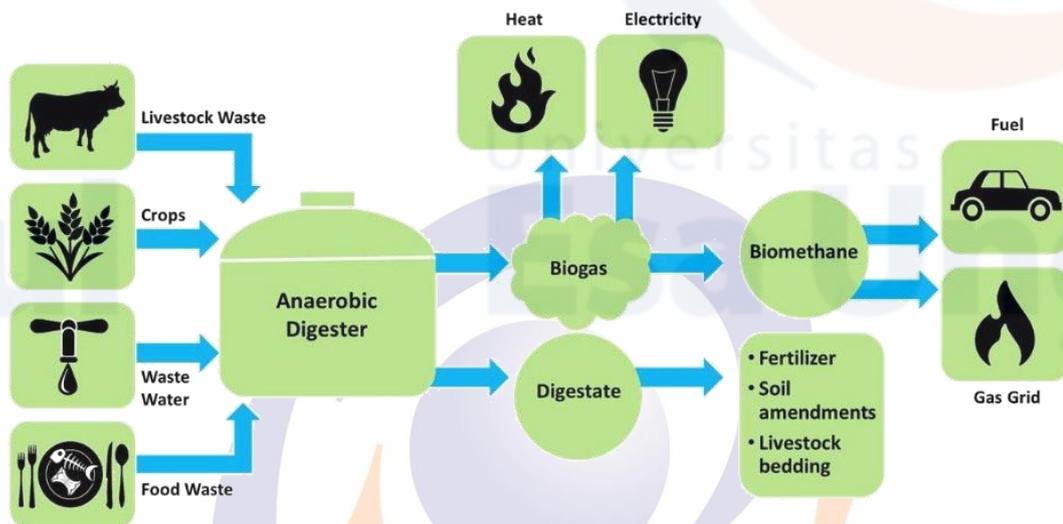


Gambar 3. Skema fermentor untuk fermentasi anaerob yang dapat menghasilkan biogas dan pupuk kompos. (sumber: Tilley et al, 2014).



Gambar 4. Fermentor untuk reaksi anaerob (sumber: <https://www.biocycle.net/>).

Setelah beberapa lama proses fermentasi, maka akan dihasilkan limbah yang telah terdekomposisi. Bahan ini kemudian didamkan selama beberapa waktu untuk menghasilkan pupuk kompos yang siap digunakan. Selain itu dari hasil fermentasi ini bisa dihasilkan biogas yang sangat berguna untuk menghasilkan energi ramah lingkungan. Bahkan biogas ini dapat digunakan untuk menghasilkan listrik.



Gambar 5. Hasil pengolahan limbah organik melalui fermentasi dapat menghasilkan pupuk kompos dan biogas yang berguna untuk keperluan hidup manusia, hewan dan tumbuhan (sumber: <https://www.eesi.org/>).

Selain menggunakan mikroba, limbah organik juga bisa diolah kembali menggunakan larva serangga yang disebut *Black Soldier Fly* (BSF). Hal ini bisa dilakukan karena serangga ini memang dapat menggunakan limbah organik sebagai sumber nutrisinya.

Tugas Merancang Suatu Industri Pengolahan Limbah.

Seperti yang telah disampaikan bahwa limbah/sampah menjadi permasalahan di Indonesia. Hal ini dikarenakan volume sampah yang semakin meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk. Di Jakarta sendiri hal ini sudah menjadi permasalahan tersendiri.

Sebagai generasi revolusioner tuangkanlah ide-idemu untuk dapat membantu pengolahan sampah menggunakan mikroba. Silakan untuk merunut segala informasi mengenai pengolahan sampah ini, bisa melalui buku, jurnal, blog,

podcast dan lain-lain sehingga dapat membantumu untuk menulis ide industri pengolahan limbah. Saat ini industri pengolahan limbah terus berkembang dan berpeluang bukan hanya menghasilkan uang dalam jumlah banyak tetapi juga turut membantu mengatasi permasalahan lingkungan.

Buatlah perencanaan industri ini dalam presentasi power point yang menarik dan bisa memberikan ide segar mengenai pengolahan sampah. Presentasi cukup dibuat dalam 10 slide (maksimal). Tugas ini dibuat secara kelompok dengan kelompok yang sama seperti pembuatan tugas sebelumnya.

