

PERANAN BIOTEKNOLOGI DALAM RESTORASI LINGKUNGAN

Abdulkadir Rahardjanto
Universitas Muhammadiyah Malang

Abstract

Biotechnology can play a role in helping to preserve natural resources and ecosystems. In addition, biotechnology can also prevent the damage and restore environmental damage. By using genetically engineered microorganisms through recombinant DNA techniques, living organisms or their parts will be able to decompose the toxic compounds in water, air, soil, solid waste and industrial waste. Modern biotechnology provides better results and low in pollution and toxic cleaning deposit.

PENDAHULUAN

Bioteknologi kajian multidisiplin keilmuan yang mengupas isu global permasalahan yang sedang dihadapi dalam kehidupan manusia. Dikatakan sebagai multidisiplin karena bioteknologi merupakan suatu aktivitas ilmiah terarah yang melibatkan banyak disiplin ilmu seperti biokimia, biologi rekayasa, kedokteran, genetika, kimia, pertanian, lingkungan dan ekonomi. Beberapa teknik yang mendukung perkembangan bioteknologi antara lain pengembangan fotobioreaktor, manipulasi DNA rekombinan, kultur jaringan, fusi protoplas, antibodi monoklonal, modifikasi struktur protein, enzim immobilisasi, katalis sel, komputer yang berkaitan dengan proses reaktor dan desain reaktor biokatalis.

Bioteknologi berasal dari kata bio yang berarti makhluk hidup dan teknologi yang berarti cara untuk memproduksi barang atau jasa. Dari paduan dua kata tersebut OECD (The organisation for Economic Cooperation and Development) pada tahun 1981 mendefinisikan bioteknologi sebagai aplikasi prinsip ilmu pengetahuan alam dan ilmu rekayasa pada organisme hidup, materi dan bagian-bagiannya yang yang diterapkan pada makhluk hidup dan non hidup dan bertujuan untuk menghasilkan pengetahuan, produk dan jasa (van Beuzekom & Anthony Arundel, 2006). Pengertian materi dapat meliputi materi

organik dan non organic, sedangkan produk yang berupa barang dan jasa meliputi pakan, pangan, minuman, obat-obatan, senyawa biokimia, pengolahan limbah industri dan domestik, serta penjernihan air (Bull dalam Wahyono, 2001). Bioteknologi sebenarnya sudah decanal masyarakat sejak 8000 tahun yang lalu, pada saat bangsa Mesir kuno menggunakan ragi untuk pembuatan anggur dan roti. Ragi dapat mengubah glukosa dalam cairan anggur menjadi alkohol. Dalam pembuatan roti, ragi akan menghasilkan gelembung gas pada proses fermentasi, sehingga akan membuat tekstur roti menjadi empuk. Di Indonesia, bioteknologi telah dikenal sejak zaman nenek moyang dengan menggunakan ragi untuk membuat tape dan kapang *Rhizopus* untuk membuat tempe.

Dalam khasanah perkembangan ilmu-ilmu lingkungan, penerapan bioteknologi masih sangat luas dalam kegiatan penelitian maupun penerapan hasil penelitian tersebut di lapangan. Seperti juga sejarahnya, bioteknologi, karena perkembangan ilmu pengetahuan, bioteknologi lingkungan menjadi hal yang relatif baru (*rejuvenile*), sehingga semua orang tertarik dan mencoba menerapkan kajian ini dalam beberapa permasalahan yang dihadapi manusia. Bioteknologi dapat berperan dalam membantu mempertahankan sumberdaya alam dan ekosistem. Disamping itu bioteknologi juga dapat mencegah kerusakan dan merestorasi kerusakan lingkungan. Dengan menggunakan mikroorganisme hasil rekayasa genetik melalui teknik rekombinan DNA, organisme hidup atau bagian-bagiannya akan mampu mendekomposisi senyawa toksik dalam air, udara, tanah, buangan padat dan buangan industri. Bioteknologi modern memberikan hasil yang lebih baik dan murah dalam membersihkan deposit beracun dan pencemaran.

