

Efektivitas Tawas Hasil Olahan Limbah Aluminium Terhadap Penyerapan Logam Alkali Tanah dengan Metode Gravimetri

Nelius Harefa*, Sumiyati, Gayus Sadarman Tafonao, Desy Lisdawaty Sinaga

Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Kristen Indonesia
Jl. Mayjen Sutoyo No.2, Cawang, Jakarta Timur, 13630

*e-mail : harefa.nelius1991@gmail.com

Abstract

Waste is one of the major problems in Indonesia. Waste continues to increase every year. The two major contributors of waste are plastic and metal processed waste. The two kinds of waste are undegradable. Therefore, the most appropriate solution in handling these kinds of waste is to recycling or converting. One of the efforts that can be made to waste aluminum is beverage packaging, namely by turning it into alum. Alum is commonly used as a water purifier, especially water containing calcium and magnesium metals which are often called hard water. The method used is gravimetric methods. Based on research data, alum can absorb calcium metal with an effectiveness level of 42.25% and magnesium metal with an effectiveness level of 64.12%.

Keywords: *alum, calcium metal, magnesium metal, gravimetric methods*

PENDAHULUAN

Tawas merupakan kelompok garam rangkap berhidrat yang berupa kristal dan bersifat isomorf. Tawas dapat dimanfaatkan sebagai pembersih air dengan cara mengumpulkan kotoran-kotoran pada air sehingga air menjadi jernih. Secara umum, air jernih sering dianggap sebagai air bersih. Padahal menurut peraturan baku mutu air, warna air hanya merupakan salah satu kriteria fisika air bersih. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 416/MEN.KES/PER/IX/1990, kualitas air harus memenuhi syarat kesehatan yang

meliputi persyaratan mikrobiologi, fisika, kimia, dan radioaktif. Persyaratan-persyaratan tersebut disesuaikan berdasarkan air menurut peruntukannya yang terdiri dari air untuk keperluan higiene sanitasi, kolam renang, *solus per aqua*, dan pemandian umum. Air untuk keperluan higiene sanitasi merupakan air yang digunakan masyarakat untuk keperluan sehari-hari dengan ambang batas kesadahan (mengandung logam kalsium dan/atau magnesium) sebesar 500 mg/L. (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32, 2017).

Ambang batas merupakan standar normal suatu logam terhadap suatu zat. Standar tersebut, umumnya menjadi standar optimum kadar logam yang dapat didegrasi oleh tubuh manusia, hewan dan tumbuhan (Situmorang, 2012). Kelebihan logam kalsium pada tubuh manusia dapat menyebabkan batu ginjal, pembuluh darah pecah, dan menstimulus penyakit kanker. Kelebihan logam magnesium dapat menimbulkan efek karsinogenik, mutagenik, dan teratogenik. (Sugiyarto, 2010)

Logam-logam yang membutuhkan perhatian khusus dan harus ditangani dengan hati-hati umumnya digolongkan menjadi logam berat. Pada tingkat yang tertinggi dapat menyebabkan keracunan yang berujung pada kematian. Keracunan logam berat dapat mengakibatkan infeksi pada selaput lendir, gangguan pencernaan, dan menyebabkan kerusakan sistem imunitas. (Widowati 2008)

Air yang mengandung logam berat dan/atau logam yang melebihi ambang batas jauh lebih berbahaya walaupun air tersebut terlihat jernih. Penelitian Harefa (2018) dipaparkan bahwa air yang tercemar oleh logam berat dapat menyebabkan kematian pada hewan, tumbuhan, dan manusia. Kelebihan sekitar 0,5% dari ambang batas sudah dapat berdampak bagi

kelangsungan metabolisme makhluk hidup tersebut.

