

**PENGARUH KONSENTRASI SUBLETAL MINYAK MENTAH
("crude oil") TERHADAP PERTUMBUHAN KERANG HIJAU
(Perna viridis)**



SKRIPSI

Nama : UMI SETIAWATI
NIM : J 201 92 0768

JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS DIPONEGORO
S E M A R A N G

1997

HALAMAN PENGESAHAN

JUDUL : Pengaruh Konsentrasi Subletal Minyak
Mentah ("crude oil") Terhadap
Pertumbuhan Kerang Hijau (*Perna
viridis*)

NAMA : Umi Setiawati

NIM : J 201 92 0768

JURUSAN : Biologi

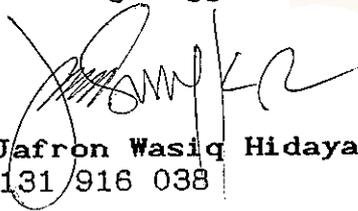
Telah selesai dan layak untuk mengikuti ujian skripsi pada
tanggal : 12 - 08 - 1997

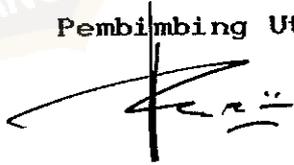
Semarang, 12 - 07 - 1997

Menyetujui,

Pembimbing Anggota

Pembimbing Utama


Drs. Jafron Wasiq Hidayat, MSc.
NIP. 131 916 038


Drs. H. Hendarko Sugondo, MS.
NIP. 130 240 123

HALAMAN PENGESAHAN

JUDUL : Pengaruh Konsentrasi Subletal Minyak
Mentah ("crude oil") Terhadap
Pertumbuhan Kerang Hijau (*Perna
viridis*)

NAMA : Umi Setiawati

NIM : J 201 92 0768

JURUSAN : Biologi

Tanggal Lulus Ujian Sarjana : 12 - 08 - 1997

Semarang, 27 - 08 - 1997

Panitia Ujian

Ketua



Dra. Hirawati Muliani
NIP. 130 938 177



Jurusan Biologi

Drs. Sunardi Madi, MSi.
NIP. 131 672 951

RINGKASAN

UMI SETIAWATI J 201920768. Pengaruh Konsentrasi Subletal Minyak Mentah ("crude oil") Terhadap Pertumbuhan Kerang Hijau (*Perna viridis*). (Di bawah bimbingan Hendarko Sugondo dan Jafron Wasig Hidayat).

Pencemaran minyak bumi masih sulit dihindari. Minyak mentah pada habitat laut akan mengalami pelarutan, dispersi, emulsi dan sedimentasi. Beberapa fraksi dapat merusak struktur dan fungsi biologis, sehingga dapat mengakibatkan gangguan dan kematian terhadap organisme perairan baik langsung maupun tidak langsung. Kerang hijau sebagai hewan "filter feeder", mempunyai kemampuan mengakumulasi material yang tersuspensi di dalam kolom air, sehingga beresiko tinggi terhadap adanya bahan pencemar. Di sisi lain, kerang hijau mempunyai kadar gizi tinggi dan sebagai sumber protein hewani yang penting bagi manusia.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi letal (LC_{50} - 96 jam) minyak mentah terhadap kerang hijau, juga untuk mengetahui dan mengkaji pengaruh konsentrasi subletal minyak mentah terhadap pertumbuhan kerang hijau. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pengembangan Wilayah Pantai (LPWP) Jepara, pada bulan Februari - April 1997.

Penelitian dilakukan dengan metode uji hayati statis (biostatis) di laboratorium. Uji toksisitas dilakukan dengan analisis Probit dari Hubert (1979), sedangkan uji subletal minyak mentah dengan waktu pendedahan 30 hari dengan Rancangan Acak Lengkap. Adapun penentuan besarnya konsentrasi subletal dan perlakuan didasarkan pada Nitisuparjo *dkk* (1992). Kerang uji adalah kerang hijau *Perna viridis* L. yang berukuran 10-15 mm berasal dari Pantai Pulau Mandalika Jepara. Sedangkan bahan minyak mentah diperoleh dari Unit Pengolahan IV Pertamina Cilacap.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa tingkat toksisitas minyak mentah terhadap kerang hijau (LC_{50} -96 jam) adalah sebesar 2.528,603 ppm, dengan ambang batas atas 10^4 ppm dan ambang batas bawah 10^2 ppm. Minyak mentah pada konsentrasi 252,86 ppm, 379,29 ppm, 505,72 ppm dan 632,15 ppm dalam waktu dedah 30 hari telah mampu mempengaruhi dan menghambat pertumbuhan kerang hijau. Secara umum semakin tinggi konsentrasi minyak mentah, penghambatan pertumbuhan semakin besar.



KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim,

Segala puji bagi Allah SWT. Yang Maha Pengasih, yang selalu memberi rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan naskah skripsi ini.

Tidak lupa penulis sampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dan membimbing dalam penelitian maupun dalam penulisan skripsi ini, khususnya kepada :

1. Ibu Dra. HJ. Sriani Hendarko, SU, selaku Dekan F-MIPA Universitas Diponegoro
2. Bapak Drs. Moh. Hadi, Msi, selaku Ketua Jurusan Biologi Universitas Diponegoro
3. Bapak Drs. H. Hendarko Sugondo, MS., selaku dosen pembimbing utama yang telah memberi petunjuk dan bimbingan selama penelitian dan penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Drs. Jafron Wasiq Hidayat, MSc., selaku dosen pembimbing anggota yang telah memberi petunjuk dan bimbingan selama penelitian dan penyusunan skripsi ini.
5. Ibu Dra. Titik Sulistyowati, MSc., selaku dosen pembimbing lapangan.
6. Pihak Pertamina Unit Pengolahan IV, Cilacap, khususnya kepada Bapak Ir. Zenith, atas segala bantuannya.
7. Bapak DR. Boedi Hendrarto, MSc., selaku Kepala, beserta para staf Laboratorium Pengembangan Wilayah Pantai (LPWP) Jepara.

8. Ayahanda dan Alm. Ibunda tersayang, kakak, adik yang tercinta atas semua dorongan dan kasih sayangnya.

9. Teman-teman semua, khususnya teman-teman Biologi'92 atas segala bantuannya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangannya, oleh karena itu kritik dan saran sangat penulis harapkan. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi semuanya.

Semarang,

1997

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Perumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Pengertian Pencemaran	5
B. Minyak Mentah ("crude oil")	
B.1. Komposisi Minyak Mentah	6
B.2. Toksisitas Minyak Mentah	8
C. Daya Racun Letal dan Subletal	11
D. Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>)	
D.1. Taksonomi Kerang Hijau	13
D.2. Morfologi dan Anatomi Kerang Hijau	14
D.3. Reproduksi dan Siklus Hidup Kerang Hijau	17
D.4. Habitat dan Kebiasaan Makan Kerang Hijau	19
E. Pertumbuhan Sebagai Parameter Efek Subletal ..	20
III. HIPOTESIS	22
IV. METODE PENELITIAN	
A. Tempat dan Waktu Penelitian	
A.1. Tempat Penelitian	23
A.2. Waktu Penelitian	23

B. Bahan dan Alat Penelitian	
B.1. Bahan Penelitian	23
B.2. Alat Penelitian	23
C. Cara Kerja	
C.1. Tahap Aklimasi	24
C.2. Tahap Uji Pendahuluan	24
C.3. Tahap Uji Utama	25
C.4. Tahap Uji Pertumbuhan	26
D. Parameter Lain yang Diamati	27
E. Rancangan Percobaan	27
V. HASIL	
A. Uji Pendahuluan	28
B. Uji Utama	28
C. Pertambahan Panjang Cangkang Kerang Hijau	28
D. Pertambahan Berat Total Kerang Hijau	31
E. Parameter Kualitas Air	33
VI. PEMBAHASAN	
A. Mortalitas Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>)	35
B. Tingkat Pertumbuhan Kerang Hijau	37
VII. KESIMPULAN	
A. Kesimpulan	43
B. Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN - LAMPIRAN	47

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Pertambahan Rata-rata Panjang Cangkang Kerang Hijau Selama Waktu Dedah 30 Hari	29
2. Pertambahan Rata-rata Berat Total Keraang Hijau Selama Waktu Dedah 30 Hari	31
3. Data Kualitas Air Rata-rata pada Masing-masing Perlakuan	33
4. Persentase Mortalitas Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>) pada Uji Pendahuluan	47
5. Analisa Probit Penentuan Nilai LC_{50} -96 jam Minyak Mentah Terhadap Kerang Hijau	49
6. Data Rata-rata Panjang Cangkang Kerang Hijau (mm).	52
7. Analisa Sidik Ragam Pertambahan Panjang Cangkang Kerang Hijau (mm)	53
8. Hasil Uji Beda Nyata Jujur Pertambahan Panjang Cangkang Kerang Hijau	55
9. Data Rata-rata Berat Total Kerang Hijau (gr)	56
10. Analisa Sidik Ragam Pertambahan Berat Total Kerang Hijau (gr)	57
11. Hasil Uji Beda Nyata Jujur Pertambahan Berat Total Kerang Hijau	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Contoh struktur Beberapa Komponen Umum Minyak Mentah	8
2. Interaksi antara Polutan dengan Proses Biologi...	9
3. Kurva Hubungan Konsentrasi Polutan Terhadap Respon Organisme Laut	12
4. Morfologi Kerang Hijau	15
5. Susunan Anatomi Internal Kerang Hijau	16
6. Susunan Sistem Pencernaan Kerang Hijau	16
7. Siklus Hidup Kerang Hijau	18
8. Grafik Pengaruh Konsentrasi Minyak Mentah Terhadap Pertambahan Panjang Cangkang Kerang Hijau	30
9. Grafik Pengaruh Konsentrasi Minyak Mentah Terhadap Pertambahan Total Kerang Hijau	32
10. Fluktuasi Kadar DO Media Pada Beberapa Konsentrasi Minyak Mentah (perlakuan) selama 5 Periode (minggu) Pengamatan	34

I. PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Pencemaran perairan oleh minyak bumi merupakan salah satu kasus pencemaran yang masih sulit dihindari. Hidrokarbon minyak bumi disamping mencemari atmosfer, juga merupakan pencemar utama di lautan (Connell and Miller, 1995).

Menurut Soegiarto (1976) dalam Resosoedarmo dkk (1985), sumber pencemaran minyak di laut Indonesia dikelompokkan menjadi dua golongan besar, yaitu:

- a. Berasal dari kegiatan di laut sendiri. Misalnya pembuangan sampah minyak atau air "balast" dari kapal-kapal tanker, tumpahan minyak di laut dari kapal tanker maupun dari sumur minyak, lumpur buangan dari kegiatan pertambangan di laut, dll.
- b. Berasal dari kegiatan-kegiatan di darat. Bahan pencemar dapat masuk ekosistem laut melalui udara ("air borne") atau terbawa air (sungai).

Adapun Clark (1986) menyatakan bahwa polusi minyak yang terjadi di laut dapat dikategorikan menjadi tiga kelompok. Pertama, kebocoran selama transportasi baik pada saat pengoperasian ataupun tumpah karena kecelakaan tanker. Kedua, berasal dari limbah instalasi kilang minyak. Ketiga, berasal dari sumber lainnya seperti buangan industri dan domestik.

Minyak bumi dapat bersifat sebagai polutan, yang dapat menyebabkan suatu perubahan respon dalam suatu sistem biologis, secara serius merusak struktur atau fungsi biologis sehingga menyebabkan kematian atau mortalitas (Hutabarat, 1992). Pengaruh merusak dari bahan pencemar terhadap ekosistem perairan tidak hanya mengakibatkan kematian terhadap organisme secara langsung, tetapi juga secara tidak langsung, yaitu mengurangi atau melemahkan daya adaptasi, kelulus-hidupan, dan potensi untuk tumbuh dan bereproduksi suatu hewan akuatik (Anderson and d'Apolloma, 1978 dalam Nitisuparjo, dkk, 1992).

Secara umum pada habitat laut, fraksi-fraksi dari minyak akan mengalami beberapa proses yaitu, pelarutan, dispersi, emulsi dan sedimentasi (Clark, 1986). Hal ini menyebabkan minyak mentah berpotensi sebagai polutan bagi biotanya, terutama biota benthik, seperti kerang-kerangan.

Kerang hijau yang diketahui sebagai hewan "filter feeder" menyaring material tersuspensi dan partikel detritus. Material tersuspensi baik organik maupun anorganik yang disaring, sebagian akan diakumulasi di dalam tubuhnya, sehingga kerang hijau dipandang sebagai salah satu organisme penampung bahan pencemar, termasuk minyak mentah (Hamid dan Pudjiatno, 1994). Di sisi lain, kerang hijau (*Perna viridis*), merupakan salah satu bahan makanan dari laut yang memiliki kadar gizi tinggi, dan sebagai sumber protein hewani yang penting bagi manusia. Berdasarkan penelitian, seperti dilaporkan Anonim (1986), bahwa kerang hijau mengandung

protein yang relatif tinggi (18 %), karbohidrat, vitamin (A, B, B₂, C) dan mineral (kalsium, phosphor, besi, yodium, tembaga).

Untuk usaha budidaya kerang hijau, diperlukan air laut bersih sepanjang tahun dan bebas dari pencemaran, termasuk pencemaran yang berasal dari minyak mentah. Masuknya substansi yang bersifat racun, baik sengaja maupun tidak, telah menimbulkan kerugian terhadap subsektor perikanan budidaya (Connell and Miller, 1995). Menurut Asikin (1982), ceceran minyak berbentuk gumpalan padat dapat menempel pada tiang-tiang (bambu) dari sarana budidaya kerang hijau, sehingga menimbulkan bau dan anak-anak kerang hijau (spat) tidak mau melekat. Gugusan phenol yang terdapat dalam senyawa minyak dapat menyebabkan bau dan rasa tidak sedap, yang mengakibatkan turunnya mutu daging kerang hijau. Selanjutnya Malins (1977) menyatakan bahwa gugusan phenol yang masuk ke dalam sistem aliran darah dapat menyebabkan kematian kerang dalam waktu beberapa jam.

Mengingat bahwa ekosistem perairan dapat dipandang sebagai sumber yang potensial dari berbagai aspek kehidupan, maka kelestarian ekosistem perlu diperhatikan. Juga mengingat terbatasnya informasi mengenai pengaruh konsentrasi subletal minyak mentah terhadap pertumbuhan kerang hijau, maka perlu dilakukan penelitian mengenai hal ini.

B. PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan kenyataan di atas, maka penelitian perlu dilakukan untuk mengetahui seberapa besar efek toksisitas minyak mentah terhadap mortalitas kerang hijau dan bagaimanakah pengaruh konsentrasi subletal minyak mentah terhadap pertumbuhan kerang hijau.

C. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan mengkaji :

1. Konsentrasi medium letal (LC_{50} - 96 jam) minyak mentah terhadap kerang hijau.
2. Pengaruh konsentrasi subletal minyak mentah terhadap pertumbuhan kerang hijau.

D. MANFAAT PENELITIAN

Dari penelitian ini diharapkan dapat diperoleh gambaran tentang konsentrasi ambang batas dari minyak mentah yang dapat ditoleransi oleh kerang hijau sebagai hewan uji. Selain itu, informasi dari hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai masukan dan pedoman kelayakan bagi suatu perairan untuk budidaya kerang hijau.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Pencemaran

Menurut Undang-Undang RI No. 4 tahun 1992 tentang Ketentuan-Ketentuan Pokok Lingkungan Hidup, bahwa yang dimaksud :

1. Pencemaran adalah pemasukan zat-zat atau energi ke dalam lingkungan oleh manusia secara langsung atau tidak langsung, mengakibatkan pengaruh-pengaruh yang merugikan sehingga membahayakan kesehatan manusia, merusak sumber hayati dan ekosistem dan mengurangi atau menghalangi kenyamanan dan penggunaan-penggunaan lain yang semestinya di lingkungan.
2. Pencemaran lingkungan adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau proses alam sehingga kualitas lingkungan turun sampai tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya.
3. Pencemaran laut adalah suatu keadaan dimana suatu zat atau energi dan unsur lain yang diintroduksi ke dalam lingkungan laut oleh kegiatan manusia atau proses alam sendiri dalam kadar tinggi sehingga menyebabkan terjadinya perubahan keadaan tersebut yang mengakibatkan lingkungan laut itu tidak lagi berfungsi seperti semula dalam arti kesehatan, kenyamanan.

Sedangkan menurut GESAMP (1978) dalam Hutagalung (1990), definisi pencemaran adalah masuknya atau dimasukkannya zat atau energi oleh manusia baik secara langsung maupun tidak langsung ke dalam lingkungan laut yang menyebabkan efek merugikan karena merusak sumber daya hayati, membahayakan kesehatan manusia, menghalangi aktivitas di laut termasuk perikanan, menurunkan mutu air laut yang digunakan dan mengurangi kenyamanan di laut.

B. Minyak Mentah ("crude oil")

B.1. Komposisi Minyak Mentah

Menurut Clark (1986) minyak mentah adalah campuran yang kompleks dari hidrokarbon dengan 4 sampai 26 atau lebih atom karbon di dalam molekulnya.

Baik minyak bumi mentah maupun minyak hasil penyulingan mempunyai sifat dan komposisi kimia yang beragam, tergantung pada asal minyak dan, dalam kasus produk sulingan, tergantung pada sifat proses penyulingan. Faktor ini juga menghasilkan perbedaan sifat fisik dan kimia yang penting seperti kelarutan, penguapan, oksidasi fotokimia dan mikrobial, serta toksisitas biologis (Connell and Miller, 1981 dalam Connell and Miller, 1995).

Hardjono (1987) membagi senyawa penyusun minyak mentah dalam dua golongan senyawa, yaitu :

1. Senyawa Hidrokarbon

Senyawa hidrokarbon yang terdapat dalam minyak mentah jumlahnya sangat banyak, dan dibagi ke dalam tiga

kelompok, yaitu hidrokarbon paraffin, hidrokarbon naften, dan hidrokarbon aromatik.

2. Senyawa Bukan Hidrokarbon

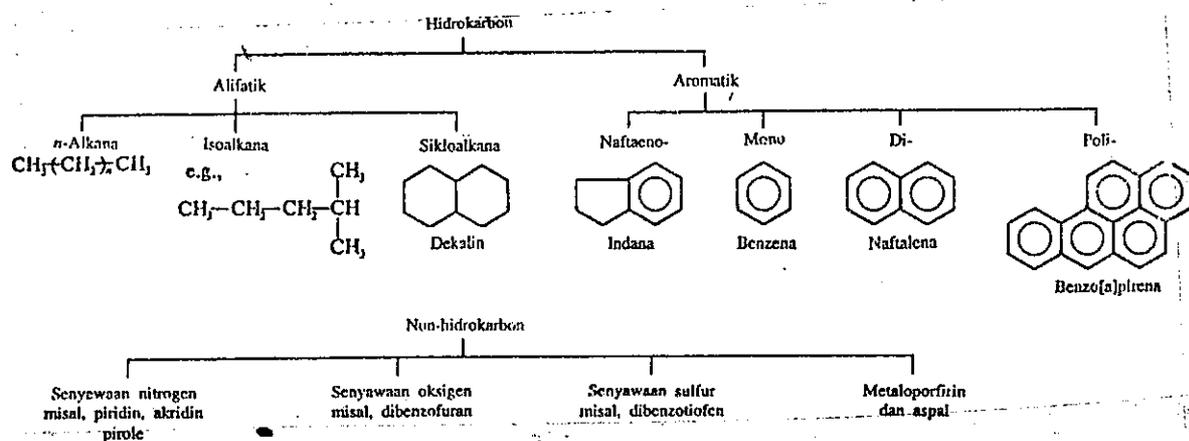
Senyawa bukan hidrokarbon yang terdapat dalam minyak mentah dan produknya adalah senyawa organik yang mengandung belerang, oksigen, nitrogen dan logam-logam.

Senyawa hidrokarbon di dalam minyak bumi dapat dibagi atas tiga kelas yaitu, alifatik, alisiklik, dan aromatik (Pitter and Chudoba, 1990). Hidrokarbon alifatik adalah komponen rantai terbuka atau tidak jenuh, susunan rantai atom karbonnya adalah lurus atau bercabang. Senyawa alisiklik terdiri dari atom karbon yang tersusun dalam bentuk cincin. Senyawa aromatik ditandai dengan adanya susunan cincin, mempunyai ikatan rantai jenuh atau tidak jenuh (Clark, 1986). Gambar 1 memberikan contoh struktur kimia minyak.

Menurut Malins (1977) beberapa senyawa aromatik tersebut berbentuk polysiklis (PAH-Polisiklik Aromatik Hidrokarbon) yang dikenal berpotensi karsinogen. Selanjutnya (Gilchrist *et al*, 1972; Jewel *et al*, 1972 dalam Connell and Miller, 1995) menyatakan bahwa produk minyak bumi mentah dan suling memperlihatkan keragaman yang besar dalam kandungan aromatik dan PAH, namun total hidrokarbon aromatik biasanya dalam kisaran 0,2 - 7,4 %.

Minyak mentah di laut mengalami berbagai proses seperti berikut : minyak mentah mengalami pelarutan pada 0 - 1 jam, mengalami penyebaran pada 1 jam - 1 hari, dan mengalami

emulsi pada 10 jam - 100 jam, serta mengalami sedimentasi pada 1 hari - 100 jam (Clark, 1986).



Gambar 1. Contoh Struktur Beberapa Komponen Umum Minyak Mentah.
Sumber : Miller, G.J. and D.W. Connell (1982)
dalam Connell and Miller (1995)

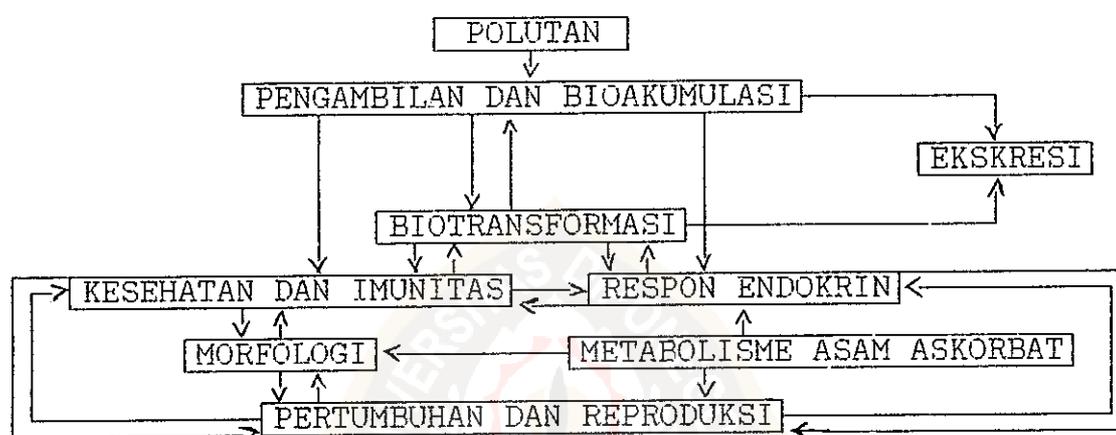
B.2. Toksisitas Minyak Mentah

Toksisitas didefinisikan sebagai pengaruh daya racun suatu bahan kimia, xenobiotik dan bahan-bahan lainnya terhadap organisme secara kualitatif atau kuantitatif (Wardojo, 1977).

Suatu bahan dapat digolongkan sebagai polutan atau kontaminan, sangat tergantung pada penurunan fungsi dari perairan tersebut (Moriarty, 1988). Selanjutnya dikatakan bahwa suatu bahan dapat digolongkan sebagai polutan jika keberadaannya di lingkungan, sebagai akibat langsung atau tidak langsung aktivitas manusia, menurunkan fungsi perairan terhadap organisme penghuninya. Tetapi jika keberadaannya tidak menurunkan fungsi dari perairan maka bahan tersebut dikategorikan sebagai kontaminan.

Pengaruh keracunan dapat berupa efek letal (kematian) dan subletal seperti gangguan pertumbuhan, perkembangan, reproduksi, respon, pathology, biokimia, fisiologi dan tingkah laku (Wardojo, 1977).

Suatu polutan yang masuk ke ekosistem perairan akan mengalami berbagai proses biologi seperti digambarkan Giam *et al.* (1981).



Gambar 2. Interaksi antara Polutan dengan Proses Biologi
Sumber : Giam *et al* (1981)

Polutan yang masuk ke lingkungan akan diambil oleh organisme dan selanjutnya mengalami bioakumulasi, biotransformasi dan ekskresi. Hal ini akan mengakibatkan perubahan pada respon endokrin yang berperan dalam pertumbuhan dan reproduksi. Disamping itu juga mengakibatkan metabolisme asam askorbat dalam leukosit berkurang, sehingga mempengaruhi kesehatan dan imunitas. Dalam waktu lama dapat merubah struktur jaringan (Giam *et al.*, 1981).

Minyak mentah terutama senyawa hidrokarbon yang mempunyai berat molekul kecil, bersifat lebih toksik daripada senyawa hidrokarbon yang mempunyai berat molekul

besar. Selanjutnya disebutkan oleh Suharsono (1980) bahwa senyawa aromatik seperti benzen, toluen, dan xylene akan mengakibatkan kerusakan akut, sedangkan rantai polisiklis akan menyebabkan kerusakan kronis yang diakibatkan oleh lambannya penetrasi senyawa tersebut ke membran plasma.

Senyawa PAH (Polisiklik Aromatik Hidrokarbon) yang diketahui bersifat karsinogen, merupakan senyawa yang resisten terhadap serangan bakteri dan diekskresikan dengan lambat oleh organisme penerima polutan (Clark, 1986).

Bahan-bahan toksik yang terdapat dalam berbagai jenis limbah dan memasuki ekosistem laut, akan mengalami biotransformasi pada organ-organ target, khususnya pada tingkat selular yang dikenal dengan toksifikasi. Biotransformasi tersebut sangat efektif untuk menurunkan maupun sebaliknya meningkatkan derajat toksisitas. Biotransformasi didukung berbagai jenis aktivitas enzim (Lumbanbatu dan Naulita, 1995). Selanjutnya menurut Lee (1981) dalam Capuzzo (1987) bahwa hidrokarbon akan mengalami biotransformasi dalam retikulum endoplasma.

Beberapa metabolit polar seperti ikatan jenuh dan tak jenuh dari rantai karbon, melalui proses oksidasi, akan bergabung dengan gula, sulfat, atau glutathionin dan akan dikeluarkan melalui urine atau feces (Giam, *et al*, 1981).

Hasil dari metabolit sekunder seperti 3-hidroksibenzo (a) pyrene, seperti yang disebutkan oleh Neff and Anderson (1981) bahwa bahan tersebut dapat mengalami reaksi lebih lanjut dengan konsekuensi produk metabolit akan lebih

toksik. Hal ini, sesuai pernyataan Steguman (1985) dalam Capuzzo (1987) bahwa di dalam tubuh, hasil metabolisme oksidasi PAH akan membentuk ikatan kovalen dengan makromolekul seperti DNA, RNA, atau protein, dan memberikan efek yang lebih toksik dan mutagenik.

