

Pengolahan Sampah Organik dan Anorganik dengan Metode Hidrotermal Pada Suhu di Bawah 200°C

Fariz Alfian

Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia
fariz.alfian@uii.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik produk arang yang dihasilkan dari proses hidrotermal sampah biomassa dan sampah plastik jenis polipropilen (PP). Penelitian tersebut dilakukan pada kondisi *subcritical water* dengan tiga variasi komposisi. Proses hidrotermal dilakukan dengan menggunakan Batch Type Reactor dengan pemanas utama uap air yang dihasilkan oleh mini boiler dan pemanas eksternal yang diperoleh dari gas burner. Kondisi operasi dari proses hidrotermal dirancang pada tekanan 6 Bar dengan temperatur 160 °C. Parameter yang dikaji dalam penelitian ini adalah berat akhir produk arang, persentase pengurangan massa dan kualitas produk padat yang dihasilkan dari proses hidrotermal. Penelitian juga mengkaji komposisi ideal dari tiga variasi yang diujikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses hidrotermal sampah biomassa dan sampah plastik jenis PP dapat dilakukan pada tekanan yang lebih rendah dan suhu di bawah 200 °C. Dengan proses hidrotermal pada suhu dibawah 200 °C dengan tekanan 6 Bar terbukti dapat mengurai sampah plastik dan sampah daun. Hal ini dibuktikan dengan adanya pengurangan massa benda antara 83 % - 86 % dari berat awal dan adanya peningkatan nilai kalor produk. Semakin banyak persentase sampah plastik yang dicampurkan dalam proses hidrotermal maka semakin tinggi nilai kalor yang dihasilkan oleh produk yaitu antara 0,2 % - 6,2 %. Campuran yang paling ideal dari 3 sampel adalah 1:3 (50 g sampah daun dan 50 g gelas plastik). Proses hidrotermal dengan tekanan 6 Bar pada suhu 160 °C terbukti efektif untuk diterapkan di lingkungan skala kecil.

Kata kunci: biomassa, plastik PP, hidrotermal, temperatur, sampah, arang

Abstract

This study aims to examine the characteristics of charcoal products produced from the hydrothermal process of biomass waste and polypropylene type plastic waste. The research was conducted in subcritical water conditions with three composition variations. The hydrothermal process is carried out using a Batch Type Reactor with the main heating being water vapor produced by a mini boiler and an external heater obtained from a gas burner. The operating conditions of the hydrothermal process are designed at a pressure of 6 Bar with a temperature of 160 oC. The parameters studied in this study were the final weight of the charcoal product, the percentage of mass reduction and the quality of the solid product produced from the hydrothermal process. The research also examines the ideal composition of the three variations tested. The results showed that the hydrothermal process of PP waste biomass and plastic waste can be carried out at lower pressures and

temperatures below 200 °C. With a hydrothermal process at temperatures below 200 °C with a pressure of 6 Bar it is proven to decompose plastic waste and leaf waste. This is evidenced by the reduction in mass between 83% - 86% of the initial weight and an increase in the calorific value of the product. The more percentage of plastic waste mixed in the hydrothermal process, the higher the calorific value produced by the product, which is between 0.2% - 6.2%. The most ideal mixture of the 3 samples is 1:3 (50 g of leaf waste and 50 g of plastic cups). The hydrothermal process with a pressure of 6 Bar at 160 °C has proven to be effective for small scale environments.