BIOTEKNOLOGI LINGKUNGAN DI INDONESIA

Upaya manusia untuk meningkatkan taraf hidup secara individu dan kelompok dengan tanpa memperhatikan kaidah lingkungan yang ada ternyata telah menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan. Kegiatan pertanian, penebangan hutan, kegiatan perikanan dan industri telah menurunkan kualitas lingkungan dan berpotensi untuk menimbulkan gangguan, kerusakan, dan bahaya bagi semua makhluk hidup yang terikat dengan lingkungan tersebut. Kondisi ini telah menyadarkan pemerintah Indonesia, sehingga pada tahun 1985 membentuk Komisi Nasional Bioteknologi guna melaksanakan kebijakan pemerintah tentang bioteknologi yang ditetapkan sebagai prioritas dalam pengembangan bangsa. Bioteknologi merupakan revolusi ke tiga dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dunia. Dalam era biologi ini,

peran teknologi hayati dalam berbagai aktivitas manusia semakin nyata dan semakin diperlukan (Amang & Husein Sawit, 1999).

Pada pengatasan permasalahan lingkungan hidup, bioteknologi lingkungan memanfaatkan mikroba serta jasad biologi yang lebih besar dalam kegiatan pengolahan limbah (purifikasi/pemurnian kembali) pada khususnya serta untuk memperbaiki kualitas lingkungan pada umumnya. Pemanfaatan jasad biologi ini sangat diharapkan, karena dianggap lebih alami dan tidak membahayakan dibandingkan dengan menggunakan bahan-bahan pemurni lain (Susilowati, 2007). Dalam kegiatan praktis di lapangan, istilah bioteknologi lingkungan masih kalah populer dibandingkan dengan istilah *bioremediation*, *biological process*, atau *technical microbiology*, atau beberapa istilah lain. yang sebenarnya seringkali merupakan tahap pemanfaatan jasad biologi dalam rangkaian pengolahan limbah atau mengolah limbah.

Pemanfaatan mikroorganisme untuk pengolahan limbah pada awalnya ditemukan melalui pengamatan ekologi yang didukung oleh ilmu dasar lainnya di bidang biologi, misalnya botani, biokimia, taksonomi, dll. Temuan dari survey ini kemudian dibuat kultur dan diuji efektifitasnya untuk kemudian dijadikan sediaan jika sewaktu-waktu diperlukan bantuannya untuk menyelesaikan permasalahan lingkungan.

Dalam pengolahan limbah, jasad biologi pada awalnya bukan hal yang menarik bagi orang teknik, karena memang bukan bidangnya. Namun ternyata mereka sangat membutuhkan mikroba tersebut dalam kegiatan pengolahan limbah, terutama dalam kegiatan pengolahan limbah organik, untuk itulah bioteknologi secara perlahan dikembangkan di bidang lingkungan.

PENGOLAHAN AIR DAN LIMBAH CAIR

Limbah yang berasal dari industri, rumah tangga, umum/*communal* (sekolah, rumah sakit, hotel, dll), dan limbah campuran biasanya memerlukan perlakuan biologis (*biological treatment*). Perlakuan limbah dilakukan untuk menurunkan kadar BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan poluan lain yang masuk kedalam kriteria persyaratan yang harus dipenuhi limbah sebelum memasuki badan perairan umum (Rahardjanto, 1997).

Secara alami sebenarnya pemurnian limbah dengan bantuan mikroba dapat berjalan walaupun tanpa adanya perlakuan secara khusus. Hal ini disebabkan di alam dan dalam air limbah telah mengandung mikroba pengurai yang baik

sebagai proses *recovery*. Namun karena pada proses biologi yang ada didalamnya seringkali terhambat oleh faktor lingkungan (misalnya karena deplesi oksigen) limbah tersebut akan mengasilkan bau yang menyengat dan tidak enak, lendir yang berlebihan. Sudah dapat diperkirakan, jika hal ini terjadi, kemungkinan mikroorganisme penghuni limbah adalah bukan dari jenis mikroba yang diharapkan perannya untuk memurnikan limbah, tetapi justru mikroba yang merugikan karena akan menghasilkan gas metana yang dapat meracuni lingkungan. Lebih kacau lagi apabila perlakuan mikroba yang salah ini diikuti oleh perlakuan manusia yang tidak bersahabat.

