

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Bahan Pembersih Deterjen *Laundry* dan Sifatnya

Bahan pembersih memiliki beberapa bentuk, diantaranya sabun, deterjen dan produk pembersih lainnya. Sabun berbeda dengan deterjen, karena sabun terbuat dari lemak hewani, sedangkan deterjen terbuat dari senyawa kimia buatan serta dilakukan penambahan zat aditif, sehingga terlihat lebih menarik. Sabun merupakan pembersih yang cukup baik, karena dapat bertindak sebagai bahan pengemulsi. Terbentuknya asam lemak dari asam lemak sabun dapat diubah oleh mineral garam menjadi asam-asam lemak jenuh, asam-asam lemak ini memiliki keterikatan yang rendah, bentuk presipitasi atau sabun yang membentuk buih, bentuk ini dapat menjadi tidak efektif dalam kondisi air asam (Anonim, 2003).

Pada umumnya, beberapa bahan yang terdapat dalam deterjen, terdapat zat aktif permukaan yang mempunyai gugus ujung berbeda yaitu hidrofilik (suka air) dan hidrophobik (tidak suka air), yang disebut surfaktan (Sarah, 2008). Bahan aktif ini berfungsi menurunkan tegangan permukaan air sehingga dapat melepaskan kotoran yang menempel pada permukaan bahan. Secara garis besar terdapat empat kategori surfaktan, yaitu : Anionik yang tersusun dari beberapa bahan pembentuk, seperti misalnya *Alkyl Benzene Sulfonat* (ABS), *Linier Alkyl Benzene Sulfonate* (LAS), dan *Alpha Olein Sulfonate* (AOS), beserta bahan kationik berupa garam Ammonium. Surfaktan non-ionik dalam *nonyl phenol polyethoxyle*, dan bahan amphoterik seperti *Acyl Ethylenediamine* (Sarah, 2008).

Selain itu terdapat pula bahan *builder*. Bahan *builder*, atau disebut juga pembentuk, bahan ini berfungsi meningkatkan efisiensi pencuci dari surfaktan dengan cara menon-aktifkan mineral penyebab kesadahan air. Bahan ini juga terdiri dari kumpulan beberapa bahan dasar seperti misalnya fosfat dalam ikatan *Sodium Tri Poly Phosphate* (STPP), dan bahan asetat dalam ikatan *Nitril Tri Acetate* (NTA) dan *Ethylene Diamine Tetra Acetat* (EDTA) (Sarah, 2008).

Bahan pendukung lainnya untuk membentuk bahan *builder* ini, yaitu silikat dan asam sitrat. Bahan lain yang terkandung dalam deterjen, yaitu berupa bahan *filler* (pengisi) yang merupakan bahan tambahan deterjen yang tidak mempunyai kemampuan meningkatkan daya cuci, tetapi menambah kuantitas atau dapat memadatkan dan memantapkan, contohnya Sodium Sulfat (Nugroho dkk, 2004).

Bahan lain yang ditambahkan agar deterjen terlihat lebih menarik, yaitu bahan aditif yang merupakan bahan suplemen/tambahan, misalnya pewangi, pelarut, pemutih, pewarna dst, tidak berhubungan langsung dengan daya cuci deterjen. *Additives* ditambahkan lebih untuk maksud komersialisasi produk. Beberapa contoh bahan tersebut, Enzim, Boraks, Sodium klorida, *Carboxyl Methyl Cellulose* (CMC) dipakai agar kotoran yang telah dibawa oleh deterjen ke dalam larutan tidak kembali ke bahan cucian pada waktu mencuci (anti Redeposisi). Wangi – wangian atau parfum dipakai agar cucian berbau harum, sedangkan air sebagai bahan pengikat (Nugroho dkk, 2004).

Pada limbah cair *laundry*, fosfat berperan sebagai *builder* (pembentuk) yang berfungsi meningkatkan efisiensi pencuci dari surfaktan dengan cara menon-

aktifkan mineral penyebab kesadahan air. Fosfat yang biasa dijumpai pada umumnya berbentuk *Sodium Tri Poli Phosphate* (STPP). Semua polifosfat mengalami hidrolisis membentuk orthofosfat. Perubahan polifosfat menjadi ortofosfat pada air limbah yang mengandung bakteri berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan perubahan yang terjadi pada air bersih. Pada proses biologis dalam air limbah yang diolah juga mengubah jenis polifosfat ke dalam ortofosfat, sehingga fosfat pada air limbah terdiri dari 80% ortofosfat (Wimpenny dkk, 2000).

Keadaan PO_4^{-3} (fosfat) dalam limbah cair dapat memungkinkan untuk terikat pada partikel tanah dan juga terikat dengan bahan kimia lainnya. Fosfat merupakan senyawa ionik dengan rumusan kimia PO_4^{-3} memiliki energi ionik yang dapat mengikat darah dan memungkinkan penggumpalan pada pembuluh darah, apabila asupan air minum atau makanan untuk manusia mengandung fosfat dengan kadar berlebih, dan kemampuan pengikatan fosfat yang kuat tersebut terkadang memungkinkan terjadinya pengkayaan materi yang memungkinkan terjadinya eutrofikasi pada sistem perairan. Hal tersebut memungkinkan terjadinya keberadaan spesies tumbuhan yang dapat menutupi perairan masuknya sinar matahari ke dalam perairan, hal tersebut menghambat sistem metabolisme dari organisme yang memanfaatkan tenaga dari cahaya matahari dan ekosistem terganggu (Wimpenny dkk, 2000).

