

Kaji Eksperimental Pemisahan Lapisan Logam dalam Bungkus Plastik Berlapis Aluminium Menggunakan Proses Hidrotermal

Gea Fardias Mu'min^a*, Pandji Prawisudha^b, Ari Darmawan Pasek^c

Laboratorium Termodinamika, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesa 10 Bandung, Indonesia

email: gea.fardias@gmail.com, pandji@termo.pauir.itb.ac.id, aripasek@yahoo.com

Abstrak

Tercatat sebanyak 5,4 juta ton sampah plastik dibuang di Indonesia pertahun. Meskipun plastik umumnya diambil oleh pemulung, namun beberapa jenis plastik termasuk plastik berlapis aluminium kurang diminati karena sulit didaur ulang. Hal ini berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan yang serius mengingat sifat plastik yang tidak dapat terdekomposisi secara alami.

Pada penelitian ini, proses hidrotermal digunakan sebagai cara untuk memisahkan bungkus plastik berlapis aluminium menjadi plastik dan aluminium murni. Aluminium yang terpisah dapat digunakan sebagai bahan baku peleburan dan plastik yang terpisah dapat didaur ulang atau digunakan sebagai bahan bakar. Percobaan dilakukan dalam reaktor berkapasitas 2500 mL menggunakan uap jenuh pada temperatur sekitar 200 °C selama 60 menit. Pemisahan padatan dan cairan lalu dilakukan, dan produk padatan diuji menggunakan analisis termogravimetri untuk memperoleh informasi persentase kandungan plastik di bagian aluminium yang terpisah.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa pemisahan aluminium dan dengan plastik terjadi pada temperatur tinggi hingga 225 °C. Kandungan plastik di padatan aluminium berkurang menjadi 25% dari kandungan awal, dan aluminium menjadi getas serta memiliki kerapatan yang lebih tinggi dibandingkan sampah awal. Hasil ini meningkatkan keyakinan bahwa dengan proses hidrotermal, volume sampah plastik dapat dikurangi dan sampah bungkus plastik berlapis aluminium akan dapat dimanfaatkan di masa mendatang.

Kata kunci : proses hidrotermal, sampah plastik, pemisahan plastik dan aluminium

Pendahuluan

Tingginya kemampuan produksi dan pertumbuhan ekonomi, terutama pasca revolusi industri, mendorong perkembangan populasi manusia dengan sangat cepat. Perkembangan ekonomi dan produksi tersebut idealnya diimbangi dengan pemenuhan sumber daya sebagai bahan baku produksi dan juga pemenuhan konsumsi energi.

Peningkatan aktivitas produksi, baik dalam proses produksi maupun konsumsi hasil produksi, berakibat langsung pada peningkatan timbulan sampah sisa kegiatan. Pada beberapa negara berkembang, termasuk Indonesia pertumbuhan aktivitas produksi tersebut seringkali tidak diikuti dengan penanganan sampah yang memadai [1].

Data komposisi sampah kota di Indonesia, termasuk Kota Bandung, menunjukkan bahwa komponen organik memegang proporsi tertinggi dengan nilai persentase lebih dari 50%, sedangkan proporsi sampah plastik hanya menempati sepertiga dari jumlah tersebut [2]. Namun demikian, sifat plastik yang tidak dapat terdegradasi secara alamiah dapat menyebabkan akumulasi dalam jangka panjang dan menjadi ancaman terhadap lingkungan. Data tahun 2008 di

Amerika Serikat menunjukkan jumlah sampah plastik tidak terdaur ulang yang berakhir di *land fill* diperkirakan sebesar 28 juta ton. Energi kimia yang terkandung dalam sampah plastik tersebut, nilainya akan ekuivalen dengan 36,7 juta ton batubara [3]. Hal ini menunjukkan bahwa sampah tidak terdaur ulang memiliki potensi yang besar untuk dimanfaatkan kembali, alih-alih hanya berakhir di tempat penampungan sampah atau menjadi limbah pencemar lingkungan.

