



UJI POTENSI MIKROALGA (*Chaetoceros calcitrans*) SEBAGAI AGEN

BIOREMEDIASI HIDROKARBON PADA SKALA LABORATORIUM

SKRIPSI

PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN

JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN

Oleh :

DIAN FITRI NURYANI

NIM. 135080601111052



FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2017

UJI POTENSI MIKROALGA (*Chaetoceros calcitrans*) SEBAGAI AGEN

BIOREMEDIASI HIDROKARBON PADA SKALA LABORATORIUM

SKRIPSI

PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN

JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Sarjana Kelautan
di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan**

Universitas Brawijaya

Oleh :

DIAN FITRI NURYANI

NIM : 1350806011111052



FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2017



**LEMBAR PENGESAHAN
LAPORAN SKRIPSI**

**UJI POTENSI MIKROALGA (*Chaetoceros calcitrans*) SEBAGAI AGEN
BIOREMEDIASI HIDROKARBON PADA SKALA LABORATORIUM**

Oleh :

DIAN FITRI NURYANI

NIM. 135080601111052

Telah Dipertahankan di Depan Penguj
pada Tanggal 15 Juni 2017
dan Dinyatakan Memenuhi Syarat

Dosen Penguji 1,

Defri Yona., S.Pi., M.Sc. Stud., D.Sc

NIP. 19781229 200312 2 002

Tanggal:

Dosen Penguji 2,

M. Arif Asadi., S.Kel., M.Sc

NIP. 19821106 200812 1 002

Tanggal:

Menyetujui,

Dosen Pembimbing 1,

Dr. Ir. Guntur, MS

NIP. 19580605 198601 1 001

Tanggal:

Dosen Pembimbing 2,

Dwi Candra Pratiwi, S.Pi., M.Sc., MP

NIP. 19860115 201504 2 001

Tanggal:

**Mengetahui,
Ketua Jurusan PSPK,**

Dr. Ir. Daduk Setyohadi, MP.

NIP. 19630608 198703 1 003

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dian Fitri Nuryani

NIM : 135080601111052

Program Studi : Ilmu Kelautan

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam pembuatan skripsi yang saya tulis benar- benar hasil karya dan pemikiran saya sendiri, Dalam penulisan skripsi ini tidak mengandung karya orang lain maupun pendapat yang ditulis orang lain terkecuali hasil tulisan yang disebutkan dalam daftar pustaka pada skripsi.

Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi dari perbuatan tersebut sesuai hukum yang berlaku di Indonesia.

Malang, 30 Mei 2016

Mahasiswa

Dian Fitri Nuryani

NIM. 135080601111052



UCAPAN TERIMA KASIH

Penulisan karya tulis ini tidak akan berjalan dengan baik tanpa adanya dukungan dari pihak – pihak yang telah banyak memberikan doa. Pada kesempatan ini penulis banyak mengucapkan terima kasih kepada banyak pihak yang membantu kelancaran penyusunan laporan. Ucapan Terima kasih penulis ucapkan kepada :

1. Kepada orang tua ibu (Puji lestari) dan bapak (Nuryadi) yang telah memberikan banyak dukungan penuh secara moril, materil serta doa dan adik tercinta M. Saiful Nur Anwar.
2. Kepada dosen pembimbing Skripsi (terkhusus) ibu Dwi Candra Pratiwi, S.Pi., M.Sc., MP yang sangat sabar memberikan pengarahan dan bimbingan ilmu selama penyusunan proposal hingga ujian skripsi
3. Kepada Bapak Dr. Ir. Guntur, MS selaku pembimbing 1 serta dosen penguji Ibu Defri Yona., S.Pi., M.Sc., Stud., D.Sc dan Bapak Arif Asadi., S.Kel., M.Sc memberikan banyak masukan selama proses revisi
4. Kepada Krisna Bayu Samudra yang telah banyak berkontribusi dalam memberikan Semangat & doa meskipun tidak dapat menemani selama proses penyusunan skripsi
5. Kepada sahabat dari awal maba hingga sekarang Tanti Yusilia R.R yang selalu saling mendukung saling menyemangati satu sama lain, Indah f. alfah, ninik ika dan keluarga serta #Redlips yang sudah memberikan semangat selama proses penyusunan skripsi
6. Kepada *partner in crime* Feri pahrudin yang sudah menjadi pendamping penelitian dari awal sampai akhir, meskipun sering beda pendapat selama proses penelitian

7. Kepada keluarga Lab. Eksplorasi Sumberdaya Perikanan dan Kelautan

8. Tidak lupa juga teman teman "ATLANTIK" ILMU KELAUTAN 2013 UB Tetap semangat " **JALESVEVA JAYAMAHE** "

Pada kalimat terakhir ini penulis menyadari bahwa penulisan laporan jauh dari kata sempurna. Semoga dengan adanya laporan ini sangat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.



RINGKASAN

Dian Fitri Nuryani. Uji Potensi Mikroalga (*Chaetoceros calcitrans*) sebagai agen Bioremediasi Hidrokarbon pada Skala Laboratorium (dibawah bimbingan **Guntur dan Dwi Candra Pratiwi**)

Penggunaan bahan bakar pada mesin kapal sering kali menyebabkan pencemaran dilaut. Salah satu bahan bakar yang sering digunakan para nelayan yaitu minyak solar. Keberadaan minyak solar yang berlebih di lautan menyebabkan kerusakan ekosistem lautan terutama mikroorganisme dalam air. Adanya bahan pencemar menyebabkan komposisi perairan berubah dan berdampak pada parameter lingkungan. Metode yang dapat digunakan dalam mengurangi keberadaan minyak solar diperairan adalah bioremediasi. Bioremediasi merupakan proses menghilangkan/ mengurangi dampak pencemaran dengan memanfaatkan suatu organisme mikro. Salah satu organisme mikro yang berpengaruh pada perairan laut adalah mikroalga. *Chaetoceros calcitrans* merupakan mikroalga yang banyak ditemukan dilaut dalam bentuk diatom. Mikroalga *chaetoceros calcitrans* mampu hidup pada lingkungan tercemar.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui seberapa besar kemampuan dari mikroalga *Chaetoceros calcitrans* dalam meremediasi minyak solar/ hidrokarbon. Penelitian dilakukan selama 8 hari. Metode yang digunakan bersifat eksperimental dengan perlakuan pemberian konsentrasi 5, 10 dan 20 ml minyak solar dan 1 perlakuan tanpa minyak solar. Bahan pencemar menggunakan minyak solar, pengukuran kepadatan sel dengan perhitungan *optical density* dengan spektrofotometer 600 nm, pengukuran parameter kualitas air suhu, salinitas, pH dan DO. Selama proses bioremediasi dengan menggunakan shaker incubator, aerasi dan cahaya lampu. Pengukuran hasil akhir konsentrasi minyak solar dengan menggunakan metode gravimetri.

Penelitian uji bioremediasi dilakukan selama 8 hari didapatkan nilai rata-rata parameter kualitas air suhu 25.06 ± 0.06 , salinitas 38.0 ± 0.4 , pH 7.5 ± 0.09 dan Oksigen Terlarut 3.7 ± 0.1 . Hasil dari pengukuran nilai *optical density* menunjukkan semakin besar konsentrasi minyak solar semakin tinggi nilai *optical density* *Chaetoceros calcitrans* (konsentrasi 5 ml 0.566/sel, konsentrasi 10 ml 0.704/sel dan konsentrasi 20 ml 0.600/sel). Hal tersebut berbeda dengan hasil akhir kadar minyak solar menggunakan metode gravimetri semakin besar konsentrasi minyak solar semakin kecil presentase kemampuan *Chaetoceros calcitrans* dalam mengurangi kandungan minyak solar. Pengukuran menggunakan spektrofotometer memiliki kelemahan tidak dapat membedakan sel hidup dan sel mati bisa saja kandungan lainnya seperti molekul dispersan atau kandungan lainnya. Naiknya nilai OD setiap hari diduga karena keberadaan dispersan minyak solar atau pemberian nutrisi diawal penelitian. Keberadaan minyak solar/ bahan pencemar lebih banyak daripada populasi mikroalga *Chaetoceros calcitrans* dapat menyebabkan banyak masalah lingkungan salah satunya tingkat toksisitas tinggi dan terjadi *blooming* mikroalga.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena dengan rahmatnya, Laporan Akhir sebagai syarat menempuh jenjang Sarjana dengan Judul **UJI**

POTENSI MIKROALGA (*Chaetoceros calcitrans*) SEBAGAI AGEN

BIOREMEDIASI HIDROKARBON PADA SKALA LABORATORIUM dapat

diselesaikan tepat pada waktunya. Laporan skripsi ini disusun sebagai persyaratan

untuk melakukan salah satu tugas kuliah dan digunakan untuk memperoleh gelar

Sarjana Ilmu Kelautan dari Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas

Brawijaya, Malang.

Pada penulisan skripsi berisi 5 bab. Bab 1 Pendahuluan yang berisikan latar

belakang, rumusan Masalah, tujuan dan manfaat. Bab 2 berisikan tentang tinjauan

pustaka yaitu teori –teori pendukung serta penelitian terdahulu yang dapat

memperkuat isi dari penelitian ini. Bab 3 metodologi yang menjelaskan tentang

lokasi dan waktu penelitian, alat dan bahan yang digunakan, kemudian metode

penelitian serta perhitungan data statistik. Bab 4 merupakan inti dari penelitian ini

yaitu Hasil dan pembahasan yang berisikan hasil dari penelitian yang telah dilakukan

dengan perbandingan beberapa literatur kemudian ditemukan hasil akhirnya. Bab 5

merupakan Kesimpulan dan Saran yang berisikan garis besar dan hasil akhir dari

penelitian ini, serta ada beberapa lampiran lampiran dan foto dokumentasi. Pada

penulisan ini sangat Banyak kekurangan dalam hal penulisan, beberapa kesalahan

lainya oleh karena itu penulis mengharapkan saran yang dapat memperbaiki

penulisan laporan ini sehingga lebih bermanfaat.

Malang, 30 Mei 2017

Penulis,

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
RINGKASAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Mikroalga	5
2.1.1 Pengertian Mikroalga	5
2.1.2 Macam- Macam Mikroalga	7
2.1.3 Manfaat Mikroalga	10
2.2 <i>Chaetoceros calcitrans</i>	11
2.2.1 Morfologi dan Fisiologi <i>Chaetoceros calcitrans</i>	11
2.2.2 Ekologi <i>Chaetoceros calcitrans</i>	12
2.2.3 Reproduksi <i>Chaetoceros calcitrans</i>	14
2.2.4 Fase Pertumbuhan <i>Chaetoceros calcitrans</i>	15
2.3 Hidrokarbon	16
2.3.1 Pengertian Hidrokarbon	16
2.3.2 Macam- Macam Hidrokarbon	17
2.3.3 Minyak solar	18
2.4 Bioremediasi	19
2.4.1 Pengertian Bioremediasi	19
2.4.2 Faktor Bioremediasi	20
2.4.3 Mekanisme Bioremediasi	21
2.5 Penelitian Terdahulu	23
3. METODE PENELITIAN	25

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	25
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	25
3.3.1 Alat Penelitian.....	25
3.3.2 Bahan Penelitian.....	26
3.3 Metode Pengambilan sampel.....	27
3.3.1 Sterilisasi Alat dan Bahan.....	27
3.3.2 Kultur Mikroalga.....	28
3.3.3 Perlakuan Penelitian.....	29
3.3.4 Perhitungan <i>Optical density</i>	30
3.3.5 Rancangan Percobaan Uji Biodegradasi.....	31
3.3.6 Pengambilan Data (Analisis Gravimetri).....	33
3.4 Pengumpulan Data.....	35
3.4.1 Parameter Kualitas Air.....	35
3.4.2 Parameter Utama.....	36
3.5 Skema Kerja Penelitian	36
3.6 Analisis Data	38
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Kultur <i>Chaetoceros calcitrans</i>	39
4.1.1 Sterilisasi Alat dan bahan.....	39
4.1.2 Proses Kultur.....	41
4.2 Pemantauan Bioremediasi Minyak Solar.....	45
4.3 Pemantauan Pertumbuhan <i>Chaetoceros Calcitrans</i>	48
4.3.1 Kontrol.....	50
4.3.2 Konsentrasi Solar 5 ml.....	51
4.3.3 Nilai <i>Optical density</i> Konsentrasi Solar 10 ml.....	53
4.3.4 Nilai <i>Optical density</i> Konsentrasi Solar 20 ml.....	54
4.3.5 Trendline Laju Pertumbuhan <i>Chaetoceros calcitrans</i>	55
4.4 Pengukuran Parameter Kualitas Air.....	57
4.1.1 Suhu.....	57
4.1.2 Salinitas.....	58
4.1.3 Dissolved Oxygen (DO).....	60
4.1.4 Power of Hidrogen (pH).....	61
4.5 Analisis Gravimetri.....	62
5. PENUTUP.....	65
5.1 Kesimpulan.....	65



5.2	Saran.....	65
	DAFTAR PUSTAKA.....	66
	LAMPIRAN.....	70



DAFTAR TABEL

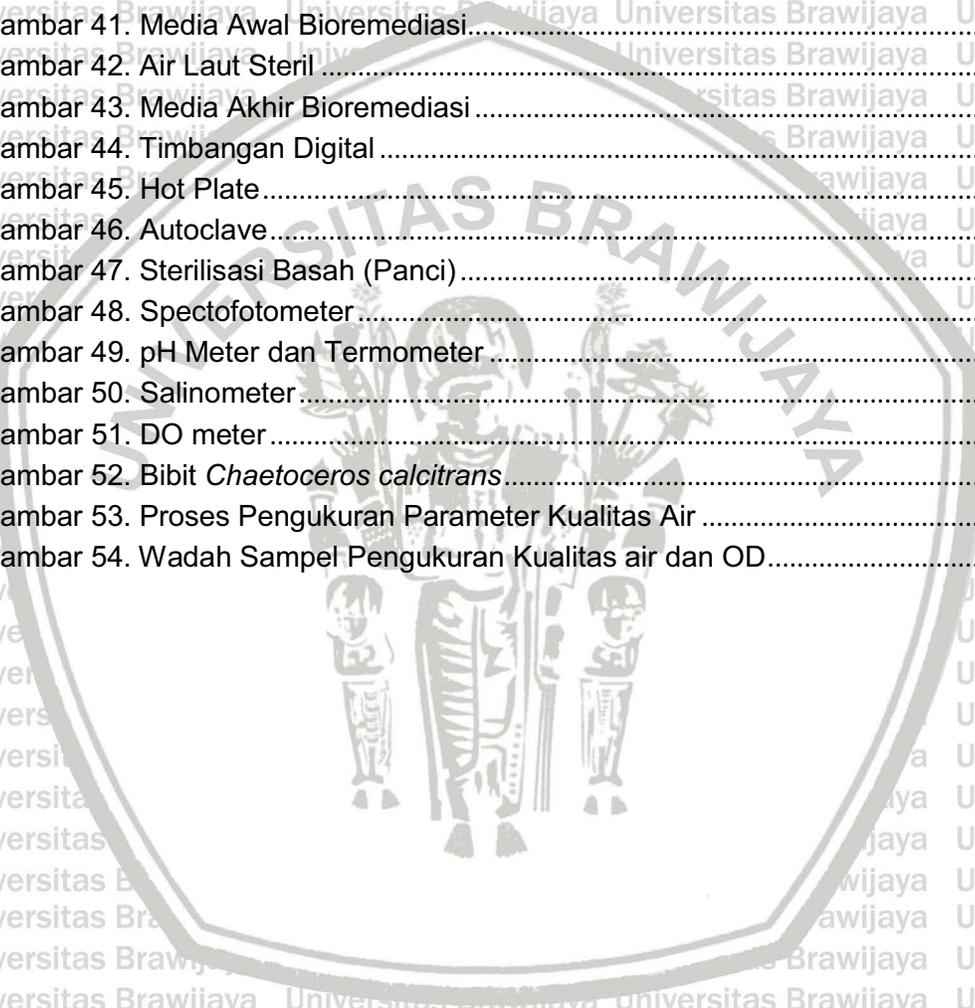
Tabel 1. Penelitian Terdahulu	23
Tabel 2. Nama Alat dan Fungsi	25
Tabel 3. Nama Bahan dan Fungsi	26
Tabel 4. Hasil Akhir Kadar Minyak Solar	63
Tabel 5. Rata- Rata Nilai Suhu	70
Tabel 6. Rata- Rata Nilai Salinitas	71
Tabel 7. Nilai Rata – Rata Dissolved Oxygen	73
Tabel 8. Nilai Rata – Rata Power Of Hydrogen	74
Tabel 9. Nilai Rata – Rata <i>Optical density</i>	76
Tabel 10. Perbedaan Media Sebelum dan Sesudah Uji Bioremediasi	77



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. <i>Chlorophyceae</i> (Alga Hijau).....	8
Gambar 2. Bacillariophyceae (Diatom).....	8
Gambar 3. Cynophyceae (Alga Hijau- Biru).....	9
Gambar 4. Chrysophyceae.....	10
Gambar 5. <i>Chaetoceros calcitrans</i>	12
Gambar 6. Piramida Makanan di laut.....	13
Gambar 7. Siklus Hidup Diatom (<i>Chaetoceros calcitrans</i>).....	15
Gambar 8. Fase Pertumbuhan mikroalga (Ermayanti, 2011).....	15
Gambar 9. Hasil Pengolahan Minyak Bumi.....	18
Gambar 10. Mekanisme Bioremediasi.....	31
Gambar 11. Desain Perlakuan Penelitian.....	32
Gambar 13. Skema Kerja Penelitian.....	37
Gambar 14. Proses Sterilisasi menggunakan Autoclave.....	39
Gambar 15. Nutrisi <i>Chaetoceros calcitrans</i> (A. Silikat, B. Pupuk Diatom dan C. Vitamin).....	40
Gambar 16. Kultur <i>Chaetoceros calcitrans</i> hari ke- 0.....	41
Gambar 17. Kultur <i>Chaetoceros calcitrans</i> hari ke- 5.....	42
Gambar 18. A. Hasil Pengamatan kultur <i>Chaetoceros calcitrans</i> , dan B. Fisiologi <i>Chaetoceros Calcitrans</i>	43
Gambar 19. Proses Aklimatisasi.....	44
Gambar 20. Perlakuan Sebelum Uji Biodegradasi.....	46
Gambar 21. Proses Bioremediasi (A. Shaker Incubator dari samping dan B. Susunan uji bioremediasi.....	46
Gambar 22. Hasil Sesudah Uji Bioremediasi.....	48
Gambar 23. Pengukuran <i>Optical density</i> dengan Spectofometer (A. Spectofometer, B. Cuvet/ wadah sampel pada spektofotometer).....	49
Gambar 24. Grafik Nilai <i>Optical density</i> Pertumbuhan <i>Chaetoceros calcitrans</i> pada Konsentrasi Solar 0 ml.....	50
Gambar 25. Grafik Nilai <i>Optical density</i> Pertumbuhan <i>Chaetoceros calcitrans</i> pada Konsentrasi Solar 5 ml.....	52
Gambar 26. Grafik Nilai <i>Optical density</i> Pertumbuhan <i>Chaetoceros calcitrans</i> pada Konsentrasi Solar 10 ml.....	53
Gambar 27. Grafik Nilai <i>Optical density</i> Pertumbuhan <i>Chaetoceros calcitrans</i> pada Konsentrasi Solar 20 ml.....	54
Gambar 28. Trendline Laju Pertumbuhan <i>Chaetoceros Calcitrans</i>	55
Gambar 29. Data Hasil Pengukuran Suhu.....	58
Gambar 30. Data Hasil Pengukuran Salinitas.....	59
Gambar 31. Data Hasil Pengukuran Dissolved Oxygen.....	60
Gambar 32. Data Hasil Pengukuran Power of Hidrogen.....	62

Gambar 33. Grafik Nilai Rata - Rata Harian Suhu	70
Gambar 34. Nilai rata – ratasuhu pada media uji biodegradasi.....	71
Gambar 35. Grafik nilai rata - rata harian salinitas	72
Gambar 36. Nilai rata – rata salinitas pada media uji bioremediasi	72
Gambar 37. Grafik nilai rata - rata harian dissolved oxygen	73
Gambar 38. Nilai rata – rata dissolved oxygen pada media uji bioremediasi.....	74
Gambar 39. Grafik nilai rata - rata harian power of hydrogen.....	75
Gambar 40. Nilai rata – rata power of hydrogen pada media uji bioremediasi	75
Gambar 41. Media Awal Bioremediasi.....	77
Gambar 42. Air Laut Steril	77
Gambar 43. Media Akhir Bioremediasi	77
Gambar 44. Timbangan Digital	78
Gambar 45. Hot Plate	78
Gambar 46. Autoclave	78
Gambar 47. Sterilisasi Basah (Panci)	78
Gambar 48. Spectofotometer	78
Gambar 49. pH Meter dan Termometer	78
Gambar 50. Salinometer	78
Gambar 51. DO meter	78
Gambar 52. Bibit <i>Chaetoceros calcitrans</i>	78
Gambar 53. Proses Pengukuran Parameter Kualitas Air	79
Gambar 54. Wadah Sampel Pengukuran Kualitas air dan OD.....	79



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan zaman memberikan banyak kemudahan pada aktivitas manusia, Kegiatan Ekonomi yang terus berkembang menjadikan teknologi semakin maju salah satunya bidang transportasi. Banyaknya transportasi yang diciptakan berpotensi besar dalam konsumsi energi seperti penggunaan bahan bakar. Penggunaan bahan bakar yang berlebih dapat merusak/ mencemari lingkungan yang menjadi ekosistem alami (Budiyono, 2001). Keberadaan bahan bakar yang tidak ramah lingkungan menjadi sumber- sumber pencemar utama di perairan, darat bahkan udara yang dapat mengeluarkan banyak CO₂ dan berbagai logam berat maupun bahan pencemar lainnya sehingga dapat mengganggu ekosistem. Tumpahan minyak berasal dari aktivitas transportasi, pertambangan bahkan kecelakaan dilaut yang mengangkut minyak bumi.

