PAPER NAME

Agus Amrizal Mechanical

AUTHOR

Agus Apryanto

WORD COUNT

6453 Words

CHARACTER COUNT

36981 Characters

PAGE COUNT

13 Pages

FILE SIZE

1.5MB

SUBMISSION DATE

Dec 4, 2022 4:38 PM GMT+7

REPORT DATE

Dec 4, 2022 4:38 PM GMT+7

24% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

- 24% Internet database
- 2% Publications database
- Crossref database
- Crossref Posted Content database

Excluded from Similarity Report

- Submitted Works database
- Bibliographic material
- Quoted material
- Cited material
- Small Matches (Less then 8 words)
- Manually excluded sources
- Manually excluded text blocks

Rancang Bangun dan Analisis Unjuk Kerja Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Tubular Dengan Sistem Pemanas *Oil Jcket*

Agus Apriyanto[12], Amrul[2] dan Amrizal[2]
[1]Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai
Jl. Imam Bonjol No.486 Bandar Lampung
[2]Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung
Jl. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung
E-mail: agus.apriyanto89@gmail.com

Abstrak

The technology of municipal waste conversion into fuel which is currently being developed is through a torefaction process. A lot of waste torefaction process is carried out using a batch reactor type. While for industrial scale needs, continuous torefaction is seen as more profitable because the bait and product processes flow continuously. The type of continuous reactor being developed is a tubular type. The purpose of this study is to design and make a continuous torefaction reactor unit that is able to improve the quality of trash properties as a solid fuel, especially its calorific value. Some of the stages passed in this study include; design, fabrication process and testing performance of reactor. The design parameters used are density (ρ) = 230 kg / m3, rotation speed (n) = 0.5 rpm, loading efficiency (φ) = 0.25, distance of pitch (S) = 0.5 D, reactor temperature (Tin) = 275°C, heating oil temperature (Tout) = 311°C, residence time (Rt) = 30 minutes. So as to produce a reactor with specifications; reactor dimensions, Dtin = 203 mm, Dtout = 254 mm Dscrew = 195 mm, pitch distance (S) = 100 mm, reactor length = 1600 mm, reactor capacity 5kg / hour. The reactor tube material uses the carbon stell type JIS G3116 SG 295, heating fluid using the heat transfer oil type CalfloTM AF, the drive motor 2 HP and 0.5 HP equipped with each gear reducer ratio 1:60. The combustion chamber uses steel and 2 burner units with LPG fuel. The experimental results for reactor performance showed that the reactor was able to reach a maximum temperature of 375°C for a duration of 175 minutes. Testing using a mixture of municipal waste samples took place at a temperature of 225°C-325°C (steady state) and a residence time of 30 minutes. Torrefied were then characterized by proximate, ultimate and calorific values. The results of torrefied show changes in product mass and energy in line with changes in reactor temperature and residence time, while the effect of the flow of gas nitrogen as a purge in the reactor results can be ignored. Mass yields reaches 78% and energy yields is 81%. The content of fixed carbon (FC) is higher and there is a decrease in the atomic ratio of O / C thus increasing the heating value of the torrefied. The highest calorific value of the torrefied was 5424.60 kcal / kg equivalent to subbituminous B coal at a temperature of 275°C.

Kata kunci: *Torrefaction, continuous reactor, design, performance, heat value*

Abstrak

Teknologi konversi sampah kota menjadi bahan bakar yang saat ini sedang dikembangkan adalah melalui proses torefaksi. Proses torefaksi sampah yang banyak dilakukan menggunakan jenis reaktor batch. Sementara untuk kebutuhan skala industri, torefaksi kontinu dipandang lebih menguntungkan karena proses umpan dan produk mengalir secara terus menerus. Jenis reaktor kontinu yang sedang dikembangkan adalah tipe tubular. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan membuat unit reaktor torefaksi kontinu yang mampu meningkatkan kualitas sifat-sifat sampah sebagai bahan bakar padat, terutama nilai kalornya. Beberapa tahapan yang dilalui pada penelitian ini diantaranya; perancangan, proses fabrikasi dan pengujian unjuk kerja reaktor. Parameter perancangan yang digunakan adalah massa jenis sampah (ρ) = 230 kg/m^3, kecepatan putaran (n) = 0,5 rpm, loading efficiency (φ) = 0.25, jarak pitch (S) = 0,5 D, temperatur reaktor (T_{in}) = 275°C, temperatur oli pemanas (T_{out}) = 311°C, waktu tinggal (Rt) = 30 menit. Sehingga menghasilkan reaktor dengan spesifikasi; dimensi reaktor, Dt_{in} = 203 mm, Dt_{out} = 254 mm Dscrew = 195 mm, jarak pitch (S) = 100 mm, panjang reaktor = 1600 mm kapasitas reaktor 5kg/jam. Bahan tabung reaktor menggunakan jenis carbon stell JIS G3116 SG 295, fluida pemanas menggunakan heat transfer oil tipe Calflo^{TM} AF, motor penggerak 2 HP dan 0,5 HP dilengkapi masing-masing gear reducer rasio 1:60. Ruang bakar menggunakan steel dan 2 unit burner dengan bahan bakar LPG. Hasil eksperimen unjuk kerja reaktor menunjukan bahwa reaktor mampu mencapai

temperatur maksimum 375°C selama durasi 175 menit. Pengujian menggunakan sampel sampah kota campuran berlangsung pada temperatur 225°C–325°C (steady state) dan waktu tinggal 30 menit. Produk torefaksi kemudian dikarakterisasi melalui uji proximate, ultimate dan nilai kalor. Hasil produk torefaksi menunjukan perubahan massa dan energi produk sejalan dengan perubahan temperatur reaktor dan waktu tinggal, sementara pengaruh aliran gas nitrogen sebagai purge didalam reaktor hasilnya dapat diabaikan. Perolehan massa mencapai 78% dan perolehan energi sebesar 81%. Kandungan fixed carbon (FC) semakin tinggi dan terjadi penurunan rasio atom O/C sehingga meningkatkan nilai kalor produk torefaksi. Nilai kalor produk torefaksi tertinggi 5424,60 kcal/kg setara dengan batubara subbituminus B pada temperatur 275°C.

Kata kunci: *Torefaksi, Reaktor Kontinu, Perancangan, Unjuk Kerja, Nilai Kalor*

PENDAHULUAN

Konsumsi energi final terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi, penduduk, harga energi dan kebijakan yang ditetapkan oleh pemerintah. Konsumsi energi final selama 2010-2015 meningkat dengan pertumbuhan 1,3% pertahun. Pada tahun 2015 pangsa terbesar energi final adalah sektor rumah tangga (31%), industri (29%), komersial (4%), dan lainnya (2%) [1]. Kebutuhan energi sektor industri diperkirakan tetap dominan dalam jangka panjang. Sebagai negera berkembang, Indonesia akan mengarah menjadi negara maju yang diindikasikan dengan dominasi sektor industri dalam menunjang perekonomiannya. Kondisi ini membuat kebutuhan energi yang cukup besar untuk sektor tersebut. Tingginya peningkatan kebutuhan energi ini perlu diantisipasi dengan menerapkan upaya konservasi energi disisi hulu yang didukung dengan penetapan kebijakan yang tepat dan dapat dilaksanakan.

Indonesia memiliki potensi sumber daya energi baru terbarukan (EBT) yang cukup besar dengan variasi yang beragam. Potensi energi terbarukan terbanyak adalah tenaga air dan biomassa. Adapun potensi sumber energi baru terbanyak adalah *shale gas* dan gas *methane* batubara [1]. Potensi energi terbarukan yang belum dimanfaatkan secara maksimal salah satunya adalah biomassa, seperti sampah kota. Perkiraan total produksi sampah kota di Indonesia adalah 45,5 juta ton pertahun yang umumnya mencakup sampah rumah tangga, sampah komersial, industri dan sampah diarea umum lainnya [2]. Dalam aplikasinya pemanfaatan sampah secara langsung sebagai bahan bakar memiliki banyak kendala, baik secara teknis maupun non teknis. Kendala teknis diantaranya kandungan air yang tinggi dan densitas energi yang rendah serta komponen yang heterogen dengan bentuk yang beragam. Sedangkan kendala non teknis diantaranya berbau busuk dan sumber penyakit. Berbagai kendala tersebut menyebabkan sampah masih belum banyak digunakan sebagai bahan bakar [3].

