

**PENANGANAN LUMPUR
INSTALASI PENGOLAHAN AIR SOMBA OPU**

Mary Selintung¹ dan Azikin²

ABSTRACT

Sludge is the by-product of IPA (Water Treatment Plan) which can generate environmental problem. The objective of this study was to find the factors that influence the sludge handling at IPA Somba Opu. Laboratory analysis was done in IPA Somba Opu, Sucofindo Laboratory of Makassar comparing among BTKL (Balai Teknik Kesehatan Lingkungan) of Makassar and Installation of Soil Laboratory of Maros, while building material testing using this sludge was in Balai Industri Laboratory of Makassar. The result shows that volume reduction is done by determining optimal chemical coagulant and dewatering with sludge lagoon method and the supernatant recirculation for reuse of coagulant can lessen the negative impact to the environment due to sludge rejected. Based on testing result, using the sludge of IPA Somba Opu as building material achieved with higher cost production.

Keywords: *sludge handling, reduction, and utilization*

PENDAHULUAN

IPA adalah salah satu infrastruktur yang berhubungan langsung dengan pertumbuhan penduduk kota. Di daerah perkotaan Indonesia, rumah tangga merupakan pemakai air bersih terbesar, sekitar 68 persen total produksi air diserap oleh rumah tangga (Djayadiningrat, 1992: 36). Air bersih sebagai kebutuhan dasar (*basic need*) perkotaan diproduksi pada IPA, di lain pihak proses produksi diiringi dengan timbulnya lumpur (*sludge*) sebagai produk sampingan (*by-product*) pengolahan air. Demikian juga dengan Kota Makassar, laju pertumbuhan penduduk mengakibatkan bertambahnya kebutuhan air bersih dan lumpur yang harus dikelola. IPA Somba Opu merupakan salah satu dari 5 (lima) IPA yang melayani kebutuhan air bersih di Kota Makassar. Air baku IPA Somba Opu diperoleh dari Bendung Bili-bili dengan demikian IPA ini digolongkan dalam tipe pengolah air permukaan (*plant treating turbid surface with organics*).

Menurut Peavy (1985: 109), pada instalasi pengolah air permukaan yang menjadi penanganan utama adalah kekeruhan (*turbidity*) dan mikroorganisme yang mungkin bersifat patogen;

¹ Dosen Fakultas Teknik Unhas

² Aparat Dinas Tata Ruang dan Permukiman Propinsi Sulawesi Selatan

seringkali lebih kompleks dibandingkan pengolahan air tanah dan menghasilkan lumpur terutama dari partikel tanah yang terbawa air permukaan. Bahan kimia yang dipergunakan untuk menangani kekeruhan maupun pemusnahan bakteri patogen (*disinfection*) sebagian mengendap bersama lumpur sisa pengolahan.

