

DAUR ULANG LIMBAH KEMASAN MULTILAYER SEBAGAI BAHAN PEMBUATAN TAWAS UNTUK MENURUNKAN PARAMETER PENCEMAR INDUSTRI TAHU

N. E. Mayangsari^{1,*}, T. A. Ramadani¹, N. M. Jannah¹, D. R. Widiana²

¹Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia Kampus ITS Sukolilo Surabaya, 60111

²Jurusan S2 Teknik Keselamatan dan Resiko, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia Kampus ITS Sukolilo Surabaya, 60111

*noviekam@ppns.ac.id

Diterima: 24 November 2021

Direvisi: 18 Oktober 2022

Disetujui: 10 November 2022

ABSTRAK

Peningkatan jumlah penduduk akan berdampak besar terhadap lingkungan, seperti peningkatan volume sampah. Komposisi sampah terbesar kedua setelah sampah makanan adalah sampah plastik yang merupakan jenis sampah yang sulit terurai. Salah satunya adalah sampah plastik kemasan kopi. Daur ulang merupakan cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi sampah plastik kemasan kopi, yaitu dengan memisahkan lapisan plastik dan lapisan aluminium. Lapisan aluminium dapat diolah menjadi tawas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memisahkan lapisan plastik dan lapisan aluminium menggunakan metode green solvent menggunakan asam metanoat, pengaruh variasi konsentrasi KOH dengan konsentrasi H₂SO₄ 6M, dan menentukan dosis optimum dalam menurunkan kadar COD dan BOD dalam limbah industri tahu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan variasi konsentrasi KOH yang semakin tinggi maka rendemen tawas yang dihasilkan juga semakin tinggi. Hasil penelitian tawas dibandingkan dengan tawas komersial. Perbandingan kedua jenis tawas tersebut menunjukkan bahwa tawas yang dihasilkan pada penelitian ini menghasilkan efisiensi penyisihan COD dan BOD yang lebih tinggi dibandingkan tawas komersial, namun dengan dosis koagulan yang berbeda.

Kata kunci: plastik kemasan kopi, green solvent, tawas, rendemen

ABSTRACT

An increase in population will have a major impact on the environment, such as an increase in the volume of waste. The second largest composition of waste after food waste is plastic waste, which is a type of waste that is difficult to decompose. One of them is coffee packaging plastic waste. Recycling is a way that can be done to reduce coffee packaging plastic waste, namely by separating the plastic layer and the aluminum layer. The aluminum layer can be processed into alum. The purpose of this study is to separate the plastic layer and aluminum layer using the green solvent method using methanoic acid, the effect of variations in the concentration of KOH with a concentration of H₂SO₄ 6M, and determining the optimum dose in reducing COD and BOD levels in wastewater tofu industry. The results showed that with the variation of the higher concentration of KOH, the yield of alum produced was also higher. Alum research results were compared with commercial alum. Comparison of these two types of alum shows that alum produced in this study resulted in higher COD and BOD removal efficiency than commercial alum, but with different coagulant doses.

Keywords: *coffee packaging plastic, green solvent, alum, yield*

PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk berdampak positif terhadap pertumbuhan ekonomi masyarakat. Hal ini akan sebanding dengan dampak negatifnya, seperti kerusakan lingkungan. Masalah sampah merupakan salah satu masalah dunia dalam bidang lingkungan. Jumlah sampah yang dihasilkan di Indonesia pada tahun 2020 diperkirakan mencapai 33,1 juta ton/tahun berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan mengenai pencapaian kinerja pengelolaan sampah. Komposisi timbulan sampah terbesar kedua adalah sampah plastik yaitu sekitar 17,1% dan penyumbang terbesar berasal dari sektor rumah tangga dengan komposisi sekitar 38,3%. Persentase sampah plastik yang tinggi akan menjadi ancaman bagi lingkungan karena sampah plastik bersifat *non-biodegradable*, sehingga perlu diolah atau dikelola.

