

## Reduksi Logam Merkuri (Hg) dengan Penambahan Na<sub>2</sub>S atau NaOH pada Limbah Cair Pengujian COD Refluk Terbuka

### *Reduction of Metal Mercury (Hg) by addition of Na<sub>2</sub>S or NaOH at Open Reflux COD Wastewater Testing*

Arifati Munfarida<sup>1</sup>, Alexander Tunggul SH<sup>2\*</sup>, Liliya Dewi Susanawati<sup>2</sup>, Handaru B Cahyono<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Keteknikan Pertanian Universitas Brawijaya, Jl. Veteran-Malang 65145

<sup>2</sup> Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya, Jl. Veteran-Malang 65145

<sup>3</sup> Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya, Jl. Jagir-Surabaya 60244

\* Email Korespondensi : alexandersutan@ub.ac.id

#### ABSTRAK

Limbah laboratorium mengandung bahan cemaran. Salah satu bahan cemaran bersumber dari pengujian COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang menggunakan serbuk merkuri. Merkuri (Hg) adalah unsur yang sangat berbahaya bagi lingkungan. Penelitian ini menggunakan presipitasi sulfida dan hidroksida untuk mengendapkan logam berat dalam limbah cair pengujian COD khususnya merkuri. Penelitian ini terdiri atas tiga tahap. Tahap pertama adalah mengetahui karakteristik limbah cair. Tahap ke dua adalah mereduksi merkuri dengan NaOH 5% (v/v) dan Na<sub>2</sub>S 5% (v/v) dengan kontrol kecepatan 120 rpm dan lama pengadukan 30 menit. Tahap ke tiga adalah tahap presipitasi atau pengendapan dilanjutkan penyaringan. Hasil penelitian ini diperoleh bahwa untuk mereduksi Hg 103.42 mgL<sup>-1</sup> membutuhkan 290 mL Na<sub>2</sub>S 5% untuk mencapai removal optimal yaitu 95.48% pada pH 9.02 sedangkan menggunakan NaOH 5% untuk mereduksi Hg 103.42 mgL<sup>-1</sup> membutuhkan 166 mL NaOH 5% untuk mencapai removal optimal 93.88% Hg pada pH 10.42. Endapan hasil reaksi dengan Na<sub>2</sub>S yaitu HgS atau ikatan sulfida, sedangkan reaksi dengan NaOH endapannya berupa ikatan hidroksida yaitu Hg(OH)<sub>2</sub>. Biaya menggunakan NaOH lebih murah 2 kali dibanding Na<sub>2</sub>S, namun untuk me-recovery Hg lagi lebih mudah menggunakan dengan Na<sub>2</sub>S.

**Kata Kunci :** Merkuri, pH, presipitasi

#### Abstract

*Laboratory wastes containing material contamination. One of the contaminant material sourced from testing COD (Chemical Oxygen Demand) which uses mercury powder. Mercury (Hg) is an element that is very be deadly for the environment. This study using sulfide precipitation and hydroxide to precipitate the heavy metals in the wastewater COD testing, especially mercury (Hg). This study consisted of three phases. Hold the first is to know the characteristics of liquid waste. The second stage is to reduce mercury with NaOH 5% (v / v) and Na<sub>2</sub>S 5% (v / v) to control speed of 120 rpm and a stirring time of 30 minutes. The third stage is the stage of precipitation or precipitation continued screening. Results of this study showed that to reduce Hg 103.42 mg L<sup>-1</sup> requires Na<sub>2</sub>S 290 mL of 5% in order to achieve optimum removal is 95.48% at pH 9.02 while using NaOH to reduce Hg 103.42 mgL<sup>-1</sup> requires a 166 mL NaOH 5% to achieve optimum removal 93.88% Hg at pH 10.42. The precipitate reaction products with Na<sub>2</sub>S that HgS or sulfide bond, while the reaction with the sediment in the form of bond hydroxide NaOH 5% is Hg (OH)<sub>2</sub>. Using NaOH cheaper costs 6 times compared to Na<sub>2</sub>S, but to recovery Hg more easier to use with Na<sub>2</sub>S.*

