

Pengujian Alat Pengolah Limbah Tempurung Kelapa Menjadi Bahan Bakar Alternatif

*Erwin Destiyantono¹, Arijanto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: drestantio@gmail.com

Abstrak

Pirolisis merupakan *thermo-chemical* dekomposisi material organik pada temperatur yang ditingkatkan dalam lingkungan bebas atau sedikit oksigen (anaerob). Tujuan penelitian untuk menguji alat pengolah limbah tempurung kelapa menjadi bahan bakar alternatif, mengetahui jumlah minyak yang dihasilkan pada proses *pyrolysis* dengan metode *counter flow* dan *parallel flow* pada kondensor, mengetahui energi kalor yang dihasilkan pada proses *pyrolysis* dengan metode *counter flow* dan *parallel flow* pada kondenser. Penelitian dilakukan dengan pengujian menggunakan alat pirolisis yang terdiri dari reaktor, pipa distribusi, dan kondensor. Metode penelitian dengan melakukan proses pirolisis pada temperatur 350°C selama 60 menit dengan metode pendinginan *counter flow* dan *parallel flow*. Pengujian pirolisis diperoleh data massa bahan bakar sebesar 42 gram digunakan dalam proses pirolisis dengan bahan baku tempurung kelapa 1000 gram, sehingga menghasilkan minyak pirolisis sebesar 198 gram (*counter flow*) dan 196 gram (*parallel flow*). Metode *counter flow* dapat menyerap kalor sebesar 1304,762 kJ dan hilang pada gas sebesar 462,862 kJ, sedangkan *parallel flow* hanya menyerap kalor sebesar 1200,83 kJ dan hilang pada gas sebesar 545,271 kJ.

Kata kunci: kalor, pirolisis, tempurung kelapa

Abstract

Pyrolysis is a thermo-chemical which decomposition of organic material through heating process with absent or little oxygen (anaerobic). The purposes of study are design pyrolyzer of coconut shell being to alternative fuels, knowing much of oil from pyrolysis process with method of counter flow and parallel flow, and knowing heat energy or caloric energy which was produced from pyrolysis process with method of counter flow and parallel flow in condenser. The research with through experiments the pyrolyzer which includes reactor, distribution pipe, and condenser. Research methods are the experiment of pyrolysis process at temperature 350°C during 60 minutes with condensation method, counter flow and parallel flow. Results of experiments are data of gas fuels mass obtained 42 grams which used pyrolysis process of coconut shell in the amount of 1000 gr, until produces pyrolysis oil as 198 grams (counter flow) and 196 grams (parallel flow). Counter flow method can absorb a heat as 1304,762 kJ and heat loss through gasses as 462,842 kJ, even though parallel flow no more than absorb as 1200,83 kJ and heat loss through gasses as 545,271 kJ.

