

TOKSISITAS LIMBAH PENGEBORAN MINYAK TERHADAP BENUR UDANG WINDU (*Penaeus monodon*)

TOXICITY OF DRILLING WASTE ON LARVAE OF SHRIMP (*Penaeus monodon*)

Hefni Effendi¹⁾, Bagus Amalrullah Utomo²⁾, dan Yusli Wardiatno³⁾

¹⁾Pusat Penelitian Lingkungan Hidup, IPB, Bogor

^{2,3)}Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, IPB, Bogor

Email: ¹⁾hefni_effendi@yahoo.com; ²⁾bagz_suede@yahoo.co.id, ³⁾ywardiatno@hotmail.com

dikirim 7 Agustus 2010, diterima setelah perbaikan 8 Januari 2011

Abstrak: Penelitian ini bertujuan mengetahui konsentrasi limbah pengeboran minyak berupa lumpur bor bekas (*used mud*) yang dapat menyebabkan kematian 50% (LC_{50}) post larva (PL) 19 Udang Windu (*Penaeus monodon*) melalui bioassay. Nilai LC_{50} selanjutnya dapat memberikan gambaran sifat toksik dari limbah pemboran minyak. Data toksisitas limbah tersebut digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk memperlakukan limbah selanjutnya, apakah boleh dibuang langsung ke lingkungan atau harus dilakukan pengelolaan lebih lanjut untuk menurunkan sifat toksiknya. Pengelolaan limbah pemboran ini mengacu pada Peraturan Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral No.45 Tahun 2006. Limbah pengeboran berasal dari daerah Babelan, Bekasi Utara. Benur udang windu diperoleh dari Hatchery di Tanjung Pasisir, Tangerang. Penentuan nilai LC_{50} dilakukan dengan metode probit menggunakan software EPA Probit Program Version 1.5. Setelah pengamatan 72 hingga 96 jam, sebagian besar benur udang pada seluruh media uji terkecuali kontrol mulai mengalami kematian. Gejala dari benur udang sebelum mati adalah sangat lemah dalam pergerakan dan sangat lemah dalam merespon rangsangan dari luar. Kematian ditandai dengan adanya lendir dan perubahan pada warna tubuh. Berdasarkan hasil analisis probit diperoleh nilai LC_{50} limbah hasil pengeboran minyak terhadap benur udang Windu (*P. monodon*) pada pemaparan waktu 24, 48, 72 dan 96 jam adalah berturut-turut 154.333 ppm, 139.862 ppm, 107.169 ppm dan 91.706 ppm. Limbah hasil pengeboran minyak diduga bersifat tidak toksik karena nilai LC_{50} - 96 jam masih dalam batasan yang ditetapkan oleh pemerintah yaitu ≥ 30.000 ppm. Oleh karena itu, limbah pengeboran minyak diperkenankan dibuang langsung ke badan air, tanpa keharusan untuk melakukan pengolahan.

Kata kunci: Toksisitas, Bioassay, *Penaeus monodon*, dan LC_{50} , Probit.

Abstract: Research was aimed to determine toxic concentration of oil drilling waste (cuttings), causing death of 50% (LC_{50}) population of shrimp post larvae of *Penaeus monodon* through bioassay. LC_{50} describes toxicity of drilling waste that is utilized for consideration of the next waste handling, whether it is allowed or not to be directly discharged to the environment without prior treatment to decrease its toxicity. Drilling waste handling refers to Ministry of Energy and Mineral Decree No. 045/2006. Drilling waste (cuttings) was collected from Babelan, North Bekasi. *P. monodon* post larvae were taken from Hatchery in Tanjung Pasisir, Tangerang. Software of EPA Probit Program Version 1.5. was applied for counting LC_{50} . After 72 to 96 hours observation, most of the shrimp larve on all test media except controls began to die. Symptoms of shrimp larvae before death die was very weak movement and very weak in response to stimuli from the outside. Death was characterized by the presence of mucus and changes in body color. Based on the results obtained by probit analysis, LC_{50} value of drilling waste against shrimp (*P. monodon*) in the exposure time of 24, 48, 72 and 96 hours were 154,333 ppm 139,862 ppm 107,169 ppm and 91,706 ppm, respectively. Drilling waste was not toxic because the value of LC_{50} - 96 hours is still within the limits set by the government ($\geq 30,000$ ppm). Thus, drilling waste was allowed to be discharged to the environment without the necessity of prior treatment.

Keywords: Toxicity, Bioassay, *Penaeus monodon*, and LC_{50} , Probit.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya akan sumberdaya alam, seperti: seperti minyak bumi, batubara, gas alam dan panas bumi. Minyak bumi merupakan salah satu sumberdaya alam yang jumlahnya melimpah yang dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi bagi pengembangan industri, rumah tangga, angkutan, perdagangan dan lain-lain.

