



Pengaruh Peningkatan Temperatur Terhadap Nilai Kalor, Proksimat dan Ultimat Pada Sampah Padat Kota (MSW)

Imron Rosyadi^{1*}, Yusvardi Yusuf¹, Aswata² Muhammad A Fadhil³, Haryadi⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jend. Sudirman Km.3 Cilegon, 42435
*Email Penulis: imron_hrs@yahoo.co.id

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 21/04/2019
Naskah Direvisi 02/05/2019
Naskah Disetujui 03/05/2019
Naskah Online 03/05/2019

ABSTRAK

Sampah merupakan salah satu permasalahan perkotaan yang sampai saat ini merupakan tantangan bagi pengelola kota, peningkatan jumlah penduduk setiap tahunnya sebanding dengan peningkatan jumlah volume sampah. Sampah khususnya organik dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar padat menggantikan batubara sebagai sumber energi fosil berbentuk padatan jika ditangani dengan baik, perlu adanya penanganan untuk menjadikan sampah organik menjadi bahan bakar padat yang nilai kalornya memenuhi standar. Dengan memanfaatkan panas gas buang dari pembakaran insenerator menggunakan proses torefaksi memungkinkan nilai kalor sampah organik menjadi meningkat setara dengan batubara subbituminous. Dalam penelitian ini, bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur torefaksi terhadap nilai kalor dari sampah tersebut, guna meningkatkan nilai kalor dari sampah yang memiliki kadar air rata-rata >20%. Sampah organik yang digunakan yakni berbasis nasi sisa makanan dan kayu dalam bentuk pellet kayu dengan temperatur torefaksi 210 oC, 240oC, 270oC dan 300oC selama 1 jam. Pengujian hasil dari produk torefaksi yang dilakukan yakni uji nilai kalor, uji proksimate dan uji ultimate. Dari hasil penelitian, didapat nilai kalor meningkat sebesar 39,3% untuk nasi sisa dan 26,1% untuk pellet kayu dibandingkan dengan yang tidak ditorefaksi, peningkatan nilai kalor paling tinggi terjadi pada produk torefaksi temperatur 300oC yakni 5811 kal/gr untuk nasi sisa dan 5571 kal/gr untuk pellet kayu, hasil proksimate didapat peningkatan karbon tetap sebesar 41,14% serta 38,57% dan kadar abu sebesar 13,13% serta 14,21% sedangkan terjadi penurunan kadar air sebesar 8,54% serta 7,23% dan zat terbang sebesar 50,56% serta 48,73%, hasil ultimate didapat peningkatan karbon serta nitrogen dan penurunan hidrogen. Dari hasil uji tersebut, terjadi dekomposisi senyawa organik menjadi zat-zat volatile. Dengan terbentuknya zat-zat volatile, maka kadar O/C dan H/C akan terus berkurang sehingga meningkatkan kadar karbon sampel dan meningkatkan nilai kalor produk torefaksi.

Kata Kunci : Sampah Padat Kota, Nasi Sisa, Pellet Kayu, Torefaksi, Temperatur dan Nilai Kalor.

1. PENDAHULUAN

Sampah padat perkotaan yang selanjutnya dikenal dengan Municipal Solid Waste (MSW) didefinisikan sebagai limbah padat rumah tangga, industri, komersial, dan limbah berbahaya serta tidak berbahaya yang meliputi sampah makanan, sampah rumah tangga dan industri, puing-puing bangunan dan hasil pembongkaran. (C.Valkenburg,el, 2008). Meningkatnya

standar hidup dan konsumsi barang pada pengembangan suatu negara menyebabkan meningkatnya volume sampah yang dihasilkan (Troschinetz et.al, 2009; Li et al., 2015). Jumlah sampah padat secara linear terkait dengan Gross Domestic Product (GDP). Sebagai negara dengan pertumbuhan GDP yang stabil (The World Bank, 2016), Indonesia masih menghadapi masalah serius dalam hal pengolahan sampah dimana produksi sampah mencapai

