

**Dinamika Populasi Konsorsium Bakteri Hidrokarbonoklastik :  
Studi Kasus Biodegradasi Hidrokarbon Minyak Bumi Skala Laboratorium  
(The Dynamic Population of the Bacterial Hydrocarbonoclastic Consorsium in  
the Crude Oil Sludge Degradation)**

Astri Nugroho

*Staf Pengajar Program Studi Teknik Lingkungan  
Fakultas Arsitektur Lansekap dan Teknologi Lingkungan  
Universitas Trisakti*

**ABSTRACT**

*Experiment in laboratory scale has been carried out to study population dynamic of the bacterial hydrocarbonoclastic consorsium in the crude oil sludge degradation being mixed with NPK fertilizer as nitrogen resources. Aerobic test was carried out by putting erlenmeyers in a shaker incubator, 120 rpm shaking speed, at 50°C temperature. During 15 days in laboratory scale observation showed that the consortium has the potential to grow up to 50% (v/v) sludge oil load. Maximum growth and maximum growth rate of the consortium in liquid media occurred in the III C treatment (by adding 50% (v/v) sludge oil and by mixing nitrogen in the form of NPK fertilizer amounting 30% (w/v) of added substrat. At the end of the study 7 species of bacteria were identified, 5 of them are of *Bacillus* sp, which are aerobical. During degradation process, consorsium growths fluctuativelly. There is spesific process to degrade complex substrat by consortium bacteria.. Specifically, this experiment informs that bacterial consortium degradator of crude oil sludge are more efective than monoculture bacterial. Crude oil consists of complex hydrocarbon, in the other hand for each spesies bacteria has spesific enzyme which work on spesific substrat. They only have limited ability. Each bacteria of its corsorsium has dominated the consorsium which is able to use hydrocarbon fraction.*

*Keywords : population , dynamic, hydrocarbon, consorsium, degradation*

**PENDAHULUAN**

Di alam terdapat banyak mikroorganismenya dengan kekhasan metabolisme dan kometabolismenya yang dapat dimanfaatkan dalam penguraian suatu polutan, misalnya hidrokarbon yang terkandung dalam minyak bumi. Dalam proses metabolisme, mikroorganismenya menggunakan minyak bumi sebagai substrat untuk memperoleh sumber karbon dan energi bagi perkembangbiakkannya, sedangkan dalam proses kometabolisme, minyak bumi juga akan ditransformasikan sehingga dapat didegradasi. Biodegradasi senyawa organik oleh mikroorganismenya dapat terjadi bila terjadi transformasi struktur di dalam senyawa sehingga terjadi perubahan integritas molekular. Proses ini berupa rangkaian reaksi kimia enzimatik atau biokimia. Kedua proses itu memerlukan kondisi lingkungan yang harus sesuai dengan pertumbuhan dan perkembangbiakan mikroorganismenya (Sheehan, 1995).

Susunan senyawa minyak bumi yang kompleks, menyebabkan suatu spesies tunggal mikroorganismenya tidak dapat mendegradasi keseluruhan komponen penyusun minyak bumi tersebut, karena setiap spesies bakteri

membutuhkan substrat yang spesifik. Beberapa bakteri yang berinteraksi saling menguntungkan dalam bentuk konsorsium sangat berperan selama berlangsungnya proses degradasi minyak bumi.

Mikroorganismenya yang dapat hidup dan berperan dalam penguraian hidrokarbon adalah bakteri, sedangkan kehadiran mikroorganismenya lain yang tidak terlalu dominan tetapi cukup berperan yaitu jamur, ragi, alga, dan aktinomisetes (Chater dan Somerville, 1978). Bakteri dalam aktivitas hidupnya memerlukan molekul karbon sebagai salah satu sumber nutrisi dan energi untuk melakukan metabolisme dan perkembangbiakkannya. Senyawa hidrokarbon dalam minyak bumi merupakan sumber karbon bagi pertumbuhan mikroorganismenya tertentu, sedangkan senyawa non-hidrokarbon merupakan nutrisi pelengkap yang dibutuhkan untuk pertumbuhannya. Melalui mekanisme degradasi hidrokarbon yang khas, sumber karbon tersebut dapat dimanfaatkan untuk melangsungkan proses metabolisme dan perkembangbiakkannya. Dari uraian di atas, Davis (1967) menyebutkan bahwa bakteri yang memiliki kemampuan mendegradasi senyawa hidrokarbon untuk keperluan metabolisme dan

perkembangbiakannya disebut kelompok bakteri hidrokarbonoklastik.

Penelitian-penelitian terbaru berusaha mendekati degradasi yang terjadi di alam, yaitu memanfaatkan populasi campuran (dalam bentuk konsorsium) untuk mendegradasi campuran hidrokarbon (*crude oil*). Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mempelajari dinamika populasi konsorsium bakteri selama proses degradasi berlangsung mengingat bahwa kecepatan biodegradasi minyak bumi tidak hanya dipengaruhi oleh struktur kimia hidrokarbon, melainkan juga dipengaruhi oleh spesifisitas substrat yang dimiliki bakteri-bakteri pengguna hidrokarbon itu sendiri.

## METODE

### Bahan dan Alat

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah *sludge crude oil* yang diperoleh dari salah satu kontrak *production sharing* (KPS) di Kalimantan, sedangkan sebagai sumber isolat adalah konsorsium bakteri yang diperoleh dari tanah terkontaminasi *sludge* minyak bumi di sekitar industri minyak. Medium dasar yang digunakan dalam penelitian di laboratorium adalah *Stone Mineral Salt Solution* (SMSS) (Sharpley, 1966). Pupuk NPK produksi Norsk Hydro A.S. Norwegia yang mengandung unsur hara utama berupa 25% N, 7% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> serta 7% K<sub>2</sub>O digunakan sebagai sumber nitrogen tambahan.

