

bukanlah mikroba populasi asli tempat tercemar (*exogenous*). Teknik bioaugmentasi sangat sesuai bila tempat yang terkontaminasi tidak memiliki jumlah sel mikroba yang cukup atau populasi mikroba di tempat yang terkontaminasi (populasi asli) tidak memiliki kemampuan metabolik yang dibutuhkan untuk memetabolisme polutan yang menjadi target (Tyagi *et al.*, 2011).

Aplikasi teknik bioaugmentasi ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dari teknik ini diantaranya adalah meningkatkan dan mempercepat proses bioremediasi. Kekurangan dari bioaugmentasi adalah viabilitas mikroba yang digunakan dalam proses harus selalu dipantau. Oleh karena itu, bioaugmentasi seringkali harus disesuaikan secara periodik dengan penambahan lebih banyak mikroba (Hosokawa *et al.*, 2009). Pemberian mikroba yang kompeten pada waktu yang tepat turut membantu dalam proses degradasi agar berlangsung kontinu. Biodegradasi produk minyak bumi yang bersifat kompleks dengan menggunakan kultur campuran lebih efektif daripada kultur murni, karena kemampuan enzimatik yang dihasilkan juga lebih kompleks dan kemungkinan untuk terbentuknya senyawa intermediet yang bersifat toksik dapat diatasi dengan memilih mikroba pendegradasi yang tepat (Abalos *et al.*, 2004). Mikroorganisme tunggal hanya bisa mendegradasi tipe tertentu dari senyawa petroleum, sedangkan populasi mikroba campuran mampu meningkatkan degradasi.

Laju biodegradasi dalam proses remediasi tanah tercemar dapat juga ditingkatkan dengan penambahan *bulking agents*, yakni bahan tambahan yang dipergunakan untuk memperbaiki permeabilitas, *water holding capacity* dan porositas untuk meningkatkan laju biodegradasi dalam proses pemulihan. *Bulking agents* tersebut berfungsi sebagai pengatur porositas, kelembapan, dan sumber nutrisi (Retno dan Mulyana, 2013).

Beberapa mikroorganisme dapat menguraikan atau mengubah keberadaan minyak bumi dan turunannya (Milic *et al.*, 2009). Contoh genus mikroba yang telah digunakan

dalam upaya bioremediasi pencemaran limbah hidrokarbon antara lain dari bakteri (*Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Arthrobacter*, *Alcaligenes*, *Acinetobacter*, *Alteromonas*, *Moraxella*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Vibrio*, *Micrococcus*, *Gluconobacter*, dan *Mycobacterium*), dari kapang *Trichoderma*, dan dari Khamir (*Candida*) (Atlas dan Bartha, 1998 dalam Ni'matuzahroh, 2008)

Berdasarkan penelitian Marin *et al.*, (2006) menyatakan bahwa biodegradasi hidrokarbon pada lumpur minyak dengan hanya menggunakan penambahan kotoran babi sebagai nutrisi serta serpihan kayu sebagai *bulking agent* masing-masing hanya mengurangi kadar hidrokarbon sebesar 56% dan 60% selama 3 bulan. Hal ini menunjukkan bahwa bioaugmentasi juga perlu untuk mencapai bioremediasi yang optimal.

Berdasarkan penelitian Retno dan Mulyana (2013) menyatakan degradasi TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) optimal sebesar 81,32% pada lahan tercemar limbah lumpur minyak menggunakan penambahan konsorsium mikroba yaitu fungi *indigenous* (*Aspergillus niger* dan *Trichoderma zealum*) dan bakteri *non indigenous* adalah *Bacillus sphaericus*, *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas aeruginosa* berbasis iradiasi dalam 30% serbuk gergaji pada konsentrasi tanah 50%. Bento *et al.*, (2005) menyatakan bahwa penurunan kadar TPH yang dikenakan cahaya sebesar 72,7% dan logam berat 75,2% melalui bioaugmentasi konsorsium mikroba yaitu bakteri penghasil biosurfaktan dari genus *Bacillus*, *Acinetobacter*, dan hidrokarbonoklastik yakni *Pseudomonas* selama 12 minggu.

Berdasarkan penelitian Prayekti (2012) tentang efektivitas bioaugmentasi dalam bioremediasi limbah lumpur minyak menggunakan bakteri hidrokarbonoklastik (*Pseudomonas fluorescens*, *P. cepacea* dan *P. pseudomallei*) dan penghasil biosurfaktan (*P. putida*) menunjukkan bahwa spesies-spesies dari *Pseudomonas* sp tidak hanya

dikenal mampu melakukan degradasi senyawa hidrokarbon (alifatis dan aromatis), bakteri-bakteri tersebut juga memiliki mekanisme bioabsorpsi maupun bioakumulasi terhadap logam berat selama satu minggu. Beberapa penelitian, menunjukkan bahwa *P. putida* dan *P. fluorescens* memiliki kemampuan dalam membentuk biosurfaktan rhamnolipid yang berfungsi untuk mengkhelat logam berat (Mulligan *et al.*, 2001; Rosenberg dan Ron, 1999 dalam Prayekti, 2012).