Kegiatan pertambangan minyak bumi terdiri dari eksplorasi, eksploitasi, pengolahan atau pemurnian dan pemasaran hasil. Kegiatan ini dilakukan secara bertahap. Setiap tahapan menghasilkan limbah baik padat maupun cair yang harus dikelola dengan baik. Limbah pengeboran minyak seperti lumpur bor bekas (*used mud*), serbuk bor (*cuttings*), air panas dari proses pendinginan, minyak, dan air asin dapat mencemari lingkungan perairan sekitar apabila limbah tersebut langsung dibuang ke perairan tanpa mengalami pengolahan (Addy, *et al.*, 1984; Anonimus, 2007; Coutrier, 1986). Eksplorasi, eksploitasi, pengolahan atau pemurnian dapat mengakibatkan gangguan keseimbangan lingkungan yang cukup berarti, salah satunya ialah lingkungan perairan melalui penurunan kualitas air yang selanjutnya berimplikasi terhadap terganggunya keseimbangan tatanan kehidupan biota akuatik (Novotny dan Olem, 1994; Sanusi, 1991).

Kegiatan eksploitasi minyak bumi yang dilakukan di daerah pesisir tentu dapat memberikan dampak terhadap lingkungan perairan khususnya terhadap keberadaan organisme yang hidup di dalamnya. Udang Windu (*Penaeus monodon*) sebagai salah satu organisme yang hidup di daerah sekitar lokasi pengeboran minyak di wilayah pesisir, dikhawatirkan terganggu keberadaannya apabila mendapat masukan limbah hasil pengeboran minyak yang tak mendapat perlakuan sebelumnya (Connell, 1995; Dave dan Nilsson, 1999; Effendi, 2003).

Untuk mencegah pencemaran dari kegiatan pertambangan minyak bagi lingkungan perairan, maka ditentukan batasan dari limbah pengeboran minyak. Ketentuan tentang limbah pengeboran minyak terdapat pada Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 45 Tahun 2006. Apabila limbah pengeboran minyak mempunyai nilai $LC_{50} - 96 \text{ jam} < 30.000 \text{ ppm}$, maka limbah tidak dapat langsung dibuang ke perairan melainkan harus melewati pengolahan terlebih dahulu. Sedangkan, jika nilai $LC_{50} - 96 \text{ jam}$ limbah pengeboran minyak $\geq 30.000 \text{ ppm}$, maka limbah dapat dibuang langsung ke perairan, karena diduga limbah tidak bersifat toksik. Oleh karena itu, diperlukan kajian mengenai toksisitas limbah pengeboran minyak terhadap Udang Windu (*P. monodon*) melalui studi bioassay untuk menentukan nilai $LC_{50} - 96 \text{ jam}$.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi limbah hasil pengeboran minyak yang menyebabkan kematian pada 50% (LC_{50}) hewan uji (udang windu) melalui uji hayati (*bioassay*). Dengan demikian dapat diketahui informasi apakah limbah pengeboran minyak bumi ini boleh dibuang langsung ke lingkungan sekitar atau harus melalui pengolahan terlebih dahulu berdasarkan pada Peraturan Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral Nomor 45 Tahun 2006 tentang Pengelolaan lumpur bor, limbah lumpur, dan serbuk bor pada kegiatan pengeboran minyak dan gas bumi.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Produktivitas dan Lingkungan Perairan, Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB. Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari 2008. Limbah pengeboran minyak berasal dari daerah Babelan, Bekasi Utara. Benur udang windu (*P. monodon*) diperoleh dari Hatchery di Tanjung Pasir, Tangerang.

Bioassay mengacu pada US-EPA (1991, 1996, 2002); Ziehl dan Schmitt (2000). Penelitian terdiri dari beberapa tahapan yaitu tahap aklimatisasi, uji pendahuluan, dan uji toksisitas. Aklimatisasi meliputi pengamatan persentase kematian hewan uji dan pengukuran parameter kualitas air. Parameter kualitas air yang dianalisis meliputi oksigen terlarut (DO), pH, salinitas dan suhu (Franson, 1995). Uji pendahuluan mencakup penentuan konsentrasi yang digunakan pada uji toksisitas berdasarkan tingkat kematian hewan uji selama 24 jam (Adhiarni, 1997; Amri, 2003; Soeseno, 1983; Subijakto, 2005).