Selain karena jenis dan populasi mikroba yang tidak terkendali, hal lain yang sangat prinsip adalah teknik perlakuannya yang tidak dikendalikan. Misalnya waktu tunggu (*retention time*) limbah yang salah yang menyebabkan mikroba jenis tertentu meledak populasinya dan menyebabkan kekacauan dalam proses pengolahan limbah (menimbulkan bau, blooming, dll).

Berlatar belakang hal tersebut, Bioteknologi lingkungan akan dapat membantu pengolahan limbah organik dengan mengembangkan mikroba yang baik dengan teknologi yang tepat. Berdasarkan penggunaan oksigen oleh mikroba, teknik pengolahan limbah dibedakan kedalam model aerob dan an-aerob.

Model secara aerob diantaranya dilakukan dengan menggunakan teknologi *Trickling Filter Process* (saringan mikroba), *Activated Sludge Process* (lumpur aktif), *Lagoon process* (kolam) dan *Column Wastewater Reactors* (Reaktor kolom). Sedangkan secara an-aerob dilakukan dengan teknologi *sludge digestion*, *contact digestion* dan *column reactors*.

Teknik Filter Mikroba (Trickling Filter Process)

Mulanya teknologi ini ditemukan oleh Cobert (Inggris) yang pada prinsipnya, teknik ini menggunakan teknik fix-bed reaktor dimana biomass filter mikroba disimpan dan secara terus menerus ada dalam jumlah besar.

Teknologi ini dikenal juga sebagai *trckling filter film* (biomass) yang terdiri dari bakteri, jamur, protozoa, dan larva insekta. Selain itu alga biru hijau dapat tumbuh membentuk lapisan pada permukaan (Brentwood, 2009). Sehubungan dengan suplai makanan dari permukaan ke bawah. Akibatnya terjadi stratifikasi biomass mikroba secara vertikal. Misalnya antara limbah yang masih sangat berat pencemarnya dengan yang sudah agak ringan. Perlakuan dengan mikroba secara intensif dilakukan di tahap pengolahan limbah primer.

Pada teknologi *trickling filter* memerlukan beberapa persyaratan agar proses pemurnian limbah berjalan dengan baik diperlukan dua syarat. Pertama, persyaratan biotik. Seleksi jenis, jumlah dan mikroorganisme serta asosiasi kehidupan di dalamnya merupakan hal yang penting dalam *trickling filter*. Penelitian Asri (2010) menunjukkan daya kerja *Trickling filter* dalam menurunkan BOD (Biochemical Oxygen Demand) limbah industri tekstil dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: lama pemakaian, kecepatan aliran, aerasi, jenis media, ketebalan, kualitas air limbah, suhu dan pH. Sedangkan kedua adalah persyaratan abiotik yang meliputi:

a) *Retention time trickling filter*

Waktu tunggu pada proses *trickling Filter* selama 3-8 hari mikroorganisme yang tumbuh di atas permukaan media telah tumbuh cukup memadai dan diharapkan sudah siap untuk menguraikan limbah organik.

b) Aerasi

Oksigen merupakan salah satu komponen penting pada proses *trickling filter*. Agar aerasi berlangsung dengan baik, media *trickling filter* harus disusun sedemikian rupa sehingga memungkinkan masuknya udara ke dalam sistem *trickling filter* tersebut.

c) Jenis media

Bahan untuk media *trickling filter* harus kuat, keras, tahan tekanan, tahan lama, tidak mudah berubah dan mempunyai luas permukaan per unit volume yang tinggi. Bahan yang biasa digunakan adalah kerikil, batu kali, antrasit, batu bara dan sebagainya. Perkembangan teknologi terbaru, proses ini menggunakan media plastik yang dirancang sedemikian rupa sehingga menghasilkan panas yang tinggi.