Pengolahan sampah kota memang menjadi isu terkini dalam pengembangan sumber energi berkelanjutan di Indonesia. Paradigma umum yang masih menjadi andalan dalam penyelesaian masalah sampah ini adalah melalui pemusnahan dengan *landfilling* di TPA yang berdampak serius terhadap kesehatan dan lingkungan. Oleh karena itu upaya yang signifikan telah dilakukan untuk memanfaatkan sampah kota sebagai sumber energi baru dan terbarukan. Salah satu teknologi yang saat ini sedang dikembangkan, untuk mengubah sampah menjadi bahan bakar padat yang berkualitas adalah melalui proses torefaksi. Tujuan utama torefaksi adalah untuk menghasilkan produk berupa material padat dengan densitas energi yang tinggi. Temperatur yang digunakan pada proses torefaksi relatif rendah yaitu antara 200°C – 300°C untuk waktu tinggal selama 30-60 menit dalam lingkungan *inert* pada tekanan atmosfir teknologi yang digunakan sederhana dan biaya investasi relatif rendah, namun mempunyai efisien konversi energi yang tinggi, yakni hingga 90% [4]. Sebagai akibat dari torefaksi, biomassa menunjukkan perilaku rapuh dan penurunan kekuatan mekanik sehingga menghilangkan masalah *grindability* miskin biomassa mentah. Selain itu, torefaksi meningkatkan hasil energi biomassa produk torefaksi karena peningkatan kandungan karbon. Karena sifat-sifat yang ditingkatkan ini, nilai dalam hal kandungan karbon dan nilai kalor dari biomassa yang dikeringkan sebagai bahan bakar secara signifikan lebih tinggi daripada biomassa mentah.

Proses torefaksi sampah yang banyak dilakukan sebelumnya menggunakan jenis reaktor *batch*. Sementara untuk kebutuhan skala industri, torefaksi kontinu dipandang lebih menguntungkan karena proses umpan dan produk mengalir secara terus menerus, biaya operasional dan investasi rendah serta pengendalian kondisi operasi yang lebih mudah. Salah satu jenis reaktor kontinu yang sedang dikembangkan untuk torefaksi sampah adalah tipe tubular dengan sistem pemanas *oil jacket*, yang

mampu meningkatkan kulitas sifat-sifat sampah sebagai bahan bakar padat ramah lingkungan, sehingga dapat menjadi alternatif di dalam mewujudkan sumber energi terbarukan dan diharapkan dapat menjadi model pengembangan sistem torefaksi skala besar. Penelitian ini memuat tentang kegiatan perancangan dan fabrikasi sekaligus analisis unjuk kerja reaktor torefaksi kontinu tipe tubular dengan sistem pemanas *oil jacket*.

Reaktor kontinu berbentuk tabung dengan dua dinding tetap dan yang bergerak adalah material di dalam reaktor tersebut dengan sistem *screw conveyor* [5]. Reaktor dirancang menggunakan pemanas jenis *heat transfer oil* tipe *Calflo*^{TM} *AF* yang ditempatkan antara dinding luar tabung reaktor dan dinding dalam. *Heat transfer oil* dipanaskan dengan nyala api burner, kemudian panas yang dihasilkan diteruskan pada dinding dalam reaktor dan dikontrol sampai dengan variasi temperatur proses torefaksi yang telah ditentukan.

Untuk menjadi sebuah produk torefaksi biomassa mengalami beberapa pemanasan yang bertahap. Pemanasan dalam proses torefaksi ini berhubungan dengan perubahan massa, suhu dan konsumsi energi dari biomassa pada proses torefaksi. Tahap pertama adalah pemanasan awal *(predrying)* yang bertujuan untuk menghilangkan kadar air pada permukaan biomassa. Proses ini ditandai dari perubahan temperature kamar menuju suhu pengeringan (□100°C). Dilanjutkan dengan tahap pengeringan *(drying)* air akan lepas dari ikatan dengan reaksi kimia *(inherent moisture)*. Air tersebut diperoleh dari proses temokondensasi pada temperature 160°C. Setelah mengalami pengeringan biomassa dipanaskan lebih lanjut *(postdrying)* sampai dengan temperature 200°C sebelum tahap torefaksi. Selama proses ini semua unsur kelembapan senyawa organik telah hilang dari biomassa [6].

Reaksi eksotermik akan terjadi pada temperature 180°C-270°C dan hemiselulosa mulai terdekomposisi. Proses dekomposisi ini akan menyebabkan perubahan warna biomasa, lepasnya air, CO_2, asam asetat, fenol, dan *volatile matter* lainnya. Pada temperatur diatas 280°C produksi CO_2, asam asetat, fenol dan hidrokarbon akan meningkat, keseluruhan proses akan menjadi eksotermik. Pada akhir proses torefaksi akan terbentuk padatan yang memiliki struktur polimer yang lebih pendek dan lebih sederhana dibandingkan sebelum ditorefaksi. Produk dari hasil torefaksi yang keluar memiliki suhu tinggi sehingga dikhawatirkan akan terjadi oksidasi setelah berkontak dengan udara untuk itu diperlukan proses terakhir yakni tahap pendinginan [4]. Proses dekomposisi zat-zat volatil dan karbon terbesar pada biomassa diperoleh pada tingkat temperatur yang berbeda. Hemisellulosa : 225-300°C, Selulosa : 305-375°C dan lignin 250-500°C [7].

METODOLOGI

Substansi dari penelitian ini adalah melakukan perancangan dan fabrikasi unit reaktor torefaksi kontinu tipe tubular dengan sistem pemanas *oil jacket* skala laboratorium kemudian dilakukan pengujian terhadap reaktor tersebut meliputi uji fungsional dan uji kinerja untuk mengukur sejauh mana reaktor mampu menghasilkan produk berupa bahan bakar padat *(solid fuel)* dari sampah biomassa.

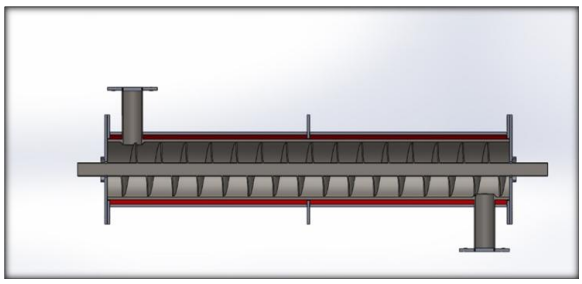
1. Perancangan Reaktor

Dalam proses perancangan alat dilakukan tiga tahap pekerjaan yakni: menghitung dimensi reaktor, membuat desain reaktor dan mensimulasi perpindahan panas yang terjadi di dalam reaktor. Kegiatan perancangan ini merupakan pengembangan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh M. Faris (2017) [8]. dengan memodifikasi beberapa bagian. Data rancangan yang diperoleh antara lain: diameter *screw (Ds)*, jarak *pitch (S)*, diameter tabung *(Dt)*, laju sembur *(v)* dan panjang reaktor *(L)* seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data parameter perancangan reaktor

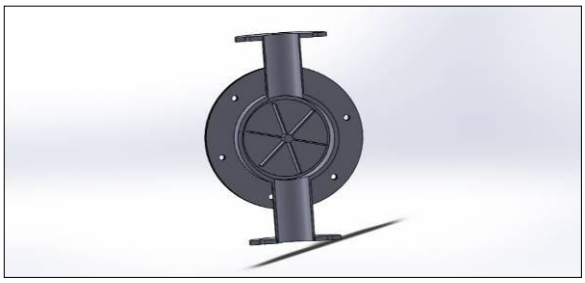
Parameter Desain	Nilai
Loading Efficiency (φ)	0.25
Massa jenis sampah *(ρ)*	230 kg/m^3
Factor Koreksi (c)	1
Waktu tinggal (Rt)	30-40 mnt.
Jarak *pitch screw*	100 mm
Jarak tabung dan screw	8 mm
Kecepatan putar (n)	0.5 rpm
Kapasitas maksimum (Q)	5 kg/jam

Setelah data dimensi reaktor diperoleh langkah selanjutnya adalah mendesain assembling reaktor torefaksi.



