

KAJIAN SIMULASI VARIASI DEBIT AIR PENDINGIN TERHADAP SUHU *OUTPUT* DAN KALOR ALIRAN FLUIDA PADA PIROLISATOR

Imam Syafa'at^{1*}, Tabah Priangkoso¹, Andy Yusuf Kurniawan¹, Rita Dwi Ratnani²
dan Hargono³

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim
Jl. Menoreh Tengah X/22, Sampangan, Semarang 50236

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim
Jl. Menoreh Tengah X/22, Sampangan, Semarang 50236

³Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang 50275

*Email : imamsyafaat@unwahas.ac.id

Abstrak

Pirolisator merupakan alat untuk menghasilkan karbon aktif dan asap cair. Bahan baku yang digunakan dapat berupa tempurung kelapa, limbah kayu, sekam padi, eceng gondok, ataupun limbah plastik. Tempurung kelapa sebagai salah satu bahan pembuatan asap cair memiliki manfaat sebagai bahan pengawet, antirayap, dan anti jamur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi debit terhadap suhu output dari asap cair dan besarnya laju perpindahan panas asap cair dan air pendingin dalam kondensor. Penelitian menggunakan perangkat lunak untuk mensimulasikan variasi debit 20 ml/s, 30 ml/s, 40 ml/s, 50 ml/s, 59 ml/s, 60 ml/s, 70 ml/s, 80 ml/s, 90 ml/s, 100 ml/s, 110 ml/s, dan 120 ml/s. Hal ini dilakukan untuk mencari suhu output terkecil dari asap cair dan laju perpindahan panas terbesar yang terjadi pada kondensor pirolisator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju perpindahan panas terkecil pada debit 20 ml/s sebesar 123,422 watt dan laju perpindahan panas terbesar pada debit 120 ml/s sebesar 123,479 watt. Sedangkan pada air pendingin simulasi laju perpindahan panas dengan hasil simulasi terkecil pada debit 20 ml/s sebesar 57,691 watt dan hasil simulasi terbesar pada debit 120 ml/s sebesar 210,697 watt.

Kata Kunci: *perpindahan panas, pirolisator, asap cair, air pendingin.*

1. PENDAHULUAN

Pirolisis atau devolatilisasi adalah proses fraksinasi material oleh suhu menggunakan alat pirolisator. Proses pirolisis dimulai pada temperatur tinggi, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, dan volatil matters pada material menguap bersamaan dengan komponen lainnya, Produk cair yang menguap mengandung tar dan polyaromatic hidrokarbon. Proses pirolisis dipengaruhi beberapa factor, yaitu: waktu, suhu, berat dan ukuran partikel, serta konduktivitas termal (Elykurniati, 2009;Ratnani, dkk, 2019).

Haryadi (2015) melakukan sebuah penelitian pirolisis berbahan limbah plastik. Penelitiannya tentang pengaruh arah dan debit air pendingin kondensor pirolisator menggunakan bahan sampah plastik dengan massa 500g dengan bahan plastik PP 33 (polypropylene) dan *high density Polyethylene* (HDPE) dengan suhu tetap stabil pada suhu 300 °C dengan lama waktu pemanasan 17,5 menit. Dengan variasi aliran air pendingin berlawanan aliran asap cair (*counter flow*) dan aliran air pendingin searah aliran uap (*parallel flow*) serta variasi debit air pendingin pada kondensor. Kondensor yang digunakan merupakan kondensor *double pipe* hasil rancangan menggunakan material Stainless Steel pada pipa luar dan material tembaga pada pipa bagian dalam kondensor dengan panjang 1000 mm dengan diameter 28,5 mm untuk pipa luar dan diameter 16 mm untuk pipa dalam kondensor serta konduktivitas termal Stainless Steel 15,1 watt/m.K dan Tembaga 401 watt/m.K. Hasil kajiannya didapatkan bahwa hasil suhu output air pendingin terkecil pada debit 2 liter/menit sebesar 29,5 °C dan suhu output terbesar pada debit 4 liter/menit sebesar 31,9 °C. Laju perpindahan panas terkecil pada jenis plastik HDPE dengan debit 2 liter/menit dengan nilai laju perpindahan sebesar 473 watt dan terbesar pada jenis PP pada debit 4 liter/menit dengan nilai laju aliran panas sebesar 1197 watt.