### Adaptasi dan Aktivasi Konsorsium

Sebelum diuji kemampuan degradasinya, isolat bakteri yang diperoleh perlu diaktivasi dan diadaptasikan pada medium yang akan digunakan. Kultur yang telah teraktivasi hingga diperoleh jumlah rata-rata bakteri sebanyak 10<sup>6</sup> sel/mL dapat digunakan sebagai inokulum dalam penentuan kurva pertumbuhan dan uji perlakuan untuk menentukan rasio C dan N yang dapat memberikan persentase degradasi *sludge* minyak bumi paling banyak.

### Penentuan Variasi Perlakuan berdasarkan rasio C : N

Tahap perlakuan pada skala laboratorium dimaksudkan untuk mengetahui berapa banyak *sludge* yang dapat didegradasi oleh konsorsium uji dan bagaimanakah rasio C:N yang dapat memberikan persentase degradasi *sludge* minyak bumi paling tinggi.

### Penentuan Pola Pertumbuhan

Pola pertumbuhan konsorsium bakteri yang ditumbuhkan dalam medium yang mengandung *sludge minyak* bumi untuk mengetahui pola pertumbuhan masing-masing isolat dalam bentuk konsorsium maupun dalam kultur tunggal. Untuk pembuatan kurva standar dan kurva tumbuh digunakan *fluorescen diacetate* (FDA). FDA digunakan karena medium kultur tidak homogen sehingga penghitungan secara tidak langsung dengan mengukur nilai kerapatan (*Optical Density*/OD) menjadi tidak akurat.

### Pengukuran Variabel Degradasi

1. Penghitungan jumlah sel bakteri; Penghitungan jumlah sel bakteri/mL dilakukan dengan metoda cawan hitung *total plate count* (TPC) pada medium NA secara duplo.
2. Pengukuran fluorescen diacetate (FDA); Prinsip penggunaan FDA adalah kemampuan FDA untuk berikatan dengan enzim intraseluler dan beberapa enzim ekstraseluler seperti protease, lipase, dan esterase untuk menghasilkan fluoresensi yang dapat dibaca nilai *optical density* (OD)-nya. Konsentrasi FDA yang terhidrolisis berkorelasi dengan jumlah sel. Semakin banyak jumlah FDA yang terhidrolisis, maka semakin banyak jumlah sel yang terkandung dalam kultur (Breeuwer, 1996).
3. Berat *sludge* minyak bumi  
Berat *sludge* minyak bumi dari semua variasi perlakuan baik pada skala laboratorium di awal dan akhir penelitian ditimbang setelah terlebih dahulu dipisahkan dari medium cair maupun tanah dengan menggunakan pelarut n-pentana. Persentase penurunan berat *sludge* minyak bumi selama uji perlakuan menunjukkan persentase degradasi yang terjadi.
4. Pengukuran pH  
Nilai keasaman (pH) medium di akhir penelitian diukur dengan menggunakan alat pH meter yang sudah dibakukan sebelumnya.

### Identifikasi Isolat Bakteri

Isolat-isolat bakteri yang telah dimurnikan tersebut diidentifikasi secara mikrobiologis, didahului dengan beberapa pengamatan morfologi koloni, morfologi sel, dan uji biokimia. Kultur murni bakteri yang digunakan

untuk identifikasi adalah yang berumur 24 jam. Identifikasi tersebut dilakukan di laboratorium Mikrobiologi, Program Studi Mikrobiologi, Sekolah Ilmu & Teknologi Hayati, ITB, Bandung. Hasil pengamatan dicocokkan dengan kunci determinasi bakteri dalam buku “*Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*” (Buchanan dan Gibbons, 1974).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pola Pertumbuhan Konsorsium Bakteri Tahap Adaptasi

Tahap adaptasi ini merupakan suatu upaya untuk mengadaptasikan konsorsium bakteri dalam medium SMSS sebagai larutan basal yang ditambah dengan 1% ekstrak ragi. Ekstrak ragi adalah suatu bahan yang mengandung sumber nitrogen organik yang siap digunakan yaitu asam-asam amino dan sejumlah vitamin seperti vitamin B serta senyawa-senyawa karbon (Pelczar dan Chan, 1986). Pertumbuhan konsorsium bakteri pada tahap adaptasi yang diinkubasi pada temperatur kamar dan 50°C selama 48 jam dapat dilihat pada Gambar 1.

Berdasarkan Gambar 1. di bawah ini, tampak bahwa pertumbuhan konsorsium bakteri yang diinkubasi pada suhu 50°C lebih baik dibandingkan yang diinkubasi pada suhu kamar, dengan laju hidrolisis FDA rata-rata oleh konsorsium bakteri yang diinkubasi pada temperatur 50°C adalah sebesar 0,11633  $\mu\text{g/ml jam}^{-1}$  sedangkan laju hidrolisis FDA pada temperatur kamar tercatat sebesar 0,00375  $\mu\text{g/ml jam}^{-1}$ . Selama berlangsungnya proses degradasi secara alami di alam, temperatur akan naik sampai tingkat tertentu. Diperkirakan konsorsium bakteri uji merupakan konsorsium yang diisolasi dan telah teradaptasi di alam pada kondisi temperatur tinggi. Oleh karena itu, pada tahap adaptasi di laboratorium ini, konsorsium bakteri yang diinkubasi pada temperatur 50°C menunjukkan pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan yang diinkubasi pada temperatur kamar.