d) Diameter media

Diameter media *trickling filter* biasanya antara 2,5-7,5 cm. Sebaiknya dihindari penggunaan media dengan diameter terlalu kecil karena akan memperbesar kemungkinan penyumbatan. Makin luas permukaan media, maka makin banyak pula mikroorganisme yang hidup di atasnya.

e) Ketebalan susunan media

Ketebalan media *trickling filter* minimum 1 meter dan maksimum 3-4 meter. Makin tinggi ketebalan media, maka akan makin besar pula total luas permukaan yang ditumbuhi mikroorganisme sehingga makin banyak pula mikroorganisme yang tumbuh menempel di atasnya.

- f) pH
pH sangat berpengaruh pada pertumbuhan mikroorganisme khususnya bakteri. pH selalu dikondisikan mendekati keadaan netral. pH yang optimum untuk menumbuhkan bakteri adalah 6,5-7,5.
- g) Karakteristik air limbah
Air Limbah yang akan diolah dengan *trickling filter* terlebih dahulu diendapkan, karena pengendapan dimaksudkan untuk mencegah penyumbatan pada distributor dan media filter
- h) Temperatur
Temperatur pada reactor *trickling filter* mempengaruhi kecepatan reaksi dari suatu proses biologis.

Teknik Lumpur Aktif (Activated Sludge Process)

Teknologi lumpur aktif hingga saat ini merupakan sistem yang paling banyak dipakai dalam pengolahan limbah cair. Pada dasarnya sistem ini mereproduksi efek auto-purifikasi yang terjadi di sungai-sungai, dimana mekanismenya dapat digambarkan secara sederhana sebagai berikut: Limbah + [mikroorganisme] + O₂ → [Mikroorganisme] + H₂O + CO₂

Activated Sludge merupakan teknik yang paling banyak dipakai pada pengolahan air limbah. Prinsip teknik ini adalah menginteraksikan dalam sebuah reaktor biologis teraerasi, air limbah dengan mikroorganisme tersuspensi yang akan mengurai zat pencemar pada perairan. Mikroorganisme tersuspensi pada air limbah akan membentuk flok-flok bakterien. Campuran masuk kemudian ke dalam bak pengendap dimana akan terpisahkan antara air bersih dengan mikroorganisme dalam lumpur (Sutapa, 2000)

Teknologi ini pertama kali diperkenalkan oleh Ardern dan Lockett di Manchester pada tahun 1931. Mereka memperkenalkan bahwa flok lumpur yang terbentuk dari proses pemurnian limbah dapat dimanfaatkan ulang, yang kemudian mereka sebut sebagai lumpur aktif. Prosesnya dilakukan di tangki reaksi (atau tangki lumpur aktif sebagai tangki tahap II dalam pengolahan limbah) untuk memperbanyak biomass mikroba dilakukan dengan mensuplai oksigen yang sangat dibutuhkan oleh mikroba dalam kegiatan pemurnian limbah.

Pengolahan limbah dengan cara ini terdiri dari tangki pertama, tangki lumpur aktif dan tangki akhir. Tangki pertama sebenarnya mirip kedudukannya sebagai

filter mikroba, jadi tidak mutlak harus ada dalam pengolahan limbah model ini.