C. DAYA RACUN LETAL dan SUBLETAL

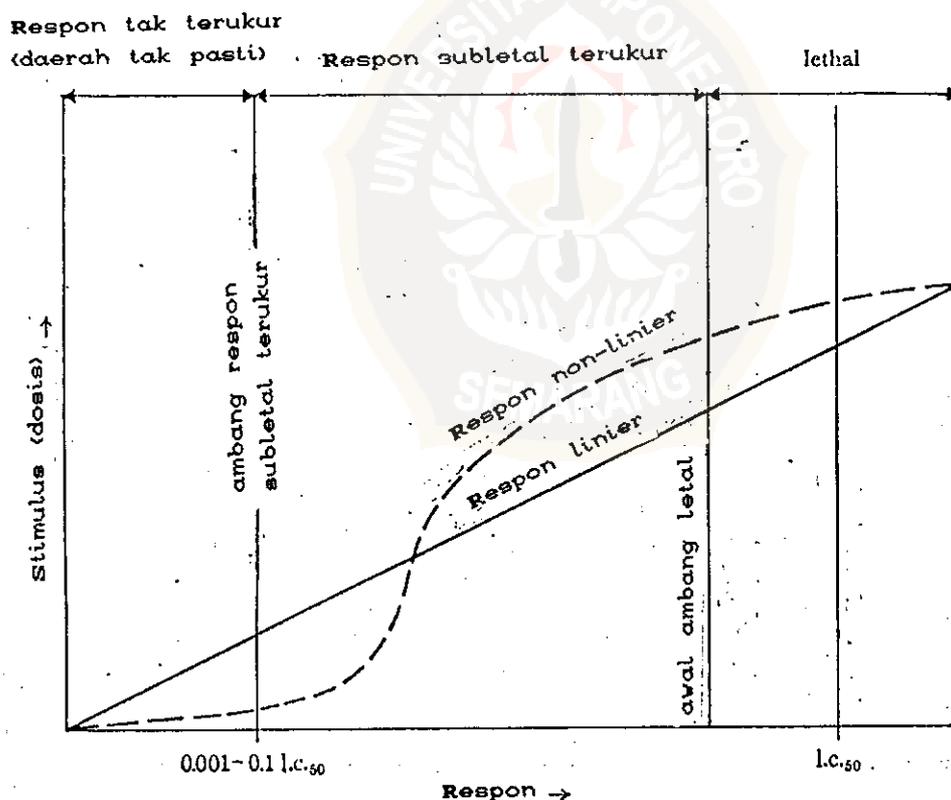
Hutabarat (1992) menyatakan bahwa toksisitas (daya racun) adalah sifat dari suatu bahan kimia yang umumnya berkaitan dengan potensinya untuk memberikan pengaruh berbahaya terhadap organisme hidup. Sedangkan Metelev, *et al* (1983) menyatakan bahwa daya racun adalah kemampuan molekul suatu bahan atau suatu senyawa kimia untuk menimbulkan kerusakan pada saat mengenai bagian tubuh, baik organ dalam ataupun bagian permukaan yang peka terhadapnya. Selanjutnya dinyatakan bahwa toksisitas suatu substansi dapat diekspresikan dalam konsentrasi yang menyebabkan kematian 50% organisme perairan.

Pengaruh bahan beracun terhadap organisme uji dapat letal (akut) ataupun subletal. Pengaruh letal terjadi dengan cepat dan fatal, sehingga menyebabkan kematian organisme tersebut. Untuk menentukan toksisitas dari bahan kimia beracun terhadap organisme air, maka digunakan uji toksisitas (toksisitas akut) untuk menetapkan atau mengestimasi konsentrasi medium letal (LC_{50}) dari bahan kimia tersebut. Selanjutnya menurut Hutabarat (1992) LC_{50} adalah konsentrasi bahan kimia yang diestimasi akan

mengakibatkan kematian 50% populasi hewan uji selama waktu pendedahan tertentu (24 - 96 jam), tergantung spesies uji.

Pengaruh kronis terjadi setelah waktu pendedahan yang lama dengan dosis yang rendah. Dapat juga berlangsung lama, terus menerus dan berlanjut setelah waktu pendedahan yang pendek dari bahan beracun tersebut. Pada keracunan kronis dapat terjadi gangguan-gangguan pada pertumbuhan, perkembangan, reproduksi, respon farmakokinetik, patologi, biokimia, fisiologi dan tingkah laku (Hutabarat, 1992).

Waldichuk (1979) memberikan gambaran mengenai batasan respon subletal yang terukur, seperti pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3. Kurva Hubungan Konsentrasi Polutan Terhadap Respon Organisme Laut

Sumber : Waldichuk (1979)

Nitisuparjo, *dkk* (1992) memberikan gambaran mengenai besarnya nilai konsentrasi subletal yaitu setengah dari nilai LC_{50} . Penentuan konsentrasi subletal ini didasarkan atas suatu prinsip bahwa hewan uji masih dapat hidup selama pengujian berlangsung. Namun demikian, walaupun sampai akhir pengujian tersebut hewan uji tidak mengalami kematian akan tetapi secara fisiologis telah mendapat gangguan akibat konsentrasi subletal media pengujian tersebut.

D. Kerang Hijau (*Perna viridis*)

D.1. Taksonomi Kerang Hijau

Menurut Vakily (1989) kerang hijau (*Perna viridis*) diklasifikasikan dalam :

"Kingdom" : Invertebrata

Filum : Molusca

Kelas : Bivalvia, Pelecypoda

Subkelas : Filibranchia

Ordo : Protobranchia

Subordo : Anisomyaria

Famili : Mytilidae

Genus : *Perna*

Spesies : *Perna viridis* L.

Kerang hijau yang dijumpai di perairan pantai Indonesia, sering dianggap masuk genera *Mytilus* dan diberi nama ilmiah *Mytilus viridis* (Asikin, 1982). Namun Vakily (1989) atas dasar otot refraktor dan otot adduktor yang

dimiliki. memasukkan kerang hijau ke dalam genera *Perna* dan diberi nama ilmiah *Perna viridis*.

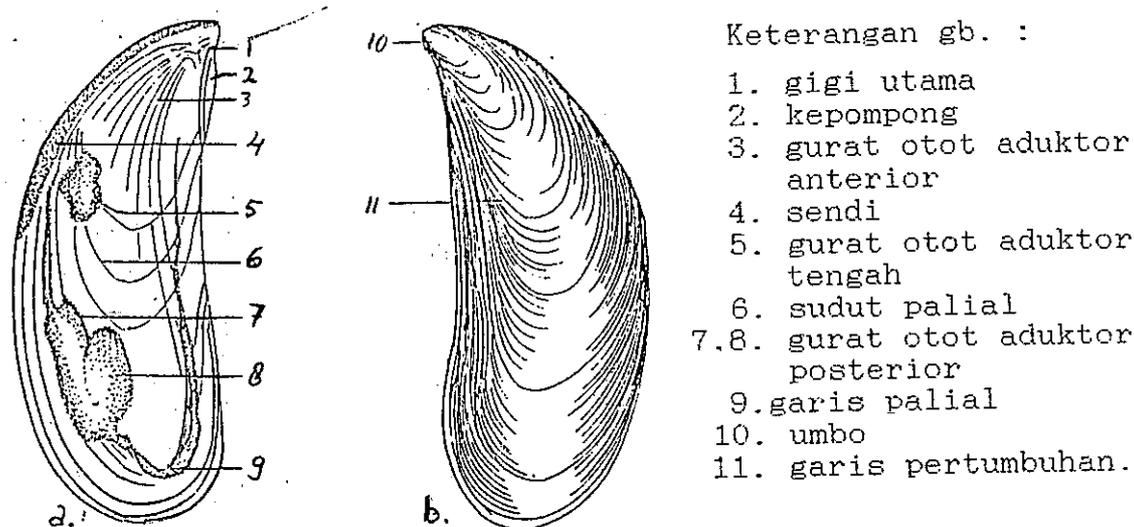
D.2. Morfologi dan Anatomi Kerang Hijau

Anggota famili Mytilidae mempunyai cangkang yang tipis, kedua cangkangnya simetris bilateral, dan umbonya melengkung ke depan. Persendiannya halus dengan beberapa gigi yang sangat kecil. Otot adductor di bagian anterior kecil atau tidak ada (Abbot, 1974 dalam Suwignyo, dkk, 1984).

Menurut Barnes (1974), kerang hijau mempunyai bentuk cangkang segitiga lonjong, garis-garis pertumbuhan pada cangkang bagian luar sangat jelas, dan mempunyai serabut byssus yang kuat untuk menempel.

Vakily (1989) mengatakan bahwa kerang hijau berwarna hijau mengkilap dan waktu stadia juvenil warna yang dominan adalah hijau biru, sedangkan apabila telah dewasa, cangkang bagian luar berwarna coklat dan hijau menyala pada pinggir ventralnya, semakin tua warna hijaunya semakin terdesak ke arah tepi cangkang. Ada garis-garis lengkung mengikuti pinggiran cangkang yang disebut garis pertumbuhan. Sedangkan cangkang bagian dalam halus dan berwarna putih mengkilap seperti unsur warna pelangi (Asikin, 1982).

Menurut Asikin (1982) tubuh kerang hijau terbagi atas tiga bagian utama, yaitu bagian kaki, mantel dan bagian tubuh yang sebenarnya (visceral mass).

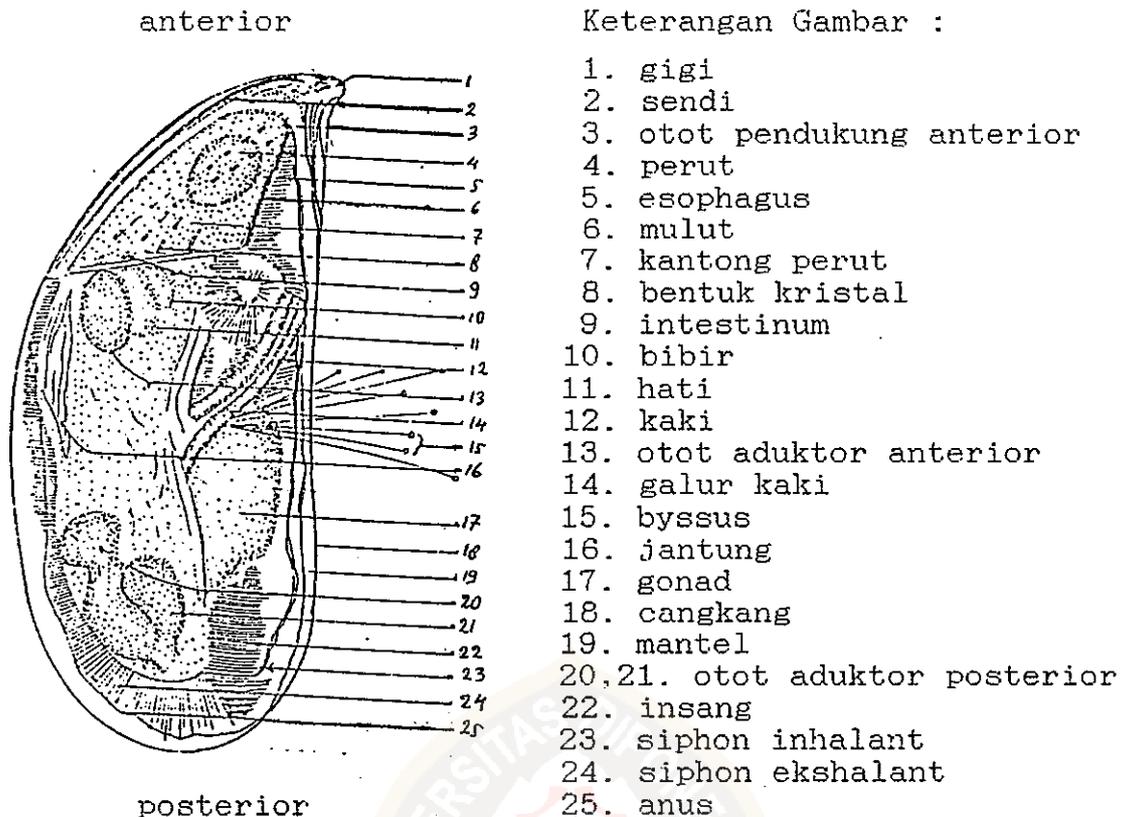


Gambar 4. Morfologi Kerang Hijau (*Perna viridis*)
Sumber : Asikin (1982)

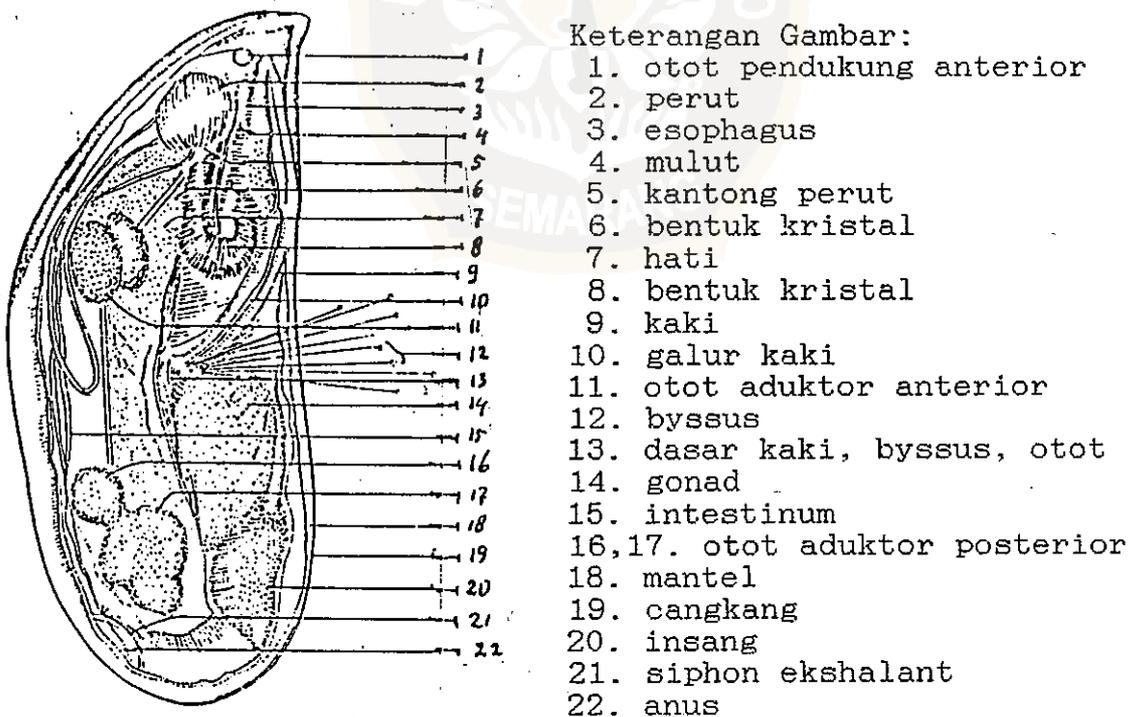
Gb.4a cangkang bagian dalam
Gb.4b cangkang bagian luar

Kaki kerang dapat bergerak memanjang dan memendek. berbentuk seperti lidah dan terletak di bagian depan atas di antara insang dan bibirnya. Fungsinya sebagai organ untuk bergerak dan merayap. Di bagian bawahnya terdapat suatu alat seperti serabut, yang disebut byssus untuk melekatkan dirinya pada substrat. Keistimewaan dari byssus adalah cepat tumbuh lagi apabila terpotong (Asikin, 1982).