Proses alamiah juga akan terganggu dikarenakan keberadaan limbah yang berasal dari aktifitas manusia. Pengertian Air Limbah Air limbah (*waste water*) adalah kotoran dari masyarakat, rumah tangga dan juga berasal dari industri, air

tanah, air permukaan, serta buangan lainnya, sehingga buangan ini merupakan hal yang bersifat kotoran umum (Anonim, 2001). Air limbah adalah air yang bercampur zat-zat padat (*dissolved* dan *suspended solid*) yang berasal dari pembuangan kegiatan rumah tangga, pertanian, perdagangan dan industri.

Air yang telah dipergunakan dengan hampir 0,1% daripadanya berupa benda-benda padat yang terdiri dari zat organik dan zat anorganik. Hampir semua kegiatan industri menyebabkan pencemaran dan menghasilkan limbah, relatif hanya beberapa industri saja (tanpa sarana pengendali pencemaran dan pengolahan limbah) yang bertanggung jawab atas sebagian limbah dan pencemaran daerah tertentu (Anonim, 2001).

Keberadaan limbah dalam lingkungan dapat mengubah keadaan lingkungan mengalami suatu mekanisme yang tidak seperti seharusnya, sehingga dapat mengubah nutrisi yang berada di dalamnya dan mengubah keberadaan organisme yang berada di lingkungan tersebut. Keberadaan suatu material haruslah berada dalam keadaan dan jumlah tertentu (Anonim, 2001).

Badan Standart Nasional menentukan besaran dan tetapan tertentu untuk keberadaan material yang dilepas ke lingkungan oleh suatu industri. Salah satu contoh bahan yang keberadaannya mengganggu ekosistem jika berlebihan yaitu fosfat, karena bahan ini memungkinkan terjadinya pengkayaan nutrisi atau disebut juga eutrofikasi, dan juga mengubah bahan lainnya seperti misalnya asam amino, dan juga memungkinkan keterikatannya dengan unsur lain pada lingkungan (Anonim, 2001).

B. Biofilm dan Manfaatnya

Keberadaan biofilm dapat memiliki pengaruh positif dan negatif, karena biofilm merupakan suatu kumpulan mikrobial yang tumbuh pada substrat yang padat, biofilm dapat dijumpai dalam kehidupan sehari-hari yang terkadang merugikan, atau dengan kata lain memiliki pengaruh negatif, seperti misalnya pada pipa-pipa, jangkar kapal, hingga pada karang gigi seperti misalnya pada Gambar 1 dan 2 (Martinez dkk, 2005).



Gambar 1. Terbentuknya plak gigi, merupakan biofilm yang berpengaruh negatif (Sumber: Martinez dkk, 2005)



Gambar 2. Terbentuknya koloni mikroorganisme yang menyumbat saluran pada pipa-pipa (Sumber: Joseph dkk, 2006)

Biofilm juga memiliki pengaruh positif, seperti misalnya untuk mempertahankan keberadaan suatu populasi di alam dan memainkan peranan penting untuk menjaga ekosistem dan hal tersebut dipelajari untuk membuat

suatu terapan untuk mengatasi masalah produk buangan dengan keberadaan senyawa kimiawi yang berlebih. Contoh penelitian reaktor biofilm yang dilakukan untuk pertumbuhan dan perkembangan biofilm (Joseph dkk, 2006).



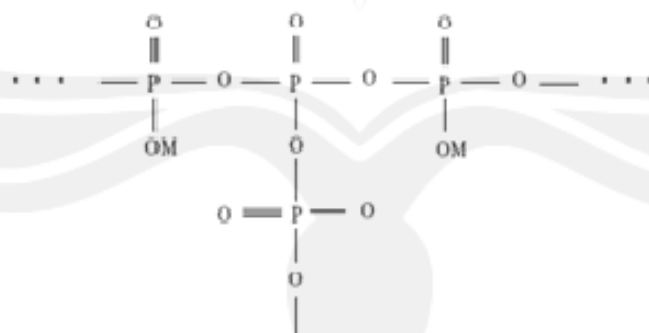
Gambar 3. Reaktor biofilm untuk proses industri biokonservasi peningkatan potensi reaksi kultur (Sumber: Joseph dkk, 2006)

Keberadaan nutrisi yang makin tidak terkontrol, seperti misalnya fosfat dapat mempengaruhi mikroorganisme membuat suatu bentuk koloni mikroba, proses terbentuknya biofilm ini belum diketahui secara pasti, karena terbentuknya biofilm ini juga bukan suatu mekanisme pengaturan bakteri menurut ukuran dan spesiesnya (Nugroho dkk, 2004). Penggunaan bahan hayati, seperti pemanfaatan metabolisme mikroorganisme untuk melakukan suatu proses pengolahan limbah sehingga dapat membentuk kondisi lingkungan yang seimbang disebut juga bioremediasi, yang dapat didefinisikan sebagai penghilangan, penggantian, atau perubahan polutan atau substansi kontaminan dengan menggunakan proses biologi (Barbara dkk, 2009).