38,5 juta ton/tahun dan ini meningkat setiap tahun sebesar 2- 4% (Kementerian Lingkungan Hidup, 2008). Kurangnya penanganan MSW di Indonesia telah menyebabkan masalah bagi masyarakat dan lingkungan (Aye dan Widjaya, 2006). Torefaksi adalah metode pretreatment untuk meng-upgrade biomassa mentah menjadi bahan bakar halus dengan sifat yang lebih baik seperti nilai kalor dan karbon yang lebih tinggi (Saleh S,2013). Jika biomassa digunakan untuk tujuan pembakaran langsung, pelet biomassa memberikan bahan bakar bersih yang stabil, meningkatkan nilai kalor volumetriknya, dan dapat dengan mudah diadopsi menjadi pembakaran langsung atau co-firing. Hasil dari produk torefaksi perlu diuji kualitas dan kuantitasnya. Pengujian yang dilakukan pada produk torefaksi yakni pengujian proksimat, ultimate dan nilai kalor. Penelitian ini bermaksud untuk mendapatkan nilai proksimate, ultimate dan nilai kalor pada produk torefaksi sampah padat perkotaan (MSW) yang akan berguna untuk produk torefaksi tersebut nantinya guna dapat menggantikan batubara yang nilai kalor dicapai sesuai SNI yakni 5000 kkal/kg. Tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini adalah 1) Mengetahui pengaruh proses torefaksi terutama pengaruh peningkatan temperatur menggunakan sampah padat kota (MSW) berbasis nasi sisa makanan dan kayu dalam bentuk pellet kayu (limbah organik), 2) Mencari temperatur optimal yang memiliki nilai kalor paling tinggi pada produk torefaksi sampah padat kota (MSW) berbasis nasi sisa makanan dan kayu dalam bentuk pellet kayu, nantinya guna mendapatkan nilai kalor sesuai SNI, dan 3) Mendapatkan hasil serta menganalisa hasil pengujian proksimate, ultimate dan nilai kalor pada produk torefaksi sampah padat kota (MSW) berbasis nasi sisa makanan dan kayu dalam bentuk pellet kayu yang mempunyai nilai kalor paling tinggi dan membandingkan dengan yang tidak di torefaksi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

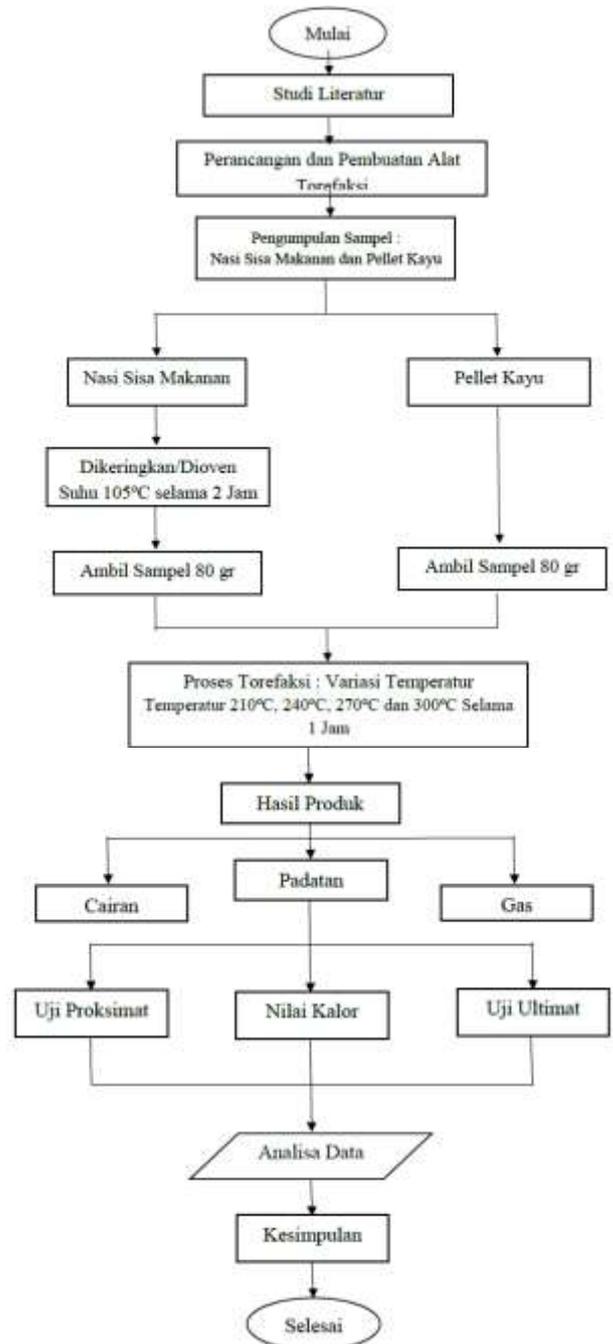
2.1 Tahapan Penelitian

Tahapan awal penelitian ini dimulai dengan studi literatur untuk mempelajari biomassa, proses torefaksi, metode pengujian dan parameter yang mempengaruhi proses. Selanjutnya dilakukan rancang bangun alat, preparasi sampel uji, selanjutnya dilakukan proses torefaksi dan dilanjutkan dengan pengujian nilai kalor, proximate dan ultimate. Tahapan akhir adalah analisis data untuk mengetahui parameter-parameter yang berpengaruh pada hasil pengujian dan ditarik suatu kesimpulan terhadap hasil penelitian. Secara lebih terperinci dapat dilihat pada diagram alir kegiatan penelitian di gambar 1.