Air merupakan komponen yang rentan terhadap pencemaran. Pencemaran yang paling umum terjadi adalah pencemaran yang diakibatkan oleh adanya logam. Logam cenderung berubah fungsi jika tidak sesuai peruntukannya (melewati ambang batas). Perubahan fungsi tersebut umumnya akan berdampak negatif. Logam magnesium merupakan logam yang sangat dibutuhkan oleh manusia namun akan membahayakan jika melebihi ambang batas. Penelitian Faryadi (2010) dipaparkan bahwa magnesium merupakan logam yang paling banyak yang ada dalam tubuh manusia. Logam ini berhubungan dengan aktivasi 300 lebih enzim. Keseluruhan enzim tersebut dapat terhambat akibat logam magnesium yang melebihi ambang batas. Terganggunya kerja enzim akan menimbulkan terganggunya metabolisme. Metabolisme yang terganggu akan berakibat buruk bagi kesehatan manusia. Oleh sebab itu, kadar magnesium perlu dikontrol agar tidak melebihi ambang batas sebesar 500 mg/L. (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32, 2017)

Penelitian Nica, *et al.* (2015) dipaparkan bahwa magnesium merupakan salah satu logam yang direkomendasi untuk

dikonsumsi para atlet. Mengonsumsi makanan yang kaya magnesium akan meningkatkan massa otot. Peningkatan massa otot tersebut dapat bertahan lebih lama dibanding massa otot yang terbentuk dari hasil mengonsumsi nutrisi. Namun sebaliknya, kelebihan logam magnesium akan menyebabkan dampak negatif bagi seorang atlet. Kelebihan kadar logam magnesium dalam kurun waktu 12-14 hari akan menyebabkan degradasi massa otot semu. Sedangkan kelebihan kadar logam magnesium yang terjadi dalam kurun waktu diatas 30 hari, akan menyebabkan degradasi massa otot permanen. Seorang atlet yang memiliki massa otot ideal tidak akan mampu mengembalikan massa otot tersebut apabila pernah mengalami degradasi massa otot permanen. Dengan demikian, penting bagi manusia untuk menjaga kadar logam magnesium dalam tubuhnya supaya tidak melebihi ambang batas.

Penelitian Rude, *et al.* (2009) dipaparkan bahwa penurunan kadar logam magnesium dalam tubuh akan berakibat pada tulang dan hormon manusia. Penurunan kadar logam magnesium tersebut menyebabkan kinerja hormon tidak maksimal sehingga metabolisme manusia akan terganggu. Selain pengaruh pada kinerja hormon, kekurangan kadar logam magnesium akan berdampak pada tulang

manusia. Sekitar 70% penurunan kadar logam magnesium akan berkontribusi langsung pada kerapuhan tulang.

Logam lain yang memiliki pengaruh penting bagi manusia adalah logam kalsium. Penelitian Pravina, *et al.* (2013) dipaparkan bahwa kalsium merupakan logam esensial dalam tubuh manusia, logam tersebut berperan pada aktivasi enzim, tulang dan gigi, kontraksi otot, aktivasi oosit, pembekuan darah, impuls saraf, mengatur detak jantung, dan keseimbangan cairan dalam sel. Kekurangan logam kalsium dalam waktu yang lama akan menyebabkan osteoporosis.

Penelitian Daly, *et al.* (2010) dipaparkan bahwa manusia membutuhkan 1,000 – 3,000 mg/hari kalsium. Kekurangan kalsium akan menyebabkan osteoporosis. Namun, kelebihan kalsium akan menyebabkan keracunan bagi manusia. Dengan demikian, dibutuhkan usaha pengontrolan terhadap logam kalsium terutama logam yang telah berbentuk senyawa. Pengontrolan tersebut, baik dilakukan terhadap kalsium untuk keperluan konsumsi maupun keperluan non-konsumsi.

Logam kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) merupakan logam yang menyebabkan air menjadi sadah. Tingkat bahaya air sadah tidak sebesar air yang tercemar logam berat.

Walau demikian, air sadah yang digunakan terus menerus akan menimbulkan dampak yang merugikan manusia. Kesadahan air merupakan salah satu kriteria air dikatakan layak pakai/konsumsi.