Pada bagian luar tubuh terdapat dua pasang insang, sepasang di sebelah kiri dan sepasang di sebelah kanan. Sedangkan pada bagian tubuh sebelah dalam terdapat sistem pencernaan yang terdiri dari mulut yang diapit oleh dua bibir, kemudian diikuti oesophagus, lambung, usus, rektum dan yang paling ujung adalah anus atau dubur sebagai lubang pengeluaran feces. Pada tubuh sebelah dalam terdapat pula organ jantung, gonad, hati, aorta, dan otot penutup serta otot penarik yang bekerja berlawanan dengan engsel



Gambar 5. Susunan Anatomi Internal Kerang Hijau



Gambar 6. Sistem Pencernaan Kerang Hijau

Sumber : Anonim (1986)

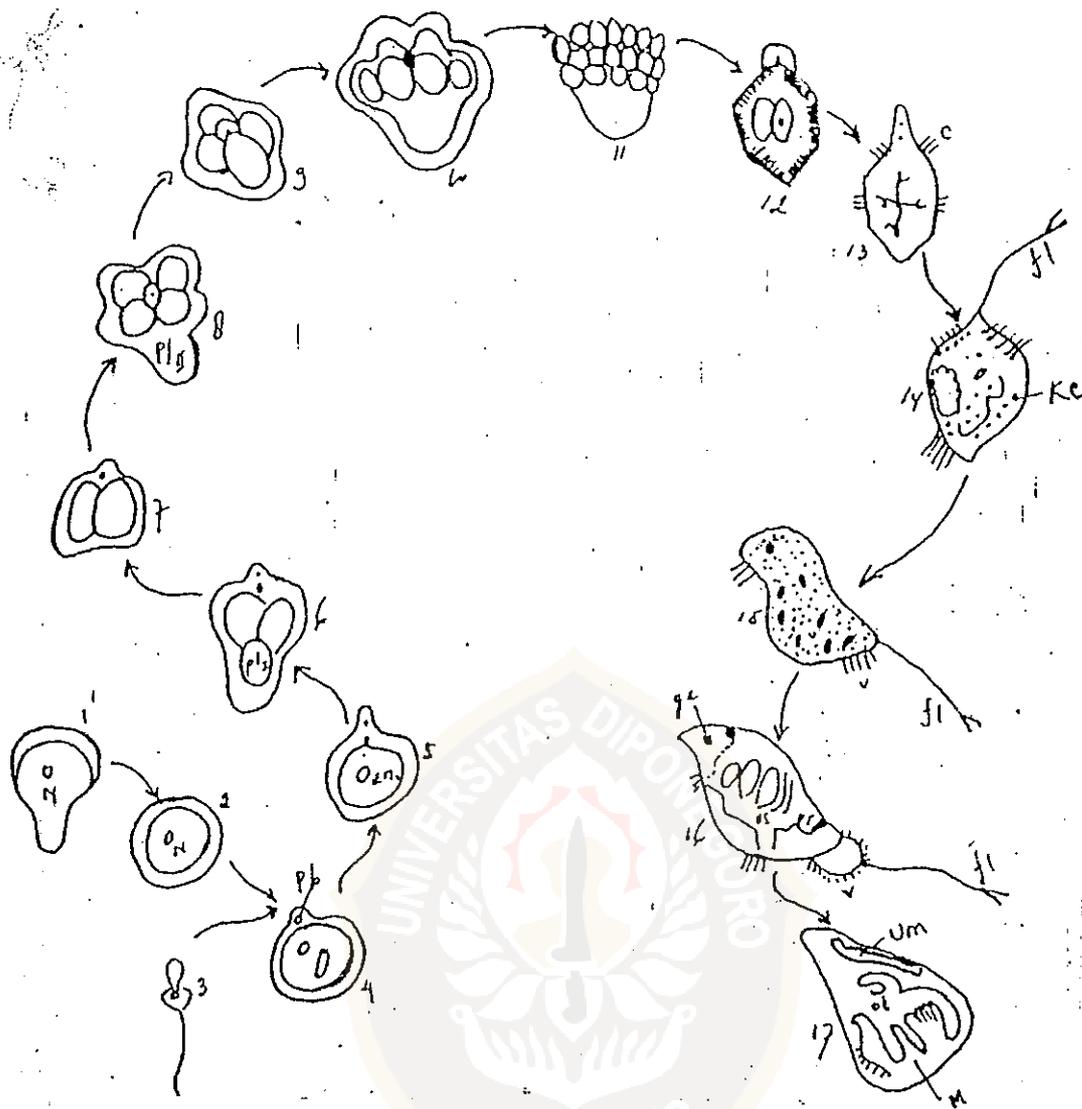
(ligament) sebagai organ pembuka cangkang. Otot penarik berfungsi sebagai penarik kaki ke dalam tubuh (Asikin, 1982).

D.3. Reproduksi dan Siklus Hidup Kerang Hijau

Alat kelamin kerang hijau pada umumnya terpisah atau disebut *dioecious*, dimana dalam satu individu hanya ada organ reproduksi jantan atau betina saja. Namun kadang-kadang dijumpai juga kerang hijau *hermaprodit*, dimana dalam satu individu terdapat dua organ reproduksi, jantan dan betina (Asikin, 1982).

Siklus hidup kerang hijau sangat kompleks, dengan melalui telur, stadia burayak dan stadium spat, kerang muda dan menjadi kerang hijau matang gonad. Telur-telur dan sperma-sperma yang berjumlah banyak dan bersifat mikroskopis dihamburkan oleh kerang-kerang hijau dewasa, melayang-layang di atas dasar laut untuk mencari pasangannya. Apabila beruntung sperma akan bertemu telur sehingga terjadi pembuahan (Asikin, 1982). Secara lebih jelas siklus hidup kerang hijau dapat dilihat pada Gambar 7.

Fase akhir larva adalah apabila tubuh yang lunak tertutup oleh cangkang, yang ditandai dengan adanya velum yang bercilia kuat, dan fase ini disebut veliger. Fase veliger berlangsung antara jam ke 16-19 setelah pembuahan. Pada hari ke 8 otot kaki mulai berfungsi untuk merayap, yang disebut pediveliger/veliconcha. Tahap ini merupakan tahap



Gambar 7. Siklus Hidup Kerang Hijau

Sumber : Asikin (1982)

Keterangan : 1 Telur yang masih dalam kandungan induknya, 2 Telur sesudah dikeluarkan induknya, 3 spermata, 4-11 Perkembangan telur sesudah dibuahi: 4-5 telur yang baru dibuahi, 6 Stadium troofil, 7 Stadium dua sel, 8-9 Stadium 4 sel, 10 Stadium 8 sel, 11 Stadium morula, 12-17 Perkembangan burayak; 12 blastula, 13 gastrula, 14 trochophore, 15-17 veliger, (N=nucleus, pn=pronucleus, pb=polarbody, zn=nucleus zygote, pl=polar lobe, c=cilia, fl=flagel, pr=perut, kc=kelenjar cangkang, v=velum, ge=gigi engsel, us=usus, m=mulut, um=umbo, ot=otot daging penutup.

akhir dari metamorfosa. kemudian memasuki stadium spat (Suwignyo *dkk*, 1984).

Pada stadium spat (anak kerang yang sudah bercangkang). kerang hijau dilengkapi kaki dan 'byssus'. Dengan bantuan kaki, kerang hijau ini merayap untuk mencari tempat menempel yang diinginkan. Pada tempat menempel inilah kerang hijau muda menantikan lewatnya makanan alami (phytoplankton) yang disukai. Kerang hijau matang gonad dan mulai memijah pada 2-3 bulan setelah menempel (Asikin, 1982).

Menurut Nirnama (1984) anak kerang hijau (spat) yang telah dilengkapi kaki dan byssus akan hidup melayang-layang di perairan (planktonis) selama lebih kurang dua minggu, kemudian akan mencari substrat yang cocok untuk menempel dan tumbuh menjadi kerang dewasa.

Untuk usaha budidaya, penangkapan benih berupa spat, dengan menggunakan jebakan berupa tali atau bahan kayu (galah atau tongkat bambu). Tali yang terbuat dari serat alami telah dibuktikan sangat berhasil dalam menangkap anak kerang (Tortell, 1976 dalam Vakily, 1989).

D.4. Habitat dan Kebiasaan Makan Kerang Hijau

Habitat kerang hijau belum diketemukan secara merata di seluruh perairan Indonesia, akan tetapi karakteristik perairan yang sesuai bagi kebutuhan hidupnya, antara lain : temperatur perairan dengan variasi antara 27° - 37° C, kadar garam antara 27 - 34 permil, pH antara 6 - 8, kecerahan air

laut antara 3,5 - 4,0 meter, arus dan angin tidak terlalu kuat (Asikin, 1982)

Menurut Kastoro (1981), kerang hijau hidup subur pada muara-muara sungai dan hutan-hutan bakau, dengan kondisi lingkungan yang dasar perairannya lumpur bercampur pasir, cahaya dan pergerakan air cukup dengan kadar garam tidak terlalu tinggi. Kerang hijau senang menempel pada substrat berserabut, substrat yang kasar, serta substrat yang terlebih dulu ditempati oleh alga filamen dan hidrozoid, seperti yang dikatakan oleh Milne (1972), Choo (1976) dalam Wasilun (1983).

Keberadaan pakan yang kontinyu merupakan salah satu faktor yang menunjang kehidupan kerang hijau, baik di alam maupun di hatchery. Makanan kerang hijau terdiri dari jasad renik terutama plankton, bakteri, jamur, flagellata, zat organik terlarut (DOM) dan bahan-bahan organik lain (Kastoro, 1981).

E. Pertumbuhan Sebagai Parameter Efek Subletal

Pertumbuhan diukur sebagai peningkatan ukuran tubuh, berat atau volume. Pertumbuhan yang dihubungkan dengan waktu disebut pertumbuhan absolut, sedangkan persentase pertumbuhan tiap unit waktu disebut pertumbuhan relatif (Bayne, 1976).

Huet (1972) menyatakan bahwa pertumbuhan dipengaruhi oleh faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal

meliputi keturunan, kecepatan tumbuh, kemampuan untuk memanfaatkan makanan, daya tahan terhadap penyakit. Faktor eksternal meliputi temperatur, jumlah makanan, komposisi kimia air, dan ruang gerak. Pertumbuhan akan terjadi apabila energi dari makanan yang dimakan melebihi yang diperlukan untuk mempertahankan hidupnya.

Fluktuasi pertumbuhan rata-rata kerang-kerangan merupakan hasil kombinasi efek dari sejumlah faktor lingkungan seperti temperatur air, ketersediaan makanan, kepadatan, pasang surut dan polusi. Karena kompleksnya pengaruh lingkungan, maka sulit untuk menentukan secara pasti hubungan antara pertumbuhan dan faktor lingkungan (Wilbur and Owen, 1964 dalam Vakily, 1989).

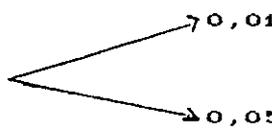
Pertumbuhan kerang hijau pada umumnya dihitung sebagai pertambahan panjang. Panjang disini, yaitu jarak terpanjang antara ujung anterior dan ujung posterior dari cangkang kerang tersebut. Pertambahan berat lebih baik untuk menggambarkan pertumbuhan, tetapi rekaman data panjang umumnya lebih mudah dan mengurangi stress pada hewan uji (Vakily, 1989). Hasil penelitian Asikin (1982) menunjukkan kecepatan tumbuh cangkang kerang hijau berkisar antara 0,7 - 1,1 cm tiap bulan. Sedangkan di India, pertumbuhan rata-rata *Perna viridis* tercatat sebesar 5 mm tiap bulan (Vakily, 1989).

III. HIPOTESIS

H_1 : Konsentrasi subletal minyak mentah berpengaruh terhadap pertumbuhan kerang hijau.

H_0 : Konsentrasi subletal minyak mentah tidak berpengaruh terhadap pertumbuhan kerang hijau.

Kriteria pengambilan dari hipotesis tersebut adalah:

$F_{hit.} \leq F_{tab.}$  $0,01$
 $0,05$ terima H_0 , tolak H_1

$F_{hit.} \geq F_{tab.}$  $0,01$
 $0,05$ terima H_1 , tolak H_0



IV. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

A.1. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pengembangan Wilayah Pantai (LPWP), Universitas Diponegoro, Jepara.

A.2. Waktu Penelitian

Februari - April 1997.

B. Bahan dan Alat Penelitian

B.1. Bahan Penelitian

Media yang digunakan pada penelitian ini adalah air laut yang telah disaring dengan "sand filter" dan kain penyaring. Hewan uji yang digunakan adalah kerang hijau dengan panjang cangkang antara 10 - 15 mm, yang diperoleh dari Pantai Pulau Mandalikan, Jepara. Hewan uji diberi pakan phytoplankton biakan murni berupa *Skeletonema* sp dan *Chlorella* sp. Sedangkan minyak mentah diperoleh dari Unit Pengolahan IV Pertamina, Cilacap. Adapun bahan yang digunakan untuk mengukur oksigen terlarut meliputi asam sulfonat, $MnSO_4$, $NaOH + KI$, H_2SO_4 , amylum, pereaksi oksigen. Kertas pH universal digunakan untuk mengukur pH media.

B.2. Alat Penelitian

Alat yang digunakan untuk memperoleh data utama meliputi: penggaris mika untuk mengukur panjang cangkang, dan timbangan Sartorius untuk mengukur berat total hewan

uji. Sedangkan alat yang digunakan untuk memperoleh data sekunder, meliputi: thermometer, refrakto-salinometer, labu erlenmeyer, botol DO, dan tabung buret. Selain alat-alat tersebut, dalam penelitian ini juga digunakan alat-alat bantu yang meliputi: pipet, gelas beker, stirer magnet, ember plastik, batu aerasi, selang, regulator, strimin plastik dan mikroskop.

C. Cara Kerja

C.1. Tahap Aklimasi

Tahap ini dilaksanakan selama tujuh hari, dengan pemberian pakan berupa phytoplankton. Pergantian media dilakukan tiap 48 jam, dengan aerasi secara terus menerus. Apabila sampai akhir masa aklimasi kematian tidak mencapai 10 %, maka satu hari sebelum uji dilakukan hewan uji dipuaskan (Komisi Pestisida, 1983).