Pada penelitian ini dibuat alat torefaksi dengan memakai pipa steam bekas berdiameter 6 inch tinggi 60 cm, lalu dibuat penutup bentuk flange sebagai penutup atas dan penutup bawah menggunakan plat baja bekas, penutup tersebut lalu di las. Dari alat tersebut karena dalam proses torefaksi untuk meminimalkan oksigen yang masuk ke reaktor maka dibuat lubang untuk inlet gas N₂ (nitrogen) dan outlet untuk buangan gas. Terdapat valve untuk inlet gas N₂ (nitrogen) dan valve outlet untuk gas buang. Panas yang diberikan

menggunakan elektrik heater dengan jenis heater yakni band heater yang terbuat dari plat stainless stell. Heater memakai 220 volt 1000 watt dan kapasitas panas yakni 400oC.

Pengaturan temperature menggunakan thermostat merk REX C-100 dan thermocouple tipe K. Thermostat mempunyai kapasitas temperatur 400oC. Alat torefaksi dilapisi dengan glasswool untuk mengurangi panas yang terbangun (heat loss).



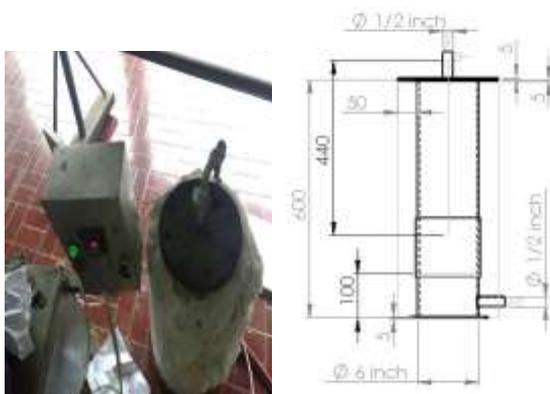
Gambar 1. Diagram alir kegiatan penelitian

Sampel yang digunakan yakni untuk nasi sisa makanan menggunakan nasi yang baru masak dengan persentase beras dan air yakni 1 : 2 dengan kadar air 55% dan kayu digunakan adalah dalam bentuk pellet kayu dengan kadar air sekitar 20%. Preparasi sampel khususnya nasi

sisa makanan yang mempunyai kadar air 55% tidak memungkinkan untuk langsung di torefaksi sebab kadar nasi masih tinggi maka dari itu perlu di treatment terlebih dahulu dengan cara dikeringkan/dioven pada temperature 105°C selama 2 jam, kadar airnya menjadi sekitar 15% setelah itu di saring untuk menyamakan ukuran sampel dan kayu dalam bentuk pellet kayu diambil dengan panjang 2-3 cm dengan kadar air sekitar 20%. Uji kadar air sampel menggunakan standar metode SNI 01-2891-1992. Sampel yang telah ditimbang massa awal diambil sebanyak 2 gram. Lalu dimasukkan kedalam oven dengan temperatur 105 °C selama 3 jam. Setelah itu sampel didinginkan kemudian ditimbang sampai bobot tetap dan timbang massa akhir sampel. Proses torefaksi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan variasi temperatur diantaranya 210 °C, 240 °C, 270 °C dan 300 °C dengan dialirkan gas N2 (nitrogen) dan laju 1 L/menit dengan membuka ½ valve outlet untuk mengeluarkan panas dan oksigen, fungsi dari gas N2 (nitrogen) supaya meminimalkan oksigen dalam reaktor karena gas nitrogen bersifat gas inert (tidak mudah beraksi).

2.2 Alat dan Bahan

Alat torefaksi bertujuan untuk meningkatkan nilai kalor dari suatu biomassa. Syarat dari alat torefaksi ini yakni temperatur diantara 200 – 300 °C, meminimalkan kehadiran oksigen maka dari itu alat ini dialirkan gas N2 (nitrogen) karena gas ini bersifat gas inert (tidak bereaksi) dan dibuat tertutup. Tipe dari alat ini adalah fixed bed tipe updraft. Alat ini menggunakan pipa steam bekas berdiameter 6 inch tinggi 60 cm dan flange untuk penutup atas dan penutup bawah dari plat baja bekas. Dari alat tersebut dan dibuat lubang inlet untuk aliran gas N2 (nitrogen) dan outlet untuk gas buang. Pemanas pada alat ini menggunakan elektrik heater tipe band heater dengan kapasitas 1000 watt, temperature maks 400oC, 200 volt dan dikontrol oleh PID Controller merk REX C-100 temperatur maks 400oC ditambah thermocouple sebagai mengukur temperature dalam reaktor.



Gambar 2. Hasil Rancang bangun Alat Torefaksi

Komponen Alat Torefaksi diantaranya adalah 1). Tabung Reaktor 2). Element Heater (Band Heater) 3). Temperatur Controller REX C-100 4). Kontaktor Magnet

5). Thermocouple Type K 6). Karet Flange 7). Valve 8). Tabung N2 9). Regulator N2 dan Flow Meter 10). Selang gas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air sampel yakni nasi sisa makanan dan pellet kayu dilakukan menggunakan metode oven (gravimetri) dengan temperatur 105 °C selama 3 jam. Pengujian kadar air ini berdasarkan SNI 01-2891-1992.