Menurut Pertamina (2015), Minyak bumi yang dihasilkan mengandung hidrogen dan karbon serta mengandung zat pengotor, zat pengotor merupakan hasil samping dari proses minyak bumi seperti sulfur, nitrogen, oksigen, logam berat, garam anorganik dan garam organik. Senyawa hidrokarbon merupakan sebuah senyawa yang terdiri dari unsur karbon (C) dan senyawa hidrogen (H) yang memiliki titik didih -30°C s/d 1000-an°C. Tumpahan minyak yang terjadi di laut dapat mencemari ekosistem. Menurut Munawar *et al.* (2007), Hidrokarbon yang mencemari lautan berdampak negatif bagi ekosistem perairan dan beberapa parameter kualitas air seperti salinitas, temperatur, pH, BOD dan COD serta dapat mempengaruhi kehidupan biota diperairan. Salah satu jenis minyak yang sering mencemari lingkungan perairan adalah tumpahan minyak solar. Minyak solar merupakan bahan

bakar utama diesel, diesel biasanya dimanfaatkan banyak nelayan kecil maupun sebagian kapal besar dilautan. Minyak sering tumpah dilaut efek dari kelebihan pada saat pengisian kemudian kecelakaan yang terjadi antar kapal (Nababan, 2008).

Banyak kasus tumpahan minyak mendorong banyak ilmuwan yang menciptakan suatu metode fisika, metode kimia dan aplikasi bioteknologi yang dapat menghilangkan bekas tumpahan minyak tersebut. Salah satu cara mengurangi keberadaan tumpahan minyak dengan metode Bioremediasi. Tujuan bioremediasi dengan mengubah senyawa yang bersifat toksik yang berbahaya menjadi tidak toksik dengan menggunakan suatu organisme mikro yang dapat mendegradasi bahan pencemar tersebut (Munawar *et al.*, 2007).

Mikroalga dapat digunakan sebagai salah satu agen biodegradasi bahan pencemar. Mikroalga dapat mengumpulkan logam berat, herbisida, insektisida dan fenol (Ji *et al.*, 2014). Keberadaan mikroalga juga dilaporkan memiliki potensi menghilangkan polutan pada air. Proses bioremediasi tidak akan berhasil tanpa adanya faktor pendukung seperti parameter lingkungan antara lain suhu, pH, salinitas, dan ketersediaan nutrisi. Salah satu yang dapat dimanfaatkan sebagai agen biodegradasi adalah komunitas plankton. Plankton terbagi menjadi 2 golongan yaitu fitoplankton dan zooplankton. Fitoplankton merupakan produsen primer diperairan, selain sebagai produsen primer keberadaan plankton dapat menyerap beberapa bahan pencemar. Menurut Selvika *et al.*, (2016), fitoplankton memiliki ukuran yang sangat kecil bahkan relatif kecil, maka interaksi fitoplankton dan bahan pencemar diperairan berlangsung efektif. Plankton memiliki banyak jenis yang telah digunakan sebagai pendegradasi bahan pencemar. Menurut Hala *et al.*, (2012)

Chaetoceros calcitrans Banyak ditemukan dilautan dalam bentuk diatom dan lebih dominan di perairan pesisir. Banyak penelitian menyebutkan spesies fitoplankton

yang dapat hidup pada lingkungan tercemar adalah *Chaetoceros calcitrans* karena memiliki kandungan lemak yang tinggi sehingga dapat hidup dilingkungan tercemar.

Penelitian dilakukan untuk mengetahui kemampuan *Chaetoceros calcitrans* dalam memanfaatkan kandungan hidrokarbon dalam air. Hidrokarbon yang digunakan adalah minyak solar dengan kadar tertentu. Menurut Selvika *et al.*, (2016) beberapa penelitian yang telah dilakukan dalam menguji efektifitas penyerapan bahan pencemar, logam berat Cd, Pb dan Fe oleh mikroalga *clorella sp*, *nannochloropsis sp*, Maka keberadaan fitoplakton sebagai produsen primer dapat digunakan sebagai agen bioremediasi bahan pencemar dan dapat menanggulangi limbah pencemaran dilingkungan perairan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan biodegradasi bahan pencemar yang bersifat hidrokarbon (minyak solar) dengan menggunakan *Chaetoceros calcitrans* serta mengetahui dinamika pertumbuhan *Chaetoceros calcitrans* pada lingkungan tercemar minyak solar.

1.2 Rumusan Masalah

Hidrokarbon merupakan salah satu penyebab pencemaran di laut. Salah satu contoh dari hidrokarbon adalah minyak solar. Minyak solar merupakan salah satu bahan bakar utama diesel. Banyak nelayan memanfaatkan minyak solar untuk perahu mereka guna mencari ikan di laut. Kebanyakan kasus membuktikan bahwa minyak solar yang tumpah diperairan mengakibatkan pencemaran laut. Pencemaran akibat minyak solar mengganggu biota di sekitar perairan dan berdampak buruk pada kualitas perairan. Pencemaran minyak solar dapat dikurangi dengan proses bioremediasi.

Proses bioremediasi merupakan solusi yang dapat digunakan untuk mengurangi pencemaran oleh minyak solar dengan menggunakan mikroorganisme, mikroalga dll. Berdasarkan latar belakang dan uraian dari rumusan masalah yang dapat diambil dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Apakah mikroalga *Chaetoceros calcitrans* memiliki kemampuan mengurangi minyak solar?
2. Bagaimana pengaruh minyak solar terhadap pertumbuhan mikroalga *Chaetoceros calcitrans*?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah yang dipaparkan diatas, adapun tujuan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui kemampuan *Chaetoceros calcitrans* dalam mengurangi minyak solar
2. Mengetahui pengaruh minyak solar terhadap pertumbuhan *Chaetoceros calcitrans*

1.4 Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai informasi tambahan bagi pemerintah dan masyarakat khususnya perusahaan yang selalu membuang limbah ke laut serta memberikan informasi tentang pemanfaatan mikroalga *Chaetoceros calcitrans* khususnya dapat digunakan sebagai agen mengurangi bahan pencemar terutama pada lingkungan pesisir dan dapat dilakukan water treatment pada suatu industri sebelum dibuang ke laut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mikroalga

2.1.1 Pengertian Mikroalga

Mikroalga merupakan organisme autotrof yang dapat tumbuh melalui proses fotosintesis. Mikroalga memiliki struktur uniseluler yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi kimia (Hariyati, 2008). Mikroalga dapat hidup dengan baik di lingkungan perairan laut maupun air tawar. Mikroalga memiliki arti sebagai tanaman mikroskopik, dapat melakukan fotosintesis menjadi bentuk yang sangat sederhana, tidak memiliki akar, berbatang maupun berdaun. Mikroalga memiliki sifat autotrof menggunakan CO₂, senyawa anorganik P dan unsur nitrogen dengan mengambil senyawa NH₃ atau nitrat. Kehidupan mikroalga dapat dipengaruhi oleh banyak faktor salah satunya adalah kualitas air. Tempat tinggal dan berkembang mikroalga merupakan hal yang sangat penting, maka kualitas air hidup mikroalga sangat menentukan kehidupan mikroalga sendiri. Kualitas air seperti suhu, salinitas, DO dan keberadaan cahaya matahari yang sesuai akan memberikan pengaruh yang baik terhadap pertumbuhan mikroalga.

Menurut Abdurrachman *et al.*, (2013), Kehidupan mikroalga memerlukan suatu proses unik konversi sinar matahari atau biasa disebut sebagai proses fotosintesis.

Berikut proses fotosintesis yang dijelaskan Nontji, 2008)(Gambar. 1):



Proses Fotosintesis Mikroalga

(Sumber: Anugerah Nontji, 2008)

Proses fotosintesis cahaya matahari sebagai sumber energi utama. Kemudian diserap oleh tumbuhan yang memiliki pigmen klorofil dan diolah, selain keberadaan cahaya matahari sumber lain adalah karbondioksida, air dan zat hara. Seluruh sumber utama dalam fotosintesis akan masuk kedalam tubuh dan akan menghasilkan reaksi kimia yang menghasilkan senyawa organik. Reaksi dalam proses fotosintesis menghasilkan oksigen. Proses fotosintesis karbondioksida direduksi menjadi karbohidrat dan air kemudian mengalami dehidrogenasi menjadi oksigen (Effendi, 2003).

Proses fotosintesis pada fitoplankton dengan memanfaatkan dan mengubah unsur - unsur anorganik menjadi material organik dengan bantuan cahaya matahari. Fitoplankton memiliki kemampuan untuk menyerap cahaya matahari oleh seluruh permukaan sel yang ada dalam fitoplankton tersebut, hal itu menjadikan fitoplankton menjadi salah satu spesies penting dalam tanaman air (Setyaningsih, 2012).

Kehidupan mikroalga tidak dapat berlangsung begitu saja, ada beberapa faktor yang mempengaruhi kehidupan mikroalga. Menurut Noer dan Dessy (2012), faktor- faktor yang dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroalga yaitu faktor biotik dan abiotik.

Faktor biotik dipengaruhi oleh organisme lain jamur, virus, dan kompetensi dengan mikroalga lain sedangkan faktor abiotik dipengaruhi kondisi lingkungan seperti cahaya matahari, temperature, nutrisi, O₂, CO₂, pH, salinitas dan keberadaan oksigen. Kondisi lingkungan yang tidak sesuai dengan kehidupan mikroalga akan menyebabkan mikroalga mati/ bahkan menjadi bersifat toksik yang membahayakan lingkungan sekitarnya serta dapat membunuh biota disekitarnya.

2.1.2 Macam- Macam Mikroalga

Menurut Hadiyanto dan Nur (2012), mikroalga diibaratkan sebagai pabrik kecil sel mikro yang dapat mengubah karbondioksida menjadi material potensial yang dapat dimanfaatkan seperti biodiesel, bahan pangan dan sebagai biomaterial melalui proses fotosintesis yang dibantu oleh cahaya matahari. Keberagaman mikroalga didunia tidak dapat diperkirakan karena memiliki jutaan spesies dan sampai sekarang ini banyak mikroalga yang belum diteliti dan belum dikembangkan. Diperkirakan mikroalga yang sudah diketahui 200.0000- 800.000 spesies mikroalga hidup di alam dan hanya 20% sudah diketahui komponen penyusunnya. Sebagian besar mikroalga mengasilkandungan tertentu seperti antioksidan, enzim, polime, asam lemak, karotenoid hingga dapat menimbulkan racun.

Keberadaan mikroalga yang melimpah dialam memberikan banyak sekali perbedaan antar mikroalga. Tidak semua mikroalga berwarna hijau dan melakukan fotosintesis. Menurut (Kawaroe et al., 2015) secara umum keberadaan mikroalga dialam dapat dibagi menjadi 4 kelompok utama antara lain :

a. Chlorophyceae

Chloropycheaeyang biasa disebut alga hijau, berasal dari filum *clorophyta* dan selnya mengandung klorofil A dan B. Jenis mikroalga dari kelas clorophyceae sebagian besar melakukan proses fotosintesis. Contoh dari alga hijau: *nannocloropsis oculata sp*, *tetraselmis chuii sp*, *clorella sp*, *spirogyra sp*, dan *scenedesmus sp*. Kebanyakan spesies alga hijau mengandung amilosa dan amilopektin, dan ada beberapa yang dapat menghasilkan minyak. Contoh dari alga hijau disajikan pada (Gambar 1).



Gambar 1. *Chlorophyceae* (Alga Hijau) ,
 Sumber : <http://www.studyblue.com/chlorophyceae>

b. *Bacillariophyceae*

Banyak dikenal dengan nama Diatom, merupakan alga coklat dari filum *Chrysophyta*. Kebanyakan kelas dari alga coklat ini mendominasi jenis fitoplankton di laut dan juga sering ditemukan diperairan tawar maupun payau. Diatom hidupnya uniseluler atau berkoloni dan paling banyak ditemukan karena spesies dari jenis ini memiliki ciri- ciri sel dilindungi oleh kapsul yang bentuknya seperti gelas dan pergerakannya susah terkadang tidak/jelas. Contoh spesies dari kelas *Bacillariophyceae* adalah *Phaeodactylum tricornutum*, *Cyclotella* sp, dan *Chaetoceros calcitrans*. Mengandung pigmen klorofil termasuk karotenoid serta memiliki pigmen khusus yang disebut diatomin (Gambar 2).



Gambar 2. *Bacillariophyceae* (Diatom)
 (Sumber: www.encyclopedias.com/diatom.html)



c. Cynophyceae

Cynophyceae merupakan alga hijau-biru masuk kedalam filum Cynophyta yang mengandung percampuran dari klorofil berwarna hijau dengan fikosianin berwarna biru. Mikroalga jenis ini memiliki warna yang berbeda-beda seperti warna merah, hijau terang, coklat, ungu dan warna gelap seperti hitam. Warna-warna tersebut terbentuk dari percampuran pigmen klorofil, karotenoid, fikosianin dan fikokeritrin. Contoh spesies dari alga hijau- biru adalah *spirulina sp.*, *Chroococcus sp.* dapat dilihat pada Gambar 3.

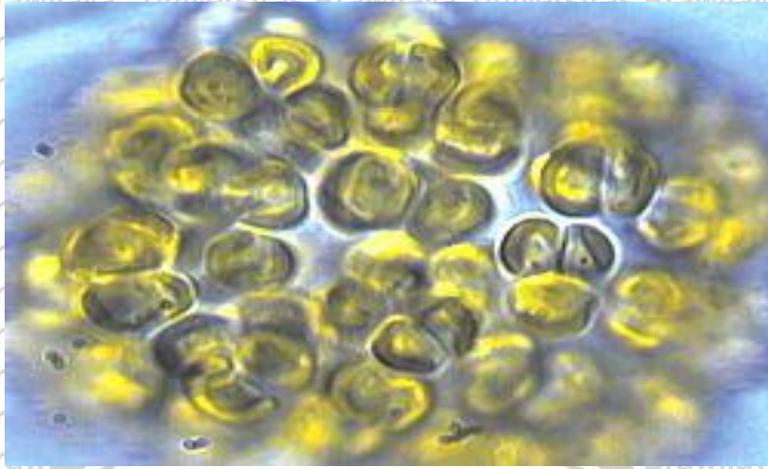


Gambar 3. Cynophyceae (Alga Hijau- Biru)

(Sumber : www.perpusku.com/2016/01/ganggang-hijau-biru-chyanophyta.html)

d. Chrysophyceae

Alga ini memiliki warna keemasan dari percampuran pigmen karoten dan klorofil pigmen hijau. Alga ini biasa disebut dengan alga coklat keemasan memiliki sekitar 200 genus dari 1000 spesies. Alga bersel satu dan hidup dalam bentuk koloni mengambang di danau dan laut sebagai fitoplankton. Contoh dari alga coklat keemasan adalah *ochromonas sp.* Gambar 4.



Gambar 4. Chrysophyceae

(Sumber : <https://microbewiki.kenyon.edu/chryso-sphaera.html>)

2.1.3 Manfaat Mikroalga

Manfaat mikroalga bagi lingkungan biasanya dominan memberikan kontribusi untuk memproduksi biomassa dalam sistem perairan. Dilingkungan perairan mikroalga melakukan proses metabolisme dan mempunyai peran sebagai pendaur ulang nutrisi. Dilihat dari segi kandungan nutrisi mikroalga memiliki kandungan sebagai sumber nutrisi, vitamin, minyak dan elemen mikro untuk komunitas perairan. Lingkungan tercemar sering menimbulkan banyak ancaman terhadap biota, mikroalga dalam lingkungan tercemar dapat menimbulkan rasa, bau yang tidak enak dan menyebabkan perairan keruh (Kurniawati, 2006).

Mikroalga telah banyak dimanfaatkan untuk kebutuhan manusia. Salah satu metode yang digunakan untuk mengembangkan populasi mikroalga dengan melakukan kultur mikroalga. Menurut Armanda (2013), kultur merupakan proses memperbanyak jumlah spesies mikroalga dengan cara dibiakkan pada medium tertentu dimulai dari pemisahan spesies satu dengan lainnya kemudian disimpan pada skala kecil tabung reaksi kemudian dikembangkan lagi dengan wadah yang lebih besar. Pertumbuhan pada media kultur membutuhkan kandungan oksigen,

kandungan cahaya yang cukup serta suhu, salinitas, dan pH yang sesuai. Selain dikembangkan dengan proses kultur mikroalga juga dapat dimanfaatkan menjadi agen penghilang limbah/pencemar. Mikroalga yang dapat digunakan untuk mengurangi bahan pencemar seperti logam berat yang memiliki kandungan lemak dan protein sakarida. Contoh spesies mikroalga yang memiliki kandungan tersebut adalah *clorella* sp. dan *nannochloropsis* sp. hal tersebut dikaenakan *chlorella* sp. dapat hidup pada lingkungan tecemar (Arifah *et al.*, 2014).

Chaetoceros calcitrans memiliki kegunaan salah satunya memiliki peran yang besar terhadap penyediaan pakan larva khususnya larva udang pada budidaya. Selain bermanfaat pada budidaya *Chaetoceros calcitrans* memiliki potensi tinggi sebagai penghasil senyawa- senyawa kimia bernilai ekonomi yang tinggi seperti asam lemak omega. Menurut Jones *et al.*, (2001), *Chaetoceros calcitrans* mempunyai komponen aktif antibakteri golongan asam lemak.

2.2 *Chaetoceros calcitrans*

2.2.1 Morfologi dan Fisiologi *Chaetoceros calcitrans*

Chaetoceros calcitrans merupakan fitoplankton dari kelas diatom, memiliki warna kuning kecoklatan, berukuran 6-8 μm . Menurut Raya (2015) menyatakan bahwa spesies *Chaetoceros calcitrans* secara umum memiliki sel yang terdiri beberapa sel dan strukturnya susah untuk diidentifikasi. Klasifikasi mikroalga

Chaetoceros calcitrans menurut Bold and wyne (1985) sebagai berikut :

Filum : Chrisophyta

Kelas : Bacillariophyceae

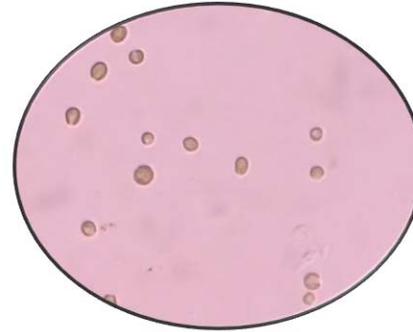
Ordo : Centrales

Subordo : Biddulphioidae

Famili : Chaetocerotaceae

Genus : *Chaetoceros*

Spesies : *Chaetoceros calcitrans*



Gambar 5. *Chaetoceros calcitrans*
(Sumber : Dokumentasi pribadi)

Jones (2001) juga menjelaskan bahwa spesies ini memiliki ukuran panjang berbentuk rantai dan terdapat serabut tipis yang terdapat pada sudut- sudut dan bersatu membentuk 4-8 sel per rantai. Terdapat katup cekung pada permukaan dan lubang epitecal serta kromatofora beraturan. *Chaetoceros calcitrans* memiliki ukuran rata – rata 4 mikron serta memiliki kandungan nutrisi cukup baik yaitu protein 37%, lemak 0.9%, karbohidrat 16,6 % dan kadar abu 28% (Hadiyanto dan Nur, 2007).