C.2. Tahap Uji Pendahuluan

Tahap ini dilakukan untuk mendapatkan nilai ambang bawah, yaitu konsentrasi tertinggi dimana hewan uji masih hidup selama waktu pendedahan 48 jam (LC_{50} - 48 jam) dan nilai ambang atas, yaitu konsentrasi terendah dimana hewan uji mati selama waktu pendedahan 24 jam (LC_{100} - 24 jam). Pengujian dilakukan pada konsentrasi yang berbeda dengan deretan angka secara geometris dengan basis 10 (Komisi Pestisida, 1983). Konsentrasi yang diperlakukan di sini adalah 10^1 , 10^2 , 10^3 , 10^4 , 10^5 ppm, dengan 1 kontrol (media tanpa pemberian minyak), masing-masing diulang 3

kali. Hewan uji yang digunakan adalah 10 ekor tiap ember (kepadatan 2 ekor tiap liter). Jumlah kematian dicatat selama pengamatan. Adapun ciri kerang hijau yang mati, adalah cangkangnya membuka. Uji pendahuluan berakhir, setelah 48 jam.

Adapun cara pembuatan konsentrasi minyak pada perlakuan dilakukan pengenceran bertingkat. Minyak dengan volume tertentu (ml) dicampur dengan air laut yang telah disaring, sehingga didapatkan volume total 1 liter. Selanjutnya minyak dan air laut dicampur dengan menggunakan "stirer magnet" selama 15 menit. Setelah itu, diambil volume tertentu dari campuran tersebut untuk diencerkan sesuai dengan konsentrasi yang diperlukan.

C.3. Tahap Uji Utama

Uji utama yang dilakukan, menggunakan perlakuan konsentrasi minyak mentah yang dapat diperoleh dengan rumus:

$$\log \frac{N}{n} = k \left(\log \frac{a}{n} \right) \quad \text{dimana :}$$

N = nilai konsentrasi ambang atas

n = nilai konsentrasi ambang bawah

a = nilai konsentrasi terkecil yang digunakan dalam tahap ini.

k = jumlah konsentrasi yang diujikan

(Komisi Pestisida, 1983)

Setelah didapat nilai a, konsentrasi selanjutnya dihitung dengan rumus :

$$\frac{a}{n} = \frac{b}{a} = \frac{c}{b} = \frac{d}{c} = \frac{e}{d} = \frac{f}{e} = \frac{g}{f}$$

Ketujuh konsentrasi yang didapat, diperlakukan pada hewan uji pada masing-masing ember. Pada kontrol, media uji tidak diberi minyak mentah. Baik pada kontrol maupun pada perlakuan, masing-masing diulang 3 kali, dengan lama pendedahan 96 jam. Pengamatan mortalitas hewan uji dilakukan tiap pagi, siang dan sore, dan hewan uji yang mati dipisah.

Penentuan nilai LC_{50} - 96 jam menggunakan analisa probit dari Hubert (1979), dimana hubungan logaritma dari konsentrasi bahan uji dengan nilai probit dari persentase mortalitas hewan uji merupakan fungsi linear :

$$Y = a + bX$$

Nilai LC_{50} - 96 jam diperoleh dari nilai antilog "m", dimana "m" merupakan nilai X pada persamaan linear di atas, dengan $Y =$ nilai probit mortalitas 50 % (=5).

C.4. Tahap Uji Pertumbuhan

Pada tahap ini konsentrasi minyak mentah yang dipakai adalah konsentrasi subletal. Konsentrasi subletal diperoleh dari separuh konsentrasi median letal LC_{50} - 96 jam. Konsentrasi minyak yang diperlakukan pada uji pertumbuhan adalah 10% (A), 20% (B), 30% (C), 40% (D), dan 50% (E) dari konsentrasi subletal. Baik pada kontrol (K) maupun perlakuan, masing-masing diulang 3 kali, dengan lama pendedahan 30 hari.

Selama pendedahan, media uji tidak diganti (biostatis). Kelebihan biostatis ini adalah konsentrasi bahan uji dapat dikontrol dengan tepat dan teliti (Hubert, 1979). Parameter

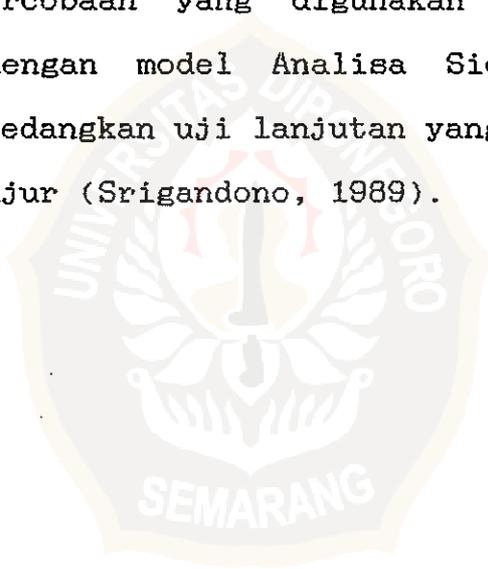
pertumbuhan yang diamati adalah penambahan panjang cangkang dan penambahan berat kerang hijau, setelah perlakuan 30 hari.

D. Parameter Lain yang Diamati

Parameter fisik, kimia yang diamati berupa : suhu, pH, dan salinitas, diamati tiap hari. Adapun oksigen terlarut (DO) diamati satu minggu sekali, dengan metode titrasi modifikasi Winkler.

E. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap, dengan model Analisa Sidik Ragam dengan ketelitian 95%. Sedangkan uji lanjutan yang dipakai adalah Uji Beda Nyata Jujur (Srigandono, 1989).



V. H A S I L

A. Uji Pendahuluan

Pada uji pendahuluan, didapatkan nilai konsentrasi ambang bawah (LC_0 - 48 jam) minyak mentah terhadap kerang hijau (*Perna viridis*) sebesar 10^2 ppm dan nilai konsentrasi ambang atas (LC_{100} - 24 jam) minyak mentah terhadap kerang hijau (*Perna viridis*) adalah sebesar 10^4 ppm (seperti tercantum pada lampiran 01).

B. Uji Utama

Konsentrasi yang dapat mematikan 50% populasi hewan uji selama waktu pendedahan 96 jam adalah sebesar 2.528,603 ppm. Hasil perhitungan tercantum pada lampiran 03.

C. Pertambahan Panjang Cangkang Kerang Hijau

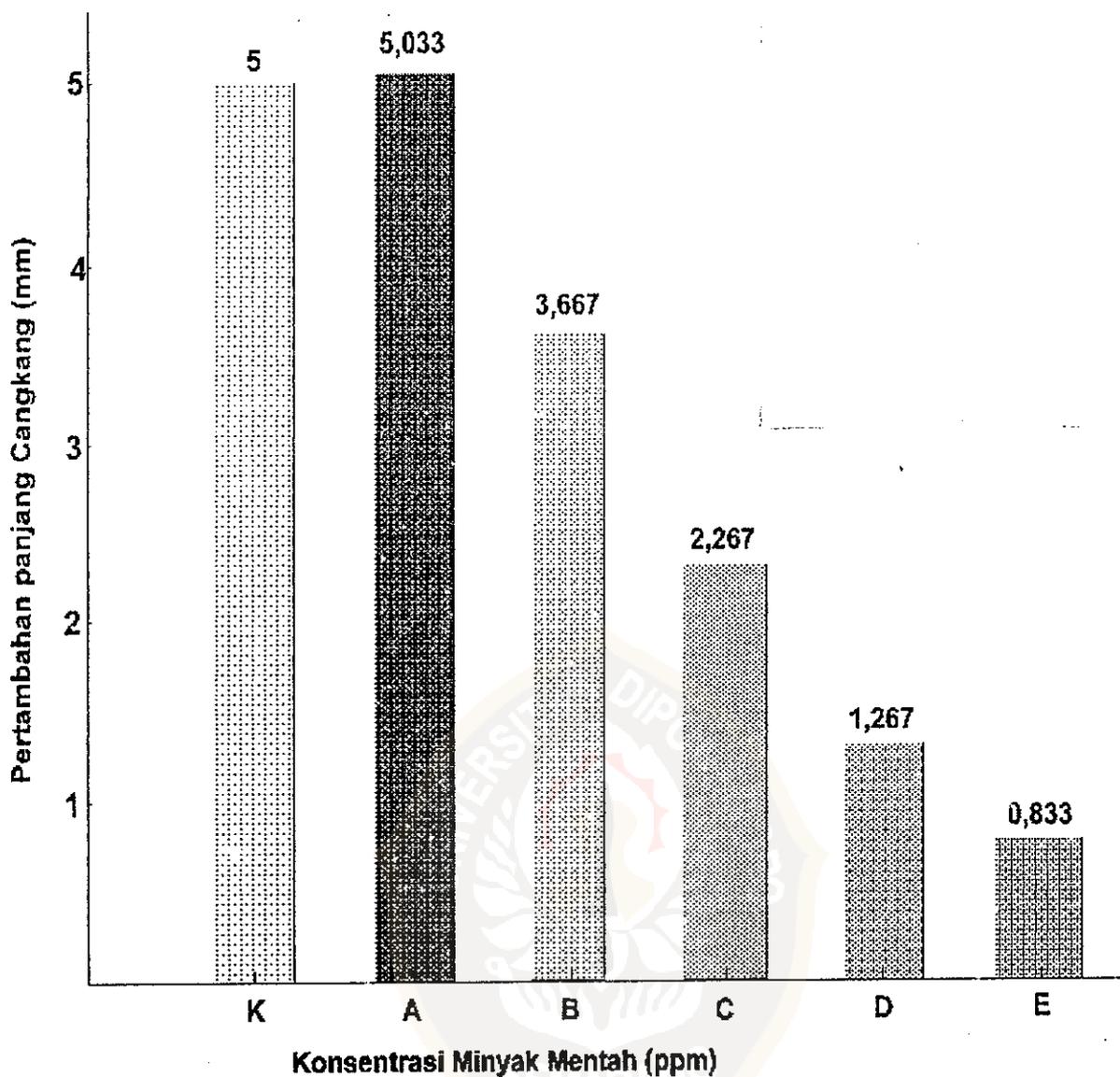
Hasil uji pengaruh konsentrasi subletal minyak mentah terhadap pertumbuhan rata-rata kerang hijau dihasilkan data pertambahan panjang cangkang bervariasi antara 0,833 - 5,033 mm yang didedah selama 30 hari, seperti yang tercantum pada Tabel 1. Hasil analisis data dengan Analisa Sidik Ragam dan uji lanjut dengan Uji Beda Nyata Jujur diketahui bahwa konsentrasi subletal minyak mentah berpengaruh terhadap pertambahan panjang cangkang kerang hijau.

Tabel 1. Pertambahan Rata-rata Panjang Cangkang Kerang Hijau Setelah Waktu Dedah Selama 30 Hari

Konsentrasi	K	A	B	C	D	E
Panjang (mm)	5 ^e	5,033 ^{ef}	3,667 ^d	2,267 ^c	1,267 ^{ab}	0,833 ^a

Keterangan : Angka yang diikuti huruf superscrif yang sama berarti tidak berbeda nyata. Angka-angka yang diikuti huruf superscrif yang berbeda berarti berbeda nyata pada taraf uji 5%.

Rata-rata pertambahan panjang cangkang terbesar, seperti terlihat pada Tabel 1 dan Gambar 07, terjadi pada perlakuan konsentrasi minyak terendah, 126,43 ppm (A) mencapai 5,033 mm dalam 30 hari. Pertambahan panjang terkecil pada perlakuan E, hanya 0,833 mm dalam 30 hari, dengan pemberian konsentrasi minyak terbesar (632,15 ppm). Untuk masing-masing perlakuan, pertambahan panjang cangkang terlihat berbeda nyata, kecuali untuk perlakuan D dan E. Sementara dari perbandingan antara perlakuan dengan kontrol menunjukkan bahwa hampir semua taraf perlakuan menunjukkan perbedaan nyata dengan kontrol. Pengecualian terjadi pada perlakuan A, dimana tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dengan kontrol.



Gambar 7. Grafik pengaruh konsentrasi minyak mentah terhadap pertambahan panjang cangkang kerang hijau

Keterangan :

K : 0 ppm

A : 126,43 ppm

B : 252,86 ppm

C : 379,29 ppm

D : 505,72 ppm

E : 632,15 ppm

D. Pertambahan Berat Total Kerang Hijau

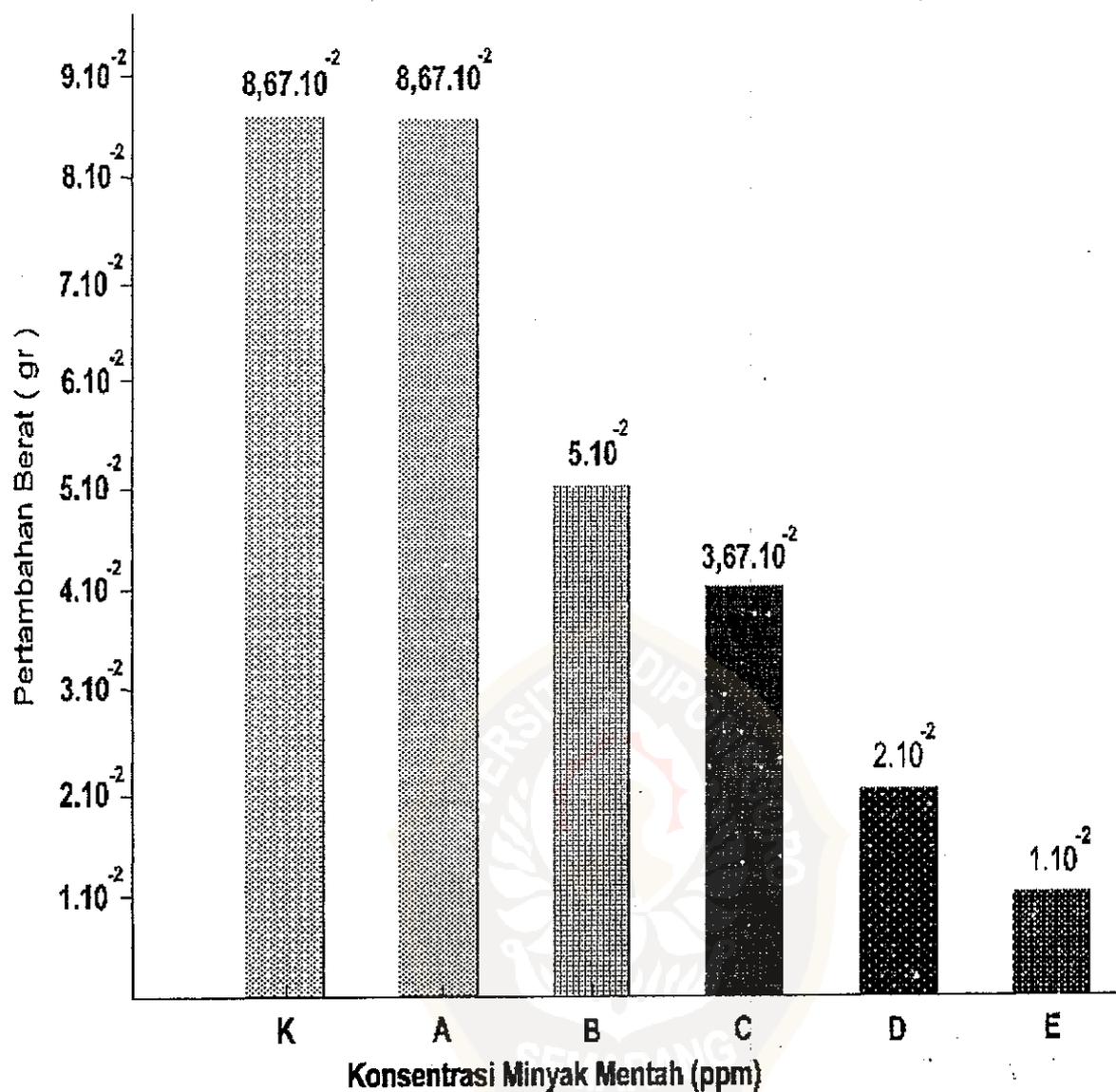
Dari hasil pengujian pengaruh konsentrasi subletal minyak mentah terhadap pertumbuhan kerang hijau didapatkan data pertambahan berat total kerang hijau, yang dianalisis dengan Analisa Sidik Ragam dan uji lanjut dengan Uji Beda Nyata Jujur, diketahui bahwa ada pengaruh konsentrasi subletal minyak mentah terhadap pertambahan berat total kerang hijau.