Peralatan terdiri dari satu buah akuarium berukuran 100 x 50 x 30 cm, penampung air (tandon), akuarium berukuran 30 x 30 x 30 cm sebanyak 18 buah, pemanas air (*water heater*), *blower*, serokan, gelas ukur volume 10 ml, 100 ml dan 500 ml. Media uji yang digunakan adalah *supernatan* limbah pengeboran minyak bumi pada berbagai konsentrasi dan air laut. Limbah hasil pengeboran minyak bumi terdiri dari tanah pembentuk formasi (*cutting*), lumpur pengeboran (*drilling mud*) dan semen yang digunakan untuk *casing* sumur minyak. Air laut yang digunakan berasal dari toko akuarium laut Bunaken yang berlokasi di kota Bogor. Media air yang digunakan untuk hewan uji selama aklimatisasi adalah air laut yang telah diaerasi selama 24 jam.

Hewan uji yang digunakan dalam penelitian adalah benur Udang Windu (*Penaeus monodon*) pada masa post larva (PL) 19. Hewan uji yang digunakan berjumlah 1.000 ekor. Pemilihan hewan uji pada tahap larva (benur) tersebut didasarkan karena pada tahap awal hidupnya hewan lebih sensitif terhadap masukan bahan toksik yang berasal dari luar perairan. Kegiatan pada uji toksisitas dibagi menjadi 3 tahap yaitu aklimatisasi, uji pendahuluan dan uji utama. Penelitian dilakukan mengikuti prosedur uji toksisitas dari US EPA yakni:

A. Aklimatisasi hewan uji

Sebelum dilakukan pengujian, hewan uji terlebih dahulu diaklimatisasi selama empat hari. Hal ini bertujuan agar hewan uji dapat beradaptasi terhadap kondisi lingkungan yang berbeda dengan kondisi asal dan untuk menghindari infeksi parasit dan bakteri pada hewan uji. Hewan uji sejumlah 1.000 ekor diaklimatisasi pada akuarium berukuran 100 x 50 x 30 cm. Pada tahap aklimatisasi, kematian hewan uji tidak boleh lebih dari 10% (Franson, 1995). Hal ini didasarkan pada persyaratan hewan uji dalam kondisi yang sehat.

Aklimatisasi dilakukan di dalam akuarium berisi air laut yang diaerasi secara terus menerus. Selama tahap aklimatisasi, hewan uji diberi makan setiap pagi dan sore hari. Makanan yang diberikan ialah pakan alami dan pakan buatan. Pakan alami yaitu artemia yang dikultur dan pakan buatan ialah pelet halus (*Starter*). Setelah tahap aklimatisasi selesai, kemudian dipilih hewan uji yang berukuran relatif sama dan sehat untuk dijadikan hewan uji pada penelitian.

B. Pembuatan toksikan

Limbah pengeboran minyak yang dijadikan toksikan berupa limbah padat dengan sedikit kandungan air. Limbah yang akan digunakan untuk uji pendahuluan dan uji toksisitas ialah *supernatan* hasil pencampuran antara limbah pengeboran minyak dengan air tawar. Perbandingan antara bobot limbah dengan volume air tawar yaitu sebesar 1 kg/l. Konsentrasi *supernatan* limbah yang dihasilkan dari pelarutan limbah dengan air tawar yaitu sebesar 1.000.000 ppm dengan asumsi bahwa pelarutan limbah bersifat homogen. Setelah itu dilakukan pengenceran limbah dengan volume tertentu pada uji pendahuluan dan uji toksisitas.

C. Uji pendahuluan

Uji pendahuluan dilakukan untuk menentukan selang konsentrasi limbah yang akan digunakan sebagai kontaminan pada uji utama. Hewan uji yang digunakan pada uji pendahuluan berjumlah 10 ekor pada masing-masing akuarium berukuran 30 x 30 x 30 cm. Pada uji pendahuluan ditentukan konsentrasi ambang atas (N) dan konsentrasi ambang bawah (n). Konsentrasi ambang atas (N) adalah konsentrasi terendah dari toksikan yang menyebabkan seluruh hewan uji mati pada pemaparan waktu 24 jam, sedangkan konsentrasi ambang bawah (n) adalah konsentrasi tertinggi dari toksikan yang tidak menyebabkan kematian pada hewan uji pada pemaparan waktu 24 jam. Menurut Komisi Pestisida (1983) dalam Adhiarni (1997), penentuan selang kepercayaan dari konsentrasi tertinggi dan konsentrasi terendah dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Log } N/n = k \log a/n \quad (1)$$

$$a/n = b/a = c/b = d/c = N/e \quad (2)$$

Keterangan

N : Konsentrasi tertinggi

n : Konsentrasi terendah

k : Jumlah konsentrasi yang diuji

a, b, c, d dan e : Konsentrasi antara konsentrasi terendah dan konsentrasi tertinggi,
a adalah konsentrasi terkecil

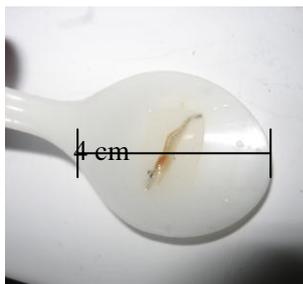
Setelah uji pendahuluan dilakukan kemudian ditentukan konsentrasi tertinggi dan terendah untuk kontaminasi. Selang konsentrasi untuk kontaminasi ($k=5$) ditentukan dengan menggunakan persamaan yang di atas.