Fosfat (P), merupakan salah satu bahan yang terdapat di alam dan memiliki peranan penting di dalamnya dan keberadaannya tidak dapat diperbaharui. Daur alami fosfat tersebut merupakan dasar dari penggunaan lumpur rumput laut banyak digunakan sebagai sumber fosfat untuk industri pertanian dan juga beberapa industri lainnya yang menggunakan kemampuan ionik dari fosfat. Penggunaan lumpur rumput laut juga digunakan untuk pupuk dan pemulihan lahan, industri kosmetik, dan deterjen (Anna dkk, 2004).

Keberadaan fosfat yang bercabang memberikan satu contoh terjadinya fosfat yang terkondensasi, seperti yang dapat terlihat bahwa kekentalan yang teridentifikasi dalam air diikuti dengan penurunan ikatan pada air, meskipun dalam suhu kamar (Anna dkk, 2004). Fosfat dalam larutan air memiliki kekuatan ionik rendah memungkinkan untuk membentuk ikatan kompleks dengan polimer lainnya, khususnya protein dan asam nukleat (Anna dkk, 2004).

Ikatan kimia dari fosfat inorganik terkondensasi (Anna dkk, 2004).

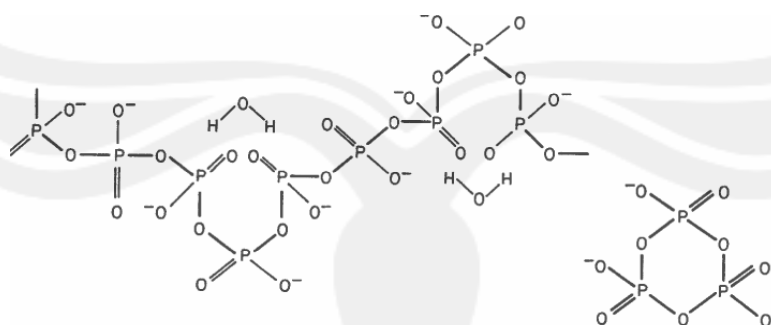


Gambar 4. Struktur dari percabangan fosfat (Sumber: Anna dkk, 2004).

Ikatan linier polifosfat dan siklofosfat terhidrolisis dengan sangat lambat pada pH netral dan suhu kamar dalam pembandingannya dengan poliasid lainnya seperti misalnya poliarsenat dan polivanadates, pada paruh waktu reaksi untuk ikatan P-O-P pada polyphosphat linier terjadi pada pH 7 dan suhu 25⁰C.

Rata-rata hidrolisis dari ikatan ini berubah pada kenaikan suhu, pH dan terdapat keberadaan gel koloidal dengan kation kompleks. Hidrolisis dari ikatan ini tergantung dari kekuatan ionik pada larutan (Sarah, 2008).

Keberadaan larutan polifosfat melalui pengujian laboratorium untuk mengetahui keterikatannya, dilakukan pemanasan hingga 60–70 °C untuk waktu satu jam, ikatan tersebut akan rusak secara kuantitatif menjadi *cyclotрифosfat* dan *orthofosfat* pada keadaan hidrolisis di bawah kondisi alkalin, tetapi perubahan tidak terjadi pada kondisi asam (pH 3,5–4,0), di bawah kondisi ini hidrolisis yang signifikan dari ikatan P–O–P memiliki peranan karena perubahan rantai menjadi panjang, karena hal tersebut perubahan berat molekul menjadi lebih rendah terjadi dan membentuk suatu ikatan *orthofosfat* (Sarah, 2008). Ketika waktu reaksi ditambah menjadi 3 jam, ikatan polimerisasi polifosfat hilang dan menjadi satu, dengan perpaduan dari berat molekul yang rendah dari poli-, siklofosfat dan ortofosfat (Sarah, 2008).



Gambar 5. Suatu ilustrasi dari ikatan linier polifosfat ke siklotrifosfat dan ortofosfat (Sumber: Sarah, 2008).

Beberapa contoh teknologi terapan yang digunakan untuk menurunkan kadar fosfat sehingga sesuai keberadaannya, antara lain digunakan membran serat berongga seperti yang digunakan pada MBfRs, karena dengan diameter luar

sekecil 0,1 mm, mereka menyediakan nisbah yang tinggi pada permukaan. Bahan hidrofobik lebih disukai karena pori-pori mereka tetap kering dan molekul gas berdifusi lebih cepat melalui pori-pori kering daripada melalui pori-pori yang dipenuhi cairan, karena pori-pori kering menghilangkan potensi *fouling* (potensi negatif terhadap lingkungan). Membran hidrofobik serat berongga dapat bekerja tanpa bergelembung, tekanan gas yang lebih tinggi meningkatkan perpindahan massa dengan menyediakan tenaga penggerak yang lebih besar untuk pemisahan zat-zat yang terkait untuk proses metabolisme (Underwood, 2005).

Penerapan teknologi bioremediasi terus dilakukan misalnya pada penelitian untuk keberadaan spesies di alam dan tempat pengaturnya, atau disebut juga reaktor. Salah satu contoh reaktor untuk penelitian biofilm yaitu penyaringan air dengan membran biofilm (*Membrane Biofilm Reactor* (MBfR)). Berikut adalah contoh reaktor penelitian yang dilakukan *Environmental Protection Agency* (EPA) untuk mengetahui proses denitrifikasi biologis untuk menghilangkan nitrat seperti yang terlihat pada struktur kimia fosfat (Anonim, 2009). Penelitian ini juga memperlihatkan proses osmoregulasi, atau proses pengaturan konsentrasi cairan dan menyeimbangkan pemasukan zat oleh mikroorganisme. Tekanan osmosis antara sel dan lingkungan yang berbeda-beda memerlukan banyak energi metabolisme untuk melakukan osmoregulasi sebagai upaya adaptasi, karena substansi sel dan lingkungan haruslah seimbang (Anonim, 2009).