Penggunaan tawas pada air sadah, diyakini efektif dan efisien. Penelitian Aziz, dkk. (2013) dipaparkan bahwa penggunaan tawas akan menurunkan pH (tingkat keasaman), TDS (*Total Dissolve Solid*), TSS (*Total Suspended Solid*), ammonia, sianida, nitrit, BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), sulfida, detergen, minyak dan lemak. Penggunaan tawas juga akan meningkatkan kadar sulfat, fluoride, serta oksigen terlarut.

Selain manfaatnya, tawas dapat diperoleh dengan memanfaatkan limbah logam yang terbuat dari aluminium. Penelitian Husaini, dkk. (2018) dipaparkan bahwa tawas hasil percobaan lebih efektif dibanding tawas komersil. Tawas hasil percobaan mampu menurunkan *turbidity* air limbah dari sekitar 2000 NTU menjadi 151 NTU (efisiensi penurunan 92,45%) sedangkan tawas komersil hanya mampu menurunkan sampai 548 NTU (efisiensi penurunan 72,6%) pada jumlah air limbah yang sama. Ditinjau dari PAC (*Polyaluminium Chloride*), tawas hasil percobaan mampu menurunkan *turbidity* air

limbah dari 130,74 menjadi 2,92 NTU (efisiensi penurunan 97,77%); *total suspended solid* mengalami penurunan dari 196,33 ppm menjadi 38,7 ppm sedangkan tawas komersil hanya mampu menurunkan hingga 4,67 NTU (efisiensi penurunan 96,43%) pada jumlah air limbah yang sama; *total suspended solid* 196,33 ppm menjadi 30,67 ppm.

Ditinjau dari sisi efektivitas, tawas olahan limbah aluminium ternyata tidak berbeda jauh dibanding tawas komersil. Penelitian Syaiful, dkk. (2014) dipaparkan bahwa penggunaan tawas hasil olahan limbah terbukti efektif menjadi koagulan untuk penjernihan air seperti tawas murni. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa dalam 1000 mL air dengan turbiditas 100 diperlukan 46 ppm tawas murni dan 300 ppm tawas dari kaleng bekas. Jika dibuat perbandingan, maka penggunaan tawas murni: tawas dari kaleng bekas berkisar 1:6 dalam 1000 mL air dengan tingkat turbiditas 100. Perbandingan yang cukup besar jika disimpulkan berdasarkan jumlah. Namun, dengan kebutuhan yang cukup besar maka daya olah kaleng bekas aluminium juga akan besar.

Pada penelitian ini, dianalisis efektivitas tawas dari limbah aluminium terhadap logam alkali tanah (Ca dan Mg) pada air dilevel laboratorium. Dengan

dimanfaatkannya limbah aluminium menjadi tawas, diharapkan dapat berkontribusi terhadap berkurangnya volume limbah yang dihasilkan secara khusus limbah aluminium.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di laboratorium kimia Universitas Kristen Indonesia. Metode penelitian dibagi menjadi dua fase. Fase pertama merupakan fase pembuatan tawas dari limbah kaleng minuman kemasan yang terbuat dari aluminium. Fase kedua merupakan fase pengukuran efektivitas tawas yang telah dibuat pada fase pertama. Pengukuran efektivitas tawas dilakukan dengan metode gravimetri.

Efektivitas tawas diukur berdasarkan kemampuan tawas dalam mengendapkan logam alkali tanah. Logam alkali tanah yang menjadi sampel pada penelitian antara lain: logam kalsium (Ca) dan magnesium (Mg). Pemilihan kedua logam didasarkan pada tinjauan literatur dimana kedua logam merupakan logam umum penyebab air sadah. Selain sebagai pencemar, logam Ca dan Mg tergolong logam esensial yang dapat ditemukan pada tanah. Dengan demikian, toksisitas kedua logam masih pada taraf sedang. Toksisitas pada level sedang memungkinkan dilakukannya

