

Teknologi Hidrotermal Sebagai Solusi Cepat Pengolahan Sampah Organik Menjadi Pupuk

Hydrothermal Technology as A Fast Solution for Processing Organic Waste into Fertilizer

DIAN P. DEWANTI, WIHARJA, MUHAMMAD HANIF, RUDI NUGROHO

Pusat Teknologi Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
Gedung Geostech 820, Lt. 3 Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan
Email: dian.purwitasari@bppt.go.id

ABSTRACT

Hydrothermal technology is a promising new technology that can turn organic waste into value-added, eco-friendly, and sustainable products. In this research, the hydrothermal reactor's performance for treating the food wastes into solid and liquid fertilizer was investigated. Hydrothermal reactor with SS 316 steel material with a maximum capacity of 100 kg per batch is equipped with a cooling water jacket. Raw vegetable wastes and water with a ratio of 1:1 were added into a mixing container. The waste slurry was transferred through the pump into the reactor. The hydrothermal process is carried out at a pressure of 5 bar or a temperature of around 160 °C for 30 and 60 min. The results showed that the hydrothermal process treated the vegetable waste at 120 minutes at a temperature of 160 °C and 5 bar pressure. Solid products showed a higher C/N ratio and N + P₂O₅ + K₂O content in the process of 30 minutes compared to 60 minutes, which were 12.42 and 5.36, respectively. In comparison, liquid products showed higher results in the 30-minute process than 60-minutes process with the amount of N + P₂O₅ + K₂O and C-organic, respectively 2.23 and 0.31. This result indicated that the hydrothermal process is proven to be able to treat the organic waste into a relatively fast and eco-friendly compost. In the future, it is expected that the big-scale of hydrothermal processes can be an alternative technology in processing wastes in Indonesia.

Keywords: hydrothermal, fertilizer, municipal solid waste, vegetables wastes, eco-friendly technology

ABSTRACT

Teknologi hidrotermal adalah teknologi baru yang menjanjikan yang dapat mengubah sampah organik menjadi produk yang bermanfaat, ramah lingkungan dan berkelanjutan. Dalam riset ini, unjuk kinerja reaktor hidrotermal untuk mengolah sampah sisa sayuran menjadi pupuk padat dan cair diinvestigasi. Reaktor hidrotermal dengan material baja SS 316 berkapasitas 100 kg per *batch* dilengkapi dengan dinding air pendingin. Bahan baku sisa sayuran dimasukkan dalam tangki pencampur dengan ditambahkan air pada jumlah yang sama. Setelah berbentuk seperti bubur kasar, sampah dipindahkan melalui pompa ke dalam reaktor. Proses hidrotermal dilakukan pada tekanan 5 bar atau suhu sekitar 160 °C dengan waktu 30 dan 60 menit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa proses hidrotermal dengan bahan baku sampah sisa sayuran memerlukan total waktu 120 menit pada temperatur 160 °C dan tekanan 5 bar. Produk padat menunjukkan rasio C/N dan kandungan N + P₂O₅ + K₂O yang lebih tinggi pada proses yang berlangsung 30 menit dibandingkan dengan 60 menit yaitu 12,42 dan 5,36 berturut turut. Produk cair menunjukkan hasil yang lebih tinggi pada proses 30 menit dibandingkan 60 menit dengan jumlah N+P₂O₅+K₂O dan C-organik masing-masing sebesar 2,23 dan 0,31. Hal ini mengindikasikan bahwa proses hidrotermal terbukti dapat mengolah sampah organik menjadi kompos dalam waktu yang relatif cepat dan ramah lingkungan. Kedepan, diharapkan proses hidrotermal pada skala komersial dapat menjadi teknologi alternatif dalam mengolah sampah di Indonesia.

Kata kunci: hidrotermal, pupuk, sampah, sisa sayuran, teknologi ramah lingkungan

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan keputusan Kepala Dinas Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta tahun 2017 data timbulan sampah rata-rata yang ditetapkan adalah 2,7913 liter per orang per hari

dengan berat jenis 0,2182 kg/liter⁽¹⁾. Komposisi terbesarnya adalah sampah sisa makanan yaitu sebesar 52,91%. Total penduduk Jakarta tahun 2018 berdasarkan data BPS Provinsi DKI Jakarta tahun 2018 adalah 10.467.629. Ini artinya dalam satu hari sampah DKI Jakarta mencapai 6.375,431 ton per hari dan 3.373,241