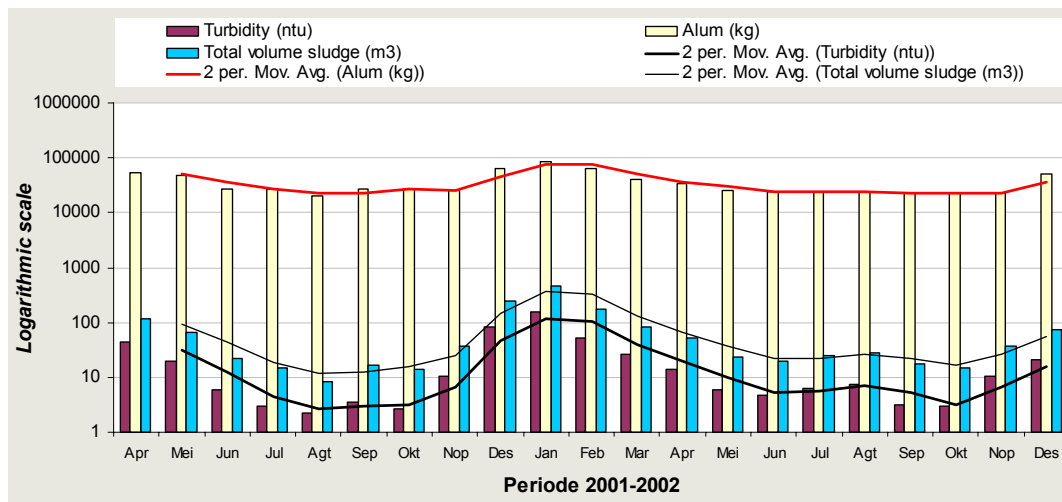
Sejak IPA Somba Opu beroperasi, lumpur pada penampungan lumpur belum pernah diangkut baik untuk dibuang atau dimanfaatkan sehingga pada suatu saat bak penampungan akan penuh dan lumpur tersebut harus dibuang. Dengan demikian usaha reduksi produksi lumpur diperlukan untuk memudahkan penanganannya. Masalah penanganan bukan hanya dilihat dari segi kuantitas tetapi juga dari segi kualitas (karakteristik) lumpur itu sendiri. Dilain pihak alternatif metode pemanfaatan lumpur IPA Somba Opu sampai saat ini belum ada sebagai salah satu usaha mengurangi penanganan lumpur pada tahap pembuangan akhir (*ultimate disposal*).

KARAKTERISTIK LUMPUR IPA SOMBA OPU

Volume lumpur.

Jumlah lumpur dapat diketahui berdasarkan jumlah pemakaian bahan kimia untuk proses flokulasi (*flocculation*), kekeruhan (*turbidity*), dan jumlah air baku. Kecenderungan pemakaian bahan kimia (*historical data*) sejak IPA dioperasikan bulan Maret 2001 sampai dengan Desember 2002 diperlihatkan pada Gambar 1. Pemakaian bahan kimia meningkat pada periode Maret - Mei 2001 (mencapai puncak pada bulan April), sedangkan periode kedua meningkat pada Desember 2001 – April 2002 (mencapai puncak pada Januari). Produksi lumpur meningkat pada musim hujan akibat peningkatan kekeruhan yang disebabkan oleh erosi, merupakan salah satu ciri air permukaan. Jumlah pemakaian bahan kimia untuk penanganan kekeruhan tergantung pada tingkat kekeruhan, dengan demikian pemakaian bahan kimia yang meningkat mengindikasikan adanya peningkatan produksi lumpur. Produksi lumpur IPA Somba Opu (2001 – 2002) adalah 1.561,64 m³ atau rata-rata 780,92 m³ per tahun, sedangkan total produksi sampai saat penelitian adalah 1.886 m³. Angka tersebut merupakan angka perkiraan (AWWA, 1998: 488). Bahan tersuspensi (*suspended matter*) pada sumber air yang dilaporkan dalam *nephelometric turbidity unit* (ntu) menggambarkan tingkat kekeruhan air, tetapi tidak ada korelasi yang pasti antara

satuan kekeruhan ini dengan *total suspended solid* (TSS). Namun demikian rasio TSS/ntu umumnya 1,0 - 2,0 dan kadang-kadang mencapai angka 10.



Gambar 1. Grafik hubungan kekeruhan (*turbidity*), pemakaian tawas (*alum*), dan volume produksi lumpur periode 2001-2002 (Sumber: Pengolahan data sekunder; PDAM Kota Makassar, 2003)

Komposisi kimiawi.

Lumpur pada IPA Somba Opu mengalami perubahan komposisi kimiawi berdasarkan lokasi lumpur. Sampel 1 adalah sampel dari lumpur yang baru terbentuk pada bak sedimentasi (*sedimentatioan basin*) sedangkan sampel lainnya adalah sampel pada *sludge lagoon*. Hasil analisis laboratorium 1 dan 2 (Tabel 1 dan 2) umumnya menunjukkan persamaan kecenderungan perubahan karakteristik yang sama. Jenis parameter yang dapat diuji pada laboratorium 2 tidak selengkap laboratorium 1. Perbedaan hasil analisis baik dari segi jenis parameter, jumlah, maupun parameter tak terdeteksi disebabkan oleh perbedaan metode, peralatan dan tingkat akurasi alat yang dipergunakan maupun tahapan persiapan pengujian sampel.