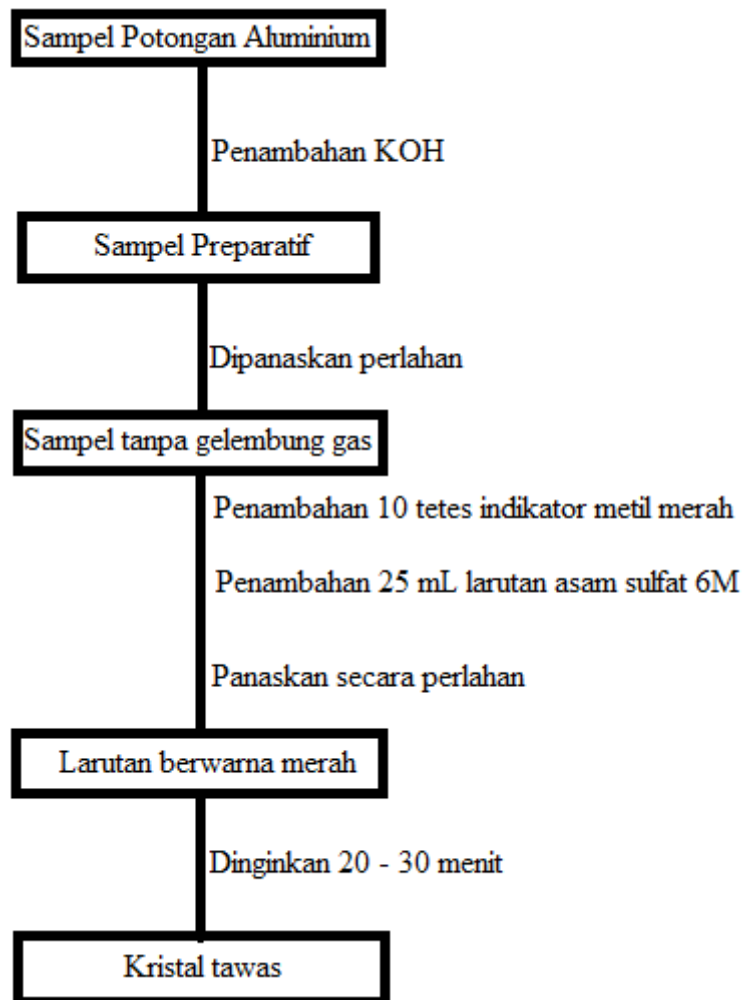
pengukuran efektivitas dengan metode sederhana seperti gravimetri.

Fase pertama, terdiri dari dua tahap yakni tahap preparasi dan tahap pembuatan tawas. Pada tahap preparasi, kaleng minuman dibersihkan (sebelum pembersihan dengan air, kaleng terlebih dahulu dibersihkan dengan alkohol untuk menghindari adanya organisme pengganggu) kemudian dipotong menjadi beberapa bagian dengan ukuran ($\pm 10\text{cm} \times 5\text{cm}$). Ukuran potongan dapat dibuat bervariasi tergantung keinginan peneliti, namun disarankan tidak terlalu kecil dan tidak terlalu besar. Potongan-potongan ini kemudian dimasukkan ke dalam lima buah gelas kimia dengan masing-masing berat: 0,5 gram, 0,6 gram, 0,7 gram, 0,8 gram, dan 0,9 gram. Pembagian ini dilakukan untuk mendapatkan data persentase terbentuknya tawas dari bahan dasar kaleng minuman berbahan dasar aluminium, sehingga didapatkan hubungan antara massa bahan dasar dengan tawas yang dihasilkan.