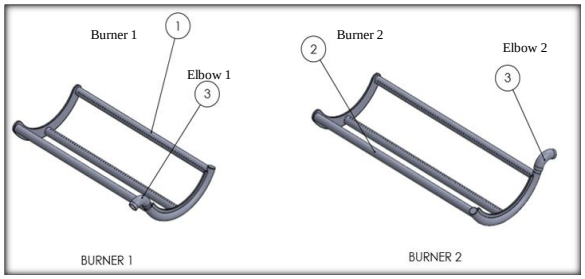
Gambar 1. Tabung dan *Screw* reaktor

Tabung dan *screw* reaktor merupakan komponen utama reaktor torefaksi kontinu tipe tubular yang menjadi tempat berlangsungnya proses torefaksi.



Gambar 2. *Air Lock Rotary Valve*

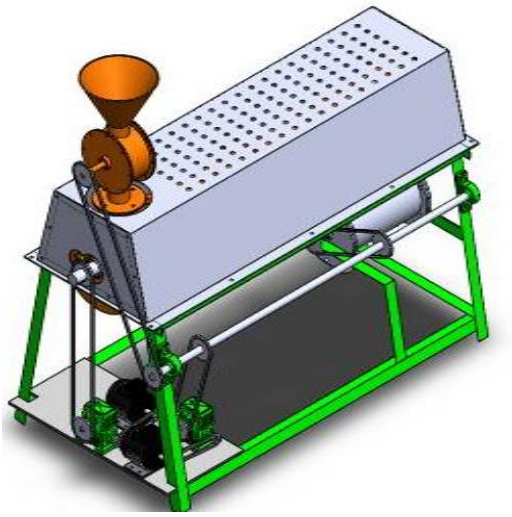
Air lock rotary valve berfungsi sebagai sistem pengunci udara sehingga oksigen tidak masuk kedalam ruang reaktor.



Gambar 3. *Burner*

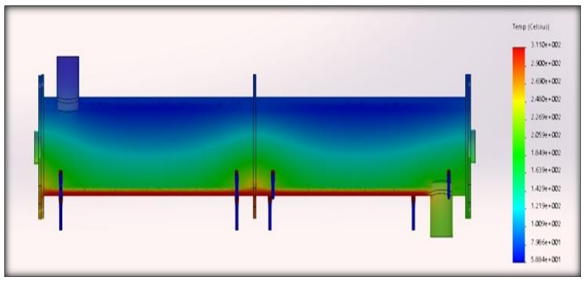
Burner berfungsi sebagai ruang pembakaran bahan bakar LPG. Nyala api burner digunakan sebagai pemanas oli yang berada di dalam tabung reaktor.

Desain assembling kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan sehingga rancangan reaktor lengkap. Seperti ditunjukan pada Gambar 4.



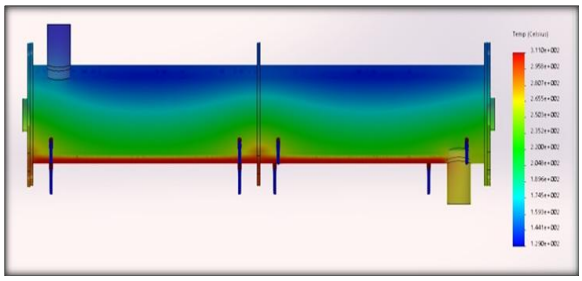
Gambar 4. Rancangan reaktor torefaksi Kontinu tipe tubular dengan pemanas oli

Pekerjaan selanjutnya adalah melakukan simulasi perpindahan panas reaktor dengan tujuan utuk memverfikasi temperatur input, sehingga temperatur dalam reaktor dapat terpenuhi untuk proses torefaksi.



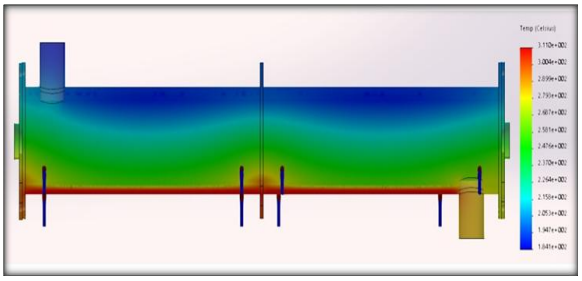
Gambar 6. Simulasi profil temperatur dengan waktu trensient 30 menit

Pada simulasi selama waktu trensient 30 menit temperatur reaktor sebesar 200°C, seperti ditunjukan Gambar 6. mununjukan adanya peningkatan temperatur ruang reaktor terhadap temperatur lingkungan



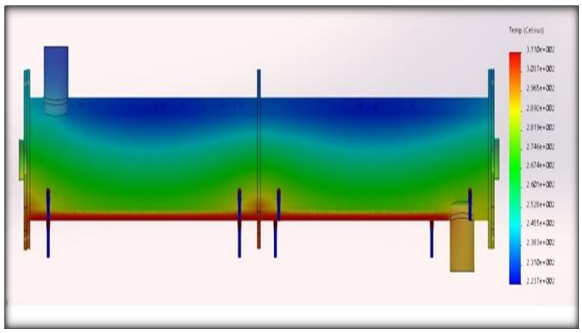
Gambar 7. Simulasi profil temperatur dengan waktu trensient 60 menit

Pada simulasi dengan waktu trensient 60 menit temperatur dalam reaktor diperoleh sebesar 235°C, terjadi peningkatan temperature namun belum mencukupi untuk proses torefaksi.



Gambar 8. Simulasi profil temperatur dengan waktu trensient 90 menit

Selanjutnya melakukan simulasi dengan waktu transient 90 menit, diperoleh temperatur dalam reaktor sebesar 260 °C.



Gambar 9. Simulasi profil temperatur dengan waktu trensient 120 menit

Terakhir melakukan simulasi dengan waktu trensient 120 menit, maka temperatur dalam reaktor sebesar 275°C. Hasil ini telah memenuhi temperatur untuk proses torefaksi. Dari hasil simulasi ini diperoleh pula temperatur luar atau temperatur oli pemanas sebesar 311°C.

2. Fabrikasi Reaktor

Proses pembuatan dilakukan dengan proses permesinan melalui pemotongan dan menggunakan mesin perkakas. Pembuatan reaktor diawali dengan membuat tabung reaktor dan *screw conveyor*. Tabung reaktor terbuat dari bahan *carbon steel* JIS G3116 SG 295 baja jenis ini termasuk dalam klasifikasi baja karbon rendah aplikasinya banyak digunakan untuk tabung gas, memiliki butiran dan sifat mekanik yang baik sehingga mampu menhantarkan panas pada reaktor. *Screw* reaktor terbuat dari beja pejal untuk poros dan pelat baja untuk ulir *screw* berfungsi untuk transfer material. Alat ini bekerja dengan berputar dalam suatu saluran berbentuk U*(through)* tanpa bersentuhan, sehingga ulir screw *(helical fin)* mendorong material ke *through. Screw* reaktor dibuat dengan ukuran panjang poros 1790 mm, diameter 195 mm, jumlah pitch 15 pitch dan jarak antar pitch 100 mm.

Gambar 10. Tabung dan *screw* reaktor

Proses selanjutnya adalah pembuatan *airlock rotary valve*. *Air lock rotary valve* mempunya fungsi sebagai katup masuk material sekaligus pengunci udara luar agar tidak masuk kedalam tabung reaktor. *Air lock rotary valve* dibuat menyatu dengan *hooper*, dibuat sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan.

Gambar 11. *Airlock rotary valve*

Proses selanjutnya adalah pembuatan *burner*. *Burner* terbuat dari pipa baja dengan diameter 1 in dan panjang 80 mm yang berpori dan diberi sirip pelindung untuk mengurangi kontak langsung dengan udara lingkungan.

Gambar 12. *Burner*

Proses selanjutnya adalah pembuatan *cooling char*. *Cooling char* terdiri dari tabung dan *screw* Tabung *cooling char* terbuat dari baja *seamless* dengan diamteter 152,40 mm dan panjang 370 mm. *Screw conveyor* pada *cooling char* berfungsi untuk mendorong material panas hasil proses torefaksi keluar melalui lubang *exhaust.*

Gambar 13. *Cooling Char*

Proses terakhir adalah pembuatan kerangka reaktor. Kerangka reaktor berfungsi sebagai dudukan untuk menopang tabung reaktor dan sebagai tempat dari komponen lain seperti *electromotor*, *gear box* dan *pulley*, seperti ditunjukkan pad Gambar 14.