D. Pelaksanaan percobaan

Percobaan yang dilakukan adalah *short term bioassay* dengan menggunakan tipe statik tes. Konsentrasi yang digunakan terdiri dari lima perlakuan konsentrasi limbah dan satu perlakuan sebagai kontrol dengan ulangan sebanyak tiga kali. Konsentrasi limbah yang digunakan pada percobaan utama berasal dari hasil percobaan pendahuluan. Uji toksisitas terhadap 100 ekor udang windu dilakukan pada konsentrasi limbah pemboran: 200.000 ppm, 100.000 ppm, 50.000 ppm, 25.000 ppm, dan 12.500 ppm.

D.1. Kontaminasi hewan uji

Setelah benur udang diaklimatisasi, dipilih benur udang yang sehat dan berukuran seragam. Benur udang dimasukkan ke dalam akuarium yang terlebih dahulu dimasukan kontaminan dengan konsentrasi tertentu. Pada masing-masing akuarium berukuran 30 x 30 x 30 cm dimasukan benur udang sejumlah 10 ekor. Banyaknya akuarium untuk kontaminasi adalah lima buah dan satu akuarium yang tidak mendapatkan perlakuan sebagai akuarium kontrol. Selama kontaminasi benur udang tidak diberi makan dan waktu kontaminasi dilakukan selama 96 jam. Benur udang yang digunakan pada uji toksisitas disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Benur udang Windu yang digunakan pada uji toksistas.

D.2. Pengamatan tingkah laku dan kelangsungan hidup hewan uji

Pengamatan tingkah laku dilakukan berdasarkan geometrik seri yaitu pada pemaparan waktu 0, 3, 6, 12, 24, 48, 72 dan 96 jam (Franson, 1995). Pengamatan kelangsungan hidup organisme uji dilakukan pada pemaparan waktu 24, 48, 72 dan 96 jam. Pengamatan dilakukan untuk melihat tingkah laku hewan uji setelah kontaminasi dan untuk mengetahui seberapa besar tingkat mortalitas pada organisme uji pada pemaparan waktu tertentu.

D.3. Pengukuran parameter kualitas air

Pengukuran parameter kualitas air dilakukan pada pemaparan waktu 24, 48, 72 dan 96 jam. Parameter kualitas air yang diukur adalah beberapa parameter penunjang yang berpengaruh terhadap kelangsungan hidup benur udang (tabel 1).

Tabel 1. Parameter kualitas air yang diukur.

Parameter	Unit	Alat	Keterangan
1. Suhu	$^{\circ}\text{C}$	Termometer	<i>In situ</i>
2. pH	-	pH meter	<i>In situ</i>
3. Oksigen terlarut	mg/l	DO meter	<i>In situ</i>
4. Salinitas	psu	Refraktometer	<i>In situ</i>

E. Analisis data

E.1. Metode probit

Pendugaan nilai LC_{50} yaitu dengan menggunakan metode probit. Metode probit merupakan prosedur statistik parametrik pada selang kepercayaan 95%. Metode probit mencakup transformasi proporsi mortalitas dengan transformasi probit dan transformasi konsentrasi toksikan ke dalam bentuk logaritma. Hubungan antara variabel yang digunakan pada analisis probit adalah linear dalam bentuk regresi. Transformasi yang dilakukan pada metode probit meliputi penentuan nilai probit empiris, probit harapan, probit kerja dan koefisien pemberat. Analisis data pada penelitian ini dilakukan secara manual dan dengan menggunakan piranti lunak (*software*) EPA Probit Analysis Program versi 1.5.