ton berupa sampah organik. Potensi sampah organik tersebut sangat besar untuk diolah dan dimanfaatkan sebagai kompos. Salah satu metode pengolahan sampah organik menjadi kompos adalah komposting. Komposting membutuhkan waktu kurang lebih 7 minggu hingga semua sampah organik menjadi kompos⁽²⁾. Selama menunggu 3.373,241 ton sampah menjadi kompos, ada 3.373,241 ton kali 49 hari atau 165.288,799 ton sampah organik yang mengantri proses pengomposan. Oleh karenanya, diperlukan suatu teknologi yang dapat mengolah sampah organik menjadi kompos dalam waktu yang relatif lebih cepat. Teknologi hidrotermal menggunakan air dari sampah organik dan uap panas sebagai media reaksi. Dalam proses hidrotermal akan berlangsung berbagai macam reaksi yaitu oksidasi, hidrolisis, dehidrasi, dan dekomposisi sehingga dapat mengkonversi sampah organik menjadi produk bernilai yaitu pupuk⁽³⁾. Proses hidrotermal untuk sampah organik dapat berlangsung pada suhu dibawah 250 °C⁽⁴⁾ dan dalam waktu yang lebih cepat yaitu 30-60 menit. Kandungan nutrisi yang cukup besar dalam sampah organik khususnya sampah pasar dapat digunakan kembali sebagai pupuk dengan teknologi hidrotermal dalam waktu yang relatif lebih singkat dibandingkan komposting yang membutuhkan waktu yang lama. Dengan proses hidrotermal, nutrisi dalam sampah organik tersebut terambil dengan lebih efisien⁽⁵⁾. Nutrisi tersebut terkandung dalam produk padat maupun cair, sehingga tidak ada bagian sampah pasar yang akan terbuang. Produk padat akan menjadi pupuk padat dengan mayoritas nutrienya adalah nitrogen, kalsium, dan magnesium, sedangkan produk cair akan menjadi pupuk cair dengan mayoritas nutrisi terdiri dari potasium dan sodium⁽⁶⁾. Proses hidrotermal lebih ramah lingkungan karena produk padat dan cairnya dapat dimanfaatkan.

Pusat Teknologi Lingkungan telah mendesain dan membuat suatu reaktor pengolah sampah organik dengan proses hidrotermal dengan kapasitas maksimal 100 kg per *batch*. Reaktor tersebut selanjutnya disebut reaktor hidrotermal. Proses dalam reaktor hidrotermal menggunakan air sebagai media reaksinya⁽⁴⁾. Oleh karena itu, reaktor hidrotermal sangat cocok untuk mengolah sampah organik yang memiliki kadar air tinggi ($\geq 60\%$ berat) tanpa adanya proses pengeringan diawal^(7,8). Proses pengolahan sampah pasar dengan reaktor ini hanya berlangsung selama 30-60 menit sehingga akan menghemat waktu pengolahan sampah organik dibandingkan proses komposting. Produk pupuk dari proses hidrotermal akan dianalisis untuk mengetahui kandungan nutrisi dan dibandingkan dengan

standar Keputusan Menteri Pertanian RI Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 tentang pupuk organik padat dan cair.

Di samping keunggulannya yang dapat mengolah sampah organik dalam waktu cepat dan ramah lingkungan, masih menjadi tantangan besar untuk mengembangkan proses hidrotermal dalam skala besar⁽⁹⁾. Keberhasilan reaktor tersebut diharapkan bisa menjadi dasar dalam pengembangan pengolahan sampah organik dengan kadar air tinggi melalui proses hidrotermal pada skala yang lebih besar. Sehingga, diharapkan mampu mengolah sampah organik menjadi pupuk dalam waktu yang lebih cepat.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengolah sampah organik yang berupa sampah pasar dengan reaktor hidrotermal sehingga menjadi produk yang bernilai yaitu pupuk padat dan cair dalam waktu yang lebih cepat dari proses komposting.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Alat dan Bahan

Alat

Peralatan utama yang digunakan adalah reaktor hidrotermal yang didesain memiliki kapasitas maksimal 0,6 m³. Reaktor tersebut berbentuk silinder tegak dengan diameter 0,78 m dan tinggi 1,2 m dan ketebalan dinding 0,016 m. Reaktor terbuat dari baja tipe SS 316 yang dibagian dinding luarnya terdapat ruang yang berfungsi sebagai tempat sirkulasi air pendingin dan terdapat kaki penyangga reaktor dibagian bawah setinggi 0,6 m. Reaktor dilengkapi dengan *safety valve*, *pressure gauge*, dan *temperature gauge*. Terdapat beberapa *inlet* uap dan sampah pada bagian tutup reaktor dan *outlet* pada bagian bawah reaktor (Gambar 1).

Peralatan pendukung yang digunakan antara lain pompa *slurry*, *mixer*, ember, tangki penampung produk, *boiler* dan kelengkapannya, dirigen dan plastik sampel, dan *filter press*. *Boiler* yang digunakan adalah *boiler* tipe pipa air (*water tube boiler*) yang menggunakan bahan bakar LPG.

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampah pasar yang terdiri dari sisa sayuran yang tidak bisa dijual sebanyak 30 kg. Sampah tersebut sudah dibersihkan dari pengotor seperti plastik, kertas, kaca, logam dan lain-lain.