Tabel 2. Pertambahan Rata-rata Berat Total Kerang Hijau Setelah Waktu Dedah 30 Hari

Konsentrasi	K	A	B	C	D	E
Berat Total (gr)	0,0867 ^{ef}	0,0867 ^e	0,05 ^{cd}	0,0367 ^{bc}	0,02 ^{ab}	0,01 ^a

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf superscrip yang sama berarti tidak berbeda nyata. Angka-angka yang diikuti huruf superscrip yang berbeda berarti berbeda nyata pada taraf uji 5%.

Berdasarkan Tabel 2. dan Gambar 08. di atas, dapat diketahui bahwa pertambahan berat total kerang hijau terbesar pada perlakuan A (126,43 ppm) dan kontrol (0 ppm), sedangkan pertambahan berat total terkecil pada perlakuan E (632,151 ppm). Antara masing-masing perlakuan konsentrasi minyak mentah tampak hasil pertambahan berat total berbeda nyata, kecuali antara pasangan perlakuan D dan E, perlakuan C dan D, perlakuan B dan C, dan antara perlakuan A dan kontrol.



Gambar . 8. Grafik pengaruh konsentrasi minyak mentah terhadap pertambahan berat total kerang hijau

Keterangan :

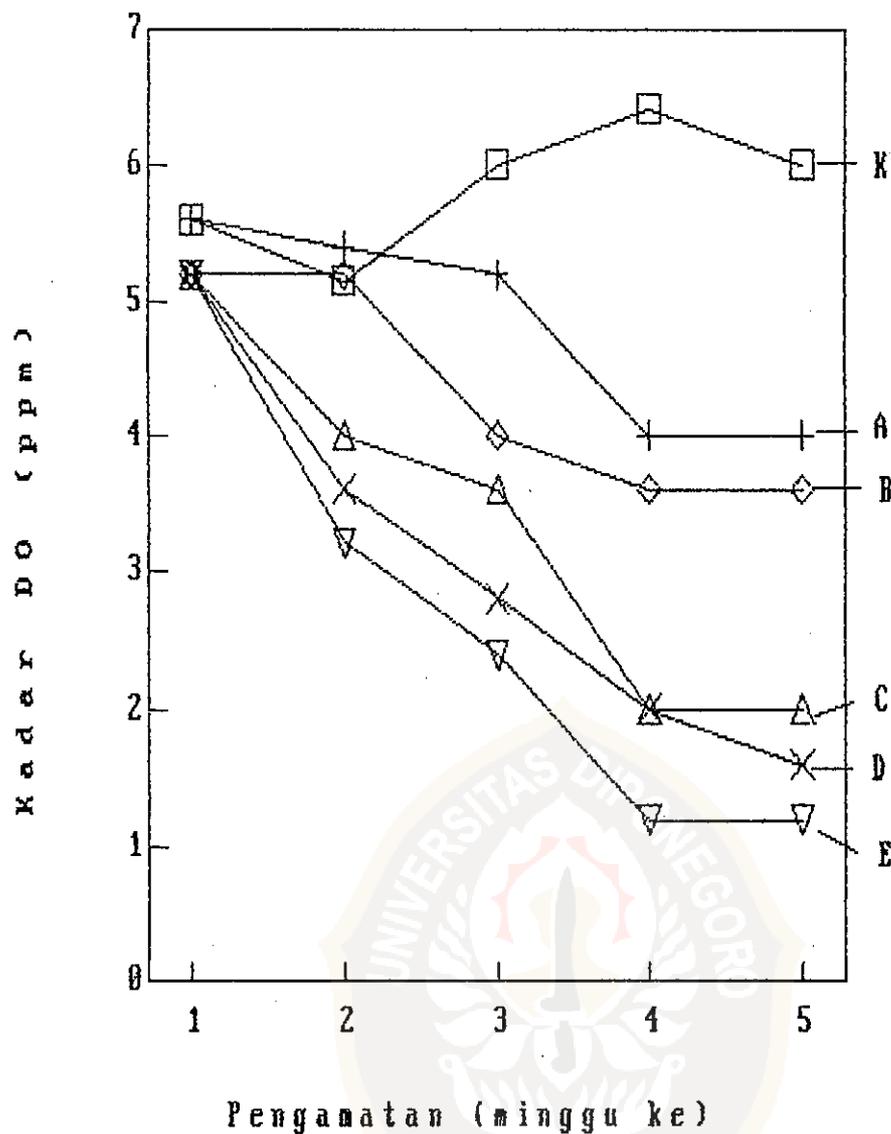
- K : 0 ppm Konsentrasi Minyak Mentah**
A : 126,43 ppm Konsentrasi Minyak Mentah
B : 252,86 ppm Konsentrasi Minyak Mentah
C : 379,29 ppm Konsentrasi Minyak Mentah
D : 505,72 ppm Konsentrasi Minyak Mentah
E : 632,15 ppm Konsentrasi Minyak Mentah

E. Parameter Kualitas Air

Parameter kualitas air yang diukur meliputi suhu, salinitas, pH, dan oksigen terlarut.

Tabel 3. Data Kualitas Air Rata-rata Pada Masing-masing Perlakuan

Parameter	Plk	Minggu ke				
		I	II	III	IV	V
Suhu ($^{\circ}$ C)	K	28,9	28,7	28,6	28,6	29,0
	A	28,9	28,3	28,4	28,7	29,0
	B	28,9	28,3	28,4	28,7	28,5
	C	28,7	28,6	28,6	29,0	28,0
	D	28,9	28,3	29,0	28,7	28,5
	E	28,6	28,4	28,9	28,4	28,0
Salinitas (‰)	K	28,3	31,4	34,0	34,0	34,0
	A	29,0	32,9	34,0	34,0	34,0
	B	29,1	32,6	34,0	34,0	34,0
	C	28,9	32,6	34,0	34,0	34,0
	D	30,0	33,0	34,0	34,0	34,0
	E	29,6	33,3	34,0	34,0	34,0
pH	K	7,0	7,1	7,3	7,1	7,0
	A	7,0	7,1	7,0	7,1	7,0
	B	7,0	7,4	7,0	7,0	7,0
	C	7,0	7,1	7,0	7,0	7,0
	D	7,0	7,3	6,7	6,4	6,0
	E	7,0	7,0	6,4	6,6	6,0
D O (ppm)	K	5,6	5,2	6,0	6,4	6,0
	A	5,6	5,4	5,2	4,0	4,0
	B	5,2	5,2	4,0	3,6	3,6
	C	5,2	4,0	3,6	2,0	2,0
	D	5,2	3,6	2,8	2,0	1,6
	E	5,2	3,2	2,4	1,2	1,2



Gambar 10. Fluktuasi Kadar DO Media Pada Berbagai Konsentrasi Minyak Mentah (Perlakuan) Selama 5 Periode (Minggu) Pengamatan

Keterangan :

- K : 0 ppm Konsentrasi Minyak Mentah
- A : 126.43 ppm Konsentrasi Minyak Mentah
- B : 252.86 ppm Konsentrasi Minyak Mentah
- C : 379.29 ppm Konsentrasi Minyak Mentah
- D : 505.72 ppm Konsentrasi Minyak Mentah
- E : 632.15 ppm Konsentrasi Minyak Mentah

VI. PEMBAHASAN

A. Mortalitas Kerang Hijau (*Perna viridis*)

Berdasarkan uji pendahuluan, didapatkan batas ambang atas 10^4 ppm dan batas ambang bawah 10^2 ppm. Kisaran konsentrasi minyak mentah ini relatif rendah, karena menurut Freeman (1974) dalam Wardoyo (1977), toksisitas minyak mentah segar untuk jenis kerang berkisar $10^4 - 10^5$ ppm. Kisaran konsentrasi minyak mentah pada uji pendahuluan ini, juga masih relatif rendah dari kisaran toksisitas minyak mentah pada *Anadara granosa* dewasa, yaitu berkisar antara $10^3 - 10^5$ ppm (Ekantono, 1994). Hal tersebut kemungkinan karena stadia dan ukuran organisme yang digunakan pada uji ini relatif lebih muda/kecil (stadia spat). Organisme yang relatif masih muda (belum matang gonad) lebih peka terhadap bahan kimia daripada organisme dewasa. Hal ini disebabkan oleh perbedaan tingkat perkembangan mekanisme detoksifikasi antara hewan muda dan dewasa, seperti yang dinyatakan oleh Hutabarat (1992), bahwa pada stadia muda organisme relatif lebih peka daripada organisme dewasa (matang gonad).

Selain ukuran organisme uji, Connell and Miller (1981) dalam Connell and Miller (1995) menyatakan bahwa perbedaan kisaran toksisitas minyak mentah juga disebabkan karena perbedaan asal dan proses penyulingan minyak mentah.

Pada uji utama, didapatkan nilai konsentrasi minyak mentah yang mematikan 50% populasi hewan uji selama waktu pendedahan 96 jam sebesar 2.528,603 ppm. Nilai ini lebih rendah dari nilai LC_{50} - 96 jam minyak mentah terhadap *Anadara granosa*, yaitu sebesar 2.736,592 ppm (Ekantono, 1994).

Kematian kerang hijau ini nampaknya dikarenakan insang terselubungi minyak, yang mengakibatkan pengambilan oksigen terlarut oleh insang terhambat. Menurut GESAMP (1977) dalam Connell and Miller (1995) bahwa hidrokarbon terlarut akan diabsorpsi oleh hewan akuatik melalui sistem pernafasan, jalur gastrointestinal dan permukaan luar. Di dalam tubuh, hidrokarbon umumnya tersimpan dalam jaringan yang kaya akan lemak. Sedangkan Lee (1976) dalam Capuzzo (1987) menyatakan bahwa insang merupakan tempat pengambilan utama, kemudian diakumulasi di dalam kulit, otot dan hati. Selain itu, pengendapan minyak pada jaringan *mucus* pada insang akan merusak insang, sehingga kerang akan kekurangan oksigen ("asphyxiation") yang akhirnya menyebabkan kerang mati. Insang sebagai tempat pertukaran gas O_2 dan CO_2 melalui proses infiltrasi air, juga sangat riskan terhadap kerusakan berupa iritasi oleh material baik yang terlarut maupun yang tersuspensi dalam air (Robert, 1981). Penyebab lain kematian kerang hijau, adalah adanya senyawa phenol yang merupakan hidrokarbon aromatik. Malins (1977) menyatakan bahwa bahan phenol tersebut dapat masuk ke sistem aliran darah dan dapat

merusak butir darah . Butir darah tersebut bertanggung jawab terhadap sirkulasi oksigen dan energi. Walaupun kandungan phenol pada minyak jenis Iranian LC ini rendah, yaitu: 0,00021 ppm, namun jika dalam jumlah yang besar dan lama, daya rusak phenol ini dapat menyebabkan kematian dalam waktu beberapa jam. Selain phenol senyawa aromatik lain yang menyebabkan kerusakan akut adalah benzena, toluen dan xylena.

B. Tingkat Pertumbuhan Kerang Hijau

Hasil pengujian menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi subletal minyak mentah, secara nyata menghambat pertumbuhan kerang hijau. Semakin tinggi konsentrasi minyak mentah yang diperlakukan, daya hambatnya terhadap pertumbuhan semakin besar (lihat Tabel 4 dan 6).

Pada masing-masing perlakuan, baik hasil pertambahan panjang cangkang maupun pertambahan berat total kerang hijau, secara umum terlihat pengaruh yang berbeda nyata, seperti yang ditunjukkan Gambar 07 dan 08. Sementara dari perbandingan antara perlakuan dengan kontrol, menunjukkan bahwa hampir semua taraf perlakuan menunjukkan perbedaan pertumbuhan yang nyata. Pengecualian terjadi pada perlakuan A, dimana tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dengan kontrol. Hal ini terjadi karena minyak mentah pada perlakuan A konsentrasinya masih rendah, sehingga masih dapat ditolelir oleh kerang hijau dan belum menyebabkan penurunan pertumbuhan kerang uji. Kemampuan toleransi kerang pada

perlakuan A, didukung oleh kondisi perairan (media) yang masih layak, baik suhu, salinitas, pH, maupun oksigen terlarut. Untuk oksigen terlarut, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10, terlihat bahwa oksigen terlarut pada perlakuan A masih dalam batas kelayakan untuk mendukung pertumbuhan organisme perairan (di atas 4 ppm). Hal ini sesuai dengan pernyataan Swingle (1963) dalam Nitisuparjo, *dkk* (1992), bahwa agar kehidupan organisme perairan layak dan kegiatan budidaya berhasil, maka kandungan oksigen terlarut minimal 4 ppm.

