KAJI EKSPERIMENTAL ADSORBEN TERBAIK UNTUK MENGENDALIKAN PENCEMARAN POLY AROMATIC HYDROCARBON PADA AIR LAUT DI SEKITAR GRAVING DOCK DAN TERMINAL BONGKAR MUAT KAPAL

Lilik Zulaihah[1], Rifa Arifati[2], dan Amir Marasabessy[3]

[1) 2) 3)] Fakultas Teknik, UPN Veteran Jakarta
Jalan RS. Fatmawati No.1, Pondok Labu, Jakarta Selatan, 12450

[a)] lilikzulaihah@yahoo.com
[b)] rifahs@yahoo.com
c)amir141161@gmail.com

ABSTRAK

Adsorben bentonit dan zeolit mempunyai kemampuan untuk mengadsorpsi kandungan PAH disekitar areal perairan galangan kapal dan terminal bongkar muat kapal. Beberapa faktor yang potensial mempengaruhi tingkat kemampuan adsorbent dalam mengurangi kandungan PAH adalah: a. jenis adsorbent bentonite and zeolite, b. Waktu pengambilan sampel 0, 2, 4, 6 dan 8 jam c. Waktu penyerapan adsorben zeolite sebanyak 150 gram dalam variable waktu 0, 7, 14, 28 dan 42 hari. d. Volume air laut tahun 1 tidak terukur dan tahun kedua 3 liter air laut. Dari perhitungan anova baik 2 atau 3 variabel maka bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi daya serap senyawa Bentonit dan Zeolit. Dalam penentuan adsorben terbaik, dilihat dari kemampuan melakukan penyerapan PAH baik dalam tingginya konsentrasi maupun jumlah jenis PAH yang terserap, hasil pemeriksaan di laboratorium Lembaga Oceanografi LIPI menunjukkan bahwa adsorben Zeolit mempunyai kemampuan penyerapan lebih baik dikarenakan zeolite memiliki luas permukaan yang cukup dan tidak menggumpal ketika kena air. Konsentrasi PAH pada air laut diarea terminal bongkar muat kapal sangat tinggi, yaitu 65,45 ppb, khususnya untuk PAH jenis naphthalene dan 2-Bromonaphthalen yaitu masing-masing 28,3255 dan 27,2821 ppb. Kemampuan adsorben zeolite dalam penyerapan PAH secara maksimum pada waktu penyerapan 28 hari, yaitu sebesar 19,75ppb yang didominasi oleh PAH jenis Benzo(a)pyrene dengan konsentrasi sebesar 19.2771 ppb. Sedimen mempunyai kemampuan untuk melakukan penyerapan senyawa PAH hingga mencapai konsentrasi 26.941 ppb, sedangkan Sedimen yang ada dibibir pantai hanya mampu menyerap PAH sebesar 3.851 ppb yang terdiri dari senyawa benzo(a)pyrene dan benzo(a)anthrasene

Kata kunci: *Zeolit, Poli Aromatik Hidrokarbon, Air laut*

PENDAHULUAN

Tumpahan minyak sering terjadi pada laut lepas yang berasal dari kapal, bahkan sering terjadinya pembuangan oleh kapal asing diperairan Indonesia kemudian terjadi pergeseran ke bibir laut dikarenakan adanya tekanan udara dan gelombang air laut. Operasional pelabuhan kapal selalu dipadati oleh kendaran besar berbahan bakar diesel, antara lain kendaraan *container* dan truk tronton bermuatan barang untuk pengiriman melalui kapal laut. Gas buang yang dikeluarkan oleh knalpot kendaraan besar tersebut merupakan penyumbang terbesar untuk terbentuknya polusi berupa partikulat poli aromatic hidrokarbon, yang kemudian akan bercampur dengan air laut melalui air hujan. Dalam kegiatan *docking repair* (*tank cleaning*) bahan bakar minyak pada *graving dock* dan floating repair disekitar pelabuhan bongkar muat kapal sering terjadi tumpahan minyak yang bercampur dengan air laut. Tumpahan minyak bahan bakar tersebut setelah bercampur dengan air laut akan terjadi reaksi kimia yang menyebabkan terbentuknya senyawa *Poly Aromatic Hydrocarbon* (PAH) dan reaksi tersebut dipercepat dengan adanya panas matahari dan udara bebas, sehingga dalam jangka waktu tertentu dapat menimbulkan pencemaran laut.