Pada tahap ini, juga dilakukan pembuatan larutan Ca *stock solution* 1000 ppm dan larutan Mg *stock solution* 1000 ppm. Larutan *stock solution* tersebut diasumsikan sebagai sumber logam Ca dan logam Mg. Pemilihan larutan *stock solution* dilakukan agar tidak ada logam lain selain kedua logam tersebut, minimalisasi

pengaruh pencemar, dan pengontrolan dapat dilakukan lebih efisien. Sehingga hasil penyerapan yang diperoleh tidak dipengaruhi oleh logam lain dan bersifat

murni. Setelah seluruh tahap preparasi selesai, dilakukan tahap kedua yakni pembuatan tawas. Tahapan tersebut terlihat seperti pada Gambar 1. (Harefa, 2019)



Gambar 1. Prosedur Pembuatan Tawas

Sebelum ketahap pengujian, tawas terlebih dahulu diuji secara organoleptis dengan memanaskannya pada suhu 92°C . Pada prosedur ini, tawas terlebih dahulu dibersihkan dengan menggunakan 20 mL etanol. Setelah pembersihan dengan etanol, tawas dibiarkan dalam pompa vakum sekitar 3 – 5 menit. Lalu dikeringkan

didalam oven. Pada proses pengeringan tersebut, dilakukan pengujian organoleptis dengan memanaskan tawas pada suhu 92°C untuk memastikan bahwa yang didapat pada penelitian merupakan tawas. Tawas akan meleleh pada suhu 92°C .

Pada tahap pembuatan tawas tersebut, ditentukan rendemen tawas yang dihasilkan

dari masing-masing bahan dasar yang telah ditentukan pada tahap preparasi. Sebelum kefase kedua, seluruh tawas yang dihasilkan digabungkan menjadi satu bagian, dengan asumsi bahwa jumlah tawas yang dihasilkan dapat memadai untuk dijadikan sebagai koagulan. Penggabungan ini tidak berpengaruh terhadap penyerapan logam karena dilakukan dengan proses yang sama.

Fase kedua, yakni penghitungan efektivitas tawas terhadap logam Ca dan logam Mg. Pada tahap ini, tawas yang dihasilkan pada fase pertama dijadikan koagulan. Larutan *stock solution* dari masing-masing logam diambil sebanyak 500 mL dan ditempatkan pada gelas kimia. Pada gelas kimia yang telah berisi larutan *stock solution* tersebut, kemudian ditambahkan tawas hasil pengolahan dari limbah kaleng minuman berbahan dasar aluminium pada fase pertama. Larutan tersebut didiamkan selama kurang lebih dua jam pada suhu kamar dengan kelembaban standar. Pada akhir proses, rendemen efektivitas tawas dihitung dengan metode gravimetri.

Pemilihan bahan baku (kaleng minuman kemasan berbahan dasar aluminium) pembuatan tawas dilakukan secara acak. Pemilihan bahan baku ini tanpa pertimbangan bahan-bahan tambahan pembuatan kaleng (termasuk bahan kimia),

lokasi pengambilan bahan baku, bahan-bahan lain yang ada disekitar bahan baku, dan sebagainya. Dengan demikian, untuk mengantisipasi pengaruh-pengaruh tersebut dilakukan pembersihan pada tahap preparasi. Namun, tidak menutup kemungkinan adanya logam-logam yang mengendap pada kaleng minuman kemasan berbahan dasar aluminium tersebut. Untuk kepentingan akurasi data, maka dibutuhkan beberapa perlakuan agar data efisiensi tawas hasil olahan kaleng aluminium lebih sempurna. Perlakuan-perlakuan tersebut antara lain: metode lain untuk menganalisis efektivitas tawas hasil olahan limbah agar didapatkan informasi dengan perbandingan yang beragam; dan penelitian lanjutan terhadap tawas hasil olahan limbah kaleng aluminium untuk analisis kriteria air layak pakai seperti pH, BOD, COD, TDS, TSS, dan sebagainya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, tawas yang dihasilkan dari berbagai variasi massa bahan baku kaleng minuman berbahan dasar aluminium terlihat seperti pada Tabel 1.

