

REKAYASA MINERAL BERSIFAT ABSORBAN SEBAGAI PRESERVASI MIKROORGANISME KARAKTERISASI DAN INTERKALASI

Happy Sembiring¹, Eko Tri Sumarnadi A., T. Sembiring², dan Mutia Dewi Y¹

¹Pusat Penelitian Geoteknologi – LIPI

²Puslit Fisika Terapan –LIPI

Jl. Sangkuriang, Bandung 40135

Email: sembiring_happy@yahoo.co.id

Sari

Sediaan preservasi mikroorganisme dalam kultur cair mempunyai waktu simpan yang singkat (3-6 bulan), sedangkan dalam bentuk serbuk menimbulkan infeksi saluran pernafasan. Untuk itu perlu diupayakan sebuah sediaan lain dalam tablet yang dapat mengatasi permasalahan diatas. Agar sediaan dalam bentuk tablet dapat digunakan, maka terlebih dahulu dilakukan karakterisasi, seleksi dan interkalasi mineral-mineral bersifat adsorban.

Hasil karakterisasi menunjukkan, mineral yang sesuai sebagai preservasi mikroorganisme adalah Na bentonit, karena memiliki rongga bukaan terbesar yaitu: 14,32 Å^o. Dengan memberi perlakuan: pemurnian, aktivasi, kalsinasi dan interkalasi, maka terjadi pembesaran rongga secara bertahap, yakni: Pemurnian (14,80 Å^o); Aktivasi dengan HCl 0,8 N (18,38 Å^o); kalsinasi pada 200°C (19,12 Å^o); interkalasi pada : konsentrasi EDA 20 ppm, pH 5, waktu kontak 60 menit dan RPM 150, (28,16 Å^o).

Kata kunci: limbah phenol, bentonit, karakterisasi, interkalasi, adsorpsi surfaktan EDA

Abstract

Preservation of microorganisms in the form of liquid have a short life (3 - 6 months), whereas in the form of powder causing respiratory infections. For it is necessary that the other preservation in the form of a tablet that can overcome the above problems . For preparation in tablet form as a preservation mikroorganism, the selection of adsorbent minerals must be carried out for the first step and than optimising the pores cavity. Characterization results of minerals shows that Na- bentonite is a suitable raw material as a preservation of microorganisms are , because it has the largest opening cavity (14.32 Å^o). Purification, activation, calcination and intercalation could be improved pores cavity gradually, as follows: purification (14.80 Å^o); activation by HCl 0.8 N (18.38 Å^o); calcination at 200°C (19.12 Å^o); intercalation at : EDA concentration 20 ppm, pH 5, contact time 60 minutes and RPM 150, (28.16 Å^o).

Keyword: phenolic waste, bentonite, characterization, intercalation, EDA surfactant adsorption

PENDAHULUAN

1. Latar belakang penelitian

Intensifikasi kegiatan industri berbasis petrokimia berpotensi menghasilkan limbah phenol, yang berbahaya bagi makhluk hidup seperti menyebabkan kanker, penyakit kulit, dan sebagainya, (Balbich dan Davis, 1985). Penanganan limbah phenolik, dapat dilakukan secara biologis dengan menggunakan mikroorganisme (bakteri) yang mampu mendegradasi phenol menjadi

unsur-unsur penyusunnya yang lebih sederhana, dan tidak berbahaya bagi lingkungan (Gottschalk, 1985; Sembiring dkk., 1997; 1998).

Sediaan preservasi mikroorganisme dalam bentuk kultur cair hanya mempunyai waktu simpan yang relatif singkat (3 – 6 bulan), sedangkan sediaan dalam bentuk serbuk dapat menimbulkan permasalahan infeksi saluran pernafasan (Sembiring dan Susilorukmi, 1997). Untuk itu perlu diupayakan sebuah sediaan lain dalam bentuk *tablet/pellet* yang dapat mengatasi permasalahan diatas dan sekaligus dapat melindungi mikroorganisme yang rentan terhadap perubahan kondisi lingkungan serta dapat ditujukan untuk keamanan dan kemudahan transportasi mikroorganisme tersebut. Hasil data sekunder, menunjukkan bahwa mikroorganisme penghancur phenol, mempunyai peluang untuk hidup dan berkembang dalam mineral-mineral yang bersifat absorban yaitu: bentonite, zeolite, gypsum dan lain sebagainya (Sembiring dkk.,1997). Namun, jenis mineral tersebut tidak dapat langsung digunakan, akan tetapi memerlukan proses pengolahan antara lain: karakterisasi dan seleksi jenis mineral bersifat absorban serta interkalsi.