Sampah plastik memiliki potensi tinggi untuk didaur ulang, namun saat ini tidak semua sampah plastik dapat didaur ulang. Kemasan makanan dan minuman berupa plastik berlapis aluminium merupakan salah satu jenis sampah plastik yang tidak dapat didaur ulang dan tidak diinginkan oleh pemulung. Sampah jenis ini umumnya dimasukkan dalam kategori *other plastic* (kategori no. 7) oleh *Society of Plastic Industry* (SPI). Pengidentifikasi ini dilakukan berdasarkan kondisi plastik yang tidak murni berupa plastik, melainkan bercampur dengan kandungan aluminium.

Melihat keadaan ini, dalam jangka panjang plastik berlapis aluminium akan terakumulasi di Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Upaya pemisahan kandungan plastik dan aluminium

dalam plastik dapat membuka peluang untuk penanganan dan daur ulang dari jenis sampah tersebut. Fraksi aluminium yang telah terpisah dapat diolah kembali sebagai material untuk dilebur di dalam *smelter*, sedangkan fraksi plastik dapat didaur ulang atau dikonversikan menjadi bahan bakar alternatif melalui proses *thermal treatment*.

Studi ini akan membahas efek dari proses hidrotermal sebagai metode untuk memisahkan komponen plastik dan aluminium dari kemasan plastik berlapis aluminium (*laminated aluminum foil*). Sehingga masing-masing komponen dapat didaur ulang atau diolah kembali sesuai dengan jenisnya.

Proses Hidrotermal sebagai Metode Pengolahan Sampah

Proses hidrotermal dalam penelitian ini didefinisikan sebagai suatu proses yang menggabungkan air (*hydro*) dengan energi termal untuk mengonversi sampah dan material residu menjadi bahan-bahan yang dapat dimanfaatkan kembali. Air pada proses hidrotermal digunakan sebagai media dekomposisi bahan dalam pengaruh panas serta tekanan, serupa dengan proses degradasi alamiah bahan-bahan organik menjadi minyak atau batubara di dalam lapisan bumi [4].

Keunggulan dari proses hidrotermal yaitu pada dasarnya proses ini tidak memerlukan tahapan pengolahan awal seperti pemilahan atau pengeringan. Selain itu, temperatur kerja proses hidrotermal relatif lebih rendah bila dibandingkan dengan proses *thermal treatment* seperti pirolisis dan torefaksi, atau pembakaran dengan cara insinerasi. Penggunaan air sebagai medium penguraian relatif tidak berbahaya terhadap lingkungan, dan produk hasil hidrotermal dapat dimanfaatkan sebagai pupuk, pakan ternak, atau bahan bakar padat [4-6], bergantung dari input material yang diproses.

Proses hidrotermal juga dapat diterapkan untuk mengolah jenis sampah anorganik seperti plastik, kain, dan karet. Pada plastik jenis poli-vinil-klorida (PVC), 96% dari kandungan klorin anorganiknya dapat dihilangkan dalam satu kali pencucian setelah mengalami proses hidrotermal pada temperatur 225 °C [7].

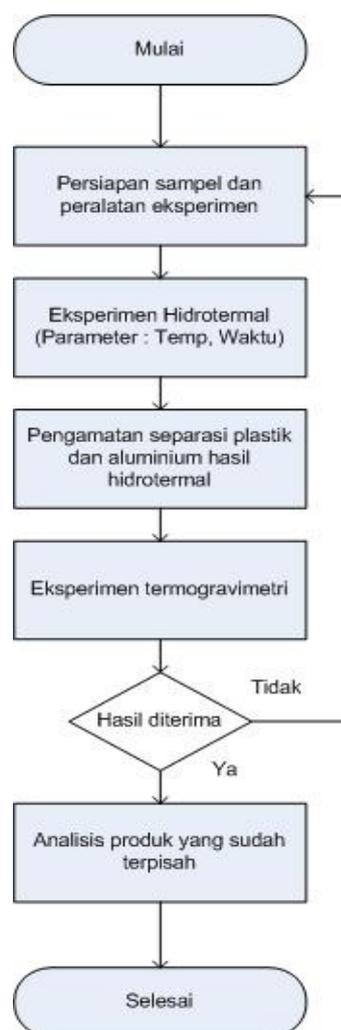
Melihat hasilnya pada berbagai material plastik, proses hidrotermal diharapkan juga dapat dimanfaatkan untuk mengolah sampah bungkus plastik berlapis aluminium dengan cara menguraikan lapisan plastik-aluminium yang menempel satu sama lain. Upaya pemisahan lapisan plastik dalam bungkus berlapis aluminium sebelumnya telah dilakukan