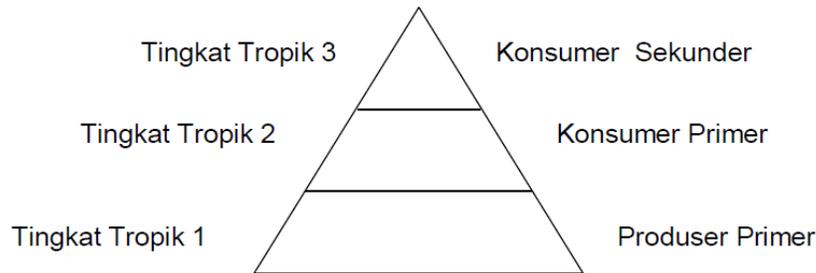
2.2.2 Ekologi *Chaetoceros calcitrans*

Menurut (Setiawati, 2009), Keberadaan *Chaetoceros calcitrans* ditemukan sebagai diatom di lautan khususnya diperairan pesisir. Spesies ini memiliki kelimpahan yang sangat tinggi dalam suatu perairan, distribusi dan keberadaanya yang sepanjang tahun ada, memiliki nilai ekonomis dikarenakan mudah dilakukan kultur. Pemilihan spesies *chaetoceros* sp sebagai biota uji dikarenakan biota ini memiliki kriteria yang baik dan memiliki peranan penting dalam ekologi lautan.

Sebagai produsen primer fitoplankton memiliki tingkatan paling bawah pada rantai makanan. Piramida makanan di laut (Gambar.6) mengartikan bahwa fitoplankton memiliki peranan yang berpengaruh bagi kehidupan menyeluruh di laut. Posisi trofik



level paling rendah berperan mentransfer energi matahari dan mendistribusikan energi tersebut pada organisme lain melalui rantai makanan (Wahab, 2013).



Gambar 6. Piramida Makanan di laut
(Sumber : Wahab, 2013)

Dari piramida (Gambar. 6) fitoplankton menduduki paling bawah trofik level/ produsen primer. Jadi, keberadaan jumlah fitoplankton lebih banyak di lautan dibandingkan pemangsanya. *Chaetoceros calcitrans* toleran terhadap suhu air yang tinggi. Pada suhu tinggi sekitar 40°C organisme ini dapat bertahan hidup tetapi tidak dapat berkembang. Suhu optimal untuk tumbuh pada *Chaetoceros calcitrans* dialampada kisaran 25°C sampai 30°C dengan salinitas 6-50 ppm dan optimum 16-25 ppm (Armanda, 2013).

Menurut Gao and Chi (2015), sebagai produsen utama dalam rantai makanan, mikroalga mendukung lebih dari setengah produksi primer di dunia. Keberadaan bahna pencemar di perairan memasuki rantai makanan dan memaksa diakumulasi oleh sel fitoplankton, sehingga respon fitoplankton terhadap bahan pencemar tidak diragukan lagi dalam rantai makanan. selain itu mikroalga telah diketahui dapat mendegradasi lingkungan hal tersebut sangat mempengaruhi nasib lingkungan perairan. Chang et al., 2004 menyatakan bahwa fitoplankton mampu melakukan fotosintesis, selain menghasilkan oksigen untuk memenuhi kebutuhan heterotrofik



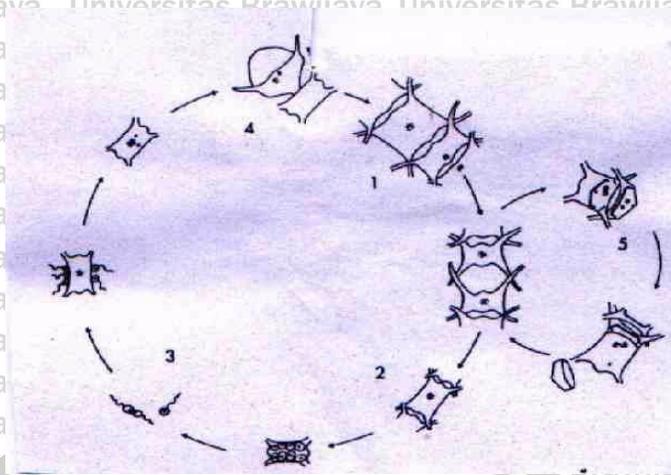
bakteri dan akibatnya dapat merangsang aktivitas bakteri sehingga dapat mengurangi keberadaan bahan pencemar. Mikroalga juga dapat memiliki kemampuan mendegradasi bahan pencemar yang bersifat organik secara langsung seperti fenol, polisiklik aromatik hidrokarbon, pestisida, minyak bumi dan PAEs.

2.2.3 Reproduksi *Chaetoceros calcitrans*

Chaetoceros calcitrans merupakan fitoplankton jenis diatom yang paling banyak memberikan kontribusi secara mendasar bagi produktifitas laut, khususnya pada perairan laut wilayah pantai. *Chaetoceros calcitrans* memiliki sel tunggal dengan beberapa rangkaian sel bagian bagian luar dilapisi skeleton dan silika sehingga lapisan luarnya keras yang biasa disebut frustula. Frustula tersusun dari 2 katup yaitu epiteka katup bagian atas dan hipoteka katup bagian bawah (Wahab, 2013).

Menurut Nybakken (1992) dalam Sutomo (2005), sebagian besar diatom melakukan reproduksi secara aseksual melalui pembelahan sel vegetatif. Hasil pembelahan dibagi menjadi bagian atas (epiteka) dan bagian bawah (hipoteka), kemudian masing- masing belahan akan membentuk sel baru dan membelah lagi menjadi epiteka dan hipoteka semakin lama akan memiliki ukuran semakin kecil. Hal tersebut menyebabkan ukuran sel sama dari generasi yang berlainan akan berbeda.

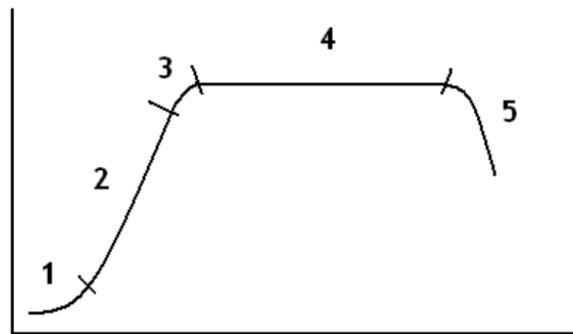
Siklus perumbuhan diatom *Chaetoceros calcitrans* dapat dilihat dalam Gambar 7.



Gambar 7. Siklus Hidup Diatom (*Chaetoceros calcitrans*)
(Sumber : Nybakken (1988) dalam Sunarto (2008))

2.2.4 Fase Pertumbuhan *Chaetoceros calcitrans*

Mikroalga dapat hidup pada media terbatas yang memiliki beberapa fase pertumbuhan. Fase pertumbuhan dimulai dari fase lag, fase eksponensial, fase penurunan laju pertumbuhan, fase stasioner, dan fase kematian. Menurut Ermayanti (2011), fase pertumbuhan mikroalga *chaetoceros* sp dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Fase Pertumbuhan mikroalga (Ermayanti, 2011)
(1 fase lag; 2 fase eksponensial ; 3 fase deklinasi ; 4 fase stasioner ; 5 fase kematian)

Fase Lag diawali dengan peningkatan populasi yang tidak terlalu banyak, fase lag biasa disebut dengan fase adaptasi, jadi mikroalga sedang beradaptasi dengan

lingkungannya. Fase ekponensial mikroalga sedang aktif berkembangbiak dan ditandai dengan tingginya laju pertumbuhan. Fase deklinasi atau fase penurunan laju pertumbuhan, hal tersebut dikarenakan kekurangan nutrisi (nitrogen dan fosfat), menurunnya konsentrasi CO₂ dan O₂ dan kenaikan pH. fase stasioner menunjukkan jumlah populasi seimbang dengan laju kematian sehingga tidak ada penambahan populasi. Pertumbuhan sel baru pada fase stasioner dihambat dengan keberadaan sel mati. Fase kematian ditandai dengan penurunan produksi biomassa karena kematian sel dan sel lisis (Ermayanti, 2011).

Menurut Setyaningsih *et al.*, (2012), *Chaetoceros calcitrans* merupakan diatom memiliki warna golden- brown, spesies ini lebih banyak memiliki pigmen kuning daripada pigmen hijau. Pertumbuhan *Chaetoceros calcitrans* terdiri atas fase lag (adaptasi), fase log (eksponensial), fase stasioner dan fase kematian seperti (Gambar 9). Faktor yang dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroalga yaitu suhu, nutrien, pH, pencahayaan dan faktor instrinsik dan ekstrinsik yang mempengaruhinya.

2.3 Hidrokarbon

2.3.1 Pengertian Hidrokarbon

Salah satu senyawa yang melimpah di alam adalah senyawa hidrokarbon. hidrokarbon merupakan penyusun minyak bumi. Minyak mentah digunakan sebagai pembuatan bahan bakar, bahan pelarut, bahan baku tekstil, farmasi dan digunakan pada beberapa industri (Azman, 2005). Penyebab dari pencemaran laut adalah ketika ada kapal bocor membawa minyak mentah, hal tersebut berakibat terhadap kerusakan ekosistem. Salah satu tumpahan minyak mentah yang paling berbahaya adalah minyak bumi dan produk dari petrokimia (campuran kompleks dari hidrokarbon).

Hidrokarbon minyak bumi memiliki banyak sifat yang dimiliki salah satunya hidrokarbon minyak bumi tidak larut dalam air atau sedikit yang terlarut, tetapi akan sangat larut dan menjadi satu apabila dimasukkan kedalam pelarut yang bersifat non-polar. Secara umum minyak bumi memiliki sifat-sifat fisika yang terdiri dari bobot jenis, titik didih, titik nyala dan nilai kalori, sedangkan sifat kimia dari hidrokarbon minyak bumi yaitu tersusun dari (>90%) dan non hidrokarbon. Senyawa hidrokarbon dapat digolongkan menjadi 4 jenis berdasarkan molekulnya antara lain paraffin, olefin, naftalen dan aromatik, Sedangkan senyawa organik non-hidrokarbon mengandung belerang, nitrogen, oksigen, logam organik yang terkonsentrasi dalam fraksi berat dan residu (Hadiyanto and Nur, 2012).

2.3.2 Macam- Macam Hidrokarbon

Menurut Herdiyantoro (2005), minyak bumi memiliki banyak proses yang dapat menghasilkan banyak sekali minyak yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Proses pengilangan minyak bumi merupakan pemisahan senyawa organik yang terdapat di alam dari fosil masa lampau dan pengolahan beberapa menjadi senyawa organik lain melalui pemisahan minyak kasar dengan penyulingan bertingkat menjadi kelompok-kelompok dengan tingkat titik didih yang berbeda-beda (Gambar. 9).

No.	Hasil	Interval Ukuran Molekul	Interval Titik Didih (°C)	Penggunaan
1.	Gas	C ₁ -C ₅	-164-30	Bahan bakar gas
2.	Eter petroleum	C ₅ -C ₇	30-90	Pelarut; binatu kimia (<i>dry cleaning</i>)
3.	Bensin	C ₅ -C ₁₂	30-200	Bahan bakar motor
4.	Minyak tanah	C ₁₂ -C ₁₆	175-275	Minyak lampu; minyak kompor
5.	Minyak diesel	C ₁₅ -C ₁₈	250-400	Bahan bakar mesin diesel
6.	Minyak pelumas	> C ₁₆	> 350	Pelumasan
7.	Lilin parafin	> C ₂₀	52-57	Lilin; korek api
8.	Aspal	-	Residu	Pelapis jalan

Sumber: Keenan *et al.* (1993).

Gambar 9. Hasil Pengolahan Minyak Bumi

Sumber : Keenan *et al.*, (1993)

Macam- macam hidrokarbon ini dipisahkan dari hasil pengolahan minyak mentah. Seluruh hidrokarbon memiliki rantai karbon dan atom – atom hidrogen yang saling berikatan satu sama lain. Jenis hidrokarbon pada dasarnya dibagi 3 jenis hidrokarbon aromatic, hidrokarbon jenuh (alkana tidak memiliki ikatan rangkap/ aromatik) dan hidrokarbon tak jenuh (memiliki 1 atau lebih atom karbon). Setiap karbon mengikat 4 atom lain (Pertamina, 2015).

2.3.3 Minyak solar

Minyak solar hasil penyulingan bahan bakar bersifat distilat dan kumpulan besar bahan kimia biasa dikenal sebagai hidrokarbon berupa bahan organik yang mengandung atom karbon dan hidrogen. Minyak solar biasanya berwarna kuning kecoklatan yang jernih berbentuk cairan mempunyai suhu rendah yang biasa disebut *Gas Oil* atau *High Speed Diesel*. Salah satu hasil dari minyak bumi adalah minyak solar, yang diperoleh dengan cara destilasi pemisahan antara titik didih atom karbon per molekulnya dan titik didih 300- 400 derajat celcius (Pertamina,2005). Minyak solar biasanya digunakan sebagai bahan bakar transportasi/ angkutan umum kemudian lebih banyak digunakan pada diesel. Kebanyakan nelayan pesisir maupun kapal kecil mengoperasikan kapalnya menggunakan minyak solar. Minyak solar pada perahu nelayan sering kali dihiraukan, sehingga menyebabkan kerusakan pada ekosistem pada jangka panjang jika tidak segera ditanggulangi menyebabkan



perubahan kualitas air dan menjadikan biota sekitar mati atau bahkan mejadi blooming yang berdampak negatif.

2.4 Bioremediasi

2.4.1 Pengertian Bioremediasi

Banyaknya bahan pencemar mendorong para ilmuwan menciptakan suatu teknologi yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan sumberdaya yang ada.

Salah satu metode yang digunakan untuk menghilangkan/ mengurangi keberadaan bahan pencemar dengan bioremediasi (Ji *et al.*, 2014). Proses bioremediasi

memanfaatkan suatu makhluk hidup khususnya organisme yang bersifat mikro dan memiliki enzim untuk menyerap/ memecah bahan polutan menjadi lebih sederhana

menstbilkan, memindahkan atau bahkan menghilangkan bahan tercemar di tanah maupun suatu perairan (Wisudyawati *et al.*, 2015). Menurut(Munir, 2006) Xiong *et*

al., (2016), Bioremediasi terdiri dari biodegradasi, bioadsorpsi dan bioakumulasi merupakan 3 proses yang bertanggung jawab dalam menghilangkan bahan

pencemar namun dengan proses yang berbeda, namun ketiganya memiliki agen yang sama yaitu memanfaatkan sistem biologi.

Proses Bioremediasi dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya faktor lingkungan, pertumbuhan agen degradasi banyak tidaknya ditentukan oleh

keberadaan jumlah nutrien. Selain dari nutrien faktor lingkungan seperti suhu, salinitas, kandungan oksigen terlarut, pencahayaan dan sistem aerasi juga

berpengaruh. Pada dasarnya semua organisme yang bersifat mikro memerlukan karbon sebagai sumber energi untuk aktivitasnya (Ali, 2012). Tujuan akhir dari

proses bioremediasi adalah mineralisasi bahan pencemar. Maka, untuk melakukan proses remediasi polutan diperlukan mikroorganisme yang dapat menghasilkan

banyak enzim yang dapat menyerap maupun memindahkan hidrokarbon. Menurut Munir (2006), lintasan biodegradasi dapat berasal dari senyawa kimia berbahaya maupun senyawa kimia alami seperti hidrokarbon, lignin, selulosa dan hemiselulosa.

Dari semua senyawa tersebut biasanya semua prosesnya sama. Polimer yang sukar didegradasi oleh lingkungan biasanya lignoselulosa.

2.4.2 Faktor Bioremediasi

Faktor-faktor pembatas bioremediasi dapat berasal dari alam sendiri yang dapat mempengaruhi prosesnya antara lain suhu, pH, keadaan nutrisi, ketersediaan O_2 .

Menurut Nababan (2008), faktor lingkungan yang dapat membatasi proses biodegradasi sebagai berikut :

a. Suhu

Nilai suhu pada proses bioremediasi sangat berpengaruh besar. Hidrokarbon dalam rantai alkana dapat larut dengan mudah pada suhu rendah. Sedangkan hidrokarbon yang bersifat aromatik dapat dengan mudah larut pada suhu tinggi.

Proses biodegradasi dapat berjalan baik pada suhu 15 -20 °C.

b. pH (Derajat Keasaman)

Proses bioremediasi dapat dipecepat jika kondisi lingkungan asam. Berbagai studi menghasilkan beberapa fakta bahwa bioremediasi minyak dapat lebih cepat dengan peningkatan pH pada kecepatan optimum pH alkalin (Nababan, 2008).

c. Nutrisi

Salah satu kebutuhan mikroba dalam berkembangbiak adalah nutrisi. Ketika terjadi tumpahan minyak dilaut menyebabkan suplai karbon akan meningkat dan mempengaruhi keberadaan ekosistem dan menyebabkan ketidakseimbangan lingkungan. Peningkatan jumlah mikroba yang terancam tadi dapat dilakukan

penambahan nutrisi N dan P pada tingkat proporsi sebelum tumpahan minyak.

Petroleum dapat didegradasi dengan menambahkan nutrisi seperti nitrogen, karbon dan fosfor agar dapat dikonsumsi mikroba (Nababan, 2008).

d. Oksigen

Seluruh makhluk hidup yang tinggal di bumi membutuhkan oksigen untuk hidup. Hal tersebut tidak jauh beda dari proses biodegradasi ketersediaan oksigen sangat diperlukan untuk mikroba berkembangbiak. Segala proses biodegradasi hidrokarbon yang bersifat jenuh dan aromatic, namun ada beberapa senyawa kimia mulai benzene, toluena, etilbenzena, dan xylene dapat melakukan biodegradasi tanpa adanya oksigen di air tanah yang terkontaminasi (Johnson *et al.*, 2003).

e. Mikroorganisme

Proses biodegradasi biasanya dibantu oleh organisme mikroskopis sehingga dapat mengubah kondisi lingkungan menjadi lebih baik. Hidrokarbon petroleum dapat didegradasi oleh jenis organisme mikro seperti bakteri, jamur, kapang, kamir dan mikroalga (Buddy *et al.*, 2004). Sebelum dijadikan bahan degradasi biasanya mikroba tersebut dikembangkan sesuai habitatnya. Kultur campuran dari mikroalga lebih cepat mendegradasi polutan daripada biakan murni. Hal tersebut dikarenakan kultur campuran sudah melewati proses yang lama.

2.4.3 Mekanisme Bioremediasi

Metode biodegradasi merupakan salah satu hal yang dapat digunakan dalam menanggulangi tumpahan minyak dan paling aman bagi lingkungan (Munawar *et al.*, 2007). Menurut Wang *et al.*, (2016), proses biodegradasi phenol menggunakan mikroalga yang pertama membagi konsentrasi phenol menjadi 0 ml, 100 ml, 200 ml, 300 ml dan 500 ml dimasukkan kedalam media kultur yang sudah berisikan mikroalga. Proses biodegradasi dilakukan selama 3 hari x 24 jam. Kemudian sisa

sampel biodegradasi diuji kadar sisa phenol nya dengan menggunakan metode 4-AAP Spectofotometer dengan absorban 510 nm. Mekanisme Bioremediasi dalam penelitian ini disajikan pada (Gambar 10). Mekanisme bioremediasi diawali dengan menganalisa konsentrasi kontaminan, nilai pH dan mikroorganismee yang akan digunakan sebagai obyek penelitian. Kemudian memberikan variasi stimulasi aktivitas bioremediasi seperti penambahan nutrisi, pengukuran kualitas air dll. Kemudian dilakukan isolasi/ memperbanyak sel mikroorganismee, mikroalga dll yang kemudian dapat dilakukan untuk uji bioremediasi minyak (Ali, 2012).