Aluminum seharusnya terdapat pada sampel karena proses koagulasi (*coagulation*) atau destabilisasi *suspended contaminant* menggunakan tawas (*alum/aluminum hydroxide*) membentuk *settleable flocs* yang mengendap pada bak sedimentasi. Secara teoritis tawas yang bereaksi dengan koloida menghasilkan endapan jenis *aquometallic* dan *hydrogen* (Peavy, 1985: 136, AWWA, 1998: 488, dan Hammer, 1986: 275); lumpur alum terbentuk

dari setiap mg/l penambahan *alum* ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) membentuk *aluminum hydroxide* $2(\text{Al}(\text{OH})_3)$ yaitu 0,44 mg/l *solids* (padatan).

Tabel 1. Komposisi bahan kimia lumpur IPA Somba Opu, Hasil analisis laboratorium 1

Parameter	Hasil pengujian		Metode analisis
	Sampel 1	Sampel 2	
<i>pH</i>	7,70	6,95	<i>Electrometric</i>
<i>Moisture Content, %</i>	82,38	74,88	<i>Oven 105°</i>
<i>C/N ratio</i>	2,72	2,83	<i>Calculation</i>
<i>Ash, %</i>	14,4	22,04	<i>Ignite 600° C</i>
<i>Sulfate (SO_4), %</i>	0,08	0,12	<i>Gravimetric</i>
<i>Chloride, %</i>	0,02	0,02	<i>Titrimetric</i>
<i>Nitrogen, %</i>	0,18	0,12	<i>Kjeldahl</i>
<i>P₂O₅, %</i>	0,08	0,10	<i>Spectrophotometric</i>
<i>K, %</i>	0,02	0,04	<i>AAS</i>
<i>Manganese (Mn), %</i>	0,04	0,004	<i>AAS</i>
<i>Organic carbon, %</i>	0,49	0,34	<i>AAS</i>
<i>Copper (Cu), ppm</i>	2,02	2,05	<i>AAS</i>
<i>Iron (Fe), %</i>	0,06	0,06	<i>AAS</i>
<i>Cobalt (Co), ppm</i>	1,38	0,81	<i>AAS</i>
<i>Zinc (Zn), ppm</i>	3,85	3,80	<i>AAS</i>
<i>Calcium (Ca), ppm</i>	1,12	0,11	<i>AAS</i>
<i>Aluminum (Al), ppm</i>	19,59	0,43	<i>AAS</i>
<i>Magnesium (Mg), ppm</i>	86,32	76,34	<i>AAS</i>
<i>Lead (Pb), ppm</i>	<i>Below 0,05</i>	<i>Below 0,05</i>	<i>AAS</i>
<i>Molybdenum (Mo), ppm</i>	<i>Below 0,05</i>	<i>Below 0,05</i>	<i>AAS</i>
<i>Boron (B), ppm</i>	<i>Undetectable</i>	<i>Undetectable</i>	<i>AAS</i>

Sumber: Analisis Laboratorium Sucofindo Makassar, 2003

Kadar Al yang tak terdeteksi pada Tabel 2 terjadi karena proses ekstraksi sampel dengan *hot plate* dan penambahan *regent* dilakukan dengan proses berulang (3 kali) sebelum pembacaan hasil analisis pada *Spectrophotometer*, jadi dapat disimpulkan bahwa telah terjadi pemanasan berlebihan. Pada pemanasan dengan temperatur antara 500 – 600° C, air dan unsur *volatile* akan menguap dan unsur organik akan terbakar ditandai dengan kehadiran/perubahan udara menjadi *carbon dioxide*, oksida-oksida nitrogen dan air, demikian juga kemungkinan tidak terdeteksinya unsur-unsur lain. Klasifikasi sifat keasaman dan alkalinitas lumpur ditentukan berdasarkan klasifikasi Menon, (1983: 41). Kandungan lumpur *alum* memiliki limit pH 5,5 – 8 (Hammer, 1986: 275 dan AWWA, 1998: 90); pada umumnya pH 7.0 sedangkan kecenderungan perubahan bersifat agak asam dipengaruhi oleh reaksi Al dengan unsur basa/*alkaline*. Perubahan pH dari 7,70 menjadi 6,95 menunjukkan bahwa lumpur yang diendapkan akan bersifat lebih netral.