menggunakan larutan asam asetat dengan konsentrasi 3% sebagai zat pereaksi untuk melepas bahan perekat antar-lapisan, disimpan dalam ruangan bertemperatur kamar (23 °C), dan hasil pengujian menunjukkan bahwa perekat antar-lapisan baru dapat terlepas dalam waktu 4 hari [8]. Waktu ini sangat lama bila dibandingkan dengan proses hidrotermal yang biasanya berlangsung selama 60 menit saja.

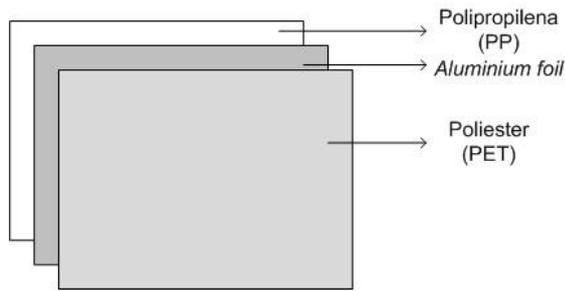
Eksperimen

Diagram alir eksperimen hidrotermal yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 1.

Material Sampel. Material sampel yang diuji adalah kemasan plastik berlapis aluminium yang biasa dipergunakan sebagai kemasan produk pangan. Kemasan ini tersusun oleh lembaran *aluminum foil* yang dilapisi oleh plastik polipropilena (PP) pada bagian dalam dan plastik poliester (PET, *polyethylene terephthalate*) pada bagian luar dengan zat perekat antar lapisan [9-10], seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 1 Diagram alir percobaan.



Gambar 2 Lapisan plastik dan aluminium dalam bungkus plastik berlapis aluminium.

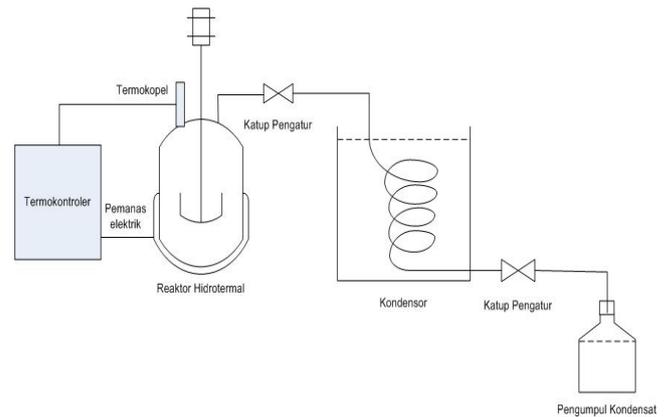
Plastik PP berfungsi sebagai bahan pembungkus yang berkontak langsung dengan produk pangan. Lapisan *aluminium foil* berfungsi sebagai pelindung dari paparan cahaya, gas, cairan, atau bau yang dapat merusak produk yang dibungkus. Lapisan plastik PET berfungsi sebagai sampul luar pembungkus karena permukaannya yang mudah untuk diberi cetakan gambar dan keterangan lainnya yang diperlukan.

Sebelum diuji, material sampel dibersihkan untuk memastikan bahwa tidak ada residu dari produk yang dikemas atau unsur pengotor lainnya yang tertinggal di dalam sampel. Sampel yang telah dibersihkan kemudian dicacah menjadi potongan kecil berukuran sekitar 3x3 cm seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3 Material sampel (plastik bungkus berlapis aluminium) yang telah dibersihkan dan dicacah.

Eksperimen Hidrotermal. Eksperimen hidrotermal dilakukan dengan menggunakan reaktor skala laboratorium berkapasitas 2500 mL dengan temperatur dan tekanan kerja maksimum hingga 300 °C dan 3 MPa. Pemanas elektrik dengan daya 2000 W digunakan untuk memanaskan reaktor. Set reaktor hidrotermal ditunjukkan pada Gambar 4 di bawah.