### Tahap Aktivasi

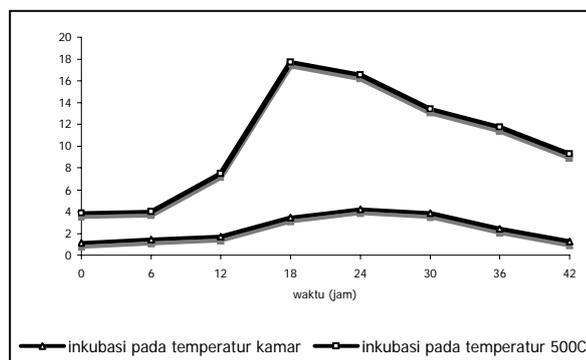
Setelah tumbuh dengan baik dalam medium basal yang diinkubasi pada temperatur 50°C, konsorsium bakteri tersebut diaktivasi secara bertahap dalam medium SMSS. Tahap pertama, konsorsium bakteri yang telah teradaptasi ditumbuhkan dalam medium SMSS yang ditambah dengan 1% ekstrak ragi dan 1% parafin sebagai bentuk hidrokarbon yang paling sederhana.

Tahap kedua, konsorsium bakteri yang telah teradaptasi dan teraktivasi pada tahap pertama ditumbuhkan dalam medium SMSS yang ditambah dengan 1% ekstrak ragi dan 5% sludge minyak bumi. Gambar 2. berikut ini menampilkan pola pertumbuhan konsorsium bakteri uji pada aktivasi tahap pertama dan tahap kedua, masing-masing diinkubasi pada temperatur 50°C selama 48 jam pengamatan.

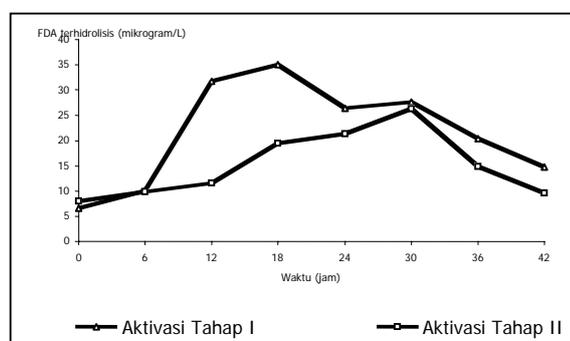
Dari Gambar 2 di bawah tampak bahwa pola pertumbuhan konsorsium bakteri pada tahap aktivasi pertama lebih baik dibandingkan yang diinkubasi pada tahap aktivasi kedua, dengan laju FDA rata-rata oleh konsorsium bakteri pada aktivasi tahap pertama adalah sebesar 0,150171  $\mu\text{g/ml jam}^{-1}$  sedangkan pada aktivasi tahap kedua tercatat rata-rata sebesar 0,04982  $\mu\text{g/ml jam}^{-1}$ . Parafin yang digunakan pada aktivasi tahap pertama berperan sebagai sumber karbon. Neumann *et al.*, (1981) menyebutkan bahwa parafin merupakan sumber karbon sederhana karena memiliki C dengan jumlah molekul tertentu yang relatif seragam, yaitu antara C<sub>10</sub> sampai C<sub>14</sub>. Oleh karena itu parafin, terutama parafin cair, lebih mudah didegradasi oleh konsorsium bakteri dibandingkan dengan *sludge* yang digunakan pada aktivasi tahap kedua.

*Sludge* memiliki rantai karbon yang lebih kompleks dengan jumlah molekul yang tidak seragam, bervariasi dari C<sub>8</sub> sampai C<sub>33</sub>, sehingga lebih sulit didegradasi oleh konsorsium bakteri dibandingkan dengan parafin cair. Meskipun demikian, dari tahap aktivasi ini telah diperoleh konsorsium bakteri yang mampu memanfaatkan *sludge* untuk pertumbuhannya.

Hasil pengamatan juga menunjukkan secara keseluruhan pertumbuhan konsorsium bakteri uji pada tahap aktivasi lebih baik dibandingkan pertumbuhan konsorsium pada tahap adaptasi. Meskipun sama-sama sebagai sumber karbon tetapi baik parafin cair maupun *sludge* yang ditambahkan pada tahap aktivasi ternyata lebih banyak dibandingkan dengan ekstrak ragi yang ditambahkan pada tahap adaptasi. Karena konsorsium bakteri uji diisolasi dari *sludge* minyak bumi maka diduga bahwa konsorsium bakteri merupakan pengguna hidrokarbon. Oleh karena itu, konsorsium bakteri akan menunjukkan pertumbuhan yang lebih cepat dan lebih baik tahap aktivasi yang menggunakan lebih banyak sumber karbon dibandingkan pada tahap adaptasi.



Gambar 1. Pola pertumbuhan konsorsium pada tahap adaptasi yang diinkubasi pada temperatur kamar dan 50°C



Gambar 2. Pola pertumbuhan konsorsium bakteri pada aktivasi tahap pertama dan kedua yang diinkubasi pada temperatur 50°C

### Tahap Perlakuan

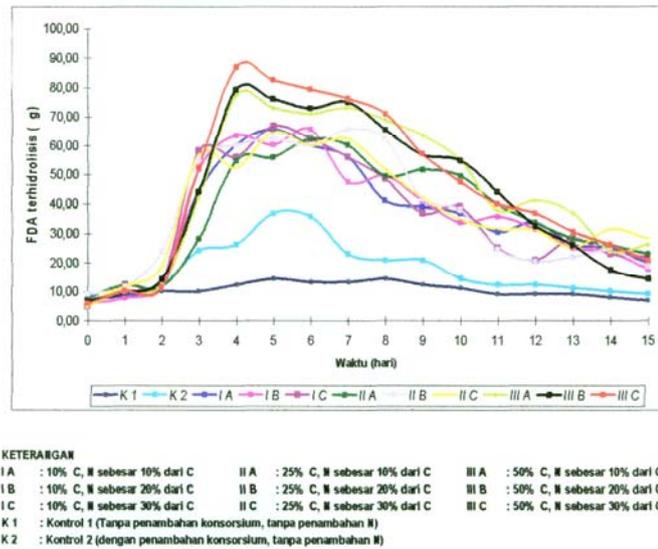
Setelah diperoleh konsorsium bakteri yang aktif dari tahap aktivasi, selanjutnya dilakukan beberapa seri perlakuan untuk mengetahui seberapa banyak beban *sludge* minyak bumi yang dapat didukung oleh konsorsium bakteri yang telah aktif.