Keywords: caloric, coconut shell, pyrolysis

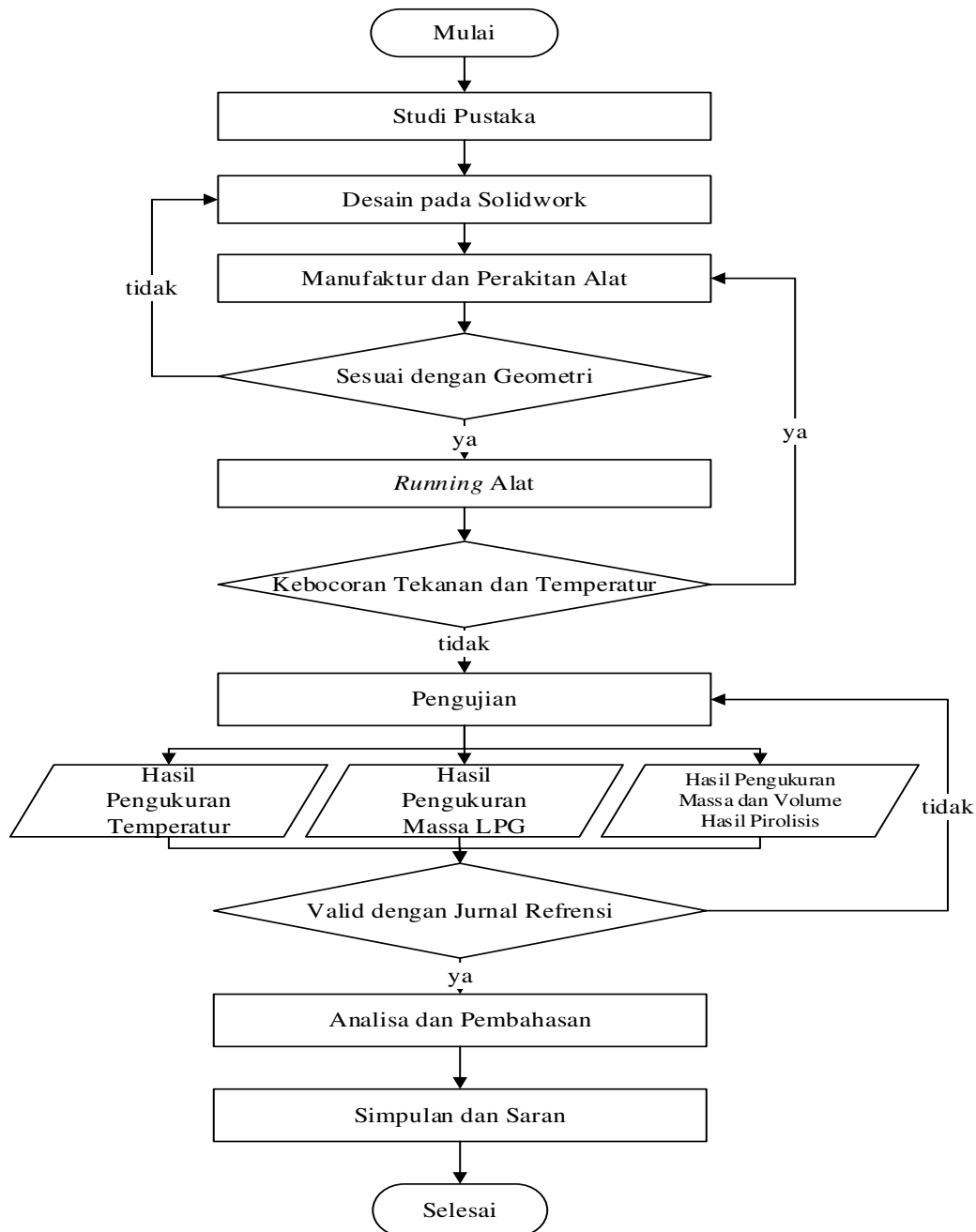
1. Pendahuluan

Sampai saat ini, Indonesia masih menghadapi persoalan dalam mencapai target pembangunan bidang energi. *Pyrolysis* merupakan *thermo-chemical* dekomposisi material organik pada temperatur yang ditingkatkan dalam lingkungan bebas atau sedikit oksigen (anaerob). Proses tersebut merupakan metode untuk mengurai bagian utama dari biomassa berupa *polimeric* kompleks (selulosa, hemiselulosa, dan lignin) agar menjadi fragmen molekuler yang lebih sederhana [1]. Senyawa dengan berat molekul yang ringan berupa gas pada temperatur ambiens, ketika senyawa tersebut dikondensasikan akan berubah menjadi cair yang dinamakan asap cair. Jika asap cair dilanjutkan dengan transifikasi menggunakan katalis (NaOH) dan metanol (reaktan), maka akan menghasilkan *bio-fuel* [2]. *Pyrolysis* tempurung kelapa secara umum hanya digunakan sebagai karbon aktif, dan belum dimanfaatkan sebagai bio-oil [1]. Jadi penelitian ini akan difokuskan pada masalah perancangan alat pengolah limbah tempurung kelapa menjadi bahan bakar alternatif.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui rancang alat konversi tempurung kelapa menjadi bahan bakar alternatif yang efisien, mengetahui jumlah minyak yang dihasilkan pada proses *pyrolysis* dengan metode *counter flow* dan *parallel flow* pada kondenser, mengetahui nilai kalor yang dihasilkan pada proses *pyrolysis* dengan metode *counter flow* dan *parallel flow* pada kondenser.

2. Desain dan Manufaktur Alat Pirolisis Tempurung Kelapa

2.1 Diagram Alir

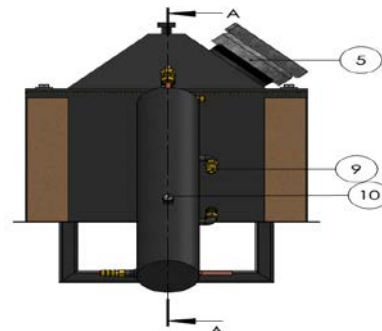


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

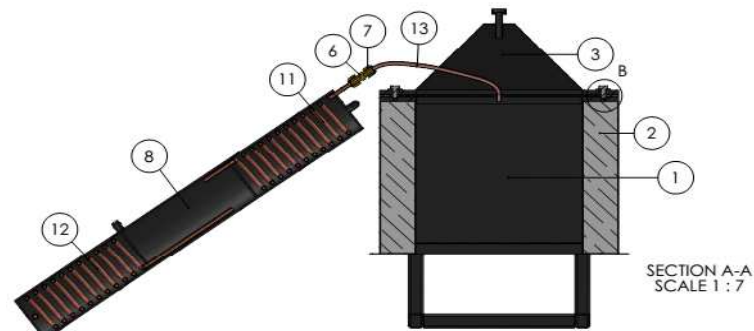
Tahapan awal untuk melakukan penelitian ini adalah mencari data pustaka sebagai dasar desain alat pirolisis, kemudian pengujian alat pirolisis dengan bahan baku tempurung kelapa 1000 gram. Hasil dari pengujian yaitu diperoleh data massa LPG yang digunakan, massa minyak pirolisis, energi kalor selama pirolisis.