Dari hasil karakterisasi pada penelitian, menunjukkan bahwa mineral yang sesuai sebagai bahan baku preservasi mikroorganisme adalah Na bentonit, karena memiliki rongga bukaan terbesar yaitu: 14,32 A°. Dengan memberi perlakuan yakni: pemurnian, aktivasi, kalsinasi dan interkalasi, maka terjadi pembesaran rongga secara bertahap yaitu: Pemurnian, menjadi 14,80 A°; Aktivasi pada HCl 0,8 N menjadi 18,38 A°; kalsinasi, pada T 200°C menjadi 19,12 A° dan interkalsi dengan EDA pada kondisi: konsentrasi 20 ppm, pH 5, waktu kontak 60 menit dan RPM 150, memberikan pembesaran rongga bentonit menjadi 28,16 A°.

2. Urgensi

Dalam pengelolaan lingkungan , diperlukan suatu proses pengolahan limbah yang nyaman dan efektif dalam penggunaannya. Selama ini, dalam penanganan limbah cair phenol , dilakukan dengan menggunakan mikroorganisme dalam bentuk kultur cair, namun hanya mempunyai waktu simpan yang relatif singkat (3-6 bulan), sedangkan sediaan dalam bentuk serbuk dapat menimbulkan infeksi saluran pernafasan (Sembiring dan Susilorukmi, 1997). Untuk itu perlu diupayakan sebuah sediaan dalam bentuk lain yang lebih efektif dan aman dalam penggunaannya. Hasil data sekunder, menunjukkan bahwa mikroorganisme penghancur phenol, mempunyai peluang untuk hidup dalam mineral yang bersifat absorban. Untuk itu sediaan dalam bentuk tablet mutlak diperlukan dan bersifat urgen, karena dapat mengatasi permasalahan diatas dan sekaligus dapat melindungi mikroorganisme yang rentan terhadap perubahan kondisi lingkungan serta dapat ditujukan untuk keamanan dan kemudahan transportasi mikroorganisme tersebut.

3. Perumusan masalah

Limbah phenol yang dihasilkan oleh industri petrokimia menjadi kendala yang sangat serius, karena dapat membahayakan kehidupan manusia. Untuk mengurangi dampak tersebut diatas, salah satu cara adalah mengolah limbah tersebut sampai nilai ambang batas tertentu. Didalam penelitian ini pengolahan limbah phenol difokuskan dengan menggunakan mikroorganisme. Saat ini, sediaan mikroorganisme ditemui dalam kultur cair dan serbuk. Namun kedua sediaan tersebut kurang memadai, karena sediaan dalam bentuk cair hanya mempunyai waktu simpan yang relatif singkat (3-6 bulan), sedangkan sediaan dalam bentuk serbuk dapat menimbulkan infeksi saluran pernafasan (Sembiring dan Susilorukmi, 1997). Seperti yang telah diutarakan sebelumnya, bahwa mikroorganisme penghancur phenol, mempunyai peluang untuk hidup dan berkembang dalam mineral-mineral yang bersifat absorban (Sembiring, dkk ,1997).

Oleh karena itu, dalam penelitian ini, dicari bahan mineral sebagai bentuk sediaan lain yang berfungsi sebagai preservasi mikroorganisme penghancur phenol. Bahan galian yang paling berpotensi sebagai bahan baku preservasi tersebut Bentonite, Zeolite, Gypsum. Permasalahannya adalah jenis mineral mana yang akan digunakan bagaimana sebagai bahan baku preservasi

mikroorganismen penghancur phenol, *men-treatment* dan merekayasa mineral tersebut sehingga mikroorganismen tersebut dapat hidup dalam mineral.

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh cetak biru (*blue print*) teknologi proses, dan prototip preservasi mikroorganismen dalam bentuk tablet.