Gambar 1. Reaktor hidrotermal

2.2 Metode

Langkah awal yang dilakukan adalah mempersiapkan reaktor agar siap untuk operasional. Semua baut dan *valve* yang ada dipastikan tertutup rapat. Persiapan *boiler* dilakukan dengan memastikan pasokan air cukup selama proses, *burner* dan pompa-pompa dalam kondisi baik. *Pressure gauge*, *temperature gauge*, dan *safety valve* juga harus dipastikan berfungsi baik dan aman sampai tekanan 10 bar. Selanjutnya sampah pasar ditimbang sebanyak 30 kg dan dimasukkan dalam *mixer*. Untuk memudahkan pencacahan sampah dalam *mixer*, maka ditambahkan air sebanyak 30 liter. Sampah dicacah dalam *mixer* selama 10 menit sampai sampah berbentuk seperti bubur kasar dengan ukuran cacahan maksimal 1 cm. Dengan pompa *slurry*, bubur sampah dalam *mixer* dipindahkan ke dalam reaktor. Setelah semua sampah masuk ke dalam reaktor, *inlet* sampah pada reaktor ditutup lagi sampai rapat.

Sebelum *burner* dinyalakan, air dalam *boiler* harus sudah penuh. Level air *boiler* dalam dilihat dari *sight glass* yang terpasang pada sisi *boiler*. Selanjutnya *burner* dinyalakan untuk memulai pemanasan *boiler*. Kenaikan suhu dan tekanan *boiler* terus diamati. Saat tekanan *boiler* sudah mencapai 6 bar, maka uap air *boiler* dipindahkan ke reaktor dengan membuka *valve* penghubung *boiler* dan reaktor. Kenaikan tekanan dan suhu reaktor terus diamati dan *burner* pada *boiler* dipastikan tetap menyala. Ketika tekanan reaktor sudah mencapai 5 bar atau suhu sekitar 160 °C,

burner dimatikan. Reaktor dibiarkan selama 30 menit agar proses hidrotermal sampah pasar terjadi. Setelah 30 menit, reaktor didinginkan hingga suhu mencapai 90 °C. Ketika suhu mencapai 90 °C, *valve* tutup reaktor dibuka untuk mengeluarkan sisa uap air yang masih terdapat dalam reaktor. Selanjutnya, sampah dikeluarkan dari reaktor dengan membuka *valve* output pada bagian bawah reaktor. Sampah hasil proses hidrotermal ditampung dalam tangki penampung dan temperatur dibiarkan turun dengan sendirinya. Pada tahap kedua reaktor dibiarkan hingga tekanan mencapai 5 bar. Reaktor dibiarkan selama 60 menit. Selanjutnya, produk dikeluarkan dan ditampung dalam tangki penampung hingga mencapai suhu kamar.

Produk padat dan cair dipisahkan dengan *filter press* selama 30 menit. Produk cair ditampung dalam tangki, dan produk padat masih menempel pada *filter press*. Produk padat diambil dari *filter press* dengan melepas plate *filter press*.

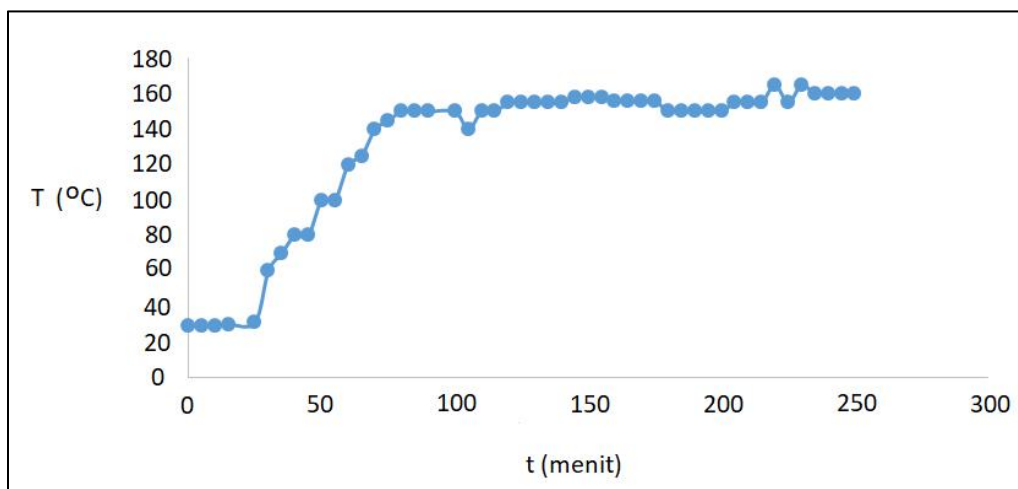
Produk padat dan cair selanjutnya dianalisis kandungan unsur haranya dan dibandingkan dengan sebelum proses hidrotermal menggunakan data sekunder. Hasil analisis juga dibandingkan dengan standar Keputusan Menteri Pertanian RI Nomor 261 Tahun 2019 tentang pupuk organik padat dan cair dan dibandingkan dengan data sebelum proses hidrotermal. Data kandungan unsur hara sampah pasar awal sebelum proses menggunakan data sekunder.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kinerja reaktor hidrotermal