Gambar 6. Reaktor penelitian untuk pengurangan nitrat (Sumber: Anonim, 2009)

Penelitian yang dilakukan *Environmental Protection Agency* (EPA) memperlihatkan keadaan lingkungan yang berbeda dan memiliki batas toleransi, sehingga keberadaan polutan-polutan seperti misalnya logam berat, *Benzene*, *Toluene*, *Ethylbenzene*, dan *Xylene* (BTEX), serta hidrokarbon yaitu suatu senyawa yang tergolong dalam kategori *Volatile Organic Compounds* (VOC) ditunjukkan dengan satuan konsentrasi tertentu dan memperlihatkan efektifitas mikroorganisme yang digunakan untuk pengaturan keberadaan suatu bahan dalam (Anonim, 2009).

Penggunaan energi metabolisme bagi mikroorganisme untuk meningkatkan kemampuannya untuk menyesuaikan kondisi lingkungannya terhadap zat-zat penghambat pertumbuhan dapat diamati pada ekosistem pantai. Kondisi yang serupa pada terapan teknologi tersebut terlihat pada mikrobentos yang memiliki daya pengikatan senyawa melalui ikatan polimerik ekstraseluler

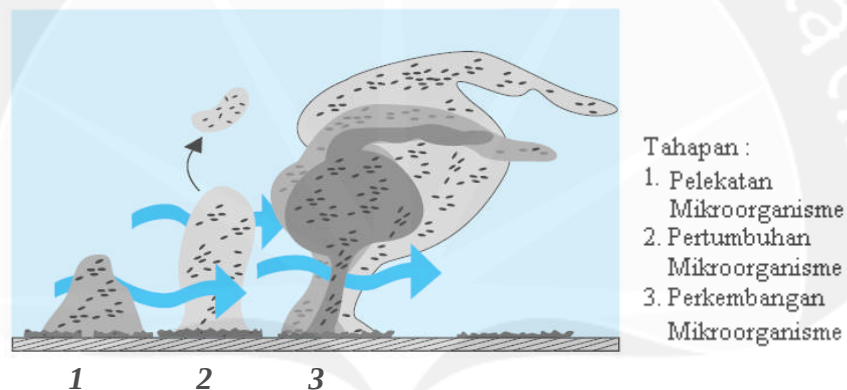
(EPS), yang terbentuk karena aktifitas mikroorganisme tersebut (Paterson dkk, 2003).

Terjadinya proses pengikatan tersebut karena gugus adhesi pada sedimen terjadi pada ukuran yang kecil dan memungkinkan keterikatannya pada mikroorganisme yang akan membentuk koloni atau disebut juga biofilm. Koloni ini memiliki struktur kimia yang unik sehingga dapat melindungi mikroorganisme dari substansi beracun pada lingkungan (Paterson dkk, 2003). Koloni dalam bentukan biofilm dapat menggunakan struktur kimia yang unik ini sebagai cara untuk penyingkiran polutan yang mengganggu daur hidupnya, maka pemanfaatan mikroorganisme dalam biofilm dapat digunakan untuk melakukan proses pemulihan lingkungan terhadap substansi yang keberadaannya tidak dapat ditoleransi dalam kondisi berlebih seperti misalnya fosfat (Paterson dkk, 2003).

Medium biofilm telah ditemukan dan dimengerti memiliki cara yang lebih efisien dan aman dengan menggunakan mikrobentos saat awal pertumbuhan. Biofilm dapat melakukan perubahan besar untuk beradaptasi dengan lingkungan dan memiliki kemampuan untuk bertahan hidup. Kemampuan untuk bertahan hidup dan Pertumbuhan biofilm didukung kondisi pH yang optimal, keberadaan konsentrasi zat terlarut dan potensial- redoks. Hal tersebut dapat mendukung sel mikroorganisme melakukan proses pengikatan mineral. Pembentukan reaktor biofilm biasa digunakan untuk perlakuan pencemaran hidrokarbon, logam berat dan dalam volume besar untuk melakukan pengenceran larutan dalam proses industri yang berkaitan dengan produk buangan (Barbara dkk, 2009).

Biofilm secara umum terbentuk pada permukaan benda padat yang masuk atau terkena air dan biasanya resisten terhadap antibiotik, desinfektan, dan cairan pembersih. Biofilm tumbuh melalui tiga proses, yaitu : pertama tahap initial, yaitu tahap awal yang mencakup pelekatan bakteri ke substratum (Paterson dkk, 2003).

Tahap kedua yaitu pertumbuhan bakteri yang mengarah pada kolonisasi daerah sekitarnya dan tahapan yang ketiga yaitu terbentuknya biofilm. Hal ini terlihat dalam gambar 7 (Paterson dkk,2003).



Gambar 7 : Proses pembentukan biofilm yang terjadi di alam
 (Sumber : Paterson dkk, 2003).