Berbagai manfaat asap cair terus dikembangkan dan dianalisa proses pembuatannya, terutama tempurung kelapa. Tempurung kelapa hanya salah satu dari banyak sumber bahan baku untuk membuat asap cair sekaligus karbon aktif. Eceng gondok juga berpotensi dijadikan bahan baku untuk membuat asap cair (Ratnani dan Widiyanto, 2018). Material ini mengandung senyawa

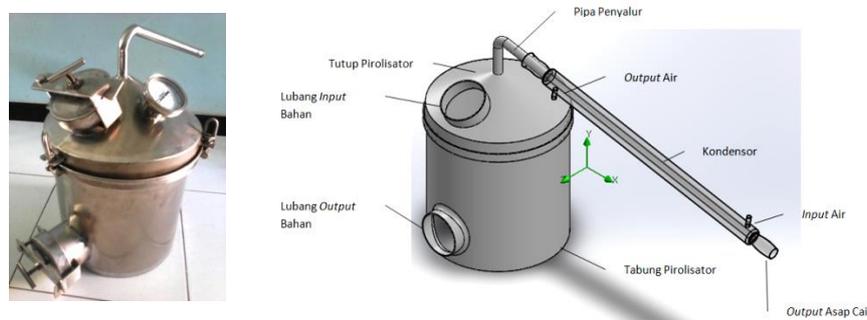
Selulosa, hemiselulosa dan lignin. Kandungan lignin pada tempurung kelapa cukup tinggi sekitar 36,51 % dengan kadar air sekitar 6 - 9% berat kering (Tilman, 1981; Utomo dkk, 2012). Asap cair tempurung kelapa mengandung berbagai senyawa yang dapat dikelompokkan ke dalam kelompok senyawa fenol, asam dan kelompok senyawa karbonil. Kelompok-kelompok senyawa tersebut berperan sebagai antimikroba, antioksidan, pemberi flavor dan pembentuk warna (Tranggono dkk., 1996). Oleh karena asap cair dapat berperan sebagai antimikroba dan antioksidan, maka asap cair dapat digunakan sebagai bahan pengawet, antirayap dan antijamur kayu serta dapat digunakan untuk penggumpalan karet dan pestisida alami. Melihat hasil-hasil penelitian terdahulu, perlu dilakukan kajian pembuatan asap cair tempurung kelapa. Penelitian aliran fluida secara simulasi dengan tujuan mengetahui pengaruh suhu *output* asap cair dan laju perpindahan panas air pendingin pada kondensor perlu dilakukan. Penelitian ini fokus pada variasi debit air pendingin dalam kondensor.

2. METODOLOGI

Prosedur dalam proses pirolisis dilakukan melalui beberapa tahapan, memosisikan arah aliran air pendingin agar berlawanan dengan aliran asap cair (*counter flow*), memasukkan material tempurung kelapa ke dalam tabung pirolisator, memanaskan tabung reaktor pirolisis dengan menggunakan kompor gas LPG, menghidupkan pompa air, panaskan pirolisator sampai suhu bagian bawah pirolisator menunjukkan suhu 350 °C pada *infrared* thermometer. Penggunaan thermometer ini untuk mengukur suhu di setiap permukaan pirolisator, mencatat suhu *input* asap cair ke kondensor, suhu *input* air pendingin kondensor, suhu *output* pendingin kondensor dan suhu *output* pirolisator. Setelah data hasil pengujian didapatkan, dilanjutkan proses analisis suhu *output* dan kalor menggunakan pemodelan dan simulasi.

2.1 Pirolisator

Tabung pirolisator terbuat dari baja tahan karat stainless steel AISI 304. Alat ini menggunakan *thermocouple* pada bagian penutup tabung untuk mengukur suhu didalam tabung pirolisator. Bagian-bagian lain alat ini terbuat dari baja tahan karat seperti ditunjukkan dalam Gambar 1 (a) dan pemodelannya seperti disajikan dalam Gambar 1 (b) beserta spesifikasinya dalam Tabel 1.