Dengan dimasukkannya PAH sebagai salah satu parameter penentu kualitas air laut, maka perlu dilakukan penelitian untuk memperoleh gambaran seberapa banyak jenis dan konsentrasi kandungan PAH yang ada di air laut *graving dock* maupun sedimen. Melalui pengendalian pencemaran kandungan *Poly Aromatic Hydrocarbon* diperairan sekitar *graving dock* dan sedimen, maka akan didapat perairan air laut yang sehat untuk biota laut. Eksperimen penyerapan PAH dengan menggunakan *adsorben* yang terbaik dan menentukan kebijakan optimum proses menetralisir limbah dilakukan dengan pendekatan klasik optimisasi yang menghasilkan biaya proses minimum (Udisubakti, 2012). Teknik ini dilakukan setelah mengetahui jenis adsorben yang terbaik dan hanya dapat mencapai biaya proses optimum, namun pada saat yang sama tidak dapat memasukkan manajemen lingkungan sebagai salah satu tujuan yang juga harus dicapai. *Multiple objective goal programming*, yang merupakan prosedur untuk menyelesaikan masalah multi tujuan dapat menjadi alternatif agar tidak hanya tujuan secara ekonomis yang dihitung namun juga kepentingan lingkungan.

Hasil penelitian pendahuluan tentang identifikasi PAH pada air laut dan sedimen yang sudah dilakukan tahun 2014 menunjukkan tingginya kadar PAH yang terserap air laut baik disekitar *graving dock* maupun diterminal bongkar muat kapal. Begitu juga yang terdapat pada sedimen yang berasal dari lantai *graving dock*. Hasil kajian yang dilakukan oleh lembaga penelitian oseanografi LIPI pada tahun 2011 dan 2013 dibeberapa stasiun teluk jakarta menunjukkan sangat tinggi jika dibandingkan dengan nilai ambang batas yang telah ditentukan yakni PAH yang berada pada air laut di luar *graving dock* mencapai 69.809 ppb dan pada air laut diterminal bongkar muat kapal mencapai 220,332 ppb. Sedangkan kandungan PAH pada sedimen yang di lantai *graving dock.*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa, Adsorben Bentonit dan Zeolit alam yang terbuat dari tanah liat dapat digunakan untuk penyerapan Poly Aromatic Hydrocarbon (PAH) dalam air laut dengan jumlah 5 jenis PAH yang dapat terserap dan variabel waktu 2 sampai 8 jam. Terdapat hubungan yang signifikan antara perlakuan diaktivasi/ tidak diaktivasinya dengan larutan HCl terhadap daya serap senyawa PAH oleh adsorben Bentonit dan Zeolit. Terdapat hubungan yang signifikan antara variabel waktu pengambilan sampel dengan daya serap senyawa PAH oleh adsorben Bentonit dan Zeolit. Makin lama waktu pengambilan sampel maka makin banyak jumlah jenis adsorben dan makin besar konsentrasi PAH yang terserap oleh adsorben.