Tabel 2. Komposisi bahan kimia lumpur IPA Somba Opu, Hasil analisis laboratorium 2

Parameter (mg/l)	Hasil pengujian		Metode analisis
	Sedimen 1	Sedimen 2	
pH	7	6	Elektrometrik
Nitrogen (N)	tt	tt	Spektrifotometrik
Fosfor (P)	9	12	Spektrifotometrik
Kalium (K)	tt	tt	AAS
Klorida (Cl)	59,55	57,42	Titrimetrik
Aluminum (Al)	tt	tt	AAS
Besi (Fe)	0,006	0,006	AAS
Mangan (Mn)	13,6	3,6	Spektrifotometrik
Seng (Zn)	tt	tt	AAS
Sulfida (H ₂ S)	Tt	tt	Spektrifotometrik

Sumber: Analisis Laboratorium BTKL Makassar, 2003

tt : Tidak terdeteksi

Komposisi Fisik.

Padatan (*solids contents*) lumpur koagulasi terkonsentrasi antara 2 – 20 % dan umumnya 4 %. Konsentrasi solid sampel yang dianalisis adalah 17,62 % pada bak sedimentasi, besarnya kandungan ini padatan dipengaruhi oleh cara pengambilan sampel dan lapisan sampel pada lokasi pengambilan, sedangkan pada *sludge lagoon* 25,12 %. Dengan demikian kandungan padatan lumpur IPA Somba Opu digolongkan dalam lumpur jenis *semisolid* dan *soft clay* (AWWA, 1998: 488), untuk memperoleh *sludge cake* (kandungan padatan 55 – 85 %) dibutuhkan proses *dewatering* lebih lanjut. Klasifikasi *cake* IPA Somba Opu berdasarkan ukuran partikelnya ditentukan dengan menggunakan standarisasi *International System* dan *USDA System* (Menon, 1983: 18). Hasil pengamatan menunjukkan penggolongan berturut-turut, yaitu klasifikasi *Fraction IV* dan *clay* (kurang dari 0.002 mm).

REDUKSI VOLUME LUMPUR DAN UPAYA MENGHINDARI DAMPAK LINGKUNGAN

Reduksi volume.

Proses koagulasi (*coagulation/rapid mix*) dan flokulasi (*flocculation*) yang tidak sempurna menghasilkan lumpur yang penanganannya tidak efisien, baik pada bak sedimentasi maupun bak *filter*, penanganan lumpur dari pencucian saringan (*filter backwash*) biasanya sulit ditangani karena kandungan padatannya yang rendah bahkan setelah mengalami pemekatan (*thickening*) sekalipun, proses *dewatering*-nya buruk dan padatan tersebut umumnya sulit dipisahkan secara gravitasi tanpa penggunaan bahan