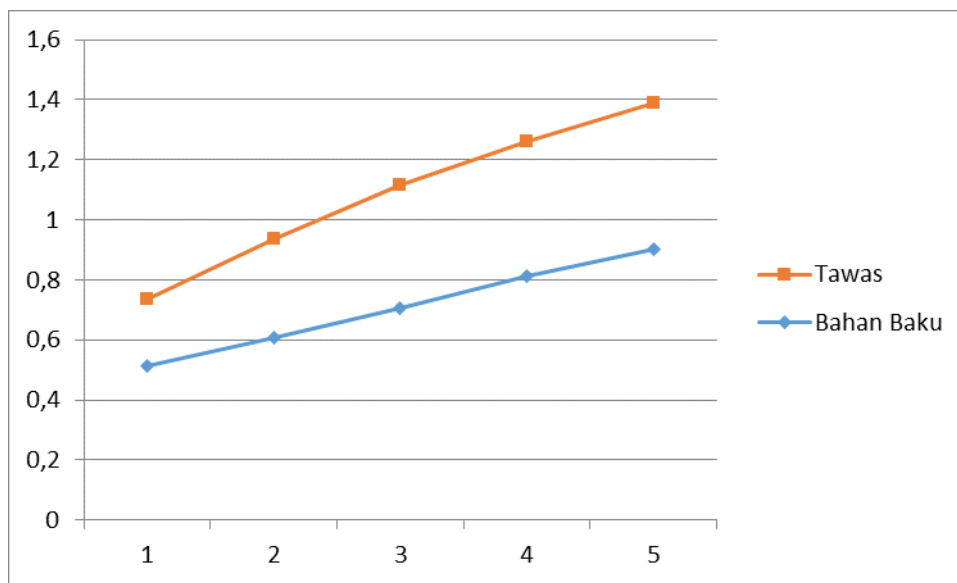
Tabel 1. Massa tawas hasil olahan

No.	Massa Kaleng Bekas	Massa Tawas yang Dihasilkan
1.	0,512 gram	0,224 gram

2.	0,608 gram	0,330 gram
3.	0,704 gram	0,410 gram
4.	0,811 gram	0,452 gram
5.	0,902 gram	0,488 gram
Massa Total		1,894 gram

Berdasarkan Tabel 1, disimpulkan bahwa perolehan tawas dari kaleng aluminium yang dihasilkan mendekati 50% dari bahan baku. Efisiensi yang tinggi jika mengacu pada tawas yang dihasilkan. Dengan efisiensi tersebut maka tawas hasil

olahan kaleng aluminium dapat dijadikan sebagai sumber penghasil tawas yang dapat dijadikan sebagai pembersih air. Jumlah bahan baku kaleng minuman kemasan berbahan dasar aluminium yang diperlukan pada penelitian tersebut berkisar dua buah. Dari dua buah kaleng dapat dihasilkan 1,894 gram tawas. Hubungan tawas yang dihasilkan dengan massa bahan baku kaleng minuman kemasan berbahan dasar aluminium dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 2. Hubungan Bahan Baku (Kaleng Berbahan Dasar Aluminium) dengan Tawas yang dihasilkan

Berdasarkan Gambar 2, disimpulkan bahwa massa kaleng aluminium yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan tawas berbanding lurus dengan tawas yang dihasilkan. Artinya, semakin banyak massa

kaleng yang digunakan sebagai bahan baku maka semakin banyak pula tawas yang dihasilkan. Ketersediaan kaleng aluminium bekas yang melimpah menjadi modal awal untuk menghasilkan tawas yang melimpah

pula. Fakta tersebut, dapat dijadikan rujukan sehingga sampah/limbah aluminium dapat dikurangi dengan cara mengolah kembali salah satunya menjadi tawas. Dengan demikian, dapat dimanfaatkan untuk kepentingan manusia tanpa merugikan hewan, tumbuhan, dan lingkungan.