Teknik Kolom Reaktor (Wastewater Reactor Column)

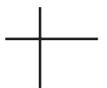
Pada limabelas tahun terakhir, teknik lumpur aktif dikembangkan untuk mengatasi limbah yang sangat berat kandungan pencemarnya. Tujuan lainnya adalah untuk mengefisienkan penggunaan oksigen dan mempercepat waktu tunggu (*retention time*), maka ditemukanlah teknologi ini. Penurunan kadar COD pada limbah industri tekstil dapat mencapai 90% dan pengurangan warna sebesar 89%. Disamping itu teknik kolom reaktor dapat memperbaiki pengendapan TSS pada air limbah (Wiloso & Roy Heru Trisnamurti, 2001)

Sistem ini disebut juga sebagai *deep shaft system*, yang menggunakan reaktor *airlift* yang tingginya dapat mencapai 70 meter lebih. Teknik ini disebut juga dengan *tower biology* karena menggunakan proses lumpur aktif

Teknik Kolam Oksidasi Terbuka dan Fotobioreaktor

Kolam oksidasi merupakan salah satu teknik yang sangat bermanfaat dalam upaya merestorasi lingkungan yang telah tercemar dengan menggunakan bioteknologi. Dengan mengkultur alga pada kolam oksidasi dapat memperoleh tiga keuntungan yaitu mereduksi beban limbah pencemar yang ada di perairan, memperoleh hasil panen biomasa alga yang dapat dibuat menjadi biodiesel dan menangkap CO₂ di udara, karena penyerap gas CO₂ yang paling efisien adalah laut (Bachu, 2000). Salah satu organisme laut yang dapat mengikat CO₂ adalah organisme berklorofil yang berupa fitoplankton atau alga, baik yang berukuran makro maupun yang mikro. Walaupun penggunaan alga hijau-biru sebagai makanan telah dikenal selama ribuan tahun yang lalu (Jensen *et al.*, 2001), penggunaan alga untuk kosmetika, farmasi dan fiksasi CO₂ masih dalam pengembangan. Para ilmuwan baru saja memahami adanya hubungan antara alga dengan iklim, tetapi bagaimana mekanisme hubungan yang terjadi belum terungkap dengan jelas (Monastersky, 1987).

Sampai saat ini teknologi budidaya alga berukuran mikro (mikroalga) dapat dikategorikan menjadi tiga sistem yaitu: kolam terbuka, fermentor heterotrofik dan fotobioreaktor. Sistem kolam terbuka udara merupakan sistem yang paling sederhana dalam pengembangan mikroalga, karena pada sistem ini mudah terjadi kontaminasi dan hanya sedikit mikroalga fotoautotrof yang dapat tumbuh. Sistem fermentor dan fotobioreaktor merupakan sistem yang lebih



maju bila dibandingkan dengan sistem kolam terbuka yang dapat dimanfaatkan untuk mengembangkan mikroalga fotoautotrof dan heterotrof dengan lebih terkontrol. Salah satu permasalahan utama pada sistem fotobioreaktor adalah pengembangan pada skala besar (Running *et al.*, 1994). Mikroalga telah dikenal sebagai spesies yang dapat tumbuh dengan cepat dan menangkap CO₂ yang efektif. Peningkatan CO₂ di udara dapat meningkatkan pertumbuhan mikroalga secara dramatis (Ormerod, 1995). Hasil dari fotosintesis mikroalga berupa asam lemak tidak jenuh. Penggunaan mikroalga relatif mudah karena mempunyai gen yang sederhana, tetapi mempunyai kemampuan fotosintesis yang tinggi sehingga dapat diharapkan dapat memproduksi hasil yang besar. Pengembangan Fotobioreaktor dan Kolam oksidasi terbuka di terrestrial masih perlu dikembangkan dengan memanfaatkan gas buang industri sebagai sumber CO₂ dan *Leachate* yang berasal dari Tempat Pembuangan Akhir sampah sebagai sumber N/C.

PENGOLAHAN LIMBAH DENGAN CARA ANAEROB

Pengolahan limbah dengan cara ini pada dasarnya dilakukan untuk memanfaatkan bakteri atau mikroorganisme lain yang anaerobik. Salah satu contoh yang sangat populer adalah pemanfaatan mikroba penghasil metan dalam kegiatan pembuatan biogas.