2.2 Desain Alat Pirolisis Tempurung Kelapa

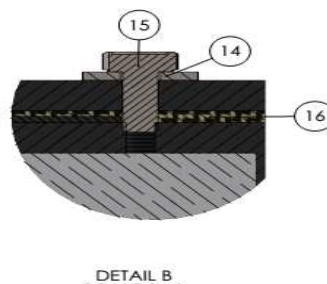
Pirolisator merupakan unit reaktor untuk memproduksi gas asap cair, dengan prinsip kerja utama adalah mengubah fase gas asap yang dihasilkan dari pembakaran biomassa menjadi fase cair asap tersebut. Pirolisator didesain *fix bed* karena bertujuan untuk penelitian skala kecil, memiliki tiga komponen utama yaitu reaktor, pipa distribusi, dan kondensor. Pada Gambar 2. sampai Gambar 4 merupakan bagian – bagian dari pirolisator dengan keterangan sesuai Tabel 1.



Gambar 2. Desain Pirolisator



Gambar 3. View Section Desain Pirolisator



Gambar 4. Detail B Desain Pirolisator

Tabel 1. Spesifikasi Pirolisator

Nomor Bagian	Keterangan
1	Reaktor
2	Bata tahan api
3	Kubah reaktor
5	Penutup reaktor
6	Double nipple
7	Pipe fitting nut
8	Kondenser
9	Hose nipple
10	Pipe dop
11	Pipa tembaga spiral kondenser 1
12	Pipa tembaga spiral kondenser 2
13	Pipa distribusi
14	Flat washer
15	Nut M10
16	Sealer

2.3 Manufaktur Alat Pirolisis Tempurung Kelapa

a. Reaktor

Perakitan reaktor dari komponen reaktor, penyangga reaktor, kubah reaktor, penutup reaktor dan bata tahan api seperti Gambar 5.



Gambar 5. *Assembly Reaktor*

b. Pipa distribusi

Pipa distribusi dibuat tidak permanen agar memudahkan dalam melepas dan merakit kondenser, dan membongkar reaktor dalam pengantian bahan baku. Perakitan pipa distribusi pada alat pirolisator seperti Gambar 6.



Gambar 6. *Assembly Pipa Distribusi*

c. Kondensator

Kondensator dirakit seperti Gambar 7. dengan pengabungan kondensator pertama dan kondensator kedua menjadi satu dengan dipisahkan ruang penampung minyak pirolisis dari kondensator pertama. Ruang penampung tersebut dibuat tertutup agar suhu dan tekanan uap dari kondensator pertama tidak hilang, sehingga uap dapat masuk ke dalam kondensator kedua.



Gambar 7. *Assembly Kondensator*

2.4 Analisa Hasil

Pengujian pirolisis temperung kelapa menghasilkan minyak pirolisis dan uap gas. Proses pirolisis tersebut diperoleh data temperatur dan massa penggunaan bahan bakar LPG. Selain itu, data massa dan volume hasil minyak pirolisis diperoleh setelah pengujian dan massa air pendingin selama proses pirolisis. Massa bahan bakar LPG yang digunakan dan massa air pendingin pada kondensator sesuai Tabel 2.

Tabel 2. Massa Bahan Bakar dan Air Pendingin

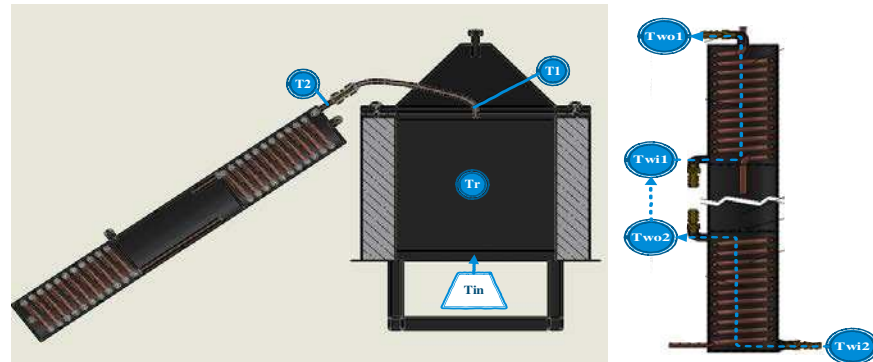
massa bahan bakar LPG (gr)	laju massa air pendinginan (gr/s)
42	1,4