Gambar 14. Kerangka Reaktor

3. Eksperimen Reaktor Torefaksi

Eksperimen reaktor torefaksi dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah uji fungsional, untuk mengetahui apakah setiap komponen dapat bekerja dengan baik. Tahap kedua adalah uji kinerja untuk mengetahui keberhasilan dari rancangan yang telah dilakukan.

Pada pengujian kinerja dilakukan dengan kondisi reaktor berjalan tanpa sampel (kondisi kosong) dan dengan menggunakan sampel sampah kota jenis biomassa. Sampel terdiri dari campuran daun, ranting, nasi, kulit jeruk dan kulit pisang dengan komposisi yang telah ditentukan. Model komposisi sampel ditunjukkan pada Tabel 2.

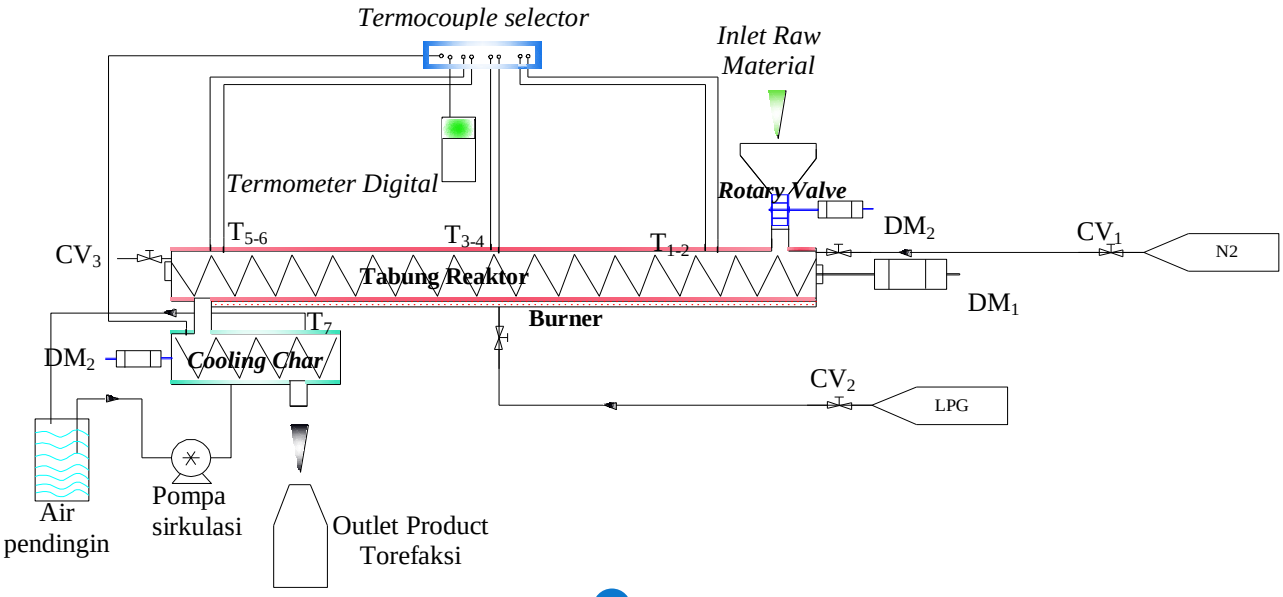
Sampel pengujian mewakili jenis sampah kota di kawasan umum. Daun mewakili komponen sampah yang berasal dari kelompok daun-daunan termasuk sisa makanan dari jenis sayur-sayuran. Ranting pohon mewakili komponen sampah yang mengandug sifat kayu-kayuan. Nasi mewakili sisa makanan yang berasal dari komponen makanan pokok. Sementara kulit pisang dan kulit jeruk mewakili komponen sampah dari kulit buah-buahan yang banyak dikonsumsi masyarakat.

Tabel 2. Komposisi sampel dari sampah kota

Jenis Sampah	Komposisi
Daun	46 %
Ranting	14 %
Nasi	19 %
Kulit Jeruk	10,5%
Kulit pisang	10,5%
Total	**100%**

Pada uji kinerja reaktor dalam kondisi kosong langkah pertama yang dilakukan adalah pemanasan awal, untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan reaktor mencapai temperatur proses yang ditentukan yakni 225°C- 325°C. Parameter yang diukur meliputi waktu pengujian, bukaan *control valve* LPG, temperatur reaktor dan temperatur oli pemanas pada ketiga titik *thermocouple* yang dipasang pada posisi masuk, tengah dan keluar material.

Pada uji kinerja reaktor dengan sampel sampah kota mekanisme pengujiannya sebagai berikut: mulanya reaktor dilakukan pemanasan awal sampai kondisi *steady state* sesuai temperatur proses yang ditentukan.Sampah umpan 1 kg yang telah dicacah ± 1 cm dan dikeringkan dengan kadar air ± 8 % dimasukan melalui *feeding hooper* secara perlahan, sekaligus membuka katup nitrogen. Material sampah dibawa melalui *screw* selama waktu tinggal 30 menit, kemudian masuk ke dalam *cooling char* untuk didinginkan, material keluar melalui *exhaust line* dalam bentuk arang. Arang kemudian ditimbang dan ditempatkan dalam wadah kedap udara untuk selanjutnya dilakukan karakterisasi melalui uji nilai kalor, *proximate*, *ultimate*. Skema proses torefaksi ditunjukan pada Gambar 15.



Gambar 15. Skema proses pengujian reaktor torefaksi kontinu tipe tubular dengan pemanas *oil jacket*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Reaktor torefaksi yang dirancang memiliki 5 sistem utama yaitu reaktor sebagai tempat berlangsungnya proses torefaksi, sistem penggerak, media pemanas, sistem pembakaran dan sistem kontrol temperatur.

Gambar 16. Reaktor torefaksi kontinu

Tabel 3. Spesifikasi Teknis Reaktor

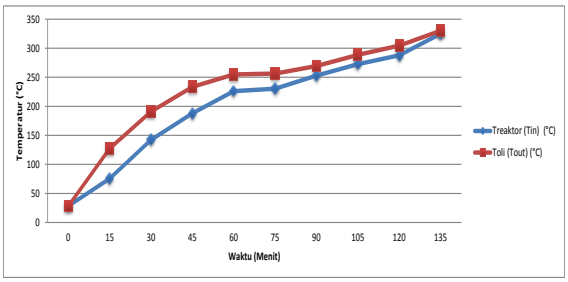
Komponen	Hasil
Reaktor	
Diameter *screw*	195 mm
Diameter tabung dalam	203.2 mm
Diameter tabung luar	254 mm
Panjang reaktor	1600 mm
Jarak *pitch screw*	100 mm
Diameter poros	50 mm
Kecepatan putar	0.5 rpm
Kapasitas maksimum	5 kg/jam
Sistem Penggerak	
Eletromotor	2 Hp & 0.5 HP
Gear Reducer	2 unit (1: 60)
Medium Pemanas	
Heat transfer oil	Calflo^{TM} AF
T. Max	375°C
Sistem Pembakaran	
Burner	2 unit
Bahan bakar	LPG
Sistem Kontrol Temp.	
Sensor Temperatur	Termocouple K
Metode Kontrol	*On-Off*

1. Uji Kinerja Temperatur Reaktor

Pada uji kinerja temperatur reaktor, langkah pertama yang dilakukan adalah pemanasan awal *(initial heating)* reaktor dalam kondisi kosong, hal ini untuk mengetahui waktu trensient yang dibutuhkan reaktor untuk mencapai temperatur proses torefaksi yang telah ditentukan yakni 225°C- 325°C. Pada proses torefaksi, menjaga temperatur konstan merupakan faktor terpenting oleh karena itu temperatur perlu diperhatikan.

Hasil pengujian diperoleh indikasi awal bahwa selama waktu pemanasan, terlihat kecenderungan semakin tinggi temperatur oli maka selisih temperatur oli (T_{out}) dengan dinding reaktor dalam (T_{in}) semakin kecil. Pemanasan yang kontinu dari burner menyebabkan meningkatnya temperatur oli, yang secara langsung membuat temperatur reaktor juga meningkat. Selama waktu pemanasan 75 menit, beda temperatur dinding luar dan dalam reaktor (ΔT) cukup tinggi namun terus menurun dan mendekati nol sampai dengan temperatur 325°C selama durasi 135 menit. Hal ini membuktikan bahwa perpindahan panas yang terjadi pada permukaan dinding reaktor semakin besar. Penurunan densitas oli akibat peningkatan temperatur menyebabkan difusivitas termal semakin meningkat, sehingga semakin cepat penjalaran panas ke dinding dalam reaktor. Pada pemanasan awal ini maksimum temperatur dalam reaktor dibatasi sampai dengan temperatur ± 325 °C, karena *range* temperatur yang akan digunakan selama proses torefaksi menggunakan material sampah biomassa adalah 225°C-325°C proses tanpa oksigen pada tekanan atm.