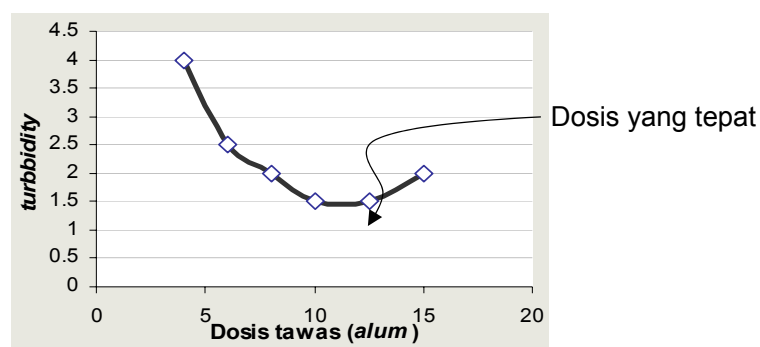
coagulant. AWWA (1998: 487). Reduksi volume pada IPA Somba Opu diterapkan dengan pemberian dosis yang tepat (sesuai dengan AWWA, 1998: 488) untuk menghasilkan *floc* yang efisien, yaitu dapat mengendap dengan baik dan murah karena frekuensi *filter backwashing* lebih kecil. Gambaran formasi *floc* yang baik dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji bejana (*jar test*) untuk optimasi penggunaan dosis *coagulant* pada IPA Somba Opu. (Sumber: hasil pengamatan, 2003)

	Air baku	Serial <i>jar test</i>					
		1	2	3	4	5	6
Dosis tawas (mg/l)	-	4	6	8	10	12	14
Ukuran <i>floc</i> (mm)	-	X	▲	●	◎	◎	●
Pengendapan	-	X	▲	●	◎	●	●
Kekeruhan (ntu)	154	4	2.5	2	1.5	1.5	2
pH	7.4	7.3	7.2	7.1	6.9	6.8	6.6
Alkalinitas (mg/l)	45	43	42	41.5	40.5	39	38

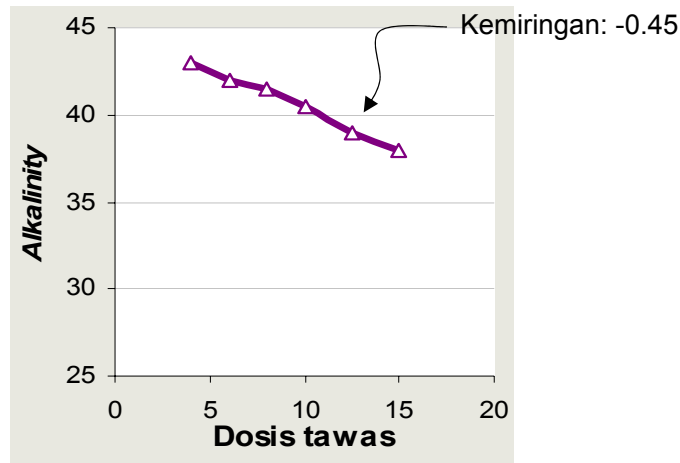
Ukuran *floc* : ◎ 2 mm ≤ 1-2 mm < ● 1 mm > ▲ tidak *floc*
 Pengendapan : ◎ sangat baik baik ● cukup ▲ tidak baik

Kuantitas dosis dan besarnya ukuran *floc* tidak menjamin *floc* tersebut dapat mengendap dengan baik. Dengan demikian pelaksanaan *jar test* sangat penting sebagai upaya reduksi produksi lumpur yang menyulitkan pada penanganan berikutnya. Dosis yang berlebihan atau kurang (Gambar 2) akan mengakibatkan inefisiensi dalam pengelolaan karena mahal biaya penanganan dan harga bahan kimia (*coagulant*).



Gambar 2. Grafik hubungan dosis yang tepat dan kekeruhan (turbidity) (sumber: hasil pengamatan, 2003)

Pada Gambar 2 terlihat bahwa dosis yang kurang atau berlebihan mengakibatkan angka kekeruhan (*turbidity*) bertambah, artinya semakin banyak pula lumpur yang diproduksi atau lolos ke bak saringan dan reservoir sehingga penanganan akan lebih sulit dan mahal. Sedangkan Gambar 3 dapat dijelaskan bahwa *alum* mengkonsumsi 0,45 mg/l alkalinitas, secara teoritis alkalinitas sesudah koagulasi = alkalinitas air baku – dosis alum x 0,45.