Gambar 1. (a) Pirolisator dan (b) pemodelannya dengan kondensor kaca

Tabel 1. Spesifikasi Pirolisator

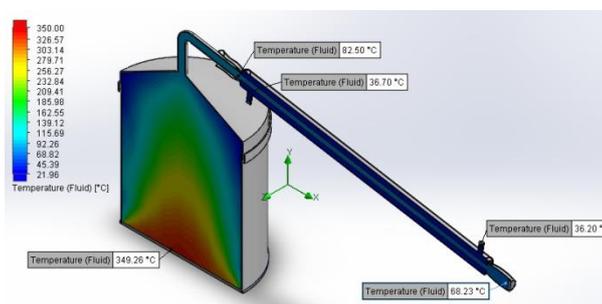
Spesifikasi	Keterangan
Pirolisator	
Material	AISI 304 tebal 1,2 mm
Diameter tabung	300 mm
Diameter lubang <i>input</i> dan <i>output</i> bahan isian	98 mm
Diameter pipa penyalur asap cair	20 mm
Kapasitas	20 liter
Kondensor	
Material	Kaca
Panjang	600 mm
Diameter luar	38 mm
Diameter dalam	14 mm
Diameter pipa <i>input</i> dan <i>output</i> air pendingin	8 mm
Konduktivitas thermal	0,9 W/m.K

2.2 Pemodelan dan Simulasi Pirolisator

Tahapan proses simulasi diantaranya adalah pemasangan sumbatan (*lid*), penentuan *wizard*, penentuan *boundary condition*, proses *running* dan kalkulasi, serta *result* atau hasil simulasi. *Boundary condition* digunakan untuk memberikan batasan pada model saat proses simulasi, dengan 4 batasan pada simulasi ini yaitu *enviroment pressure* pada bagian bawah tabung pirolisator dengan suhu 350°C dan tekanan 1 atm, *output mass flow* pada lubang *output* asap cair sebesar 0,051 g/s atau 0,000051 kg/s, *enviroment pressure* pada *input* air kondensor dengan suhu 36,2°C dan tekanan 1 atm, dan *output volume flow rate* pada lubang *output* air kondensor sebesar 59 ml/s.

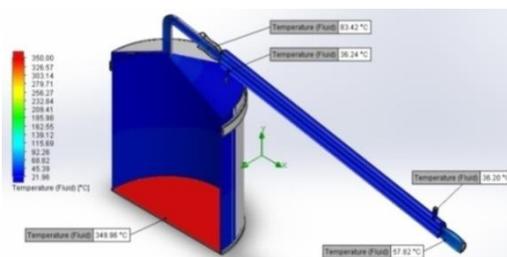
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada proses simulasi, parameter yang digunakan sebagai acuan simulasi analisis pengaruh variasi debit air pendingin kondensor yakni dengan menggunakan data *real* dari hasil pengujian alat pirolisator di laboratorium dengan suhu kompor 350°C. Bahan isian berupa tempurung kelapa. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.



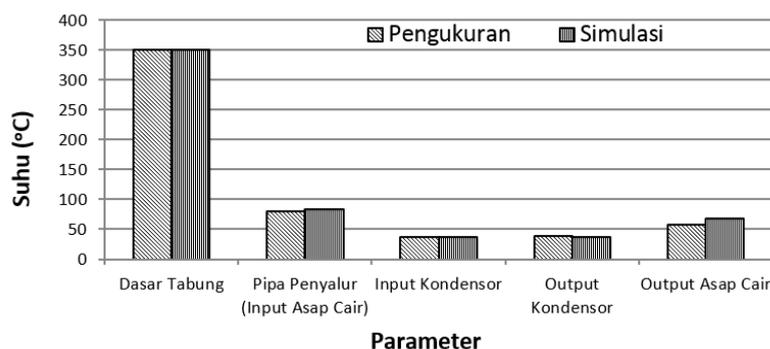
Gambar 2. Hasil simulasi distribusi panas dalam tabung pirolisator

Dalam Gambar 2, input suhu air pada kondensor sebesar 36,2 °C berdasarkan keadaan saat eksperimen dilakukan, begitu juga dengan suhu output 36,7 °C. Terlihat bahwa suhu tertinggi kisaran 350°C terletak di dasar tabung pirolisator karena daerah ini paling dekat dengan sumber api. Suhu ini semakin berkurang pada bagian atas tabung.



Gambar 3. Hasil kalkulasi model dengan suhu kompor 350 °C

Gambar 3 memperlihatkan hasil simulasi pemodelan pirolisis dengan variasi debit. Untuk suhu hasil simulasi berdebit 59 ml/s didapatkan hasil perbandingan antara simulasi dan hasil eksperimen seperti disajikan dalam Gambar 4. Dari Gambar 4 terlihat bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara hasil pengukuran eksperimen dan hasil simulasi.