Tawas yang dihasilkan akan diuji efektivitasnya dengan menggunakan metode gravimetri. Pengujian dilakukan dengan mencampurkan tawas dengan larutan *stock solution* larutan Ca 1000 ppm dan larutan Mg 1000 ppm. Berdasarkan pengujian tersebut, didapatkan data seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Efektivitas Tawas Terhadap Logam Ca dan Logam Mg

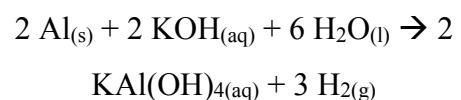
Larutan <i>Stock Solution</i> 1000ppm	Logam	Efektivitas Tawas
	Ca	42,25%
	Mg	64,12%

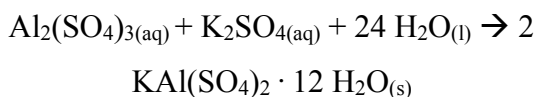
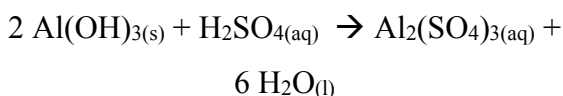
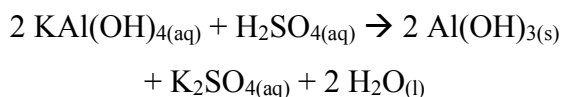
Tawas yang digunakan adalah tawas keseluruhan yang diperoleh pada tahap sebelumnya seberat 1,894 gram. Penggabungan tawas dilakukan dengan asumsi tidak ada perbedaan pada perlakuan pembuatan tawas sehingga tidak menimbulkan perbedaan sensitivitas. Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa

efektivitas tawas hasil olahan kaleng aluminium pada logam Ca sebesar 42,25% dan untuk logam Mg efektivitas tawas hasil olahan kaleng aluminium sebesar 64,12%. Oleh sebab itu, dapat disimpulkan bahwa tawas hasil olahan kaleng aluminium lebih efektif terhadap logam Mg dibanding pada logam Ca.

Pada asumsi air terkontaminasi logam Ca 10 ppm dan logam Mg 10 ppm sebanyak 1000 mL, maka tawas hasil olahan sampah kaleng aluminium dapat menurunkan kandungan logam Ca menjadi 5,775 ppm dan kandungan logam Mg akan turun menjadi 3,588 ppm. Efektivitas penurunan kadar logam lebih tinggi pada logam Mg dibanding penurunan kadar logam Ca.

Reaksi pembentukan tawas merupakan reaksi irreversibel. Reaksi tersebut tidak dapat kembali, tawas yang telah terbentuk tidak dapat diurai kembali menjadi bahan baku penyusunnya. Oleh sebab itu, senyawa penyusun tawas tidak akan berkontribusi terhadap penyerapan logam lain akibat penambahan tawas. Pembentukan tawas diinisiasi oleh logam aluminium (Al) sebagai logam utama penyusun tawas. Secara sederhana, reaksi tersebut digambarkan seperti berikut.





Pada proses penyerapan yang terjadi pada larutan *stock solution* logam Ca dan logam Mg akibat pemberian tawas ($\text{KAl(SO}_4)_2$), logam Ca dan logam Mg akan mengusir logam Al terlebih dahulu. Logam Al akan menjadi ion yang bercampur dengan filtrat dan dimungkinkan terjadi reaksi dengan udara. Setelah logam Al diionkan, maka logam Ca dan logam Mg akan menggantikan Al. Efektivitas penyerapan logam Ca dan logam Mg sangat dipengaruhi stabilitas ion aluminium yang terlepas dan keefektifan pelepasannya dari tawas. Oleh sebab itu, penting pengkondisian suhu dan kelembaban serta pendinginan dan pemanasan yang sesuai dan hati-hati. (Adlim, 2009)