Menurut Busvine (1971), tahapan pada penentuan nilai LC_{50} dengan menggunakan metode probit secara manual adalah:

1. Transformasi konsentrasi toksikan ke dalam bentuk logaritma basis 10.

- Proporsi mortalitas yang akan di transformasi dengan transformasi probit, terlebih dahulu dikoreksi dengan menggunakan persamaan Abbot's (1925) dalam Busvine (1971).

$$P = \frac{P_i - c}{100 - c} \times 100\%$$

Keterangan

P: Mortalitas terkoreksi (%)

P_i : Mortalitas hasil pengamatan (%)

c : Mortalitas pada kontrol

- Probit empiris ditentukan dari proporsi mortalitas yang ditransformasi dengan menggunakan tabel transformasi probit. (Bliss, 1957 dalam Fisher dan Yates, 1963).
- Probit harapan ditentukan dari persamaan regresi linear antara log konsentrasi (x) dengan nilai probit empiris (y). Nilai probit harapan (Y) ditentukan dengan memasukan nilai log konsentrasi (X) ke dalam persamaan regresi tersebut.

$$Y \text{ (probit harapan)} = a + bX$$

- Probit kerja dan koefisien pembobot merupakan hasil penjumlahan probit kerja minimum (y₀) dengan konstanta (K) dikalikan dengan persen kematian hewan uji dengan menggunakan nilai probit harapan (Y) yang di transformasikan dengan menggunakan tabel koefisien dan nilai probit (Bliss, 1935 dalam Busvine, 1971) yang dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah.

$$Y \text{ (Probit Kerja)} = y_0 + (K \times \text{persen kematian})$$

- Nilai pemberat (w) ditentukan dengan mengalikan antara nilai koefisien pembobot pada tabel Bliss (Lampiran 4) dengan jumlah hewan uji.
- Tentukan nilai wx dengan mengalikan antara log volume (x) dengan nilai pemberat (w).
- Tentukan nilai wy dengan mengalikan antara probit kerja (y) dengan nilai pemberat (w).
- Tentukan nilai wx² dengan mengalikan antara nilai pemberat (w) dengan log volume (x) yang telah dikuadratkan.
- Tentukan nilai wxy dengan mengalikan antara nilai pemberat (w) dengan log volume (x) dan probit kerja (y).
- Tentukan nilai \bar{X} dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{X} = \frac{\sum wx}{\sum w}$$

- Tentukan nilai \bar{Y} dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{Y} = \frac{\sum wy}{\sum w}$$

13. Tentukan nilai a dengan menggunakan persamaan berikut:

$$a = \bar{Y} - b \bar{X}$$

14. Tentukan nilai b dengan menggunakan persamaan berikut:

$$b = \frac{\sum wxy - \bar{X} \sum wy}{\sum wx^2 - \bar{X} \sum wx}$$

15. Nilai a dan b yang telah didapatkan kemudian dimasukkan ke dalam bentuk persamaan regresi berikut dengan nilai Y (probit) yang telah ditransformasikan dengan menggunakan tabel Probit (Lampiran 5):

$$Y \text{ (probit)} = a + bX$$

Estimasi nilai LC₅₀ adalah antilog dari hasil perhitungan di atas.

16. Perhitungan ragam (varian) ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$V = \frac{1}{b} \left(\frac{1}{b^2} + \frac{(m-x)^2}{wx^2 - (\sum wx)^2 / \sum w} \right)$$

17. Selang atas dan selang bawah nilai LC₅₀ diperoleh melalui persamaan:

$$m \pm 1,96 \sqrt{V}$$

E.2. Uji Kruskal-Wallis

Uji Kruskal-Wallis digunakan untuk membandingkan dua atau lebih populasi sampel data yang independen. Pada penelitian ini, uji Kruskal-Wallis digunakan untuk menduga ada atau tidaknya pengaruh parameter kualitas air terhadap kematian hewan uji pada toksisitas. Uji Kruskal-Wallis dilakukan dengan menggunakan program SPSS 13. Hipotesis yang digunakan untuk pendugaan terhadap parameter kualitas air pada uji Kruskal-Wallis dengan selang kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$) adalah:

eHo : Parameter kualitas air tidak berpengaruh terhadap kematian hewan uji

H1 : Parameter kualitas air berpengaruh terhadap kematian hewan uji

- Dalam pengujian hipotesis, kriteria untuk menolak atau tidak menolak Ho berdasarkan *P-value* adalah sebagai berikut:
Apabila *P-value* < α , maka tolak Ho
Apabila *P-value* \geq α , maka gagal tolak Ho
- Dalam program SPSS digunakan istilah significance (*Sig.*) untuk *P-value*; atau dengan kata lain *P-value* = *Sig.*

Penentuan nilai LC₅₀ dilakukan dengan metode probit baik perhitungan secara manual dan menggunakan piranti lunak (*software*) EPA Probit Program Version 1.5. Pengujian parameter kualitas air dilakukan dengan menggunakan uji Kruskal-Wallis dengan program SPSS 13 pada selang kepercayaan 95% (Fisher dan Yates, 1963).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aklimatisasi hewan uji pada uji toksisitas dilakukan selama 4 hari. Hewan uji yang diaklimatisasi adalah benur udang Windu (*Penaeus monodon*) berjumlah 1000 ekor. Selama masa aklimatisasi, hewan uji diberikan pakan buatan (pelet) dan *Artemia* sp. dengan frekuensi dua kali setiap hari (Suyanto dan Mujiman, 2003). Pengamatan yang dilakukan selama aklimatisasi persentase kematian udang (table 2) dan parameter kualitas air pada media sesuai dengan persyaratan dalam *bioassay* (table 3 (Busvine,1971)).