2.5 Penelitian Terdahulu

Adapun beberapa penelitian terdahulu mengenai biodegradasi menggunakan mikroalga disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1: Penelitian Terdahulu

NO.	Penulis	Tahun	Judul	Metode
1.	Libo Wang, Chuizhao Xue, Liang Wang, Quanyu Zhao, Wei wei and Yuhan Sun	2016	Strain Improvement of <i>Chlorella</i> sp. for phenol biodegradation by adaptive laboratory evolution	- Konsentrasi phenol 0 ml, 100 ml, 200 ml, 300ml, 500ml - Lama paparan biodegradasi selama 8 hari (31 siklus)
2.	Ragaa abd el fatah hamouda, noha Mohamed sorour, dahlia said yeheia	2016	Biodegradation of crude oil by <i>anabaena oryzae</i> , <i>chlorella kessleri</i> and its consortium under mixotrophic conditions	- Konsentrasi minyak mentah 0, 0.5, 1.0 dan 1.5 % - Lama paparan biodegradasi 10 hari
3.	Siti Arifah	2015	Studi Kemampuan <i>Nannochloropsis</i> sp. Dan <i>Chlorella</i> sp. Sebagai agen bioremediasi logam berat merkuri (Hg) dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan.	- Konsentrasi merkuri yang digunakan 0 ppm, 0.06 ppm - 5 kali pengulangan - Lama paparan biodegradasi 7 hari

4.	Dita Wisudyawati	2014	Pebandingan kemampuan skeletonema sp. dan <i>Chaetoceros calcitrans</i> sebagai agen bioremediasi (fito-akumulasi) terhadap logam berat timbal (Pb)	- Konsentrasi timbale 0 ppm dan 0.9 ppm - 2 kali pengulangan - Lama paparan bioremediasi 7 hari
5.	Ke Lin, Lijuan Lio, Ping Wang, Tiangang Luan, Nora Fung-yen Tam	2010	Effect of metals biosorption and biodegradation of mixed polycyclic aromatic hydrocarbon alga <i>selenastrum capricornutum</i>	- Konsentrasi metals 0.05-0.1 mg Cd L, 0.05-0.1 mg Zn L, 0.05-0.1 mg Cu L, 0.05-0.1 mg Ni L - Lama paparan 7 hari
6.	Munawar, Mukhtasor dan tini surtiningasih	2007	Bioremediasi tumpahan minyak mentah dengan metode biosimulasi nutrisi organik di lingkungan perairan Surabaya Timur	- Lama paparan biodegradasi 14 hari
7.	Ragaa abd hamaouda, NohaMohamed sorour, Dalia said yeheia	2015	Biodegradation of crude oil by <i>anabaena oryzae</i> , <i>chlorella kessleri</i> and its consortium under mixotrophic conditions	- Konsentrasi minyak mentah 0, 0.5, 1, 1.5 % dari 100% - Lama paparan biodegradasi 15 hari

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Sumberdaya Ilmu Hayati dan Laboratorium Eksplorasi Sumberdaya Perikanan dan Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya. Sampel mikroalga *Chaetoceros calcitrans* didapatkan dari Balai Besar Perikanan Budidaya Air Payau (BBPBAP) Jepara.

Penelitian dilakukan pada bulan Maret 2017.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan alat dan bahan yang digunakan selama proses uji biodegradasi. Penggunaan alat memudahkan dalam penelitian, pengamatan dan pengukuran parameter kualitas air sampel. Alat - alat yang digunakan dalam penelitian skripsi disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Nama Alat dan Fungsi

No.	Nama Alat	Fungsi Alat
1.	Botol 1,5 liter	Media kultur mikroalga
2.	Selang Aerasi	penyalur oksigen pada media kultur
3.	Pipet Volume	Mengambil larutan dalam skala besar
4.	Pipet Tetes	Mengambil larutan dalam skala kecil
5.	Lampu	Sumber cahaya untuk fotosintesis plankton
6.	Gelas Ukur	Mentakar/ mengukur bahan pencemar/ pupuk plankton
7.	Corong Gelas	Memasukkan cairan ke botol/ media kultur
8.	DO Meter	Mengukur kandungan oksigen pada media kultur
9.	pH Meter	Mengukur derajat keasaman pada media kultur

No.	Nama Alat	Fungsi Alat
10.	Thermometer	Mengukur suhu pada media kultur
11.	Salinometer	Mengukur salinitas pada media kultur
12.	Mikroskop	Menghitung kepadatan mikroalga
13.	<i>Haemocytometer</i>	Menghitung densitas mikroalga
14.	Botol film	Wadah sampel mikroalga dari lapang
15.	Enlemeyer	Wadah untuk kultur mikroalga skala kecil
16.	Shaker incubator	Alat inkubasi sampel mikroalga dalam uji biodegradasi
17.	Tabung reaksi	Wadah kultur mikroalga
18.	Aerator	Alat aerasi
19.	Cool box	Penyimpanan sampel
20.	Autoclave	Sterilisasi alat dan bahan sebelum digunakan

3.3.2 Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan- bahan tambahan yang digunakan untuk pengamatan dan sebagai komponen utama keberadaan bahan – bahan pada penelitian ini sangat dibutuhkan. Bahan yang digunakan selama penelitian disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Nama Bahan dan Fungsi

No.	Nama Alat	Fungsi Alat
1.	<i>Chaetoceros calcitrans</i>	Biota uji
2.	Minyak solar	Bahan pencemar
3.	Air Laut steril	Larutan pembuat media
4.	Aquades	Kalibrasi alat sebelum digunakan
5.	Alkohol 70 %	Pengawetmenghitung kepadatan mikroalga
6.	Klorin	Pembersih tempat kultur

No.	Nama Alat	Fungsi Alat
7.	Alumunium Foil	Penutup botol agar steril
8.	Tissue	Pembersih alat
9.	Pupukdiatom	Nutrisi mikroalga
10.	Kertas label	Labeling sampel
11.	Plastic wrap	Penutup botol agar steril
12.	S ₁ O ₂ (Silikat)	Sebagai pembentukan dinding sel diatom

3.3 Metode Pengambilan sampel

3.3.1 Sterilisasi Alat dan Bahan

Sebelum dilakukan penelitian baiknya terlebih dahulu dilakukan sterilisasi ruang, peralatan dan media kultur. Sterilisasi diperlukan untuk menghilangkan kontaminan dan jenis spesies mikroalga lain yang dapat menghambat pertumbuhan *Chaetoceros calcitrans*. Menurut Kusumaningrum (2014), air laut yang akan digunakan lebih baik di sterilkan dengan klorin 60 ppm (ml) kemudian diaerasi selama 24 jam, kemudian untuk menghilangkan kadar klorin dapat ditambahkan Natrium Thiosulfat 30 ppm (ml) dan diaerasi selama 24 jam. Selain sterilisasi air laut dilakukan juga sterilisasi alat. Menurut CPMS II (1995), Metode pencucian alat yang berbahan kaca menggunakan detergen non fosfat sampai bersih kemudian dibilas menggunakan air mengalir. Setelah dibilas semua botol ditutup dengan kapas dan dilapisi alumunium foil kemudian plastik wrap. Proses sterilisasi menggunakan autoclave dengan suhu 121 °C. Perlakuan tersebut bertujuan menghilangkan sisa bahan/ logam berat yang masih tersisa. Peralatan yang digunakan untuk mengukur kualitas air seperti termometer, salinometer, DO meter dan pH meter sebelum digunakan dilakukan kalibrasi terlebih dahulu menggunakan akuades.

3.3.2 Kultur Mikroalga

Persiapan pertama yaitu pengambilan bibit mikroalga yang diambil dari laboratorium pakan alami BBPBAP Jepara. Bibit *Chaetoceros calcitrans* sebanyak 1 liter diberi perlakuan dengan menggunakan es batu dan ditempatkan pada coolbox, selama perjalanan suhu pada coolbox harus selalu dijaga agar *Chaetoceros calcitrans* tidak stress yang dapat mengakibatkan kematian. Tahap pertamadilakukan kultur *Chaetoceros calcitrans* bertujuan untuk memperbanyak jumlah sel fitoplankton. Pertama bibit *Chaetoceros calcitrans* berjumlah 1 liter dibagi menjadi 2 bagian, yaitu ditanam kembali pada media padat (agar bacto) dicawan petri dan sebagian di kultur media cair menggunakan botol enlemeyer 500 ml dengan diaerasi pada suhu 20-30°C. Pada perlakuan kultur media cair diberi perlakuan penambahan aerasi serta penambahan pupuk diatom, silikat dan vitamin yang dapat mendorong pertumbuhan *Chaetoceros calcitrans* secara optimal. Komposisi pemberian pupuk diatom, silikat dan vitamin masing- masing pada 1 ml pada liter air laut steril yang sudah direbus. Menurut Armanda (2013), keberhasilan kultur mikroalga ditentukan oleh pupuk, intensitas cahaya, suhu, pH, salinitas dan kondisi lingkungan higienis. Proses kultur *Chaetoceros calcitrans* diperngaruhi faktor lingkungan, ketersediaan cahaya dapat menggunakan lampu neon 45 watt x 24 jam, kemudian suhu ruang harus stabil sesuai kehidupan *Chaetoceros calcitrans* dapat menggunakan ruangan berAC 18-25 °C dalam kondisi steril, salinitas juga menjadi faktor penentu pertumbuhan plankton rata-rata 28 - 30 ppm, kandungan oksigen dan derajat keasaman pada media dan lingkungan kultur. Tahap berikutnya untuk mendapatkan volume sel yang lebih banyak dapat menggunakan wadah/ tempat kultur yang lebih besar, dari enlemeyer dipindahkan ke toples kaca yang sebelumnya sudah disterilisasi menggunakan autoclave. Selama proses kultur

Chaetoceros calcitrans sp dilakukan pengecekan keadaan *Chaetoceros calcitrans*

menggunakan mikroskop apakah sel plankton masih hidup/ sudah mati atau bisa jadi sel terkontaminasi organisme lain serta pengukuran parameter lingkungan seperti suhu, salinitas, DO dan intensitas cahaya. Pengecekan dapat dilakukan 1 kali 24 jam.

3.3.3 Perlakuan Penelitian

Bibit *Chaetoceros calcitrans* diambil langsung dari laboratorium pakan alami BBPBAP Jepara sebanyak 1 liter. Kemudian perlakuan selama perjalanan dengan memasukkan bibit *Chaetoceros calcitrans* pada botol 600 ml dalam keadaan steril kemudian dibungkus dengan plastic dan dimasukkan kedalam coolbox yang sudah berisikan es batu. Es batu berguna untuk mengatur suhu mikroalga selama perjalanan. Setelah sampai di laboratorium eksplorasi sumberdaya perikanan dan kelautan bibit *Chaetoceros calcitrans* langsung dilakukan pengamatan untuk melihat kondisi sel nya. Sel yang masih bagus langsung diujikan dalam proses biodegradasi hidrokarbon dengan menggunakan minyak solar. *Chaetoceros calcitrans* dimasukkan ke dalam masing-masing 12 botol kaca dengan komposisi . Komposisi dalam setiap liter perbotol. *Chaetoceros calcitrans* 10 ml, pupuk diatom 1 ml, vitamin 1 ml, silikat 1 ml dan sisanya air laut steril yang sudah direbus. Masing-masing botol yang berisikan fitoplankton diberi perlakuan minyak solar dengan konsentrasi 0 ml, 5 ml, 10 ml dan 20 ml dengan pengulangan 3 kali. Sebelum minyak solar masuk kedalam botol dihitung kadarnya. Proses biodegradasi dilakukan pada shaker incubator dengan menggunakan aerasi dan pencahayaan sebagai proses fotosintesis fitoplankton. Pencahayaan pada shaker incubator menggunakan lampu neon berwarna putih dan proses tersebut dilakukan

pada ruangan steril berAC suhu 18 - 25 °C. Selama proses degradasi dilakukan pengukuran parameter kualitas air, seperti pengukuran suhu, salinitas, kandungan oksigen terlarut (DO) dan pH. pengukuran kualitas dan pehitungan kepadatan fitoplankton 1 x 24 jam.

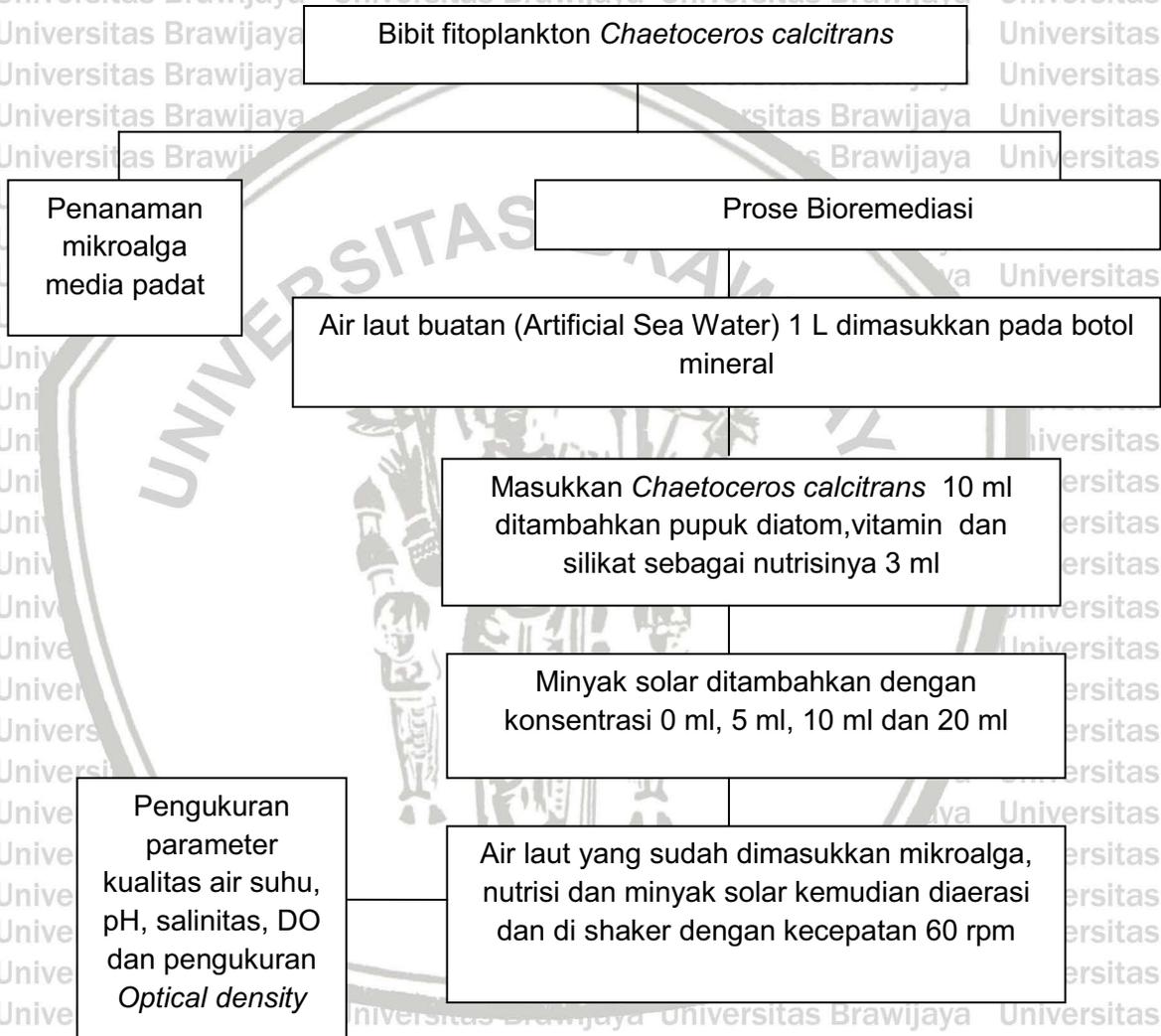
3.3.4 Perhitungan *Optical density*

Pengukuran fase hidup *Chaetoceros calcitrans* dengan menggunakan pengukuran /sel dalam air (*optical density*) dengan menggunakan spectofotometer. Pengukuran *Optical density* (OD) fase pertumbuhan mikroalga dapat mengalami perubahan warna air setiap harinya. Perhitungan kepadatan sel mikroalga dapat menggunakan spektrofotometer dengan *optical density* 510 nm. Menurut Wang *et al.*, (2016), monitoring kepadatan mikroalga *Chaetoceros calcitrans* dengan melihat kekeruhan minyak solar dapat menggunakan spectofotometer dengan *optical density* 510 nm. Pengukuran nilai *optical density* spesies diatom menggunakan spectofotometer yang baik kirasan 550 – 800 nm. Perhitungan *optical density* dilakukan setiap hari 1x 24 jam sampai terjadi penurunan populasi mikroalga *chaetoceros calcitras*. Berikut ini merupakan cara menghitung kepadatan sel mikroalga:

1. Sampel *chaetoceros calcitras* diambil dari setiap botol uji sebanyak 10ml
2. Kemudian dimasukkan kedalam tabung reaksi, lalu dipindah ke kuvet dan kemudian dimasukkan kedalam spektrofotometer
3. Panjang gelombang *optical density* (600 nm)
4. Dicatat nilai absorbansinya, pengukuran diulang sebanyak 3 kali
5. Pengukuran *optical density* dilakukan pada waktu yang sama 1 x 24 jam

3.3.5 Rancangan Percobaan Uji Biodegradasi

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial (RAL Faktorial) yang terdiri dari 4 perlakuan dengan konsentrasi yang berbeda. Berikut ini Mekanisme Uji Biodegradasi Gambar 10.



Gambar 10. Mekanisme Bioremediasi

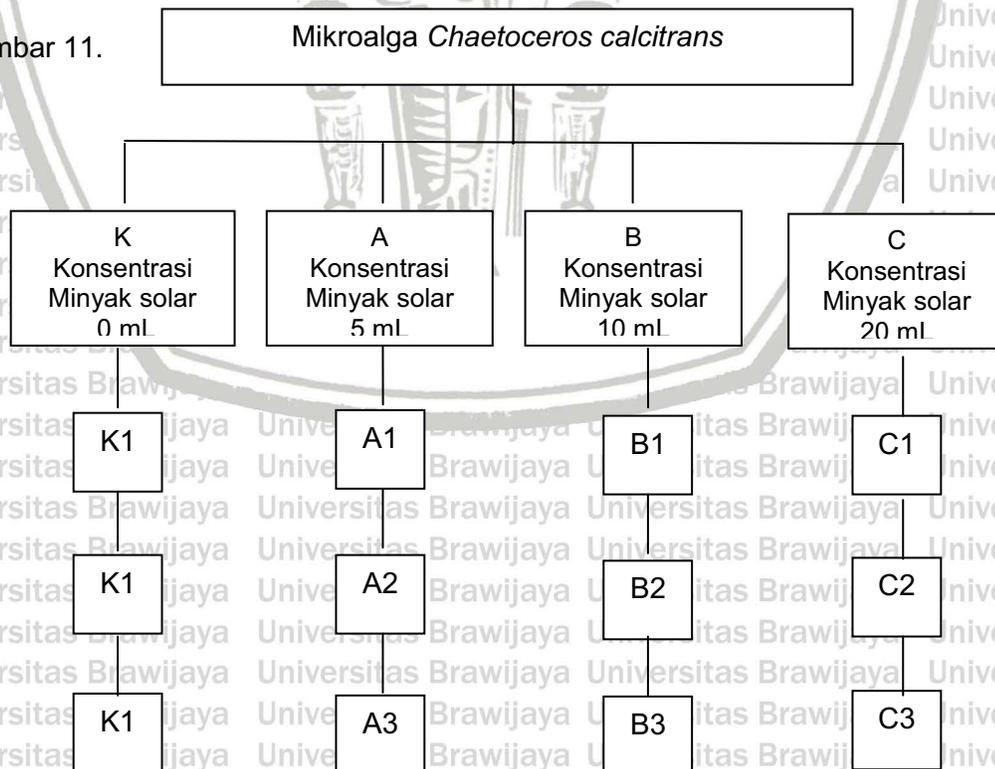


Setiap konsentrasi dilakukan pengulangan kembali sebanyak 3 kali pada setiap konsentrasi. Percobaan menggunakan mikroalga *Chaetoceros calcitrans* dan konsentrasi pollutan menggunakan minyak solar. Rancangan Acak Lengkap terdiri dari :

1. Perlakuan K : Kultur *Chaetoceros calcitrans* tanpa pemberian konsentrasi Minyak solar (0 mL)
2. Perlakuan A : Kultur *Chaetoceros calcitrans* dengan pemberian konsentrasi minyak solar (5 mL)
3. Perlakuan C : Kultur *Chaetoceros calcitrans* dengan pemberian konsentrasi minyak solar (10 mL)
4. Perlakuan D : Kultur *Chaetoceros calcitrans* dengan pemberian konsentrasi minyak solar (20 mL)

Desain Perlakuan yang digunakan pada penelitian ini dapat di sajikan dalam

Gambar 11.