Tabel 1. Kadar Air Sampel Nasi Sisa Makanan dan Pellet Kayu dalam 80 gr kondisi As Recieved

No	Sampel	Kadar Air (%)	Kadar Air (gr)	Sampah Kering (%)	Sampah Kering (gr)
1	Nasi Sisa Makanan	55	44	45	36
2	Pellet Kayu	20	16	80	64

Untuk nasi sisa makanan dengan kadar air sekitar 55%, jika langsung dimasukkan kedalam reaktor torefaksi maka hasil yang didapat tidak maksimal sebab kadar air masih terlalu tinggi, jadi solusi tersebut yakni dengan mengeringkan terlebih dahulu sampel sampai kadar air sekitar ≤ 20%.

3.2. Perbedaan Hasil Produk Torefaksi

Setelah dilakukan torefaksi pada sampel nasi sisa makanan dan pellet kayu dengan variasi temperatur yakni 210 °C, 240 °C, 270 °C dan 300 °C selama 1 jam pada proses torefaksi yang sama, dari hasil sampel setelah torefaksi yakni dilihat dari perbedaan warna dari produk torefaksi didapat sebagai berikut :



Gambar 3. Hasil Rancang bangun Alat Torefaksi A.) T. 210°C, B) T.240°C, C). T.270°C D). T.300°C



Gambar 4. Hasil Rancang bangun Alat Torefaksi Sampel Nasi A.) T. 210°C, B) T.240°C, C). T.270°C D). T.300°C E).Nasi Non Torefaksi

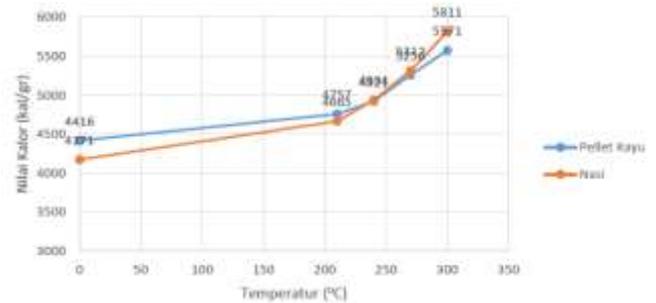


Gambar 5. Hasil Rancang bangun Alat Torefaksi Sampel Kayu A.) T. 210°C, B) T.240°C, C). T.270°C D). T.300°C E).Kayu Non Torefaksi

Berdasarkan hasil dari produk torefaksi yakni nasi sisa makanan dan pellet kayu dilihat dari perbedaan warna produk tersebut. Didapat warna produk nasi sisa makanan setelah proses torefaksi pada temperatur 210°C hingga 300°C mengalami perbedaan warna dari coklat sampai hitam pekat. Pada produk torefaksi temperatur 210°C dapat dilihat menjadi warna coklat, pada produk torefaksi temperatur 240°C dapat dilihat menjadi warna coklat tua, pada produk torefaksi temperatur 270°C dapat dilihat menjadi warna hitam muda, pada produk torefaksi temperatur 300°C dapat dilihat menjadi warna hitam pekat. Jika dilihat perbedaan warna dari produk pellet kayu setelah proses torefaksi pada temperatur

210°C hingga 300°C mengalami perbedaan warna dari coklat muda hingga hitam pekat. Pada produk torefaksi temperatur 210°C dapat dilihat menjadi warna coklat muda, pada produk torefaksi temperatur 240°C dapat dilihat menjadi warna coklat, pada produk torefaksi temperatur 270°C dapat dilihat menjadi warna coklat tua, pada produk torefaksi temperatur 300°C dapat dilihat menjadi warna hitam pekat. Dapat disimpulkan dari kedua jenis sampel tersebut setelah proses torefaksi, maka warna dari kedua sampel semakin hitam serupa batubara seiring dengan semakin tinggi temperatur.

3.3. Pengujian Nilai Kalor dari Hasil Torefaksi Kayu dan Nasi Sisa Makanan



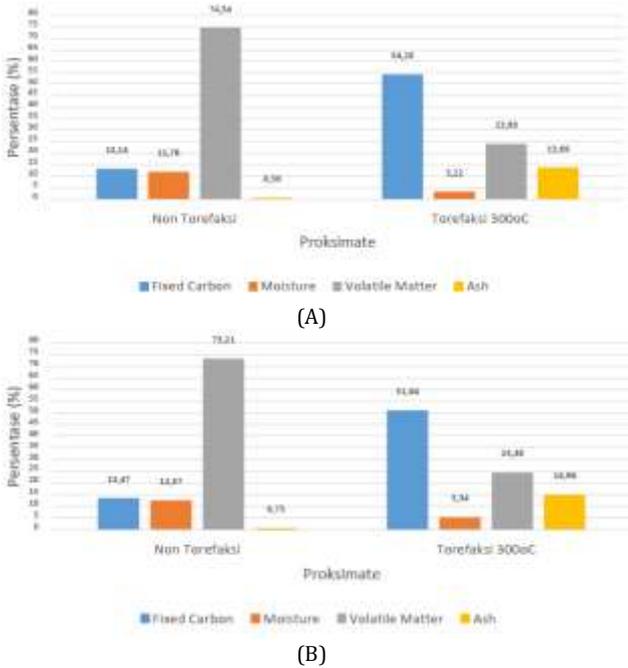
Gambar 6. Hasil Pengujian Nilai Kalor Proses Torefaksi Kayu dan Nasi Sisa Makanan