Sedangkan sasarannya dibagi dalam dua bagian yaitu;

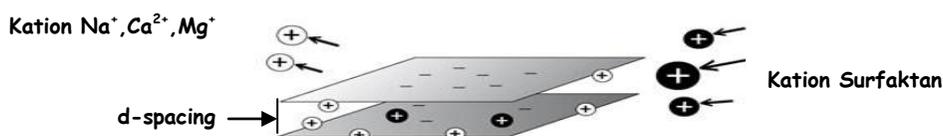
- Untuk mendapatkan bahan mineral yang bersifat adsorban sebagai preservasi mikroorganismen penghancur phenol.
- Untuk mendapatkan teknologi proses dan rekayasa mineral guna preservasi mikroorganismen.

METODOLOGI

1. Kerangka pemikiran

Mineral-mineral bersifat adsorban mempunyai peluang sebagai preservasi mikroorganismen, karena mempunyai rongga pori yang cukup besar 12-20Å^o, (Syuhada dkk., 2008). Agar mikroorganismen dapat hidup dalam mineral, maka rongga pori terlebih dahulu harus diperbesar. Pembesaran rongga pori mineral-mineral bersifat adsorban, dapat dilakukan secara bertahap melalui; pemurnian, aktivasi, kalsinasi dan interkalasi dengan surfaktan

Pembesaran rongga pori dapat ditinjau dari 2 mekanisme yakni: aktivasi dan interkalasi. Mekanisme pembesaran rongga pori dengan cara aktivasi, terjadi karena unsur-unsur logam dalam mineral bersifat adsorban terlarut, sedangkan kandungan air dan zat terbang hilang pada saat kalsinasi. Sedangkan pada proses interkalasi, disebabkan ion-ion dalam mineral adsorban digantikan oleh ion-ion surfaktan yang mempunyai diameter lebih besar, lihat Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme pembesaran pori dengan interkalasi oleh surfaktan

2. Metoda pengumpulan data

Metoda pengumpulan data, akan dilakukan melalui tahapan-tahapan kegiatan yaitu:

- ✓ Seleksi mineral-mineral bersifat adsorban dengan analisis XRD, dimana mineral-mineral yang memiliki rongga pori terbesar yang akan digunakan.
- ✓ Merekayasa mineral bersifat adsorban, untuk memperbesar rongga pori, melalui ; perendaman dalam air (24 jam), aktivasi, kalsinasi.
- ✓ Memperbesar rongga pori, dengan interkalasi. Interkalat yang digunakan adalah EDA.

HASIL

Karakterisasi

1. Analisis AAS

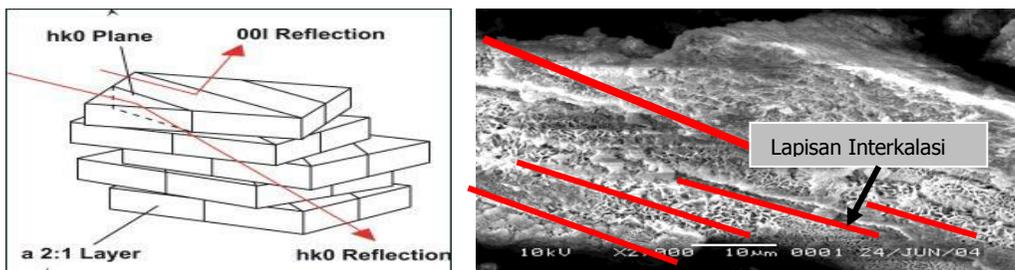
Hasil analisis AAS menunjukkan bahwa unsur utama adalah Si dan Al yang dijumpai dalam bentuk SiO_2 dan Al_2O_3 (lihat Tabel 1). Fe, Na, Mg, K, Ti, Ca merupakan unsur pengotor yang harus diminimalisir untuk memperoleh kandungan mineral monmorilonite yang relatif murni.

Tabel 1. Hasil Analisis Kimia Mineral Na, Ca Bentonit

No	Unsur	Hasil Analisis (%)	
		Bentonit (Ca)	Bentonit (Na)
1	SiO_2	51,79	53,49
2	TiO_2	0,69	0,65
3	Al_2O_3	11,44	11,32
4	Fe_2O_3	4,41	3,21
5	MnO	0,78	0,77
6	MgO	0,57	0,55
7	CaO	0,15	0,05
8	Na_2O	7,31	7,35
9	K_2O	1,65	1,76
10	P_2O_5	0,99	1,32
11	LOI	19,01	19,53

2. Analisis X-RD

Berdasarkan data-data sekunder, bentonit merupakan bahan galian yang paling berpotensi sebagai bahan baku preservasi mikroorganisme, karena memiliki volume rongga yang paling besar $14,32 \text{ \AA}^\circ$, lihat tabel 2. Disamping itu juga memiliki struktur berlapis, yang memungkinkan untuk diinterkalasi, sehingga terjadi peningkatan besaran rongga, lihat Gambar 2.