Gambar 4 Set peralatan eksperimen hidrotermal.

Sebanyak 10 g material sampel yang telah dibersihkan dan dicacah dimasukkan ke dalam reaktor dengan tambahan 1500 mL *demineralized water*. Pemanas kemudian dinyalakan setelah reaktor ditutup dan dikunci rapat. Proses pemanasan di dalam reaktor secara perlahan akan menyebabkan kenaikan temperatur dan juga tekanan di dalam reaktor. Proses hidrotermal ini dilakukan hingga temperatur di dalam reaktor mencapai nilai yang telah ditentukan, yaitu 155 °C, 190 °C, dan 225 °C. Proses hidrotermal pada masing-masing temperatur kemudian dipertahankan selama 30 dan 60 menit. Tabel 1 menunjukkan nilai parameter untuk masing-masing percobaan. Setelah masa penahanan temperatur selesai, pemanas elektrik dimatikan dan kemudian produk padatan serta cairan hasil hidrotermal dipisahkan untuk selanjutnya dianalisis.

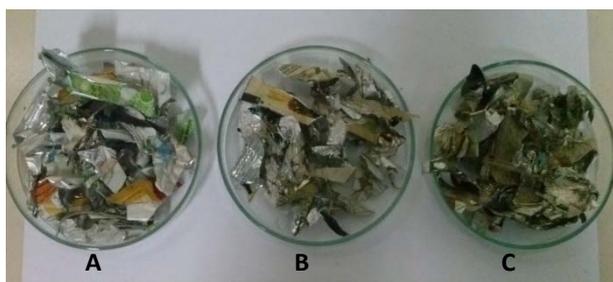
Tabel 1 Parameter Percobaan Hidrotermal

ID Percobaan	Temperatur (°C)	Tekanan (MPa)	Waktu Penahanan (Menit)
A1	155	0,4	30
A2	155	0,4	60
B1	190	1,2	30
B2	190	1,2	60
C1	225	2,4	30
C2	225	2,4	60

Sebanyak 10–15mg dari masing-masing fraksi produk padatan (plastik dan aluminium) dan sampel awal yang belum diproses hidrotermal dianalisis dengan TG. Laju pemanasan konstan sebesar 10 K/min diberikan hingga temperatur di dalam tungku TG mencapai 800 °C dalam kondisi lingkungan inert, yang diperoleh dengan cara mengalirkan gas nitrogen (N₂) sebesar 150 cm³/min ke dalam tungku selama analisis TG dilakukan.

Hasil dan Pembahasan

Pengamatan Hasil Hidrotermal. Pengamatan fisik hasil hidrotermal, ditunjukkan oleh Gambar 5. Pada temperatur 155 °C untuk waktu penahanan 30 menit, perubahan yang berarti pada sampel belum terlihat. Lapisan sampul dari plastik PET relatif masih utuh sebagaimana kondisi awalnya. Selain itu, lapisan plastik PP dan aluminium foil juga masih menempel satu sama lain. Pada temperatur 190 °C, lapisan sampul PET dan PP mulai terkelupas dari aluminium. Lapisan plastik PP yang terpisah terlihat menjadi serpihan lembaran yang mengeras, walaupun belum terlepas secara sempurna. Produk pada temperatur 225 °C, menunjukkan hasil yang paling baik dimana sebagian besar sampul plastik PET telah terkelupas dan bagian yang masih tersisa pada lapisan aluminium dapat dihilangkan dengan mudah secara abrasif menggunakan gosokan ringan. Lapisan plastik PP yang telah terpisah memiliki tampilan yang serupa dengan hasil pada temperatur 190 °C dengan jumlah yang lebih banyak dan mudah untuk dilepaskan dari lapisan aluminium, seperti diperlihatkan pada Gambar 6, walaupun pemisahan secara manual tetap diperlukan terutama pada bagian ujung tepi bungkus plastik. Padatan aluminium yang diperoleh bersifat getas dan mudah hancur. Hasil pengamatan lainnya, pada temperatur 225 °C terbentuk gumpalan plastik yang cukup keras. Diduga gumpalan ini berasal dari lapisan sampul plastik PET yang terpisah, menyatu, dan kemudian mengeras.