Keywords: biomass, PP plastic, hydrothermal, temperature, waste, charcoal

I. Pendahuluan

Sistem pengolahan sampah di negara maju dan berkembang selalu diikuti dengan permasalahan yang tak kunjung selesai. Hal ini juga dialami di Indonesia dan negara lainnya. Kebiasaan buruk warga dalam suatu daerah merupakan masalah baru yang timbul dalam proses pengolahan sampah. Dalam sehari di kota-kota besar bisa menghasilkan jutaan ton sampah baik itu sampah organik, anorganik, sampah kertas, kaca dan lain-lain. Sistem manajemen pengolahan yang buruk semakin menjadi masalah besar dan sulit untuk menentukan solusi pengolahan yang efisien dan ramah lingkungan. Seiring dengan perkembangan zaman, sampah mulai dilirik menjadi barang yang bernilai ekonomi. Pemanfaatan sampah menjadi barang daur ulang adalah salah satu upaya yang dipilih.

Berdasarkan catatan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan tahun 2022 [1], saat ini diperkirakan timbunan sampah secara nasional mencapai 97 ton/hari atau setara 35 juta ton/tahun. Sampah didominasi oleh sampah rumah tangga (38,4%) dan di antaranya sampah makanan (40,8% dari rumah tangga). Faktanya, hanya sebagian kecil sampah rumah tangga yang dikonversi menjadi komoditas yang memiliki nilai ekonomi lebih, misalnya hanya 7,15% dari sampah yang terkumpul dikonversi menjadi pupuk. Implikasinya, kebanyakan sampah dikirim ke TPA, sehingga sekitar 60% dari TPA di Indonesia mencapai batas kapasitas maksimum pada tahun 2015. Sementara pencarian lahan untuk TPA semakin sulit. Selain keterbatasan lahan, pertentangan dari masyarakat sekitar seringkali menimbulkan konflik sosial.

Pada umumnya pengelolaan sampah di beberapa kota di Indonesia sampai saat ini masih terbatas pada pengolahan sampah secara konvensional, yakni hanya diangkut dari tempat-tempat pengumpulan sampah ke tempat pembuangan sementara kemudian diangkut ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah untuk dimusnahkan. Aktivitas utama pemusnahan sampah di TPA adalah dengan *landfilling*. *Landfilling* adalah cara tradisional yang dilakukan untuk mengubur sampah yang tidak bisa didaur ulang (Nanda dan Berruti, 2020)[2]. Beberapa studi perbandingan metode pengelolaan sampah, *landfilling* adalah pilihan populer di sebagian negara besar karena biayanya yang relatif murah dan secara teknis lebih mudah (Gonzalez-Valencia dkk, 2016)[3]. Beragam teknologi *landfilling* diantaranya adalah *sanitary landfill* yang dianggap paling sederhana oleh negara industri. Indonesia belum menggunakan sistem *landfilling* dengan baik. Hal tersebut dikarenakan hampir seluruh Tempat Pembuangan Akhir (TPA) di kota-kota

masih menerapkan sistem *open-dumping* yang kurang layak disebut sebagai sebuah cara sistematis penanganan sampah (Damanhuri, 2003)[4].

Salah satu metode pengolahan sampah adalah dengan teknologi hidrotermal. Teknologi hidrotermal adalah teknologi baru yang dapat mengubah sampah organik menjadi produk yang bermanfaat, ramah lingkungan dan berkelanjutan (Dewanti dkk, 2020)[5]. Teknologi ini dapat meningkatkan kualitas biomassa dengan cara karbonasi (Libra dkk, 2011)[6]. Pada prinsipnya pengolahan sampah dengan metode hidrotermal ini dilakukan pada temperatur tertentu dan dengan tekanan tinggi. Uap bertekanan dan bersuhu tinggi dapat dihasilkan dengan menggunakan boiler atau mesin uap sehingga proses pengolahan secara hidrotermal dapat dilakukan. Metode pengolahan sampah secara hidrotermal sangat cocok diterapkan di Indonesia dimana pada umumnya sampah masih bercampur dikarenakan sistem pemisahan yang kurang baik. Proses pengolahan dengan metode ini dapat diterapkan pada sampah basah maupun kering tanpa mengurangi efektifitas kerja alat ini.