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur kemampuan adsorben jenis Zeolit dalam mengadsorpsi kandungan PAH dalam air laut yang berasal dari areal perairan galangan kapal dan terminal bongkar muat kapal, menentukan kecepatan penyerapan oleh adsorben tersebut dengan variable waktu dan volume airlaut yang telah terkontaminasi PAH. Hasil dari kegiatan penelitian ini diharapkan menghasilkan model pengendalian pencemaran air laut dengan menggunakan metode *Multiple Objective Goal Programming*, yaitu suatu bentuk model pengembangan untuk penentuan kebijakan konsentrasi adsorben agar optimum secara biaya dan lingkungan dan dapat ditindaklanjuti menjadi kebijakan pemerintah untuk semua galangan kapal yang melakukan *docking repair* di *graving dock* dan *floating repair* di sekitar pelabuhan bongkar muat kapal untuk menetralisir tumpahan minyak dengan menggunakan PAH yang sesuai untuk menghindari pencemaran laut (*marine polution*) sesuai dengan ketentuan IMO yang dituangkan dalam *protocol marpoll* 1973/1978 (Annex I).

Aktivasi Bahan Adsorben

Bahan baku yang digunakan adalah Bentonit dan Zeolit alam yang berasal dari Jawa Barat. Masing-masing bahan baku adsorben 150 gr dengan ukuran 100 mesh direndam dalam 400 ml HCl dengan konsentrasi 1,6 M sambil diaduk. Aktivasi dilakukan selama 24jam kemudian disaring dan dicuci menggunakan aquadest sampai PH netral, sehingga sifat asam hilang. Padatan yang didapatkan dikeringkan pada suhu 105^{O}C selama 2 jam. Hasil dalam penelitian ini diperoleh zeolit alam teraktivasi yang memiliki warna lebih putih dibandingkan dengan zeolit alam yan belum diaktivasi. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui adsorbent yang terbaik untuk mengurangi kandungan pencemar PAH dalam air laut yang di sekitar pelabuhan dan dekat dengan galangan kapal. Beberapa faktor yang potensial mempengaruhi tingkat kemampuan adsorbent dalam mengurangi kandungan PAH adalah: a. jenis adsorbent, b. Waktu pengambilan sampel, c. Proses aktivasi adsorben dan adsorben murni, d. Suhu air laut dan e. letak penempatan adsorbent atau pengambilan sampel.

PELAKSANAAN PENGAMBILAN SAMPEL

Pengambilan sampel di area pelindo2 Tanjung Priok, dengan jumlah 12 sampel terletak ditiga tempat:

- Sampel B yaitu menggunakan adsorben zeolit, dimana B2, B4 dan B8 dengan perendalam selama 2, 4 dan 8 jam di area pelabuhan ex presiden.
- Sampel D2 dan D8 zeolit tidak diaktivasi di area keluar masuknya kapal kecil pengangkut barang.
- Sampel A2 dan A8 adsorben Bentonite tidak di aktivasi selama 2 dan 8 jam di area reparasi kapal dengan kerusakan kecil dan dalam waktu sebentar.
- Sampel C2 dan C8 adsorben Bentonit diaktivasi di area keluar masuknya kapal kecil pengangkut barang.
- Sampel S1 dan S2 adsorben bentonit diaktifasi dan dipanaskan pada suhu 30^{O}C selama 2 dan 8 jam di area reparasi kapal dengan kerusakan kecil.

Pengukuran PAH Dengan Adsorben Zeolit

Lokasi pengambilan sampel diarea pelabuhan Tanjung Priok, tepatnya di area bongkar muat kapal, dengan ijin dan arahan Deputi Keamanan, Kesehatan dan Lingkungan PT Pelindo II. Pengambilan air laut sebanyak 50 liter yang digunakan untuk penyerapan PAH oleh adsorben zeolite dengan variable waktu dan konsentrasi tertentu. Pngambilan sampel dilakukan dilaboratorium Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta dengan cara:

- Pengukuran jenis dan konsentrasi PAH pada air laut pada 0 hari, sebagai stantar kandungan PAH awal.
- 150 gram zeolite dicuci dengan menggunakan aquadest, kemudian dimasukkan kedalam 3 liter air laut.
- Variabel waktu yang digunakan 0, 7, 14, 28 dan 42 hari dengan dilakukan pengadukan secara manual