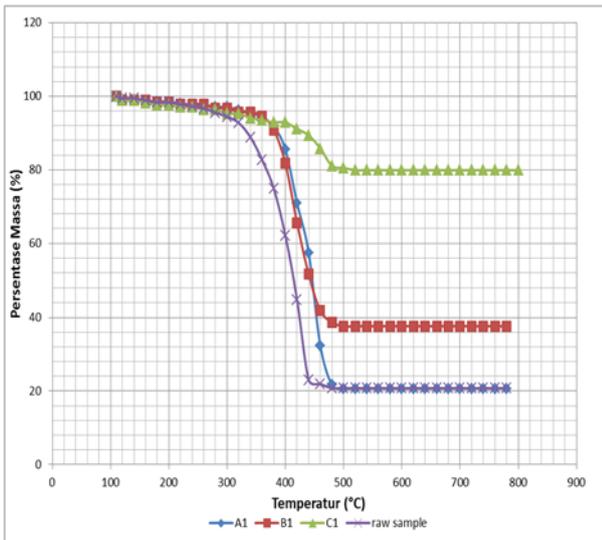


Gambar 5 Hasil hidrotermal pada waktu penahanan 30 menit dengan temperatur 155 °C (A), 190 °C (B), dan 225 °C (C).

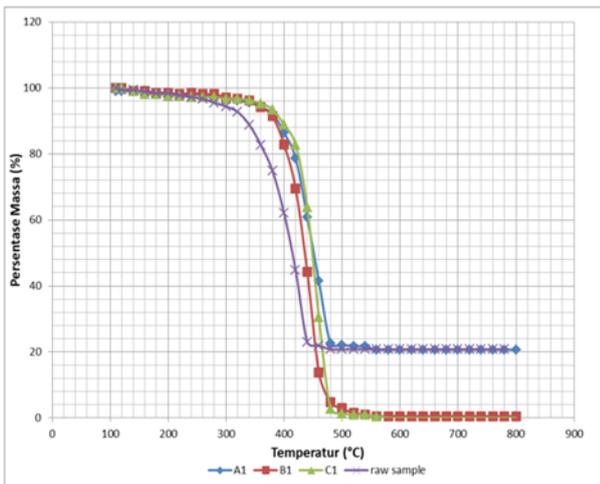


Gambar 6 Fraksi plastik PP dan aluminium yang telah terpisah.

Analisis Produk Menggunakan Analisis Termogravimetri. Kurva penguraian massa untuk fraksi aluminium, ditunjukkan pada Gambar 7 dan 9. Pada gambar tersebut terlihat bahwa produk hidrotermal pada temperatur 155 °C memiliki profil yang sama dengan profil penguraian massa sampah awalnya. Produk hidrotermal pada kondisi temperatur 155 °C dan sampah awalnya menghasilkan massa sisa aluminium kurang lebih sebesar 20% dari nilai massa totalnya. Hal ini konsisten dengan hasil pengamatan fisik bahwa pada temperatur tersebut pemisahan antara plastik dan aluminium belum terjadi. Perubahan bentuk kurva baru terlihat pada temperatur hidrotermal 190 °C dengan persentase massa plastik yang terkandung berkurang dari kondisi awal 80% plastik dan 20% sisanya aluminium menjadi 60-61% plastik dan sisa aluminium 39-40%. Hasil hidrotermal dengan kandungan plastik terendah diperoleh pada temperatur hidrotermal sebesar 225 °C dengan kandungan plastik hanya sebesar 18-20% dari massa total. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan plastik dalam padatan aluminium berkurang menjadi hanya seperempat dari nilai persentase awal. Kandungan plastik yang masih terdapat di dalam padatan aluminium, diduga lebih banyak berasal dari sampul plastik PET yang tidak terkelupas sepenuhnya dibandingkan dengan selubung plastik PP pada bagian dalam pembungkusan.