Keberadaan nutrient, seperti misalnya fosfat dapat mempengaruhi pertumbuhan organisme. Pembentuk biofilm dengan mengawali pembentukan kumpulan semacam rantai panjang yang terangkai kemudian menjadi suatu kumpulan serupa lendir yang saling terikat dalam rantai polipeptida, serta memiliki sisi aktif untuk mengikat nutrien dari lingkungan. Biofilm juga memiliki kemampuan mengabsorpsi senyawa nutrisi pertumbuhannya, sehingga koloni mikroorganisme ini mampu bertahan pada kondisi lingkungan yang ekstrim (Judith, 2005).

Dengan informasi kemampuan mikroorganisme tersebut, dapat dibuat suatu perencanaan perlakuan untuk produk buangan atau limbah, mikroorganisme yang terpilih untuk suatu produk buangan seperti misalnya proses aplikasi bioremediasi fenol. Sebelumnya dilakukan pengadaptasian dengan menggunakan beberapa zat berkonsentrasi tinggi, untuk ammonium, nitrat, dan nitrit (Desouky dkk, 2003).

Dalam perancangan alat untuk mendukung pertumbuhan mikroorganisme pada medium, faktor yang digunakan sebagai pembanding dan pengamatan awal yaitu keadaan lingkungan yang mendukung pembentukan koloni mikroorganisme. Biofilm memerlukan kondisi yang terdapat oksigen di lingkungan dan terdapatnya tekanan permukaan yang berbeda sehingga mikroorganisme dapat menempel di mana saja, dengan adanya aliran cairan yang bersentuhan dengan lapisan permukaan, maka jumlah bakteri pada kondisi ini tidaklah banyak jenisnya (Martinez dkk, 2005).

Pembentukan biofilm pada lingkungan merupakan produktivitas yang spesifik dalam jumlah penurunan dan pengurangan material organik pada permukaan sedimen dalam pemanfaatan substansi sebagai nutrisi pertumbuhan biofilm (Joseph dkk, 2006). Hal ini tergantung dari keberadaan mikrobial atau metazoa yang berada di lingkungan tersebut. Dengan memperhatikan pertumbuhan dan perkembangannya sehingga menyebabkan terjadinya perubahan bentuk fisik bahan yang dilekati. Terdapat suatu pernyataan bahwa kemampuan mereka 100-1000 kali lebih tinggi daripada sistem yang biasa digunakan dalam suatu kolom air (Paterson dkk, 2003).

Khususnya pada daerah pantai, perubahan bahan yang dilekati biofilm seperti misalnya batuan ataupun peralatan buatan manusia yang terbentuk dalam penampakan yang berbeda karena proses metabolisme mikroorganisme (Joseph dkk, 2006).

Pembentukan biofilm merupakan suatu proses alami yang menguntungkan, terdapat juga kejadian yang merugikan seperti misalnya terjadi eutrofikasi. Maksud dari eutrofikasi, yaitu pengayaan materi pada badan air dan terjadi penambahan unsur-unsur pertumbuhan bagi tanaman (pada bagian ini senyawa nitrogen dan fosfat) (Wang dkk, 2009). Terlalu banyaknya nutrisi pertumbuhan menyebabkan pertumbuhan vegetasi yang tak terkontrol dan memungkinkan timbulnya kerusakan ekosistem (secara umum berupa penambahan jumlah tanaman dan juga *mikroalga*). Konsumen perlu diberitahu bahwa sekecil apapun pencemaran akan tetap menghasilkan dampak terhadap lingkungan (Wang dkk, 2009).

Kemampuan pemisahan substansi organik dari karbon telah banyak digunakan pada pengolahan limbah dengan perlakuan sistem pertumbuhan alga. Penggunaan mikroalga ini dinyatakan sudah berhasil, nilai prosentase keberhasilannya dinyatakan 95%, hanya saja membutuhkan biaya yang besar dalam prosesnya, karena diharuskan melalui beberapa proses, seperti filtrasi dan sentrifugasi agar biomassa alga terjaga (Schumacher dkk, 2003). Tidak terjaganya biomassa, akan menyebabkan zat yang beracun bagi lingkungan, oleh karena itu, penggunaan alga ini lebih banyak digunakan untuk menghasilkan pupuk (Schumacher, 2003).

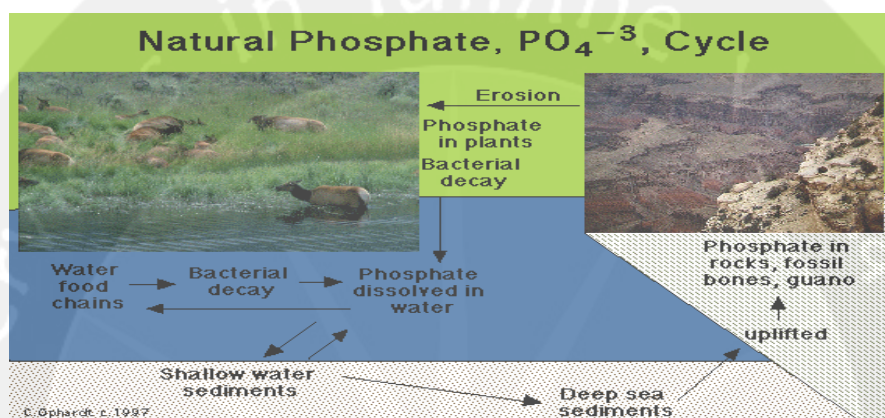
Biomassa dapat terjaga didukung oleh adanya aktifitas fototropik. Biofilm memperlihatkan suatu pengaturan pH dan keseimbangan karbondioksida untuk mencapai keadaan yang sesuai dalam air. Penurunan pH dapat menyebabkan presipitasi dari pengikatan fosfat, sehingga penggunaan biofilm dapat dilakukan untuk mengurangi kadar fosfat pada lingkungan (Schumacher dkk, 2003).