Hal-hal yang bisa dicantumkan dalam presentasi tersebut adalah :

- Mengapa pengolahan sampah/limbah masih menjadi permasalahan meskipun ada beberapa industri pengolahan limbah?
- Program-program menarik apa yang bisa diberikan dalam industri pengolahan limbahmu? Sehingga hal ini dapat menarik minat masyarakat untuk mengolah limbahnya di tempatmu.

Berikut adalah tambahan materi sebagai pengingat mengenai beberapa metode pengolahan limbah minggu lalu.

Mikroorganisme 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

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.

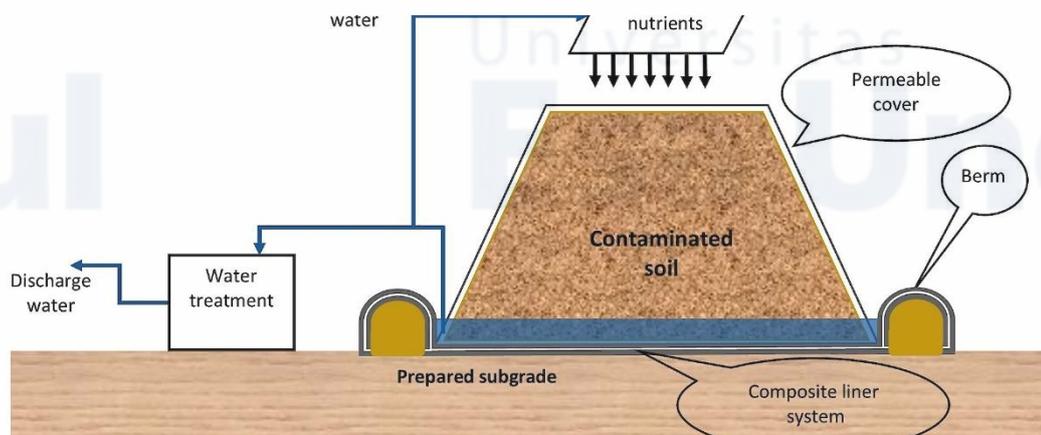
(sumber: Abatenh et al, 2017).

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.

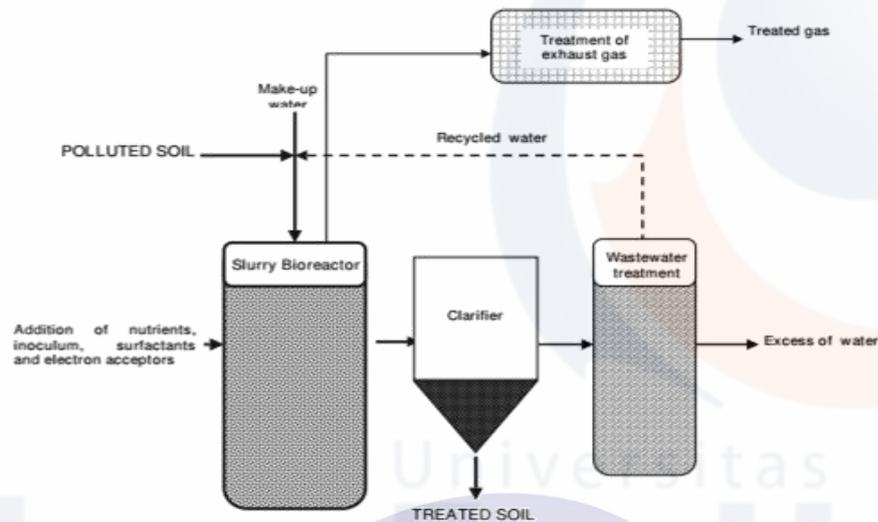
Pada metode **biopile**, tanah terkontaminasi dipindahkan ke permukaan, ditumpuk dan diberikan penambahan air, udara dan nutrisi untuk pertumbuhan mikroba pendegradasi. Diharapkan dari proses ini, tanah terkontaminasi mendapatkan kembali fungsinya.



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 (Azubuike et al, 2016).