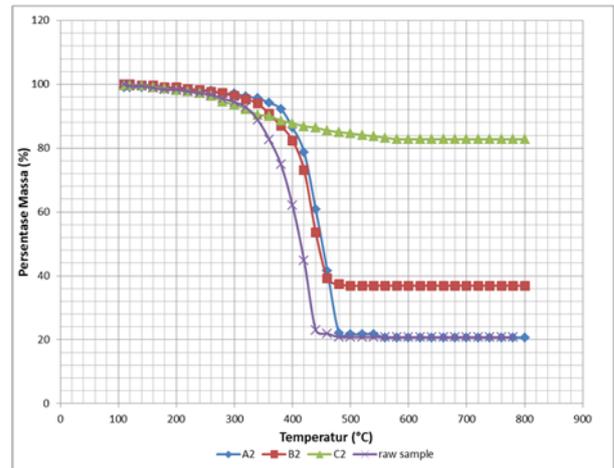


Gambar 7 Kurva penguraian massa fraksi aluminium pada waktu penahanan 30 menit dan temperatur hidrotermal 150 °C (A1), 190 °C (B1), dan 225 °C (C1).

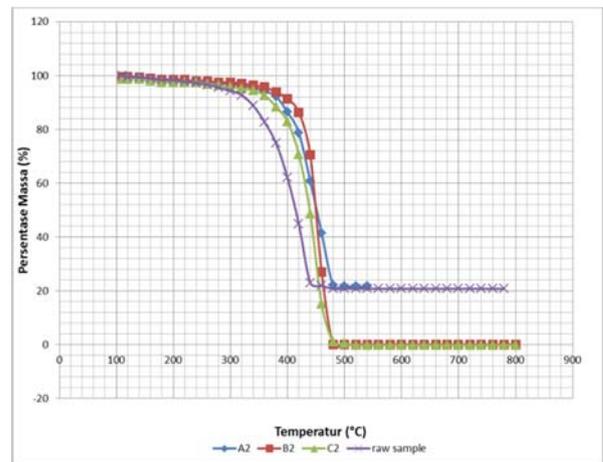


Gambar 8 Kurva penguraian massa fraksi plastik pada waktu penahanan 30 menit dan temperatur hidrotermal 150 °C (A1), 190 °C (B1), dan 225 °C (C1).

Kurva penguraian massafraksi plastik, diperlihatkan oleh Gambar 8 dan 10. Pada kedua kurva terlihat bahwa profil penguraian plastik yang terpisah dari produk hidrotermal dengan temperatur 190 °C dan 225 °C tidak mengandung sisa aluminium dan plastik telah terlepas sepenuhnya dari lapisan alumnum. Kecuali pada produk hidrotermal dengan parameter temperatur sebesar 155 °C, masih memiliki profil yang sama dengan sampah awalnya.



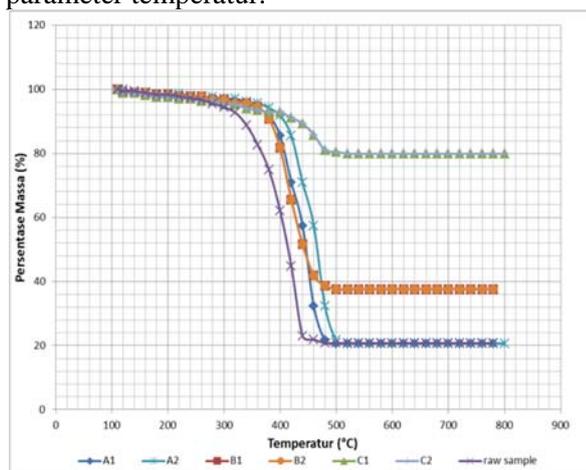
Gambar 9 Kurva penguraian massa fraksi aluminium pada waktu penahanan 60 menit dan temperatur hidrotermal 150 °C (A2), 190 °C (B2), dan 225 °C (C2).



Gambar 10 Kurva penguraian massa fraksi plastik pada waktu penahanan 60 menit dan temperatur hidrotermal 150 °C (A2), 190 °C (B2), dan 225 °C (C2).