Pola pertumbuhan konsorsium bakteri berdasarkan FDA terhidrolisis pada tahap perlakuan dengan penambahan 10%, 25%, 50% (b/v) *sludge* minyak bumi sebagai sumber karbon serta pupuk NPK, sebagai sumber N sebanyak 10%, 20%, 30% dari *sludge* minyak bumi yang ditambahkan disajikan pada Gambar 3.

Berdasarkan Gambar 3 di bawah ini dapat dilihat bahwa pertumbuhan maksimum diperoleh dari perlakuan III C, yaitu perlakuan dengan penambahan 50% *sludge* bumi dan pupuk NPK sebagai sumber nitrogen 30% dari *sludge* minyak bumi yang ditambahkan, sehingga dapat dikatakan bahwa berdasarkan pertumbuhan maksimum, maka perlakuan III C adalah perlakuan yang terbaik.

Semua perlakuan mengalami fase adaptasi selama 2 hari. Diduga pada fase ini gen-gen pengatur sintesis enzim dan konsorsium tersebut memerlukan waktu untuk adaptasi sebelum mampu menggunakan *sludge* minyak bumi sebagai sumber karbon sekunder. Fase eksponensial terjadi pada hari ke-2 sampai hari ke-4, sedangkan umur inokulum paling optimum umumnya terjadi pada hari ke-3. Pada fase eksponensial ini, jumlah sel bakteri total untuk setiap perlakuan berkisar antara  $10^8$  hingga  $10^{12}$  sel/ml. Secara visual, pada fase eksponensial ini, warna medium uji berwarna coklat pekat (Gambar 4) dan ketika memasuki tahap akhir secara berangsur-angsur akan menjadi coklat muda.

Bushell dan Slater (1981) menyebutkan perubahan kepekatan warna medium dapat menjadi petunjuk suatu proses biologis tengah berlangsung. Kepekatan warna tersebut dapat diakibatkan oleh melimpahnya biomassa sel serta terbentuknya metabolit-metabolit sekunder hasil perombakan suatu senyawa.



Gambar 3. Pola pertumbuhan konsorsium berdasarkan FDA terhidrolisis pada tahap perlakuan yang diinkubasi pada temperatur 50°C



Gambar 4. Berbagai Tahap Perlakuan

Keterangan:

- A = Medium dasar *Stone Mineral Salt Solution* (SMSS)
- B = Konsorsium bakteri dalam medium uji
- C = Perlakuan hari ke-0, *sludge* minyak bumi dan sumber nitrogen dalam medium uji
- D = Perlakuan hari ke-3 (fase eksponensial)
- E = Perlakuan hari ke-15 (fase akhir)

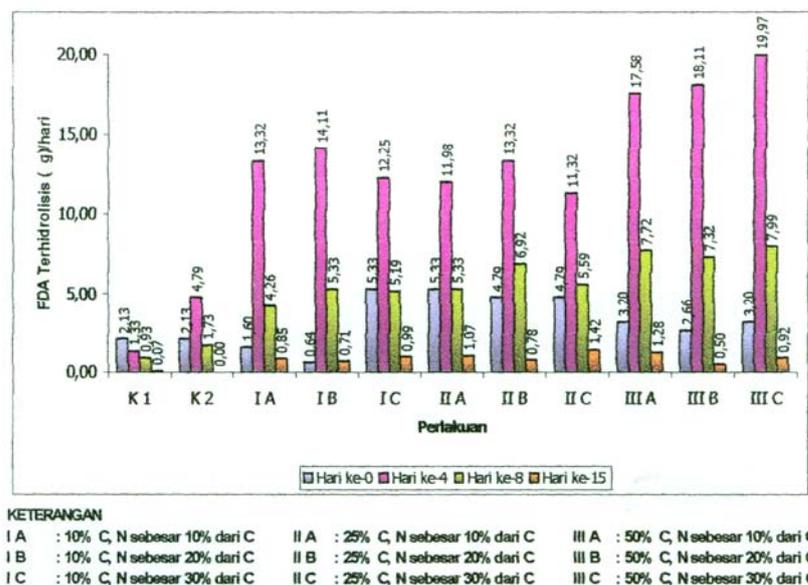
### Laju Pertumbuhan Konsorsium

Analisis lebih lanjut, jika dihitung laju rata-rata partumbuhannya maka hasilnya dapat dilihat pada histogram Gambar 5 di bawah ini. Dari histogram tersebut tampak bahwa laju pertumbuhan rata-rata pada perlakuan III C merupakan laju rata-rata pertumbuhan yang maksimum, namun tidak berbeda nyata dibandingkan perlakuan III A dan III B. Hal tersebut memberikan informasi bahwa ada korelasi antara pertumbuhan yang maksimum dengan laju partumbuhan rata-rata yang maksimum.

Namun demikian, berdasarkan banyaknya sumber N yang ditambahkan, maka perlakuan III A dianggap lebih baik dari III C karena sumber N yang ditambahkan lebih sedikit tetapi memberikan laju pertumbuhan rata-rata yang tidak berbeda nyata dengan III C.

