

Analisa *Water Based Mud* dengan Aditif Barit dan KCl Berdasarkan Analisa Toksisitas: Pengujian TCLP dan LC₅₀-96 Jam

Water Based Mud Analysis with Aditives Barite and KCl Based on Toxicity Analysis: TCLP and LC₅₀-96 Hours Test

N.L. Miranti¹, S.S. Moersidik¹, C.R. Priadi¹, dan P. Wahyudi²

¹ Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

² Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"

Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan

Telepon: 62-21-7394422, Fax: 62-21-7246150

E-mail: nisa_logana@yahoo.com

Teregistrasi I tanggal 31 Oktober 2014; Diterima setelah perbaikan tanggal 30 Desember 2014

Disetujui terbit tanggal: 31 Desember 2014

ABSTRAK

Lumpur bor berbasis air dengan aditif Barit (B) dan KCl (K) berpotensi toksik terhadap lingkungan dan makhluk hidup. Berdasarkan hal tersebut, LEMIGAS berupaya melakukan pencegahan kontaminasi dengan pengujian TCLP dan LC₅₀-96 jam terhadap *Penaeus monodon*. Kondisi uji disesuaikan dengan Sumur Bangau #1 di Sesulu PSC, Selat Makassar sebagai tolak ukur kondisi lingkungan pengeboran lepas pantai. Dengan kombinasi Bmin, Bmax, Kmin, dan Kmax, konsentrasi Cu pada setiap formula (Bmin-Kmin: 26,17 ppm; Bmin-Kmax: 39,74 ppm; Bmax-Kmin: 21,47 ppm; Bmax-Kmax: 31,7 ppm) dan Pb pada Bmin-Kmin (9,37 ppm) melewati baku mutu lingkungan. Nilai LC₅₀ dari Formula Bmin-Kmin memenuhi baku mutu lingkungan (44.058 ppm), sedangkan Formula Bmax-Kmax tidak memenuhi baku mutu lingkungan (13.269 ppm). Hal ini dipengaruhi oleh komposisi logam berat, toksisitas KCl, dan kondisi lingkungan. WBM jenis ini lebih baik digunakan pada pengeboran lepas pantai.

Kata Kunci: LC₅₀-96 jam; *Penaeus monodon*; TCLP; Toksisitas; Lumpur Berbasis Air

ABSTRACT

Water based mud with Barite (B) and KCl (K) as additives have toxicity potential to environmental and living creature. Therefore LEMIGAS performed contamination prevention effort based on TCLP and LC₅₀-96 hours on Penaeus monodon. Testing environment condition was Sumur Bangau #1 at Sesulu PSC, Makassar Strait. Cu concentration in Bmin, Bmax, Kmin, and Kmax combinations (Bmin-Kmin: 26,17 ppm; Bmin-Kmax: 39,74 ppm; Bmax-Kmin: 21,47 ppm; Bmax-Kmax: 31,70 ppm) and Pb in Bmin-Kmin (9,37 ppm) are above the threshold. LC50 of Bmin-Kmin formula did fulfill the threshold (44.058 ppm) while Bmax-Kmax formula did not (13.269 ppm). This condition is influenced by heavy metals composition, KCl toxicity, and environmental condition. This type of WBM is better used in off-shore drilling operation.

Keywords: LC₅₀-96 hour; *Penaeus monodon*; TCLP; Toxicity; Water Based Mud

I. PENDAHULUAN

Lumpur pemboran merupakan faktor yang penting dalam proses pengeboran, dikarenakan hal tersebut memengaruhi kecepatan pengeboran,

keamanan, dan biaya. Terdapat tiga macam lumpur bor yang digunakan pada kegiatan pemboran, yaitu *Water based Mud* (WBM), *Oil Based Mud* (OBM), dan *Synthetic Oil Based Mud* (S-OBM) (Rubiandini,

2011). Untuk menciptakan sifat lumpur bor yang baik dalam pengoperasian pemboran, terdapat susunan aditif yang ditambahkan (Mahto dan Sharma 2004). Namun, dalam beberapa aditif tersebut terkandung beberapa logam berat yang dapat memengaruhi lingkungan (Smith dkk. 1999) dalam (Ossai dkk. 2010). Untuk itu, berdasarkan Peraturan Menteri Energi Sumber Daya Mineral (ESDM) No. 045 Tahun 2006 tentang Pengelolaan Lumpur Bor, Limbah Lumpur, dan Serbuk Bor pada Kegiatan Pengeboran Minyak dan Gas Bumi, sebelum dan sesudah pemakaian lumpur bor wajib melakukan uji LC_{50} (*Lethal Concentration at 50%*) – 96 jam dan/atau uji TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*) untuk mengetahui toksisitas pada makhluk hidup dan kandungan logam berat pada lumpur tersebut.

Menurut Burden dkk. (2013) dalam memiliki sistem lumpur agar ramah lingkungan terhadap fluida dengan kemampuan teknis yang sama, salah satunya harus dilihat dari dampak tiap komponen penyusunnya dan rangkum penggunaannya serta dampak limbah dari sistemnya. Menurut Effendi dkk. (2011), untuk mengetahui faktor-faktor toksisitas hasil dari pengujian LC_{50} adalah dengan melakukan uji TCLP untuk mengetahui karakteristik dari limbah terutama logam berat. Berdasarkan hal tersebut PPPTMGB Lemigas ingin melakukan upaya pencegahan pencemaran dengan membuat lumpur bor berbasis air atau WBM yang dapat secara aman dibuang ke lingkungan pada saat menjadi limbah WBM dan/atau *cutting* dengan prioritas aditif Barit dan KCl berdasarkan analisa toksisitas yaitu dengan pengujian TCLP dan LC_{50} -96 jam terhadap *Penaeus monodon*.

A. Perumusan Masalah

1. Berapa kandungan logam berat (As, Ba, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Se, Ag, Zn) pada WBM yang telah dikondisikan pada temperatur dan tekanan sesuai pengoperasian pemboran atau *after hot-rolled* WBM dalam fase lindi dengan uji TCLP (sesuai dengan Permen ESDM No. 45/2006)?
2. Berapa konsentrasi LC_{50} -96 jam selaku parameter toksisitas pada *after hot-rolled* WBM?
3. Apa faktor-faktor yang menyebabkan toksisitas pada WBM?

B. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kandungan logam berat pada WBM yang telah dikondisikan pada temperatur dan tekanan sesuai pengoperasian pemboran atau *after hot-rolled* WBM dalam fase lindi dengan uji TCLP.
2. Mengetahui konsentrasi LC_{50} -96 jam pada *after hot-rolled* WBM selaku parameter toksisitas.
3. Menganalisa faktor-faktor yang menyebabkan toksisitas pada WBM.

C. Tinjauan Teoritis

WBM jenis KCl – Polymer PHPA dibentuk untuk mendukung stabilitas sumur bor dan meminimalisasi dispersi *cutting*, kemudian kelebihan dari lumpur ini adalah rendahnya bahaya formasi dan tingginya permeabilitas dapat mendukung kegunaannya untuk pengeboran formasi *water-sensitive*. WBM jenis ini memiliki susunan aditif yang penting untuk ditambahkan yaitu prehidrasi bentonit sebagai *viscosifier* dan pengendalian filtrasi, KCl sebagai sumber penghambat dari ion K^+ , NaOH sebagai pengendali alkalinitas dari ion K^+ , Starch dan PAC sebagai pengendali filtrasi, lignosulfonat sebagai deflokulan, dan lignit sebagai pengendali filtrasi dalam kondisi tekanan tinggi dengan temperatur tinggi (Amoco Corporation 1975). Jika *Barite* digunakan pada lumpur bor, kemungkinan untuk terdapatnya logam berat pada lumpur bor tersebut tinggi sehingga dapat mengontaminasi lokasi pemboran serta lokasi pembuangan limbah lumpur bor. Untuk itu konsentrasi pemakaian *Barite* harus dipantau dan dikendalikan selama pembuangan dan harus dipertimbangkan jumlah penggunaannya (Burden 2013). Setelah dibuang dari pengoperasian pemboran, serbuk bor yang mengandung lumpur dan material pemberat akan berakhir di dasar laut di mana beberapa logam akan bergerak menuju pori-pori air dan beresiko untuk organisme yang hidup di dalam atau dekat dengan permukaan sedimen tersebut (Ruus dkk. 2005; Schaaning dkk. 2010). Kontaminasi lingkungan yang terjadi akibat lumpur pemboran bisa juga disebabkan oleh penyimpanan limbah lumpur bor dalam *mud pit* terbuka. Penggunaan lumpur non toksik ini juga mengurangi kemungkinan pencemaran air tanah apabila terjadi limpasan air hujan dari *mud pit*.

Toksisitas didefinisikan sebagai suatu kemampuan yang melekat pada satu zat kimia untuk membuat pengaruh yang merugikan pada organisme-organisme hidup (Mansyur 2004). Pada lumpur polimer KCl – PHPA yang diperhatikan dampak lingkungannya adalah KCl karena fluida ini akan mengandung salinitas yang tinggi, kemudian klorida tidak dapat terdegradasi secara biologis di lingkungan baik dalam air dan sedimen, karena penggunaannya sebagai nutrisi untuk tanaman tingkat bawah dan ion K⁺ yang tinggi jumlahnya dapat membunuh ikan (Burden dkk. 2013). Data toksisitas dari pengujian LC₅₀-96 jam akan dijadikan sebagai bahan untuk merepresentasikan pengaruh material uji, dalam hal ini WBM KCl-Polymer PHPA pada makhluk hidup di perairan sekitarnya (Effendi dkk. 2011).

II. BAHAN DAN METODE

A. Sampel

Sampel yang diuji pada penelitian ini adalah dua produk *Barite* yang berbeda (PT. A dan PT. C) dan dua produk KCl berbeda (PT. D dan PT. B) yang telah disiapkan oleh LEMIGAS sebagai aditif yang diprioritaskan pada kombinasi WBM Polimer KCl – PHPA. Selain *Barite* dan KCl, terdapat komponen lainnya seperti *Air Aqua*, *Bentonite*, *Polimer XCD*, *PAC-LV*, *Starch*, *KOH*, *Resinex*, *Soltex*, *Oxygen Scavenger*, *Biocide*, dan PHPA-P yang termasuk ke dalam komposisi WBM (LEMIGAS, 2014). Pada pengujian LC₅₀-96 jam, terdapat beberapa aditif yang tidak dimasukkan ke dalam komposisi dikarenakan pengujian ini bertujuan untuk difokuskan pada toksisitas Barit dan KCl. Tujuan dari pengujian TCLP yaitu membuktikan apakah *Barite* dan/atau KCl menyumbang konten logam berat terbanyak berdasarkan penelitian terdahulu dan presentase terbesar dalam komposisi penyusun WBM. Komponen WBM yang digunakan pada pengujian LC₅₀-96 jam. Sampel dalam penelitian ini dikondisikan sebagai lumpur bor bekas atau limbah lumpur bor, dengan kata lain merupakan simpel sintesis. Kondisi yang diberikan adalah suhu sebesar 250°F dan tekanan sebesar 100 psi berdasarkan API RP 13B dan pada tulisan ini disebut *after hot-rolled WBM*. *After hot-rolled WBM* dibuat dengan cara mencampur bahan dasar dan aditif sesuai dengan yang dijelaskan, dengan waktu tertentu menggunakan *Hamilton Beach Mixer*.

B. Pengujian TCLP pada *After hot-rolled WBM*

Pengujian TCLP ini berdasarkan metode 1311 *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) dengan mempertimbangkan kondisi pengeboran darat (*on-shore*) dengan ICP – OES sebagai pemeriksa kandungan logam berat. Pada metode ini, sampel dikondisikan dengan pH ±5 kemudian diagitasi dengan kecepatan 30±2 rpm dalam waktu 18±2 jam dan disaring dengan kertas saring 0,6 – 0,8 µm. Hasil saringan tersebut dinamakan TCLP *extract* yang kemudian diperiksa dengan ICP-OES.