Berdasarkan hasil uji nilai kalor pada produk torefaksi yakni nasi sisa makanan dan pellet kayu, didapatkan hasil paling tinggi nilai kalor yakni pada produk torefaksi dengan temperatur 300°C untuk nasi sisa makanan sebesar 5811 kal/gr dan pellet kayu sebesar 5571 kal/gr. Dari kedua sampel tersebut setelah proses torefaksi didapatkan hasil pada produk torefaksi temperatur 210°C untuk nasi sisa makanan sebesar 4665 kal/gr dan pellet kayu sebesar 4747 kal/gr, pada produk torefaksi temperatur 240°C untuk nasi sisa makanan sebesar 4934 kal/gr dan pellet kayu sebesar 4921 kal/gr, pada produk torefaksi temperatur 270°C untuk nasi sisa makanan sebesar 5312 kal/gr dan pellet kayu sebesar 5156 kal/gr, pada produk torefaksi temperatur 300°C untuk nasi sisa makanan sebesar 5811 kal/gr dan pellet kayu sebesar 5571 kal/gr. Dari hasil uji nilai kalor kedua sampel, dapat dianalisa pengaruh temperature pada proses torefaksi terhadap produk khususnya nasi sisa makanan dan kayu dalam bentuk pellet kayu mengakibatkan peningkatan nilai kalor yang cukup signifikan sebesar 39,3% untuk nasi sisa dan 26,1% untuk pellet kayu terjadi pada temperature 300°C selama 1 jam dengan nilai kalor yakni 5811 kal/gr untuk nasi sisa makanan dan 5571 kal/gr untuk pellet kayu. Kesimpulannya yakni semakin tinggi temperature torefaksi, semakin tinggi nilai kalor produk torefaksi. Nilai kalor paling tinggi diperoleh pada produk torefaksi dengan temperatur 300°C. Secara umum, terjadi peningkatan nilai kalor produk yang dihasilkan dibandingkan nilai kalor yang didapatkan berbanding lurus dengan peningkatan temperatur. Selama proses torefaksi, terjadi dekomposisi senyawa organik yakni amilum dan lignoselulosa menjadi zat-zat volatile.

Dengan terbentuknya zat-zat volatile, maka kadar O/C dan H/C akan terus berkurang sehingga meningkatkan kadar karbon biomassa. Hal inilah yang menyebabkan nilai kalor pada biomassa meningkat.

3.4. Hasil Pengujian Proximate

Pengujian proksimate dilakukan di Indonesia Power pada sampel nasi sisa makanan dan pellet kayu. Parameter pengujian proksimate yakni fixed carbon, volatile matter, moisture dan ash. Pengujian proksimate ini menggunakan alat termogravimetri (TGA) merk leco.



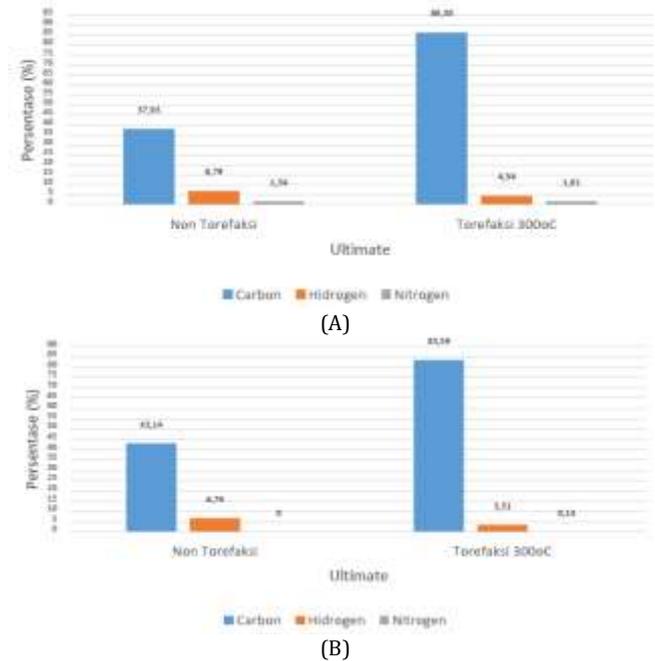
Gambar 7. Hasil Pengujian Proximate Proses Torefaksi dan Non Torefaksi A). Nasi Sisa dan B). Makanan Kayu