Laju maksimum dipengaruhi rasio C : N. Dalam hal ini perlakuan III A rasio C : N-nya paling cocok untuk pertumbuhan konsorsium meskipun substrat atau *sludge* minyak bumi yang ditambahkan lebih sedikit Laju maksimum tidak terjadi pada perlakuan III C meskipun perlakuan III C menunjukkan pertumbuhan yang maksimum. Hal ini diperkirakan disebabkan oleh tidak tercapainya rasio C : N yang cocok bagi pertumbuhan konsorsium uji.

Konsorsium-konsorsium bakteri yang ditumbuhkan pada medium SMSS dengan penambahan ekstrak ragi, pada awalnya akan menggunakan ekstrak ragi tersebut sebagai sumber karbon primer. Setelah sumber karbon primer habis, *sludge* minyak bumi yang terdapat di dalam medium akan menginduksi gen-gen pengatur enzim untuk mendegradasi *sludge* minyak bumi, hingga *sludge* tersebut dapat digunakan sebagai sumber karbon sekunder. Diperolehnya sumber karbon baru menyebabkan bakteri tersebut dapat melakukan biosintesis biomasnya lebih lanjut. Keadaan ini menyebabkan laju pertumbuhan konsorsium bakteri tersebut tidak turun secara drastis.



Gambar 5. Laju pertumbuhan konsorsium bakteri

### Perubahan pH medium

Salah satu parameter terjadinya perombakan senyawa hidrokarbon oleh bakteri dapat dilihat dari perubahan pH medium. Fluktuasi pH merupakan indikator yang mudah dalam menentukan suatu proses telah terjadi atau tidak. Perubahan pH yang terjadi dalam medium uji menunjukkan adanya aktifitas bakteri dalam merombak senyawa hidrokarbon.

Penurunan pH terbesar terjadi pada perlakuan III C, yaitu dari pH 6,70 menjadi 5,50 atau terjadi penurunan sebesar 2,10 di akhir penelitian. Penurunan pH medium yang relatif besar ini diduga karena aktivitas konsorsium bakteri yang membentuk metabolit-metabolit asam. Biodegradasi alkana yang terdapat dalam minyak bumi akan membentuk alkohol dan selanjutnya menjadi asam lemak. Asam lemak hasil degradasi alkana akan dioksidasi lebih lanjut membentuk asam asetat dan asam propionat, sehingga dapat menurunkan nilai pH medium (Atlas, 1981).

### Hasil Identifikasi Bakteri dan Dinamika Populasi

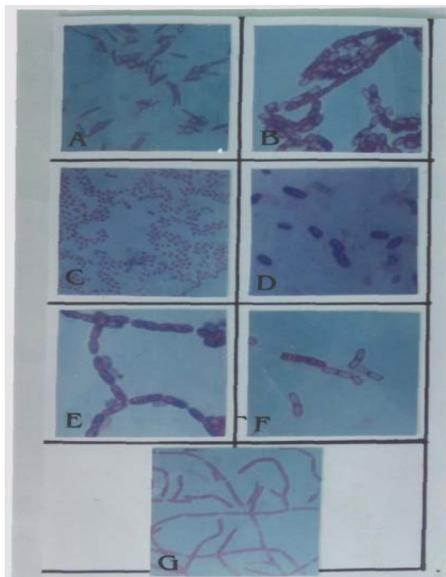
Di akhir penelitian telah berhasil diidentifikasi 7 jenis bakteri yang terlibat dalam proses, 5 jenis diantaranya bergenus *Bacillus*, bersifat aerobik sedangkan 2 jenis lainnya *anaerobic fakultatif* seperti tersaji dalam Tabel 1. pada lampiran

Berbagai spesies *Bacillus* telah diketahui dapat tumbuh dengan baik pada temperatur

termofilik. Di dalam *crude oil* diduga pertumbuhannya terhambat karena tidak terpenuhinya sumber nutrisi yang lain seperti nitrogen dan fosfor (Leahy dan Colwell, 1990). Jumlah kedua unsur ini sangat sedikit di dalam *sludge* minyak bumi (Neumann *et al.*, 1981). Oleh karena itu, setelah *sludge* minyak bumi dikocok di dalam medium SMSS yang mengandung senyawa-senyawa nitrogen dan fosfor, *Bacillus sp* yang terdapat di dalam *sludge* minyak bumi menjadi aktif hingga tumbuh menjadi koloni yang mendominasi kultur.

Berdasarkan pengamatan morfologi koloni dan morfologi sel melalui pewarnaan Gram dan endospora ternyata hanya satu jenis bakteri yaitu *Bacillus coagulans* yang menunjukkan Gram positif. *Pasteurella avium* dan *Streptobacillus moniliformis* masing-masing adalah Gram negatif, sedangkan keempat jenis *Bacillus* yang lain termasuk dalam gram variabel, yang cenderung negatif. Gambar hasil pewarnaan Gram bakteri-bakteri anggota konsorsium tersebut tampak pada Gambar 6.

Beberapa spesies *Bacillus* memang telah sering diisolasi dari lingkungan bertemperatur tinggi seperti lokasi geothermal dan sumber air panas. Daya tahannya pada temperatur tinggi disebabkan oleh adanya mekanisme *metabolic shut down*, yaitu dengan membentuk endospora yang tahan panas (Atlas dan Bartha, 1995).