**Keywords :** Mercury, pH, presipitation

## PENDAHULUAN

Salah satu sumber polutan Laboratorium berasal dari Limbah Cair Pengujian COD (*Chemical Oxygen Demand*) metode refluk terbuka. Hal tersebut karena dalam pengujianya menggunakan bahan larutan induk logam merkuri (SNI 6989.78: 2011). Limbah cair hasil pengujian COD biasanya akan menghasilkan Hg dengan kadar : 77.6-392 mgL<sup>-1</sup> (Makara, 2010), 594.6 mgL<sup>-1</sup> (Sari, 2013). Merkuri adalah unsur yang sangat berbahaya dan memiliki toksisitas yang sangat tinggi (Zulkifli, 2002 *dalam* Lestari 2012) bagi lingkungan. Berikut ini adalah urutan toksisitas logam berat dan menimbulkan gangguan kesehatan manusia : Hg > Cd > Ag > Ni > Pb > As > Cr > Sn > Zn (Widowati *et al.*, 2008). Keracunan Hg dapat menimbulkan gangguan pada tubuh manusia contohnya pikun, insomania, iritasi, depresi, convulsi, ginjal, hati, limpa. Selain itu dapat menimbulkan gejala gaetero-intestinal (GI) seperti colitis, sakit saat menguyah, gingivitis, hipersalivasi, stomatis, gigi mudah lepas, garis hitam pada gusi (Said, 2010), ataxia, headache, fatigue, parkinsonian symptoms, tremor (Hyman, 2004), paresthesia, hypaesthesia, penyempitan bidang visual, pendengaran (Matlock, *et al.* 2001). Oleh karena itu, diharapkan dalam penelitian ini dapat mereduksi Hg dengan tepat agar tidak menimbulkan keracunan pada Mahkluk hidup sekitar.

Menurut Lestari (2012) ada beberapa metode untuk mereduksi logam merkuri dalam Limbah Cair COD yaitu presipitasi, adsorpsi, pertukaran ion, pelindian (*extraction*), osmosis balik (Jorgensen dan Johson, 1989 *dalam* Setia 2012). Menurut Meyer (1998) keuntungan metode presipitasi yaitu : mudah pengoperasiannya, konsentrasi keluaran rendah dan harga bahan kimia relatif lebih rendah. Penelitian ini menggunakan Na<sub>2</sub>S sebagai pengendap karena memiliki kestabilan yang lebih baik (Waharatmo, 2009). Penggunaan NaOH karena harganya lebih murah, tersedia banyak di pasar, mampu mengendapkan logam, relatif tidak berbahaya (Schwitzgebel, 1995 *dalam* Setia 2002).

Tujuan penelitian ini adalah memberikan informasi jumlah optimal

natrium sulfida (Na<sub>2</sub>S) yang dibubuhkan per satuan massa unsur merkuri; memberikan informasi jumlah optimal natrium hidroksida (NaOH) yang dibubuhkan per satuan massa unsur merkuri; dan memberikan informasi perbandingan persentase (%) *removal* Hg dengan Na<sub>2</sub>S dan NaOH dalam limbah cair pengujian COD.

## BAHAN DAN METODE

### Pembuatan larutan Na<sub>2</sub>S 5%

Na<sub>2</sub>S 5% artinya 25 gram Na<sub>2</sub>S dalam 475 gram air. Untuk membuat larutan Na<sub>2</sub>S 5% sebanyak 0,5 L diperlukan serbuk Na<sub>2</sub>S teknis sebanyak 25 gram dilarutkan dalam akuades hingga volumenya 500 mL di dalam labu takar. Penelitian ini menggunakan Na<sub>2</sub>S 5% dan NaOH 5% karena untuk mempermudah menentukan kenaikan pH sehingga mudah untuk mendapatkan data volume setiap kali penambahan larutan ke dalam sampel uji.

### Pembuatan larutan NaOH 5%

NaOH 5% artinya 50 gram NaOH dalam 950 mL atau gram akuades. Pembuat larutan NaOH 5% sebanyak 1000 mL diperlukan NaOH teknis sebanyak 50 gram kemudian dilarutkan dalam akuades hingga volumenya 1000 mL di dalam labu takar.