Berdasarkan hasil uji proksimate dengan membandingkan antara produk yang tidak di torefaksi dengan produk yang di torefaksi temperatur 300oC. Pada hasil uji proksimate dilihat dari persentase karbon tetap (fixed carbon) terjadi peningkatan dari 13,14 % hingga 54,28 % untuk nasi sisa makanan dan 13,47 % hingga 52,04 % untuk pellet kayu. Dilihat dari persentase kadar air (moisture) terjadi penurunan dari 11,76 % hingga 3,22 % untuk nasi sisa makanan dan 12,57 % hingga 5,34 % untuk pellet kayu. Dilihat dari persentase zat terbang (volatile matter) terjadi penurunan dari 74,54 % hingga 23,98 % untuk nasi sisa makanan dan 73,21 % hingga 24,48 % untuk pellet kayu. Dilihat dari persentase kadar abu (ash) terjadi peningkatan dari 0,56 % hingga 13,69 % untuk nasi sisa makanan dan 0,75 % hingga 14,96 % untuk pellet kayu.

Jadi, dapat disimpulkan bahwa berdasarkan hasil uji proksimate dari kedua sampel yang mengalami kenaikan persentase yakni karbon tetap (fixed carbon) dan kadar abu (ash) sedangkan yang mengalami penurunan persentase yakni kadar air (moisture) dan zat terbang (volatile matter).

3.5. Hasil Pengujian Ultimate

Pengujian ultimate dilakukan di Indonesia Power pada sampel nasi sisa makanan dan pellet kayu. Pengujian ultimate yakni carbon, hydrogen dan nitrogen menggunakan alat CHN merk leco.



Gambar 8. Hasil Pengujian Ultimate Proses Torefaksi dan Non Torefaksi A). Nasi Sisa dan B). Makanan Kayu

Berdasarkan hasil uji ultimate dengan membandingkan antara produk yang tidak di torefaksi dengan produk yang di torefaksi temperature 300oC. Pada hasil uji proksimate dilihat dari persentase karbon terjadi peningkatan dari 37,93 % hingga 86,38 % untuk nasi sisa makanan dan 43,14 % hingga 83,59 % untuk pellet kayu. Dilihat dari persentase hidrogen terjadi penurunan dari 6,79 % hingga 4,34 % untuk nasi sisa makanan dan 5,96 % hingga 3,51 % untuk pellet kayu. Dilihat dari persentase nitrogen terjadi sedikit peningkatan dari 1,54 % hingga 1,61 % untuk nasi sisa makanan dan 0 % hingga 0,14 % untuk pellet kayu.

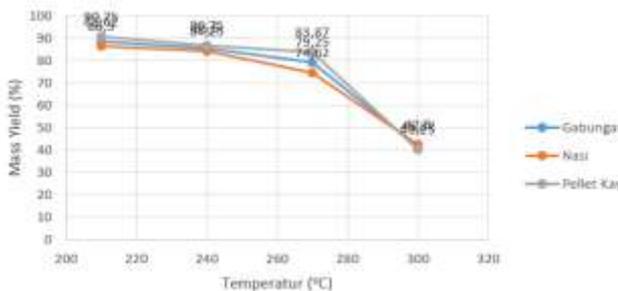
Jadi, dapat disimpulkan bahwa berdasarkan hasil uji ultimate dari kedua sampel yang mengalami kenaikan persentase yakni karbon dan nitrogen sedangkan yang mengalami penurunan persentase yakni hidrogen. Jadi, dapat disimpulkan bahwa berdasarkan hasil uji ultimate dari kedua sampel, terlihat yang mengalami kenaikan persentase yakni karbon dan nitrogen sedangkan yang mengalami penurunan persentase yakni hidrogen.

3.6. Analisa Mass Yield dan Energy Yield

Pada torefaksi dilakukan perlakuan panas yang diberikan pada biomassa, maka akibat pemberian panas terjadi kehilangan panas (mass yield) dan kehilangan energi (energy yield) pada proses tersebut. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Mass yield (\%)} &= \frac{\text{Mass of torrefied MSW}}{\text{Mass of raw MSW}} \times 100\% \\ \text{Energy yield} &= \text{Mass yield} \times \frac{\text{HHV Produk Torefaksi}}{\text{HHV Produk sebelum Torefaksi}} \end{aligned}$$