Gambar 2. Struktur layer Na-bentonit

Namun bentonit itu sendiri terdiri dari Ca dan Na bentonit. Untuk memilih jenis bentonit yang akan digunakan analisis XRD, dengan mendasarkan volume rongga yang terbesar. Analisis XRD menunjukkan bahwa Na bentonit mempunyai rongga yang lebih besar yakni $14,32 \text{ \AA}^\circ$, lihat Tabel 2.

Tabel 2. Besaran rongga (d-spacing) dari Ca dan Na Bentonit

No	Pos ($^{\circ}2\theta$)	d-spacing (A°)
1	5,70	13,97
2	17,43	7,28
3	19,78	4,78
4	21,64	4,64
5	23,54	3,54
6	24,24	3,52
7	26,50	2,95
8	27,84	2,85
9	29,31	2,69
10	35,46	1,95
11	36,72	1,86
12	36,82	1,76
13	37,00	1,67
14	54,20	1,54

Ca-bentonit

No.	Pos. [$^{\circ}2\theta$.]	dspacing [A°]
1	6,17	14,32
2	12,37	7,15
3	19,93	4,45
4	20,90	4,25
5	24,93	3,57
6	26,69	3,34
7	38,32	2,35
8	50,24	1,81
9	55,07	1,67
10	60,00	1,54

Na-bentonit

Dari hasil analisis XRD diatas, menunjukkan d-spacing Na bentonit (14,32 A°) lebih besar dari Ca bentonit (13,97 A°), sehingga bahan baku yang akan digunakan sebagai preservasi mikroorganism adalah Na bentonit.

3. Pemurnian

Pemurnian dilakukan dengan cara perendaman bentonit dalam air selama 6 jam, lihat Tabel 3. Hal ini dimaksudkan untuk memberi kesempatan bentonit mengembang dan mengeliminir unsur-unsur pengotor.

Tabel 3. Daya kembang (perubahan volume) Bentonit

Conto	Waktu (jam)	0	1	2	3	6	Penambahan volume (%)
		Volume (ml)					
1		2,0	2,6	2,8	2,8	3,0	50
2		2,0	2,4	2,4	3,4	4,0	100
3		2,0	3,0	3,2	3,2	3,2	60
4		2,0	2,8	3,0	3,0	3,0	50
Rata-rata		2,0	2,7	2,9	3,1	3,3	65

Hasil analisis daya kembang menunjukkan bahwa bentonit rata-rata mengembang sebesar 65%. Disamping itu, terjadi penghilangan unsur pengotor, sehingga terjadi pembesaran rongga dari 14,32 menjadi 14,80 A° , seperti terlihat pada Tabel 4.

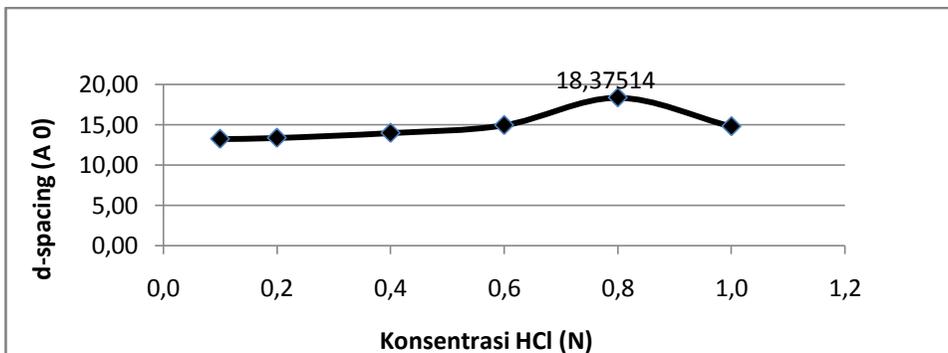
Tabel 4. Perubahan pembesaran rongga bentonit (hasil pemurnian)

No.	Pos. [°2Th.]	dspacing [Å]
1	6,17	14,32
2	12,37	7,15
3	19,93	4,45
4	20,90	4,25
5	24,93	3,57
6	26,69	3,34
7	38,32	2,35
8	50,24	1,81
9	55,07	1,67
10	60,00	1,54