Sampah plastik terdiri dari beberapa jenis dan memiliki tingkat penguraian yang berbeda-beda. Salah satu jenis sampah plastik yang sulit terurai adalah plastik multilayer, dimana saat ini jenis plastik ini banyak beredar di masyarakat untuk kemasan makanan. Plastik multilayer sulit terurai karena memiliki lapisan yang terdiri dari beberapa komponen, seperti LDPE, PP, bahan perekat, dan *aluminium foil* (Wahyudi dkk, 2018). Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menguraikan sampah plastik antara lain daur ulang, proses fisik, dan proses kimia (Rodiansono dkk, 2005). Solusi terbaik untuk mengurangi sampah plastik berlapis-lapis ini adalah daur ulang, yang memisahkan lapisan aluminium dari plastik berlapis-lapis. Plastik yang dapat digunakan sebagai bahan bakar dan aluminium yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan tawas merupakan hasil dari proses pemisahan.

Aluminium yang digunakan sebagai bahan baku tawas berasal dari beberapa kemasan plastik multilayer. Mumladze dkk (2019) melaporkan bahwa kandungan aluminium proses pemisahan untuk kemasan blister primer adalah 17,2%, kemasan blister sekunder adalah 46,2%, dan kemasan coklat dan kopi adalah 52,5%. Penelitian ini menggunakan limbah plastik kemasan kopi sebagai bahan baku karena memiliki persentase kandungan aluminium yang tinggi, dan jenis kemasan ini

diproduksi karena adanya peningkatan konsumsi kopi setiap tahunnya (Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Kementerian Pertanian).

Hidrotermal, pirolisis, dan pelarut hijau adalah metode untuk memisahkan lapisan plastik dan lapisan aluminium. Mu'min dkk (2014) melakukan penelitian dengan menggunakan proses hidrotermal yang menghasilkan proses pemisahan yang tidak sempurna. Irwan dkk (2018) melakukan proses pemisahan menggunakan proses pirolisis. Hasil yang diperoleh adalah penurunan jumlah padatan karena menghasilkan lebih banyak minyak dan gas pada suhu tinggi. Nieminen dkk (2020) melakukan penelitian dengan proses pemisahan menggunakan metode green solvent, yaitu dengan melarutkan sampah plastik kemasan menjadi asam metanoat dengan cara pemanasan dan pengadukan. Yan dkk (2015) menemukan bahwa asam metanoat dapat memisahkan aluminium dari lapisan plastik dan menghasilkan rasio kehilangan Al yang kecil dibandingkan dengan asam klorida dan asam asetat. Proses pembuatan tawas dari aluminium dapat dilakukan dengan menggunakan larutan KOH dan H₂SO₄. Anggreani dkk (2017) menunjukkan bahwa konsentrasi KOH mempengaruhi konsentrasi aluminium terekstraksi sehingga mempengaruhi persen rendemen.

Tawas dapat digunakan sebagai penjernih air sebagai pembawa padatan terlarut dalam air. Tawas dapat digunakan sebagai koagulan dalam menurunkan kadar COD, BOD, dan TSS pada limbah industri tahu, dimana kadarnya adalah 5532 ppm, 3374 ppm, dan 940 ppm (Pamungkas dan Slamet, 2017). Kadar pencemar pada ampas tahu masih jauh dari baku mutu dan perlu dilakukan pengolahan. Penelitian ini mempelajari proses pemisahan aluminium dan plastik pada sampah kemasan menggunakan metode green solvent menggunakan asam metanoat sehingga dapat digunakan untuk menurunkan kadar COD dan BOD.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kemasan kopi, 98% CH₂O₂ (SAP), KOH (SAP), 98% H₂SO₄ (SAP) dan 96%

C₂H₅OH (SAP). Peralatan yang digunakan adalah labu leher tiga, kondensor Allihn, *hotplate magnetic stirrer* (Thermo Scientific), dan beberapa peralatan gelas laboratorium.

Preparasi

Limbah kemasan kopi dicuci dengan air bersih, dikeringkan, kemudian dipotong-potong dengan ukuran kurang lebih 5 cm. Potongan sampah kemasan ditimbang sebanyak 16 gram kemudian dimasukkan ke dalam labu leher tiga untuk proses pemisahan bagian aluminium dari lapisan plastiknya.

Proses Pemisahan

Proses pemisahan menggunakan larutan asam metanoat (CH₂O₂) dengan konsentrasi larutan 2 M. Larutan dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang sudah berisi potongan plastik. Larutan dipanaskan pada suhu 90°C selama 30 menit dan diaduk dengan kecepatan 200 rpm. Lembaran aluminium yang telah dipisahkan dikeringkan pada suhu 60°C dan ditimbang. Sampel diuji untuk ICP-OES.