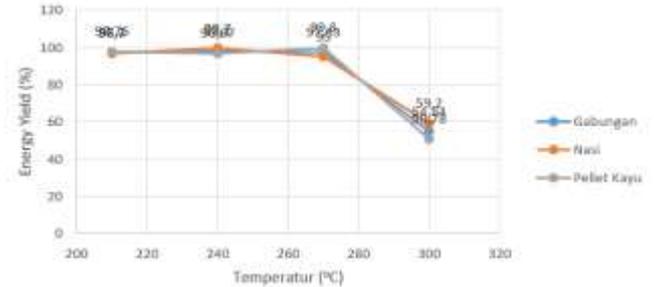
Berdasarkan persentase kehilangan massa (mass yield) dari produk torefaksi dari temperatur 210°C hingga 300°C, didapat persentase mass yield dari nasi sisa makanan dan kayu dalam bentuk pellet kayu, semakin tinggi temperatur, semakin tinggi persentase kehilangan massa (mass yield) dari kedua sampel tersebut. Kehilangan massa (mass yield) nasi sisa makanan temperatur torefaksi 210°C sebesar 13,5% dan pellet kayu sebesar 9,2%, produk torefaksi temperatur 240°C untuk nasi sisa makanan sebesar 15,7% dan pellet kayu sebesar 13,2%, produk torefaksi temperatur 270°C untuk nasi sisa makanan sebesar 25,4% dan pellet kayu sebesar 16,1%, produk torefaksi temperatur 300°C untuk nasi sisa makanan sebesar 57,5% dan pellet kayu sebesar 59,6%. Dari produk setelah mengalami proses torefaksi, didapat kehilangan massa terbesar diperoleh pada produk torefaksi pada temperatur paling tinggi yakni 300°C dengan persentase sebesar 57,5% untuk nasi sisa makanan dan 59,7% untuk pellet kayu. Maka didapatkan kesimpulan untuk persentase kehilangan massa semakin tinggi temperatur torefaksi, semakin tinggi persentase kehilangan massa (mass yield) akibat degradasi hemiselulosa yang terjadi.



Gambar 9. Hasil Analisa Mass Yield Terhadap Temperatur

Berdasarkan persentase kehilangan energi (energy yield) dari produk torefaksi dari temperatur 210°C hingga 300°C, didapat persentase energy yield dari nasi sisa makanan dan kayu dalam bentuk pellet kayu, semakin tinggi temperatur, semakin tinggi persentase kehilangan energi (energy yield) dari kedua sampel tersebut. Kehilangan energi (energy yield) nasi sisa makanan temperatur torefaksi 210°C sebesar 15,1% dan pellet kayu sebesar 9,9%, produk torefaksi temperature 240°C untuk nasi sisa makanan sebesar 18,6% dan pellet kayu sebesar 14,7%, produk torefaksi temperatur 270°C untuk nasi sisa makanan sebesar 32,3% dan pellet kayu sebesar 19,1%, produk torefaksi temperatur 300°C untuk nasi sisa makanan sebesar 80,1% dan pellet kayu

sebesar 75,3%. Dari produk setelah mengalami proses torefaksi, didapat kehilangan energi terbesar diperoleh pada produk torefaksi pada temperatur paling tinggi yakni 300°C dengan persentase sebesar 80,1% untuk nasi sisa makanan dan 75,3% untuk pellet kayu. Maka didapatkan kesimpulan untuk persentase kehilangan energi, semakin tinggi temperatur torefaksi, semakin tinggi persentase kehilangan energi (energy yield).



Gambar 10. Hasil Analisa Energy Yield Terhadap Temperatur

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan adalah sebagai berikut :