C. Pengujian LC₅₀-96 jam pada *After hot-rolled WBM*

Pengujian LC₅₀-96 jam ini menggunakan metode Baroid 2500 ml 25303 dari *Baroid fluids handbook* dengan binatang uji *Panaeus monodon* berumur 10 hari dengan kondisi uji menyesuaikan kondisi lingkungan Sumur Bangau #1 di Sesulu PSC, Selat Makassar tahun 2003 sebagai tolak ukur pengujian.

D. Analisa Hasil

Hasil pemeriksaan ICP-OES pada pengujian TCLP akan dibandingkan dengan standard baku mutu Permen ESDM No. 45 Tahun 2006 dan mengilustrasikan kondisi ekstraksi logam berat pada pengeboran *on-shore*. Sedangkan hasil pengujian LC₅₀-96 jam mengilustrasikan kondisi toksisitas pada pengeboran *off-shore* dengan standard baku mutu sesuai dengan Permen ESDM No. 45 Tahun 2006.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Pengujian TCLP pada *After hot-rolled WBM*

Pada pengujian ini terdapat penentuan tingkat keasaman yang diadaptasi dari kondisi lapangan. Menurut ALS *Environmental* (2000), metode pengujian TCLP yang sesuai untuk mengetahui kandungan logam berat di lingkungan yang berinteraksi dengan tanah yaitu memiliki pH ±5. Menurut Permen ESDM No. 045 Tahun 2006, untuk menentukan persyaratan areal pembuangan limbah lumpur bor dan serbuk bor di daratan hasil pengeboran darat, hasil kandungan logam berat wajib untuk memenuhi batas baku mutu lingkungan yang telah ditentukan pada lampiran peraturan terkait. Dari pengujian ini, setiap formula tidak memenuhi baku mutu lingkungan (Tabel 1) dikarenakan tidak

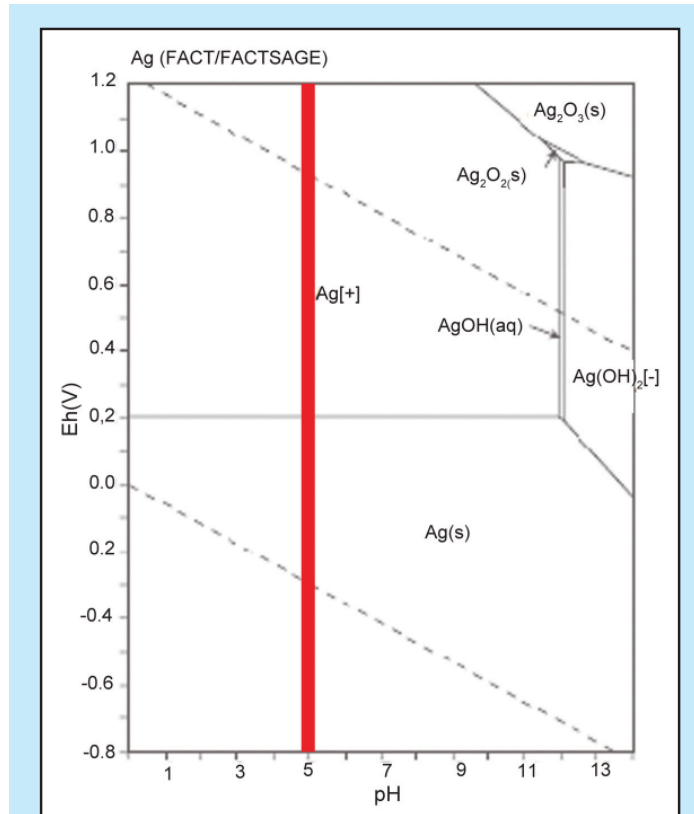
dapat ditimbun kembali ke dalam sumur pengeboran dan harus dibuang pada tempat khusus yang memiliki permeabilitas lebih besar atau sama dengan 10-5 cm/detik. Dari pengujian pendahuluan, didapatkan bahwa *Barite* memiliki kandungan logam berat yang memungkinkan untuk menyumbangkan kandungan logam berat yang tinggi pada formulasi WBM, namun tidak dengan KCl.

Hipotesa awal penelitian ini yaitu formula yang disusun oleh Bmin akan memiliki kandungan Pb yang melewati baku mutu lingkungan, sedangkan formula yang disusun oleh Bmax akan memiliki kandungan Cu, Pb, dan Ag yang melewati baku mutu lingkungan.

Dilihat dari hasil uji yang terdapat pada Tabel 1, didapatkan Formula Bmin-Kmin dan Bmin-Kmax memiliki kandungan Cu yang melewati baku mutu lingkungan dan kandungan Pb hanya melewati baku mutu lingkungan pada Formula Bmin-Kmin. Untuk formula Bmax-Kmin dan Bmax-Kmax kandungan yang melewati baku mutu lingkungan hanyalah Cu sedangkan Pb dan Ag masih memenuhi baku mutu lingkungan.

Hal ini terjadi karena beberapa faktor, yaitu :

1. Terjadinya perubahan wujud (*aqueous, liquid, solid, gas*) pada elemen logam berat terkait yang dapat diinterpretasikan dengan diagram EH-pH dengan menunjukkan bagaimana ion-ion logam berat tersebut secara bersamaan bergerak dalam kesetimbangan sesuai dengan kondisi pH dan EH (potensi redoks suatu elemen dari suatu larutan) yang diberikan (Stumm & Morgan 1996). Sesuai dengan kondisi penyimpanan sampel yaitu suhu ruangan, maka dilakukan pendekatan dengan menggunakan data literatur *standard electrode potential (E_h)* yaitu potensi elektroda untuk mereduksi dalam kondisi standard (suhu 25°C, tekanan 1 atm, konsentrasi 1 M) dalam volt. Menurut Fanelli



Gambar 1
Diagram EH –pH Perak (Ag) pada kondisi pH 5
Sumber: Geological Survey of Japan Open File Report No. 419 yang dimodifikasi berdasarkan hasil penelitian, 2005