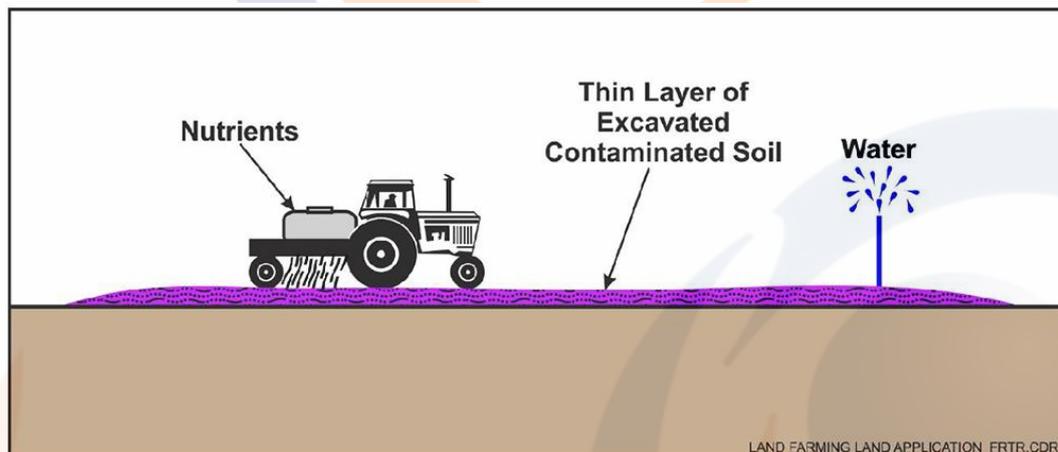
Setelah dilakukan proses bioremediasi, maka tanah terkontaminasi dapat dikembalikan lagi ke lokasi semula. Penambahan bejana *clarifier* dalam metode ini hanya berupa tambahan (opsional). Air dan gas yang terbentuk juga digunakan lagi atau diolah dulu jika masih mengandung polutan.

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.



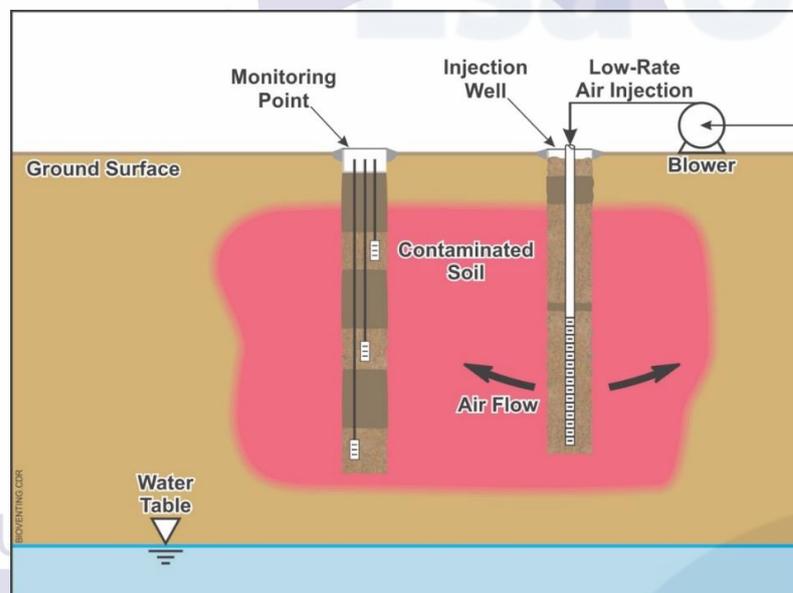
Gambar 9. Skema proses land farming untuk bioremediasi (sumber: www.frtr.gov).

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.