Gambar 6. Hasil Pewarnaan Gram

Keterangan:

- A) *Bacillus badius*
- B) *Pasteurella avium*
- C) *B. circulans*
- D) *B. coagulans*
- E) *B. firmus*
- F) *B. epiphitus*
- G) *Streptobacillus moniliformis*

Selanjutnya, berkaitan dengan diperolehnya pola pertumbuhan konsorsium bakteri yang berfluktuasi, maka akan dibahas lebih jauh mengenai dinamika populasi bakteri-bakteri dalam konsorsium tersebut. Dinamika populasi berkaitan dengan keanekaragaman jenis dan kelimpahan masing-masing jenis. Kelimpahan atau banyaknya sel masing-masing jenis hanya diamati secara visual. Selanjutnya, Gambar 7 berikut ini memberikan informasi mengenai dinamika populasi yang terjadi pada perlakuan III C sebagai perlakuan yang menunjukkan pertumbuhan maksimum. Dari histogram tersebut tampak bahwa:

Pada fase adaptasi (hari ke 0-2), konsorsium banyak di dominasi oleh *B. badius*. Jenis ini tidak ditemukan lagi pada hari pengamatan ke-3 sampai ke-15. Diperkirakan jenis ini merupakan bakteri pengguna fraksi sederhana. Pada hari ke 3, konsorsium didominasi oleh *B. circulans*. Jenis ini selalu ditemukan sampai pengamatan hari ke-15. Pada hari ke 11-14, konsorsium kembali didominasi oleh *B. circulans*. Pada hari ke 4-8, konsorsium

didominasi oleh *B. coagulans*-pengguna fraksi terbanyak. Pada hari ke 9-10, konsorsium didominasi oleh *B. firmus* sedangkan pada hari ke 15, konsorsium didominasi oleh *B. Epiphytus*.

Dari hal tersebut tampak bahwa selama 15 hari pengamatan terjadi perubahan dominansi yang menunjukkan terjadinya suksesi. Perubahan dominansi inilah yang menyebabkan naik turunnya kurva sehingga membentuk pola pertumbuhan konsorsium.

Populasi yang dominan adalah populasi yang dapat memanfaatkan sebagian besar fraksi hidrokarbon yang ada. Setelah substart tersebut berkurang, populasi tersebut akan berkurang dan segera digantikan lagi oleh populasi lain yang cocok terhadap substrat hasil degradasi sebelumnya, demikian seterusnya.

Setelah hari ke-11 kurva terus mengalami penurunan sampai hari ke-15. Hal ini diperkirakan karena konsorsium bakteri mengalami kekurangan nutrisi atau rasio C : N yang ada tidak sesuai lagi bagi pertumbuhan konsorsium tersebut.

Proses biodegradasi senyawa hidrokarbon sampai sempurna tidak mungkin dilakukan hanya oleh satu jenis bakteri, tetapi selalu dilakukan oleh suatu kumpulan mikroorganisme secara sinergistik (Atlas dan Bartha, 1995).

#### Persentase Degradasi Sludge Minyak Bumi

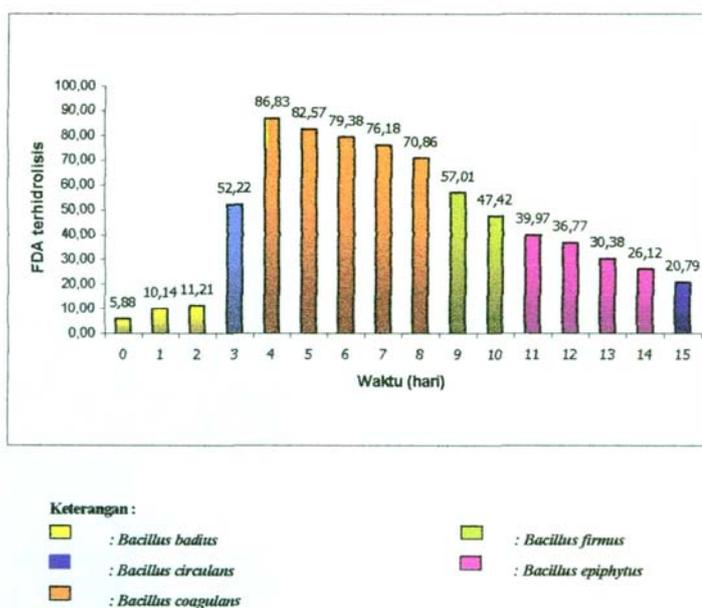
Biodegradasi minyak bumi selain dapat diketahui dari pertumbuhan mikroorganisme yang mendegradasinya, perubahan pH medium, dapat pula diketahui berat minyak bumi sisa setelah proses degradasi berlangsung. Gambar 8. berikut ini menampilkan persentase perubahan berat minyak bumi yang ditimbang secara gravimetri setelah 15 hari pengamatan. Dari histogram pada Gambar 8 di bawah tampak bahwa perubahan berat tertinggi terjadi pada perlakuan I A, yaitu sebesar 53,70% dibandingkan berat minyak bumi diawal pengamatan. Perlakuan III C yang diketahui merupakan perlakuan yang memberikan pola pertumbuhan terbaik hanya mengalami perubahan berat sebesar 31,44%.