### Pengambilan Limbah cair

Limbah cair pengujian COD refluk terbuka ini sudah tersedia ditampung dalam wadah khusus di dalam Laboratorium. Jadi proses pengambilannya cukup menuangkan dengan menggunakan gelas ukur sebanyak 500 mL selanjutnya diencerkan sampai 10 L (20x penenceran). Sampel limbah diambil 0.5 L untuk diuji kadar awal Hg dengan secara spektrofotometri serapan atom uap dingin sesuai SNI 6989.78: 2011. Pengenceran dilakukan 20 kali karena : 1) menghindari bahaya paparan merkuri yang sangat bertoksisitas tinggi, 2) mempermudah perlakuan untuk setiap kali pengujian sampel, 3) laboratorium tidak bisa menerima sampel yang terlalu pekat. Fenomena fisik yang ada antara lain adalah perubahan bentuk padatan terlarut yang relatif berukuran kecil menjadi padatan tersuspensi yang relatif berukuran besar sehingga mudah diendapkan. Faktor fisik

lainnya adalah pengadukan yang dapat mempercepat proses presipitasi kimia (Metcalf & Eddy, 1991).

#### Karakteristik Limbah Cair

Limbah cair pengujian COD refluk terbuka berwarna jernih agak kebiruan. Limbah ini memiliki kandungan logam antara lain Hg 103.42 mgL<sup>-1</sup>, Krom total 11.28 mgL<sup>-1</sup>, Perak 24.69 mgL<sup>-1</sup> dengan pH 1.5 (Hasil Uji Laboratorium, 2014).

#### Metode Presipitasi

Penelitian ini menggunakan presipitasi sulfida dan hidroksida untuk mengendapkan logam berat dalam limbah pengujian COD khususnya Hg. Sulfida dan hidroksida ini sebagai pengontrol pH, karena merkuri ini kelarutannya dipengaruhi oleh pH larutan (Ismail, 2013). Presipitasi merupakan salah satu usaha untuk mengubah kondisi fisik bahan dari berbentuk terlarut (*dissolved*) menjadi padatan tersuspensi, sehingga dapat atau dengan mudah dipisahkan oleh proses sedimentasi. Penggunaan proses presipitasi mempunyai tujuan untuk menghasilkan keadaan dimana terdapat kondisi bentuk padatan tak larut yang dominan (Schoedder, 1977 dalam Ismayana, 1997). Kemampuan proses presipitasi kimia yaitu untuk menghilangkan bahan yang ada pada air buangan atau air limbah. Perubahan bentuk padatan terlarut yang relatif berukuran kecil menjadi padatan tersuspensi yang relatif berukuran besar sehingga mudah diendapkan. Faktor fisik lainnya adalah pengadukan yang dapat mempercepat proses presipitasi kimia (Metcalf & Eddy, 1991).

#### Pelaksanaan Penelitian

Diambil 0.5 L sampel limbah yang sudah diencerkan. Kemudian ditambahkan Na<sub>2</sub>S 5 % atau NaOH 5% sambil diaduk menggunakan *magnetic stirer* (Sibata MGT 101) selama 30 menit dengan kecepatan 120 rpm (Setia, 2002). Penambahan larutan reagen (Na<sub>2</sub>S atau NaOH) dilakukan diantara pH 7 sampai 12 dan dicatat volume penambahan reagen setiap di level pH. Proses ini dilakukan sampai pH 12 karena untuk pH > 12 logam Hg yang terpresipitasi akan terlarut lagi. Tahap berikutnya

dilanjutkan proses penyaringan dengan kertas saring potong ukuran 10 µm, kemudian filtrat dibawa ke laboratorium untuk diuji kadar Hg dan pH. Selanjutnya dianalisis dan dihitung persentase removal.

#### Analisa data

Analisis data menggunakan perhitungan teoritis dan sebenarnya. Menurut Setia (2002) konsentrasi logam yang tersisihkan dalam proses presipitasi didapat dari selisih antara konsentrasi logam awal (C<sub>i</sub>) dengan konsentrasi akhir (C<sub>f</sub>). Sedangkan nilai persen efektifitas atau persen removal dihitung dari selisih konsentrasi awal dengan konsentrasi akhir terhadap konsentrasi awal dalam persen.

$$\% \text{ Removal} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \quad (1)$$

Perhitungan teoritis dengan stokiometri kimia menggunakan sistem mol. Jumlah mol didapatkan dari massa (m) dibagi dengan massa relatif (Mr) atau mol (n) diperoleh dari Molaritas (M) dikali Volume (V).