Gambar 3. Grafik hubungan dosis dan alkalinitas (*alkalinity*) (sumber: hasil pengamatan, 2003)

Berdasarkan pengamatan selama 2,5 bulan (Januari - Maret 2003), menunjukkan bahwa suhu air baku rata-rata 27,58° C (paling rendah 27,5° C dan paling tinggi 27,8° C) sehingga menurut AWWA (1998: 91) faktor waktu detensi untuk koagulasi dan flokulasi yang sesuai adalah 1,95.

Sludge lagoon dapat mereduksi volume melalui penguapan alamiah (*atmospheric evaporation*) dan pengaliran (*liquid decanted*) *supernatant* (AWWA, 1998: 506 dan Reynolds, 1982: 492). Berdasarkan pengukuran tinggi lumpur yang ada pada *sludge lagoon*, tinggi rata-rata lumpur pada saat penelitian adalah 45 cm (volume aktual = 1.080 m³). Berarti terdapat selisih volume: 42,74 %, hal ini sesuai dengan Reynolds (1982: 492); reduksi volume *sludge lagoon* berkisar antara 10 – 50 %.

Upaya menghindari dampak lingkungan.

Lumpur IPA Somba Opu mengalami perubahan komposisi kimiawi berdasarkan lokasi lumpur. Analisis laboratorium menunjukkan kecenderungan penurunan kandungan

unsur logam berat dan peningkatan unsur hara demikian pula dengan kecenderungan pH normal. Hal ini menunjukkan bahwa lagoon berfungsi menstabilkan lumpur.

Supernatant lumpur pada dasarnya mengandung bahan kimia yang dapat dipergunakan kembali, pengaliran *supernatant* ke *waste water basin* dilakukan untuk resirkulasi pada *mixing well*, dengan demikian *recovery by-product* dapat dilaksanakan. Berdasarkan perhitungan produksi lumpur maksimum (469.12 m^3) pada bulan Desember 2001, maka jumlah *lagoon* yang dioperasikan adalah 4 grup (masing-masing terdiri atas 2 buah ($1 \text{ m} \times 300 \text{ m}^2$)). Setiap grup dibagi dalam 4 periode (setiap 3 bulan) dengan perhitungan bahwa *lagoon* dapat diisi lumpur dalam waktu 23 hari dan memberikan waktu 67 hari untuk pengeringan alami (*natural evaporation*).

PEMANFAATAN LUMPUR IPA

Salah satu potensi pemanfaatan lumpur adalah sebagai bahan bangunan khususnya batu bata atau batu merah (*bricks*). Nilai ekonomis diketahui melalui tahap penelitian yang meliputi: persiapan bahan baku, pencetakan (*moulding*), pengeringan (*air drying*), pembakaran (*firing*), pendinginan (*cooling*), dan pengujian mutu (*durability testing*).

Pengujian pada proses pencetakan menunjukkan bahwa *clay* IPA Somba Opu harus di-*treatment*. Penambahan pasir berfungsi memperbaiki sifat plastisitas *clay*, dan mempercepat *dewatering*. Berarti dari segi efisiensi waktu lebih menguntungkan. Fenomena tersebut sekaligus menimbulkan dugaan bahwa proses pembakaran dapat juga dipercepat, artinya menguntungkan dari segi penghematan bahan bakar. Dengan beberapa variasi rasio volume pasir/lumpur (P/L) diperoleh rasio $P/L = 1/5$ sebagai komposisi optimal dengan pertimbangan penyusutan dan plastisitas mendekati karakteristik *clay* batu bata lokal.

Hasil pengujian (SNI 15 - 1991) sampel batu bata (Tabel 4) menunjukkan angka rata-rata $41,42 \text{ kg/cm}^2$ yang berarti kuat tekan batu bata ini diklasifikasikan dalam Kelas 25. Jika dibandingkan dengan standar lama (SNI 10) bata ini digolongkan dalam Kelas III (toleransi 20%); kuat tekan ideal (*bearing wall*) adalah $30 - 70 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan kuat tekan batu bata lokal berkisar antara $11,5 - 50 \text{ kg/cm}^2$. Kuat tekan dipengaruhi oleh cara pembakaran dan ketebalan batu bata. Dengan demikian dari segi kualitas kekuatan batu bata dari *clay* IPA Somba Opu dapat disamakan dengan batu bata lokal.