Sistem ekologi ini telah dipelajari pada sebagian daerah pantai untuk habitat intertidal, daerah air payau, perairan pantai yang dangkal, dan yang terakhir pada perairan pantai dekat perkotaan (Dong dkk, 2000). Pembelajaran ini memberi pengetahuan ekologi bahwa keberadaan biofilm memiliki fungsi yang penting dalam membantu proses alamiah untuk proses menyeimbangkan keadaan senyawa dalam lingkungan (Dong dkk, 2000).

Produksi primer dari mikrobentos dapat menjadi sangat tinggi dan memiliki bagian penting dalam perbanyakan karbon pada daerah pesisir pantai dan bagian pantai yang menjorok ke dalam. Mikrobentos juga memiliki peranan dalam semua bagian dari proses biogeokimia, seperti misalnya pergantian nutrisi dan daur nitrogen (Dong dkk, 2000).

Mikroorganisme memiliki peranan penting dalam suatu ekosistem, dalam kebanyakan jenis batuan, kobalt, pasir, dan kayu merupakan permukaan yang dapat ditumbuhi biofilm dengan struktur yang berbeda dan memiliki karakteristik tertentu. Dalam gabungan berbagai jenis struktur yang berbeda ini dapat terlihat secara signifikan perbedaan dalam aktifitas fotosintesis, ketebalan biofilm, densitas bakteri, dan juga aktifitas enzimatisnya (Paterson dkk, 2003).

Jalur karbon organik dalam pembentukan biofilm dapat mengurangi kadar senyawa kimiawi berlebih dalam lingkungan, hal tersebut tergantung dari keberadaan biofilmnya. Salah satu senyawa kimia yang penting dalam suatu daur peralihan bahan kimia yaitu fosfat. Gambaran sistem tersebut terlihat pada Gambar 8 (Paterson, 2003).



Gambar 8 : Siklus fosfat yang terjadi di alam (Sumber: Paterson dkk, 2003).

Keberadaan nutrien, seperti misalnya fosfat dapat mempengaruhi mekanisme keberadaan penyusun organik ataupun anorganik dalam suatu ekosistem seperti misalnya organisme yang berkoloni dalam biofilm heterotrofik. Pengikatan nutrien yang terjadi secara langsung ataupun melalui substansi lainnya (Underwood, 2005).

Salah satu contoh nilai penting suatu organisme dalam pengaruhnya untuk keberadaan suatu bahan, dapat terlihat pada species mikrobenthos yang juga dapat memisahkan fosfor, silikat, dan nitrogen dalam suatu kolam air dan juga memiliki peranan dalam proses nitrifikasi serta denitrifikasi. Teknik nitrifikasi dan denitrifikasi biofilm dapat membentuk suatu proses pengikatan nutrien, dan hal tersebut sangat terlihat dalam suatu daerah pantai (Smith dan Underwood, 2000).

Pengikatan nutrien yang terjadi di daerah pantai dengan keberadaan lingkungan yang berubah-ubah, mengkondisikan mikroorganisme harus dapat beradaptasi, hal tersebut dilakukan mikroorganisme dengan membentuk koloni yang didukung oleh produksi substansi polimer ekstraseluler (*Extracellular Polymeric Substances* (EPS)) untuk membentuk suatu koloni yang tahan dalam kondisi yang berbeda untuk pertumbuhan mikroorganisme-mikroorganisme tersebut (Smith dan Underwood, 2000).

Keberadaan EPS tidak hanya suatu komponen yang terstruktur, tetapi juga merupakan komponen fungsional yang memberi peran untuk aktifitas biofilm. Keberadaannya memberikan kekuatan keterikatan, melindungi sel dari perubahan pH, kualitas air, dan memainkan peranan kunci untuk pelekatan biofilm (Xiaoqi, 2006). Sel-sel mikroorganisme secara cepat dapat berkumpul pada permukaan sedimen setelah ombak surut. Secara sederhana dikarenakan keadaan yang kritis untuk mikrobia tersebut maka mereka saling berikatan untuk membentuk pertahanan dengan ikatan ekstraseluler dengan substansi dalam bentukan polimer (Xiaoqi, 2006).

C. Ekologi Biofilm dan Terapannya

Pada daerah bertebing, pantai diperkirakan 15-50% produksi primer pelagik dan bentik memiliki peranan penting untuk siklus nutrien dan karbon. Secara termodinamika, keberadaan O_2 menjadi penting sebagai elektron penerima, tetapi air laut memiliki sedikit O_2 . Kebanyakan proses yang terjadi dalam lingkungan seperti degradasi karbon oleh mikroorganisme terjadi dalam kondisi

anaerobik yang menggunakan nitrat, mangan oksida, besi oksida atau sulfat sebagai akseptor elektron (Joseph dkk, 2006).

Pada zona subtidal, biofilm dari pasir koral dan rumput laut memiliki beberapa flora yang berbeda yang didominasi oleh *Diploneis*, *Amphora*, *Psammodictyon*, *Tryblionella* dan *Mastogloia* (Underwood, 2005). Keberadaan species ini dapat dimengerti karena pentingnya keberadaan biofilm dalam ekosistem dan fungsinya pada lingkungan lautan. Beberapa studi mengenai keberadaan biofilm ini memunculkan teknologi baru dalam skala mikroskopik dalam penggunaan mikroorganisme (Underwood, 2005).