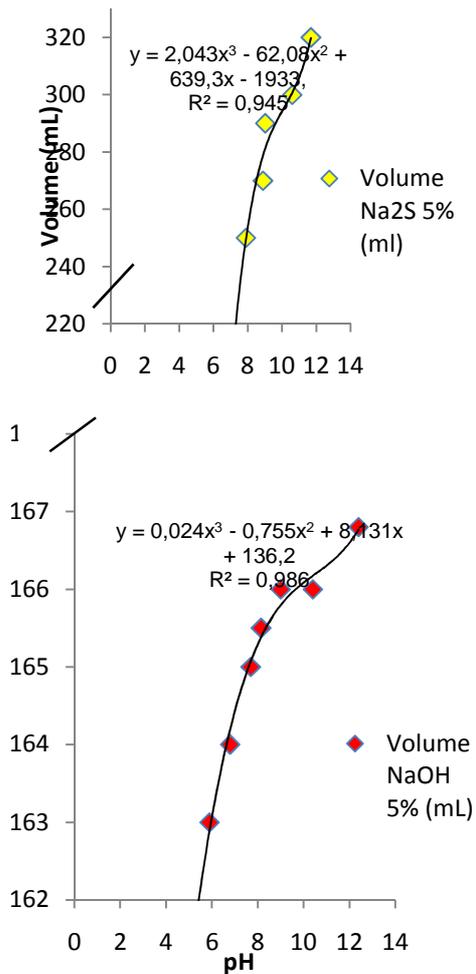
$$n = \frac{m}{Mr} = M.V \quad (2)$$

Massa atom relatif unsur: Hg (200.59), S (32.07), O (16.00), N (14.01), H(1.008) dan Na(22.99).

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan informasi data : volume penambahan setiap reagen, konsentrasi Hg dan pH. Untuk lebih jelas data hubungan volume terhadap pH dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1 memberikan informasi semakin besar penambahan reagen maka pH sampel akan naik. Hasil penelitian ini menunjukkan penambahan volume Na<sub>2</sub>S 5% sudah mendekati hasil perhitungan teoritis. Hasil perhitungan stokiometri pH dalam larutan Na<sub>2</sub>S 5 % dan NaOH 5% yaitu 10.41 dan 14. Hasil perhitungan stokiometri volume penambahan Na<sub>2</sub>S 5% untuk mencapai pH 11.7 membutuhkan 402.4 mL sedangkan dengan NaOH 5% untuk mencapai pH 10 membutuhkan 206 mL.

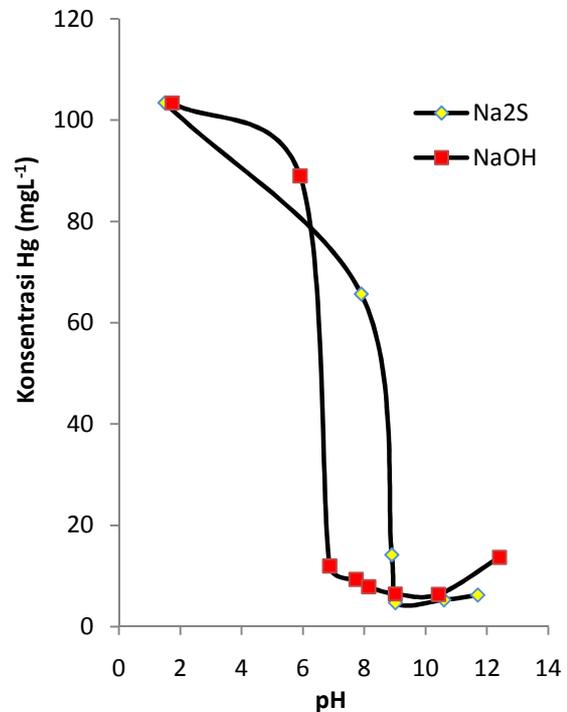


Gambar 1

Hasil sebenarnya penambahan  $\text{Na}_2\text{S}$  5% mencapai pH 11.7 membutuhkan 320 mL, sedangkan  $\text{NaOH}$  5% membutuhkan 166 mL untuk mencapai pH 10. Terjadi perbedaan ini karena bahan kimia yang digunakan bahan kimia teknis. Menggunakan bahan kimia teknis karena sesuai aplikasi yang akan digunakan di lapang. Menurut Sumpeno, *et al* (2007) penggunaan bahan kimia teknis ini sering diperuntukkan pada operasional skala besar (industri).