Pengujian reaktor dimulai dengan menghasilkan uap air dari *boiler* yang berfungsi sebagai pelarut dalam reaktor. Untuk mencapai suhu dan tekanan uap yang dibutuhkan dalam proses hidrotermal, waktu yang lebih lama dan konsumsi bahan bakar lebih besar diperlukan. Waktu yang dibutuhkan *boiler* untuk mencapai suhu 100 °C adalah 60 menit. Peningkatan suhu dari 100 °C ke 160 °C hanya membutuhkan waktu 20 menit. Hal ini dikarenakan energi pada awalnya digunakan untuk meningkatkan suhu dan merubah fase air menjadi uap⁽⁹⁾.

Peningkatan suhu air hingga merata ke semua fluida membutuhkan energi yang jauh lebih besar daripada peningkatan suhu diatas titik didih air dan perubahan fasanya⁽¹⁰⁾. Berdasarkan hasil pengujian, *boiler* membutuhkan waktu 80 menit untuk mencapai suhu 160 °C dan total 250 menit untuk mencapai suhu 160 °C dan tekanan 5 bar di *boiler* maupun di reaktor. Gambar 2 menunjukkan kenaikan suhu pada pemanasan *boiler*.



Gambar 2. Kenaikan suhu boiler dari pertama burner dinyalakan

Menurut Junting, *et al.*, proses hidrotermal yang berlangsung pada tekanan <20 bar disebut *hidrotermal carbonization* (HTC) dan tidak memerlukan katalis dalam prosesnya⁽¹¹⁾. Karena pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah sampah pasar yang merupakan sampah organik dan cukup beroperasi pada suhu dibawah 250 °C atau tekanan dibawah 39,73 bar, maka bisa disebut dengan *hidrotermal carbonization* (HTC) dan tidak memerlukan katalis dalam prosesnya. Penelitian ini menggunakan suhu dan tekanan tetap 5 bar. Suhu dan tekanan yang dibutuhkan tidak tinggi karena bahan baku yang digunakan adalah sampah organik dan produk yang diinginkan berupa pupuk yang tidak memerlukan jumlah kandungan karbon (C) yang besar. Apabila produk yang diinginkan adalah bahan bakar maka suhu minimal proses adalah 180 °C⁽¹²⁾. Proses hidrotermal yang berlangsung pada suhu >180 °C akan mengakibatkan nitrogen berubah menjadi gas amoniak (NH₃) dan meningkatkan jumlah karbon (C)^(13,14). Apabila nilai C sangat tinggi dan N terlalu rendah maka akan mempengaruhi besarnya C/N rasio pupuk padat dimana standar dari Keputusan Menteri Pertanian RI Nomor 261 Tahun 2019 adalah ≤25. Suhu operasi lebih rendah dari 180 °C namun

masih diatas 100 °C karena tidak membutuhkan konversi karbon yang besar. Untuk bahan organik proses hidrotermal sudah mulai terjadi pada suhu 100 °C⁽¹⁵⁾.

Uap air dari boiler mulai dialirkan ke reaktor menit ke-80 ketika suhu uap boiler sudah mencapai suhu 160 °C. Pada Gambar 3, terlihat kenaikan tekanan reaktor ketika valve penghubung reaktor dan boiler dibuka. Valve tersebut dibuka pada menit ke-80 setelah burner pada reaktor dinyalakan. Kenaikan tekanan dari 0 bar (yang terbaca di *pressure gauge*) sampai tekanan mencapai 5 bar membutuhkan waktu selama 60 menit. Ketika tekanan reaktor sudah tercapai selanjutnya valve ditutup. Pada penelitian ini lama proses hidrotermal divariasikan menjadi 2 waktu. Proses pertama berlangsung selama 30 menit dan proses kedua berlangsung selama 60 menit. Proses hidrotermal sampah pasar ini tidak dilakukan pada suhu diatas 160 °C karena akan menyebabkan C/N rasio semakin besar karena peningkatan jumlah C dan penurunan jumlah N^(13,14). Proses hidrotermal kedua berlangsung selama 60 menit. Proses kimia sederhana yang terjadi adalah pemisahan air dari karbohidrat (dehidrasi)⁽¹⁵⁾. Reaksi yang terjadi adalah seperti sebagai berikut :