Pengujian dilakukan selama 1 jam atau 60 menit, maka massa air pendinginan yaitu

$$\begin{aligned}
 \text{massa}_{\text{air pendinginan}} &= \text{laju massa} \times \text{durasi waktu} \\
 &= 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s} \times (60 \cdot 60) \text{ s} \\
 &= 5,04 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

a. *Counter Flow*

Pengukuran temperatur dilakukan sesuai Gambar 8. untuk mengetahui kesetimbangan kalor, sehingga hasil pengukuran temperatur sesuai Tabel 3.



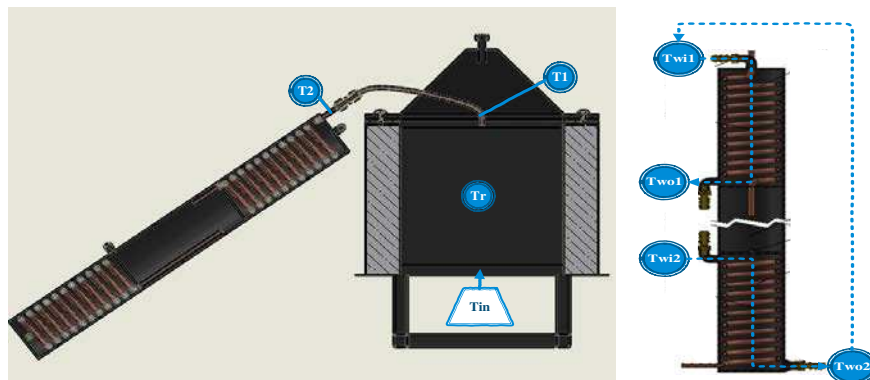
Gambar 8. Poin Pengukuran Temperatur

Tabel 3. Hasil Pengukuran Temperatur

Parameter	Pengukuran (°C)			rata-rata (°C)
	1	2	3	
$T_{reaktor}$	303,4	303,3	303,8	303,5
T_1	286,2	286,5	286,4	286,4
T_2	260,3	260,5	260,1	260,3
$T_{wi1,wo2}$	28,2	28,4	28,3	28,3
T_{wo1}	90,1	90,4	90,2	90,2
T_{wi2}	27,1	27,2	27,1	27,1

b. *Parallel Flow*

Pengukuran temperatur dilakukan sesuai Gambar 9 untuk mengetahui kesetimbangan kalor, sehingga hasil pengukuran temperatur sesuai Tabel 4.



Gambar 9. Poin Pengukuran Temperatur

Tabel 4. Hasil Pengukuran Temperatur

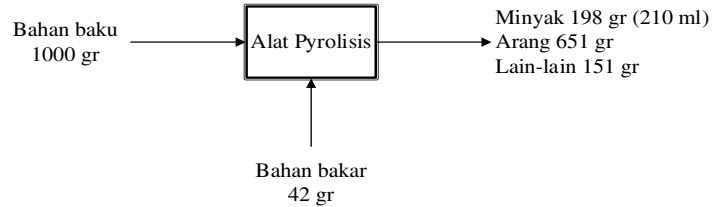
Parameter	Pengukuran (°C)			rata-rata (°C)
	1	2	3	
$T_{reaktor}$	310,4	309,8	309,9	310,0
T_1	290,1	290,0	289,9	290,0
T_2	265,3	265,4	265,1	265,3
$T_{wi1,wo2}$	28,2	28,3	28,4	28,3
T_{wo1}	85,2	85,1	85,6	85,3
T_{wi2}	27,1	27,2	27,1	27,1

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

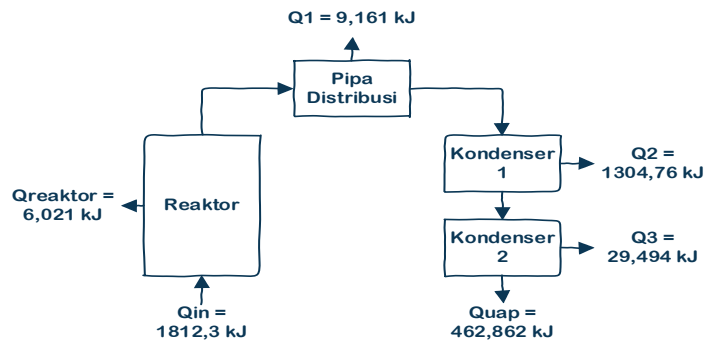
a. Counter Flow

Metode pendinginan pada kondenser dengan *counter flow* diperoleh diagram alir proses pirolisis seperti Gambar 10.