Mikroba penghasil metan ini dapat kita temukan tidak hanya di daerah-daerah yang menghasilkan metan tinggi, namun juga pada rumen hewan ruminansia. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa perut sapi sekitar 8 hingga 10% dari makanannya dikonversi menjadi 100 hingga 200 liter metan yang dibentuk oleh mikroorganisme dan dapat dimanfaatkan sebagai biogas. Secara biokimia, proses pendegradasian materi organik secara anaerob dapat dibagi menjadi tiga tahap yaitu tahap hidrolisis, tahap fermentasi dan tahap methanogenesis.

Tahap hidrolisis merupakan tahap dimana mikroorganisme hidrolitik akan mendegradasi senyawa organik kompleks menjadi monomer-monomer yang berupa monosakarida, asam lemak, asam amino, purin dan pirimidin. Hasil dari tahap Hidrolisis ini menjadi bahan pada tahap Fermentasi, dimana bakteri *asidogenik* akan mendegradasi monomer menjadi asam propionat, butirat, valerat, H₂ dan CO₂ (Metcalf & Eddy, 2003). Pada tahap methanogenesis, asam asetat, H₂, dan CO₂ akan diubah menjadi methane dengan reaksi sebagai berikut:

Kelompok mikroorganisme asetilasetik metanogen akan mengubah asam asetat

menjadi methana dan CO₂ : CH₃COOH → CH₄ + CO₂. Kelompok mikroorganismenya *methanogen hidrogenotropik* menggunakan H₂ sebagai donor dan CO₂ sebagai acceptor untuk membentuk methana : H₂ + CO₂ → CH₄ + 2H₂O. Pada tahap methanogenesis inilah BOD dan COD Limbah akan terdegradasi secara signifikan (McCarty dalam Metcalf & Eddy, 2003)

Pengolahan limbah dengan metode anaerob pada dasarnya sama dengan metode aerob, hanya saja pada saat ini teknik yang digunakan lebih banyak menggunakan metode *fixed-bed* dibandingkan dengan sistem *continous*. Sisi kelebihan metode anaerob adalah penggunaan lahan yang tidak terlalu luas dan dari sisi kebersihan lebih terjamin karena prosesing dilakukan secara tertutup, tidak menimbulkan dampak turunan yang lebih banyak, misalnya penyakit, gejala sosial dan lain-lain, sedangkan gas yang dihasilkan diharapkan dapat digunakan kembali. Contoh pengolahan limbah dengan metode *fixed-bed* ini adalah apa yang dilakukan Departemen Pekerjaan Umum di Bandung yang mengolah limbah cair dari pabrik tahu dengan model anaerob ini.

DEGRADASI LIMBAH PADAT

→

Degradasi limbah padat dengan menggunakan mikroorganismenya saat ini sudah banyak dikenal. Mikroba yang sangat dikenal di kalangan petani adalah mikroba yang digunakan untuk kegiatan pengomposan atau untuk tujuan perbaikan struktur tanah terutama dari segi mikrobiologi. Proses pengomposan secara singkat dapat dibagi dalam dua tahap, yaitu tahap aktif dan tahap pematangan. Pada tahap-tahap awal proses pengomposan, oksigen dan senyawa-senyawa yang mudah terdegradasi segera dimanfaatkan oleh mikroba mesofilik. Temperatur tumpukan kompos akan meningkat dengan cepat, kemudian diikuti dengan peningkatan pH kompos. Temperatur akan meningkat hingga di atas 50° - 70° C. Mikroba yang aktif pada kondisi ini dari jenis mikroba Termofilik. Mikroba-mikroba di dalam kompos dengan menggunakan oksigen pada saat penguraian bahan organik menjadi CO₂, uap air dan panas. Setelah sebagian besar bahan telah terurai, maka temperatur akan berangsur-angsur mengalami penurunan. Selama proses pengomposan akan terjadi penyusutan volume maupun biomassa bahan. Pengurangan ini dapat mencapai 30 – 40% dari volume/bobot awal bahan. Penggunaan mikroba dalam kegiatan pengomposan misalnya, banyak yang menggunakan EM4 (*Effective Microorganisms*) untuk degradasi limbah padat, misalnya limbah perkotaan, atau bahan organik lain agar proses dekomposting berjalan lebih cepat dengan



hasil yang lebih baik. Mikroba yang terkandung dalam cairan EM4 diantaranya adalah; *Lactobacillus*, ragi, bakteri fotosintetik, Actinoomycetes dan jamur pengurai selulose.