Tabel 1
Perbandingan hasil uji TCLP dengan baku mutu Lingkungan Permen ESDM No. 045 Tahun 2006

Logam Berat	Baku Mutu Lingkungan	Formula Bmin-Kmin (ppm)	Formula Bmin-Kmax (ppm)	Formula Bmax-Kmin (ppm)	Formula Bmax-Kmax (ppm)
As	5	0,11	0,17	0,13	0,08
Ba	100	32,46	7,81	9,38	61,55
Cd	1	0	0	0	0
Cr	5	0	0	0	0
Cu	10	26,17	39,74	21,47	31,7
Pb	5	9,37	4,47	0,98	1,66
Hg	0,2	0	0	0	0
Se	1	0	0,02	0	0
Ag	5	0	0	0	0
Zn	50	13,22	44,75	20,71	35,15

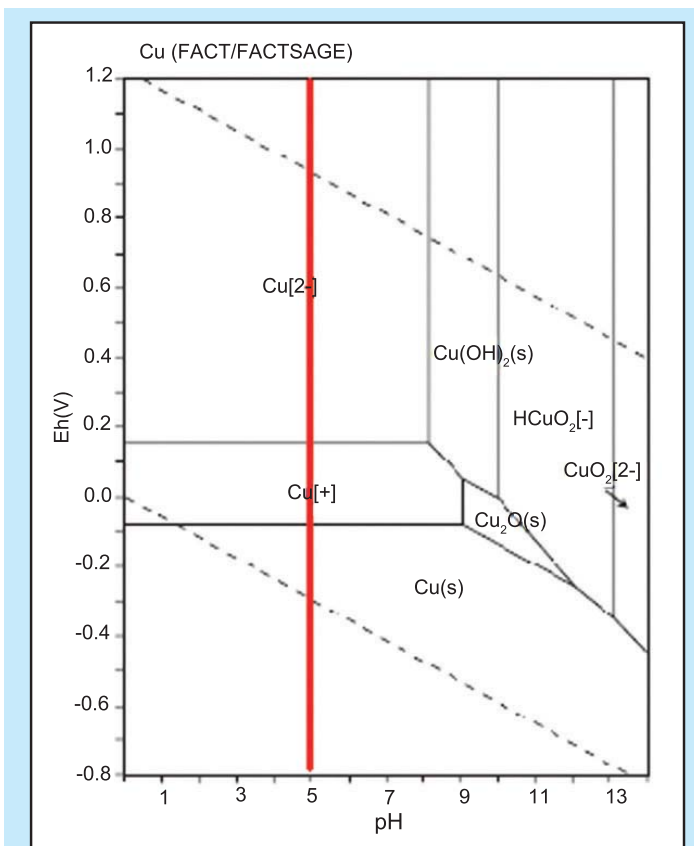
Melewati batas baku mutu lingkungan

semakin tinggi E_h maka akan semakin tinggi atau kuat *oxidizing agent*-nya dengan membuat ion lain kekurangan elektron dengan menangkap

elektronnya. Urutan EHo dari Cu, Ag, dan Pb selaku kandungan logam berat yang melewati baku mutu lingkungan pada pengujian Barit dari tertinggi ke terendah adalah Ag (+0,8 V), Cu (+0,52 V), dan Pb (-0,13 V).

Dari kesepuluh logam berat yang diperiksa Ag merupakan urutan ketiga dengan 50% dalam bentuk Ag(s) dan 50% dalam bentuk Ag⁺ pada pH 5. Sesuai dengan nilai EHo-nya, Ag cenderung tereduksi dan dilihat dari persentase bentuknya maka Ag cenderung untuk mengendap. Untuk itu nilai Ag yang melewati baku mutu lingkungan pada Barit penyusun formula Bmax tidak terdeteksi pada pengujian formula Bmax-Kmin dan Bmax-Kmax dikarenakan kondisi penyimpanan membuat Ag mengendap dan tidak terdeteksi pada saat pemeriksaan oleh ICP-OES. EHo Cu merupakan urutan keenam dan masih memiliki kecenderungan untuk tereduksi. Pada kondisi pH 5, Cu berada pada tiga bentuk yaitu Cu(s) (35%), Cu⁺ (12,5%), dan Cu²⁺ (52,5%).

Perbedaan hasil penelitian dengan hipotesa disebabkan oleh jumlah Cu yang terekstrak pada pengujian Barite, jumlahnya tidak sebanyak seperti pengujian pada *after hot-rolled* WBM. Perbedaan jumlah ekstraksi tersebut dikarenakan perbedaannya temperatur dan tekanan yang diberikan untuk mengondisikan pengoperasian pemoran, dan dapat dilihat pada Gambar 2, Cu memiliki presentase yang besar dalam fase terlarut. Kondisi penyimpanan dengan suhu ruangan tidak begitu memengaruhi kandungan Cu karena konsentrasi Cu tetap melewati baku mutu lingkungan, hal ini mengindikasikan bahwa konsentrasi Cu pada WBM sangat tinggi. Pb menjadi urutan ketujuh dari kesepuluh logam berat dilihat dari EHo-nya dengan kecenderungan sulit untuk tereduksi. Bentuk Pb dalam kondisi pH 5 yaitu Pb(s) (20%) dan Pb²⁺ (80%), hal ini membuktikan kandungan Pb melewati baku mutu lingkungan pada pengujian Barit. Namun Pb hanya melewati baku mutu lingkungan pada Formula Bmin-Kmin pada pengujian WBM, hal ini terjadi karena heterogenitas WBM sehingga kemungkinan pada saat pengambilan sampel untuk diekstrak



Gambar 2
Diagram EH –pH Tembaga (Cu) pada kondisi pH 5
Sumber: Geological Survey of Japan Open File Report No. 419 yang dimodifikasi berdasarkan hasil penelitian, 2005

kandungan yang terambil tidak menyeluruh dan tidak merepresentasikan keseluruhan WBM. Dalam hal ini, terdapat kandungan Pb yang tidak terdeteksi pada pengujian TCLP *after hot-rolled* WBM.