Proses torefaksi yang lebih dari temperatur maksimal tersebut akan menyebabkan dekomposisi zat-zat volatil dan karbon yang besar, juga kehilangan lignin pada biomassa yang tinggi. Sehingga kerugian tersebut dapat menyebabkan produk hasil torefaksi kurang baik, terlalu rapuh dan sulit untuk dibentuk. Selain itu temperatur yang terlalu tinggi juga membuat hancur kandungan selulosa menyebabkan pembentukan tar pada temperatur > 325°C. Ini alasan menentukan batas maksimum temperatur torefaksi pada pengujian ini adalah 325°C.

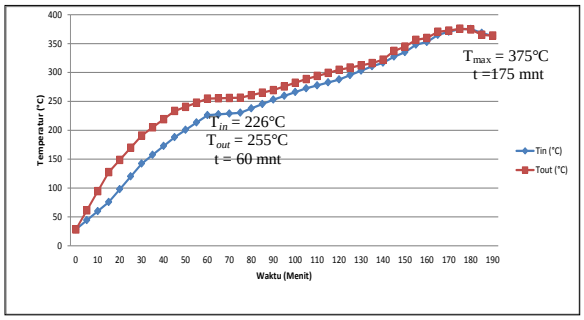


Gambar 17. Grafik laju kenaikan temperatur dinding dalam reaktor (T_{in}) dan oli pemanas (T_{out})

Namun dilihat dari Gambar 17. ada kecenderungan temperatur reaktor dan oli terus meningkat sampai pada titik dimana terjadi kondisi isotermal.

Gambar 18. menunjukan bahwa temperatur oli dan reaktor berbeda secara konsisten selama waktu pengujian 190 menit. Pada waktu trensient 60 menit T*in* sebesar 226°C dan T*out* sebesar 255°C dan seterusnya menunjukkan selisih temperatur dalam

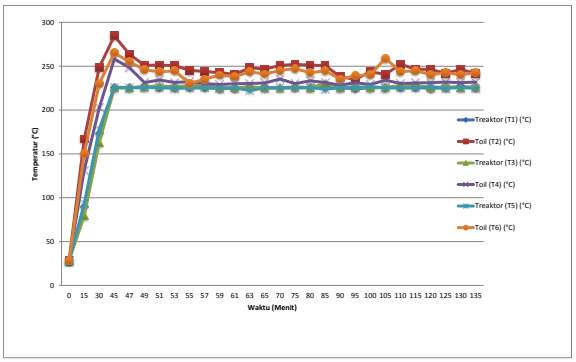
dan luar semakin kecil. Temperatur *steady state* secara alami diperoleh dalam waktu 175 menit, dimana T*in* sama dengan T*out* sebesar 375°C, kemudian temperatur keduanya mengalami penurunan secara perlahan, hal ini disebabkan karena oli pemanas sudah mencapai temperatur kritis, sehingga temperatur yang dihasilkan sudah mencapai kondisi maksimal.



Gambar 18. Grafik temperatur maksimum reaktor

Setelah proses pemanasan awal, eksperimen selanjutnya adalah uji kinerja temperatur reaktor mengunakan sampel sampah biomassa campuran yang terdiri dari komposisi daun, ranting, nasi, kulit jeruk dan kulit pisang. Pengujian ini dilakukan pada temperatur proses 225°C, 250°C, 275°C, 300°C, 325°C, waktu tinggal selama 30 menit dan waktu pendinginan selama 10-20 menit, dengan massa sampel umpan adalah 1 Kg.

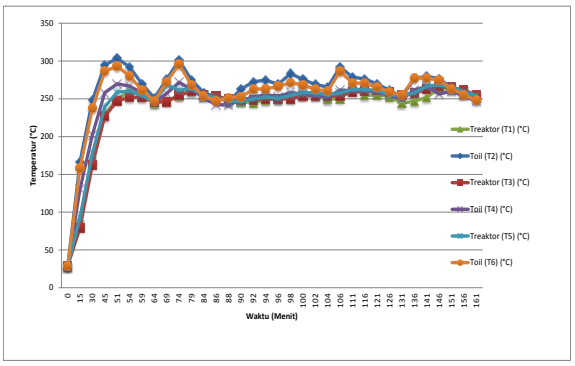
Pada pengujian awal menggunakan sampah biomassa proses torefaksi berlangsung pada temperatur 225°C. Gambar 19. menunjukan profil temperatur yang terjadi di ruang reaktor dan oli pemanas. Temperatur pemanasan awal sampai dengan temperatur reaktor mencapai 225°C berlangsung dalam waktu 45 menit dengan bukaan *control valve* sebesar 200° sampai dengan 220°, selanjutnya gas nitrogen diinjeksikan ke dalam reaktor, dan temperatur reaktor dijaga dalam kondisi *steady state* selama 50 menit, setelah temperatur reaktor mampu mempertahankan kondisi *steady state* kemudian sampah umpan sebanyak 1 kg dimasukan melalui *feeding hooper* dan sekaligus menghitung waktu proses torefaksi sampah mulai masuk sampai dengan sampah mulai keluar dari reaktor, dan dari hasil pengujian tercatat bahwa sampah mulai keluar dimenit ke 135 atau dengan waktu tinggal sampah didalam ruang reaktor adalah selama 45 menit dengan ± 30 menit waktu untuk proses torefaksi di ruang reaktor dan ± 10 menit waktu pendinginan di dalam *cooling char.*



Gambar 19. Grafik proses torefakasi pada temperatur 225°C

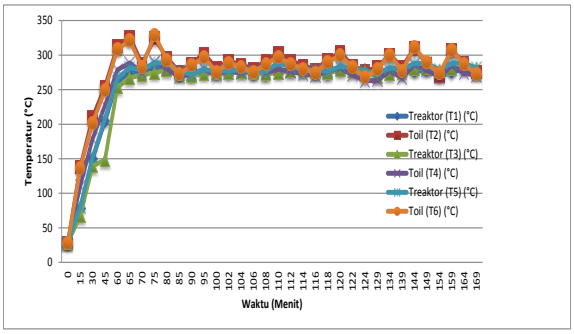
Pada proses torefaksi temperatur rendah ini, profil temperatur ruang reaktor seragam dan relatif *steady* di ketiga titik (T_1, T_3, T_5) ditemperatur ± 225°C, sementara untuk temperatur selimut oli secara keseluruhan juga menunjukan keseragaman dengan rata-rata temperatur ditiga titik (T_2,T_4,T_6) sekitar ± 240°C.

Pada Gambar. 20 menunjukan proses torefaksi pada temperatur 250°C dengan range bukaan *control valve* 200° sampai dengan 220°, dimana temperatur pemanasan awal sampai dengan temperatur reaktor mencapai 250°C berlangsung dalam waktu 51 menit, selanjutnya gas nitrogen diinjeksikan kedalam reaktor, kemudian temperatur reaktor dijaga dalam kondisi *steady state* selama 50 menit, setelah temperatur reaktor mampu mempertahankan kondisi *steady* kemudian sampah umpan sebanyak 1 kg dimasukan melalui *feeding hooper* dan sekaligus menghitung waktu proses torefaksi sampah mulai masuk sampai dengan sampah mulai keluar dari reaktor, dan dari hasil pengujian tercatat bahwa sampah mulai keluar dimenit ke 161 atau dengan waktu tinggal sampah didalam ruang reaktor adalah selama 45 menit dengan ± 30 menit waktu untuk proses torefaksi di ruang reaktor dan ± 15 menit waktu pendinginan di dalam *cooling char.*