Tabel 4. Perbandingan Karakteristik batu bata dari lumpur IPA Somba Opu dengan batu bata lokal.

No.	Parameter uji	satuan	Hasil uji		Ket.*
			Clay IPA	Bata lokal (pembanding)	
1.	Kuat tekan	kg/cm ²	41,42	11,5 – 50	7.3
2.	Tampak luar:				
	a. Bentuk	-	a. Bidang-bidang datarnya rata, rusuk siku, tidak rapuh.	a. Bidang-bidang datarnya rata, rusuk siku, tidak rapuh.	7.1.1
	b. Warna	-	b. Kemerah-merahan	b. Kemerah-merahan	7.1.2
	c. Berat	gram	c. 1469	c. 1100 - 1263	7.1.3
3.	Ukuran:				
	a. Panjang	mm	215,32	205,14	7.2
	b. Lebar	mm	100,56	98,52	7.2
	c. Tinggi	mm	45,74	45,48	7.2
4.	Garam dapat larut dan berbahaya	%	< 50	< 50	7.4

Sumber: Hasil pengujian dan data sekunder Balai Industri Makassar, 2003

* Butir pengujian SNI 15 tentang Metode dan Cara Uji Batu Merah Pejal

Harga batu bata dari lumpur IPA lebih tinggi (selisih Rp. 18.43) jika ditinjau dari perbandingan skala ekonomi antara biaya produksi sampel dengan batu bata lokal. Harga batu bata lokal di tingkat produsen saat penelitian adalah Rp. 110,00 per buah. Biaya produksi sampel batu bata dari lumpur IPA dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Biaya pembuatan batu bata dengan bahan dasar Lumpur IPA Somba Opu

No.	Bahan/pekerjaan	satuan	Harga satuan (Rp)	Pemakaian*	Jumlah (Rp)
1	Lumpur	m ³	-	0.5445	-
2	Pasir	m ³	30,000.00	0.12375	3,712.50
3	Bahan bakar kayu	-	35,000.00	0.3	10,500.00
4	Pekerja:				
	a. Pencetakan	org	20,000.00	1	20,000.00
	b. Pembakaran	org	15,000.00	2	30,000.00
5	Pengangkutan	-	-	-	-
					64,212.50
Biaya produksi/buah =					128.43

Sumber: diolah dari hasil survei, 2003

* Kebutuhan untuk 500 buah batu bata; dihitung berdasarkan produksi minimal dengan metode tradisional/pembakaran dapur ladang.

KESIMPULAN

Reduksi produksi lumpur

1. Produksi lumpur yang lolos ke bak saringan dan reservoir direduksi melalui serangkaian uji bejana (*jar test*) dan faktor waktu detensi yang dibutuhkan pada proses flokulasi dan koagulasi untuk membentuk lumpur yang ideal adalah 1,95.
2. Total volume estimasi lumpur IPA adalah 1.886 m³ dan volume pengukuran pada *sludge lagoon* adalah 1080 m³, sehingga proses *dewatering* dan *recovery* koagulan dapat mereduksi volume lumpur sebesar 42,74%.

Mengurangi dampak lingkungan akibat pembuangan lumpur IPA

1. IPA Somba Opu menggunakan *sludge lagoon* sebagai bagian dari teknologi *dewatering* dan stabilisasi sebelum pembuangan akhir (*ultimate disposal*), proses stabilisasi dapat dilihat dari perubahan komposisi kimia, terutama penurunan kadar logam berat pada sampel yang diuji.
2. Proses *dewatering* dengan penguapan alam berjalan dengan baik akibat rendahnya volume lumpur (total estimasi = 1886,12 m³) sehingga tidak ada lumpur yang terbangun ke badan air. Dengan *recovery* koagulan dapat mengurangi volume dan penggunaan kembali bahan kimia.