Gambar 11. Desain Perlakuan Penelitian



Desain perlakuan penelitian (Gambar. 11) menjelaskan bahwa setiap perlakuan konsentrasi yang berbeda dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Hal tersebut bertujuan untuk mendapatkan hasil yang akurat dengan membandingkan jumlah kepadatan plankton pada konsentrasi minyak solar yang sama. Berdasarkan hasil penelitian dari Hamouda *et al.*, (2016) pengujian biodegradasi minyak mentah menggunakan mikroalga *Chlorella kessleri* pada media kultur diberikan konsentrasi minyak mentah 0, 0.5, 1.0 dan 1.5% dari konsentrasi 100 ml. Menurut Wang Libo *et al.*, 2016, pada proses biodegradasi phenol menggunakan mikroalga *Chlorella sp.* konsentrasi yang diperlukan untuk menghambat pertumbuhan mikroalga sebesar 100 ml dalam waktu 3-4 hari.

3.3.6 Pengambilan Data (Analisis Gravimetri)

Kemampuan penyerapan minyak solar oleh fitoplankton dapat diketahuidengan melakukan penghitungan efisiensi penyerapan dengan membandingkan konsentrasi minyak solar setelah penyerapan dengan konsentrasi minyak solar mula-mula. Pengambilan data sisa minyak solar yang didegradasi oleh sel mikroalga *Chaetoceros calcitrans* dilakukan dengan menggunakan metode gravimetri. Pengukuran konsentrasi minyak solar pada air media diuji dengan analisis gravimetri untuk mengetahui konsentrasi minyak solar yang tersisa pada media kultur mikroalga *Chaetoceros calcitrans*, minyak solar yang tersisa pada air media pemeliharaan plankton pada akhir penelitian menunjukkan sisa minyak solar yang tidak terserap oleh plankton. Menurut Kusumningrum (2014), metode gravimetri merupakan proses isolasi dan pengukuran berat suatu unsur atau senyawa tertentu. Bagian terbesar metode gravimetri meliputi transformasi unsur atau radikal ke senyawa murni stabil yang dapat diubah menjadi bentuk yang dapat

ditimbang atau diteliti. Berat unsur dihitung berdasarkan rumus senyawa dan berat atom penyusunnya. Pemisahan senyawa yang terkandung dilakukan dengan beberapa cara, seperti metode pengendapan, metode penguapan, metode elektronalisis dan metode lainnya. Metode gravimetri memakan waktu cukup lama, karena adanya pengotor pada kinstituen dapat diuji (S.M Khopkar, 1990). Langkah kerja metode gravimetri adalah sebagai berikut (Gambar.13):

Persiapan Alat dan Bahan

- Labu destilasi, pipet, corong dan labu pemisah disterilisasi ke dalam oven selama 15 -20 menit.
- Labu destilasi dan labu pemisah didinginkan ke dalam desikator selama 1 jam.
- Labu destilasi kosong ditimbang dengan menggunakan timbangandigital sebagai berat awal.
- Sampel air diambil beberapa ml dan masukkan kedalam corong pemisah.
- Tambahkan pelarut n-Hexana sebanyak 30 ml kedalam air uji dan kedalam corong pemisah.
- Kocok selama 2 menit hingga lapisan memisah dan keluarkan sisa air.
- Fraksi organik disaring bagian atas menggunakan kertas saring dan tambahkan Na_2SO_4 anhidrat sebanyak 10 gr.
- Jika tidak didapatkan lapisan pelarut yang jernih dan terdapat emulsi lebih dari 5 ml, lakukan sentrifugasi selama 5 menit dengan kecepatan 2400 Rpm.
- Saring kembali dan bilas kertas saring dengan n-Hexane dan jadikansat dengan ekstrak filtrate ke dalam labu destilasi.

- Destilasi dengan hot plate menggunakan suhu 85°C sampai dengan menguap.
- Angkat dan dinginkan pada desikator selama 30 menit, timbang dan catat berat minyak solar yang tersisa.

Selesai

Gambar 11. Langkah kerja metode gravimetri

Pengujian biodegradasi pengujian kadar minyak solar sisa dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$KM = \frac{B}{A} \times 100 \%$$

Keterangan :

KM : Kadar minyak sisa (%)

A : Kadar minyak solar awal (ml)

B : Kadar minyak solar setelah degradasi (ml)

Satuan penurunan kadarminyak solar dinyatakan dalam presentase (%).

Mengetahui jumlah minyak yang terdegradasi dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\% \text{ Degradasi} : \frac{\text{minyak solar awal} - \text{minyak solar akhir}}{\text{minyak solar awal}} \times 100 \%$$

3.4 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini pengumpulan data dilakukan secara bertahap dan rutin.

Pengumpulan data sebagai berikut:

3.4.1 Parameter Kualitas Air

Parameter pendukung digunakan untuk melengkapi data dari parameter utama. Parameter pendukung dalam penelitian ini adalah kualitas air media kultur yang meliputi salinitas, suhu, pH dan DO. Pengukuran parameter kualitas air

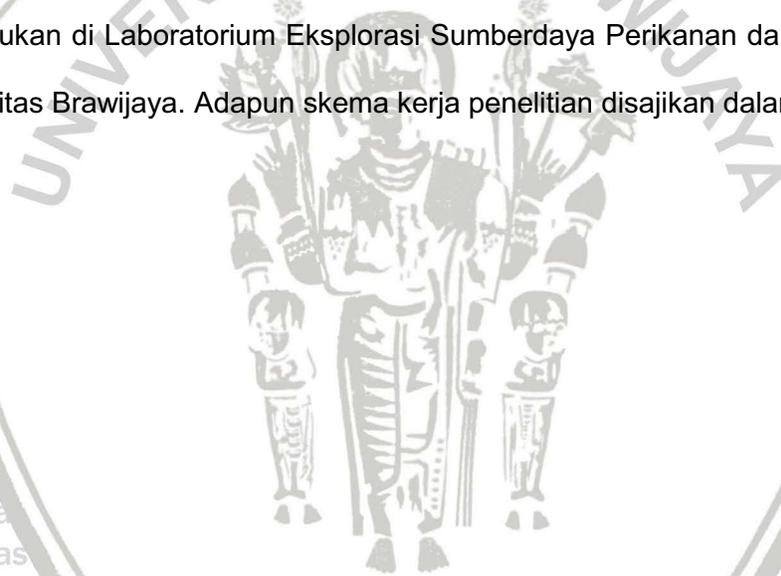
ditujukan untuk mengetahui kemungkinan adanya pengaruh kualitas air terhadap hasil penelitian.

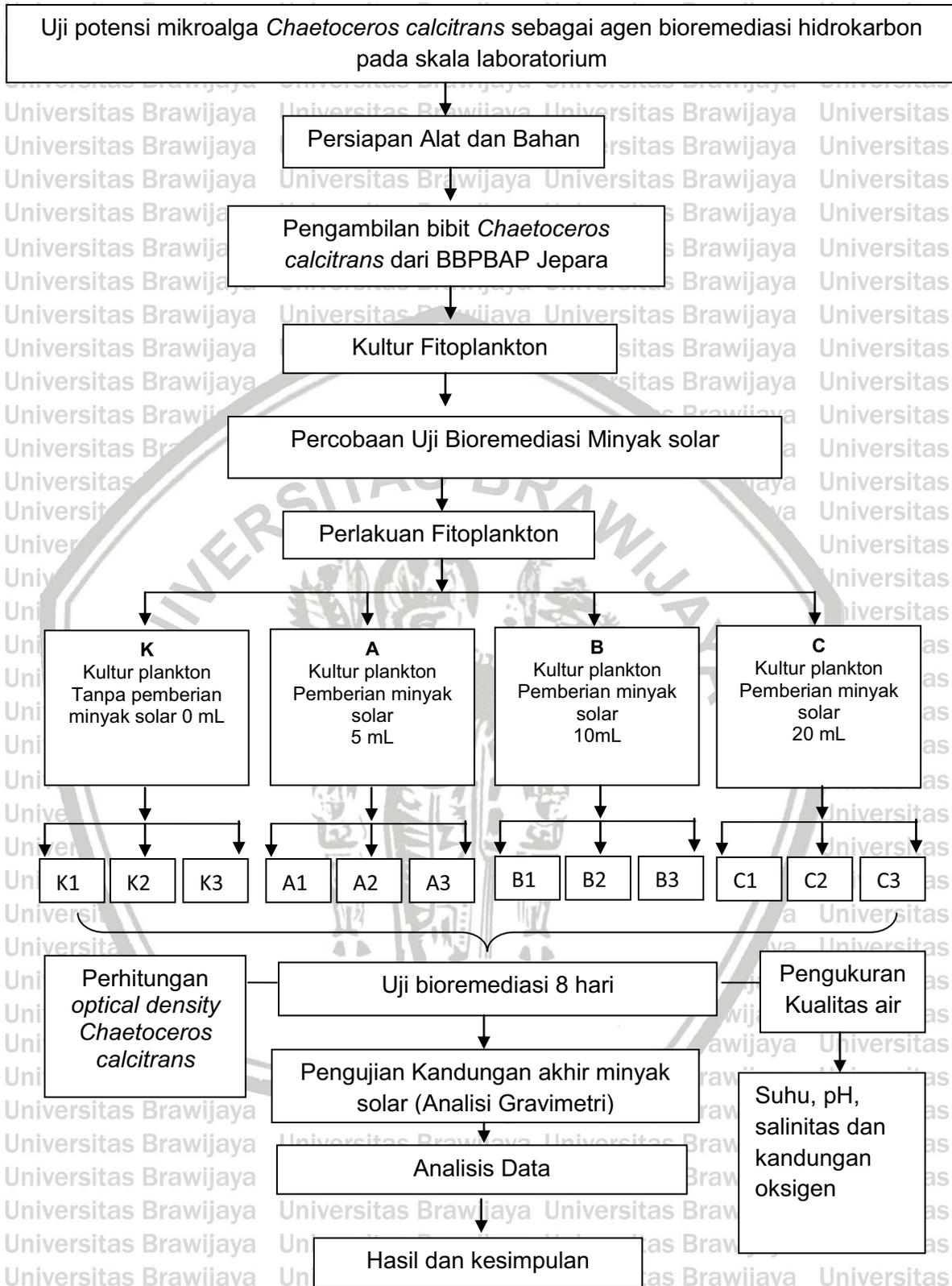
3.4.2 Parameter Utama

Parameter utama yang dilakukan dalam penelitian ini mengetahui dinamika pertumbuhan *Chaetoceros calcitrans* (Nilai *Optical Density*) dan kemampuan mikroalga (*Chaetoceros calcitrans*) dapat mengurangi minyak solar.

3.5 Skema Kerja Penelitian

Skema kerja penelitian tentang Uji Potensi Mikroalga (*Chaetoceros calcitrans*) sebagai Agen Bioremediasi Hidrokarbon Skala Laboratorium. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Eksplorasi Sumberdaya Perikanan dan Kelautan FPK Universitas Brawijaya. Adapun skema kerja penelitian disajikan dalam Gambar 13.





Gambar 12. Skema Kerja Penelitian



3.6 Analisis Data

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar konsentrasi hidrokarbon dapat diserap plankton. Data penelitian dianalisis secara statistik dan deskriptif. Analisis data deskriptif digunakan untuk mengetahui kapasitas konsentrasi minyak solar yang mampu diserap oleh plankton dan pengaruh pencemar minyak solar terhadap pertumbuhan plankton.



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kultur *Chaetoceros calcitrans*

4.1.1 Sterilisasi Alat dan bahan

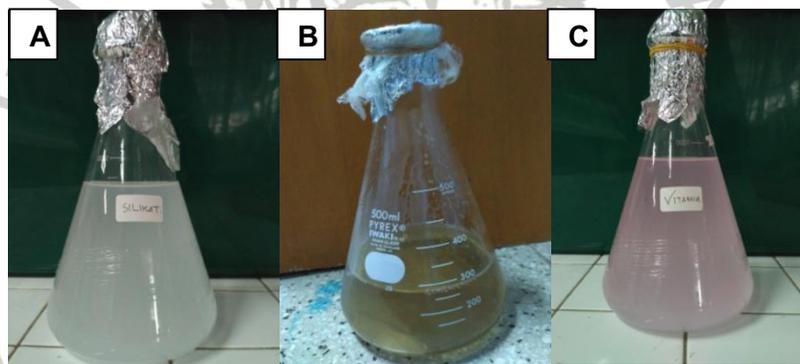
Penelitian ini berkaitan dengan mikroorganisme yang sifatnya mudah sekali terkontaminasi. Sebelum melakukan penelitian dilakukan terlebih dahulu sterilisasi alat dan bahan yang bertujuan untuk menghilangkan mikroorganisme yang tidak diinginkan. Menurut (Meliawaty, 2014), tujuan dari sterilisasi adalah membunuh semua bentuk mikroorganisme hidup termasuk sporanya pada alat – alat yang disterilkan. Pertama melakukan sterilisasi botol – botol yang akan dijadikan sebagai media kultur plankton. Proses sterilisasi alat dilakukan dengan menggunakan autoclave dengan suhu 121°C selama 15 -20 menit. Botol-botol yang sudah disterilisasi kemudian diisi air laut sebagai media kultur dan di autoclave kembali.

Selain menggunakan autoclave cara lain yang digunakan untuk sterilisasi air laut dapat direbus dalam media panci sampai mendidih kemudian dimasukkan kedalam botol yang sudah disterilisasi kemudian ditutup dengan menggunakan aluminium foil dan plastic wrap kemudain disimpan pada suhu ruang. Proses sterilisasi alat dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 13. Proses Sterilisasi menggunakan Autoclave

Proses sterilisasi dilakukan pada semua alat yang berhubungan dengan proses penelitian seperti pipet tetes, selang aerasi, pipet volume, enlemeyer dll. Sterilisasi pada bahan seperti pupuk diatom, vitamin dan silikat sangat perlu dilakukan. Hal tersebut juga dapat menghilangkan mikroorganisme yang tidak diinginkan. Menurut Prayogo dan Arifin (2012), proses sterilisasi dengan menggunakan autoclave menggunakan temperatur 121°C dengan menggunakan tekanan 17,5 psi selama 15-30 menit. Langkah yang digunakan pada sterilisasi bahan pada proses pembuatannya dilakukan pada hotplate dengan suhu tinggi dan pada ruangan steril. Pembuatan pupuk diatom, vitamin dan silikat dilakukan dalam enlemeyer kemudian setelah selesai langsung ditutup kapas, alumunium foil.

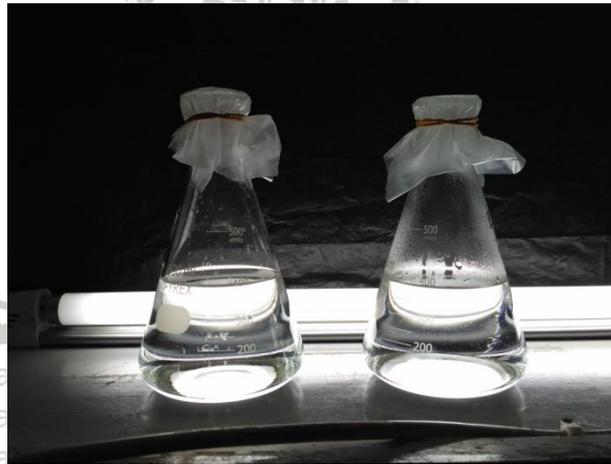


Gambar 14. Nutrisi *Chaetoceros calcitrans* (A. Silikat, B. Pupuk Diatom dan C. Vitamin)

Setelah suhu mulai menurun dapat disimpan didalam kulkas. Nutrisi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar. 15. Pembuatan pupuk harus dilakukan dengan steril agar tidak terdapat mikroorganisme lain terutama bakteri, pertumbuhan bakteri sangat cepat sehingga dapat mengontaminasi pada saat proses kultur.

4.1.2 Proses Kultur

Bibit *Chaetoceros calcitrans* didapatkan dari Balai Besar Perikanan Budidaya Air payau (BBPBAP) Jepara. Bibit dikirim selama 1x 24 jam dari Laboratorium Pakan Alami BBPBAP Jepara. Selama proses perjalanan untuk menstabilkan suhu pada kehidupan *Chaetoceros calcitrans* diberikan perlakuan dengan ditempatkan pada coolbox dan diisi dengan beberapa es batu. Sesampainya di Laboratorium eksplorasi sumberdaya perikanan dan kelautan Universitas Brawijaya bibit plankton langsung dilakukan proses kultur. Sebelum proses kultur dilakukan pengamatan spesies menggunakan mikroskop. Langkah pertama kultur menyiapkan 400 ml air laut steril yang sudah di rebus menggunakan *hotplate* dimasukkan kedalam enlemeyer 500 ml kemudian ditambahkan nutrisi dengan komposisi pupuk diatom 1 ml, silikat 1ml dan vitamin 1ml. kemudian bibit *Chaetoceros calcitrans* pada botol dikocok terlebih dahulu kemudia diambil 10 ml dan dituang ke dalam enlemeyer yang sudah berisi air laut disajikan pada gambar 16.



Gambar 15. Kultur *Chaetoceros calcitrans* hari ke- 0

Proses kultur fitoplankton dengan ditambahkan aerasi sebagai sumber oksigen untuk melakukan metabolisme bagi kehidupan mikroalga. Suhu pada proses kultur

antara 18- 25°C, salinitas pertumbuhan pada media kultur 33-35 ppt dan ketersediaan cahaya sangat berpengaruh penting untuk proses fotosintesis, cahaya pada proses fotosintesis menggunakan lampu neon 45 watt. Menurut Achmad (1993), keberhasilan budidaya mikroalga/ atau proses kultur ditentukan oleh kemurnian kepadatan awal, pupuk, kualitas air, intensitas cahaya, suhu, pH, dan sanitasi yang higienis. Intensitas cahaya yang baik pada proses kultur berkisar 3000–4500 lux, pH 7-8,5 dan salinitas 28-35 ‰. Dalam spesies *Chaetoceros calcitrans* dapat toleran pada suhu tinggi 40 °C dan salinitas 6-50 ‰ (Wisudyawati *et al.*, 2015).

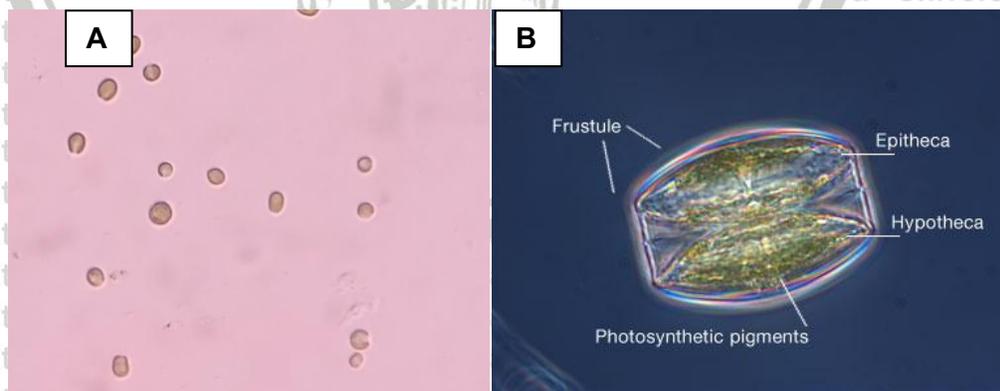
Pengamatan kultur dilakukan setiap hari 1x24 jam dengan mengecek jumlah spesies *Chaetoceros calcitrans*. Pada hari ke- 3 kepadatan mulai Nampak dengan berubahnya warna air kultur yang mulai menguning. Kemudian pada hari kelima mengalami puncak kepadatannya (Gambar.19) setelah hari ke 7 plankton dipanen dan kemudian dipindah ke media baru yang volumenya lebih besar.