Salah satu teknologi terapan yang ada yaitu MBfR (*Membran Biofilm Reactor*), suatu sistem pemasukan gas langsung untuk mendukung pertumbuhan biofilm pada permukaan membran sehingga mendukung proses pembentukan biofilm pada lapisan lain, sehingga kondisi membran ialah hidrofobik (Underwood, 2005). Kombinasi dari membran untuk pengaliran gas dan mendukung pembentukan biofilm, dinamakan MBfR dan bukan merupakan suatu membran bioreaktor (MBR). Suatu MBfR merupakan suatu proses biologi yang menggunakan membran untuk memisahkan biomassa dari air tercemar dan menggunakan kolom penjernih. MBR berlaku sebagai filter, sehingga memungkinkan suatu proses pembentukan biofilm atau penggunaan bahan lain sebagai membran pada permukaan (Underwood, 2005).

Pemanfaatan mikroorganisme (ganggang, bakteri, *protozoa*) untuk menguraikan senyawa organik dalam limbah menjadi senyawa yang lebih

sederhana dan mudah mengembalikannya (Underwood, 2005). Macam pengolahan secara biologi yaitu :

- a) Pengolahan secara anaerob adalah pengolahan limbah dengan kondisi tidak ada oksigen, tetapi mengubah bahan organik dalam limbah menjadi lebih mudah untuk diurai.
 - b) Pengolahan secara fakultatif adalah pengolahan limbah yang mikroorganismenya bersifat aerob bila ada oksigen dan dapat berfungsi sebagai organisme anaerob bila tidak ada oksigen.
 - c) Pengolahan secara aerob adalah pengolahan limbah dengan kondisi ada oksigen tempat mikroorganisme yang menguraikan limbah.
- (Underwood, 2005).

Kolom perkembangbiakan reaktor biofilm dapat diterapkan penggunaannya dalam proses pengolahan limbah fosfat, hasil penerapan terbentuk pada MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactor*). Hasil yang diperoleh untuk skala laboratorium pada sistem MBBR diperoleh hasil penghilangan fosfat mencapai nilai hingga 95,76% pada kondisi optimum (500 mg COD L⁻¹ dan 12,5 mg PO₄-P L⁻¹), perolehan total pada sistem MBBR untuk penghilang fosfat sebesar 87,92%. Hal ini dapat terjadi karena adanya penggunaan energi untuk pelepasan ikatan polifosfat dan kemudian sel bakteri memisahkan ortophosphat dari larutan (Kermani dkk, 2008).

Terapan lainnya yang menggunakan salah satu jenis spesies alam liar yang diisolasi yaitu *Phanerochaete chrysosporium* strain BKM-F-1767 (ATCC 24725), digunakan untuk percobaan pertumbuhan biofilm (Mellisa, 2006). Kultur

jamur ini ditumbuhkan pada cawan petri dengan suhu pertumbuhan 37°C. Miselium yang dihasilkan dihomogenasi dengan air yang telah didestilasi dan disterilkan, untuk membentuk campuran miselium dan kemudian dilakukan proses filtrasi untuk pertumbuhan sporanya. Spora murni yang terbentuk dibekukan hingga kering pada suhu -70°C dan disimpan pada suhu 4°C, kemudian dilakukan pengaliran cairan berisi nutrisi untuk menunjukkan pembentukan biofilmnya (Mellisa, 2006).

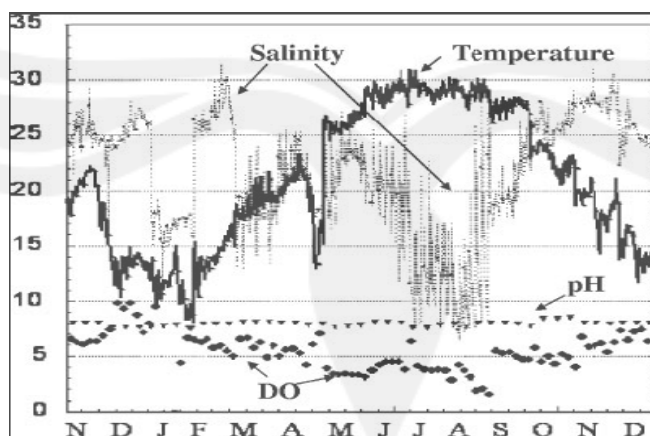
Sebagian besar dari parameter lainnya berbeda secara signifikan di tiap skala waktu yang berbeda. Seperti misalnya, di saat hujan dan perubahan musim. Pola-pola dalam suatu partikel dan pemasukan nutrisi yang terlarut dalam suatu sistem estuaria dapat mempengaruhi struktur komunitas biofilm dan sebagai suatu tanggapan mikroorganisme untuk kondisi yang mereka butuhkan untuk pertumbuhan (Wimpenny dkk, 2000).

Mikroalga benthik bersaing secara efisien dengan komunitas mikrobial lainnya untuk nutrisi dan produksi O_2 mereka memiliki pengaruh pada proses diagenetik lain seperti misalnya denitrifikasi, nitrifikasi, oksidasi besi, dan oksidasi sulfida. Hal ini memiliki potensi yang besar untuk terapan, maka perhatian dari proses tersebut dilakukan pengamatan yang khusus, terutama untuk produksi pelagis di Artik dan daerah tropis untuk komunitas intertidal (Anonim, 2001).