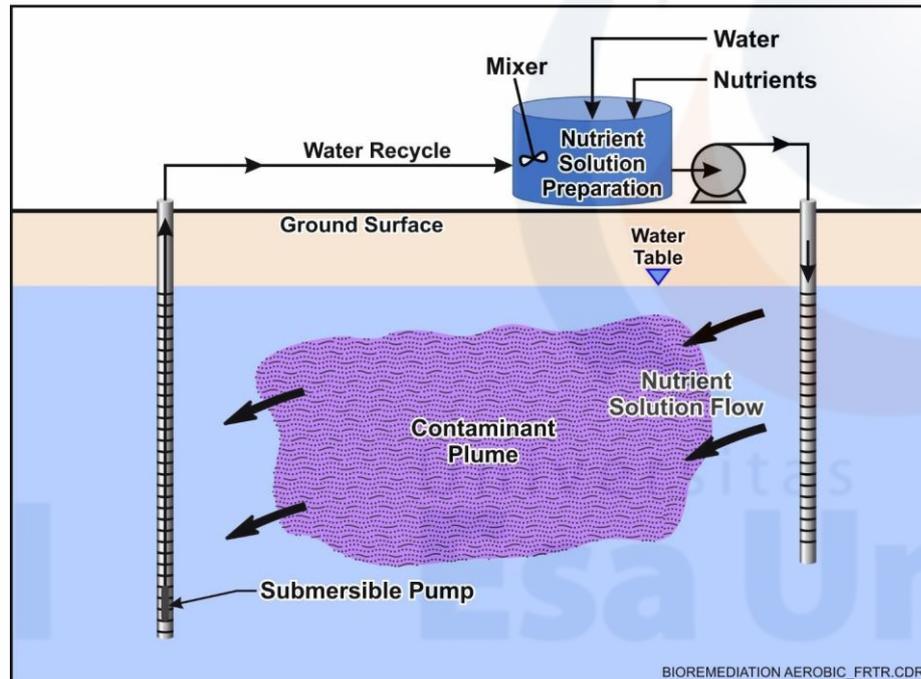
Jika di atas kita banyak membahas metode bioremediasi secara *ex situ*, maka sekarang kita melihat sedikit mengenai bioremediasi secara *in situ*. Berbeda dengan *ex situ*, bioremediasi **in situ** dilakukan pada lokasi tempat pencemaran terjadi. Metodenya bisa berupa *composting*, *bioslurping*, *bioventing*,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

Bioventing merupakan metode bioremediasi dimana dilakukan pemberian oksigen pada tanah terkontaminasi sehingga mempercepat degradasi polutan oleh mikroba.



Gambar 10. Skema metode bioventing untuk bioremediasi (sumber: <https://frtr.gov/>).

Metode *Biosparging* hampir mirip dengan bioventing. Hanya saja pada biosparging digunakan untuk zona yang jenuh, sedangkan pada *bioventing* dilakukan pada zona tidak jenuh. Metode *biosparging* juga menggunakan oksigen yang dimasukkan ke dalam zona jenuh sehingga akan merangsang mikroba untuk dapat mendegradasi limbah yang ada di zona jenuh tersebut. Jika diperlukan, nutrisi juga dapat ditambahkan ke dalam zona jenuh tersebut.



Gambar 11. Skema *biosparging* untuk bioremediasi (sumber: <https://frtr.gov/>).

Pada metode *bioslurping*, dilakukan penggabungan metode *bioventing* dan vakum. Dikutip dari Hidayat dan Siregar (2017), metode ini bekerja dengan menstimulasi aktivitas mikroba dengan menggunakan *bioventing*, dan di saat yang bersamaan menggunakan vakum untuk mengeluarkan gas-gas mudah menguap dari polutan yang ada di dalam tanah.

Metode fitoremediasi untuk bioremediasi sejatinya adalah proses pengolahan limbah pada tanah dengan menggunakan bantuan tanaman. Salah satu mekanisme dalam fitoremediasi adalah Rhizosphere biodegradation atau bisa disebut rhizodegradation dimana tanaman akan mengeluarkan nutrisi untuk mikroba tanah melalui akarnya. Sehingga mikroba ini dapat mendegradasi polutan yang ada di sekitarnya.

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.
6. Tilley, E. et al. 2014. *Compendium of Sanitation System and Technologies - 2nd Revised Edition*. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Duebendorf. Switzerland.
7. Hidayat, A dan C.A. Siregar. 2017. *Telaah Mendalam tentang Bioremediasi: Teori dan Aplikasinya dalam Upaya Konservasi Tanah dan Air*. IPB Press. Bogor.