Gambar 10. Diagram Alir Pirolisis dengan Metode *Counter Flow*

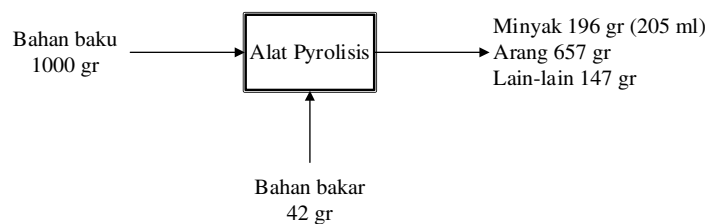
Jika proses pirolisis membutuhkan kalor atau panas sebagai dekomposisi, maka kalor yang masuk harus sebanding dengan kalor yang hilang atau kalor yang diserap pada kondenser seperti Gambar 11.



Gambar 11. Kesenjangan Kalor dengan Metode *Counter Flow*

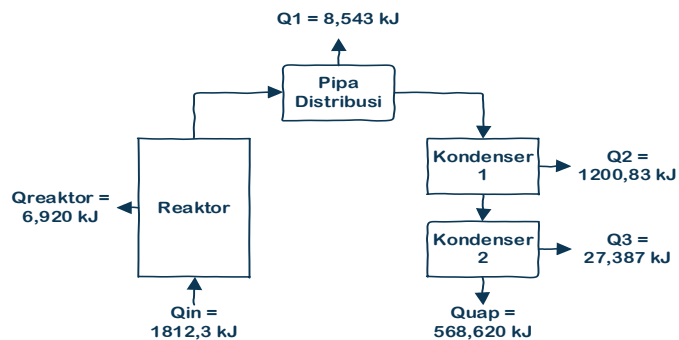
b. Parallel Flow

Metode pendinginan pada kondenser dengan *parallel flow* diperoleh diagram alir proses pirolisis seperti Gambar 12.



Gambar 12. Diagram Alir Pirolisis dengan Metode *Parallel Flow*

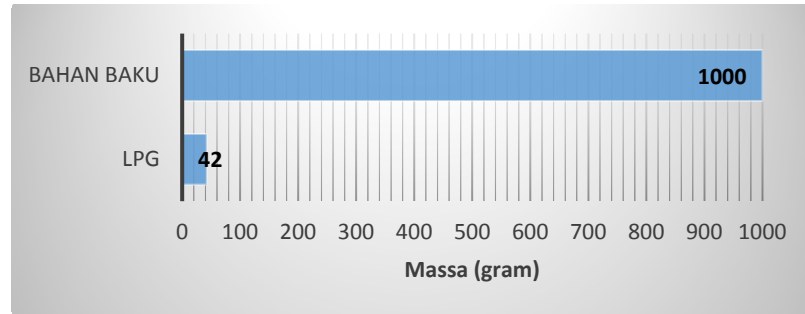
Jika proses pirolisis membutuhkan kalor atau panas sebagai dekomposisi, maka kalor yang masuk harus sebanding dengan kalor yang hilang atau kalor yang diserap pada kondenser seperti Gambar 13.



Gambar 13. Kesenjangan Kalor dengan Metode *Parallel Flow*

3.2 Pembahasan

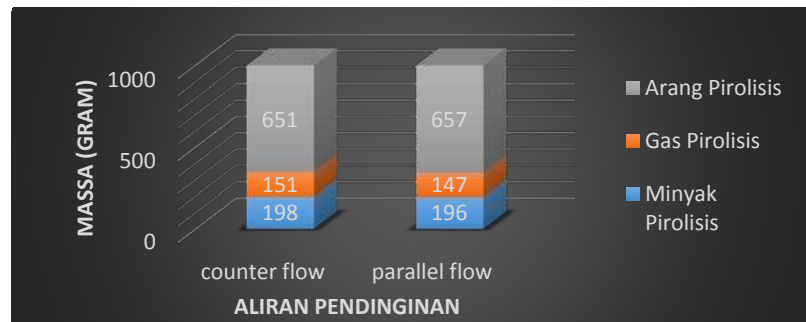
a. Perbandingan Bahan Baku terhadap Bahan Bakar



Gambar 14. Diagram Perbandingan Bahan Baku terhadap Bahan Bakar

Pada Gambar 14 dapat diketahui perbandingan massa bahan bakar terhadap massa bahan baku. Bahan bakar gas LPG yang digunakan dalam proses pirolisis memiliki massa 42 gram, sedangkan massa bahan baku berupa tempurung 1000 gram. Jadi dari perbandingan massa bahan bakar terhadap massa bahan baku, diperoleh 1 : 23,81. Jika bahan baku sebanyak 23,81 gram dapat diproses pirolisis dengan menggunakan bahan bakar gas LPG sebanyak 1 gram.