Adanya pengaruh konsentrasi minyak mentah yang diperlakukan, berupa penurunan pertumbuhan pada perlakuan B, C, D, dan E, disebabkan karena adanya kontak antara hewan uji dengan fraksi-fraksi minyak yang larut dan teremulsi sehingga masuk ke dalam tubuh. Semakin banyak hidrokarbon, kerusakan insang semakin parah dan suplai oksigen pada media semakin sedikit (Robert, 1981).

Terjadinya kerusakan insang karena iritasi oleh fraksi minyak, baik yang terlarut maupun teremulsi menyebabkan suplai oksigen untuk kebutuhan biotransformasi dan pertumbuhan terhambat. Biotransformasi membutuhkan suplai oksigen dan energi (NADPH), dimana semakin banyak hidrokarbon, maka biotransformasi akan semakin intensif, dan dengan demikian akan semakin sedikit energi dan oksigen untuk pertumbuhan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Huet (1979), bahwa pertumbuhan akan terjadi apabila energi dari

makanan yang dimakan melebihi yang digunakan untuk mempertahankan hidupnya.

Dijelaskan bahwa fraksi-fraksi toksik yang terdapat dalam minyak mentah dalam media air laut, setelah terjadi pengambilan, akan mengalami bioakumulasi, biotransformasi pada organ-organ target, khususnya pada tingkat seluler. Biotransformasi tersebut sangat efektif untuk meningkatkan ataupun menurunkan derajat toksisitas. Untuk hidrokarbon, akan mengalami biotransformasi dalam retikulum endoplasma (Lee, 1981 *dalam* Capuzzo, 1987).

Adanya hidrokarbon dalam tubuh, akan menginduksi sitokrom, yang menjadi kunci berlangsungnya biotransformasi. Proses tersebut berlangsung dengan bantuan reaksi-reaksi enzimatik. Pada fraksi mikrosomal, hidrokarbon akan mengalami oksidasi pada sitokrom yang merupakan terminal oksidasi pada retikulum endoplasma. Di sini berlangsung transformasi xenobiotik ("drugs"), steroid dan karsinogen dengan bantuan reaksi-reaksi enzimatik. Bahan-bahan tersebut dapat dikonversi menjadi bahan-bahan yang polar dan non polar. Kemampuan bahan-bahan tersebut menginduksi sitokrom, menjadi kunci berlangsungnya biotransformasi. Artinya, meningkatnya kandungan sitokrom, memperbesar peluang akselerasi aktivitas enzim untuk berlangsungnya biotransformasi (Lumbanbatu dan Naulita, 1994). Selanjutnya dikatakan bahwa peningkatan aktivitas enzim pada ikan atau

organisme perairan, akan mempengaruhi kecepatan metabolisme xenobiotik (bahan-bahan toksik yang masuk ke dalam tubuh) dan untuk melaksanakan biotransformasi ini enzim-enzim (sistem enzim) memerlukan suplai NADPH dan oksigen.

Penghambatan terhadap pertumbuhan, nampaknya juga diperberat oleh produk biotransformasi hidrokarbon itu sendiri. Dalam proses biotransformasi hasil metabolit sekunder, seperti 3-hidroksibenzo(a)pyrene, akan mengalami reaksi lebih lanjut dengan konsekuensi produk metabolit akan bersifat lebih toksik (Neff and Anderson, 1985). Selanjutnya, Steguman (1985) dalam Capuzzo (1987) menyatakan bahwa di dalam tubuh, hasil metabolisme oksidasi PAH akan membentuk ikatan kovalen dengan makromolekul seperti DNA, RNA, atau protein dan memberikan efek yang lebih toksik dan mutagenik. Hal tersebut juga didukung oleh Neff and Anderson (1981) bahwa PAH dalam kepekatan rendah telah dapat menurunkan laju pertumbuhan dan perkembangan dari organisme perairan.

Kandungan oksigen terlarut pada media selama perlakuan, seperti terlihat pada Tabel 1 dan Gambar 10, menunjukkan bahwa semakin lama dan semakin pekatnya konsentrasi minyak mentah, kandungan oksigen terlarutnya semakin menurun. Pada perlakuan B, C, D, E, penurunan konsentrasi oksigen terlarut ini mencapai konsentrasi di bawah batas minimum untuk hidup layak (4 ppm). Penurunan oksigen terlarut pada media, dimungkinkan karena adanya hidrokarbon yang hadir dalam

bentuk karbon yang tereduksi sehingga bersifat mereduksi oksigen di dalam air (Pitter and Chudoba, 1990). Selain itu, menurut Wardhana (1995) bahwa penurunan oksigen terlarut pada media juga disebabkan karena adanya pelapisan minyak pada permukaan air, yang dapat menghalangi difusi oksigen dari udara ke dalam air, sehingga oksigen terlarut di dalam air menjadi berkurang. Kandungan oksigen terlarut yang menurun akan mengganggu kehidupan hewan air.

Berkurangnya kandungan oksigen di dalam air, adanya kemungkinan kerusakan insang karena iritasi dan kemungkinan teracuni oleh phenol, baik secara terpisah maupun kombinasi akan menurunkan tingkat kecepatan metabolisme. Selanjutnya kondisi tersebut dapat mengurangi daya tahan ikan atau organisme perairan terhadap substansi beracun, sehingga pertumbuhan dari kerang uji terhambat, dan hal ini sejalan dengan pernyataan Metelev *et al* (1983) bahwa berkurangnya kandungan O_2 di dalam media mengurangi daya tahan organisme terhadap substansi beracun.

Penurunan oksigen ini, lebih jauh akan berakibat berkurangnya kecepatan proses biotransformasi bahan xenobiotik yang ada dalam tubuh kerang, karena untuk berlangsungnya proses tersebut, memerlukan suplai NADPH dan oksigen terlarut untuk melaksanakan oksidasi xenobiotik. Hal ini pada akhirnya juga akan menyebabkan terjadinya penurunan pertumbuhan kerang hijau dan kemungkinan dalam waktu yang lebih lama akan menyebabkan kematian.

Parameter fisik-kimia, seperti suhu, pH, salinitas, nampaknya tidak mempengaruhi pertumbuhan kerang hijau. Hal ini disebabkan kisaran suhu, pH, salinitas pada medium, masih sesuai dengan kondisi perairan yang baik untuk pertumbuhan, menurut kriteria Asikin (1982).



VII. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Nilai LC_{50} - 96 jam minyak mentah terhadap kerang hijau sebesar 2.528,603 ppm.
2. Pengaruh konsentrasi subletal minyak mentah terhadap pertumbuhan mulai tampak pada konsentrasi 252,86 ppm, dimana semakin tinggi konsentrasi minyak, hambatan terhadap pertumbuhan semakin besar.

B. Saran

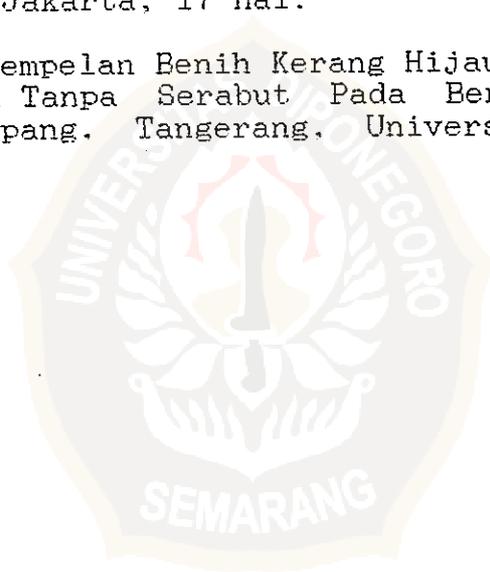
Penelitian ini hanya melihat pengaruh konsentrasi minyak mentah terhadap pertumbuhan, maka masih perlu dilengkapi penelitian mengenai daya akumulasi dan kerusakan jaringan pada organ-organ tertentu dari kerang hijau.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1986, Mussels, Bureau of Fisheries and Aquatic Resources, Metro Manila.
- Asikin, 1982, Kerang Hijau. PT. Penerbit Swadaya, Jakarta, 41 hal.
- Barnes, R.D., 1974, Invertebrate Zoology, Third Edition W.B. Saunders Co. London.
- Bayne, B.L., 1976, Marine Mussels: Their Ecology and Physiology, Cambridge University Press, London-New York, Melbourne, 506 p.
- Capuzzo, J.M., 1987, Bioaccumulation of Petroleum Hydrocarbons *in* Biological Effect of Petroleum Hydrocarbon Assesments from Experimental Results Elsevier Applied Science, London, 343-411 pp.
- Clark, R.B., 1986, Marine Pollution, Oxford University Press, New York, 215 p.
- Connell, D.W., and Miller, G.J., 1995, Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran (terjemahan), Penerbit Universitas Indonesia Press, Jakarta, 520 hal.
- Ekantono, A.P., 1994, Efek Toksisitas Minyak Mentah Terhadap Daya Akumulasi dan Kerusakan Jaringan pada *Anadara granosa* dan *Anadara inflata*, Fakultas Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Giam, C.S., J.M. Lee and J.J. Stegemen, 1981, Pollutant Studies in Marine Animals, CRC Press, Inc. Florida, 1-47 PP.
- Hamid, S.N., dan Pudjiatno, 1994, The Use of Green Mussel (*Mytilus viridis*) As An Alternative of Biofilter in Intensif Shrimp Farm, Brackiswater Aquaculture Development Centre, Jepara, Indonesia.
- Hardjono, 1987, Teknologi Minyak Bumi I, Universitas Gadjah Mada Press, Yogyakarta, 169 hal.
- Hubert, J.J., 1979, Bioassay, Kendall Hunt Publishing Company, Iowa, USA, Toronto-Oterio-Canada.
- Huet, M., 1972, Texbook of Fish Culture, Breeding and Cultivation of Fish, Fishing New Books Ltd, London, 436 PP.

- Hutabarat, J., 1992. Toksikologi Perairan. Makalah Kursus Pemantauan Pencemaran Laut di LEMLIT, Universitas Diponegoro, Semarang, 20 hal.
- Hutagalung, H.P., 1990. Makalah Kursus Pemantauan Pencemaran Laut III LIPI, Jakarta.
- Kastoro, W., 1981. Usaha Budidaya Kerang Hijau (*Mytilus viridis* L.) di Indonesia, LON-LIPI, Jakarta.
- Komisi Pestisida, 1983. Pedoman Umum Pengujian Laboratorium Toksisitas Letal Pestisida pada Ikan untuk Keperluan Pendaftaran. Jakarta, 19 hal.
- Lumbanbatu, D.F. dan Y. Naulita, 1995. Studi Aktivitas Enzim Ikan dari Perairan Teluk Jakarta dan Selatan Jawa, sebagai Landasan Penentu Kualitas Lingkungan (Tahap I), Prosiding Seminar Hasil Penelitian Ilmu Kelautan, Bogor, hal 144-149.
- Malins, D.C., 1977. Effect of Petroleum an Arctic and Subarctic Marine Environment and Organism. Nature and Fate of Petroleum, vol. 1-2. Academic Press, London.
- Metlev, V., A.I. Kanaev and N.G. Dzaskhova, 1983, Water Toxicity. Amerind Publishing Co. PUT LTD, Bombay-Calcuta, New Delhi, New York.
- Moriarty, F., 1988. Ecotoxicology The Study of Pollutants in Ecosystem, Academic Press, Tokyo.
- Neff, J.M., and J.W. Anderson, 1981. Response of Marine to Petroleum and Specific petroleum Hydrocarbons, Applied Science Publishers LTD, London, 177 p.
- Nirnama, 1984. Budidaya Kerang-Kerangan, Edisi I, Puslitbang Perikanan, Balai Penelitian Perikanan Laut dan Japan International Cooperation Agency (JICA).
- Nitisuparjo, M., M. Hadi, J.W. Hidayat, T.R. Soeprbowati, 1992, Pengaruh Lanjut Limbah Pulp Pabrik Kertas PN. Blabak Terhadap Ikan Mas, Laporan Penelitian, Puslit L.H., Universitas Diponegoro, Semarang, 65 hal.
- Pitter, P. and J. Chudoba, 1990. Relationship Between Moleculer Degradability ini Biodegradability of Organic Substance in Aquatic Environment, CRC Press, Tokyo.
- Resosoedarmo, S.,K. Kartawinata, A. Soegiarto, 1985, Pengantar Ekologi, IKIP, Jakarta.
- Robert, R.J., 1981, Fish Pathology, Bailliere Tindall, London.

- Srigandono. B., 1989, Rancangan Percobaan. Universitas Diponegoro, Semarang, 105 hal.
- Suharsono, 1980, Pengaruh Pencemaran Minyak Terhadap Kerang. Oseana, Vol. IV, LON-LIPI, Jakarta, hal 29-31.
- Suwignyo, P., J. Basmi, D.F. Lumbanbatu. 1984. Studi Beberapa Aspek Biologi Kerang Hijau di Teluk Jakarta, Institut Pertanian Bogor. Fak. Perikanan, Bogor.
- Vakily, J.M., 1989, The Biology and Culture of Mussels of the Genus *Perna*. ICLARM, Manila, Philippines. 63 p.
- Wardhana, W.A., 1995, Dampak Pencemaran Lingkungan, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta, 284 hal.
- Waldichuk, 1979, The Assesment of Sublethal Effects of Pollutants in The Sea. The Royal Society, London, 378 p.
- Wardojo, S.T.H., 1977, Panduan Uji Biologis untuk Evaluasi Toksisitas Minyak dan Dispersant. Kerjasama IPB dan LEMIGAS Bumi, Jakarta, 17 hal.
- Wasilun, 1983, Penempelan Benih Kerang Hijau Pada Kolektor Berserabut dan Tanpa Serabut Pada Berbagai Kedalaman Perairan Ketapang, Tangerang, Universitas Nasional, Jakarta.



LAMPIRAN - LAMPIRAN



Lampiran 01.