Tabel 2. Data persentase kematian hewan uji selama aklimatisasi.

Benur Udang	Kematian (ekor)	Kematian (%)
Post Larva 19	12	1,2
Post Larva 20	7	0,7
Post Larva 21	8	0,8
Post Larva 22	16	1,6
Total	43	4,3

Tabel 3. Data parameter kualitas air selama aklimatisasi.

Benur Udang	DO (mg/l)	pH	Temperatur (°C)	Salinitas (psu)
Post Larva 19	7,3	8,15	30,0	25
Post Larva 20	7,2	8,16	29,1	25
Post Larva 21	7,2	8,15	30,0	25
Post Larva 22	7,2	8,17	29,2	25

A. Uji pendahuluan

Percobaan pendahuluan dilakukan untuk menentukan nilai ambang atas (N) dan nilai ambang bawah (n) yang akan digunakan pada uji utama. Konsentrasi terendah yang menyebabkan kematian pada seluruh hewan uji dan konsentrasi tertinggi yang tidak menyebabkan kematian pada hewan uji didapatkan setelah dilakukan tiga kali penurunan konsentrasi toksikan (tabel 4, 5, 6).

Tabel 4. Percobaan pendahuluan 1.

Konsentrasi Limbah		Jumlah Kematian (%)	
(ml/l)	(ppm)	0 Jam	24 Jam
300	300.000	0	100
150	150.000	0	60
75	75.000	0	10
37,5	37.500	0	0
18,75	18.750	0	0

Tabel 5. Percobaan pendahuluan 2.

Konsentrasi Limbah		Jumlah Kematian (%)	
(ml/l)	(ppm)	0 Jam	24 Jam
250	250.000	0	100
125	125.000	0	20
62,5	62.500	0	10
31,25	31.250	0	0
15,625	15.625	0	0

Tabel 6. Percobaan pendahuluan 3.

Konsentrasi Limbah		Jumlah Kematian (%)	
(ml/l)	(ppm)	0 Jam	24 Jam
200	200.000	0	100
100	100.000	0	10
50	50.000	0	0
25	25.000	0	0
12,5	12.500	0	0

B. Uji toksistas dan penentuan nilai LC₅₀

Konsentrasi toksikan yang digunakan pada uji toksistas yaitu sebesar 66 ml/l, 87 ml/l, 115 ml/l, 152 ml/l dan 200 ml/l. Data kematian hewan uji pada berbagai konsentrasi limbah dalam uji toksistas dapat dilihat pada table 7.

Tabel 7. Data rata-rata kematian udang pada berbagai konsentrasi limbah dalam uji toksistas.

Konsentrasi Limbah		Jumlah Kematian (%)				
(ml/l)	(ppm)	0 Jam	24 Jam	48 Jam	72 Jam	96 Jam
0	0	0	0	0	0	0
66	66.000	0	0	10	20	30
87	87.000	0	0	10	30	40
115	115.000	0	10	20	50	60
152	152.000	0	30	40	70	90
200	200.000	0	100	100	100	100

Hasil pengamatan pada uji toksistas selama 96 jam menunjukkan bahwa semakin lama waktu pemaparan, maka persentase kematian semakin tinggi. Bertambahnya persentase kematian pada pemaparan waktu tertentu akan mempengaruhi nilai LC₅₀. Penentuan nilai LC₅₀ dari jumlah kematian pada masing-masing waktu pemaparan 24, 48, 72 dan 96 jam dapat dilakukan melalui analisis probit, yaitu dengan perhitungan secara manual dan dengan menggunakan *software* EPA Probit Analysis Version 1.5 (table 8).

Tabel 8. Nilai LC₅₀ uji toksistas hasil analisis probit.

Waktu (jam)	LC ₅₀ (ppm)		selang kepercayaan 95% (ppm)	Rasio LC ₅₀
	software	manual		
24	154.333	157.398	137.027 - 174.259	1,271
48	139.862	141.906	118.191 - 174.426	1,476
72	107.169	108.393	85.977 - 130.233	1,515
96	91.706	91.833	70.556 - 109.718	1,555

Berdasarkan hasil analisis probit diperoleh nilai LC₅₀ limbah hasil pengeboran minyak terhadap benur udang *Windu* (*Penaeus monodon*) pada pemaparan waktu 24, 48, 72 dan 96 jam berturut-turut adalah 154.333 ppm, 139.862 ppm, 107.169 ppm dan 91.706 ppm. Limbah hasil pengeboran minyak diduga bersifat tidak toksik karena nilai LC₅₀ - 96 jam masih dalam batasan yang ditetapkan oleh pemerintah yaitu ≥ 30.000 ppm. Limbah pengeboran minyak diperkenankan langsung dibuang ke perairan karena diduga limbah tidak bersifat toksik.