HASIL DAN PEMBAHASAN

Teknologi adsorpsi menyediakan metode layak dan efektif untuk menghilangkan polutan dari sumber air yang tercemar dan air limbah. Karbon aktif adalah adsorben yang paling umum digunakan dalam proses adsorpsi karena kapasitas adsorpsi yang tinggi, luas permukaan yang tinggi dan tingkat tinggi reaktivitas permukaan; Namun, regenerasi adalah sulit dan mahal (Okoye dan Obi, 2011. Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian yang luas sekarang difokuskan pada penemuan baru, efisien, murah dan bahan-bahan alami mudah didapatseperti bahantanah liat, pertanian oleh produk dll, untuk digunakan sebagai adsorben (Okoye danObi, 2011; Abiaetal.2007). Lempung atau tanah liat menarik perhatian karena mempunyai heterogenitas dan

penelitian telah menunjukkan bahwa tanah liat alami merupakan adsorben yang efektif karena efisiensi, biaya rendah dan ketersediaan. Kemampuan penyerapantanah liat alami yang disebabkan luas permukaan yang tinggi dan kapasitas pertukaran termasuk keberadaan muatan negative pada struktur mineral clay yang dapat menarik ion logam bermuatan positif.

Beberapa bahan telah teruji dapat mengadorpsi pencemaran PAH di air laut, antara lain tanah liat, batu kerikil dan pasir, hasil pengolahan kelapa sawit dan kompos, serta bahan- bahan sintesis seperti busa (Azanita, 2003). Tanah liat merupakan bahan terbanyak yang terdapat di permukaan bawah air sekitar graving dock. Tanah liat yang biasanya digunakan sebagai adsorben adalah zeolit dan bentolit. Zeolit dan bentolit yang sudah menyerap PAH akan berwarna hitam sehingga kemudian akan diganti dengan yang baru. Untuk mendapatkan tingkat penyerapan PAH yang baik, perlu ditentukan berapa banyak zeolit dan bentolit yang diperlukan dengan memperhatikan kondisi air tercemar PAH di graving dock dan saat penggantian atau saat kandungan adsorben sudah mulai tidak baik lagi dalam penyerapan PAH.

Tabel 1. Pengaruh Jenis adsorben Bentonite dan Zeolit terhadap daya serap PAH

PAH	A2	A8	C2	C8
Naph	0,2364	0,2315	0,2365	0,231
Anth	0,1902	0,1907	0,1948	0,1920
Fluo	0,2475	0,2482	0,2494	0,2475
Py	0,0000	0,2341	0,0000	0,2324
Ch	0,0000	0,2279	0,2295	0,2280
Fluorene	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Total	0,6740	1,1320	0,9102	1,1310

Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorben bentonit yang tidak diaktivas pada variabel waktu 2 jam dapat menyerap kandungan PAH dengan jenis Naphthalene, anthrasne dan fluoren dengan total PAH terserap sebesar 0,674 dan waktu 8 jam jenis PAH Naphthalene, anthrasne, fluoren, Pyrene dan Chrysene dengan total 1,132 ppm. Sedangkan adsorben bentonit yang diaktivasi pada waktu penyerapan 2 jam ada 4 jenis adsorben yang terserap dengan total 0,9102 dan pada 8 jam menjadi 5 jenis adsorben yang terserap dengan total 1,131 ppm.

Tabel 2. Pengaruh adsorben Zeolite yang diaktivasi dan tidak diaktivasi terhadap kadar PAH

PAH	B2	B8	D2	D8
Naph	0,23130	0,23390	0,23680	0,23610
Anth	0,00000	0,18920	0,18930	0,18980
Fluo	0,00000	0,00000	0,24710	0,24800
Py	0,23140	0,23150	0,23200	0,23200
Ch	0,00000	0,00000	0,00000	0,22760
Total	0,46300	0,65460	0,90480	1,13300

Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorben zeolite yang tidak diaktivas pada variabel waktu 2 jam dapat menyerap kandungan PAH dengan jenis Naphthalene dan pyrene dengan total PAH terserap sebesar 0,463 sedangkan variabel waktu 8 jam jenis PAH yang terserap Naphthalene, Anthracen dan Pyrene dengan total 0,6546 ppm. Adsorben zeolit yang diaktivasi pada waktu 2 jam ada 4 jenis adsorben yang terserap yaitu Naphthalen, Anthrasene, Fluoranthene dan Pyrene dengan total 0,9148 dan pada 8 jam menjadi 5 jenis adsorben yang terserap yaitu Naphthalen, Anthrasene, Fluoranthene Pyrene chrysene dengan total 1,133 ppm.

Tabel 3. Pengaruh waktu pengambilan sampel pada adsorben zeolit

PAH	B2	B4	B6	B8
Naph	0,2313	0,2314	0,2319	0,2339
Anth	0,0000	0,1894	0,1893	0,1892
Fluo	0,0000	0,2317	0,0000	0,0000
Py	0,2314	0,0000	0,2316	0,2315
Ch	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Total HMW	0,4630	0,6530	0,6528	0,6546

Adsorben zeolit mempunyai kemampuan untuk melakukan penyerapan dengan 2 jenis PAH pada variabel waktu 2 jam, yaitu Naphthalene dan Pyrene. Sedangkan pada variabel waktu 4, 6 dan 8 hanya 3 jenis PAH yang dapat terserap dengan konsentrasi total maksimum 0, 6546 ppb. Ini disebabkan karena Zeolit mempunyai pori-pori yang besar sehingga lebih mudah menyerap logam berat yang lain seperti CU^{2+} dari pada PAH. Adsorben Bentonit dan Zeolite makin lama waktu penyerapan maka makin besar konsentrasi kadar PAH dan makin banyak jenis adsorben yang terserap, begitu juga untuk adsorben yang diaktivasi maka makin banyak jenis dan konsentrasi PAH yang terserap. Hasil perhitungan annova dengan 3 variabel menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara perlakuan diaktivasi/ tidak diaktivasinya HCl dengan daya serap senyawa. Bentonit dan Zeolit dengan ditunjukkan bahwa F hitung 179,5922 lebih besar dari pada F tabel 161. Begitu juga dengan variabel waktu, terdapat hubungan yang signifikan antara lama perendaman dengan daya serap senyawa Bentonit dan Zeolit dengan ditunjukkan bahwa F hitung 162,3714 lebih besar dari F tabel 161 . bahwa Konsentrasi optimum dari zeolit alam teraktivasi dari penelitian terdahulu daya serap sebesar 0,9352 mg/g sedangkan untuk zeolit terimmobilisasi ditizon daya serapnyasebesar 1,0595 mg/g dengan presentase 95,4133%.

Pengaruh waktu penyerapan oleh adsorben Zeolit terhadap konsentrasi PAH dan banyaknya jenis PAH, pada jumlah adsorben senyak 150 gram dalam air laut sebanyak 3 liter.

Tabel 4. Konsentrasi dan jenis PAH yang terserap oleh adsorben Zeolite dengan variable waktu 0 sampai dengan 42 hari.

Jenis PaH	hari ke 0	hari ke7	hari ke 14	hari ke 28	Hari ke 42
Naphthalene	28.325	0.021	0.68	0.3481	0.12
2-Bromo naphthalene	27.282	0.046	0.4	0.121	0.827
Anthracene	4.538	0.267	0.0406	0	0.113
Fluoranthen	2.2089	0.257	0.0286	0	0.072
Pyrene	3.096	0.09	0.0171	0	0.041
Benzo (a)anthracene	0	0.11	0	0.0036	0.176
Benzo (a) pyrene	0	0	0	19.277	0.758
Total	65.45	0.791	1.166	19.75	2.789