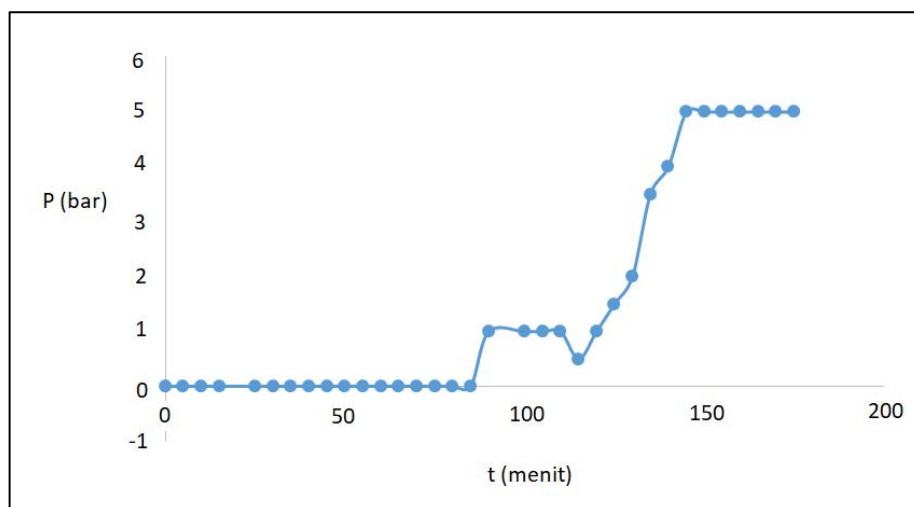


Proses dehidrasi tersebut bersifat eksotermis sehingga menghasilkan panas yang akhirnya bisa menjaga suhu dan tekanan reaktor tetap konstan selama proses. Setelah proses berlangsung selama 30 menit, sirkulasi air pendingin mulai dinyalakan untuk menurunkan suhu reaktor dan valve bagian atas reaktor dibuka sedikit demi sedikit untuk menurunkan

tekanan. Pendinginan berlangsung selama 15 menit sampai suhu mencapai 95 °C. Suhu tersebut sudah dibawah suhu didih air sehingga dapat mencegah penguapan air saat mengeluarkan produk. Setelah suhu pendinginan tercapai, produk dikeluarkan dan ditampung dalam tangki sampai semua produk habis. Produk hidrotermal yang sudah

ditampung dalam tangki dipisahkan antar fase padat dan cair dengan *filter press*. Pemisahan produk dengan *filter press* berlangsung 30 menit. Hasil pemisahan produk merupakan produk padat dan cair. Apabila *boiler* sudah bertekanan 6 bar, maka total waktu yang diperlukan untuk sekali proses hidrotermal adalah 125 menit.

Setelah proses pertama selesai, dilanjutkan dengan proses kedua dengan tahapan yang sama dengan proses pertama. Namun, proses kedua dalam reaktor hidrotermal berlangsung selama 60 menit. Masing-masing proses tersebut hanya dilakukan sekali dan tidak dilakukan pengulangan.



Gambar 3. Kenaikan tekanan reaktor hidrotermal

3.2 Analisis Produk Hidrotermal

Menurut Idowu, proses hidrotermal pada reaktor hidrotermal tersebut dapat merecovery dan memanfaatkan nutrisi dalam produknya sebagai pupuk⁽⁵⁾. Nutrien yang terkandung dalam produk hidrotermal merupakan sumber nutrisi pupuk yang terbaru. Kandungan C organik, rasio C/N, dan N+P₂O₅+K₂O pada sampah pasar masing-masing sebesar 45,66%, 68,4%, dan 5,83%⁽¹⁶⁾. Oleh karenanya, produk padat dan cair dari proses hidrotermal selanjutnya dianalisis kandungan nutrisinya di Laboratorium Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Parameter yang dianalisis mengacu pada standar pupuk organik padat dan cair sesuai Keputusan Menteri Pertanian RI Nomor 261

Tahun 2019. Akan tetapi tidak semua parameter yang ditetapkan dalam Keputusan Menteri Pertanian RI Nomor 261 Tahun 2019 tersebut dianalisis. Parameter yang dianalisis menyesuaikan fasilitas pengujian yang tersedia di laboratorium tersebut. Berdasarkan parameter yang dianalisis, hanya beberapa parameter yang akan dibahas terkait kinerja reaktor hidrotermal. Parameter-parameter tersebut adalah pH, rasio C/N, dan N+P₂O₅+K₂O. Adapun parameter lain yang termasuk unsur mikro yang dibutuhkan tanaman tidak dibahas pada penelitian ini. Berdasarkan hasil analisis didapatkan besar kandungan nutrisi dalam produk padat seperti terlihat pada Tabel 1. Hasil analisis merupakan hanya berasal dari satu sampel tanpa pengulangan.