Pengukuran parameter kualitas air dilakukan setiap 24 jam selama 96 jam. Nilai rata-rata kandungan oksigen terlarut berkisar antara 3,5 – 5,6 mg/l, nilai rata-rata kisaran pH yaitu 8,29 – 9,93, kisaran nilai rata-rata suhu yaitu 26,3 – 27,4 °C, kisaran salinitas yaitu 22 – 27 psu. Nilai kualitas air ini masih berada dalam kisaran yang memungkinkan bagi organisme

untuk hidup (Effendi, 2003). Berdasarkan uji kruskal-Wallis diketahui bahwa pH dan salinitas berpengaruh terhadap kematian hewan uji pada uji toksisitas.

C. Pengaruh Limbah Pengeboran Minyak Terhadap Tingkah Laku Benur Udang Windu (*P. monodon*)

Pengamatan tingkah laku hewan uji pada uji toksisitas dilakukan berdasarkan pada seri geometri yaitu pada jam ke- 0, 3, 6, 12, 24, 48, 72 dan 96 (Franson, 1995). Pengamatan dilakukan pada saat benur udang dimasukkan ke dalam akuarium yang terlebih dahulu dimasukkan toksikan dengan konsentrasi tertentu. Tingkah laku dari hewan uji yang diamati meliputi gerakan dari benur udang, respon terhadap rangsangan, cara renang dan perubahan pada tubuh udang seperti *moulting* dan perubahan pada warna tubuh.

Pada awal saat benur udang dimasukkan ke dalam media uji yaitu pada jam ke- 0, tingkah laku dari hewan uji masih dalam keadaan normal. Gerakan, respon, cara renang seluruh benur udang masih baik dan belum menunjukkan ketidaknormalan. Pada saat jam ke- 3, benur udang pada media uji dengan konsentrasi 152 ml/l dan 200 ml/l mulai menunjukkan gerakan yang tidak normal. Udang mulai mengalami stres dengan bergerak tanpa arah. Saat jam ke- 6, seluruh udang mati pada media uji dengan konsentrasi 200 ml/l. Kematian pada benur udang ditandai dengan adanya perubahan pada warna tubuh. Tubuh berwarna merah pucat dan sedikit berlendir. Gerakan udang pada media uji dengan konsentrasi 87 ml/l dan 115 ml/l mulai melemas dan beberapa ekor mati pada konsentrasi 152 ml/l.

Sebagian besar hewan uji berada di pinggir akuarium pada jam ke- 12 dan 24. Respon yang lemah, pergerakan yang menurun, dan *moulting* terjadi pada seluruh benur udang pada media uji, kecuali pada kontrol. Kematian terjadi pada beberapa benur udang pada media uji dengan konsentrasi limbah 115 ml/l dan 152 ml/l. Pada jam ke- 48, kematian pada beberapa benur udang terjadi pada media uji dengan konsentrasi 66 ml/l, 87 ml/l, 115 ml/l, dan 152 ml/l. Kondisi benur udang yang terkena toksikan mulai melemah, gerakan dan respon sangat menurun. Setelah 72 hingga 96 jam, sebagian besar benur udang pada seluruh media uji terkecuali kontrol mulai mengalami kematian. Gejala dari benur udang sebelum mati yang terlihat secara visual antara lain sangat lemahnya pergerakan dan respon terhadap rangsangan dari luar.

Kematian ditandai dengan adanya lendir dan perubahan pada warna tubuh. Kematian pada hewan uji diduga akibat pengaruh dari limbah lumpur pengeboran. Bahan dasar penyusun limbah lumpur pengeboran antara lain logam berat dan senyawa kimia seperti: kalsium karbonat (CaCO_3), aluminium oksida (Al_2O_3), barium sulfat (BaSO_4), glycol ($\text{H}_2\text{C}(\text{OH})_2$), guar gum, aspal, bentonite, aluminium sterate, amonium nitrate, kalsium klorida, dan bahan aditif lainnya. Kandungan bahan penyusun limbah lumpur tersebut diduga dapat mempengaruhi fungsi fisiologis pada hewan uji. Hal ini juga yang diduga menjadi penyebab kematian hewan uji.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis probit diperoleh nilai LC_{50} limbah hasil pengeboran minyak terhadap benur udang Windu (*P. monodon*) pada pemaparan waktu 24, 48, 72 dan 96 jam adalah 154.333 ppm, 139.862 ppm, 107.169 ppm dan 91.706 ppm. Limbah hasil pengeboran minyak diduga bersifat tidak toksik karena nilai LC_{50} - 96 jam masih dalam batasan yang ditetapkan oleh pemerintah yaitu ≥ 30.000 ppm. Oleh karena itu, limbah pengeboran minyak diperkenankan dibuang langsung ke badan air.