Pembuatan Tawas

Lembaran aluminium hasil pemisahan dilarutkan dengan KOH sebanyak 50 ml dan dipanaskan pada suhu 70°C. Larutan didinginkan sampai suhu kamar kemudian disaring. Sebanyak 30 ml larutan H₂SO₄ 6 M ditambahkan ke dalam filtrat dan dipanaskan pada suhu 50°C sambil diaduk. Larutan didinginkan menggunakan air dingin dan disaring untuk memisahkan larutan dan kristal tawas. Kristal tawas dicuci dengan 96% C₂H₅OH kemudian dikeringkan pada suhu 70°C.

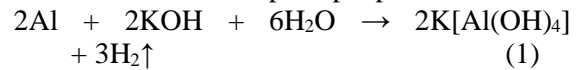
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan dengan memanfaatkan limbah kemasan kopi. Pengemasan sampah dilakukan dengan proses pemisahan antara lapisan plastik dan aluminium. Hasil lapisan aluminium dari proses pemisahan digunakan untuk pembuatan tawas. Hasil tawas kemudian dilakukan eksperimen pada air limbah tahu menggunakan metode jar test untuk mengetahui efisiensi penyisihan tawas untuk parameter COD dan BOD.

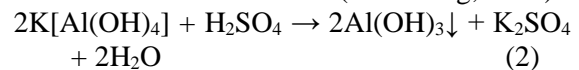
Pembuatan Tawas

Tahap pembuatan tawas dilakukan setelah tahap pemisahan antara lapisan plastik dan lapisan aluminium. Bagian yang digunakan

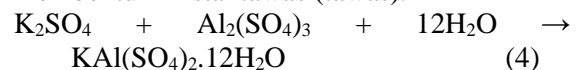
dalam proses pembuatan tawas adalah lapisan aluminium. Pembuatan tawas dilakukan dengan menambahkan KOH, yang ditunjukkan pada reaksi (1), sehingga dapat membentuk larutan kalium tetrahidroksoaluminat, dimana reaksi yang terjadi berupa reaksi eksotermik, karena menghasilkan panas. Proses pemanasan dilakukan untuk melarutkan KOH dan aluminium serta mempercepat proses reaksi.



Gelembung gas muncul karena pembentukan gas hidrogen dalam reaksi (1). Gelembung gas akan hilang setelah aluminium habis bereaksi. Asam sulfat ditambahkan ke dalam larutan kalium tetrahidroksoaluminat untuk membentuk endapan putih kristal aluminium hidroksida dan menghasilkan panas. Asam sulfat yang ditambahkan harus berlebih agar aluminium hidroksida dapat larut sehingga terbentuk aluminium sulfat (Manurung, 2010).



Senyawa aluminium sulfat ini akan bereaksi kembali dengan kalium sulfat sehingga akan membentuk kristal tawas (tawas).



Pengaruh Konsentrasi KOH terhadap Rendemen Tawas

Persentase rendemen tawas dapat diperoleh dengan mengetahui berat teoritis dan berat sebenarnya. Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa semakin tinggi konsentrasi KOH maka semakin besar rendemen tawas yang terbentuk. Hal ini dikarenakan semakin tinggi konsentrasi KOH maka kandungan aluminium terlarut akan semakin banyak sehingga rendemen yang dihasilkan akan semakin besar (Purnawan dan Ramadhani, 2014). Rendemen tawas yang dihasilkan pada penelitian ini lebih besar jika dibandingkan dengan penelitian Anggreani, dkk (2017). Hal ini dikarenakan aluminium foil yang digunakan tidak mengandung plastik. ini tidak akan mempengaruhi massa aluminium yang diekstraksi dengan KOH.

Tabel 1. Pengaruh konsentrasi KOH terhadap nilai rendemen tawas

| Konsentrasi | Randemen |
|-------------|----------|
|-------------|----------|

| KOH | |
|-----|--------|
| 40% | 80.32% |
| 50% | 98.70% |
| 60% | 98.77% |

Analisa Kualitas Tawas

Sampel tawas yang dihasilkan dari variasi konsentrasi KOH, dipilih nilai rendemen tertinggi dengan konsentrasi KOH 60%. Kualitas sampel ditentukan berdasarkan SNI 0032:2011.