2. Kondisi penyimpanan TCLP *extract* dalam suhu ruangan selama 25 hari sebelum diperiksa kandungan logam beratnya oleh ICP-OES dapat memengaruhi perubahan bentuk logam berat itu sendiri.

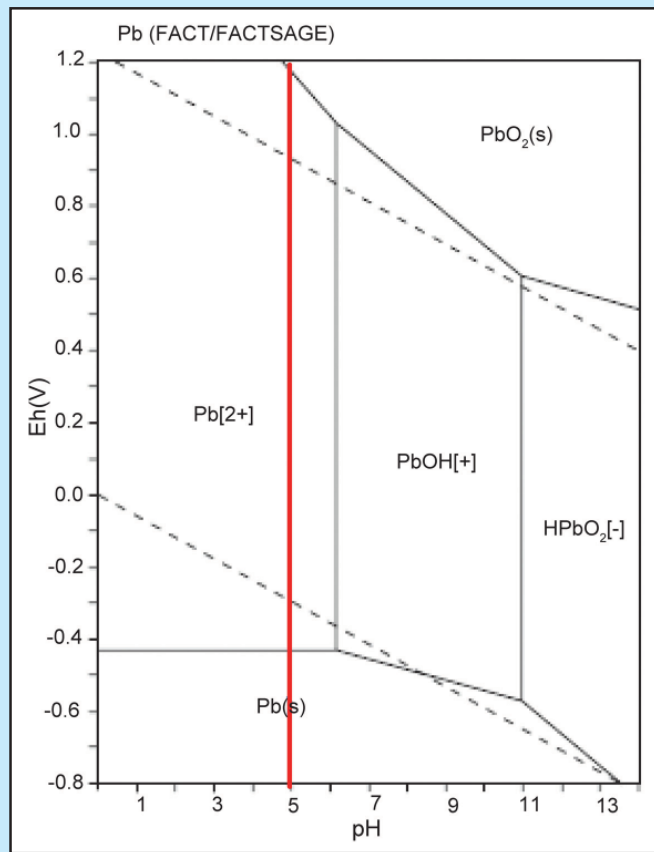
Penelitian lain yang serupa mengenai uji TCLP pada WBM KCl Polimer PHPA memiliki konsentrasi Cu (98,06 ppm) dan Pb (7,99 ppm) di atas baku mutu lingkungan dengan perbandingan konsentrasi Ba dan Zn serupa (Lemigas, 2014).

B. Pengujian LC₅₀-96 jam pada *After hot-rolled* WBM

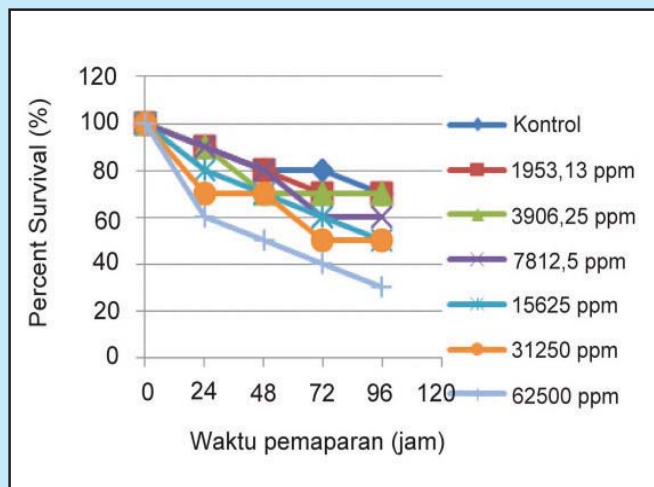
Kondisi yang diberikan pada media uji LC₅₀-96 jam disesuaikan dengan kondisi lingkungan

yang terdapat pada Pemboran Eksplorasi Sumur Bangau #1 di Sesulu PSC, Selat Makassar (2003) sebagai tolak ukur kondisi pembuangan limbah WBM ini. Kondisi temperatur pada penelitian kali ini adalah $\pm 25^{\circ}\text{C}$ dan salinitas yang diberikan ± 36 ppt dengan aerasi selama 24 jam pada media uji. Pemilihan *Penaeus monodon* selaku biota uji berdasarkan penelitian yang menunjukkan bahwa limbah hasil pengeboran di laut dapat membahayakan *newborn species* dari *Penaeus monodon* (Soegiyanto dkk. 2008).

Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan persentase *Penaeus monodon* yang bertahan selama 96 jam setelah diberikan WBM dengan konsentrasi yang bervariasi. Sesuai hasil pengamatan, persentase kematian binatang uji tertinggi terdapat pada jam ke-24. Pada jam ke-24, Formula Bmin-Kmin mematikan binatang uji mencapai 30% pada konsentrasi 31.250 ppm dan 40% pada konsentrasi 62.500 ppm, sedangkan pada Formula Bmax-Kmax persentase kematian binatang uji mencapai 60% pada konsentrasi 15.625 ppm. Untuk jam ke-48 Formula Bmin-Kmin, persentase kematian binatang uji tertinggi adalah 10% dari jam ke-24 atau bisa disebut mati satu ekor pada tiap bak media ujinya. Namun untuk Formula Bmax-Kmax, persentase kematian binatang ujinya lebih tinggi dibandingkan dengan Formula Bmin-Kmin, yaitu mencapai 30% pada konsentrasi 15.625 ppm dan 31.250 ppm. Pada jam ke-72 baik Formula Bmin-Kmin dan Formula Bmax-Kmax persentase maksimum kematian binatang uji yaitu 15% pada konsentrasi 7.613 ppm dan 31.250 ppm (formula Bmin-Kmin) serta pada konsentrasi 62.500 ppm (Formula Bmax-Kmax). Untuk jam ke-96, persentase kematian binatang uji pada Formula Bmin-Kmin tertinggi yaitu 10% pada konsentrasi 15.625 ppm, sedangkan pada formula Bmax-Kmax yaitu 25% pada konsentrasi 19.530 ppm. Hal ini terjadi karena adanya kontaminasi WBM dan perubahan kondisi lingkungan.



