

VII. MIKROBA DAN LINGKUNGAN

Akhir-akhir ini mikroba banyak dimanfaatkan di bidang lingkungan, terutama untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan, baik di lingkungan tanah maupun perairan. Bahan pencemar dapat bermacam-macam mulai dari bahan yang berasal dari sumber-sumber alami sampai bahan sintetik, dengan sifat yang mudah dirombak (*biodegradable*) sampai sangat sulit bahkan tidak bisa dirombak (*rekalsitran/nonbiodegradable*) maupun bersifat meracun bagi jasad hidup dengan bahan aktif tidak rusak dalam waktu lama (*persisten*). Dalam hal ini akan dibahas beberapa pemanfaatan mikroba dalam proses peruraian bahan pencemar dan peran lainnya untuk mengatasi bahan pencemar.

A. PERURAIAN/BIODEGRADASI BAHAN PENCEMAR (POLUTAN)

1. Mikroba dalam pembersihan air

Banyak mikroba yang terdapat dalam air limbah meliputi mikroba aerob, anaerob, dan fakultatif anaerob yang umumnya bersifat heterotrof. Mikroba tersebut kebanyakan berasal dari tanah dan saluran pencernaan. Bakteri colon (*coliforms*) terutama *Escherichia coli* sering digunakan sebagai indeks pencemaran air. Bakteri tersebut berasal dari saluran pencernaan manusia dan hewan yang dapat hidup lama dalam air, sehingga air yang banyak mengandung bakteri tersebut dianggap tercemar. Untuk mengurangi mikroba pencemar dapat digunakan saringan pasir atau trickling filter yang segera membentuk lendir di permukaan bahan penyaring, sehingga dapat menyaring bakteri maupun bahan lain untuk penguraian. Penggunaan lumpur aktif juga dapat mempercepat perombakan bahan organik yang tersuspensi dalam air.

Secara kimia digunakan indeks BOD (*biological oxygen demand*) dan COD (*chemical oxygen demand*). Prinsip perombakan bahan dalam limbah adalah oksidasi, baik oksidasi biologis maupun oksidasi kimia. Semakin tinggi bahan organik dalam air menyebabkan kandungan oksigen terlarut semakin kecil, karena oksigen digunakan oleh mikroba untuk mengoksidasi bahan organik. Adanya bahan organik tinggi dalam air menyebabkan kebutuhan mikroba akan oksigen meningkat, yang diukur dari nilai BOD yang meningkat. Untuk mempercepat perombakan umumnya diberi aerasi untuk meningkatkan oksigen terlarut, misalnya dengan aerator yang disertai pengadukan.

Setelah terjadi perombakan bahan organik maka nilai BOD menurun sampai nilai tertentu yang menandakan bahwa air sudah bersih.

Dalam suasana aerob bahan-bahan dapat dirubah menjadi sulfat, fosfat, ammonium, nitrat, dan gas CO₂ yang menguap. Untuk menghilangkan sulfat, ammonium dan nitrat dari air dapat menggunakan berbagai cara. Dengan diberikan suasana yang anaerob maka sulfat direduksi menjadi gas H₂S, ammonium dan nitrat dirubah menjadi gas N₂O atau N₂.

2. Mikroba perombak deterjen

Alkil benzil sulfonat (ABS) adalah komponen detergen, yang merupakan zat aktif yang dapat menurunkan tegangan muka sehingga dapat digunakan sebagai pembersih. ABS mempunyai Na-sulfonat polar dan ujung alkil non-polar. Pada proses pencucian, ujung polar ini menghadap ke kotoran (lemak) dan ujung polarnya menghadap keluar (ke-air). Bagian alkil dari ABS ada yang linier dan non-linier (bercabang). Bagian yang bercabang ABS-nya lebih kuat dan berbusa, tetapi lebih sukar terurai sehingga menyebabkan badan air berbuih. Sulitnya peruraian ini disebabkan karena atom C tersier memblokir beta-oksidasi pada alkil. Hal ini dapat dihindari apabila ABS mempunyai alkil yang linier.

2. Mikroba perombak plastik

Plastik banyak kegunaannya tetapi polimer sintetik plastik sangat sulit dirombak secara alamiah. Hal ini mengakibatkan limbah yang plastik semakin menumpuk dan dapat mencemari lingkungan. Akhir-akhir ini sudah mulai diproduksi plastik yang mudah terurai.

Plastik terdiri atas berbagai senyawa yang terdiri polietilen, polistiren, dan polivinil klorida. Bahan-bahan tersebut bersifat inert dan rekalsitran. Senyawa lain penyusun plastik yang disebut *plasticizers* terdiri: (a) ester asam lemak (oleat, risinoleat, adipat, azelat, dan sebakat serta turunan minyak tumbuhan), (b) ester asam phthalat, maleat, dan fosforat. Bahan tambahan untuk pembuatan plastik seperti *Phthalic Acid Esters* (PAE_s) dan *Polychlorinated Biphenyls* (PCB_s) sudah diketahui sebagai karsinogen yang berbahaya bagi lingkungan walaupun dalam konsentrasi rendah.