Gambar 16. Kultur *Chaetoceros calcitrans* hari ke- 5

Menurut Martosudarmo dan Wulan (1990) dalam Rizky et al., (2012), pertumbuhan fitoplankton secara umum dapat ditandai dengan empat tahap terpisah yaitu tahap adaptasi, tahap eksponensial, tahap stationer dan tahap kematian.

Berdasarkan (Gambar.17) menunjukkan bahwa fitoplankton mengalami kepadatan dalam berkembangbiak, gambar tersebut menunjukkan proses kultur fitoplankton pada hari ke- 5. Kepadatan fitoplankton pada media kultur dapat dipengaruhi oleh nutrisi yang cukup, oksigen terlarut dan cahaya yang dapat dimanfaatkan untuk proses fotosintesis. Nutrisi selama proses kultur didapatkan dari pemberian vitamin diawal proses kultur (Gambar.18) kemudian ditambahkan dengan silikat yang bertujuan dalam proses reproduksi diatom sebagai bahan pembentuk cangkang baru pada *Chaetoceros calcitrans*. Menurut Leonard et al., (2015), sistem aerasi selama proses kultur sangat diperlukan yang berguna sebagai sumber oksigen terlarut yang dimanfaatkan oleh diatom, kemudian cahaya dapat menggunakan lampu neon 45 watt. Gambar. 18 Merupakan bentuk sel *Chaetoceros calcitrans* yang dikultur selama 7 hari. Berikut hasil pengamatan dengan menggunakan mikroskop (Gambar 18).



Gambar 17. A. Hasil Pengamatan kultur *Chaetoceros calcitrans*, dan B. Fisiologi *Chaetoceros Calcitrans*

Bibit *Chaetoceros calcitrans* yang sudah dikultur selama 7 hari kemudian dilakukan aklimatisasi, hal tersebut bertujuan menyamakan dengan kehidupan aslinya di laut. Menurut Augusta (2012), umumnya aklimatisasi bertujuan dengan cara merubah lingkungan secara perlahan-lahan sehingga plankton dalam lingkungan baru dapat beradaptasi. Aklimatisasi biasanya dilakukan pada proses pemindahan plankton ke media baru. Proses aklimatisasi (Gambar. 19) dilakukan pada Shaker incubator dengan kecepatan 60 rpm. Kemudian ditambahkan aerasi sebagai sumber oksigen dan cahaya dengan menggunakan lampu neon 45 watt sebagai proses fotosintesis. Berikut hasil dokumentasi proses aklimatisasi fitoplankton sebelum dilakukan uji biodegradasi disajikan pada (Gambar 19).



Gambar 18. Proses Aklimatisasi

Menurut Arifah *et al.*, (2014), proses aklimatisasi dilakukan selama 3 hari yang bertujuan agar fitoplankton tersebut dapat beradaptasi pada media baru dan kondisi baru. Proses aklimatisasi pada penelitian ini dilakukan pada botol aqua 1,5L yang sudah steril didiamkan pada shaker incubator selama 5 hari, kemudian dilakukan pengamatan kembali pada mikroskop.

4.2 Pemantauan Bioremediasi Minyak Solar

Pemantauan proses bioremediasi dilakukan di dalam ruangan bersuhu rendah 16 – 18 °C. Diawali dengan melakukan sterilisasi semua alat dan bahan. Media yang digunakan adalah air laut stereril yang sudah dimasukkan kedalam botol kemudian masing masing botol diisi 1 liter air laut. Komposisi dalam botol uji air laut 1000ml, bibit plankton *Chaetoceros calcitrans*, dan nutrisi plankton (pupuk diatom, vitamin dan silikat). Air Laut steril yang sudah dimasukkan kedalam botol di ukur 1 liter/ botol ditutup rapat dengan menggunakan alumunium foil dan plastik wrap sampai panasnya hilang. Kemudian setelah panas dalam botol hilang dilakukan proses uji bioremediasi.

Metode eksperimen dibagi menjadi 4 konsentrasi dengan 3 kali ulangan. Percobaan menggunakan penambahan konsentrasi minyak solar 5 ml, 10ml dan 20 ml serta 1 konsentrasi tanpa pemberian minyak solar. Pemberian label pada setiap sampel sangat diperlukan. Penelitian ini menggunakan label K (kontrol), A (konsentrasi minyak solar 5 ml), B (konsentrasi solar 10 ml) dan C (konsentrasi solar 20 ml). komposisi setiap botol air laut steril 1000ml, bibit *Chaetoceros calcitrans* 10 ml dan penambahan nutrisi 3 ml (pupuk diatom, vitamin dan silikat). Minyak solar dalam botol berada diatas permukaan dengan layer yang berbeda sesuai konsentrasinya (Gambar. 20). Setelah ditutup dengan plastik kemudian di tata di mesin shaker inkubator, dipasang selang selang aerasi sebagai sumber oksigen bagi *Chaetoceros calcitrans*. Setelah semua terpasang kemudian mesin shaker incubator dijalankan dengan kecepatan 60 rpm. Penyediaan cahaya untuk fotosintesis dengan penambahan lampu neon warna putih 45 watt, suhu ruangan menggunakan AC kisaran 16 -18 °C selama 1 x 24 jam(Gambar 20).



Gambar 19. Perlakuan Sebelum Uji Biodegradasi

Perlakuan uji bioremediasi dilakukan selama 8 hari 24 jam. Setiap hari dilakukan pengukuran parameter kualitas air dan pengukuran nilai *optical density*. Proses uji bioremediasi pada shaker incubator disajikan dalam Gambar 21.



Gambar 20. Proses Bioremediasi (A. Shaker Incubator dari samping dan B. Susunan uji bioremediasi

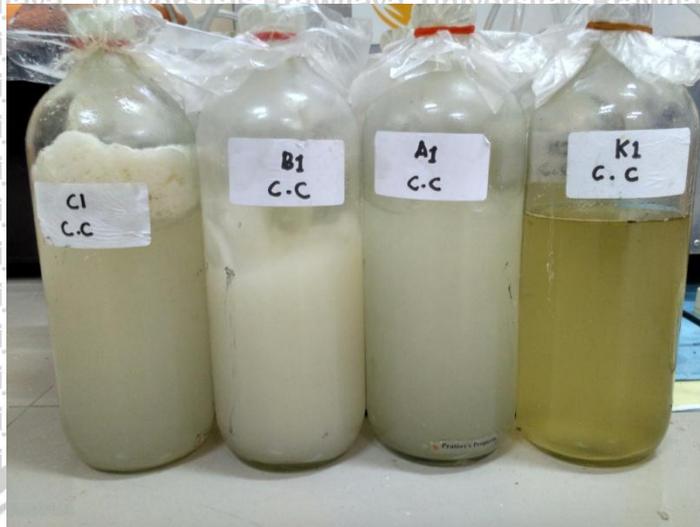
Proses remediasi sangat perlu akan oksigen dan cahaya, hal tersebut dikarenakan mikroalga *Chaetoceros calcitrans* memerlukan oksigen untuk



mengoptimalkan kinerja tubuhnya dan cahaya sangat diperlukan untuk melakukan fotosintesis. Hal tersebut sangat mendukung mikroalga dalam mengurangi minyak solar. Mikroalga dapat meningkatkan potensi degradasi sehingga dapat menghilangkan bahan pencemar, mikrolaga pada media kultur dapat meningkatkan biomassa produksi lipid sehingga mengurangi pencemaran (Hamouda *et al.*, 2016).

Setelah 8 hari pengukuran didapatkan perbedaan yang signifikan antara kontrol, konsentrasi minyak solar 5 ml, konsentrasi minyak solar 10 ml, konsentrasi minyak solar 15 ml. control tanpa pemberian perlakuan warna lebih kuning, hal tersebut menunjukkan bahwa kandungan sel *chateoceros calcitrans* semakin banyak.

Kemudian perlakuan dengan penambahan konsentrasi solar 5 ml sedikit mengalami perubahan warna menjadi putih. Menurut Moertinah (2012), telah dilaporkan bahwa beberapa mikroalga dan cynobacteria dapat mengadaptasi polusi minyak dengan ceoat oleh mutasi gen tunggal dan juga dapat berkembangbiak di bawah konsentrasi minyak rendah sebagai hasil adaptasi fisiologis. Perlakuan dengan konsentrasi 10ml mulai banyak perubahan warna dimana solar bercampur dengan air laut karena proses aerasi sehingga terus teraduk menjadi satu dan terdapat sedikit busa dipermukaan. Konsentrasi solar 20ml terlihat paling banyak busa di permukaan hal tersebut dikarenakan minyak tidak dapat menyatu dengan air dan kandungan minyak yang terdapat pada konsentrasi 20 ml sangat tinggi. Hasil running sesudah biodegradasi dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 21. Hasil Sesudah Uji Bioremediasi

Media sebelum dan sesudah menunjukkan perbedaan yang sangat besar.

Dimana pada kontrol mengalami pertumbuhan mikroalga yang pesat sehingga warna menjadi agak kecoklatan, kemudian pada sampel yang diberi perlakuan minyak solar sampel dengan konsentrasi minyak yang paling tinggi menyebabkan buih yang cukup banyak pula. Hal tersebut menunjukkan terjadi pengadukan minyak solar yang ada di media dengan menggunakan aerasi. Pollutan/ bahan pencemar akan tersuspensi ke dalam airdan meninggalkan buih.

4.3 Pemantauan Pertumbuhan *Chaetoceros Calcitrans*

Pengamatan pertumbuhan sel *Chaetoceros calcitrans* pada proses biodegradasi dengan melakukan pengukuran nilai *optical density*. Pengukuran nilai OD menggunakan Spektrofotometri. Panjang gelombang yang digunakan dalam mengukur *optical density* 600nm. Menurut Ballardo *et al.*, (2016), analisis yang digunakan dalam menghitung sel pada spektrofotometer memiliki nilai maksimum dan minimum. Mikroalga pada proses kultur panjang gelombang yang digunakan

550 – 800 nm. Sedangkan pada pengukuran mikroalga jenis diatom dapat

menggunakan range 550-650 nm. Penggunaan langsung nilai *optical density* lebih efektif dan tidak banyak menggunakan metode untuk mengukur pertumbuhan mikroalga, karena pengukuran OD dapat langsung berkorelasi dengan jumlah sel pada media yang dapat memantau langsung pertumbuhan mikroalga (Ribeiro *et al.*, 2011).



Gambar 22. Pengukuran *Optical density* dengan Spectrofotometer (A. Spectrofotometer, B. Cuvet/ wadah sampel pada spektrofotometer)

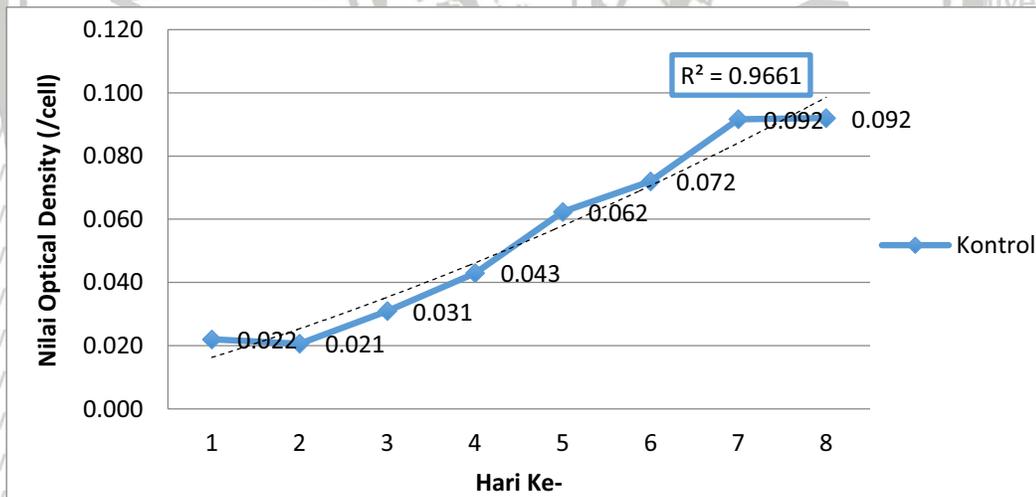
Pengukuran *optical density* dilakukan setiap pukul 09.00 WIB dalam sehari dilakukan 1 kali pengukuran. Proses pengukuran OD dengan mengambil 5 ml sampel air uji bioremediasi kemudian dimasukkan pada cuvet (Gambar. 23) sampai penuh. Kemudian dimasukkan kedalam spektrofotometer dan ditunggu hasilnya. Pengukuran nilai *optical density* bertujuan untuk mengetahui jumlah cell sampel dan dinamika pertumbuhan *Chaetoceros calcitrans*. Setiap cuvet diisi 3 ml kemudian dikonversikan kedalam 1 liter air. Mengetahui cell dengan spektrofotometer untuk mengetahui pertumbuhan mikroalga setiap harinya apakah dapat mengurangi minyak solar atau sebaliknya (Wang *et al.*, 2016).

4.3.1 Kontrol

Metode kultur fitoplankton sangat berpengaruh dengan hasil akhir kepadatan fitoplanktonnya. Penelitian ini menggunakan sampel tanpa diberi perlakuan apapun/ penambahan minyak solar. Label K (kontrol) dilakukan 3 kali pengulangan K 1, K2 dan K3 setiap botol sampel diaerasi selama 1 x 2 jam dengan shaker incubator.

Komposisi dalam 1 botol berisi air laut 1000 ml, bibit *Chaetoceros calcitrans* 10 ml dan nutrisi 3 ml (pupuk diatom, vitamin dan silikat) dan dilakukan pengulangan 3 kali.

Proses shaker berlangsung selama 8 hari. Setiap pukul 09.00 WIB dilakukan pengukuran parameter kualitas air dan pengukuran *Optical density*. Pengukuran menggunakan alat spektrofotometer dengan panjang gelombang 600 nm. Kemudian hasil perhari selama 8 hari dijadikan rata-rata (Gambar. 24).



Gambar 23. Grafik Nilai *Optical density* Pertumbuhan *Chaetoceros calcitrans* pada Konsentrasi Solar 0 ml

Pada hari pertama dan kedua tidak ada perubahan yang signifikan, kemudian pada hari ke 5 dan 6 mengalami kenaikan dimana puncak pertumbuhan pada hari ke 7 kemudian pada hari ke – 8 mulai mengalami penurunan. Mikroalga mempunyai fase hidup diawali dengan fase lag (adaptasi) pada hari 1-2, kemudian

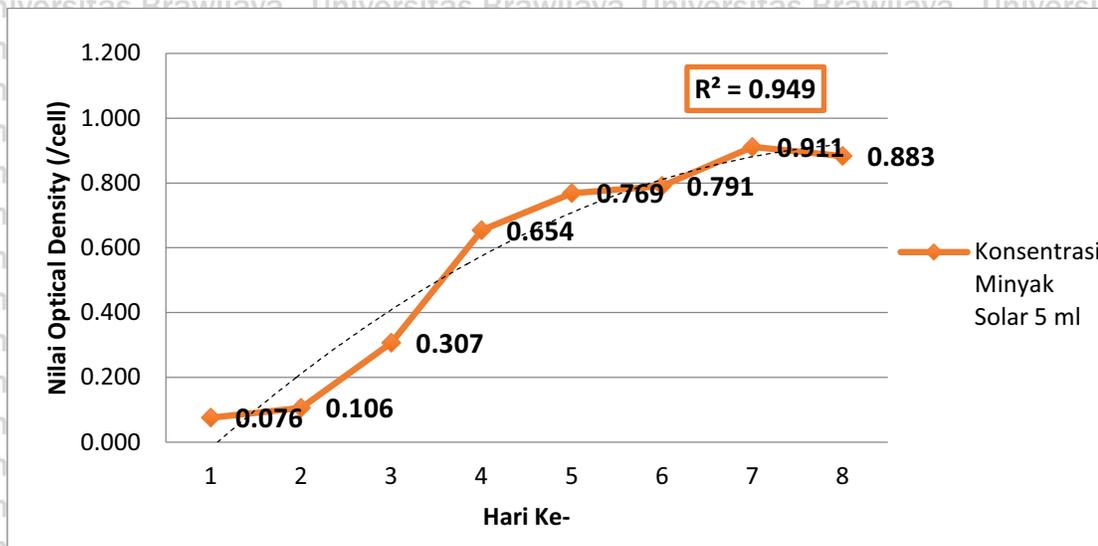
fase eksponensial biasanya pertumbuhan lebih cepat dan aktivitas metabolisme konstan kemudian mengalami kenaikan dan mendapatkan hasil yang maksimum.

Fase log biasanya telah mencapai fase puncak pada hari 5-7 kemudian mengalami fase stationer (tetap) kemudian akan menuju fase kematian (Hadiyanto dan Nur, 2012).

Nilai (R^2) (Gambar.25) menunjukkan grafik persamaan eksponensial. Menunjukkan nilai regresi pertumbuhan mikroalga *Chaetoceros calcitrans* dari hari pertama hingga hari ke 8 dengan nilai (R^2) 0.9525. sedangkan nilai rata – rata *optical density* 0.055 ± 0.1 jumlah sel masih dikatakan sedikit. Seperti yang dipaparkan oleh Abdurachman et al., (2013), mikroalga yang baik dan dapat dipanen jika nilai *optical density* telah mencapai 0,2 atau lebih besar sehingga hal tersebut dapat dilakukan percobaan lain. Dari nilai grafik diatas selama 8 hari didapatkan nilai rata – rata OD sekitar 0,05 /cell.

4.3.2 Konsentrasi Solar 5 ml

Gambar 26. Menunjukkan grafik nilai *optical density* pada sampel A yang diberi perlakuan konsentrasi minyak solar 5 ml. Perlakuan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Pengukuran *optical density* dilakukan sebanyak 1 kali sehari pada pukul 09.00 WIB. Pengukuran menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 600nm. Nilai pertumbuhan *optical density* pada konsentrasi 5 ml disajikan dalam Gambar 26.



Gambar 24. Grafik Nilai *Optical density* Pertumbuhan *Chaetoceros calcitrans* pada Konsentrasi Solar 5 ml

mengalami kenaikan jumlah sel yang cukup drastis dan mengalami penurunan pada hari ke 7. Ada 2 faktor yang menyebabkan naiknya sel per hari yakni keberadaan nutrient dan pada spektrofotometer tidak dapat membedakan mana sel hidup dan sel mati. Nilai rata-rata setiap harinya berkisar 0,566 sel dan standar deviasi 0,18.

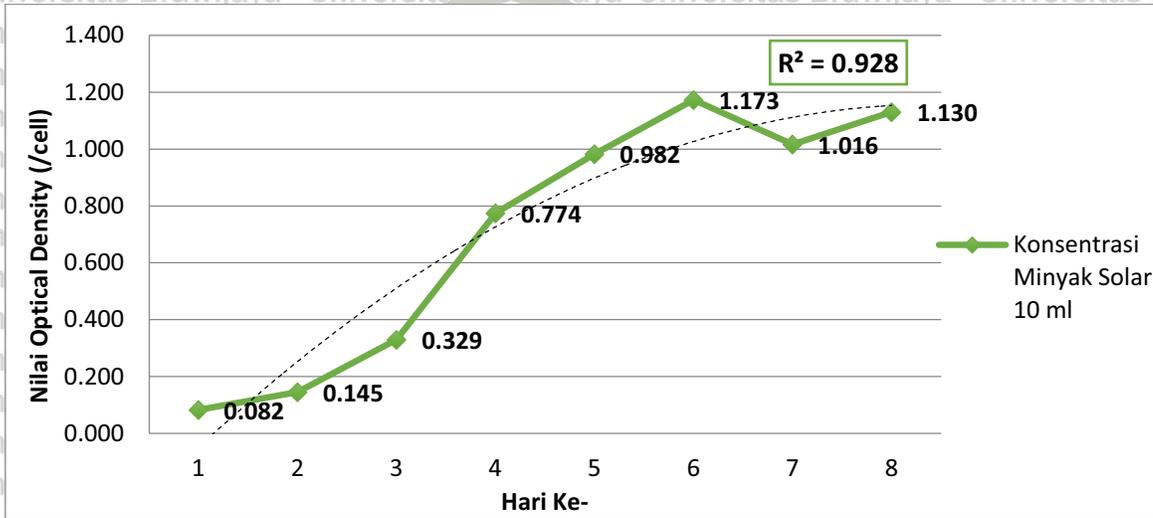
Hari pertama jumlah sel 0.076 ± 0.03 dan pada hari ke-8 sebesar 0.886 ± 0.22 . Nilai (R^2) = 0.949 hal tersebut menunjukkan nilai yang baik karena mendekati angka 1,

lebih tinggi dibandingkan dengan sampel yang tanpa perlakuan. Mikroalga jenis diatom memiliki gugus fungsi yang terdapat pada dinding sel dan berisikan gugus karbosilat, hidroksil, amino, sulfidril, sulfat dan fosfat. Dinding sel pada diatom mengandung protein dan polisakarida yang dapat mengikat bahan pencemar (Das et

al., 2008).