Hasil efektivitas tawas yang didapatkan pada penelitian sangat rentan mengalami perubahan ketika diaplikasikan kesampel umum seperti air sungai, air tanah, dan sebagainya. Hal tersebut disebabkan oleh kemungkinan adanya logam lain selain logam Ca dan Mg seperti kadmium, zink, dan timbal (Adlim, 2009). Penggunaan

larutan *stock solution* memberikan data tanpa pengaruh pencemar-pencemar lain seperti logam-logam lain selain logam Ca dan logam Mg, kandungan oksigen air, tingkat keasaman, detergen, minyak, lemak dan pencemar-pencemar lain. Dengan demikian, hasil yang diperoleh merupakan hasil murni dari penyerapan logam Ca dan Mg.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa tawas hasil olahan limbah kaleng aluminium dapat digunakan sebagai alternatif pengolahan air yang mengandung logam kalsium dan magnesium. Tawas hasil olahan limbah kaleng aluminium dapat menyerap logam Ca dengan efektivitas sebesar 42,25% dan menyerap logam Mg dengan efektivitas sebesar 62,12%. Jika diasumsikan pada air yang telah terkontaminasi logam Ca sebesar 10 ppm dan logam Mg 10 ppm sebanyak 1000 mL, maka tawas hasil olahan kaleng aluminium akan mampu menurunkan kandungan logam Ca menjadi 5,775 ppm dan kandungan logam Mg menjadi 3,588 ppm.

DAFTAR PUSTAKA

Adlim. 2009. *Kimia Anorganik*. Banda Aceh: Universitas Syiah Kuala

- Aziz, T., Dwi, Y.P., dan Lola, R. (2013). Pengaruh Penambahan Tawas $Al_2(SO_4)_3$ dan Kaporit $Ca(OCl)_2$ terhadap Karakteristik Fisik dan Kimia Air Sungai Lambidaro. *Jurnal Teknik Kimia*, 3(19), 55-65.
- Daly, R.M. and Peter. R.E. 2010. Is Excess Calcium to Health?. *Nutrients* 2(1): 505-522.
- Faryadi, Q. 2012. The Magnificent Effect of Magnesium to Human Health. *International Journal of Applied Science and Technology* 2(3): 118-126.
- Harefa, N. (2018). Sensitivitas Ligan Ditizon terhadap Absorpsi Logam Zink dengan Teknik Emulsi Membran Cair. *EduMatSains*, 3(1), 57-68.
- Harefa, N. (2019). *Penuntun Praktikum Kimia Anorganik II*. Jakarta: UKI Press.
- Husaini, Stefanus, S.C. Suganal. Dan Kukuh, N.H. 2018. Perbandingan Koagulan Hasil Percobaan dengan Koagulan Komersial Menggunakan Metode JAR TEST. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara* 14(1): 31-45.
- Nica, A.S. et.al. 2015. Magnesium Supplementation in Top Athletes – Effect and Recommendation. *Medicina Sportiva* 11(1): 2482-2494.
- Pravina, P., Didwagh, S., and Mokashi, A. 2013. Calcium and its Role in Human Body. *International Journal of Research in Pharmaceutical and Biomedical Science* 4(2): 659-668.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 1990. *Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 416 Tahun 1990 tentang Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air*. Jakarta: Sekretariat Negara
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 2017. *Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum*. Jakarta: Sekretariat Negara
- Rude, R.K., F.R. Singer., and H.E. Gruber. 2009. Skeletal and Hormonal Effects of Magnesium Deficiency. *Journal of the American College of Nutrition* 28(2): 131-141.
- Situmorang, M. 2012. *Kimia Lingkungan*. Medan: FMIPA UNIMED

- Sugiyarto, K.H. dan Suyanti, R.D. 2010. *Kimia Anorganik Logam*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Syaiful, M. Anugrah, I.Jn. dan Danny, A. 2014. Efektivitas Alum dari Kaleng Aluminium Bekas sebagai Koagulan Penjernihan Air. *Jurnal Teknik Kimia* 4(20): 39-45.
- Widowati, W. Sastiono, A. dan Yusuf, R. 2008. *Efek Toksik Logam, Pencegahan, dan Penanggulangan Pencemaran*. Yogyakarta: Penerbit Andi.