Dari alam telah ditemukan mikroba yang dapat merombak plastik, yaitu terdiri bakteri, aktinomycetes, jamur dan khamir yang umumnya dapat menggunakan plasticizers sebagai sumber C, tetapi hanya sedikit mikroba yang telah ditemukan mampu merombak polimer plastiknya yaitu jamur *Aspergillus fischeri* dan *Paecilomyces* sp. Sedangkan mikroba yang mampu merombak dan menggunakan sumber C dari plasticizers yaitu jamur *Aspergillus niger*, *A. Versicolor*, *Cladosporium* sp., *Fusarium* sp., *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp., *Verticillium* sp., dan khamir *Zygosaccharomyces drosophilae*, *Saccharomyces cerevisiae*, serta bakteri *Pseudomonas aeruginosa*, *Brevibacterium* sp. dan aktinomisetes *Streptomyces rubrireticuli*.

Untuk dapat merombak plastik, mikroba harus dapat mengkontaminasi lapisan plastik melalui muatan elektrostatis dan mikroba harus mampu menggunakan komponen di dalam atau pada lapisan plastik sebagai nutrisi. Plasticizers yang membuat plastik bersifat fleksibel seperti adipat, oleat, risinoleat, sebakat, dan turunan asam lemak lain cenderung mudah digunakan, tetapi turunan asam phthalat dan fosforat sulit digunakan untuk nutrisi. Hilangnya plasticizers menyebabkan lapisan plastik menjadi rapuh, daya rentang meningkat dan daya ulur berkurang.

3. Minyak Bumi

Minyak bumi tersusun dari berbagai macam molekul hidrokarbon alifatik, alisiklik, dan aromatik. Mikroba berperan penting dalam menguraikan minyak bumi ini. Ketahanan minyak bumi terhadap peruraian oleh mikroba tergantung pada struktur dan berat molekulnya.

Fraksi alkana rantai C pendek, dengan atom C kurang dari 9 bersifat meracun terhadap mikroba dan mudah menguap menjadi gas. Fraksi n-alkana rantai C sedang dengan atom C 10-24 paling cepat terurai. Semakin panjang rantai karbon alkana menyebabkan makin sulit terurai. Adanya rantai C bercabang pada alkana akan mengurangi kecepatan peruraian, karena atom C tersier atau kuartier mengganggu mekanisme biodegradasi.

Apabila dibandingkan maka senyawa aromatik akan lebih lambat terurai daripada alkana linier. Sedang senyawa alisiklik sering tidak dapat digunakan sebagai sumber C untuk mikroba, kecuali mempunyai rantai samping alifatik yang cukup panjang. Senyawa ini dapat terurai karena kometabolisme beberapa strain mikroba

dengan metabolisme saling melengkapi. Jadi walaupun senyawa hidrokarbon dapat diuraikan oleh mikroba, tetapi belum ditemukan mikroba yang berkemampuan enzimatik lengkap untuk penguraian hidrokarbon secara sempurna.

4. Pestisida / Herbisida

Macam pestisida kimia sintetik yang telah digunakan sampai sekarang jumlahnya mencapai ribuan. Pestisida yang digunakan untuk memberantas hama maupun herbisida yang digunakan untuk membersihkan gulma, sekarang sudah mengakibatkan banyak pencemaran. Hal ini disebabkan sifat pestisida yang sangat tahan terhadap peruraian secara alami (persisten). Contoh pestisida yang persistensinya sangat lama adalah DDT, Dieldrin, BHC, dan lain-lain. Walaupun sekarang telah banyak dikembangkan pestisida yang mudah terurai (biodegradable), tetapi kenyataannya masih banyak digunakan pestisida yang bersifat rekalsitran. Walaupun dalam dosis rendah, tetapi dengan terjadinya biomagnifikasi maka kandungan pestisida di lingkungan yang sangat rendah akan dapat terakumulasi melalui rantai makanan, sehingga dapat membahayakan kehidupan makhluk hidup termasuk manusia.

Untuk mengatasi pencemaran tersebut, sekarang banyak dipelajari biodegradasi pestisida/ herbisida. Proses biodegradasi pestisida dipengaruhi oleh struktur kimia pestisida, sebagai berikut:

- a. Semakin panjang rantai karbon alifatik, semakin mudah mengalami degradasi.
- b. Ketidak jenuhan dan percabangan rantai hidrokarbon akan mempermudah degradasi.
- c. Jumlah dan kedudukan atom-atom C_1 pada cincinan aromatik sangat mempengaruhi degradasi. Misal 2,4 D (2,4-diklorofenol asam asetat) lebih mudah dirombak di dalam tanah dibandingkan dengan 2,4,5-T (2,4,5-triklorofenoksi asam asetat)
- d. Posisi terikatnya rantai samping sangat menentukan kemudahan degradasi pestisida.