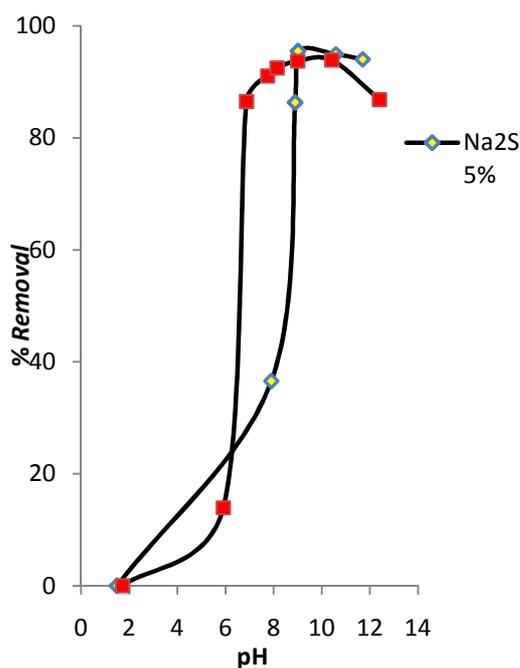
Gambar 2 memberikan informasi hubungan pH terhadap konsentrasi Hg. Kondisi awal pH 1.5, dan konsentrasi Hg  $103.42 \text{ mgL}^{-1}$ . Hubungan konsentrasi dan pH ini memberikan informasi titik penurunan optimal konsentrasi Hg dengan penambahan  $\text{Na}_2\text{S}$  5% terjadi disekitar pH 8.9 ( $14.18 \text{ mgL}^{-1}$ ). Sedangkan ketika dalam kondisi stabil,  $\Delta$  pH dan konsentrasi Hg

yaitu 1.58 ( $37.76 \text{ mgL}^{-1}$ ), dan 1,1 ( $0.94 \text{ mgL}^{-1}$ ). Konsentrasi Hg ini mulai stabil di sekitar pH 8.5 ( $\text{Na}_2\text{S}$  5%) dan 7 ( $\text{NaOH}$  5%). Sehingga  $\Delta$  pH disekitar ini kecil tidak seperti di pH kondisi asam.



Gambar 2

$\text{Na}_2\text{S}$  dan  $\text{NaOH}$  dalam Gambar 2 menunjukkan perbedaan dalam penurunan konsentrasi Hg. Saat menggunakan reagen  $\text{Na}_2\text{S}$  konsentrasi Hg turun di sekitar pH 7.9 sedangkan menggunakan reagen  $\text{NaOH}$  turun drastis di sekitar pH 6, hal ini terjadi karena  $\text{NaOH}$  termasuk basa kuat dan  $\text{Na}_2\text{S}$  itu garam dari basa jadi kemampuannya  $\text{Na}_2\text{S}$  di bawah  $\text{NaOH}$ , namun demikian  $\text{Na}_2\text{S}$  tidak mudah mempengaruhi perubahan. Garam merkuri sulfida (hasil reaksi dengan  $\text{Na}_2\text{S}$ ) memiliki kestabilan yang lebih baik jika dibandingkan dengan merkuri hidroksida. Menurut Spence (2003) merkuri akan melarut disekitar pH 10.75 sampai 11.25 dan mulai mengendap lagi di sekitar pH 11.5 sampai <12 dalam kondisi : limbah radioaktif, reagen sulfida, dan konsentrasi Hg <20 ppm.