1. Pengaruh peningkatan temperatur pada proses torefaksi terhadap produk khususnya nasi sisa makanan dan kayu dalam bentuk pellet kayu mengakibatkan peningkatan nilai kalor yang cukup signifikan sebesar 39,3% untuk nasi sisa dan 26,1% untuk pellet kayu terjadi pada temperatur 300°C selama 1 jam dengan nilai kalor yakni 5811 kal/gr untuk nasi sisa makanan dan 5571 kal/gr untuk pellet kayu.
2. Pengaruh peningkatan temperatur yang mempunyai nilai kalor paling tinggi yakni pada temperatur 300°C selama 1 jam. Peningkatan temperatur berbanding lurus dengan peningkatan nilai kalor yang dihasilkan.
3. Hasil proksimate pada kedua sampel tersebut mempengaruhi produk torefaksi yakni terjadi peningkatan persentase karbon tetap (fixed carbon) sebesar 41,14% untuk nasi dan pellet kayu sebesar 38,57% dan peningkatan persentase kadar abu (ash) sebesar 13,13% untuk nasi dan pellet kayu sebesar 14,21% sedangkan terjadi penurunan persentase kadar air (moisture) sebesar 8,54% untuk nasi dan pellet kayu sebesar 7,23% dan penurunan persentase zat terbang (volatile matter) sebesar 50,56% untuk nasi dan pellet kayu sebesar 48,73%. Hasil ultimate pada kedua sampel tersebut mempengaruhi produk torefaksi yakni terjadi peningkatan persentase karbon sebesar 48,45% untuk nasi dan pellet kayu sebesar 40,45% dan sedikit peningkatan persentase nitrogen sebesar 2,45% untuk nasi dan pellet kayu sebesar 2,22% sedangkan terjadi penurunan persentase hidrogen sebesar 0,07% dan pellet kayu sebesar 0,13%.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya pihak-pihak yang telah ikut berperan aktif dalam penelitian ini, diantaranya adalah Sdr. Muhammad A Fadhil, Tim tugas akhir mahasiswa dan Tim dosen pembimbing, karena dengan kerjasama tim ini penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Peneliti juga mengucapkan kepada pihak PT.Indonesia Power dan Laboratorium Kimia Dasar yang telah berkenan mengijinkan mahasiswa kami untuk dapat melakukan pengujian disana.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Arena, U., 2012. Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review. *Waste Manage.* 32, 625–639. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.025>.
- Aye, L., Widjaya, E.R., 2006. Environmental and economic analyses of waste disposal options for traditional markets in Indonesia. *Waste Manage.* 26, 1180–1191. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2005.09.010>.
- Chen P, Xie Q, Addy M, Zhou W, Liu Y, Wang Y, Cheng Y, Li K, Ruan R. Utilization of municipal solid and liquid wastes for bioenergy and bioproducts production. *Bioresour Technol* 2016; 215:163-172.
- C. Valkenburg, M.A. Gerber, C.W. Walton, S.B. Jones, B.L. Thompson, D.J. Stevens, , 2008, *Municipal Solid Waste (MSW) to Liquid Fuels Synthesis, Volume 1: Availability of Feedstock and Technology*, Pacific Northwest National Laboratory Richland. Washington 99352. Prepared for US Department of Energy, DE-AC05e76RL01830.
- G.J. Wang, Y.H. Luo, J. Deng, J.H. Kuang, Y.L. Zhang, Pretreatment of biomass by torrefaction, *Chin. Sci. Bull.* 56 (14) (2011) 1442-1448.
- Imron Rosyadi, Agung Sudrajat, Diki M Nurdin, 2013, Uji karakteristik sampah kota cilegon sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik tenaga sampah, Prosiding Seminar Nasional Mesin dan Teknologi Kejuruan.
- Jank, A., Müller, W., Schneider, I., Gerke, F., Bockreis, A., 2015. Waste Separation Press (WSP): a mechanical pretreatment option for organic waste from source separation. *Waste Manage.* 39, 71–77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.024>.
- J. Koppejan, S. Sokhansanj, S. Melin, S. Madrali, Status overview of torrefaction technologies, *Int. Energy Agency (IEA) Bioenergy Task 32 Rep.* (2012) 1-49.
- Kadir, S.A.S.A., Yin, C.-Y., Sulaiman, M.R., Che, X., El-Harbawi, M., 2013. Incineration of municipal solid waste in Malaysia: salient issues, policies and waste-to-energy initiatives. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 24, 181–186. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.041>.
- Kuo P-C, Wu W, Chen W-H. Gasification performances of raw and torrefied biomass in a downdraft fixed bed gasifier using thermodynamic analysis. *Fuel* 2014; 117:1231-1241.
- Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2008, Statistik Sampah Domestik Indonesia Tahun 2008 <<http://inswa.or.id/wp-content/uploads/2012/07/Indonesian-Domestic-Solid-Waste-Statistics-20082.pdf>> (diakses December 2016).
- Lei, Z., Zhang, Z., Huang, W., Cai, W., 2015. Recent progress on dry anaerobic digestion of organic solid wastes: achievements and challenges. *Curr. Org. Chem.* 19 (5), 240-412. <http://dx.doi.org/10.2174/1385272819666150119222633>.
- L.Helsen, A. Bosmans, Waste-to-Energy through thermochemical processes: matching waste with process, Houthalen-Helchteren, Belgium, in: 1st Int. Symposium on Enhanced Landfill Mining, 2010.
- R.H.H. Ibrahima, I.D. Leilani, J.M. Jonesa, A. Williams, Physicochemical characterization of torrefied biomass, *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 103 (2013) 21-30
- Saleh S, Hansen BB, Jensen PA, Johansen KD. Efficient fuel pretreatment: simultaneous torrefaction and grinding of biomass, *Energ Fuel* 2013; 27(12):7531-7540.
- Silva.M.R.O, Naik, T.R., 2007. Review of composting and anaerobic digestion Of [municipal solid waste and a methodological proposal for a mid-size city](http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.025). *Sustain. Construct. Mater. Technol. – Int. Conf. Sustain. Constr. Mater. Technol.* 631–643
- Tapasvi D, Kempegowda RS, Tran K-Q, Skreiberg O, Gronli M. A simulation study on the torrefied biomass gasification. *Energy Convers Manage* 2015; 90:446-457.
- The World Bank, 2016. Data Bank-World Development Indicator <<http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=2&series=NY.GDP.MKTP.KD.ZG&country=IDN>> (Diakses February 2017)
- Troschinetz, A.M., Mihelcic, J.R., 2009. Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries. *Waste Manage.* 29, 915–923. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2008.04.016>.