B. PERAN LAIN MIKROBA UNTUK MENGATASI MASALAH PENCEMARAN

1. Biopestisida

Pestisida mikroba termasuk biopestisida yang telah banyak digunakan untuk menggantikan pestisida kimia sintetik yang banyak mencemari lingkungan. Penggunaan pestisida mikroba merupakan bagian dari pengendalian hama secara hayati menggunakan parasit, hiperparasit, dan predator. Salah satu keuntungan pestisida yang dikembangkan dari mikroba adalah (a) dapat berkembang biak secara cepat dalam jasad inangnya (hospes), (b) dapat bertahan hidup di luar hospes, (c) sangat mudah tersebar di alam. Namun mempunyai kelemahan tidak secara aktif mencari hospes atau hama sasarannya.

Mikroba yang telah dikembangkan untuk biopestisida adalah berbagai macam mikroba sebagai berikut:

- a. Virus penyebab penyakit hama, seperti NPV (*nuclear polyhidrosis virus*), CPV (*cytoplasmic polyhidrosis virus*), dan GV (*granulosis virus*) untuk mengendalikan Lepidoptera. *Baculovirus* untuk mengendalikan Lepidoptera, Hymenoptera, dan diptera.
- b. Bakteri yang dapat mematikan serangga hama, yang terkenal adalah *Bacillus thuringiensis* (Bt). Bakteri ini dapat digunakan untuk mengendalikan Lepidoptera, Hymenoptera, diptera, dan coleoptera. Bakteri ini dapat menghasilkan kristal protein toksin yang dapat mematikan serangga hama. Selain itu ada bakteri lain seperti *Pseudomonas aeruginosa* dan *Proteus vulgaris* untuk mengendalikan belalang, *Pseudomonas septica* dan *Bacillus larvae* untuk hama kumbang, *Bacillus sphaericus* untuk mengendalikan nyamuk, dan B. Moritai untuk mengendalikan lalat.
- c. Jamur yang termasuk entomophagus dapat digunakan untuk mengendalikan hama. Sebagai contoh *Metarhizium anisopliae* dapat digunakan untuk mengendalikan kumbang Rhinoceros dan belalang cokelat. *Beauveria bassiana* untuk mengendalikan kumbang kentang, *Nomurea rilevi* untuk mengendalikan lepidoptera, *Paecilomyces lilacinus* dan *Gliocladium roseum* dapat digunakan untuk mengendalikan nematoda.

2. Logam Berat

Limbah penambangan emas dan tembaga (tailing) yang banyak mengandung logam berat terutama air raksa (Hg), industri logam dan penyamakan kulit banyak

menghasilkan limbah logam berat terutama cadmium (Cd), serta penggunaan pupuk (misalnya pupuk fosfat) yang mengandung logam berat seperti Hg, Pb, dan Cd, sekarang banyak menimbulkan masalah pencemaran logam berat. Logam berat dalam konsentrasi rendah dapat membahayakan kehidupan karena afinitasnya yang tinggi dengan sistem enzim dalam sel, sehingga menyebabkan inaktivasi enzim dan berbagai gangguan fisiologi sel.

Bakteria dapat menghasilkan senyawa pengkhelat logam yang berupa ligan berberat molekul rendah yang disebut siderofor. Siderofor dapat membentuk kompleks dengan logam-logam termasuk logam berat. Umumnya pengkhelatan logam berat oleh bakteri adalah sebagai mekanisme bakteri untuk mempertahankan diri terhadap toksisitas logam. Bakteri yang tahan terhadap toksisitas logam berat mengalami perubahan sistem transport di membran selnya, sehingga terjadi penolakan atau pengurangan logam yang masuk ke dalam sitoplasma. Dengan demikian logam yang tidak dapat melewati membran sel akan terakumulasi dan diendapkan atau dijerap di permukaan sel.

Untuk mengambil logam berat yang sudah terakumulasi oleh bakteri, dapat dilakukan beberapa cara. Logam dari limbah cair dapat dipisahkan dengan memanen mikroba. Logam yang berada dalam tanah lebih sulit untuk dipisahkan, tetapi ada cara pengambilan logam menggunakan tanaman pengakumulasi logam berat. Tanaman yang termasuk sawi-sawian (misal *Brassica juncea*) dapat digunakan bersama-sama dengan rhizobacteria pengakumulasi logam (misal *Pseudomonas fluorescens*) untuk mengambil logam berat yang mencemari tanah. Selanjutnya logam yang telah terserap tanaman dapat dipanen dan dibakar untuk memisahkan logam beratnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Madigan, MT., Martinko, JM., and Parker, J., 2000. Biology of microorganisms, Prentice Hall, Inc., New Jersey.
2. Schlegel, H.G., 1986. General microbiology, Cambridge University Press, Cambridge.
3. Stanier, R.Y., E.A. Adelberg, J.L.Ingraham, 1980. The Microbial Word, Prentice Hall, Inc., New Jersey.
4. Metting, F.B. (1993). Soil Microbial Ecology.Applications in Agriculture and Environment Management.Marcel Dekker. Inc. NY