Dalam percobaan, dilakukan pengamatan variasi pertumbuhan yang bagus terjadi dalam keberadaan suhu dan salinitas tertentu. Suhu air yang dapat terlihat memperoleh hasil terendah diperoleh pada bulan Januari, sebesar 8°C.

Peningkatan suhu maksimum pada bulan Juli, sebesar 31°C. Salinitas dalam pengambilan sampel selama 14 bulan diperoleh 6,28 ppt hingga 32,1 ppt tanpa perubahan khusus yang terjadi sepanjang musim. Fluktuasi yang besar terjadi selama musim panas, dengan masa inkubasi antara bulan Juli, 7,54 hingga 22,83 ppt serta bulan Agustus, 6,28 hingga 28,43 ppt (Estradivari dkk, 2007).

Diperoleh pula salinitas terendah sebesar 6,28 ppt selama musim panas akhir mendekati musim hujan. Perubahan ini dapat terjadi dikarenakan adanya perubahan partikel-partikel dalam air dan mempengaruhi keberadaan species, perubahan secara taksonomisnya ditunjukkan dengan hibridisasi fluorescent *in situ hybridization* menggunakan probe rRNA-targeted. Perolehan hasilnya terlihat bahwa komunitas tersebut didominasi oleh *Proteobacteria* selama tahapan awal pembentukan biofilm, diikuti peningkatan yang cepat dan berkelanjutan dari keberadaan *Proteobacteria* dan *Cytophaga-Flavobacterium* pada biofilm (Estradivari dkk, 2007).



Gambar 9. : Variasi musiman (November 2002 hingga Desember 2003) dalam Parameter – parameter keberadaan air dalam lingkungan (salinitas, suhu, DO, dan pH) dari sampel (sumber: Estradivari dkk, 2007).

Karakteristik fisik perairan berperan penting dalam menentukan kesesuaian reaktor biofilm, sebagai tempat pertumbuhan yang baru, setelah dilakukan pemindahan tempat tumbuh dan perkembangan biofilm. Pendekatan ekologi untuk perancangan reaktor biofilm sangatlah penting, karena keadaan lingkungan yang berbeda memungkinkan tidak terbentuknya biofilm (Anonim, 2001).

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan suatu reaktor, yaitu kualitas air secara fisika selama inkubasi dan pembentukan biofilm dari sampel yang diambil dari habitat aslinya serta disesuaikan dengan reaktor yang dibuat, beberapa parameter yang diperhatikan yaitu: salinitas, suhu, pH, dan *Dissolved Oxygen* (DO) (Anonim, 2001).

Reaktor biofilm laboratorium diatur untuk merangsang pertumbuhan biofilm yang diambil dari kehidupan alamnya. Reaktor dijalankan dalam suhu ruang 20°C, dengan keadaan terkena cahaya agar fotosintesis bakteri terjadi saat menjalankan metabolisme. Keberadaan pH mendekati keberadaannya di alam sangatlah penting karena hal tersebut mempengaruhi kemampuan adaptasi mikroorganisme di lingkungan barunya (Anna dkk, 2004).

Proses biogeokimia yang berlangsung memiliki perbedaan yang utama antara proses kohesif dan sedimen permeabilitas yaitu pada mekanisme transportnya terhadap suatu substansi terlarut dalam larutan. Kompetisi bentik untuk perolehan nutrisi serta produksi O₂ berpengaruh pada proses diagenetik seperti, misalnya denitrifikasi, nitrifikasi, oksidasi logam dan oksidasi sulfida (Anna dkk, 2004).

Keberadaan biofilm dalam reaktor membran biofilm ini juga didukung oleh keberadaan zat padat terapung dengan sifat zat padat yang tersuspensi dalam air. Hal tersebut sangat penting bagi penentuan keberadaan suatu bahan dalam komponen-komponen air secara lengkap dan juga dilakukan untuk perencanaan serta pengawasan proses-proses pengolahan limbah cair (Underwood, 2005).

Total Suspended Solid (TSS) yaitu jumlah zat yang tersuspensi dalam volume tertentu di dalam air (mg/l) (Underwood, 2005). *Suspended Solid* adalah zat padat tersuspensi yang dapat dikelompokkan menjadi zat padat terapung dari zat padat terendap, *Total Suspended Solid* adalah suatu sampel yang diketahui sampelnya disaring dengan menggunakan kertas saring berukuran 0,45 μm (Underwood, 2005). Setelah itu dilakukan penimbangan dengan ketelitian 0,0001 gram. selisih dari berat kertas saring isi dan kertas saring kosong adalah jumlah padatan tersuspensi (Underwood, 2005).

Ketika melaksanakan percobaan pertumbuhan biofilm langkah-langkah sterilisasi harus diambil dalam semua langkah-langkah persiapan, untuk mencegah kontaminasi (Mellisa, 2006). Hal yang terpenting adalah selaput/biofilm ditangani dengan lembut dan dengan jumlah minimum distorsi. Semua tabung, gelas dan bioreaktor yang digunakan diautoclaved selama 20 menit pada 120 ° C (Mellisa, 2006).

D. Hipotesis

Biofilm mikrobentos dapat menurunkan kadar fosfat pada air buangan deterjen *laundry* sebesar 80 %.