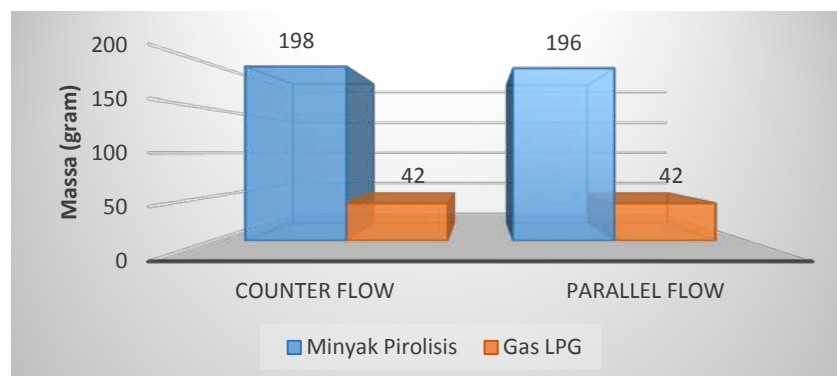
b. Perbandingan Hasil Pirolisis *Counter-Parallel Flow*



Gambar 15. Diagram Perbandingan Hasil Pirolisis *Counter-Parallel Flow*

Pada Gambar 15 dapat diketahui perbedaan hasil proses pirolisis tempurung kelapa sebesar 1000 gram dengan dua metode pendinginan pada kondenser berupa *counter flow* dan *parallel flow*. Metode pendinginan *counter flow* menghasilkan minyak pirolisis yang lebih banyak 198 gram, dibandingkan dengan metode pendinginan *parallel flow* menghasilkan minyak pirolisis 196. Uap gas yang dihasilkan berbeda juga, metode pendinginan *counter flow* menghasilkan gas yang lebih banyak 151 gram, dibandingkan dengan metode pendinginan *parallel flow* menghasilkan gas pirolisis 147. Begitu juga dengan arang, 651 gram dengan menggunakan metode *counter flow* dan 657 gram dengan menggunakan metode *parallel flow*. Jadi metode pendinginan pada kondenser berpengaruh pada hasil dari pirolisis.

c. Perbandingan bahan bakar terhadap hasil minyak pirolisis

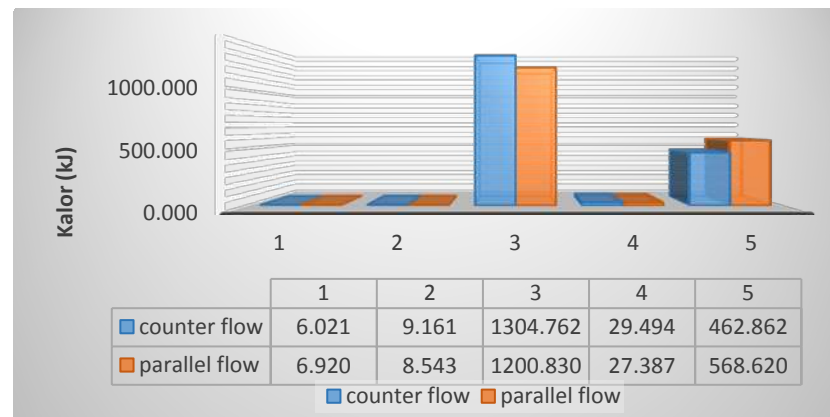


Gambar 16. Diagram Perbandingan Bahan Bakar terhadap Hasil Minyak Pirolisis

Pada Gambar 16 dapat diketahui perbedaan hasil proses pirolisis tempurung kelapa sebesar 1000 gram dengan dua metode pendinginan pada kondenser berupa *counter flow* dan *parallel flow*. Metode pendinginan *counter flow*

menghasilkan minyak pirolisis yang lebih banyak 198 gram, dibandingkan dengan metode pendinginan *parallel flow* menghasilkan minyak pirolisis 196. Bahan bakar gas LPG yang digunakan untuk proses pirolisis tempurung kelapa sebesar 42 gram. Jadi perbandingan antara bahan bakar terhadap hasil minyak pirolisis yaitu 1 : 4,71 (metode *counter flow*) dan 1 : 4,67. Jika bahan bakar sebanyak 1 gram dapat menghasilkan kalor untuk proses pirolisis tempurung kelapa, akan memperoleh hasil minyak pirolisis sebanyak 4,71 gram (metode *counter flow*) dan 4,67 gram (metode *parallel flow*).