Dengan demikian, berdasarkan Gambar 7 dan 8 tampak bahwa tidak ada pola yang jelas yang dapat menghubungkan antara laju pertumbuhan konsorsium yang terbaik, laju pertumbuhan maksimum dan persentase degradasi, seperti tersaji secara ringkas pada Tabel 2. berikut ini. Dari tabel tersebut tampak

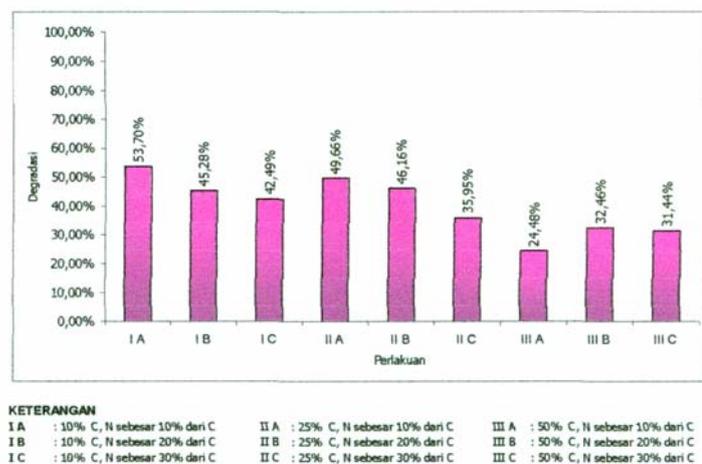
bahwa perlakuan III C yang pertumbuhannya paling maksimum tidak memberikan persentase degradasi yang maksimum. Pada umumnya semakin baik pertumbuhan konsorsium bakteri dalam *sludge* minyak bumi, maka akan memberikan persentase degradasi yang semakin tinggi.

Secara keseluruhan, perlakuan dengan penambahan 50% *sludge* minyak bumi menunjukkan pertumbuhan konsorsium yang lebih baik dibandingkan perlakuan dengan penambahan 10% atau 25% *sludge* minyak bumi. Diduga populasi bakteri yang

mendominasi proses berasal dari konsorsium bakteri yang memang telah teradaptasi dalam memanfaatkan *sludge* minyak bumi. Dalam hal ini tampaknya konsorsium uji mampu mendukung 50% polutan dalam bentuk *sludge* minyak bumi. Hasil penelitian Walker dan Colwell (1974, Chater dan Somerville, 1978) menyebutkan keanekaragaman dan kelimpahan mikroorganisme pendegradasi hidrokarbon yang terdapat di alam memiliki hubungan yang linier dengan peningkatan kadar polusi hidrokarbon.



Gambar 7. Dinamika populasi pada perlakuan III C



Gambar 8. Persentase degradasi *sludge* minyak bumi

Tabel 2. Perbandingan hasil penelitian di laboratorium

| Perlakuan | Pertumbuhan maksimum (FDA terhidrolisis (µg)) | Laju Maksimum (FDA terhidrolisis (µg)) | Degradasi (%)  |
|-----------|---|--|----------------|
| K 1       | 14,4012                                       | 2,1304                                 |                |
| K 2       | 36,7704                                       | 5,9651                                 |                |
| I A       | 65,5308                                       | 13,3150                                | <b>53,7032</b> |
| I B       | 63,4004                                       | 14,9128                                | 45,2788        |
| I C       | 66,5960                                       | 17,0432                                | 42,4904        |
| II A      | 62,3352                                       | 11,9835                                | 49,6569        |
| II B      | 62,3352                                       | 15,9780                                | 46,1621        |
| II C      | 64,4656                                       | 16,6881                                | 35,9455        |
| III A     | 77,2480                                       | 17,5758                                | 24,4762        |
| III B     | 29,3784                                       | 18,1084                                | 32,4575        |
| III C     | 86,8348                                       | 19,9725                                | 31,4443        |

Pertumbuhan yang berfluktuatif tersebut merupakan ciri utama terjadinya proses perombakan suatu senyawa kompleks oleh berbagai jenis bakteri dalam bentuk konsorsium. Secara spesifik hasil penelitian ini memberikan informasi bahwa suatu konsorsium bakteri pendegradasi minyak bumi lebih efektif dalam mendegradasi minyak bumi dibandingkan bakteri dalam bentuk kultur tunggal. Minyak bumi merupakan campuran yang kompleks dari senyawa-senyawa hidrokarbon, sedangkan tiap jenis bakteri memiliki enzim yang spesifik bekerja pada substrat tertentu sehingga memiliki kemampuan yang terbatas dalam mendegradasinya. Oleh karena itu setiap jenis bakteri secara bergantian akan mendominasi konsorsium sesuai dengan fraksi hidrokarbon yang mampu dimanfaatkannya.

Meskipun *sludge* minyak bumi merupakan sumber karbon yang cocok bagi pertumbuhan konsorsium pengguna hidrokarbon namun pertumbuhan konsorsium tidak selalu meningkat. Diduga, komposisi hidrokarbon pada saat itu sudah sulit untuk didegradasi oleh jenis bakteri yang dominan. Selain itu jenis bakteri lain yang siap mendominasi konsorsium memiliki gen-gen pengatur enzim yang membutuhkan waktu adaptasi sebelum mampu menggunakan fraksi hidrokarbon yang tersedia.

**KESIMPULAN**

1. Hasil identifikasi diperoleh 7 jenis bakteri, 5 di antaranya yaitu *Bacillus badius*, *B. circulans*, *B. coagulans*, *B. circulans*, *B. epiphytus* secara bergantian mendominasi konsorsium. Hal ini menyebabkan pola

pertumbuhan membentuk dinamika populasi berfluktuatif.

2. Konsorsium bakteri uji mampu mendegradasi *sludge* minyak bumi, dengan bukti konsorsium mampu tumbuh dengan baik hingga beban *sludge* minyak bumi mencapai 50% (v/v).
3. Pertumbuhan konsorsium terbaik terjadi pada perlakuan dengan penambahan 50% *sludge* minyak dan pupuk NPK sebanyak 30% dari *sludge* minyak bumi yang ditambahkan.

**DAFTAR PUSTAKA**

Ashok B.T., Saxena, S., Musarrat, J. 1995. Isolation and characterization of four polycyclic aromatic hydrocarbon degrading bacteria from soil near an oil refinery. USA. *Letters in applied Microbiology. The Society for applied Bacteriology* **21**: 246-248.

Atlas R.M. 1981. Microbial Degradation of Petroleum Hydrocarbon: an Environmental Perspective. *Microbial Review* **45**:180-209.