Proses diawali dengan pemisahan sampah yang tidak bisa terbakar dalam sistem ini, seperti besi dan pecahan kaca. Hal ini dikarenakan bahan tersebut dapat mengurangi kualitas produk yang dihasilkan. Bahan yang sudah dipisahkan kemudian dimasukkan kedalam reaktor hidrotermal dan terjadilah proses penghancuran sampah di dalam reaktor. Reaktor bekerja pada suhu diatas 200 °C pada tekanan diatas 20 bar. Proses tersebut berlangsung kurang lebih 30 menit sampai dengan 2 jam. Produk yang dihasilkan berupa padatan hitam yang masih basah dan apabila dikeringkan akan memiliki sifat material seperti batubara. Hal tersebut diharapkan dapat menjadi energi alternatif pengganti bahan bakar fosil yang akan segera habis. Disamping sebagai pengganti bahan baku alternatif, pengolahan sampah dengan metode hidrotermal merupakan solusi yang tepat untuk diterapkan di negara-negara maju dan berkembang. Negara dengan tingkat kepadatan penduduk yang tinggi akan menghasilkan produksi sampah yang tinggi pula. Metode ini dipilih karena efisien dan juga ramah terhadap lingkungan apabila dibandingkan dengan pengolahan sampah menjadi pupuk yang dapat mengakibatkan efek pencemaran lingkungan.

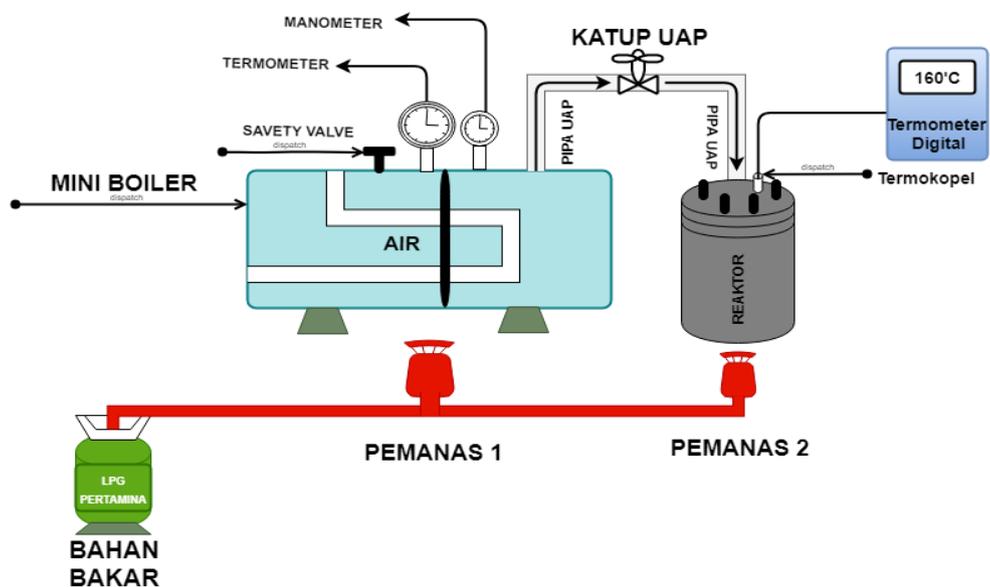
Proses hidrotermal diatas kurang maksimal apabila diaplikasikan pada skala kecil atau skala rumah dikarenakan beberapa faktor diantaranya yaitu segi biaya yang tinggi dan faktor keamanan. Operasional boiler dengan tekanan diatas 20 Bar kurang aman apabila diterapkan di rumah tanpa pengawasan tenaga ahli. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan upaya pengolahan sampah pada skala kecil dengan suhu dibawah 200 °C dan beroperasi pada tekanan 6-7 Bar.

II. Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Liquified Petroleum Gas* (LPG), air, sampah gelas plastik dan sampah organik daun. Sedangkan alat yang digunakan yaitu kompor dan mini boiler dengan tabung reaktor (Gambar 1). Metode penelitian untuk pengolahan sampah adalah metode hidrotermal bertekanan rendah 6 Bar dan pada suhu optimal 160 °C (Gambae 2). Sampel yang digunakan adalah sampah gelas plastik dan daun dengan 3 variasi yaitu 1: 3, 1:1 dan 3:1.



Gambar 1. Gambar mini boiler dengan tabung reaktor



Gambar 2. Skema rangkaian boiler dan reaktor dengan burner kompor mawar

III. Hasil dan Pembahasan

Pengolahan sampah plastik dan daun dengan proses hidrotermal dilakukan pada suhu 160 °C dengan tekanan 6 bar dan dengan lama waktu tahan (*holding time*) 120 menit (Gambar 3).



Gambar 3. Hasil pengolahan sampel dengan proses hidrotermal (a) 1:3, (b) 1:1, (c) 3:1

Berdasarkan serangkaian pengujian proses hidrotermal yang dilakukan terhadap campuran sampah daun dan sampah plastik dapat disimpulkan bahwa secara umum proses hidrotermal pada temperatur yang relatif rendah (dibawah 200°C) yang dilakukan terhadap sampah plastik PP dan sampah daun dapat menghasilkan arang (*biochar*). Arang hasil proses hidrotermal antara campuran sampah plastik PP dan sampah daun menghasilkan kualitas yang berbeda-beda tergantung pada persentase campuran kedua bahan tersebut. Rata-rata pengurangan massa hasil proses hidrotermal sebesar 84,66 % (Tabel 1). Hal ini menunjukkan bahwa proses hidrotermal yang dilakukan berhasil mengurangi massa campuran antara sampah daun dan sampah gelas plastik. Ketiga variasi komposisi yang diujikan menunjukkan perbedaan yang kurang signifikan. Hal ini dikarenakan banyaknya material plastik yang terlarut dan menjadi gas akibat proses pemanasan.

Tabel 1. Tabel hasil pengujian sampel

Perbandingan massa sampel (plastik : daun)	Kehilangan Massa (%)	Kadar Air (%)	Kadar Volatile Matter (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Karbon Terikat (%)	Nilai Kalor (Kal/gr)
1:3	85,27	8,83	67,07	8,95	15,15	4373,83
1:1	86,65	4,84	72,23	7,86	15,07	4887,46
3:1	83,55	4,34	78,26	5,04	12,36	5433,68

Apabila dilihat dari persentase kandungan air yang terikat pada arang hasil proses hidrotermal menunjukkan bahwa semakin banyak campuran bahan biomassa maka persentase air terikat semakin tinggi. Hal itu disebabkan oleh sifat biomassa sampah daun yang cenderung memiliki kandungan air yang cukup tinggi dibandingkan sampah plastik yang memiliki karakteristik kandungan air yang relatif rendah.

Kadar abu dan karbon terikat tertinggi sebesar terdapat pada variasi satu yaitu dengan perbandingan 1:3 (50 gr sampah gelas plastik dan 150 gr sampah daun). Hal ini

disebabkan oleh karakteristik kedua sampah tersebut berbeda, dimana bila sampah daun yang terkena panas maka akan melepaskan cairan yang terikat di dalamnya kemudian menjadi abu atau arang. Sedangkan pada material sampah gelas plastik memiliki sifat ketika terkena panas maka material cenderung menjadi cair dan gas, ini menunjukkan semakin banyak campuran sampah biomasa maka semakin banyak pula kadar abu dan karbon terikat dalam produk. Nilai kalor plastik sangat tinggi, berkisar antara 5000-13000 Kkal/kg plastik kering. Hal ini disebabkan karena plastik terbuat dari petroleum atau gas alam sehingga menyimpan kandungan energi yang sangat tinggi dibandingkan dengan komponen lain dalam sampah. Sedangkan untuk daun dan rumput berkisar antara 4000 kkal/kg kering (Subramanian, 2000)[7].