Konsentrasi PAH pada air laut diarea terminal bongkar muat kapal sangat tinggi, yaitu 65,45 ppb, khususnya untuk PAH jenis naphthalene dan 2-Bromonaphthalen yaitu masing-masing 28,3255 dan 27,2821 ppb. Dengan penyerapan adsorben zeolite selama 7 hari, PAH yang dapat terserap sebanyak 0,791 ppb, pada 14 hari penyerapan, konsentrasi PAH yang dapat terserap sebanyak 1,166ppb. Kemampuan adsorben zeolite dalam penyerapan PAH secara maksimum pada waktu 28 hari, yaitu sebesar 19,75ppb yang didominasi oleh PAH jenis Benzo(a)pyrene dengan konsentrasi sebesar 19.2771 ppb . Ini menunjukkan bahwa PAH jenis naphthalene dan 2-Bromonaphthalen yang merupakan PAH jenis yang terdiri dari 2senyawa polisiklik aromatic dengan berat molekul rendah, mengalami reaksi oksidasi karena adanya oksigen dan panas, menjadi PAH jenis Benzo(a)Pyren yang mempunyai senyawa aromatic lebih dari 3 cicin dan memiliki berat jenis tinggi. Pada waktu penyerapan 42 hari kemampuan penyerapan zeolite mengalami penerunan, yaitu menjadi 2,789ppb.

Berdasarkan hasil uji Regresi Linier terhadap total PAH di atas, dapat disimpulkan bahwa nilai R Square 0,190511343 yang menunjukan bahwa lama waktu penyerapan oleh adsorben zeolite terhadap daya serap senyawa poliaromatik hidrokarbon keseluruhan jenis tidak berpengaruh secara signifikan. Oleh karena itu dilakukuan pengujian polynomial melalui persamaan:

$y = -8{,}959x^3 + 62{,}858x^2 - 125{,}49x + 72{,}379$ menghasilkan nilai $R^2 = 1$ yang artinya keadaan daya serap senyawa poliaromatik hidrokarbon secara keseluruhan 100% di pengaruhi oleh waktu.

Tabel 4 menunjukkan bahwa konsentrasi PAH pada air laut diarea terminal bongkar muat kapal sangat tinggi, yaitu 65,45 ppb, khususnya untuk PAH jenis naphthalene dan 2-Bromonaphthalen yaitu masing-masing 28,3255 dan 27,2821 ppb. Dengan penyerapan adsorben zeolite selama 7 hari, PAH yang dapat terserap sebanyak 0,791 ppb, pada 14 hari penyerapan, konsentrasi PAH yang dapat terserap sebanyak 1,166ppb. Kemampuan adsorben zeolite dalam penyerapan PAH secara maksimum pada waktu 28 hari, yaitu sebesar 19,75ppb yang didominasi oleh PAH jenis Benzo(a)pyrene dengan konsentrasi sebesar 19.2771 ppb. Ini menunjukkan bahwa PAH jenis naphthalene dan 2-Bromonaphthalen yang merupakan PAH jenis yang terdiri dari 2 senyawa polisiklik aromatic dengan berat molekul rendah, mengalami reaksi oksidasi karena adanya oksigen dan panas, menjadi PAH jenis Benzo(a)Pyren yang mempunyai senyawa aromatic lebih dari 3 cicin dan memiliki berat jenis tinggi. Pada waktu penyerapan 42 hari kemampuan penyerapan zeolite mengalami penerunan, yaitu menjadi 2,789ppb.

Berdasarkan hasil uji ANOVA di atas, dapat disimpulkan bahwa lama waktu penyerapan oleh adsorben zeolite terhadap daya serap senyawa poliaromatik hidrokarbon jenis 2-Bromonaphthalene tidak berpengaruh secara signifikan. Hal ini disebabkan karena senyawa 2-bromonaphthalene yang terdapat dalam air laut yang terkontaminasi limbah PAH sebesar 27.2821 ppb dapat terserap oleh adsorben zeolite, akan tetapi dengan adanya panas lingkungan dan waktu penyerapan selama 28 hari, maka 2-bromonaphthalene tersebut mengalami reaksi oksidasi dan reduksi sehingga terbentuk Benzo(a)pyren dan sebagian menguap atau terurai kembali mengingat sifatnya yang mudah menguap.