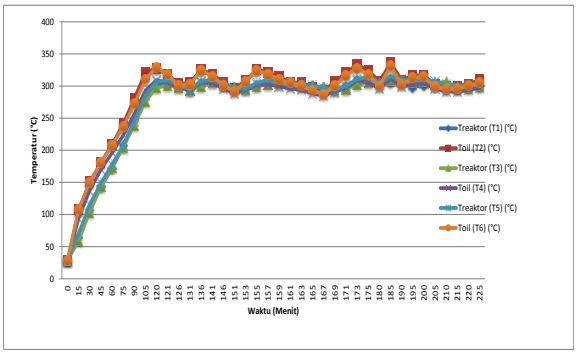


Gambar 20. Grafik proses torefaksi pada temperatur 250°C

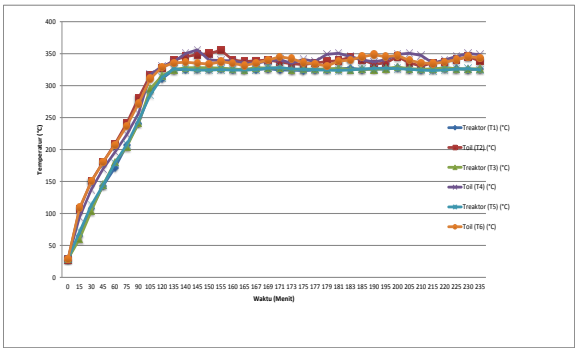
Dalam unjuk kerjanya, temperatur di ketiga posisi reaktor yakni bagian masuk material (T_1,T_2) bagian tengah (T_3, T_4) dan bagian keluar material (T_5,T_6) menunjukan keseragaman dalam kondisi *steady*. Walaupun T_1 dan T_2 merupakan awal pintu masuk material, namun tidak menunjukan penurunan temperatur yang signifikan akibat penyerapan panas oleh material sampah, karena kontrol temperatur reaktor dapat dikendalikan dengan mengatur nyala api burner dengan cara mengatur aliran bahan bakar lpg dengan sudut putar *control valve* 200° sampai 220°. Dengan metode pengujian yang sama juga diperoleh hasil pengujian pada temperatur berturut-turut 275°C, 300°C, 325°C seperti ditunjukan pada Gambar 21, Gambar 22 dan Gambar 23



Gambar 21. Grafik proses torefaksi pada temperatur 275°C



Gambar 22. Grafik proses torefaksi pada temperatur 300°C



Gambar 23. Grafik proses torefaksi pada temperatur 325°C

Pada hasil pengujian yang terakhir yakni temperatur 325°C, terjadi fenomena keluarnya cairan tar di beberapa titik diantaranya saluran pembuangan gas *methane*, *bearing poros screw conveyor* dan saluran keluar produk hasil torefaksi. Kemungkinan hal ini dipengaruhi akibat temperatur proses yang tinggi, yang mengakibatkan tidak hanya kandungan hemiselulosa yang terdekomposisi, namun ada sebagian kandungan selulosa yang terdekompisisi.

2. Uji Kinerja Waktu Tinggal Reaktor

Waktu tingggal sampah biomassa didalam ruang reaktor, berpengaruh terhadap degradasi termal dari biomassa. Waktu tinggal yang lebih lama membuat *massa yield* yang lebih rendah namun memberikan densitas energi yang lebih tinggi. Terlepas dari itu, waktu tinggal dalam proses torefaksi tidak terlalu dominan dibandingkan dengan temperatur torefaksi. Reaktor kontinu tipe tubular hasil pembuatan dan digunakan sebagai alat pengujian dirancang untuk waktu tingggal selama 30 menit. Pada Tabel 4. tersaji rangkuman waktu tinggal pada proses torefaksi.

Tabel 4. Waktu tinggal masing-masing temperatur

Temperatur (°C)	*Initial Heating* (min)	*Residence Time* (min)	*Cooling Time* (min)	Waktu Proses Total (min)
225	95	30	10	135
250	101	30	15	146
275	115	30	15	160
300	170	30	20	220
325	185	30	20	235
Rata-Rata	**132**	**30**	**16**	**179**

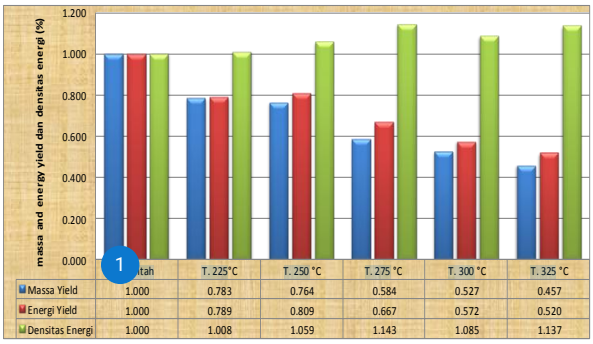
3. Perolehan Massa dan Energi Produk Torefaksi

Hasil pengujian telah menunjukan prediksi perubahan produk torefaksi dengan berubahnya temperatur torefaksi selama waktu tinggal 30 menit. Dengan kondisi parameter proses yang divariasikan dalam penelitian ini, perubahan yang paling mudah diamati adalah variasi dalam temperatur reaktor, kenaikan temperatur reaktor menurunkan hasil produk padatan. Efek tersebut konsisten dengan teori bahwa meningkatnya baik temperatur maupun waktu tinggal dari proses torefaksi akan menyebabkan devolatilisasi produk padatan yang lebih ekstensif dan dengan demikian menghasilkan produk padatan yang rendah.

Gambar 24. Perubahan warna *char* hasil torefaksi

Laju aliran nitrogen dalam muatan sampah biomassa pada reaktor tidak memiliki dampak signifikan terhadap hasil produk sehingga pengaruhnya dapat diabaikan. Proses torefaksi merubah sifat fisik sampah, jika dilihat dari warnanya, sampah biomassa hasil torefaksi berubah warnanya menjadi kehitaman, seperti arang. Perubahan yang lain yang terlihat dalam kekerasan dan keuletan, sampah hasil torefakasi mejadi lebih lunak dan getas.

Hasil perolehan massa *(mass yield)* dan energi *(energy yield)* untuk torefaksi sampah kondisi kering dapat dilihat pada Gambar 25.

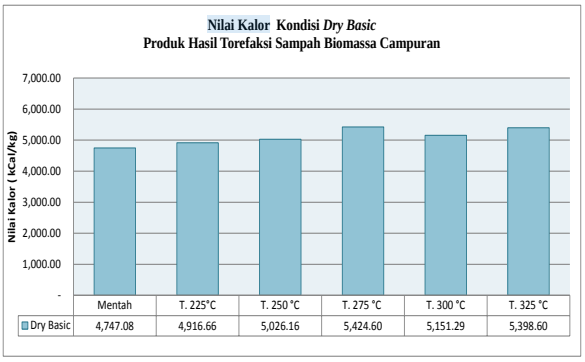


Gambar 25. Grafik perolehan massa dan energi

Gambar 25. menunjukan bahwa kandungan energi yang tersimpan dalam produk torefaksi masih tersisa sekitar 52% sampai 81% dan perolehan massanya sebesar 46% sampai 78%. Semakin tinggi temperatur proses torefaksi perolehan massa produk torefaksi semakin kecil. Penyebab utama penurunan massa ini adalah terdekomposisinya fraksi hemiselulosa. Hal ini sesuai dengan teori yang mengatakan bahwa telah terjadi reaksi eksotermik pada temparatur 225°C sampai 325°C [9]. sehingga unsur kelembapan dan senyawa organik telah hilang dari biomassa, hemiselulosa dan sebagian selulosa mulai terdekomposisi. Dekomposisi hemiselulosa melepaskan uap air, gas CO dan CO_2 serta berbagai jenis zat terbang yang memilki nilai kalor rendah. Namun demikian, meskipun selama proses torefaksi kandungan sampah produk torefaksi kehilangan massa cukup besar, namun kandungan energinya tidak banyak berkurang [7].

4. Uji Karakterisasi Produk Torefaksi

Uji karakterisasi produk meliputi nilai kalor, uji *proximate* dan *ultimate*. Berdasarkan hasil uji nilai kalor produk torefaksi diperoleh hasil bervariasi antara 4747.08 kcal/kg sampai dengan 5424.60 kcal/kg.