Gambar 3

Gambar 3 memberikan informasi data hasil uji Hg akan mengendap membentuk garam hidroksida terjadi pada pH 5,91 dengan removal 14%; pH 6,88 dengan removal 88,45%; pH 7,74 dengan removal 91.01%; pH 8.15 dengan removal 92.44%; pH 9 dengan removal 93.73%; pH 10.42 dengan removal 93.88% dan pH 12.4 dengan removal 86.82%. Merkuri mengendap terbesar sebagai hidroksida terjadi pada pH 10.42 dengan removal 93.88%. Presentase removal tertinggi diperoleh pada kisaran pH 9 hingga 10 untuk penambahan kedua reagensia ( $\text{Na}_2\text{S}$  dan  $\text{NaOH}$ ) 93% hingga 95%. Menurut Wirojanagud, *et al* (2004) presipitasi merkuri terjadi pada pH 10.5 dengan dosis  $0.8 \text{ gL}^{-1}$  dengan removal 96% pada air limbah sintetik yang mana kondisi awalnya pH 5.37 dan kadar Hg  $9.33 \text{ mgL}^{-1}$ .

Kelarutan merkuri mulai akan konstan pada pH lebih tinggi dan cenderung melarut kembali pada penambahan  $\text{NaOH}$  atau  $\text{Na}_2\text{S}$  lebih banyak sehingga efisiensi presipitasi menjadi turun. Hal ini dapat dilihat bahwa kelarutan merkuri kembali meningkat setelah melewati pH sekitar 10 jika presipitasi / pengendapan dilakukan sebagai ikatan hidroksida, tetapi merkuri

sulfida tetap stabil mulai sekitar pH 9 hingga pH menunjukkan angka 12.

Reduksi Hg menggunakan  $\text{Na}_2\text{S}$  akan menghasilkan  $\text{HgS}$ . Merkuri dalam bentuk  $\text{HgS}$  ini bersifat stabil dan lebih mudah merecovernya (Laurence, 1998) daripada merkuri dalam  $\text{Hg(OH)}_2$ . Cairan merkuri dapat distabilkan dengan  $\text{HgS}$  melali Elemen Hg dan sulfur (Ullah, 2008). Jika tujuan yang diinginkan recovery Hg lebih baik menggunakan  $\text{Na}_2\text{S}$ . Apabila tujuan yang diinginkan biaya murah maka pilih menggunakan  $\text{NaOH}$ . Presipitasi sulfida ini tidak menyebabkan terbentuk kompleks logam yang akan melarutkan kembali endapan logam yang telah terbentuk. Hal ini sangat baik sehingga presipitasi sulfida dapat dilakukan dengan lebih efektif dibandingkan presipitasi hidroksida yang memerlukan control pH yang lebih teliti.

Reduksi Hg dengan  $\text{Na}_2\text{S}$  dan  $\text{NaOH}$  menghasilkan : (1) Jumlah optimal  $\text{Na}_2\text{S}$  yang dibutuhkan untuk mereduksi Merkuri berkonsentrasi  $103.42 \text{ mgL}^{-1}$  dalam limbah cair pengujian COD 0.5 L adalah 270 mL  $\text{Na}_2\text{S}$  5%; (2) Jumlah optimal  $\text{NaOH}$  yang dibutuhkan untuk mereduksi merkuri berkonsentrasi  $103,42 \text{ mgL}^{-1}$  dalam limbah cair pengujian COD 0.5 L adalah 166 mL  $\text{NaOH}$  5%; (3) Perbandingan persentase removal (%) untuk mereduksi Hg adalah 95.48% menggunakan  $\text{Na}_2\text{S}$  di pH 9.02 dan 93.88% menggunakan  $\text{NaOH}$  di pH 10.42.

Ada beberapa metode lain untuk menyisahkan merkuri contoh : penyisihan merkuri yang terkontaminasi  $\text{SO}_2/\text{NO}$  dengan metode oksidasi lanjut  $\text{Fe}_{2.45}\text{Ti}_{0.55}\text{O}_4$  efisiensinya 96% dalam konsentrasi  $0.6 \text{ gL}^{-1}$ , dan terjadi pada temperatur  $50^\circ\text{C}$ . Artinya temperatur juga mempengaruhi dalam reaksi, namun bukan berarti semakin tinggi temperatur penghilangan Hg semakin tinggi, sebagai contoh hubungan suhu terhadap efisiensi (%) dalam kondisi waktunya <30 menit :  $40^\circ\text{C}$  (90%),  $50^\circ\text{C}$  (96%),  $60^\circ\text{C}$  (88%),  $70^\circ\text{C}$ , (82%),  $80^\circ\text{C}$  (77%) (Zhou, *et al*, 2015). Penyisihan merkuri juga akan mencapai 93% dengan karbon aktif tempurung palm 0.5-0.6 mm, range pH 6-8, pengadukan 3 jam 180 rpm, temperatur  $30 \pm 2^\circ\text{C}$  dengan konsentrasi awal limbah  $80 \text{ mgL}^{-1}$  (Ismail, 2013)