Gambar 3
Diagram EH –pH Timbel (Pb) pada Kondisi pH 5
 Sumber: *Geological Survey of Japan Open File Report No. 419* yang dimodifikasi berdasarkan hasil penelitian, 2005



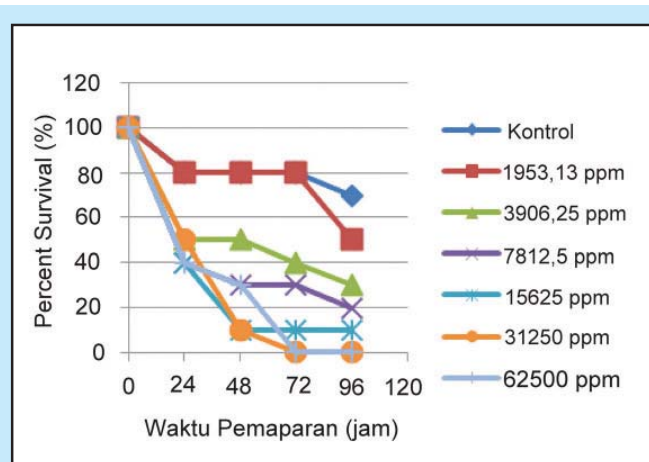
Gambar 4
Persentase *Penaeus monodon* yang bertahan selama 96 jam pemaparan formula Bmin-Kmin

Berdasarkan Gambar 6 terlihat oksigen terlarut cenderung menurun jauh pada jam ke-24 kemudian pada jam ke-48 konsentrasi oksigen terlarut meningkat kembali secara perlahan. Pada konsentrasi 0 ppm dan 1.963,13 ppm cenderung stabil dari jam ke-0 hingga ke-96. Hal ini juga terjadi pada media uji Formula Bmax-Kmax. Pulihnya konsentrasi oksigen terlarut pada media uji tetap menunjukkan perbedaan antar media uji tergantung dengan banyaknya konsentrasi yang terdapat di masing-masing media uji. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi sampel pada media uji, maka akan semakin rendah konsentrasi oksigen terlarutnya. Penurunan konsentrasi oksigen terlarut terjadi pada jam ke-24 baik pada Formula Bmin-Kmin dan Formula Bmax-Kmax kemudian kembali meningkat pada jam ke-48, jam ke-72, dan jam ke-96. Faktor-faktor yang menyebabkan fluktuasi konsentrasi oksigen terlarut dan pH adalah:

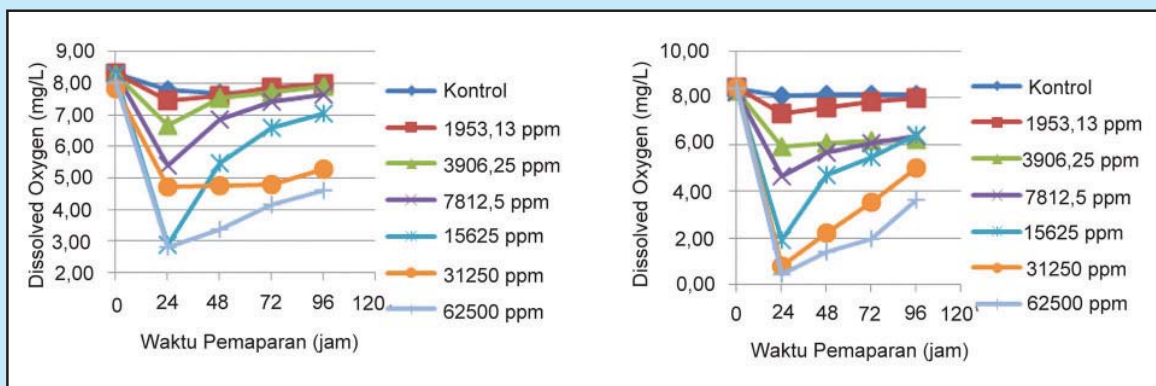
1. Semakin tinggi konsentrasi *after hot-rolled* WBM akan semakin rendah tingkat absorpsi oksigen (Sawyer 2002)
2. Semakin tinggi konsentrasi sampel yang ditambahkan akan semakin tinggi salinitas pada media tersebut dan semakin tinggi salinitas suatu media akan menurunkan potensi kelarutan oksigen di dalam air (Lehigh *Environmental*, 2011)
3. Semakin tinggi tingkat kekeruhan akan meningkatkan temperatur air dikarenakan partikel tersuspensi

mengadsorpsi panas lebih banyak (USEPA, 2012). Semakin tinggi temperatur dapat melarutkan oksigen lebih rendah (Lehigh *Environmental*, 2011). Namun semakin lamanya waktu pemaparan, masing-masing media uji mengalami penurunan kekeruhan, hal ini yang menyebabkan oksigen terlarut kembali meningkat.

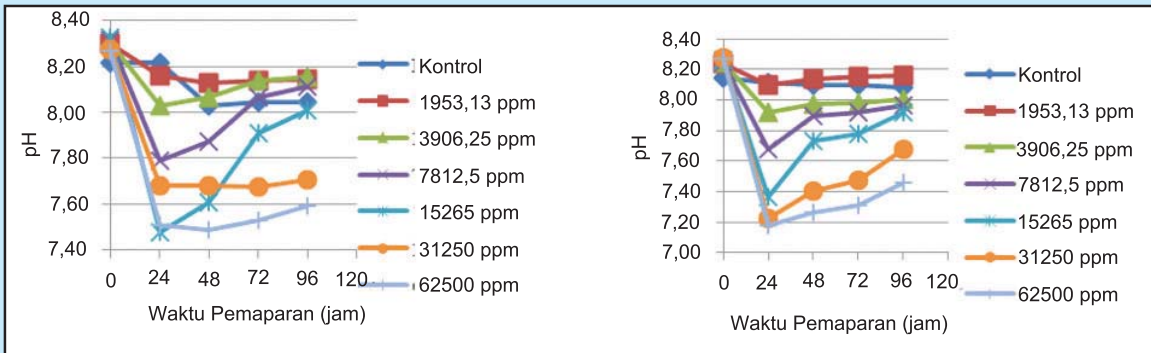
4. Menurunnya oksigen terlarut akibat dikonsumsi oleh biota uji menghasilkan karbon dioksida. Meningkatnya jumlah karbon dioksida terlarut dapat menurunkan pH (USEPA, 2012). Namun, pada Gambar 7 terlihat bahwa rentang fluktuasi pH masih berada pada rentang pH netral (7-8.5) meskipun fluktuasi konsentrasi oksigen terlarut memiliki rentang yang cukup besar (0-9 ppm).