Tabel 1. Hasil analisis produk hidrotermal

Parameter	Satuan	Produk padat			Produk Cair		
		T ₁ = 30 menit	T ₂ =60 menit	Standar Keputusan Menteri Pertanian RI No 261 Tahun 2019	T ₁ = 30 menit	T ₂ =60 menit	Standar Keputusan Menteri Pertanian RI No 261 Tahun 2019
pH		7,99	6,83	4-9	5,25	4,65	4-9
C-organik	%	51,72	53,81	≥15	0,31	0,21	≥10
N+P ₂ O ₅ +K ₂ O	%	5,36	3,16	≥2	2,23	1,63	≥2
Rasio C/N		12,42	26,47	≤25	--	---	--

Salah satu tujuan utama proses pengomposan adalah mendapatkan pupuk dengan rasio C/N yang memenuhi standar. Pentingnya analisis rasio C/N karena bahan organik tidak dapat langsung digunakan atau dimanfaatkan oleh tanaman karena perbandingan C/N dalam sampah tersebut relatif tinggi atau tidak sama dengan C/N tanah. C/N tanah berkisar 10-12⁽¹⁷⁾. Apabila bahan organik mempunyai kandungan C/N mendekati atau sama dengan C/N tanah maka bahan tersebut dapat digunakan atau diserap tanaman. Prinsip pengomposan adalah menurunkan C/N rasio bahan organik sehingga sama dengan tanah atau berdasarkan standar Keputusan Menteri Pertanian RI Nomor 261 Tahun 2019 ≤ 25 . Pada proses komposting, semakin tingginya C/N bahan maka proses pengomposan akan semakin lama karena C/N harus diturunkan. Karbon digunakan sebagai sumber energi dan nitrogen sebagai sumber nutrisi untuk pembentukan sel-sel tubuh mikroorganisme selama proses pengomposan⁽⁶⁾. Prinsip pengomposan ini juga dijadikan alasan pengembangan proses hidrotermal untuk sampah organik.

Menurut Sahwan, perbandingan karbon dan nitrogen (rasio C/N) ideal untuk suatu proses komposting adalah 20-40 atau optimalnya 30⁽²⁾. Akan tetapi jika mengacu kepada standar dari Keputusan Menteri Pertanian RI Nomor 261 Tahun 2019, maka C/N yang memenuhi kualitas pupuk organik pada adalah ≤ 25 . Pada penelitian ini, proses hidrotermal ini mampu menurunkan rasio C/N dari 68,4 menjadi 12,42 (waktu proses 30 menit) dan 26,27 (waktu proses 60 menit). Waktu tersebut jauh lebih cepat dari pengomposan. Rasio C/N pada produk padat dari proses hidrotermal telah sesuai standar pupuk padat dari Keputusan Menteri Pertanian RI Nomor 261 Tahun 2019. Penurunan rasio ini disebabkan oleh peningkatan jumlah C dan juga terjadinya pembentukan gas CO₂ atau dekarboksilasi. Peningkatan jumlah C diawali dengan tahap hidrolisis sampah menjadi yang terjadi pada kisaran suhu 100-175 °C⁽¹⁸⁾ dan dilanjutkan tahap karbonisasi yang sudah mulai terjadi pada suhu 160 °C⁽¹⁹⁾. Jadi, sangat penting untuk menjaga suhu reaktor sebesar 160 °C. Karena proses karbonisasi mulai meningkat pada suhu 180 °C ke atas maka pada suhu 160 °C peningkatan jumlah C tidak sebanding dengan jumlah C yang menjadi CO₂. Hal ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Fakkaew, K. bahwa ada 3 produk dalam proses hidrotermal yaitu *hydrochar* (padat), cair, dan gas khususnya gas CO₂⁽²⁰⁾. Oleh karenanya, jumlah C akan berkurang sehingga rasio C/N menurun dibandingkan C/N sebelum proses hidrotermal. Pada proses hidrotermal yang berlangsung 60 menit, menunjukkan rasio C/N yang lebih besar

dari 30 menit. Hal tersebut dikarenakan semakin lama proses menyebabkan semakin banyak kandungan C nya^(21,22). Produk cair tidak perlu pengukuran rasio C/N karena tidak dipersyaratkan dalam Keputusan Menteri Pertanian RI Nomor 261 Tahun 2019. Akan tetapi C organik produk cair jauh lebih kecil dari produk padat karena proses filtrasi yang menyebabkan C (fase padat) tersaring oleh filter dan terkonsentrasi di produk padat. Proses hidrotermal yang berlangsung selama 30 menit menghasilkan C/N yang lebih baik dibandingkan lama proses 60 menit.