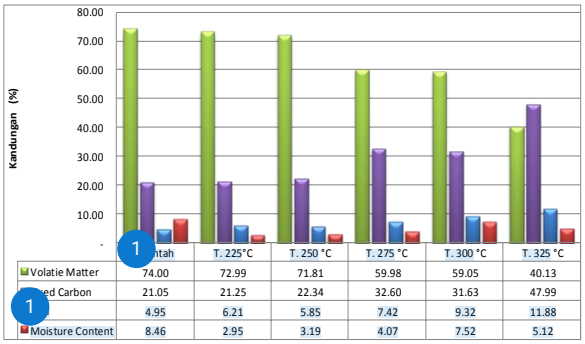


Gambar 26. Grafik Nilai Kalor produk torefaksi

Gambar 26. menunjukan hasil pengujian terlihat bahwa produk torefaksi sampah biomassa campuran mengahasilkan nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan sampah mentah. Nilai kalor tertinggi terjadi pada temperatur proses 275°C yakni sebesar 5.424,60 kcal/kg, namun pada temperatur 300°C dan 325°C hasil pengujian menunjukan nilai kalor yang lebih rendah. Hemiselulosa sampah terdekomposisi dalam jumlah yang besar pada temperatur torefaksi 225°C hingga 275°C. Hal ini dapat diindikasi dengan melihat selisih nilai kalor yang besar dari kedua temperatur tersebut.

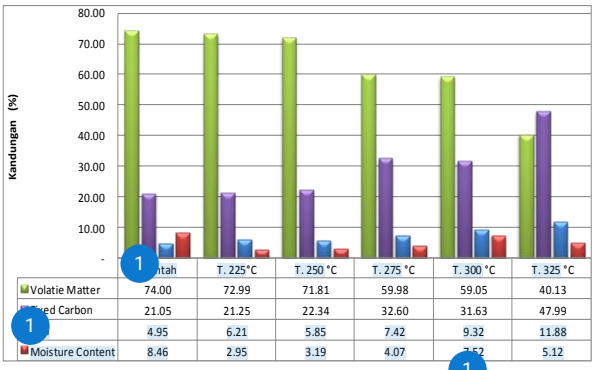
Namun demikian terjadi penyimpangan pada produk torefaksi temperatur 300°C dan 325°C. Pada temperatur tersebut, terjadi penurunan nilai kalor pembakaran produk torefaksi. Padahal secara teori bahwa pada temperatur tersebut dimulainya dekomposisi selulosa. Kondisi ini kemungkinan disebabkan karena sampel yang digunakan mengandung air yang terbentuk akibat produk hasil torefaksi dilakukan pendinginan terlebih dahulu di ruang *cooling char* sebelum produk keluar melalui saluran keluar reaktor, diruang pendinginan tersebut terjadi proses kondensasi akibat uap panas dari produk torefaksi didinginkan secara paksa menggunakan aliran air pendingin yang bersirkulasi di ruang *cooling char* yang membuat uap panas

produk torefaksi berubah fasa menjadi cair yang bersenyawa dengan produk padatan hasil torefaksi, sehingga kondisi tersebut dimungkinkan membuat nilai kalor pada temperatur 300°C dan 325°C menurun, mengingat temperatur uap panas tersebut merupakan yang tertinggi diantara temperatur proses yang lain.



Gambar 27. Grafik hasil uji *proximate* produk torefaksi

Gambar 27. menunjukan hasil uji *proximate* pada basis kering dengan metode pengujian ASTM D 1762-84. Hasil yang diperoleh menunjukan bahwa kandungan komponen sampah didominasi oleh *volatile matter* (VM) dan *Fixed Carbon* (FC). Komponen VM berpengaruh terhadap nilai kalor hasil pembakaran, namun tidak sebesar nilai kalor yang dihasilkan oleh FC. Semakin tinggi kandungan FC semakin meningkatkan nilai kalor bahan bakar. Kandungan FC tertinggi pada temperature 325°C yakni sebesar 47,99% dan terendah pada sampel mentah sebesar 21,05%. Sedangkan fraksi massa zat volatil menurun dari 47,00% menjadi 40,13%. Kandungan air yang dimiliki komponen sampah hasil torefaksi cukup rendah yakni kurang dari 8%. Sementara hubungan yang kuat juga terlihat antara FC yang diukur dalam produk padatan dan hasil massa produk padat *(massa yield)* yang dicapai selama pengujian torefaksi. Pengujian sampel dengan temperatur proses torefaksi yang tinggi menyebabkan kandungan tinggi FC yang tinggi sebanding dengan kehilangan massa dan energi, namun menghasilkan densitas energi yang tinggi sehingga berpengaruh terhadap nilai kalor bahan bakar padat hasil torefaksi. Ketika sampel dibakar pada temperatur yang lebih tinggi, lebih banyak volatil dilepaskan dan diperoleh hasil massa yang rendah dalam bentuk padatan. Dengan demikian limbah padat biasanya mengandung lebih banyak abu dan FC tetapi kurang VM karena kehilangan massa selama proses torefaksi.



Gambar 28. Grafik hasil uji *ultimate* produk torefaksi.

Hasil uji *ultimate* pada basis kering menunjukan bahwa konsentrasi atom berturut-turut adalah C > O > H > N > S. Persentase berat konten C meningkat dengan peningkatan temperatur torefaksi. Sebaliknya, persentase berat H dan O menurun dengan konstan. Hal ini disebabkan oleh efek dehidrasi dan de-karbon dioksida yang terjadi selama proses torefaksi biomassa. Ketika temperatur torefaksi meningkat, diharapkan kandungan lebih banyak zat-zat volatil seperti karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O) dengan demikian menghasilkan penurunan kandungan H dan O. Sementara itu, kandungan N sedikit meningkat tetapi kandungan S tidak mengalami perubahan signifikan ketika suhu torefaksi meningkat.

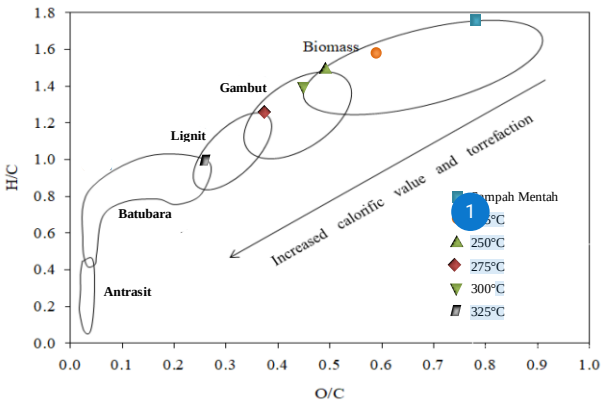
Kandungan kimia produk torefaksi dapat dilihat pada Gambar 28. Hasil pengujian menunjukan bahwa pengaruh kondisi operasi temperatur torefaksi terhadap kandungan atom dari sampah campuran biomassa sangat jelas terlihat. Sebagai contoh untuk kandungan *carbon* semakin tinggi temperatur sisa atom *carbon* semakin besar. Sampah mentah memiliki kandungan *carbon* sebesar 42.6%, setelah dilakukan proses torefaksi naik hingga komposisinya mencapai 54.94% seiring dengan naiknya temperatur proses. Sebaliknya kandungan oksigen yang tersimpan pada sampah mentah sebesar 44.78% setelah dilakukan proses torefaksi diperoleh residu oksigen turun hingga 27%. Seperti halnya dengan penurunan kandungan hidrogen dan sulfur. Kandungan unsur carbon sebanding dengan Nilai Kalor. Unsur C terdapat dalam *fixed carbon* dan *volatile matter*, sementara unsur H dan O berasal dari kandungan hidrokarbon dan air yang terdapat dalam produk torefaksi.

Perubahan rasio molar H/C dan rasio molar O/C pada temperatur torefaksi yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 5. Rasio molar H/C dan rasio molar O/C menunjukkan tren menurun untuk produk torefaksi.