No.	Pos. [°2Th.]	dspacing [Å]
1	5,97	14,80
2	12,27	7,21
3	19,87	4,46
4	20,87	4,25
5	24,88	3,58
6	26,64	3,34
7	33,93	2,64
8	34,88	2,57
9	54,83	1,67
10	60,03	1,54

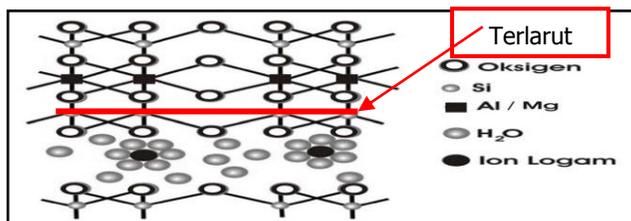
4. Aktivasi Kimia

Salah satu cara lain untuk memperbesar rongga pori bentonit adalah dengan melakukan aktivasi. Dalam penelitian ini aktivasi dilakukan dengan HCl pada konsentrasi 0,2 N; 0,4 N; 0,6 N; 0,8 N; 1,0 N. Dari hasil analisis XRD, menunjukkan pembesaran rongga bentonit yang optimal terjadi pada konsentrasi HCl 0,8 N menjadi 18,38 Å, Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan Konsentrasi HCl terhadap d-Spacing

Pembesaran rongga ini terjadi karena kisi-kisi kristal terbuka, sehingga kation Al^{3+} dan Mg^{2+} pada lembar oktahedral pada setiap lapisan terkena oleh asam HCl, kemudian terlarut, lihat Gambar 4.



Gambar 4. Unsur yang Terlarut dalam HCl

5. Kalsinasi

Kelemahan dari bentonit alam adalah rusaknya struktur lapis dan hilangnya porositas karena pemanasan pada suhu tinggi 500°C, Syuhada, dkk, 2008. Oleh karena itu dalam penelitian ini, kalsinasi hanya dilakukan pada temperatur 100°C; 200°C dan 400°C, lihat Tabel 5.

Tabel 5. Pembesaran Rongga Bentonit hasil Kalsinasi.

Temperatur (°C)	d-spacing (Å)
100	18,38
200	19,12
400	18,99

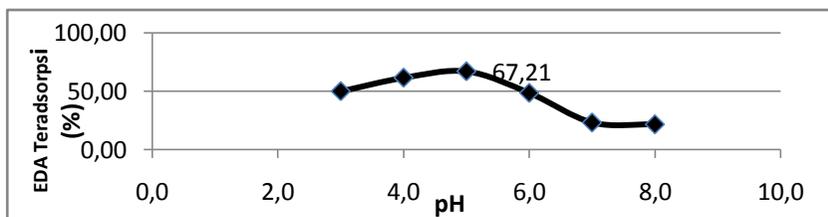
Dari hasil percobaan menunjukkan, bentonit Karangnunggal memberikan pembesaran rongga dari 18,38 Å menjadi 19,12 Å pada T 200 °C. Hal ini disebabkan gugus OH- menghilang menurut reaksi : $2 \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{(g)} + \text{O}^{2-}$, disamping itu *stretching*/terbentuknya gugus Si-O-Si baik pada lembar Octahedral maupun Tetrahedral .

6. Penambahan Surfaktan

Kandungan utama bahan galian bentonit adalah mineral monmorilonit (80%), dengan rumus kimia $\text{M}_x(\text{Al}_{4-x}\text{Mg}_x)\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4.n\text{H}_2\text{O}$. Struktur monmorilonit terdiri dari 3 layer yang terdiri dari 1 lapisan alumina (AlO_6) berbentuk oktahedral pada bagian tengah diapit oleh 2 lapisan silika (SiO_4) berbentuk tetrahedral. Diantara lapisan oktahedral dan tetrahedral terdapat kation monovalent maupun bivalent, seperti Na^+ , Ca^{2+} dan Mg^{2+} dan memiliki jarak (d-spacing) sekitar 1,2 - 1,5 nm. Lapisan-lapisan dalam bentonit tersebut teraglomerasi (menggumpal), karena adanya gaya tarik menarik antar partikel. Dengan teknik tertentu yaitu; interkalasi surfaktan, gaya tersebut dapat dikurangi sehingga jarak antar layer dalam struktur monmorilonit (d-spacing) akan bertambah besar (>1,5 nm). Perubahan sifat bentonit merupakan hasil dari pergantian kation organik pada bentonit dengan kation organik surfaktan. Dengan masuknya surfaktan kedalam bentonit, d-spacing pada bentonitpun bertambah besar (terinterkalasi). Dalam penelitian ini, surfaktan (interkalat) yang digunakan adalah EDA. Agar interkalasi dapat berjalan dengan baik, maka terlebih dahulu harus dilihat kemampuan adsorpsi EDA oleh bentonit. Kemampuan adsorpsi tersebut, sangat tergantung pada beberapa parameter yakni ; pH, waktu kontak, konsentrasi EDA dan RPM.