Produk padat dan cair dari proses hidrotermal yang berlangsung selama 30 menit menunjukkan jumlah N+P₂O₅+K₂O yang masing-masing sebanyak 5,36% dan 2,23%. Jumlah total N+P₂O₅+K₂O produk hidrotermal tersebut adalah 7,59%. Kenaikan jumlah N+P₂O₅+K₂O pada proses hidrotermal yang berlangsung selama 30 menit sebesar 1,76%. Pada proses yang berlangsung selama 60 menit, total N+P₂O₅+K₂O adalah 4,79%, yang artinya terjadi penurunan dibandingkan jumlah awal sebelum proses. Penurunan jumlah tersebut bisa disebabkan karena semakin banyak nitrogen (N) yang menjadi gas amoniak ketika proses berlangsung lebih lama. Begitu juga dengan fosfor (P) yang jumlahnya semakin menurun ketika waktu proses semakin lama. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Wang, M. *et al.* yang menunjukkan penurunan jumlah N dan P saat waktu tinggal ditambah⁽²³⁾. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa proses hidrotermal cukup efektif meningkatkan jumlah N+P₂O₅+K₂O dengan menjaga lama waktu proses. Hal ini juga relevan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ildowu *et al.* yang menunjukkan total N+P₂O₅+K₂O sebesar 4,12% pada produk padat⁽⁵⁾. Menurut Ildowu *et al.* kandungan nutrisi tersebut akan berbanding terbalik dengan waktu reaksi dan temperatur selama proses⁽⁶⁾. Semakin meningkat suhu dan waktu reaksi maka kecil persentasenya⁽²⁴⁾. Penurunan kandungan nutrisi akan semakin besar ketika lama waktu proses ditambah⁽¹²⁾. Semakin lama proses menyebabkan semakin banyak senyawa organik yang akan larut dan terkonversi menjadi karbon. Sehingga kandungan N+P₂O₅+K₂O Rasio C/N, dan Fe pada proses 60 menit menjadi lebih rendah dari 30 menit. Proses yang lama akan menguntungkan apabila produk yang dikehendaki adalah bahan bakar dengan nilai kalor yang lebih tinggi⁽¹⁵⁾. Hasil analisis pada penelitian ini menunjukkan perilaku yang sama dimana total N+P₂O₅+K₂O menunjukkan penurunan ketika waktu prosesnya lebih lama. Tiga puluh menit merupakan waktu yang sangat singkat untuk menghasilkan pupuk organik dari bahan sampah pasar dibandingkan dengan

proses komposting yang membutuhkan waktu jauh lebih lama.

Pada penelitian ini terlihat bahwa pH produk pada proses hidrotermal 60 menit menunjukkan nilai lebih rendah dari yang 30 menit. Pada proses komposting, nilai pH merupakan faktor yang mempengaruhi besaran fosfor, dimana pada pH yang lebih tinggi kandungan fosfornya akan lebih besar⁽⁵⁾. Akan tetapi pada proses hidrotermal ini, berkurangnya nilai fosfor lebih disebabkan oleh waktu tinggal yang lebih lama. Nilai pH pada produk padat ini telah memenuhi standar pupuk organik padat oleh Keputusan Menteri Pertanian RI Nomor 261 Tahun 2019 yang masih berada dalam *range* 4-9.

4. KESIMPULAN

Reaktor hidrotermal mampu mengolah sampah pasar menjadi produk padat dan cair yang berpotensi menjadi pupuk padat dan cair. Hasil analisis produk tersebut menunjukkan rasio C/N dan jumlah total N+P₂O₅+K₂O yang memenuhi standar dari Keputusan Menteri Pertanian RI Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 tentang pupuk organik padat dan cair. Produk hidrotermal tersebut menunjukkan hasil yang lebih tinggi pada proses yang berlangsung selama 30 menit dibandingkan 60 menit. Waktu yang dibutuhkan dalam proses hidrotermal ini jauh lebih cepat dari proses komposting.

PERSANTUNAN

Penelitian ini danai dari DIPA Pusat Teknologi Lingkungan Tahun Anggaran 2019.

DAFTAR PUSTAKA

1. Keputusan Kepala Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 699 Tahun 2017 tentang Timbulan, Komposisi, dan Karakteristik Sampah di TPS dan TPST Bantargebang.
2. Sahwan, F. L. (2010). Kualitas Produk Kompos dan Karakteristik Proses Pengomposan Sampah Kota Tanpa Pemilahan Awal.
3. He, W., LI, G., Kong, L., Wang, H., Huang, J., & Xu, J. (2008). Application of hydrothermal reaction in resource recovery of organic wastes. Volume 52, Issue 5, March 2008, Pages 691-699. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2007.11.003>.
4. Prawisudha, P., Azka, G.R., Triyono, B., & Pasek, A.D. (2018). Multi-production of Solid Fuel and Liquid Fertilizer from Organic Waste by Employing Wet Torrefaction Process. AIP Conference Proceedings 1984, 030008 (2018);

<https://doi.org/10.1063/1.5046629> Published Online: 25 July 2018.