Tabel. 5. Perbandingan O/C dan HC

	Sampah Mentah	T.225 °C	T. 250 °C	T. 275 °C	T. 300 °C	T. 325 °C
O/C (%)	0.78	0.63	0.56	0.45	0.53	0.36
H/C (%)	1.78	1.55	1.48	1.27	1.33	0.97

Ketika temperatur torefaksi ditingkatkan dari 225°C menjadi 325°C, hasil rasio molar H/C menurun dengan konstan dari 1.78 ke 1.55, 1.48, 1.27, 1.33 dan 0,97. Pada rentang suhu yang sama, kandungan oksigen pada sampah produk torefaksi lebih sedikit dari sampah mentah, sehingga rasio O/C sampah hasil torefaksi menurun. Rasio molar O/C menurun dari 0.78 ke 0.63, 0.56, 0.45, 0.53 dan 0.36. Selama torefaksi, karena suhu meningkat, persentase berat konten C meningkat tetapi persentase berat H dan O menurun yang menjelaskan penurunan rasio H/C dan O/C. Selain itu, rasio O/C yang lebih rendah biasanya menguntungkan karena nilai kalor cenderung meningkat. Penurunan O/C sekaligus H/C ini akan meningkatkan kualitas bahan bakar. Peningkatan kualitas yang diperoleh cukup signifikan, dimana bahan bakar padat produk torefaksi sampah biomassa campuran yang mewakili sampah kota mendekati batubara.



Gambar 29. Plot posisi bahan bakar produk torefaksi dengan Diagram Van Krevelen

KESIMPULAN

Hasil pengujian torefaksi menggunakan jenis reaktor torefaksi kontinu tipe tubular dengan sistem pemanas *heat transfer oil* dapat diterapkan dan lebih menguntungkan digunakan untuk memproduksi bahan bakar padat karena proses umpan dan produk mengalir secara terus menerus.

Dari penelitian ini, analisis akhir menunjukan bahwa pengaruh terhadap perubahan fisik sampah produk torefaksi secara visual berbada, semakin tinggi temperatur, warna produk torefaksi semakin kehitaman dan tingkat keuletan produk semakin getas atau rapuh. Persentase berat isi C dalam produk torefaksi meningkat tetapi persentase berat kandungan H dan O menunjukkan tren sebaliknya. Hal ini menghasilkan kecenderungan penurunan rasio molar H/C dan O/C untuk produk torefaksi. Analisis proksimat menunjukkan pola menurun untuk abu dan FC tetapi HHV cenderung meningkat ketika temperatur torefaksi meningkat. Bahan bakar padat hasil torefaksi mempunyai karakteristik nilai kalor yang lebih tinggi dari bahan baku yakni sebesar 5424,60 kcal/kg pada temperatur 275°C setara dengan batubara subbituminus B. Analisis yang lain menunjukan bahwa hasil massa dan energi menurun dengan peningkatan suhu torefaksi baik untuk produk torefaksi. Hasil perolehan massa mencapai 78% dan energi yang terkandung dalam produk torefaksi sebesar 81%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dosen Pembimbing beserta rekan-rekan mahasiswa Pasca Sarjana Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung sehingga terlaksananya penelitian ini dengan baik.

[1] BPPT. 2017. *Outlook Energy Indonesia 2017;Inisiatif Pengembangan Teknologi Bersih. Jakarta*.

.[2] Statistik Lingkungan Hidup Indonesia (SLHI). 2016. ISSN 0216-6224, BPS. Jakarta

[3] Amrul. Hardianto, Toto., Suwono, Aryadi., Pasek, Darmawan. 2011. *Balance Energi pada Proses Torefaksi Sampah Kota Menjadi Bahan Bakar Padat Ramah Lingkungan Setara Batubara untuk Memperhitungkan Tingkat Kelayakannya*. Prosiding Optimalisasi Peran Teknik Mesin Dalam Meningkatkan Ketahanan Energi Seminar Nasional Teknik Mesin X Universitas Brawijaya. ISBN 978-602-19028-0-6.

[4] Amrul. 2014. *Pemanfaatan Sampah Menjadi Bahan Bakar Padat Setara Batubara Melalui Proses Torefaksi*. Disertasi Institut Teknologi Bandung. Bandung.

[5] Nachenius, Wardt, Ronsse, Prins, 2015. *Torrefaction of Pine in a Bench-Scale Screw Conveyor Reaktor*. Elsevier. Biomassa and Bioenergi xxx (2015) 1-9

[6] Basu Pabir. 2013. *Biomass Gasification, Pyrolysis, and Torrefaction: Practical Design and Theory, Second Edition. Elsevier*, Oxford, UK.

[7] Basu Pabir dan Dhungana A. 2013. *An Investigation Into the Effect of Biomass Particle*

Size on its Torrefaction. Chem. Eng.

[8] Faris Muhammad 2017. *Perancangan dan Simulasi Termal Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Tubular Untuk Produksi Bahan Bakar Padat Dari Sampah Kota*. Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Bandar Lampung.

[9] Chen, Dezhen., Lijie, Yin., Huan, Wang., Pinjing,He. 2014. *Pyrolysis Technologies for Municipal Solid Waste: A Review.* Waste Management.

24% Overall Similarity

Top sources found in the following databases:

- 24% Internet database
- 2% Publications database
- Crossref database
- Crossref Posted Content database

TOP SOURCES

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	prosiding.bkstm.org Internet	16%
2	researchgate.net Internet	3%
3	adoc.pub Internet	3%
4	issuu.com Internet	2%
5	mesin.itb.ac.id Internet	<1%

Excluded from Similarity Report

- Submitted Works database
- Quoted material
- Small Matches (Less then 8 words)
- Manually excluded text blocks
- Bibliographic material
- Cited material
- Manually excluded sources

EXCLUDED SOURCES

journal.eng.unila.ac.id Internet	84%
Agus Apriyanto, Amrul Hamzah, Amrizal Nafis. "Rancang Bangun dan Analsis ... Crossref	83%
jurnal.saburai.id Internet	37%
digilib.unila.ac.id Internet	26%
repository.lppm.unila.ac.id Internet	16%
garuda.kemdikbud.go.id Internet	6%
garuda.ristekbrin.go.id Internet	6%
saburai.id Internet	3%
jurnal.saburai.ac.id Internet	2%

slideshare.net

Internet

<1%

EXCLUDED TEXT BLOCKS

kota diIndonesia adalah 45,5 juta ton pertahun yangumumnya mencakup sampah r...

jurnal.saburai.id

Rancang Bangun dan Analisis Unjuk Kerja Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Tubular...

digilib.unila.ac.id

kcal / kgequivalent to subbituminous B coal at

repository.lppm.unila.ac.id

ρ) = 230 kg / m3

garuda.kemdikbud.go.id

Teknologi konversi sampah kota menjadi bahan bakar yang saat ini sedang dikem...

jurnal.saburai.ac.id

Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sang Bumi Ruwa JuraiJl. Imam Bonjol N...

ejurnalmalahayati.ac.id

UCAPAN TERIMA KASIHPenulis mengucapkan terima kasih kepada

media.neliti.com

Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas LampungJl. Sumantri Brojonegoro No. 1...

pasca.unila.ac.id

untuk mengetahui keberhasilan dari

es.scribd.com

pada Tabel 1.Tabel 1

docplayer.info

that is able to improve the quality of

repository.amikom.ac.id

prosesumpan dan produk mengalir secara terus menerus

id.scribd.com

yang belum dimanfaatkan secaramaksimal salah satunya adalah

openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id

padaGambar 21, Gambar 22 dan Gambar 23

de.scribd.com

Air Lock Rotary ValveAir lock rotary valve

ceo-engineering.co.th

225°C

Daya Nhuchhen, Prabir Basu, Bishnu Acharya. "A Comprehensive Review on Biomass Torrefaction", Internati...

ini merupakan pengembanganpenelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh

id.123dok.com

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan membuat

etd.repository.ugm.ac.id

seperti karbon monoksida(CO), karbon dioksida (CO2) dan

S. Pakage, B. Hartono, Z. Fanani, B. A. Nugroho, D. A. Iyai, J. A. Palulungan, A. R. Ollong, D. Nurhayati. "Peng...

torefaksi mempunyai

eprints.ulm.ac.id

The purpose of this study isto design and make a

www.neliti.com

The design parameters used are density

eprints.umpo.ac.id

Dscrew = 195 mm

eprints.umpo.ac.id

berputardalam suatu saluran

www.cultroadster-hannover.de

dengan perubahan massa, suhu dankonsumsi energi

discovery.researcher.life

proses umpan dan produk mengalir secaraterus menerus

id.scribd.com

dilakukan dalamdua tahap. Tahap pertama adalah uji

id.scribd.com

proses umpan dan produkmengalir secara terus menerus

id.scribd.com

Waktu tinggal yang lebih lama

es.scribd.com

Muhammad 2017. Perancangan danSimulasi Termal Reaktor Torefaksi KontinuTip...

es.scribd.com