6.1. Optimalisasi pH

Optimalisasi dilakukan dengan mengatur pH luluhan pada rentang pH 3, 4, 5, 6, 7 dan 8, sedangkan parameter-parameter lainnya adalah tetap, yakni; waktu kontak 20 menit, rpm 150 dan konsentrasi EDA 10 ppm. Hasil percobaan menunjukkan bahwa titik optimum dari adsorpsi EDA oleh bentonit terjadi pada pH 5 yaitu 67,21%. (lihat Gambar 5). Hal ini terjadi karena EDA masih tetap dalam bentuk larutan dan bentonit dalam bentuk solid. Oleh karena itu gugus-gugus aktif bentonit mengikat ion-ion EDA melalui ikatan koordinasi menjadi semakin besar. Selain itu ketersediaan H^+ pada pH 5 tidak terlalu banyak, sehingga peluang terjadinya kompetisi antara ion H^+ dengan ion-ion EDA dalam adsorpsi oleh bentonit sangat kecil.

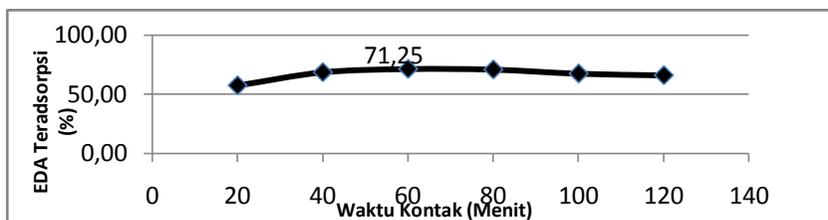


Gambar 5. Pengaruh pH terhadap Adsorpsi EDA oleh Bentonit

6.2. Optimalisasi Waktu Kontak

Optimalisasi waktu kontak, dilakukan pada kondisi pH=5 (optimum), konsentrasi EDA 10 ppm dan RPM 150. Sedangkan yang menjadi variabel adalah parameter waktu kontak dengan rentang 20, 40, 60, 80, 100 dan 120 menit.

Dari hasil percobaan menunjukkan kemampuan optimum adsorpsi bentonit terhadap EDA terjadi pada waktu kontak 60 menit, dengan tingkat adsorpsi 71,25 %, lihat Gambar 6.



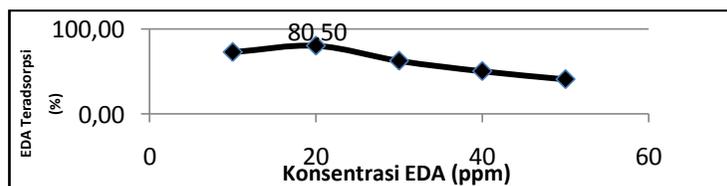
Gambar 6. Pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi EDA oleh Bentonit.

Dari grafik diatas terlihat bahwa tingkat adsorpsi EDA oleh bentonit lebih kecil pada waktu kontak 20 dan 40 menit yakni; 57,31 dan 68,48 %. Hal ini disebabkan waktu kontak yang relatif singkat, dimana ion-ion EDA belum berinteraksi secara keseluruhan dengan gugus aktif bentonit. Sedangkan pada waktu kontak 80, 100 dan 120 menit, ion-ion EDA yang terserap terlepas kembali (akibat waktu agitasi berlebih), sehingga menurunkan tingkat adsorpsi menjadi 70,78; 67,34 dan 65,92 %.

6.3 Optimalisasi Konsentrasi EDA

Optimalisasi konsentrasi EDA, dilakukan pada kondisi pH=5, waktu kontak 60 menit (optimum) dan RPM 150. Sedangkan yang menjadi variabel adalah parameter konsentrasi EDA dengan rentang 10, 20, 30, 40 dan 50 ppm.