### Tekno Ekonomi

Biaya pengadaan material  $\text{Na}_2\text{S}$  jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan pengadaan  $\text{NaOH}$ .  $\text{NaOH}$  lebih disarankan untuk digunakan dengan catatan pengawasan terhadap pH larutannya. Pengontrolan pH larutan dilakukan secara ketat pada kisaran pH 9 sampai pH 10. Biaya yang muncul pada pengolahan limbah cair pengujian COD refluks terbuka adalah biaya bahan kimia dan biaya energi listrik. Adapun basis hitung yang digunakan adalah sistem batch yang berkapasitas 20 L dan bekerja 30 menit dalam pengadukannya dengan magnetic stirrer berdaya 100 watt. Listrik yang digunakan 2.200 VA berharga Rp.1160/Kwh..

Tabel 1 Tekno Ekonomi

|                                 | $\text{Na}_2\text{S}$ 5% | $\text{NaOH}$ 5% |
|---------------------------------|--------------------------|------------------|
| pH                              | 9.02                     | 10.42            |
| Massa (mg)                      | 29                       | 16.6             |
| Harga Reagen/Kg                 | 80.000                   | 25.000           |
| Biaya (Rp/L)                    | 2.32                     | 0.415            |
| Biaya (Rp/batch)                | 46.4                     | 8.3              |
| Biaya energi Listrik (Rp/batch) | 58                       | 58               |
| <b>Total (Rp)</b>               | <b>10.44</b>             | <b>66.3</b>      |

Tabel 1 memberikan informasi tekno ekonomi pengolahan limbah antara menggunakan  $\text{Na}_2\text{S}$  5% dan  $\text{NaOH}$  5%. Biaya pengolahan ketika menggunakan  $\text{Na}_2\text{S}$  dan  $\text{NaOH}$  yaitu 10.44 rupiah/batch dan 66,3 rupiah/batch, bekerja 30 menit dengan kondisi limbah awal Hg 103.42  $\text{mgL}^{-1}$ . Dilihat biaya total dari keduanya, biaya  $\text{Na}_2\text{S}$  5% jauh lebih besar dibanding  $\text{NaOH}$  5%. Pertimbangan besarnya biaya, pengolahan limbah dalam skala industri diperlukan bahan kimia teknis yang harganya lebih murah dengan cara penyesuaian konsentrasi yang diperlukan agar tercapai efisiensi usaha dalam arti kualitas produk hasil pengolahan limbah, tetapi biaya produksi pengolahan dapat ditekan. Harga bahan kimia p.a. mencapai

dua sampai 10 kali lipat bahkan lebih dari harga bahan kimia teknis. Data dari hasil penelitian ini sangat dibutuhkan terutama industri yang mengolah limbah cair Hg karena dapat meningkatkan efisiensi usaha dan mengurangi biaya yang terbuang sia-sia akibat penggunaan dosis atau kadar Bahan kimia yang tidak tepat sesuai sifat keasaman Logam.

### DAFTAR PUSTAKA

- Hyman, Mark. 2004. *The Impact Of Mercury On Human Health and The Environment*. *Alternative Therapies* 10 (6) :70 - 75.
- Ismail, A, Mohamed Kheireddine Aroua, Rozita Yusoff. 2013. *Palm shell activated carbon impregnated with task-specific ionic-liquids as a novel adsorbent for the removal of mercury from contaminated water*. *Chemical Engineering Department, University of Mlaysia, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia*. *Journal* 225(2013) 306-314.
- Ismayana, A. 1997. *Proses Presipitasi Kimia sebagai Pengolahan Air Buangan Lanjut Senyawa Ortofosfat*. Tesis. Teknologi Bandung. Bandung.
- Jorgensen dan Johnson. 1989. *Environmental and Chemical Reactivity*. McGraw Hill Company. New York.
- Laurence. 1998. *Mercury Disposal Via Sulfur Reactions*. *Journal of Environmental Engineering*. 124:945-952.
- Lestari, Asih Fitria. 2012. *Pengolahan Limbah Cair Laboratorium KOK dengan Metode Presipitasi*. FMIPA. Skripsi Sarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Makara, Sains. 2010. *Penyisihan Logam Berat dari Limbah Cair Laboratorium dengan Metode Presipitasi dan Adsorpsi*. Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor. Vol. 14, No. 1, April 2010: 44-50.
- Matlock, M, Brock S Howerton, David A. Atwood. 2001. *Irreversible precipitation of mercury and lead*. *Department of Chemistry, University of Kentucky, Lexington, KY 40506-0055, USA*. *Journal of Hazardous Material*. B84 (2001) 73-82.