d. Perbandingan nilai kalor *counter-parallel flow*

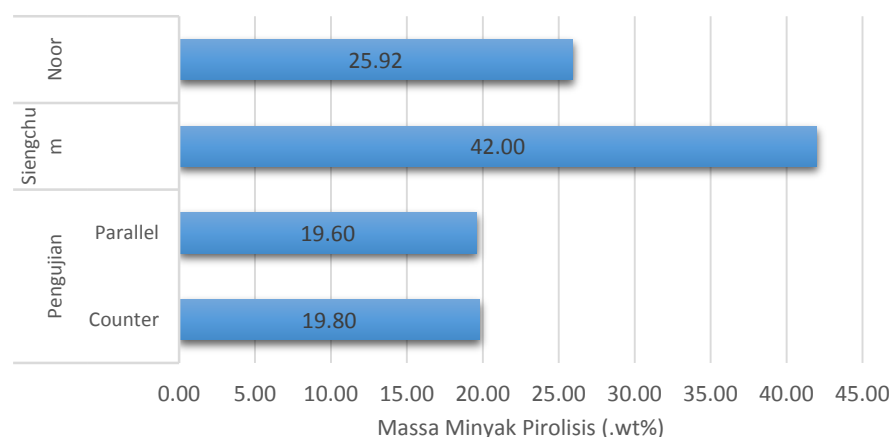


Gambar 17. Diagram Perbandingan Nilai Kalor *Counter-Parallel Flow*

Pada Gambar 17 merupakan perbandingan nilai kalor pada poin bagian utama pirolisator dengan metode pendinginan kondenser *counter flow* dan *parallel flow*. Poin 1 pada reaktor, 2 pada pipa distribusi, 3 pada kondenser 1 dan poin 4 pada kondenser 2, sedangkan poin 5 merupakan nilai kalor pada uap gas. Nilai kalor terbesar terjadi pada kondenser 1, berarti perpindahan panas atau kalor banyak terjadi di kondenser 1 karena kontak langsung dengan air. Berbeda dengan kondenser 2, nilai kalor lebih sedikit karena uap minyak yang terkondensasi pada kondenser 1. Selain itu, pada kondenser 2 tidak terjadi perpindahan panas atau kalor sebanyak kondenser 1, sehingga kalor atau panas banyak terbuang melalui gas.

Pada kondenser 1, metode *counter flow* sebesar 1304,762 kJ lebih efektif dengan ditandai dengan penyerpan kalor atau panas yang lebih banyak dari pada *parallel flow* sebesar 1200,830 kJ. Sedangkan kalor yang terbuang melalui uap gas, lebih besar pada metode *parallel flow* sebesar 568,620 kJ dari pada *counter flow* sebesar 462,862 kJ. Jadi perpindahan panas atau kalor yang efektif yaitu *counter flow* dari pada *parallel flow*.

e. Perbandingan Massa dan Volume Minyak Pirolisis dengan Jurnal



Gambar 18. Perbandingan Massa Minyak Pirolisis dengan Jurnal

Perbedaan massa hasil minyak pirolisis tempurung kelapa pada Gambar 18 menunjukkan perbedaan penggunaan alat, sehingga mempengaruhi massa yang dihasilkan. Pada penelitian Noor [3] menggunakan alat skala laboratorium kimia dengan pemanas listrik, sedangkan Siengscum [4] menggunakan metode fast pyrolysis. Dua penelitian tersebut banyak mengandung air, seperti pada penelitian Noor dengan menghasilkan 14,88% dan 19% pada penelitian Siengscum. Jadi hasil pengujian pada tugas akhir tentang pengujian alat pengolah limbah tempurung kelapa menjadi bahan bakar alternatif dengan aliran *counter* 19,6% dan aliran *parallel* 19,8% mendekati dengan hasil pada jurnal, jika

kandungan air tidak termasuk di dalam kandungan minyak pirolisis. Perbedaan tersebut dengan hasil rata-rata pengujian yaitu 6,22% dengan Noor dan 21,5% dengan Siengscum.

Tabel 5. Perbandingan Volume Minyak Pirolisis dengan Jurnal

Parameter	Pengujian		Hidayat
	Counter	Parallel	
volume (.vol%)	21,00	20,50	22,57
Selisih	1,57	2,07	

Sedangkan perbedaan volume hasil minyak pirolisis tempurung kelapa pada Tabel 5 sangat berbeda dengan massa. Pada penelitian Hidayat [5] menggunakan reaktor tipe *fixed bed*. Penelitian tersebut menghasilkan 22,57%. Jadi hasil pengujian pada tugas akhir tentang pengujian alat pengolah limbah tempurung kelapa menjadi bahan bakar alternatif dengan aliran *counter* 21% dan aliran *parallel* 20,5% mendekati dengan hasil pada jurnal, dengan perbedaan 1,57% pada aliran *counter* dan 2,07% pada aliran *parallel*.

f. Perbandingan Temperatur pada Proses Pirolisis dengan Jurnal

Jurnal yang digunakan sebagai acuan yaitu Funke [7] dengan menggunakan dua konsep yang berbeda. Konsep tersebut berbeda pada bagian penggunaan cyclone, dimana berguna untuk mengurangi karbon pada minyak pirolisis.