Penelitian Canovas *et al.*, (2003) menunjukkan bahwa dalam gen *P. putida* didapatkan gen penyandi untuk memproduksi metalotionin, yaitu senyawa peptida yang kaya sistein, yang digunakan dalam khelasi logam berat.

Proses bioremediasi tersebut di atas dapat dilakukan secara pengomposan (Ryckeboer, 2003). Penambahan kompos, selain sebagai sumber inokulan juga sumber nutrisi dalam tanah, yang akan mempercepat terjadinya degradasi bahan pencemar hidrokarbon (White *et al.*, 1999). Komposting merupakan cara yang efektif dan ekonomis untuk penanggulangan *oil sludge*. Pada proses komposting meliputi penambahan nutrisi, pengairan, perbaikan struktur tanah, bioaugmentasi (penambahan mikroba ke tempat tercemar), biostimulasi menggunakan *bulking agent* (sekam padi atau serbuk gergaji) yang diputuskan sebagai pilihan efektif untuk meningkatkan bioremediasi tanah tercemar *oil sludge* (Prakash *et al.*, 2015).

Suatu konsorsium merupakan campuran populasi mikroba dalam bentuk komunitas yang mempunyai hubungan kooperatif, komensal, dan mutualistik (Nugroho, 2006 dalam Susanti, 2011). Selama ini penggabungan jenis konsorsium bakteri yang terdiri dari *indigenous oil sludge* yang diisolasi dari limbah *oil sludge* perusahaan VICO (*Pseudomonas aeruginosa* strain HF1 dan isolat 2), hidrokarbonoklastik (*P. pseudomallei*, *P. cepacea*, *P. tzutzeri*, dan *P. fluorescens*) dan biosurfaktan

(*Micrococcus* sp., *Bacillus* sp., *Acenitobacter* sp., dan *P. putida*) hasil isolasi laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga belum pernah dilakukan pada skala yang lebih besar di dalam laboratorium untuk melihat efektivitasnya terhadap bioremediasi tanah tercemar limbah lumpur minyak bumi (*oil sludge*). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan jenis konsorsium bakteri dan lama waktu inkubasi dalam bioremediasi tanah tercemar limbah lumpur minyak bumi (*oil sludge*) dengan harapan dapat membantu menghilangkan kontaminasi *oil sludge* yang terdapat di tanah.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat diajukan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Apakah jenis konsorsium bakteri, waktu inkubasi, interaksi antara jenis konsorsium bakteri dan waktu inkubasi berpengaruh terhadap jumlah total bakteri (CFU/g-tanah)?
2. Apakah jenis konsorsium bakteri, waktu inkubasi, interaksi antara jenis konsorsium bakteri dan waktu inkubasi berpengaruh terhadap kadar residu minyak (*oil sludge*) (g/g-tanah)?
3. Berapakah persentase degradasi pada perlakuan terbaik dalam proses bioremediasi tanah yang tercemar limbah lumpur minyak bumi (*oil sludge*)?
4. Berapakah kadar rasio C/N dalam bioremediasi tanah tercemar limbah lumpur minyak bumi (*oil sludge*) pada minggu ke-6?
5. Komponen hidrokarbon manakah yang dapat terdegradasi pada perlakuan terbaik di minggu ke-6?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui:

1. Pengaruh jenis konsorsium bakteri, waktu inkubasi, interaksi antara jenis konsorsium bakteri dan waktu inkubasi terhadap jumlah total bakteri (CFU/g-tanah).
2. Pengaruh jenis konsorsium bakteri, waktu inkubasi, interaksi antara jenis konsorsium bakteri dan waktu inkubasi terhadap kadar residu minyak (*oil sludge*) (g/g-tanah).
3. Persentase degradasi pada perlakuan terbaik dalam proses bioremediasi tanah yang tercemar limbah lumpur minyak bumi (*oil sludge*)
4. Kadar rasio C/N dalam bioremediasi tanah tercemar limbah lumpur minyak bumi (*oil sludge*) pada minggu ke-6.
5. Komponen hidrokarbon yang dapat terdegradasi pada perlakuan terbaik di minggu ke-6.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi ilmiah tentang jenis konsorsium bakteri dan lama waktu inkubasi yang paling efektif dalam proses bioremediasi tanah tercemar limbah lumpur minyak bumi (*oil sludge*). Informasi tersebut bermanfaat dalam upaya penyelamatan lahan dari limbah lumpur minyak bumi akibat proses industri pengilangan minyak, baik yang terjadi secara sengaja maupun tidak sengaja.