Tabel 2. Hasil Analisa Kualitas Tawas

| Parameter | Hasil Penelitian | SNI 0032:2011 |
|---|------------------|---------------|
| Bagian yang tidak larut dalam air | 0.05% | Max. 0.5% |
| Aluminium oksida, alumina, Al ₂ O ₃ | 0.8% | Min. 17% |
| Aluminium, Al | 0.5% | - |
| Besi, Fe | 0.055% | Max. 0.01% |
| Arsen, As | 0 mg/kg | Max. 2 mg/kg |

Bagian yang tidak larut dalam air adalah zat non polar lainnya yang tidak larut dalam air. Menurut Purnawan dan Ramadhani, (2014) menyatakan bahwa semakin besar nilai persentase bagian yang tidak larut dalam air maka semakin banyak pula pengotor yang terkandung dalam tawas. Berdasarkan Tabel 2, bagian yang tidak larut dalam air adalah 0,05%, dimana nilainya telah memenuhi standar SNI yang ditentukan. Pengotor yang terkandung dalam tawas adalah K₂O, Fe₂O₃, CuO, PbO, yang diperoleh dari analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF).

Parameter logam aluminium merupakan parameter penting dalam kandungan tawas. Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa kandungan aluminium cukup rendah, dimana pada

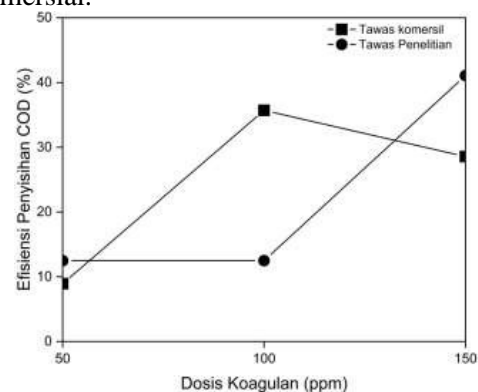
prinsipnya tawas dibuat dari campuran K⁺, Al³⁺, dan SO₄²⁻ dalam medium air (Ikhsan, 2013). Jika kadar aluminium yang dihasilkan cukup rendah, maka akan mempengaruhi kadar aluminium oksida yang dihasilkan juga rendah. Sehingga aluminium oksida hasil penelitian tawas belum memenuhi persyaratan mutu SNI. Kandungan logam Fe dan As juga dapat dilihat pada Tabel 2. Kandungan Fe masih melebihi syarat mutu yang ditentukan. Hal ini dikarenakan Fe tidak larut ketika ditambahkan KOH pada proses pembuatan tawas. Adapun kandungan As sudah memenuhi syarat mutu yang ada. Salah satu fungsi tawas adalah digunakan untuk melarutkan kandungan logam dalam limbah melalui proses koagulasi sehingga dapat diendapkan, sehingga kandungan logam dalam tawas tidak boleh terlalu tinggi.

Penggunaan Tawas dalam Proses Koagulasi

Proses koagulasi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan variasi dosis koagulan 50 ppm, 100 ppm, dan 150 ppm. Ini akan membandingkan hasil penelitian ini dengan tawas komersial. Tujuannya adalah untuk menentukan dosis optimum dalam proses penurunan nilai COD dan BOD pada limbah cair industri tahu.

Parameter COD

Gambar 1 menunjukkan efisiensi penyisihan COD dengan konsentrasi awal parameter COD sebesar 3001,6 ppm. Tawas dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pada dosis 50 ppm dan 100 ppm tidak ada perubahan, tetapi pada dosis 150 ppm terjadi peningkatan. Efisiensi penyisihan COD meningkat pada dosis 50 ppm hingga dosis 100 ppm dan menurun pada dosis 150 ppm pada tawas komersial.

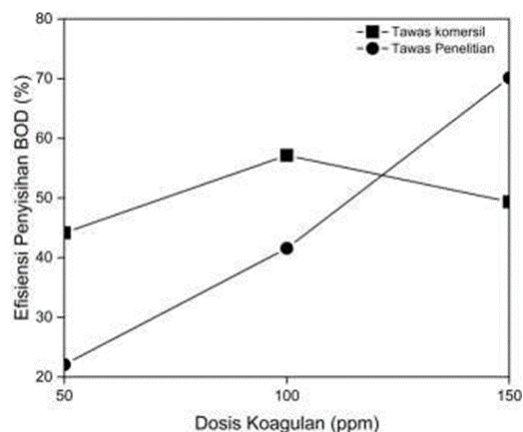


Gambar 1. Efisiensi Penyisihan COD

Peningkatan efisiensi penyisihan COD pada dosis koagulan yang semakin tinggi dikarenakan dosis koagulan dapat menyebabkan peningkatan pembentukan presipitat dan peningkatan frekuensi tumbukan antar partikel sehingga dapat membentuk flok yang lebih besar (Rachmawati dkk, 2009). Pembentukan flok yang lebih besar ini akan mempermudah pengendapan. Penurunan nilai efisiensi penyisihan COD dikarenakan kelebihan muatan positif dari koagulan sehingga pengikatan koloid zat organik menjadi kurang maksimal (Aulia dkk, 2016).