Pemanfaatan lumpur IPA Somba Opu

1. Lumpur IPA dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan (batu bata) melalui *treatment* penambahan pasir dan pembakaran secara tradisional/dapur ladang. (menghasilkan batu bata tipe *hand thrown stocks*).
2. Jenis batu bata yang dihasilkan pada penelitian ini adalah tipe *hand trown stocks*, berdasarkan SNI 18 – 2094 – 1991 dapat dikategorikan dalam kelas kuat 25.
3. Kelas kuat dapat ditingkatkan dengan pemanasan yang cukup dan penyesuaian dimensi cetakan untuk memperoleh ukuran sesuai modul M-6 SII. 0021 – 78
4. Berdasarkan skala ekonominya harga batu bata dari lumpur IPA lebih tinggi (Rp. 18,43 per buah) dibandingkan dengan batu bata lokal.

REFERENSI

- American Water Work Association. 1998. *Water Treatment Plant Design*. McGraw-Hill, Inc. New York.
- Anonim. 1998. *Brick - A Planners Guide: Types of Bricks*. ([http://www. baggeridge-brick.com/](http://www.baggeridge-brick.com/), diakses 25 Januari 2003).
- Arikunto, S. 1998. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek*. PT. Rineka Cipta. Jakarta.
- Dickey, J.W. and Watts, T. M. 1978. *Analytic Techniques in Urban and Regional Planning*. McGraw-Hill Book Company. New York.
- Djayadinigrat, S. (ed.). *Kualitas Lingkungan Hidup Indonesia 1992: 20 tahun setelah Stockhoholm*. Kantor Meneg KLH.
- Droste, R. L. 1997. *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*. John Wiley and Son, Inc. New York.
- Hammer, M.J. 1986. *Water and Wastewater Technology*. John Wiley & Sons. Singapore.
- Henze, M. 1997. *Wastewater Treatment*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany.
- Kinniburg, W. 1966. *Dictionary of Building Material*. CR Books Limited. London.
- Metcalf & Eddy. 1991. *Wastewater Engineering (Treatment Disposal Reuse)*. McGraw-Hill, Inc. Singapore.
- Metcalf & Eddy. 1971. *Wastewater Engineering (Collection Treatment Disposal)*. McGraw-Hill, Inc. New Delhi.
- Moshel, D. 2003. *A New Take on an Old Tradition*. ([http://www. earthuprising.com/earthuprising/home.htm](http://www.earthuprising.com/earthuprising/home.htm), diakses 25 Januari 2003).
- Noerwasito, V.T. 2002. Blok Tanah Liat Ijuk, Bahan Bangunan Alternatif Pengganti Bata Merah. Dalam Karyono, T.H., Nicol, F., & Roaf, S. (Ed.), *International Symposium, Building Research and Sustainability of The Built Environment in Tropics*. Tarumaagara Univ. and Oxford Brookes Univ. Olta Printings. Jakarta.
- Noerwasito, V.T. 2002. Blok Tanah Padat: Bahan Bangunan Lokal, Paduan Tradisional Modern. Dalam Prosiding. *Konferensi Nasional Struktur dan Konstruksi Bangunan dalam Arsitektur: Kemajemukan dan Keterpaduan*. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Univ. Kristen Petra. Surabaya.
- Parker, H. W. 1978. *Wastewater Systems Engineering*. Prentice-Hall of India. New Delhi.
- Peavy, H. S., Rowe, D. R., and Tchobanoglous, G. 1985. *Environmental Engineering*. McGraw-Hill, Inc. New York.
- Reynolds, T. D. 1982. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*. Texas A&M Univ. California.
- Rich, L.G. 1974. *Unit Operation of Sanitary Engineering*. John Wiley and Son, Inc. USA.
- Ritonga, S. M. 1984. *Bahan Bangunan*. Lembaga Penyelidikan masalah bangunan, Dirjen Cipta Karya. Bandung.
- Sugiharto. 1987. *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah*. UI-Press. Jakarta.pl