Tabel 6. Perbandingan Temperatur Kondenser 1 pada Proses Pirolisis dengan Jurnal

Parameter (°C)	Pengujian		Funke Konsep 2
	Counter	Parallel	
T kondenser 1	90,2	85,3	90,0
Selisih	0,2	4,7	

Konsep pertama tanpa menggunakan dua cyclone, sehingga temperatur pada kondenser 1 lebih rendah sebesar 60°C daripada konsep 2 sebesar 90°C. sedangkan pada kondensator 2 sama sebesar 20°C, dengan reaktor bertemperatur 500°C. Sehingga pada kondenser 1 memiliki selisih dengan konsep 2 yaitu 0,2 pada aliran *counter* dan 4,7 pada aliran *parallel*.

Tabel 7. Perbandingan Temperatur Kondenser 2 pada Proses Pirolisis dengan Jurnal

Parameter (°C)	Pengujian		Funke Konsep 2
	Counter	Parallel	
T kondenser 2	28,5	28,4	20,0
Selisih	8,5	8,4	

Kondenser 2 dibandingkan dengan konsep kedua pada jurnal Funke yaitu memiliki selisih 8,5 pada aliran *counter* dan 8,4 pada aliran *parallel*. Dua konsep tersebut, hasil pengujian mendekati dengan konsep 2 karena terdapat dua cyclone yang berguna untuk mengurangi karbon pada minyak dan menghasilkan temperatur yang lebih besar.

4. Kesimpulan

Hasil Penelitian pirolisis tempurung kelapa yaitu rancang alat konversi tempurung kelapa menjadi bahan bakar alternatif yang efisien yaitu menggunakan reaktor yang tertutup dan tidak ada kebocoran tekanan dan temperatur, menggunakan kondensator shell and tube berupa spiral, dan metode pendinginan dengan *counter flow*, jumlah minyak yang dihasilkan pada proses *pyrolysis* dengan metode *counter flow* sebesar 198 gram lebih banyak dari pada *parallel flow* sebesar 196 gram, metode *counter flow* dapat menyerap kalor sebesar 1304,762 kJ dan hilang pada uap gas sebesar 462,862 kJ lebih efektif dari pada *parallel flow* hanya menyerap kalor sebesar 1200,83 kJ dan hilang pada uap gas sebesar 568,620 kJ.

Daftar Pustaka

- [1] T. K. Rout, *Pyrolysis of coconut shell*, Rourkela: National Institute of Tchnlogy, 2015.
- [2] E. Stauffer dan B. D., "Alternative fuels in fire debris analysis: Biodiesel basics," *J. Forensic Sci.*, p. 52(2): 371-379, 2007.
- [3] E. Noor, C. Luditama dan G. Pari, *Isolasi Dan Pemurnian Asap Cair Berbahan Dasar Tempurung Dan Sabut Kelapa Secara Pirolisis Dan Distilasi*, Bogor: Institut Pertanian Bogor, 2012.

- [4] T. Siengchum, M. Isenberg dan S. S. Chuang, "Fast pyrolysis of coconut biomass – An FTIR study," *SciVerse ScienceDirect*, p. 559–565, 2013.
- [5] T. Hidayat dan Qomaruddin, "Analisa Pengaruh Temperatur Pirolisis Dan Bahan Biomassa Terhadap Kapasitas Hasil Pada Alat Pembuat Asap Cair," *Prosiding SNST*, 2015.
- [6] A. J. Tsamba, W. Yang dan W. Blasiak, "Pyrolysis characteristics and global kinetics of coconut and cashew nut shells," *elsevier*, p. 523–530, 2006.
- [7] A. Funke, A. Niebel, D. Richter, M. M. Abbas, A. K. Müller, S. Radloff, M. Paneru, J. Maier, N. Dahmen dan J. Sauer, "Fast pyrolysis char – Assessment of alternative uses within the bioliq concept," *elsevier*, p. 905–913, 2016.
- [8] M. M. Hoque dan S. C. Bhattacharya, "Fuel characteristics of gasified coconut shell in a fluidized and a spouted bed reactor," *elsevier*, p. 101–110, 2001.