Parameter BOD

Konsentrasi awal parameter BOD sebelum penambahan koagulan adalah 2003,6 ppm. Gambar 2 menunjukkan efisiensi penyisihan BOD dengan konsentrasi awal 2003,6 ppm. tawas dari hasil penelitian meningkat jika dosis koagulan ditambahkan terus menerus, sedangkan tawas komersial meningkat dari dosis 50 ppm menjadi 100 ppm, namun pada dosis 150 ppm mengalami penurunan.



Gambar 2. Efisiensi Penyisihan BOD

Peningkatan efisiensi penyisihan terjadi karena penambahan dosis menyebabkan kemampuan koagulan untuk mengikat dan menyerap partikel tersuspensi meningkat sehingga partikel mudah mengendap. Penyebab penurunan efisiensi penyisihan BOD menggunakan tawas komersial dengan dosis 150 ppm disebabkan kondisi larutan yang lebih jenuh (Purnamasari dkk, 2017). Penambahan dosis koagulan yang melebihi dosis optimum menyebabkan larutan menjadi lebih jenuh sehingga terjadi gaya elektrostatik yang

menyebabkan bahan organik yang ada di dalam air sulit mengendap.

Perbandingan Efisiensi Penyisihan Tawas Penelitian dan Tawas Komersil

Perbedaan efisiensi penyisihan terbaik antara tawas penelitian dan tawas komersial dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai efisiensi penyisihan COD dan BOD yang paling optimum dari tawas penelitian dan tawas komersial adalah pada dosis 150 ppm dan 100 ppm.

Tabel 3. Perbandingan Efisiensi Penyisihan antara Tawas Penelitian dan Tawas Komersil

| Parameter | Tawas Penelitian | Tawas Komersil |
|-----------|------------------|----------------|
| COD | 41,071% | 35,714% |
| BOD | 70,129% | 57,142% |

Jika kedua tawas ini dibandingkan, efisiensi penyisihan tawas penelitian lebih baik daripada tawas komersial, namun dosis yang dibutuhkan lebih tinggi. masing-masing parameter menunjukkan bahwa kualitas koagulan $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ yang berasal dari proses pemisahan menggunakan kemasan kopi tidak jauh berbeda dengan koagulan $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ (koagulan komersial). $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ yang berasal dari proses pemisahan menggunakan kemasan kopi mengandung kalium. Menurut Syaiful, dkk. (2014) sifat kalium yang mudah larut dalam air sehingga dapat dikatakan kalium disini bersifat inert, sehingga tidak berpengaruh besar terhadap kualitas yang dihasilkan setelah proses jar test.