4.3.3 Nilai *Optical density* Konsentrasi Solar 10 ml

Penambahan minyak solar pada proses biodegradasi dimaksudkan untuk mengetahui apakah spesies *chaetoceros calitrans* dapat mendegradasi minyak solar atau sebaliknya. Gambar 26 Menunjukkan grafik pertumbuhan *Chaetoceros calcitrans* pada proses biodegradasi dengan konsentrasi minyak solar 10 ml.

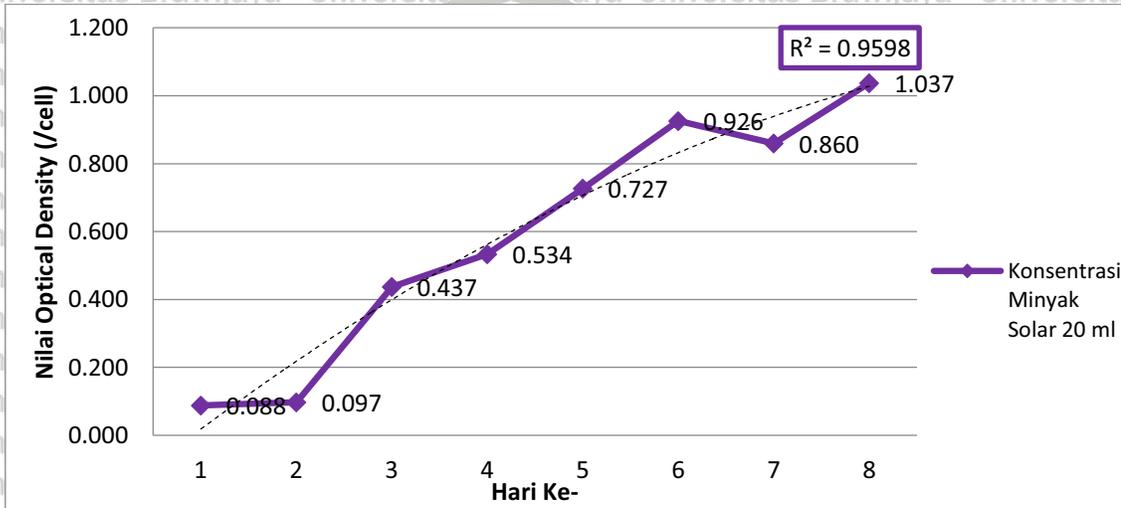


Gambar 25. Grafik Nilai *Optical density* Pertumbuhan *Chaetoceros calcitrans* pada Konsentrasi Solar 10 ml

Pertumbuhan sel mengalami peningkatan pada hari kedua sebesar 0.145 ± 0.04 , kemudian terus mengalami kenaikan secara drastis pada hari ke 3 menuju ke 5. Puncak banyak nya sel tertinggi pada hari ke 6 1.173 ± 0.40 . konsentrasi minyak solar lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi sebelumnya. Pertumbuhan mikrolaga juga mengalami fase log, lag, stasioner dan menuju kematian pada hari ke 8 (Seraspe *et al.*, 2014). Nilai (R^2) menunjukkan hasil yang baik 0.928 dimana angka tersebut mendekati nilai 1.

4.3.4 Nilai *Optical density* Konsentrasi Solar 20 ml

Mikroalga jenis diatom memiliki kemampuan yang dapat hidup pada lingkungan dengan pencemaran tinggi. Perlakuan uji biodegradasi dengan konsentrasi minyak solar 20 ml didapatkan nilai *optical density*. Hasil perhitungan nilai *optical density* pada konsentrasi minyak solar disajikan dalam (Gambar 28).



Gambar 26. Grafik Nilai *Optical density* Pertumbuhan *Chaetoceros calcitrans* pada Konsentrasi Solar 20 ml

Perlakuan uji biodegradasi pada label C memiliki penambahan konsentrasi minyak solar yang lebih tinggi sebesar 20 ml. Grafik hasil perhitungan nilai *optical density* selama 8 hari menunjukkan pertumbuhan kurang stabil. Hari 1-2 fase adaptasi jumlah sel masih konstan kemudian pada hari ke 3 mengalami kenaikan secara drastis. Puncak pertumbuhan pada hari ke 5 kemudian mengalami penurunan yang cukup dratis juga sampai hari ke-7. Menurut Hariyati (2008), adanya penurunan pertumbuhan dan biomassa dapat disebabkan oleh berkurangnya nutrisi, berkurangnya intensitas cahaya dan kompetisi semakin besar dalam mendapatkan nutrisi, ruang hidup dan cahaya. Hal tersebut dikarenakan jumlah minyak solar yang tercampur didalam media kultur yang terlalu tinggi. Rata – rata

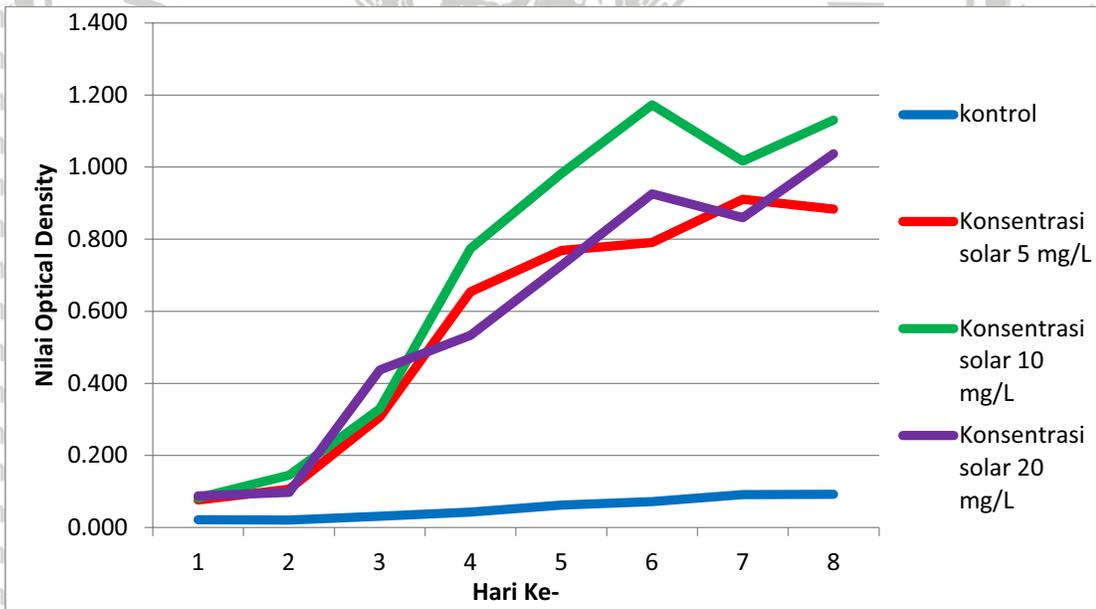


jumlah sel pada perlakuan konsentrasi minyak solar 20 ml sebesar 600 ± 0.2 .

mikroalga mampu mengurangi hidrokarbon alifatik dan aromatik, karena memiliki metabolisme yang fleksibel. Mikroalga juga memiliki keunggulan dalam proses bioremediasi sebagai pendekatan baru untuk menghilangkan polutan. Keuntungan menggunakan mikroalga sebagai agen biodegradasi karena sifatnya yang ramah lingkungan dan dapat dikembangkan dalam skala besar (Hamouda *et al.*, 2016)

4.3.5 Trendline Laju Pertumbuhan *Chaetoceros calcitrans*

Pengukuran nilai *optical density* setiap perlakuan kemudian diketahui model grafik pertumbuhan setiap konsentrasi. Setiap grafik memiliki pola yang berbeda kemudian diketahui Trendline dari pertumbuhan mikroalga *Chaetoceros calcitrans* disajikan pada Gambar 28.



Gambar 27. Trendline Laju Pertumbuhan *Chaetoceros Calcitrans*

Perhitungan nilai *optical density* bertujuan untuk mengetahui dinamika pertumbuhan sel dalam media uji bioremediasi. Pengukuran nilai *optical density* diasumsikan menghitung sel pada media uji hal tersebut banyak digunakan karena

mudah dan system pengukuran menggunakan spektrofotometer secara otomatis.

Pada pengukuran spektrofotometer tidak sepenuhnya sel mikroalga yang terbaca namun pratikel karbon atau bahkan kandungan lemak (Ballardo *et al.*, 2015).

Trendline pertumbuhan mikroalga (Gambar. 28) menunjukkan nilai kontrol pada *optical density* sangat rendah dibandingkan dengan media kultur yang diberi perlakuan konsentrasi minyak solar. Pengukuran spektrofotometer memiliki kekurangan dimana alat ini tidak bisa membedakan mana sel hidup dan sel mati.

Ada 2 faktor yang menyebabkan naiknya nilai OD pada konsentrasi yang diberi perlakuan minyak solar. Pertama keberadaan minyak solar sebagai penunjang pertumbuhan fitoplankton, kedua sebaran nilai *optical density* tidak bisa membedakan antara sel hidup dan sel mati pada media uji. Selama proses bioremediasi selain diberikan pupuk untuk pertumbuhan solar sebagai bahan pencemar dapat berfungsi sebagai makanan yang mengandung karbon, dengan menggunakan enzim pada mikroalga untuk memanfaatkan sebagai makanan.

Gambar 29 menunjukkan trendline pertumbuhan sesuai fase pertumbuhan, rata-rata mengalami fase penurunan pertumbuhan diakibatkan kematian sel. Menurut Suantika *et al.*, (2009), terjadinya peningkatan pertumbuhan setelah penurunan

pertumbuhan ini kemungkinan disebabkan adanya penambahan jumlah nutrisi pada media hasil dekomposisi diatom yang telah mati. Diduga kematian diatom diawali dari cangkang luarnya yang telah terdekomposisi yang memiliki kandungan silikat sehingga dapat dimanfaatkan sel mikroalga *Chaetoceros* yang masih hidup untuk sumber nutrisi. Trendline pertumbuhan *Chaetoceros calcitrans* yang mengalami penurunan dikarenakan mikroalga tersebut tidak dapat mengurangi kandungan bahan pencemar sehingga menyebabkan penurunan kepadatan sel (Hala *et al.*,

2012). Peningkatan jumlah sel setiap harinya disebabkan karena penambahan

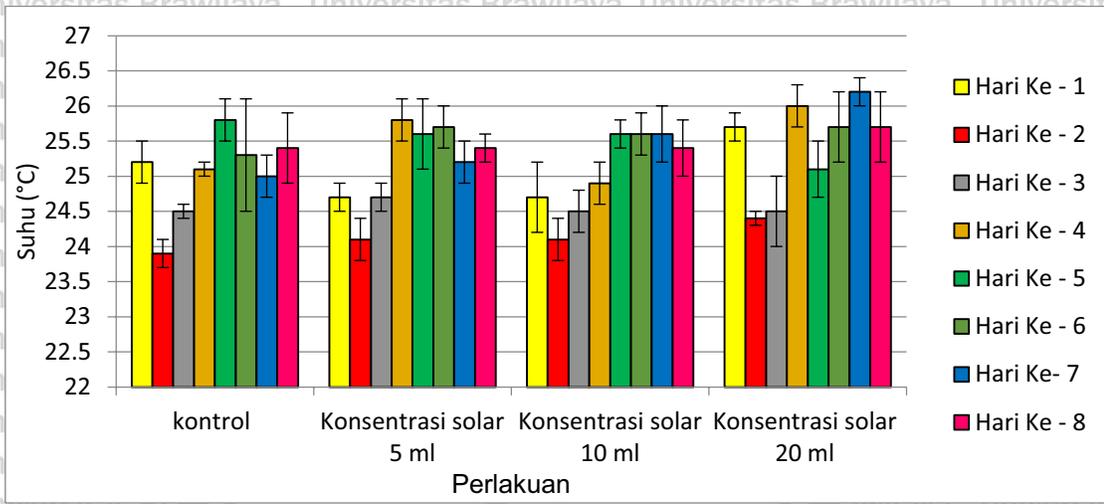
nutrien dan pada spektrofotometer tidak dapat membedakan mana sel hidup dan sel mati sehingga molekul dispersan dari minyak solar ikut terbaca pada alat spektrofotometer.

4.4 Pengukuran Parameter Kualitas Air

Pengukuran parameter lingkungan bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan kondisi lingkungan di media kultur dan di alam. Proses pengukuran parameter kualitas air dilakukan secara ek-situ. Selama proses penelitian dilakukan pengukuran suhu, salinitas, dissolved oxygen dan power of hydrogen (pH). Berikut penjabaran hasil pengukuran kualitas air selama proses bioremediasi.

4.1.1 Suhu

Pengukuran parameter suhu dengan menggunakan Termometer. Pengukuran dilakukan selama 8 hari 1x 24 jam dengan pengulangan 3 kali. Selama proses biodegradasi pengukuran suhu dilakukan pukul 09.00 WIB. Pengukuran suhu yang baik dilakukan dapat dilakukan pada pagi hari atau sore hari. Pengukuran suhu pada siang hari akan cenderung menurun dan ketika suhu tinggi naik akan langsung naik dratis, pengukuran pada siang hari dapat dikatakan kurang maksimal (Maharsyah et al., 2013).



Gambar 28. Data Hasil Pengukuran Suhu

Data harian hasil pengukuran nilai suhu (Gambar. 30) menunjukkan tidak terlalu banyak perbedaan yang signifikan. Rata – rata nilai suhu pada sampel uji bioremediasi 24-25 °C. hari kedua mempunyai nilai suhu yang paling rendah, hal tersebut disebabkan dari kondisi lingkungan luar seperti pada saat hujan. Suhu sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan *Chaetoceros calcitrans* pada media kultur. Menurut Hadiyanto (2012), sebagian besar mikroalga dapat tumbuh pada suhu antara 15 sampai 45 °C. Beberapa mikroalga dapat tumbuh subur pada kondisi suhu 24 -30 °C. Jika suhu dibawah 16 °C akan menghambat pertumbuhan mikroalga dan jika suhu diatas 36 °C dapat menyebabkan mikroalga mengalami lisis/pecah.

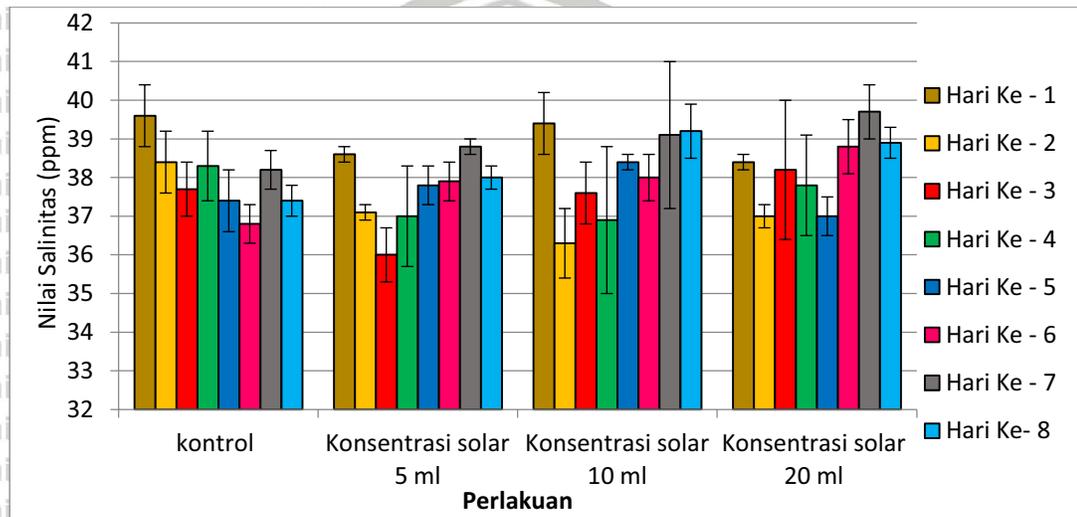
4.1.2 Salinitas

Media kultur selama penelitian menggunakan air laut. Kosentrasi air laur selama proses bioremediasi juga sangat berpengaruh dengan pertumbuhan mikroalga. Salah satu parameter penting untuk media air laut adalah salinitas.

Salinitas merupakan kadar garam yang terlarut pada media biodremediasi.



Mikroalga dapat hidup pada salinitas 25- 35 ppt, kenaikan salinitas pada proses kultur dapat dipengaruhi oleh laju penguapan air, kisaran tersebut termasuk kisaran salinitas normal untuk pertumbuhan mikroalga selama proses kultur (Fachrullah, 2011). Hasil pengukuran parameter salinitas selama proses bioremediasi disajikan dalam Gambar 30.



Gambar 29. Data Hasil Pengukuran Salinitas

Menurut Hariyati (2008), salinitas mempunyai peranan penting dalam proses pertumbuhan mikroalga. Salinitas berpengaruh terhadap organisme dalam air dalam mempertahankan tekanan osmotiknya. Pengukuran dilakukan selama 8 hari 1x24 jam. Pengukuran dilakukan 3 kali pengulangan agar mendapatkan hasil yang baik.

Dari grafik hasil pengukuran salinitas (Gambar. 30) didapatkan perbedaan pengukuran salinitas per harinya. Salinitas tertinggi pada Kontrol hari 1, hal tersebut dikarenakan air laut steril yang sudah disterilisasi memiliki nilai salinitas 40-41 ppt atau dapat disebabkan oleh faktor lain seperti *human eror*. Rata – rata nilai salinitas selama 8 hari pengukuran 38, dimana rata- rata $K = 38.1 \pm 0.2$, $A = 37.7 \pm 0.4$, $B = 38.1 \pm 0.6$ dan $C = 38.2 \pm 0.5$. Mikroalga jenis diatom *Chaetoceros calcitrans* dapat

bertahan hidup pada salinitas tinggi 6- 50 ppt dan suhu tinggi sampai 40°C.

Mikroalga jenis *chaetoceros* sp. dapat dengan mudah dipelihara dan memiliki pertumbuhan yang lebih cepat (Rahmadiani, 2013).

4.1.3 Dissolved Oxygen (DO)

Keberadaan oksigen di alam sangat bermanfaat bagi seluruh penghuni bumi.

Salah satu yang memanfaatkan oksigen adalah mikroalga. Mikroalga memanfaatkan

oksigen terlarut dalam air untuk bernafas dan bertahan hidup. Selama proses uji

biodegradasi sumber oksigen yang digunakan berasal dari aerator yang dialirkan

kedalam botol – botol uji melalui selang. Oksigen terlarut diperlukan *Chaetoceros*

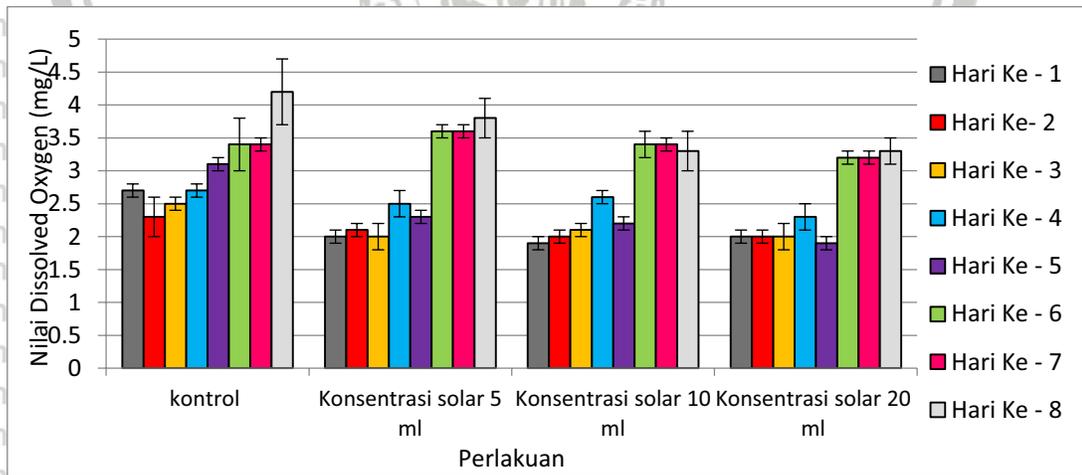
calcitrans untuk melakukan respirasi. Oksigen terlarut dihasilkan dari hasil

fotosintesis dan difusi dari udara. Mikroalga yang dikembangkan pada laboratorium

mempunyai kebutuhan oksigen terlarut yang cukup. Kadar oksigen terlarut 2-5 ppm kurang

produktif, 5-7 ppm. Produktivitas tinggi (Dyah, 2011). Hasil pengukuran kandungan

oksigen terlarut dapat dilihat pada Gambar 32.