Dari hasil percobaan menunjukkan kemampuan optimum adsorpsi bentonit terhadap EDA terjadi konsentrasi EDA sebesar 20 ppm, dengan tingkat adsorpsi 80,5 %, lihat Gambar 7.



Gambar 7. Pengaruh konsentrasi EDA terhadap adsorpsi EDA oleh Bentonit.

Dari hasil percobaan, menunjukkan bentonit dapat mengadsorpsi ion-ion EDA secara efektif pada konsentrasi 20 ppm. Hal ini disebabkan perbandingan jumlah adsorbat dengan gugus aktif bentonit sudah tepat. Selain itu, semakin besar konsentrasi EDA dalam larutan, kerapatan ion-ion EDA juga semakin besar, yang mengakibatkan kecepatan adsorbat menumbuk adsorben menjadi lambat, sehingga jumlah ion-ion EDA yang teradsorpsi oleh bentonit mengecil.

Pada konsentrasi EDA lebih besar dari 20 ppm, menunjukkan penurunan tingkat adsorpsi oleh bentonit yakni ; 62,7 % ; 50,5 % dan 41,0 % pada konsentrasi EDA 30; 40 dan 50 ppm. Hal ini disebabkan jumlah adsorbat lebih banyak dari gugus aktif bentonit. Akibatnya ion-ion EDA yang tersisa dalam larutan menjadi lebih banyak.

Dengan penambahan surfaktan (EDA) pada kondisi optimal yakni : pH luluhan 5, waktu kontak 60 menit dan konsentrasi EDA 20 ppm pada RPM 150, maka terjadi peningkatan pembesaran rongga dari 19,12 Å^o (hasil pemurnian dan aktivasi) menjadi 28,16Å^o.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tersebut diatas, maka dapat disimpulkan antara lain :

1. Bahan galian yang sesuai untuk bahan baku preservasi mikroorganisme adalah Na bentonit dengan *d-spacing* 14,32Å^o.
2. Rekayasa dengan ; pemurnian, aktivasi k dengan HCl 0,8 N, kalsinasi) pada T ; 200°C, dapat memperbesar rongga bentonit dari 14,32Å^o menjadi 19,12Å^o.
3. Interkalasi dengan surfaktan pada kondisi optimal yakni; pH 5, waktu kontak 60 menit, konsentrasi EDA 20 ppm dan RPM 150, meningkatkan besaran rongga menjadi 28,15977Å^o.

DAFTAR PUSTAKA

- Balbich, H. dan Davis, H.A., 1981. *Phenol: a Review of Enviromental and Health Risk Regulation*. Toxicol Pharmacol 1: 90-190.
- Gottschalk, G., 1985. *Bacterial Metabolism*, Second Edition, Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, Tpkyo.
- Sembiring, T. dan Susilorukmi, A., 1997. *Pengujian Pellet Mikroba Penghancur Phenol*. Proceeding Seminar Nasional Fisika Terapan dan Lingkungan '97, Serpong 1997, ISBN 979-8580-15-X;979-8580-17-6
- Sembiring, T. dan Sembiring, H., 1997. *Pelletisasi Mikroorganisme Bakteri Penghancur Phenol : Buatan Pellet dengan Bahan Tambahan Mineral Alam*. Prosiding Seminar Nasional Biologi XV., Lampung, 1997, ISBN : 979-8287-17-7
- Sembiring, T. dan Sembiring, H., 1998. *Optimalisasi Sifat Campuran Zeolit dan Dolomit sebagai Media dalam Pelletisasi Bakteri*. Buletin IPT
- Sembiring, T., Susilorukmi, A. dan Sembiring, H., 1998. *Uji Viabilitas Bakteri Penghancur Phenol dalam Pellet Dolomit, Zeolit dan Karbon Aktif*. Teknologi Indonesia.
- Suhala, S., 1997. *Bahan Galian Industri*. Pusat Penelitian dan pengembangan Teknologi Mineral, 10-128.
- Syuhada, Wijaya, R., Jayatin, dan Rohman, S., 2008. *Modifikasi Bentonit (Clay) menjadi Organoclay dengan penambahan Surfaktan*. Journal Nanosains dan Nanoteknologi, vol.2, No. 1 Februari 2009.