Nilai kalor tertinggi dihasilkan oleh sampel ketiga yaitu dengan perbandingan campuran 1:3 (50 gr sampah daun dan 150 gram sampah gelas plastik). Nilai kalor terendah terdapat pada pengujian sampel pertama yaitu 3:1 (150 gr sampah daun dan 50 gram sampah gelas plastik). Hal ini diakibatkan oleh tingginya nilai volatile yang diperoleh dari plastik dan rendahnya kadar air yang mengakibatkan nilai kalor meningkat. Disamping itu, selain dikarenakan nilai volatile meter plastik yang tinggi, nilai kalor pada sampel 3 (perbandingan plastik dan daun 1:3) lebih tinggi dikarenakan sifat plastik yang mengandung air lebih sedikit dibandingkan sampah daun. Sedangkan pada percobaan dengan komposisi sampah biomassa nilai kalor rendah dikarenakan kadar air terkandung dalam sampel sangat tinggi. Hal ini disebabkan oleh karakteristik biomassa yang mudah menyerap air sehingga dalam kondisi tersebut sampel susah terbakar.

IV. Kesimpulan

Proses hidrotermal terhadap campuran sampah daun dan sampah gelas plastik dengan temperatur rendah (dibawah 200 °C) terbukti dapat menghasilkan arang biochar. Dengan proses hidrotermal pada suhu dibawah 200 °C dengan tekanan 6 Bar terbukti dapat mengurai sampah plastik dan sampah daun. Hal ini dibuktikan dengan adanya pengurangan massa benda antara 83 % - 86 % dari berat awal. Semakin banyak persentase sampah plastik yang dicampurkan dalam proses hidrotermal antara sampah gelas plastik dan sampah daun dapat meningkatkan nilai kalor yang dihasilkan oleh produk antara 36 % - 82 %. Campuran yang paling ideal dari 3 sampel adalah 1:3 (150 gr sampah daun dan 50 gr gelas plastik). Proses hidrotermal dengan tekanan 6 bar pada suhu 160 °C terbukti efektif untuk diterapkan di lingkungan skala kecil.

V. Saran

Beberapa hal yang dapat dilakukan untuk penelitian berikutnya yaitu memperbanyak variasi komposisi campuran sampel, melakukan variasi pengujian terhadap sampah plastik jenis lain dan melakukan variasi holding time (waktu tahan) pada proses pengujian hidrotermal.

VI. Ucapan Terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan bantuan melalui program hibah penelitian laboran dengan nomor 004/Dir/DPPM/70/Pen.Kerjasama/III/2023.

Daftar Pustaka

- [1] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>. diakses pada tanggal 01 September 2023
- [2] Nanda, S. dan Berruti F. (2020) Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review. *Environmental Chemistry Letters*.
- [3] Gonzalez-Valencia, R.; Magana-Rodriguez, F.; Cristóbal, J.; Thalasso, F. (2016) Hotspot detection and spatial distribution of methane emissions from landfills by a surface probe method. *Waste Manag*, 55, 299–305
- [4] Dewanti, P.D., Wiharja, Hanif, M., dan Nugroho R. (2020) Teknologi Hidrotermal Sebagai Solusi Cepat Pengolahan Sampah Organik Menjadi Pupuk. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 21(2): 236-243.
- [5] Libra, J.A., Ro, K.S., Kammam, C., Funke, A., Berge, N.D., Neubauer, Y., Kern, J., 2011, *Hydrothermal Carbonization of Biomass Residuals : A Comparative Review of The Chemistry, Processes dan Applications of Wet dan Dry Pyrolysis*, *Biofuels*, 2(1), 106.
- [6] Subramanian, P.M. (2000). *Plastics Recycling and Waste Management in the US*. *Resources, Conservation and Recycling* 28 (2000)253-263.