Gambar 30. Data Hasil Pengukuran Dissolved Oxygen

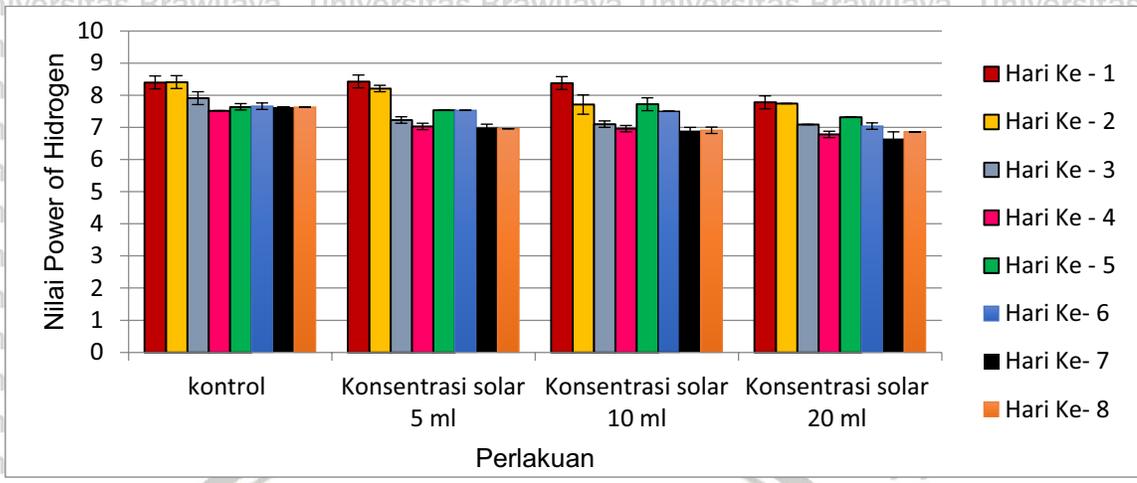
Keberadaan oksigen pada proses kultur sangat diperlukan mikroalga untuk

hidup. Oksigen sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan. Pengukuran nilai

oksigen terlarut dalam air dilakukan pukul 08.30. Pengukuran menggunakan alat DO meter yang sebelumnya telah dikalibrasi. Setiap pengukuran nilai oksigen terlarut dilakukan pengulangan 3 kali untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Grafik (Gambar. 32) menunjukkan nilai rata – rata perhitungan oksigen terlarut pada proses bioremediasi selama 8 hari. Hasilnya kandungan oksigen berbanding terbalik dengan pertumbuhan. Kandungan oksigen yang semakin sedikit disebabkan oleh dalam media kultur *Chaetoceros calcitrans* menggunakan oksigen tersebut untuk berespirasi, dan digunakan oleh mikroba untuk mendekomposisi sel – sel *chaetoiceros calcitrans* yang sudah mati (Suantika *et al.*, 2009).

4.1.4 Power of Hidrogen (pH)

Kandungan derajat keasamaan air sangat berpengaruh dengan pertumbuhan mikroalga. Penelitian ini melakukan pengukuran nilai pH 1 x 24 jam selama 8 hari. Pengukuran pH dilakukan pada pagi hari pukul 09.20 WIB. Pengukuran nilai pH dilakukan pada semua sampel, setiap sampel dilakukan 3 kali pengulangan agar mendapatkan hasil yang maksimal. Alat yang digunakan pH meter, setiap pengukuran dilakukan kalibrasi agar tidak terjadi kesalahan pada saat pengukuran. Hasil pengukuran nilai pH selama 8 hari pada semua perlakuan disajikan dalam Gambar 32.



Gambar 31. Data Hasil Pengukuran Power of Hidrogen

Nilai pH cenderung bersifat konstan selama uji remediasi. Hari pertama semua nilai pH tinggi. Dari semua pengukuran nilai pH yang paling rendah pada perlakuan konsentrasi minyak solar 20 ml. nilai rata – rata paling tinggi pada sampel kontrol 7.9 ± 0.09 dan nilai paling rendah pada sampe konsentrasi 20 ml 7.2 ± 0.09 . Menurut miyachi (1992) dalam Arifah (2015), kisaran nilai pH pada proses kultur mikroalga jenis diatom kisaran 7-9.5. Nilai optimum yang dibutuhkan *Chaetoceros calcitrans* pH ± 8 (Kurniawati, 2008).

4.5 Analisis Gravimetri

Analisis gravimetri merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kadar minyak dalam akhir. Penelitian ini menggunakan analisis gravimetri untuk mengetahui kadar konsentrasi minyak pada media uji bioremediasi.

Menurut Fatimah *et al.*, (2016), metode gravimetri merupakan metode yang bersifat absolute yang biasa digunakan untuk mengetahui kadar suatu zat/ kandungan lemak yang berdasarkan dari senyawa murni yang hilang dan yang terbentuk. Mikroalga jenis *Chaetoceros calcitrans* dapat mendegradasi minyak solar, namun dalam konsentrasi rendah. Mikrolaga dapat digunakan sebagai agen yang dapat digunakan



mengurangi pencemaran lingkungan. Mikroalga jenis diatom dapat hidup pada kondisi tercemar dan beberapa menurunkan kandungan logam berat seperti alkana dan polisiklik aromatic hidrokarbon sehingga sangat bermanfaat untuk mempelajari proses bioremediasi minyak mentah dibawah kondisi campuran (Hamouda *et al.*, 2016).

Proses Bioremediasi dilakukan selama 8 hari. Pengukuran minyak dilakukan diawal sebelum dan diakhir uji remediasi. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode gravimetri dengan mengetahui kandungan lemak akhir pada media uji. Hasil akhir konsentrasi minyak solar selama proses bioremediasi disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Akhir Kadar Minyak Solar

Konsentrasi Minyak Solar	Kadar Minyak Solar Awal (ml)	Kadar Minyak Solar Akhir	Kadar Minyak Sisa (%)	%Degradasi
Kontrol	0	0	0	0
A	5	1.6	32	68
B	10	6.21	62	37.9
C	20	13.02	65	34.9

Keterangan : A : Konsentrasi Minyak Solar 5 ml

B : Konsentrasi Minyak Solar 10 ml

C : Konsentrasi Minyak Solar 20 ml

Hasil dari pengukuran gravimetri (Tabel. 4) menunjukkan mikrolaga dapat hidup pada kondisi tercemar. Rata-rata presentase degradasi 35.2 % mikroalga *Chaetoceros calcitrans* dapat mendegradasi minyak solar. Kondisi tersebut menyimpulkan bahwa *Chaetoceros calcitrans* dapat mendegradasi minyak solar namun pada konsentrasi rendah. Proses degradasi yang paling tinggi pada

konsentrasi 10 ml. karena dapat mengurangi sebanyak 37 %. Menurut Leonard (2014), mikroalga jenis diatom seperti *Chaetoceros calcitrans* merupakan contoh diatom yang memiliki gugus fungsi yang terdapat pada dinding sel (gugus karbositat, hidroksil, amino, sulfidril, sulfat dan fosfat). Protein dan polisakarida pada dinding diatom digunakan untuk mengikat ion logam. Konsentrasi minyak solar menunjukkan semakin besar konsentrasi solar pada media uji kemampuan mikroalga *Chaetoceros calcitrans* dalam mengurangi semakin kecil. Semakin kecil konsentrasi minyak solar semakin besar mikroalga dapat mengurangi keberadaan minyak solar, begitu sebaliknya semakin besar kandungan minyak solar menyebabkan mikroalga susah untuk mengurangi, hal tersebut menyebabkan kematian atau bahkan blooming mikroalga yang bersifat toksik pada lingkungan. Nilai presentasi degradasi (Tabel. 4) menunjukkan semakin besar konsentrasi minyak solar akan semakin kecil presentase mikroalga *Chaetoceros calcitrans* dalam mengurangi polutan minyak solar. Kondisi bahan pencemar dengan konsentrasi tinggi dapat megakibatkan kemampuan aklimatisasi mirkoalga menurun , diperparah dengan dengan bertambahnya jumlah fitoplankton yang mati kemudian mengendap kedasar dan menyebabkan kebutuhan kandungan oksigen semakin menurun. Kandungan nutrisi mencukupi namun adanya konsetrasi lain dapat mengganggu pertumbuhan fitoplankton (Hala *et al.*, 2012).

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian tentang pemantauan potensi mikroalga *Chaetoceros calcitrans*

sebagai agen bioremediasi hidrokarbon didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Kemampuan *Chaetoceros calcitrans* dalam mengurangi minyak solar pada konsentrasi minyak solar 5 ml sebesar 68 %, konsentrasi minyak solar 10 ml sebesar 37.8 % dan konsentrasi minyak solar 20 ml sebesar 34.9 %.

Semakin besar konsentrasi minyak solar akan semakin kecil kemampuan mikroalga mengurangi minyak solar.

2. Trendline pengukuran nilai *optical density* menunjukkan mikroalga dengan konsentrasi 0 lebih kecil nilai *optical density* nya, sedangkan nilai *optical density* pada konsentrasi 5, 10 dan 20 ml mengalami peningkatan yang semakin tinggi. Diduga peningkatan jumlah sel setiap hari dikarenakan keberadaan nutrien atau molekul dispersan yang ikut terbaca dalam alat spektrofotometer.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya dengan topik yang sama perlu adanya pengukuran nilai OD dengan pengulangan 3x dan perhitungan cell dengan menggunakan mikroskop agar dapat membedakan sel hidup dan sel mati. Pada proses kultur diharapkan lingkungan pada proses bioremediasi lebih bersih sehingga mendapatkan bibit yang paling bagus untuk proses bioremediasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrachman, O., Mutiara, M., Buchori, L., 2013. Peningkatan Karbon Dioksida dengan Mikroalga (*Chorella vulgaris*, *Chlamydomonas sp.*, *Spirullina sp.*) dalam Upaya untuk Meningkatkan Kemurnian Biogas 2, 212–216.
- Ali, M., 2012. Tinjauan Proses Bioremediasi Melalui Pengujian Tanah Tercemar Minyak. UPN Press, Surabaya.
- Anugrah, Nontji .2008. Plankton Lautan. Jakarta: LIPI Press.
- Arifah, S., *et al.*, 2014. Studi Kemampuan *Nannochloropsis sp.* dan *Chlorella sp.* Sebagai Agen Bioremediasi Logam Berat Merkuri (Hg) Dan Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan. Universitas Airlangga.
- Armanda, D.T., 2013. The Growt Of Diatom *Skeletonema Costatum* (Greville) Cleve Of Jepara Isolates Cultures In F/2 Dan Conway Culture. Bioma 2.
- Augusta, T.S., 2012. Aklimatisasi Benih Ikan Nila (*Oreochromis spp*) dengan Pencampuran Air Gambut. J. ILMU HEWANI Trop. J. Trop. Anim. Sci. 1, 78–82.
- Azman WZ. 2005. Bahaya Minyak Solar. Pusat Racun Negara, USM, Malaysia. <<http://www.pm2.usm.my/mainsite/bulletin/racun/um6.html>> (12 februari 2017)
- Budiyono, A., 2001. Pencemaran Udara: Dampak Pencemaran Udara Pada Lingkungan.
- Bold HC, Wayne MJ. 1985. *Introduction to the Algae Structure and Reproduction*. USA: Prentice hall, Inc. 720 hal
- Das, N., R. Vimala and P. Karthika. 2008. Biosorption of Heavy Metals-an Overview. Indian Journal Of Biotechnology, Vol. 7, pp 159-169.
- Dyah, P. S. 2011. Produksi Biodiesel dari Mikroalga *Chlorella sp.* dengan Metode Esterifikasi In-Situ. Tesis. Program Pasca Sarjana. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Periaran. Yogyakarta: Kanisius.
- Ermayanti, E., 2011. Komponen kimia *Chaetoceros gracilis* yang dikultivasi di outdoor menggunakan media pupuk NPSi.

Fachrullah, M. R. 2011. Laju Pertumbuhan Mikroalga Penghasil *Biofuel* Jenis *Chlorella* sp. dan *Nannochloropsis* sp. yang Dikultivasi Menggunakan Air Limbah Hasil Penambangan Timah di Pulau Bangka. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
<http://www.repository.ipb.ac.id>. 15 Maret 2017. 103 hal.

Fatimah, S., Okdayani, Y., others, 2016. Verifikasi Metoda Gravimetri Untuk Penentuan Thorium. Pin Pengelolaan Instal. Nukl. 2.

Gao, J., Chi, J., 2015. Biodegradation of phthalate acid esters by different marine microalgal species. *Mar. Pollut. Resit Bull.* 99, 70–75.
doi:10.1016/j.marpolbul.2015.07.061

Hadiyanto, H., Nur, M.A., 2012. Mikroalga: Sumber Pangan & Energi Masa Depan. UNDIP Press.

Hala, Y., E. Suryati dan P. Taba. 2012. Biosorpsi Campuran Logam Pb²⁺ dan Zn²⁺ oleh *Chaetoceros calcitrans*. *Chem. Prog*, Vol. 5, No. 2 : 86-92

Hamouda, R.A.E.F., Sorour, N.M., Yeheia, D.S., 2016. Biodegradation of crude oil by *Anabaena oryzae*, *Chlorella kessleri* and its consortium under mixotrophic conditions. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 112, 128–134.
doi:10.1016/j.ibiod.2016.05.001

Hariyati, R., 2008. Pertumbuhan dan Biomassa *Spirulina* sp dalam Skala Laboratoris. *Bioma* 10, 19–22.

Herdiyantoro, D., 2005. Biodegradasi Hidrokarbon Minyak Bumi oleh *Bacillus* sp. Galur ICBB 7859 Dan ICBB 7865 Dari Ekosistem Air Hitam Kalimantan Tengah dengan Penambahan Surfaktan. Bogor Sekol. Pasca Sarj. IPB.

Ji, M.-K., Kabra, A.N., Choi, J., Hwang, J.-H., Kim, J.R., Abou-Shanab, R.A.I., Oh, Y.-K., Jeon, B.-H., 2014. Biodegradation of bisphenol A by the freshwater microalgae *Chlamydomonas mexicana* and *Chlorella vulgaris*. *Ecol. Eng.* 73, 260–269. doi:10.1016/j.ecoleng.2014.09.070

Jobson A, McLaughlin M, Cook FD, Westlake DWS. 2003. Effect of amandements on the microbial utilization of oil applied to soil. *Appl Environ Microbiol* 27(1):166-171.

Jones, B. 2001. A Comparison of Visual Observations of Surface Oil With Synthetic Aperture Radar Imagery of the Sea Empress Oil Split. *International Journal of Remote Sensing.* (22) : 1619 - 1638.

- Khopkar, S.M. 1990. Konsep Dasar Kimia Analitik. Penerbit: UI-
- Kusumaningrum, W., 2014. Penentuan Kadar Air dan Abu dalam Biskuit.
- Kurniawati, A.R. 2006. Peningkatan Produktivitas Kultur Diatom *Chaetoceros amami* Melalui Optimasi Rasio N:P:Si. Program Studi Bioteknologi. Institut Teknologi Bandung. Bandung. hal 3.
- Leonard, R., et al., 2015. Studi Perbandingan Kemampuan *Skeletonema Sp.* Dan *Chaetoceros Sp.* Sebagai Agen Bioremediasi Terhadap Logam Berat Merkuri (Hg). Universitas Airlangga.
- Meliawaty, F., 2014. Efisiensi sterilisasi alat bedah mulut melalui inovasi oven dengan ozon dan infrared. J. Kedokt. Maranatha 11.
- Moertinah, S., 2010. Kajian Proses Anaerobik sebagai Alternatif Teknologi Pengolahan Air Limbah Industri Organik Tinggi 1 nomor 2, 104–114.
- Munawar, Mukhtasor, Surtiningsih, T., 2007. Bioremediasi Tumpahan Minyak Mentah Dengan Metode Biostimulasi Nutrien Organik Di Lingkungan Pantai 91–96.
- Munir, E., 2006. Pemanfaatan Mikroba dalam Bioremediasi suatu Teknologi Alternatif untuk Pelestarian Lingkungan.
- Nababan, B., 2008. Isolasi dan Uji Potensi Bakteri Pendegradasi Minyak Solar dari Laut Belawan.
- Noer, A.H., Dessy, A., 2012. Potensi Mikroalga sebagai Sumber Biomasa dan Pengembangan Produk Turunannya. Teknik 33, 58–66.
- Nybakken, J. W., 1992. *Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologis*. PT. Gramedia: Jakarta
- Pertamina, D.P., 2015. Proses Produksi BBM dari Minyak Bumi dan Kilang-Kilang BBM Pertamina.
- Prayogo, I., Arifin, M., 2012. Teknik Kultur Pakan Alami *Chlorella Sp.* Dan *Rotifera Sp.* Skala Massal Dan Manajemen Pemberian Pakan Alami Pada Larva Kerapu Cantang.
- Rahmadiani, D. D. W dan Aunurohim. 2013. Bioakumulasi Logam Berat Kadmium (Cd) oleh *Chaetoceros calcitrans* pada Konsentrasi Sublethal. Jurnal Sains dan Seni Pomits, Vol. 2, No. 2 : 202-206.

Raya, I., 2015. The Chlorophyll Production and Hydrogen Produced Potency by Phytoplankton *Chaetoceros Calcitrans*, *Chlorella Vulgaris*, *Dunaliella Salina*, and *Porphyridium Cruentum*. *J. Nat. Sci. Res.* 5 no 1.

Ribeiro-Rodrigues, L.H., Arenzon, A., Raya-Rodriguez, M.T., Fontoura, N.F., 2011. Algal density assessed by spectrophotometry: a calibration curve for the unicellular algae *Pseudokirchneriella subcapitata*. *J. Environ. Chem. Ecotoxicol.* 3 (8), 225–228

Setiawati, M.D., 2009. Uji Toksisitas Kadmium Dan Timbal Pada Mikroalga *Chaetoceros Gracilis*. A.

Setyaningsih, I., Desniar, Purnamasari, E., 2012. Antimikroba dari *Chaetoceros gracilis* yang Dikultivasi dengan Lama Penyinaran Berbeda 3 no 2, 180–189.

Sutomo. 2005. Kultur tiga jenis mikroalga (*Tetraselmis* sp., *Chlorella* sp. dan *Chaetoceros gracilis*) dan pengaruh kepadatan awal terhadap pertumbuhan *Chaetoceros gracilis* di Laboratorium Oseanologi dan Limnologi di Indonesia. *J Oseanologi dan Limnologi di Indonesia* 37: 43-58

Suantika, G., Adityawati, P., Astuti, D.I., Sofyan, Y., 2009. Pengaruh Kepadatan Awal Inokulum terhadap Kualitas Kultur *Chaetoceros gracilis* (Schütt) pada Sistem Batch. *J. Mat. Sains* 14, 1–8.

Wahab, A.A., 2013. Ekologi Perairan.

Wang, L., Xue, C., Wang, L., Zhao, Q., Wei, W., Sun, Y., 2016. Strain improvement of *Chlorella* sp. for phenol biodegradation by adaptive laboratory evolution. *Bioresour. Technol.* 205, 264–268.

Wisudyawati, D., et al., 2015. Studi Perbandingan Kemampuan *Skeletonema* Sp. Dan *Chaetoceros* Sp. Sebagai Agen Bioremediasi (Fito-Akumulasi) Terhadap Logam Berat Timbal (Pb). Universitas Airlangga.