Gambar 5
Persentase *Penaeus monodon* yang bertahan selama 96 jam pemaparan formula Bmax-Kmax



Gambar 6
Grafik konsentrasi oksigen terlarut pada formula Bmin-Kmin (kiri) dan formula Bmax-Kmax (kanan) pada uji LC₅₀-96 jam



Gambar 7 Grafik pH pada formula Bmin-Kmin (kiri) dan formula Bmax-Kmax (kanan) pada uji LC₅₀-96 jam

Tabel 2 Perhitungan manual nilai LC₅₀-96 jam pada formula Bmin-Kmin sampel pertama dalam bentuk regresi

Konsentrasi (ppm)	Log konsentrasi (x)	Koreksi mortalitas	Probit empiris (y)	x ²	y ²	x.y
0	-	-	-	-	-	-
1.953	3,2907	0	0	10,829	0	0
3.905	3,5916	0	0	12,899	0	0
7.613	3,8816	14	3,92	15,216	15,216	15,216
15.625	4,1938	29	4,45	17,288	18,663	18,663
31.250	4,4949	29	4,45	20,204	20,002	20,002
62.500	4,7959	57	5,18	23	24,843	24,843
125.000	5,0969	86	6,08	25,978	30,989	30,989

$$a = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum (xy)}{(n \sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$a = \frac{125,566 \times 24,08 - (29,345 \times 109,713)}{(7 \times 125,566) - 861,153} = -10,9871$$

$$b = \frac{n \sum (xy) - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{(7 \times 109,713) - (29,345 \times 24,08)}{(7 \times 125,566) - 861,153} = 3,4409$$

$$m = \frac{5 - (a)}{b}$$

$$m = \frac{5 - (-10,9871)}{3,4409} = 4,646197$$

Keterangan :

n = jumlah

5 = konstanta perhitungan untuk 50%

Nilai LC₅₀ - 96 jam = log⁻¹ m = log⁻¹ (4,646197) = 44.278 ppm

Hal ini dikarenakan formulasi WBM telah diperhitungkan untuk memiliki fungsi dalam menjaga pH tetap netral.

Perubahan kondisi lingkungan ini yang menyebabkan kematian pada biota uji, bahkan dengan memulihkannya konsentrasi oksigen terlarut (selaku faktor yang paling memengaruhi ketahanan biota uji) masih terdapat peningkatan persentase kematian pada biota uji. Hal ini disebabkan oleh dampak yang diberikan dari *after hot-rolled* WBM dilihat dari kandungan logam beratnya dan dampak iritasi yang ditimbulkan oleh KCl. Menurut Reis (1996), konsentrasi garam yang tinggi dapat memengaruhi sistem *muscoleskeletal* dan menyebabkan iritasi pada mata, kulit, dan sistem pernapasan. Terlihat dari bangkai udang windu yang terdapat pada media uji, badannya berwarna merah seperti terbakar. Hal tersebut mengindikasikan terjadinya iritasi pada biota uji tersebut.

Pengolahan data untuk mendapatkan nilai LC₅₀-96 jam secara manual yaitu dengan menggunakan metode *probit*. Hubungan antara variabel yang digunakan pada analisa *probit* adalah linear dalam bentuk regresi (Effendi 2011). Berikut adalah contoh

Tabel 3
Estimasi LC₅₀-96 jam dengan metode *probit manual* dan *Software SPSS Probit Analysis*

<i>After hot-rolled WBM</i>		LC ₅₀ manual (ppm)	Rata – rata LC ₅₀ manual (ppm)	LC ₅₀ SPSS (ppm)	Rata – rata LC ₅₀ SPSS (ppm)
Formula Bmin-Kmin	Sampel 1	44.278	42.290	41.033,80	45.826
	Sampel 2	40.302		50.617,20	
Formula Bmax-Kmax	Sampel 1	12.388	14.438	7.248,20	12.100
	Sampel 2	16.488		16.951,70	

pengolahan salah satu sampel (Formula Bmin-Kmin sampel pertama).

Agar estimasi konsentrasi LC₅₀-96 jam lebih akurat, maka data ini diolah juga dengan bantuan *software SPSS Probit Analysis*.

Dalam penelitian ini dapat diketahui bahwa *after hot-rolled WBM* Formula Bmin-Kmin dapat mematikan 50% populasi *Penaeus monodon* pada konsentrasi 44.058 ppm dan *after hot-rolled WBM* Formula Bmax-Kmax dapat mematikan 50% populasi *Penaeus monodon* pada konsentrasi 13.269 ppm di perairan. Sesuai dengan penelitian LC₅₀-96 jam dengan binatang uji yang sama oleh Effendi dkk (2011), nilai LC₅₀ yang didapatkan terhadap *cutting* atau serbuk bor adalah 91.883 ppm termasuk ke dalam kategori hampir tidak toksik dan sesuai dengan baku mutu lingkungan yang terdapat pada Permen ESDM No. 045 Tahun 2006.

Namun pada penelitian serupa pada lumpur bor bekas dari kegiatan pemboran lepas pantai terhadap *Penaeus monodon* oleh Soegiyanto dkk. (2008) berkisar pada konsentrasi 30.740 ppm sampai dengan 78.271 ppm.