EM4 pada awalnya ditemukan untuk memperbaiki kandungan mikroba dalam tanah yang sangat diperlukan dalam menjaga kesuburan tanah, meningkatkan kalium pada kompos ampas tahu (Suswardany, dkk., 2006), dan menyebabkan pertumbuhan semai lebih optimal (Hidayat, 2005). Namun sampai saat ini banyak yang menggunakannya tidak hanya untuk menambah kesuburan tanah atau menggeser keseimbangan mikroba lain yang kurang bermanfaat dalam tanah, melainkan sedang dicobakan untuk kegunaan lain, misalnya untuk mempercepat pembusukkan serat-serat kayu untuk medium tumbuh jamur yang biasanya memerlukan waktu yang sangat lama dalam tahap kerja pengompoan (composting), dengan adanya EM4 diharapkan proses ini dapat diperpendek.

Tabel 1. Daftar Mikroba untuk Mendegradasi Limbah

Jenis Mikroba
Selulosa
Kain
Serat hewan
Karet
Polyurethane
Poly(vinyl alco
Minyak, lemak
Cat
Cat minyak
Oksida arsenic
Kerosine
Kulit
Kaca
Deterjen
Kayu

Sumber: P. Prave, D.A Sukatch "Environmental Biotechnology" (1982)

Selain EM4, saat ini digunakan juga Starbio, SuperDec, OrgaDec, EM Lestari, DegraSimba, dan lain-lain untuk keperluan serupa (Isroi, 2004). Starbio, diyakini

lebih baik dibandingkan EM4 karena jumlah kandungan mikroianya yang lebih banyak, jenisnya yang mungkin lebih efektif dan lebih kemungkinan kandungan mikroianya lebih konsisten karena dibuat dalam bentuk serbuk.

Daftar mikroba yang biasanya digunakan untuk mendegradasi beberapa jenis limbah padat tertera pada tabel di atas:

PENUTUP

Mikroorganisme adalah jasad biologi yang sangat kecil dan tidak dapat dilihat oleh manusia tanpa bantuan alat. Organisme ini berada di lingkungan sekitar kita, di udara, tanah, air bersih dan air yang kotor, pada suhu yang dingin maupun suhu yang panas. Dalam kehidupan sehari-hari manusia sangat dibantu oleh keberadaan organisme ini. Secara tradisional, organisme ini telah digunakan sejak zaman dahulu mulai dari pembuatan kecap, tauco, tape, alkohol, tempe, oncom, yogurt, dan lain-lain. Pengetahuan kemudian dikembangkan melalui kaidah-kaidah ilmiah pada skala seluler maupun molekuler yang lebih dikenal dengan Bioteknologi. Organisme-organisme renik yang berkhlorofil maupun yang tidak mempunyai khlorofil mempunyai peranan sangat penting dalam restorasi (perbaikan) lingkungan. Organisme dapat hidup pada kondisi banyak udara (aerob) maupun tanpa udara (anaerob). Organisme yang bersifat aerob dan anaerob sangat penting dalam pemulihan kembali kondisi lingkungan pada kondisi yang baik. Khusus untuk organisme berkhlorofil, baik yang berukuran makro maupun yang berukuran mikro dan bersel tunggal mempunyai kemampuan untuk menegasikan pencemar (terutama CO₂). Kemampuan inilah yang tidak dimiliki oleh organisme lain termasuk manusia. Dengan adanya kelebihan kemampuan inilah maka organisme berkhlorofil disebut sebagai organisme *Negentropy* atau organisme yang dapat menyebabkan pengurangan entropi di lingkungan, sehingga akan menyebabkan lingkungan yang tercemar akan kembali dalam kondisi seimbang sesuai dengan fitrahnya. Pada ayat yang dikenal ayat Ulil Albab (surah Ali Imron ayat 190-191) disebutkan:

Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang yang berakal, ayat ini diteruskan dengan memberi keterangan pada ayat 191:

(Yaitu) orang-prang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata); "Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka.