5. Idowu, I. M. (2018). Hydrothermal Carbonization of Food Waste for Nutrient Recovery and Reuse. Master's Thesis. University of South Carolina.
6. Idowu, I. M., Li, L., Flora, J.R.V., Pellechia, P.J., Darko, S. A., Ro, K.S., & Berge, N.D. (2017). Hydrothermal Carbonization of Food Waste for Nutrient Recovery and Reuse. Waste Management 69
7. Novita DM., & Damanhuri E. (2010). Perhitungan Nilai Kalor Berdasarkan Komposisi Dan Karakteristik Sampah Perkotaan Di Indonesia Dalam Konsep Waste To Energy. Jurnal Teknik Lingkungan Volume 16 Nomor 2, Oktober 2010 (hal. 103-114)
8. P.E. Savage, R.B. Levine, & C.M Huelsman,. (2010). Hydrothermal Processing of Biomass. In: Thermochemical Conversion of Biomass to Liquid Fuels and Chemicals, Ch. 8. RSC Publishing, Cambridge.
9. Bimantoro, E.P. (2016). Pengaturan Konsumsi Bahan Bakar Pada Virtual Plant Boiler PLTU Menggunakan Kontroler Linear Quadratic Regulator. Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
10. Dewanti, D. P., & Sulaiman, A. (2019). Penentuan Temperatur Optimal Pembakaran Boiler untuk Karbonisasi Hidrotermal Sampah Organik Melalui Model Semi-Analitik Perpindahan Panas. Jurnal Teknologi Lingkungan, 20(2), 291-298.
11. Junting, Z., Guangming, Li., Wenzhi, he., Juwen, Huang., & Haochen, Zhu. (2016). Hydrothermal carbonization (HTC) for recovery of organic fractions in Municipal Solid Waste (OFMSW).
12. Robbiani, Z. (2013). Hydrothermal carbonization of biowaste/fecal sludge. Conception and construction of a HTC prototype research unit for developing countries. Department of Mechanical Engineering ETHZ in collaboration with Eawag/Sandec
13. Lian-hai, REN., Yong-feng, NIE., Jiann-guo, LIU., Yi-ying, JIN, & Lu, Sun. (2006). Impact of hydrothermal process on the nutrient ingredients of restaurant garbage. Journal of Environmental Sciences. Volume 18, Issue 5, September–October 2006, Pages 1012-1019.
14. Krysanova, K.O., Zaichenko, V.M., Sychev, G.A., Is'emin, R. L., Krylova, A.Y. (2019). Effect of Temperature on the Hydrothermal

- Carbonization of Organic Fertilizers with the Production of Carbon Fuel. *Solid Fuel Chemistry* volume 53, pages105–10.
15. Sundari, E., Sari E., & Rinaldo, R. (2012). Pembuatan Pupuk Organik Cair Menggunakan Bioaktivator Biosca dan EM14. *Prosiding SNTK Topi 2012*. ISSN. 1907-0500.
 16. Funke, A. & Ziegler, F. (2010). Hydrothermal carbonization of biomass: A summary and discussion of chemical mechanisms for process engineering. s.l. : *Biofuels, Bioprod. Bioref.* 4:160-177, 2010.
 17. Trivana, L. & Pradhana, A.Y. (2017). Optimalisasi Waktu Pengomposan dan Kualitas Pupuk Kandang dari Kotoran Kambing dan Debu Sabut Kelapa dengan Bioaktivator PROMI dan Orgadec. *Jurnal Sain Veteriner* 35(1).
 18. Abelleira, J., Perez-Elvira, S.I., Sanchez-Oneto, J., Portela, J.R. & Nebot, E. (2012). Advanced Thermal Hydrolysis of secondary sewage sludge: A novel process combining thermal hydrolysis and hydrogen peroxide addition. *Resources, Conservation and Recycling*, 59, 52– 57.
 19. Falco, C., Baccile, N. & Titirici, M.M. (2011). Morphological and structural differences between glucose, cellulose and lignocellulosic biomass derived hydrothermal carbons. *Green Chemistry*, 13, 3273-3281.
 20. Fackaew, K. (2016). Evaluation of Hydrothermal Carbonization Reactions for Faecal Sludge Treatment and Hydrochar Production. Asian Institute of Technology School of Environment, Resources and Development Thailand
 21. Gao, J., Wang, X., Wang, J., Li, X., Cheng, J., Yang, H., & Chen, H. (2013). Effect of residence time on chemical and structural properties of hydrochar obtained by hydrothermal carbonization of water hyacinth. *Energy*. Volume 58, 1 September 2013, Pages 376-383
 22. Ulbrich, M., Prebl, D., Frenndt, S., Gaderer, M., & Spliethoff, H. (2017). Impact of HTC reaction conditions on the hydrochar properties and CO2 gasification properties of spent grains. *Fuel Processing Technology* Volume 167, 1 December 2017, Pages 663-669.
 23. Wang, M., Zhang, Bo., Cai, C., Xin, Yanjun., & Liu, H. (2018). Acidic hydrothermal treatment: Characteristics of organic, nitrogen and phosphorus releasing and process optimization on lincomycin removal from lincomycin mycelial residues. *Chemical Engineering Journal* 336 (2018) 436-444.
 24. Siboro, E.S., Surya, E., & Herlina, N. (2013). Pembuatan Pupuk Cair Dan Biogas Dari Campuran Limbah Sayuran. *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol. 2, No. 3