Saran

Dilakukan penelitian lanjutan uji toksisitas limbah hasil pengeboran pada taraf sub letal yang terkait pada gangguan pertumbuhan, reproduksi dan kebiasaan makan. Selain itu dilakukan uji toksisitas limbah hasil pengeboran dengan menggunakan hewan uji yang berbeda untuk melihat perbandingan nilai LC₅₀. Untuk mengetahui karakteristik dari limbah diperlukan penelitian tentang senyawa kimia dan logam berat melalui uji TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*).

Daftar pustaka

- Addy, J. M., J. P. Hartley, and P. J. C. Tibbetts. "Ecological Effects of Low Toxicity Oil-Based Mud Drilling in The Beatrice Oilfield." *Marine Pollution Bulletin* 15 (12) (1984): 429-436.
- Adhiarni, R. "Pengaruh Lanjut Kontaminasi Brine Terhadap Pertumbuhan Ikan Mas (*Cyprinus carpio*, Linn) ukuran 4-6 cm." [Skripsi], Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, (1997)
- Amri, K. *Budidaya Udang Windu Secara Intensif*. Jakarta: PT Agromedia Pustaka, (2003): 1-36.
- Anonimus. "Data Karakteristik Material *water based mud* (WBM) dan Ukuran Material *oil based mud* (OBM)." Elnusa Drilling Service, (2007)
- Busvine, J. R. *A Critical Review of The Techniques for Testing Insecticides*. 2nd ed. England: Commonwealth Agricultural Fanham Royal, (1971): 263-276.
- Connell, D. W. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Jakarta: UI Press, (1995): 1-76.
- Coutrier, P. L. "Pengelolaan Lingkungan Hidup Memerlukan Usaha Lintas Sektoral yang Terpadu." Kumpulan Makalah Temu Karya Peringatan Seratus Tahun Usaha Pertambangan Minyak Dan Gas Bumi Di Indonesia, Panitia Pertamina, Jakarta, (1986): 155-160.
- Dave, G. and E. Nilsson. "Sediment Toxicity and Contaminants in The Kattegat and Skagerrak." *Aquatic Ecosystem Health and Management* 2 (99) (1999): 347-360.
- Effendi, H. *Telaah Kualitas Air: Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Pengelolaan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius, 2003.
- Fisher, R. A. and F. Yates. *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research*. 6th ed. Longman. Britain, (1963): 68-73.
- Franson, M. A. H. *Standard Methods: for The Examination of Water and Wastewater* (19th ed.). United States: APHA, 1995.
- Novotny, V. and H. Olem. "Water Quality Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution." Van Nostrand Reinhold, New York, United States, (1994): 817-828.
- Indonesia. *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 045 Tahun 2006. Tentang Pengelolaan Lumpur Bor, Limbah Lumpur Dan Serbuk Bor Pada Kegiatan Pengeboran Minyak dan Gas Bumi*. 15 Sanusi, B. Hasil Tambang, Minyak dan Gas Bumi Indonesia. UI Press, Jakarta. (1991): 1-71.
- Soeseno, S. *Budidaya Ikan dan Udang Dalam Tambak*. Jakarta: PT Gramedia, (1983): 108-124.
- Subijakto, S. "Petunjuk Teknis Pembenihan Udang Vannamei." Juknis. Balai Budidaya Air Payau Situbondo, (2005)
- Suyanto, S. R. dan A. Mujiman. *Budidaya Udang Windu*. Jakarta: Penebar Swadaya, (2003): 1-26.
- United States Environmental Protection Agency (US-EPA). *Methods for Measuring The Acute Toxicity of Effluent and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms* (4th ed.) Washington D.C. (1991)
- United States Environmental Protection Agency (US-EPA). *Ecological Effects Test Guidelines: Pnaeid Acute Toxicity Test*. U.S. Environmental Protection Agency. Washington D.C., United States. 1996.
- United States Environmental Protection Agency (US-EPA). *Methods for Measuring The Acute Toxicity of Effluent and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms* (5th ed.), U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C., United States. 2002.
- Ziehl, T. A. and A. Schmitt. "Sediment Quality Assessment of Flowing Waters in South-West Germany Using Acute and Chronic Bioassays." *Aquatic Ecosystem Health and Management* 3(20) (2000): 347-357.