DAFTAR PUSTAKA

- Asri, A.N.F. 2010. *Kemampuan Berbagai Dameter Media Trickling Filter Terhadap Penurunan Kadar Biological Oxygen Demand pada Air Limbah Industri Tekstil PT Asatex di Surakarta*. Skripsi. Universitas Diponegoro. <http://eprints.undip.ac.id/13053/> diakses pada 10 Mei 2011.
- Amang, B. & M. Husein Sawit. 1999. *Kebijakan Beras dan Pangan Nasional: Pelajaran dari Orde Baru dan Era Reformasi*. Bogor: IPB Press.
- Bachu S. 2000. *Sequestration of CO₂ in geological media: criteria and approach for site selection in response to climate change*. *Energy Conversion and Management*. 41,953-970.
- Brentwood. 2009. *Trickling Filters: System Components & Applications*. Document 2.1. Water Technology. March.2009
- Hidayat,F. 2005. Pengaruh Konsentrasi Efektif Mikroorganisme 4 (em4) dan Dosis Kompos Azolla terhadap Pertumbuhan Semai Mahoni (*switenia macrophylla king*). Skripsi. Jurusan Kehutanan. Fakultas Pertanian. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Isroi. 2004. *Bioteknologi Mikroba Untuk Pertanian Organik*. Harian Kompas, 17 Desember 2004.
- Jensen, G..S., Ginsberg, D.I., Drapeau, M.S. 2001. Blue-green algae as an immunoenhancer and biomodulator. *J. Am. Nutraceutical Assoc.* 3:24-30
- Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater engineering:treatment disposal and reuse*. 4th ed. New York: Mc Graw Hill Book Co.
- Monastersky,R. 1987. *The plankton-Climate Connection*. *Science News*, Vol. 132, No. 23
- Ormerod W., Reimer P. and Smith A. 1995. *Carbon Dioxide Utilization. IEA Greenhouse Gas R & D Programme*. <http://www.ieagreen.org.uk/sr4p.htm>
- Rahardjanto, Abdulkadir. 1997. Bioremediasi Limbah Industri Tekstil dengan menggunakan Bioflokulan *Moringa oleifera* Lmk. Tesis Biologi ITB.
- Susilowati, Retno, 2001. *Bioteknologi sebagai Penunjang Pertanian berkelanjutan*. Jurnal Bestari nomor 31 tahun XIV.

Peranan Bioteknologi Dalam Restorasi Lingkungan

- Suswardany, D.L., Ambarwati, Yuli Kusumawati. 2006. Peran Effective microorganism-4 (EM-4) dalam meningkatkan kualitas kimia kompos ampas tahu. PSKM. UMS. http://eprints.ums.ac.id/1346/1/5_DWI_LINNA_S_C.pdf diakses pada tanggal 9 Mei 2011
- Sutapa, I. 2000. *Teori Bioflokulasi sebagai Dasar Pengelolaan Lumpur Aktif*. Jurnal Studi Pembangunan Kemasyarakatan dan Lingkungan. Vol 2 no. 1 tahun 2000.
- Wahyono, Poncojari. 2001. *Bioteknologi, Sebuah ilmu Masa Depan yang Menjanjikan*. Jurnal Bestari nomor 31 tahun XIV.
- Wiloso & Roy Heru Trisnamurti, 2001. Treatment of Wastewater from Textile Industry in a 1000-Liter Perforated plate Column Reactor at Various Operating Condition.. Prosiding Seminar Nasional Kimia IV dalam Pembangunan. 7-28 Maret 2001. Yogyakarta.
- van Beuzekom, B. & Anthony Arundel. 2006. Biotechnology Statistic 2006. OECD