- Metcalf and Eddy. 1991. *Wastewater Engineering : Treatment, Disposal, and Reuse 3rd ed.* McGraw-Hill International, Singapore.
- Meyer, Robert A. 1998. Wiley Encyclopedia Series In Environmental Science. Environmental Analysis and Remediation Volume 4, Canada : John Wiley & Sons, Inc.
- Said, Nusa Idaman. 2010. *Metoda Penghilang Logam Merkuri di dalam Air Limbah Industri.* Pusat Teknologi, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Jakarta Pusat. . JAI 6 (1) :11-23.
- Sari, Octaviana. 2013. *Penurunan Kadar COD pada Limbah Laboratorium Kesehatan Universitas Dian Nuswantoro Dengan Tanaman Bambu Air (Equisetum Hyemale).* Scientific Work Documents, Final Project , Kesehatan Masyarakat - S1, Fakultas Kesehatan, Universitas Dian Nuswantoro Semarang
- Schwitzgebel, Klaus. 2001. *Removal of Chomate, Cynide and Heavy Metal From watewater.* EET, Texas dalam Yulianti , studi Latur penggunaan Kalsium Sulfit sebagai alternatif. Seminar TGP FT UI.
- Setia, Maria R. 2002. *Pengolahan Limbah Logam Berat Laboratorium Dasar Proses Kimia.* Skripsi Teknik Kimia . Jurusan Gas dan Petrokimia. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia. Depok.
- SNI 06-6989.78 : 2011. *Air dan Air Limbah-Bagian 78 : Cara Uji raksa (hg) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-uap dingin atau Mercury Analyzer.* Badan Standardisasi Nasional.
- Spence, R and John Barton. 2003. *Stabilization of Mercury in High pH Tank Sludges.* WM'03 Conference, Tucson, AZ. Oak Ridge National Laboratory. Oak Ridge, TN 37831.
- Supeno, P, Syamdidi, dan Singgih Wibowo. 2007. *Produksi Kitin Skala Pilot Plant dari Cangkang Rajungan (Portunus spp.)* Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan Vol. 2 No. 1.
- Ullah, Mohammad Barkat. 2008. *Mercury Stabilization Using Thiosulfate and Thioselenate.* Bangladesh University of Engineering and Technology. Dhaka. Bangladesh.
- Waharatmo, B. 2009. *Reaksi Fenton diikuti presipitasi oleh sulfida sebagai metode penanganan limbah cair laboratorium dari pengujian COD dan klorida.* Skripsi. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Widowati, W., Astiana S, dan Raymond J. R. 2008. *Efek Toksik Logam : Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran.* Andi Offset, Yogyakarta.
- Wirojanagud, W., Tantemsapya, N., and Tantriratna, P. 2004. *Precipitation of heavy metals by lime mud waste of pulp and paper mill Songklanakarin J. Sci. Technol.,* 2004, 26(Suppl. 1) : 45-53.
- Zulkilfi, 2002. *Uji Aktivitas Bakteri Pereduksi Merkuri dalam Bioreaktor.* [tesis]. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Zhou, C, Lushi Sun, Anchao Zhang, Chuan Ma, Ben Wang, jie Yu, Sheng Su, Song Hu, Jun Xiang. 2015. *Elemental mercury (Hg<sup>0</sup>) removal from containing SO<sub>2</sub>/NO flue gas by magnetically separable Fe<sub>2.45</sub>Ti<sub>0.55</sub>O<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> advanced oxidation processes.* Chemical Engineering. Journal 273(2015) 381-389.