Perbandingan kurva penguraian massa untuk waktu penahanan 30 dan 60 menit untuk produk aluminium di semua temperatur hidrotermal ditunjukkan pada Gambar 11. Produk hasil hidrotermal pada penahanan 60 menit, menunjukkan hasil yang sedikit lebih baik dibandingkan dengan proses hidrotermal pada waktu penahanan 30 menit. Pada temperatur 225 °C, fraksi aluminium yang diperoleh adalah sebesar 79% pada penahanan 30 menit, sedangkan untuk penahanan 60 menit fraksi aluminium yang diperoleh adalah sebesar 82%. pada temperatur 190 °C, waktu penahanan 60 menit juga memberikan hasil yang sedikit lebih baik dibandingkan dengan penahanan 30 menit. Fraksi aluminium pada temperatur 190 °C adalah sebesar 37% dan 38% untuk waktu penahanan masing-masing 30 dan 60 menit. Walaupun demikian hal ini menunjukkan bahwa pengaruh

waktu penahanan tidak sebesar pengaruh dari parameter temperatur.



Gambar 11 Kurva penguraian massa fraksi aluminium pada waktu penahanan 30 menit (A1, B1, C1) dan 60 menit (A2, B2, C2)

Kesimpulan

Proses hidrotermal dapat digunakan sebagai metode pemisahan lapisan plastik dan aluminium pada sampah bungkus plastik berlapis aluminium. Hasil paling baik diperoleh pada temperatur hidrotermal tertinggi yaitu 225 °C dan waktu penahanan 60 menit. Selain itu, parameter temperatur relatif lebih berpengaruh dibandingkan dengan lama waktu penahanan. Aluminium yang diperoleh memiliki kadar kemurnian tertinggi sekitar 82%, kadar impuritas sebesar 18% berasal dari sisa-sisa kandungan plastik yang belum dapat dipisahkan secara sempurna.

Referensi

- [1] M. Chaerul, Masaru Tanaka, and Ashok V. Shekdar, Municipal Solid Waste Management in Indonesia: Status and The Strategic Actions, *Jornal of The Faculty of Environmental Science and Technology, Okayama University*, Vol.12, No. 1, pp. 41-49, 2007.
- [2] LPPM ITB, Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Dengan Bahan Bakar Sampah di Kota Bandung, LPPM ITB, 2007.
- [3] N.J. Themelis, M.J. Castaldi, J. Bhatti, and L. Arsova, Energy and Economic Value of Non-Recycled Plastics (NRP) and Municipal Solid Wastes That Are Currently Landfilled in The Fifty States, *Earth Engineering Center, Columbia University*, 2011.
- [4] K. Yoshikawa, P. Prawisudha, Hydrothermal Treatment of Municipal Solid Waste for Producing Solid Fuel, in F. Jin (ed), *Application of Hydrothermal Reactions to Biomass Conversion, Green Chemistry and Sustainable Energy*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 355-380, 2014.
- [5] J. Ganchimeg, M. Takahashi, and K. Yoshikawa, Liquid Fertilizer Production from Sewage Sludge by Hydrothermal Treatment, *Proceedings of International Symposium on EcoTopia Science 2007, Nagoya, Japan*, 2007.
- [6] M. Fröling, A. Peterson, and J.W. Tester, Hydrothermal Processing In Biorefineries – A Case Study of The Enviromental Performance, *Proceedings of 7th World Congress of Chemical Engineering, Glasgow, Scotland*, 2005.
- [7] B. Indrawan, P. Prawisudha, K. Yoshikawa, Chlorine-free Solid Fuel Production from Municipal Solid Waste by Hydrothermal Process, *Journal of The Japan Institute of Energy Vol 90*, pp 1177-1182, 2012.
- [8] G. Olafsson, M. Jägerstad, R. Öste And B. Wesslén, Delamination of Polyethyelene and Aluminium Foil Layers of Laminated Packaging Materials by Acetic Acid, *Journal of Food Science Vol 5, Issue 1*, pp 215-219, 1993.
- [9] Flexifoil Packaging PVT LTD, aluminium foil, <http://www.flexifoilpackaging.com/aluminium-foil>, diakses Juli 2014.
- [10] G.Schuber and O.Plassman, Adhesion to Foil –More than just one-sided story, 11th European PLACE conference, TAPPI, Athens, 2007.