KESIMPULAN

Konsentrasi KOH yang semakin tinggi akan menghasilkan rendemen tawas yang semakin besar. Konsentrasi KOH 60% dapat menghasilkan rendemen tawas hingga 98,77%. Namun tawas dengan proses pembuatan menggunakan NaOH 60% belum sepenuhnya memenuhi syarat mutu SNI, hanya bagian yang tidak larut air dan logam arsen yang memenuhi syarat mutu. Tawas digunakan untuk proses koagulasi, dosis terbaik efisiensi pengisihan COD dan BOD pada tawas hasil penelitian menggunakan dosis 150 ppm, sedangkan tawas komersil menggunakan dosis 100 ppm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya atas pembiayaan penelitian dari dana DIPA dengan No: 2290.17/PL19.PPK/KU/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggreani, L., E, Yenie., dan Elystia, S. 2017. *Daur Ulang Sampah Aluminium Foil Kemasan Aseptik menjadi Tawas*. FTEKNIK, Vol.4, No.1. pp.1-6.
- Aulia, Z., Sutrisno, E., dan Hadiwidodo, M. 2016. *Pemanfaatan Limbah Cangkang Kepiting sebagai Biokoagulan untuk Menurunkan Parameter Pencemar COD dan TSS pada Limbah Industri Tahu*. Jurnal Teknik Lingkungan, Vol. 5, No. 2, pp. 1–12.
- Ikhsan J., Widjajanti E., Sunarto. 2014. *Pengaruh Mordan Sintesis dari Limbah Kaleng terhadap Daya Ikat dan Laju Lepas Zat Warna Methyl Violet oleh Serat Kain*. Jurnal Penelitian Saintek, Vol. 19, No. 1, pp. 59-74.
- Irawan, C., Jelita, R., Nata, I.F. 2018. *Recovery of Aluminium From Aluminium Coated Plastic waste Using Pyrolysis Process*. Reaktor, Vol.18, No.1, pp.38- 44.
<http://pertanian.go.id>. *Kopi dan Peluang Pengembangannya di Indonesia*. (16 Februari 2021). Diakses pada 8 November 2021.<https://babel.litbang.pertanian.go.id/index.php/berita/4-info-aktual/1285-kopi-dan-peluang-pengembangannya-di-indonesia>
- Mu'min, G.F., Prawisudha, P., Pasek, A.D. 2014. *Kaji Eksperimental Pemisahan Lapisan Logam dalam Bungkus Plastik Berlapis Aluminium Menggunakan Pembuatan Tawas Dari Kaleng Aluminium Bekas*. Jurnal Teknologi No 6 Vol 2: 09-119.
- Rachmawati S.W., Iswanto, B., Winarni. 2009. *Pengaruh PH Pada Proses Koagulasi Dengan Koagulan Aluminium Sulfat dan Ferri Klorida*.Jurnal Teknik Lingkungan. Vol.5, No.2, pp.40-45.
- Rodiansono dan Trisunaryanti W. 2005. *Uji Aktivitas dan Regenerasi Katalis NiMo/Z pada Reaksi Hidrorengkah Fraksi Sampah Plastik Menjadi Fraksi Proses Hidrotermal*. Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII, pp.15-16, Depok.
- Manurung, Manuntun dan Ayuningtyas F., I. 2010. *Kandungan Aluminium dalam Kaleng Bekas dan Pemanfaatannya dalam Pembuatan Tawas*. Jurnal Kimia FMIPA, Universitas Udayana, Jurnal Kimia 4 (2), Juli 2010: 180-186.
<http://menlhk.go.id>. *Capaian Kinerja Pengelolaan Sampah*. Diakses pada 8 November 2021. URL: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- Mumladze, T., Tatariants, M., Rimsaite, A., Yousef, S., Denafas, G. 2019. *Recycling of Multilayer Packaging Foils by using Different Organic Solvent*. Iranian Journal Energy and Enviroment, pp. 38-42.
- Nieminen, J., Anugywom, I., Kallionen, M., Mnttari, M. 2020. *Green Solvents in Recovery Aluminium and Plastic from Waste Pharmaceutical Blister Packaging*. Waste Management, pp.20-27.
- Pamungkas, A.W., dan Slamet, A. 2017. *Pengolahan Tipikal Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tahu Kota Surabaya*. Jurnal Teknik ITS, Vol.6, No.2, pp.131-135.
- Purnamasari, R.D., Iryani, A., Aminingsih, T. 2017. *Pemanfaatan Kacang Babi (Vicia Faba) dan Biji Asam Jawa (Tamarindus indica L) Sebagai Koagulan Alami Pada Proses Perbaikan Kualitas Air*. URL:<https://www.researchgate.net/publication/313314620>
- Purnawan, I dan Ramadhani, R. 2014. *Pengaruh Konsentrasi KOH Pada Bensin*. Indonesian Journal of Chemistry 5 (3), 261-268.
- Syaiful, M., Jn, A.I., Andirawan, D. 2014. *Efektivitas Alum Dari Kaleng Minuman Bekas Sebagai Koagulan Untuk Penjernihan Air*. Jurnal Teknik Kimia. No.4, Vol. 20, pp.39-45
- Wahyudi, H., Damanhuri, E., dan Tomo H. S. 2018. *Proses Pemulihan Sampah Plastik Multilayer pada Variasi Temperatur dan Dosis Katalis Zeolit Alam*.

Yan, D., Peng, Z., Liu, Y., Huang, Q., Xie, M, Wang, Q. 2015. *Optimizing and Developing a Continuous Separation System for the Wet Process separation of Aluminium and Polyethylene in Aseptic Composite Packaging Waste*. Waste Management, pp.21-28.