Dari hasil estimasi nilai LC₅₀-96 jam pada Tabel 3, kedua formula berada pada kategori hampir tidak toksik (Swan dkk. 1994) dalam (Effendi dkk. 2011). Namun untuk Formula Bmin-Kmin memenuhi baku mutu lingkungan dan Formula Bmax-Kmax tidak memenuhi baku mutu lingkungan. Dari pengujian ini bisa diartikan bahwa kombinasi aditif Barit dan KCl yang bisa digunakan pada pengeboran lepas pantai adalah Formula Bmin-Kmin yaitu Barit dari PT. A dan KCl dari PT. B. Pemilihan lumpur bor ini harus diiringi dengan pengecekan teknis kualitas pengeboran, seperti densitas, *sand content*, *viskositas*,

gel strength, *filtrasi*, *mud cake*, dan ketentuan lainnya.

V. KESIMPULAN

Hasil dari penelitian pada WBM jenis KCl – Polimer PHPA yang merupakan hasil kombinasi aditif Barit dan KCl selaku prioritas aditif untuk membentuk WBM ramah lingkungan adalah pada pengujian TCLP *after hot-rolled WBM* kandungan logam berat yang melewati baku mutu lingkungan pada Formula Bmin-KMin adalah Cu (26,17 ppm) dan Pb (9,37 ppm), Formula Bmin-Kmax adalah Cu (39,74 ppm), Formula Bmax-Kmin adalah Cu (21,47 ppm), dan Formula Bmax-Kmax adalah Cu (31,70 ppm). Pada pengujian LC₅₀-96 jam, WBM dengan Formula Bmin-Kmin memiliki nilai LC₅₀ memenuhi baku mutu lingkungan sebesar 44.058 ppm dan Formula Bmax-Kmax memiliki nilai LC₅₀ yang tidak memenuhi baku mutu lingkungan sebesar 13.269 ppm. Dari hasil kedua pengujian ini dapat disimpulkan bahwa WBM jenis KCl – Polimer PHPA dapat aman digunakan pada pengeboran lepas pantai dengan pemilihan aditif Barit yang kandungan logam beratnya tidak melebihi baku mutu lingkungan pada Permen ESDM No. 045 Tahun 2006 dan setelah diformulasikan nilai LC₅₀-96 jamnya memenuhi baku mutu lingkungan. Kesimpulan dari penelitian ini masih harus disempurnakan dengan seleksi aditif lainnya yang berpotensi toksik pada lingkungan. Diduga terdapatnya kandungan logam berat pada aditif-aditif lain penyusun WBM KCl Polimer PHPA selain Barit dan KCl yang perlu diteliti lebih lanjut, seperti halnya KOH, *Resinex*, *Soltex*, *Oxygen Scavenger*, dan *Biocide*.

Kemudian diperlukan *Environmental Risk Assessment* secara kualitatif dan kuantitatif untuk

mengetahui prediksi dampak yang dapat ditimbulkan dari pemakaian WBM jenis ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari Tugas Akhir/Skripsi pada Program Studi Teknik Lingkungan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia pada tahun 2014 yang didukung oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi (LEMIGAS) dan diselenggarakan dengan dukungan dan kooperasi pada Divisi Eksploitasi, Laboratorium Pemboran.

KEPUSTAKAAN

- ALS Environmental**, 2000, Leachate Analysis
- Amoco Corporation**, 1975, Amoco Production Company Drilling Fluids Manual.
- API 13B1**, Recommended Practice for Field Testing Water-Based Drilling Fluids. American Petroleum Institute, Washington, D.C., 3rd ed. November 2003.
- Baroid Company**, 1997. Baroid Fluids Handbook Mud Testing
- Burden, P.**, dkk., 2013, *Drilling Fluid Selection Methodology for Environmentally Sensitive Areas*. Belanda : SPE/IADC
- Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral**, 2006, Peraturan Menteri Energi Sumber Daya Mineral No. 45 Tahun 2006 tentang Pengelolaan Lumpur Bor, Limbah Lumpur, dan Serbuk Bor pada kegiatan Pengemboran Minyak dan gas Bumi. Jakarta: Departemen ESDM
- Effendi H, Utama B.A, & Wardiatno Y.**, 2011, *Toksistas Limbah Pengeboran Minyak Terhadap Benur Udang Windu (Penaeus monodon)*. Bogor : Indonesia
- Lehigh Environmental**, 2011, *The Investigation of Fish Habitat*. Pennsylvania : Lehigh University
- Mahto, V & Sharma, V.P.**, 2004, *Rheological study of a water based oil well drilling fluid*. India : Elsevier B.V
- Mansyur**, 2004, *Toxicology Efek – Efek yang Tidak Diinginkan*. Indonesia: Universitas Sumatera Utara
- Ossai, C.I, dkk.**, 2010, *An Appraisal of Soil Pollution in Oil and Gas Production Environment : A Case Study of Heavy Metal Concentration in Ebocha and Akri Oil Fields*. China : Society of Petroleum Engineer
- PPPTMGB LEMIGAS**, 2014, Formula KCl-Polymer PHPA dengan Suhu 250oF. Jakarta: Indonesia
- PPPTMGB LEMIGAS**, 2014, Pengujian TCLP Lumpur Bor Bekas dan Cutting Mi Swaco. Jakarta: Indonesia
- Reis, J.C.**, 1996, *Environmental Control in Petroleum Engineering*. Houston, Texas : Gulf Publishing Company.
- Rubiandini, R.**, 2011, *Teknik Operasi Pemboran I*. Indonesia
- Sawyer, C., McCarty, P., & Parkin, G.**, 2002, *Chemistry for Environmental Engineering and Science*. McGraw Hill
- Schaaning, M.T, dkk.**, 2010, *Metal partitioning in Illinite and barite based drill cuttings on seabed sections in a mesocosm laboratory*. Brazil : Society of Petroleum Engineer
- Soegiyanto A, Irawan B, & Affandi M.**, 2008, *Toxicity of Drilling Waste and Its Impact on Gill Structure of Post Larvae of Tiger Prawn (Penaeus monodon)*. Surabaya: Indonesia. IDOSE Publications
- Unocal**, 2003, UKL-UPL Pemboran Eksplorasi Sumur Bangau #1 di Sesulu PSC, Selat Makassar. Jakarta : Lemigas
- USEPA**, 1992, Toxicity Characteristic Leaching Procedure Method 1311
- USEPA**, 2012, Turbidity, Monitoring, and Assessment.