Tabel 5. Konsentrasi PAH yang terserap oleh tanah liat yang berada di area dan diluar graving doct

Jenis PaH	Sedimen dilantai (*graving dock)*	Sedimen diluar (*graving dock)*
Naphthalene	0.279	0
Acenaphthylene	0.864	0.034
2-Bromo Naphthalene	10.08	0.049
Acenaphthalene	1.195	0.047
Fluorene	2.08	0.238
Anthracene	2.785	0.901
Phenanthrene	0	0.052
Pyrene	1.586	0.084
Benzo(a)Anthrasene	1.875	1.134
Benzo(A)Pyrene	6.197	1.312
Total	26.941	3.851

Tanah liat mempunyai kemampuan untuk melakukan penyerapan senyawa PAH hingga mencapai konsentrasi 26.941 ppb di dalam dock kapal, mengingat kegiatan reparasi kapal mengalami pembuangan bahan bakar, sehingga tidak menutup kemungkinan adanya bahan bakar yang tertumpah diarea tersebut, walaupun sudah dilakukan pembersihan dengan menggunakan dispersan. Sedimen diluar dock kapal tidak mampu melakukan penyerapan maksimal, yaitu hanya mampu menyerap PAH sebesar 3.851 ppb yang terdiri dari senyawa benzo(a)pyrene dan benzo(a)anthrasene, dimana kedua senyawa ini memiliki 3 atau lebih cincin aromatic. Mengingat air laut tersebut mengalami ombak yang cukup tinggi, sehingga senyawa PAH yang sudah terserap akan terurai kembali oleh air laut yang

bertekanan, disamping itu untuk jenis PAH yang mempunyai 2 cincin aromatic cenderung lebih mudah menguap, dibandingkan senyawa PAH yang mempunyai 3 atau lebih cincin aromatic.

Tabel 6. Konsentrasi PAH Pada Air Laut Pelabuhan Tanjung Priok Jakarta Utara

Jenis PaH	Air laut di lantai (*graving dock)*	Air laut di pelabuhan bongkar muat (A)	Air laut di luar (*graving dock)*	Air laut di pelabuhan bongkar muat (B)
Naphthalene	0.039	28.3255	0.368	0.269
Acenaphthylene	0	0	4.67	0.099
2-Bromo Naphthalene	0	27.2821	0.076	1.39
Acenaphthalene	0	0	0.03	0.183
Fluorene	0.06	0	11	0.104
Anthracene	0.345	4.538	8.77	0.821
Phenanthrene	0.099	0	0.277	0.479
Pyrene	0.174	3.096	5.455	8.066
Benzo(a)Anthrasene	0.288	0	0.724	14.377
Benzo(A)Pyrene	0.838	0.534	3.598	62.054
Total	1.843	65.45	34.968	87.842