Tabel 4. Persentase Mortalitas Kerang Hijau
(*Perna viridis*) pada Uji Pendahuluan

Perlakuan (ppm)	Waktu		Jumlah
	24 jam	48 jam	
A ₁	0	0	0
A ₂	0	0	0
A ₃	0	0	0
B ₁	0	0	0
B ₂	0	0	0
B ₃	0	0	0
C ₁	0	0	0
C ₂	0	0	0
C ₃	0	0	0
D ₁	20	30	50
D ₂	30	40	70
D ₃	30	30	60
E ₁	100		100
E ₂	100		100
E ₃	100		100

Keterangan :

- A₁, A₂ dan A₃ = 10 ppm konsentrasi minyak mentah
 B₁, B₂ dan B₃ = 100 ppm konsentrasi minyak mentah
 C₁, C₂ dan C₃ = 1.000 ppm konsentrasi minyak mentah
 D₁, D₂ dan D₃ = 10.000 ppm konsentrasi minyak mentah
 E₁, E₂ dan E₃ = 100.000 ppm konsentrasi minyak mentah

Kesimpulan :

- Nilai ambang bawah (LC_0 - 48 jam) minyak mentah terhadap kerang hijau (*Perna viridis*) adalah sebesar 100 ppm.
- Nilai ambang atas (LC_{100} - 24 jam) minyak mentah terhadap kerang hijau (*Perna viridis*) adalah sebesar 10.000 ppm.

Lampiran 02.

Perhitungan Penentuan 7 (tujuh) Deret
Konsentrasi Minyak Mentah

$$\log \frac{N}{n} = k \left(\log \frac{a}{n} \right)$$

N = Nilai konsentrasi ambang atas = 10.000 ppm

n = Nilai konsentrasi ambang bawah = 100 ppm

a = Nilai konsentrasi terkecil yang digunakan dalam penelitian

k = Banyaknya selang konsentrasi antara nilai ambang atas dan ambang bawah = 7

$$\log \frac{10.000}{100} = 7 \log \left(\frac{a}{100} \right)$$

$$2 = 7 \log \left(\frac{a}{100} \right)$$

$$2/7 = \log a/100$$

$$a = 193,07$$

$$\frac{a}{n} = \frac{b}{a} = \frac{c}{b} = \frac{d}{c} = \frac{e}{d} = \frac{f}{e} = \frac{g}{f}$$

$$b = \frac{a^2}{n} = 372,760$$

$$c = \frac{b^2}{a} = 719,687$$

$$d = \frac{c^2}{b} = 1.389,498$$

$$e = \frac{d^2}{c} = 2.682,70$$

$$f = \frac{e^2}{d} = 5.179,482$$

$$g = \frac{f^2}{e} = 10.000$$

Lampiran 03.

Tabel 5. Analisa Probit Penentuan Nilai LC_{50} - 96 jam
Minyak Mentah Terhadap Kerang Hijau

Perlakuan (ppm)	n	r	P	x	y	x^2	xy
193,070	30	0	0	2,2857	0	5,2244	0
372,760	30	0	0	2,25714	0	6,6121	0
719,687	30	2	6,667	2,8571	3,4937	8,1630	9,9819
1389,498	30	9	30	3,1429	4,4756	9,8778	14,0664
2682,70	30	14	46,667	3,4286	4,9147	11,7553	16,8505
5179,482	30	22	73,333	3,7143	5,6219	13,7960	20,8814
10000	30	30	100	4	8,0902	16	32,3608
J u m l a h				22	26,5961	71,4286	94,141

Keterangan :

n = Jumlah kerang uji

r = Mortalitas kerang uji

p = Persentase mortalitas kerang uji

x = Logaritma konsentrasi bahan uji

y = Nilai probit persentase mortalitas kerang uji

$$\begin{aligned}
 b &= \frac{\sum xy - 1/n \sum x \sum y}{\sum x^2 - 1/n (\sum x)^2} \\
 &= \frac{94,141 - 1/7 \cdot 22 \cdot 26,5961}{71,4286 - 1/7 (22)^2} \\
 &= 4,6170
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= 1/n (\sum y - b \sum x) \\
 &= 1/7 (26,5961 - 4,6170 \cdot 22) \\
 &= -10,7111
 \end{aligned}$$

Persamaan regresi : $Y = -10,711 + 4,6170 X$

Lampiran 03. (lanjutan)

$$LC_{50} - 96 \text{ jam} = \text{antilog } m$$

$$m = \frac{5 - a}{b} = \frac{5 - (-10,7111)}{4.617}$$
$$= 3,40288$$

$$LC_{50} - 96 \text{ jam} = \text{antilog } 3,40288$$
$$= 2.528.603 \text{ ppm}$$



Lampiran 04.

Penentuan Konsentrasi Subletal

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi subletal minyak mentah} &= 0,5 \times \text{LC}_{50} - 96 \text{ jam} \\ &= 0,5 \times 2.528,603 \\ &= 1.264,3015 \text{ ppm}\end{aligned}$$

Konsentrasi subletal yang diperlakukan :

$$\begin{aligned}\text{A} &= 10\% \times 1.264,3015 &= 126,43 \text{ ppm} \\ \text{B} &= 20\% \times 1.264,3015 &= 252,86 \text{ ppm} \\ \text{C} &= 30\% \times 1.264,3015 &= 379,29 \text{ ppm} \\ \text{D} &= 40\% \times 1.264,3015 &= 505,721 \text{ ppm} \\ \text{E} &= 50\% \times 1.264,3015 &= 632,151 \text{ ppm} \\ \text{K} &= 0\end{aligned}$$



Lampiran 05.

Tabel 6. Data Rata-rata Panjang Cangkang Kerang Hijau (mm)

Plk	I		II		III	
	awal	akhir	awal	akhir	awal	akhir
K	11,6	16,6	11,5	16,4	11,1	16,2
A	11,2	16,0	11,2	16,1	11,2	16,6
B	11,5	15,3	11,3	14,9	11,5	15,1
C	11,4	13,4	11,2	13,7	11,3	13,6
D	11,1	12,3	11,4	12,6	11,1	12,5
E	11,6	12,5	11,5	12,1	11,2	12,2



Lampiran 06.

Tabel 7. Analisa Sidik Ragam Pertambahan Panjang
Cangkang Kerang Hijau (mm)

Perlakuan	ulangan			Jumlah	Rerata
	I	II	III		
A	4,8	4,9	5,4	15,1	5,033
B	3,8	3,6	3,6	11	3,667
C	2,0	2,5	2,3	6,8	2,267
D	1,2	1,2	1,4	3,8	1,267
E	0,9	0,6	1,0	2,5	0,833
K	5,0	4,9	5,1	15	5
Jumlah				54,2	

Harga - harga yang Diperlukan untuk Anara adalah :

1. Faktor Koreksi (FK)

$$FK = \frac{1}{3 \times 6} (54,2)^2$$

$$= 163,202$$

2. Jumlah Kuadrat Lengkap (JKL)

$$JKL = (4,8^2 + \dots + 5,1^2) - FK$$

$$= 50,938$$

3. Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$JKP = 1/3 (15,1^2 + \dots + 15^2) - FK$$

$$= 50,445$$

4. Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$JKG = JKL - JKP$$

$$= 50,938 - 50,445$$

$$= 0,493$$

5. Derajat Bebas Lengkap = $p \cdot n - 1 = 6 \times 3 - 1 = 17$

$$DB \text{ Perlakuan} = p - 1 = 6 - 1 = 5$$

$$DB \text{ Galat} = p(n-1) = 6(3-1) = 12$$

Lampiran 06. (lanjutan)

6. Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{DBP} = \frac{50,445}{5} = 10,089$$

7. Kuadrat Tengah Galat (KTG)

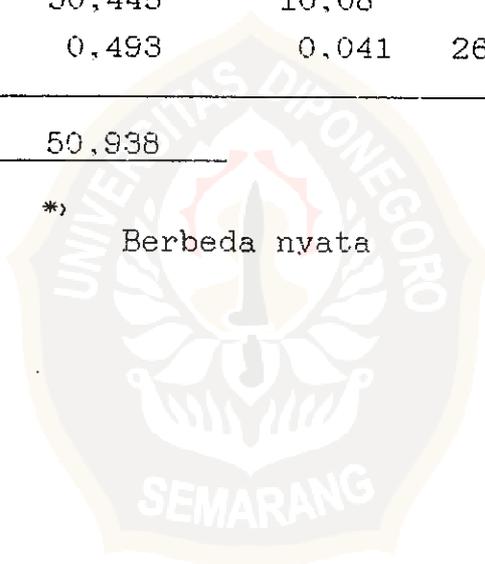
$$KTG = \frac{JKG}{DBG} = \frac{0,493}{12} = 0,041$$

$$8. F \text{ Hitung} = \frac{KTP}{KTG} = \frac{10,089}{0,041} = 246,073$$

Daftar Sidik Ragam

S K	D B	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Rerata	F Hitung	F Tabel 5%
Perlakuan	5	50,445	10,08		
Galat	12	0,493	0,041	264,073*	3,11
Lengkap	17	50,938			

Keterangan : *) Berbeda nyata



Lampiran 07.

Tabel 8. Hasil Uji Beda Nyata Jujur (Tukey) Pertambahan Panjang Cangkang Kerang Hijau

$$S\bar{x} = \sqrt{\frac{KTG}{n}} = \sqrt{\frac{0,041}{3}} = 0,117$$

$$\begin{aligned} W_{5\%} &= q (p, BDG) \times S\bar{x} \\ &= q (6,12) \times 0,117 \\ &= 4,75 \times 0,117 \\ &= 0,556 \end{aligned}$$

Plk	Nilai	E	D	C	B	K	A
E	0,833	-					
D	1,267	0,434	-				
C	2,267	1,434*	1*	-			
B	3,667	2,834*	2,4*	1,4*	-		
K	5	4,167*	3,733*	2,733*	1,333*	-	
A	5,033	4,2*	3,766*	2,766*	1,366*	0,033	-

Keterangan : *) Berbeda nyata

Kesimpulan :

Terdapat perbedaan hasil pertambahan panjang antar pasangan perlakuan, kecuali untuk pasangan perlakuan E dan D, dan antara pasangan perlakuan A dan K.

Lampiran 08.

Tabel 9. Data Rata-rata Berat Total Kerang Hijau (gr)

Plk	I		II		III	
	awal	akhir	awal	akhir	awal	akhir
K	0,23	0,32	0,21	0,29	0,23	0,32
A	0,21	0,29	0,22	0,30	0,23	0,33
B	0,23	0,28	0,21	0,26	0,21	0,26
C	0,22	0,25	0,21	0,25	0,23	0,23
D	0,21	0,23	0,21	0,23	0,21	0,23
E	0,22	0,23	0,22	0,22	0,21	0,23



Lampiran 09.

Tabel 10. Analisa Sidik Ragam Pertambahan Berat Total Kerang Hijau (gr)

Perlakuan	ulangan			Jumlah	Rerata
	I	II	III		
A	0,08	0,08	0,10	0,26	0,0867
B	0,05	0,05	0,05	0,15	0,05
C	0,03	0,04	0,04	0,11	0,0367
D	0,02	0,02	0,02	0,06	0,02
E	0,01	0	0,02	0,03	0,01
K	0,09	0,08	0,09	0,26	0,0867
Jumlah				0,87	

Harga-harga yang Diperlukan untuk Anara :

1. Faktor Koreksi (FK)

$$FK = \frac{1}{3 \times 6} (0,87)^2$$

$$= 0,04205$$

2. Jumlah Kuadrat Lengkap (JKL)

$$JKL = (0,08^2 + \dots + 0,09^2) - FK$$

$$= 0,01665$$

3. Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$JKP = 1/3 (0,26^2 + \dots + 0,26^2) - FK$$

$$= 0,01605$$

4. Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$JKG = JKL - JKP$$

$$= 0,01665 - 0,01605$$

$$= 0,0006$$

5. Derajat Bebas Lengkap = $p \cdot n - 1 = 6 \times 3 - 1 = 17$

$$DB \text{ Perlakuan} = p - 1 = 6 - 1 = 5$$

$$DB \text{ Galat} = p(n-1) = 6(3-1) = 12$$

Lampiran 09. (lanjutan)

6. Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{DBP} = \frac{0,01605}{5} = 3,2 \cdot 10^{-3}$$

7. Kuadrat Tengah Galat (KTG)

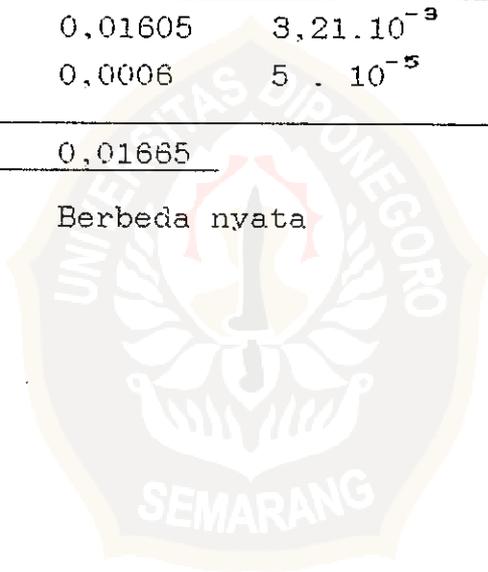
$$KTG = \frac{JKG}{DBG} = \frac{0,0006}{12} = 5 \cdot 10^{-5}$$

$$8. F \text{ Hitung} = \frac{KTP}{KTG} = \frac{3,21 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-5}} = 64,2$$

Daftar Sidik Ragam

S K	D B	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Rerata	F Hitung	F Tabel 5%
Perlakuan	5	0,01605	$3,21 \cdot 10^{-3}$		
Galat	12	0,0006	$5 \cdot 10^{-5}$	64,2*	3,11
Lengkap	17	0,01665			

Keterangan : *) Berbeda nyata



Lampiran 10.

Tabel 11. Hasil Uji Beda Nyata Jujur (Tukey) Pertambahan Berat Total Kerang Hijau

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{KTG}{n}} = 4,0825 \cdot 10^{-3}$$

$$\begin{aligned} W_{5\%} &= q (p, DBG) \times S_{\bar{x}} \\ &= q (6,12) \times 4,0825 \cdot 10^{-3} \\ &= 4,75 \times 4,0825 \cdot 10^{-3} \\ &= 1,939 \cdot 10^{-2} \end{aligned}$$

Plk	Nilai	E	D	C	B	k	A
E	0,01	-					
D	0,02	0,01	-				
C	0,0367	0,0267*	0,0167	-			
B	0,05	0,04*	0,03*	0,0133	-		
K	0,0867	0,0767*	0,0667*	0,05*	0,0367*	-	
A	0,0867	0,0767*	0,0667*	0,05*	0,0367*	0	-

Keterangan : *) Berbeda nyata

Kesimpulan :

Terdapat perbedaan hasil pertambahan berat total kerang hijau antar perlakuan, kecuali untuk pasangan perlakuan E dan D. C dan B. D dan C dan antara perlakuan A dan K.