Atlas R and R.Bartha. 1995. *Microbial Ecology*. London. The Benjamin/Cummings Publishing. P. 11-13.

Baker C and D.Herson. 1994. *Bioremediation*. USA. Mc Graw-Hill, Inc.

Breeuwer P. 1996. *Assesmentof Viability of Microorganism Employing Fluorescence Techniques*. Wageningen.

Buchanan R.E dan N.E. Gibbons. 1974. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. Baltimore. The William an Wilkins Co.

- Chator dan Somerville. 1978. *The Oil Industry and Microbial Ecosystems*. London. Heyden & Son Ltd.
- Harayama S.K. 1995. *Biodegradation of Crude Oil. Program and Abstracts in the First Asia-Pasific Marine Biotechnology Conference*. Shimizu, Shizuoka, Japan.
- Horowitz A., D. Gutnick and E. Rosenberg. 1975. *Sequential Growth of Bacteria on Crude Oil: Applied Microbiology*. **30(1)**: 10-19.
- Watkinson R. 1980. *Interaction of Microorganism with Hydrocarbon, In: Hydrocarbon in Biotechnology*. London. Heyden & Son Ltd.

Tabel 1. Matriks Hasil Identifikasi Bakteri

| UJI YANG DILAKUKAN           | KODE SAMPEL                            |                          |  |  |  |  |   |
|------------------------------|--|--------------------------|--|--|--|--|---|
|                              | A1                                     | A2                       | A3   | A4   | A5   | A6   | A7  |
| <b>A. PEWARNAAN</b>          |  |                          |  |  |  |  |   |
| 1. Gram                      | v, batang                              | (-) batang, coccoid      | v, batang  | (+) batang   | v, batang  | v, batang  | (-) batang kurus, rantai panjang, bergelomban g, berfilamen |
| 2. Spora                     | (+), di tengah s/d ujung sel vegetatif | (-)                      | (+), endospora elips di tengah s/d ujung sel vegetatif | (+), endospora elips di tengah s/d ujung sel vegetatif | (+), endospora elips di tengah s/d ujung sel vegetatif | (+), endospora elips di tengah s/d ujung sel vegetatif | (-)   |
| <b>B. MORFOLOGI</b>          |  |                          |  |  |  |  |   |
| pertumbuhan pada medium cair | aerobik                                | aerobik fakultatif       | aerobik  | aerobik  | aerobik  | aerobik  | aerobik fakultatif  |
| Pertumbuhan pada agar miring | <i>Echinulate opaque</i>               | <i>Echinulate opaque</i> | <i>Echinulate opaque</i>                               | <i>Echinulate opaque</i>                               | <i>Echinulate opaque</i>                               | <i>Echinulate opaque</i>                               | <i>Beaded opaque</i>  |
| Koloni pada Petri :          |  |                          |  |  |  |  |   |
| a. bentuk (form)             | <i>Rhizoid</i>                         | <i>Circular</i>          | <i>Circular</i>  | <i>Circular</i>  | <i>Circular</i>  | <i>Irregular</i>                                       | <i>Circular</i>   |
| b. tepi (margin)             | Filamentous                            | Entire                   | Entire   | Entire   | Entire   | Undulate   | Entire  |
| c. elevasi (elevation)       | <i>Raised</i>                          | <i>Convex</i>            | <i>Convex</i>  | <i>Raised</i>  | <i>Raised</i>  | <i>Raised</i>  | <i>Convex</i>   |
| <b>C. MOTILITAS</b>          | <i>Motil</i>                           | <i>Non motil</i>         | <i>Non motil</i>                                       | <i>Non motil</i>                                       | <i>Non motil</i>                                       | <i>Non motil</i>                                       | <i>Non motil</i>  |
| <b>D. BIOKIMIA</b>           |  |                          |  |  |  |  |   |
| Hidrolisis pati              | -                                      | -                        | +  | +  | +  | +  | -   |
| Hidrolisis lemak             | -                                      | +                        | -  | -  | -  | -  | -   |
| Hidrolisis kasein            | +                                      | -                        | -  | -  | +  | +  | -   |
| Hidrolisis gelatin           | -                                      | -                        | +  | +  | +  | +  | -   |
| Fermentasi laktosa           | -                                      | -                        | -  | -  | -  | -  | -   |
| Fermentasi sukrosa           | -                                      | -                        | -  | -  | -  | -  | -   |
| Fermentasi glukosa           | -                                      | +, asam                  | +, asam  | +, asam  | +, asam  | +, asam  | +, asam   |
| Triple sugar-iron            | -                                      | +                        | +  | +  | +  | +  | +   |
| Metil merah                  | -                                      | -                        | -  | -  | -  | -  | -   |
| Voges-Prokauer               | -                                      | -                        | -  | -  | -  | -  | -   |
| Indol                        | -                                      | -                        | -  | -  | -  | -  | -   |
| Sitrat                       | -                                      | +                        | -  | -  | -  | -  | -   |
| H <sub>2</sub> S             | -                                      | -                        | -  | -  | -  | -  | -   |
| Urease                       | -                                      | -                        | -  | -  | -  | -  | -   |
| Reduksi Nitrat               | -                                      | +                        | +  | +  | +  | +  | -   |
| Katalase                     | +                                      | +                        | +  | +  | +  | +  | -   |

Kesimpulan :

- Sampel A1 : *Bacillus badius*
- Sampel A2 : *Pasteurella avium*
- Sampel A3 : *B. circularis*
- Sampel A4 : *B. coagulans*
- Sample A5 : *B. firmus*
- Sample A6 : *B. epiphytus*
- Sample A7 : *Streptobacillus moniliformis*