KESIMPULAN

1. Dari perhitungan anova baik 2 atau 3 variabel maka bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi daya serap senyawa Bentonit dan Zeolit adalah adanya perlakuan adsorben yang diaktivasi dan tidak diaktivasi dengan larutan HCl, dan variabel waktu pengambilan sampel dari 2 sampai 8 jam. Sedangkan perlakuan pemanasan pada saat pengambilan sampel oleh adsorben bentonite tidak menunjukkan adanya hubungan yang signifikan.
2. Dalam penentuan adsorben terbaik, dilihat dari kemampuan melakukan penyerapan PAH baik dalam tingginya konsentrasi maupun jumlah jenis PAH yang terserap, bahwa adsorben Zeolit mempunyai kemampuan penyerapan lebih baik dikarenaan zeolite memiliki luas permukaan yang cukup dan tidak menggumpal ketika kena air
3. Konsentrasi PAH pada air laut diarea terminal bongkar muat kapal sangat tinggi, yaitu 65,45 ppb, khususnya untuk PAH jenis naphthalene dan 2-Bromonaphthalen yaitu masing-masing 28,3255 dan 27,2821 ppb. Kemampuan adsorben zeolite dalam penyerapan PAH secara maksimum pada waktu 28 hari, yaitu sebesar 19,75ppb yang didominasi oleh PAH jenis Benzo(a)pyrene dengan konsentrasi sebesar 19.2771 ppb . Ini menunjukkan bahwa PAH jenis naphthalene dan 2-Bromonaphthalen yang merupakan PAH jenis yang terdiri dari 2senyawa polisiklik aromatic dengan berat molekul rendah, mengalami reaksi oksidasi karena adanya oksigen dan panas, menjadi PAH jenis Benzo(a)Pyren yang mempunyai senyawa aromatic lebih dari 3 cicin dan memiliki berat jenis tinggi, 19.38 unit per dua hari atau 10 unit per hari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Rektor UPN "Veteran" Jakarta yang berkenan mendanai penelitian ini pada tahun anggaran 2017.

REFERENSI

[1] J.Appl. Sci. Environ. Manage.March 2014, Vol. 18(1) 143-149, Kinetic Evaluation of Naphthalene Removalusing Acid-Modified and Unmodified Bentonite ClayMineral* 1OBI, C; OKOYE,IP

[2] 13 th International Conference on Urban Drainage, Sarawak, Malaysia, 7□12 September 2014 1Adsorption of Organic Pollutants in Stormwater Evaluation of Four Potential Sorbents Karin BJÖRKLUND1,2*, Loretta L

[3] B Pan, B Xing - Environmental science & technology, A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals, 2008 - ACS Publications

[5]JovanLemić, MagdalenaTomašević-Čanović. Competitive adsorption of polycyclic aromatic hydrocarbons on organo-zeolites, Microporouse dan Mesoporouse Material, Volume 105, Issue 3, 1 October 2007, Pages 317-323

[6] CF Chang, CY Chang, KH Chen, WT Tsai, Adsorption of naphthalene on zeolite from aqueous solution, Journal of colloid and interface Scince, Volume 277, issue 1, 1 September 2001, page 29-34

[7] Carla B.Vidal[a]Allen L.Barros[b]Cícero P.Moura[b]Ari C.A.de Lima[a]Francisco S.Dias[c]Luiz. C.G.Vasconcellos[c]Pierre B.A.Fechine[b],Ronaldo F.Nascimento[b] , Adsorption of polycyclic aromatic hydrocarbons from aqueous solutions by modified periodic mesoporous organosilica, Journal of colloid and interface Scince, Volume 357, issue 2, 15 Mei 2011, page 466-473.

[8] V. T. Gajbhiye, Suman Gupta, K. M. Manjaiah & Eldho Varghese , Removal of Poly Aromatic Hydrocarbons (PAHs) from Water: Effect of Nano and Modified Nano-clays as a Flocculation Aid and Adsorbent in Coagulation-flocculation Process, Pages 452-467 | Received 24 Nov 2013, Accepted 15 Feb 2014, Published online: 13 Jun 201

[9]Shanti Lamichhane[a] K.C.BalKrishna[ab] Ranjan Sarukkalige[a], Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) removal by sorption: A review, Chemospher, Volume 148, April 2016. Page 336-353

[10]M.H.G. Berntssen, R. Ørnsrud, K.Hamre, Polyaromatic hydrocarbons in aquafeeds, source, effects and potential implications for vitamin status of farmed fish species: A review , Full-text available · Article · Mar 2015 · Aquaculture Nutrition

[11] Robert Morrison and Brian Murphy, "About Coal Tar and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)", Environmental Forensics Case Studies for

the Non-Technical Person- July 12, 2010, Environmental Forensics-Contaminant Specific Guide, Academic Press, pg. 322.