Gambar 4. Hasil pengukuran eksperimen vs. simulasi pada berbagai lokasi

Dari data dan hasil pengujian dapat dilakukan proses analisa laju perpindahan panas pada aliran air pendingin secara *counter flow* dalam kondensator saat keadaan nyata di dalam kondensator menggunakan Persamaan (2) dan (3). Hasil dengan perhitungan seperti disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Analisa Laju Perpindahan Panas Aliran Asap Cair Tempurung Kelapa

Kalor Jenis Asap (c) (J/kg.K)	Suhu Input Asap Cair (°C)	Suhu Output Asap Cair (°C)	Entalpi Liquid (hf) (kJ/kg)	Entalpi Vapor (hg) (kJ/kg)	Kalor Sensible (q ₁) (Watt)	Kalor Laten (q ₂) (Watt)	Kalor Air Asap Cair (q) (Watt)
4180,50	80,60*	57,40*	240,302	2644,008	4,946	122,589	127,535*
		68,69	287,539		3,040	120,381	123,422
		68,66	287,413		3,047	120,388	123,434
		68,64	287,330		3,051	120,392	123,443
		68,63	287,288		3,053	120,394	123,447
		68,62	287,288		3,055	120,394	123,449
		68,62	287,288		3,055	120,394	123,449
4180,50	82,95	68,60	287,204	2647,956	3,059	120,398	123,458
		68,59	287,162		3,062	120,400	123,462
		68,58	287,120		3,064	120,403	123,466
		68,56	287,036		3,068	120,407	123,475
		68,56	287,036		3,068	120,407	123,475
		68,55	286,995		3,070	120,409	123,479

*Diukur pada Pirolisator

Tabel 3 adalah hasil analisa laju perpindahan panas aliran air pendingin. Dari data yang disajikan dapat diketahui bahwa setiap variabel debit yang diujikan memiliki hasil suhu *output* dan laju perpindahan panas yang berbeda-beda. Data perbedaan ini dapat dibuat perbandingan variabel debit dengan suhu *output* laju perpindahan panas yang dilepaskan, seperti ditunjukkan dalam Gambar 5. Terlihat bahwa dari hasil simulasi, semakin tinggi laju aliran massa maka semakin besar pula kalor air pendingin.

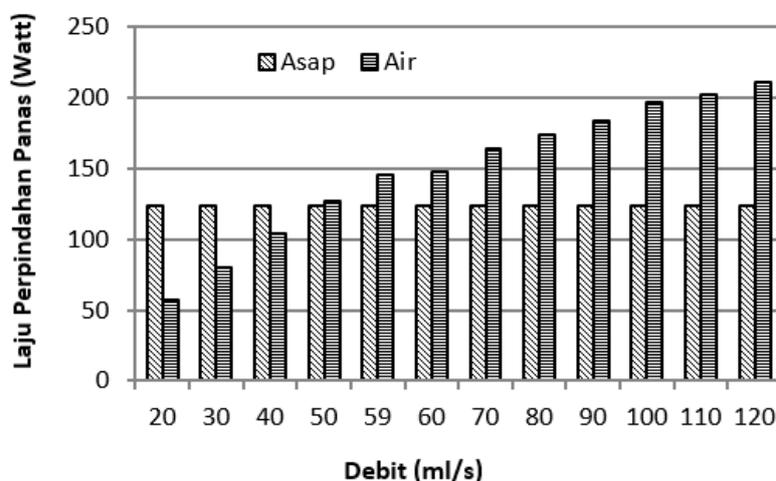
Tabel 3. Analisa laju perpindahan panas aliran air pendingin kondensator

Laju Aliran Massa (m) (kg/s)	Kalor Jenis Air (c) (J/kg.K)	Suhu Input Kondensator (°C)	Suhu Output Kondensator (°C)	Kalor Air Pendingin Kondensator (q) (Watt)
0,059*	4180,50	36,2*	38,7*	616,624*
0,020			36,89	57,691
0,030			36,84	80,266
0,040	4180,50	36,2	36,82	103,676
0,050			36,81	127,505
0,059			36,79	145,523

0,060	36,79	147,990
0,070	36,76	163,876
0,080	36,72	173,909
0,090	36,69	184,360
0,100	36,67	196,484
0,110	36,64	202,336
0,120	36,62	210,697

*Diukur pada Pirolisator

Hasil pengujian simulasi didapatkan hasil laju perpindahan panas asap cair terkecil pada kondisi 1 (debit 20 ml/s) sebesar 123,422 watt dan terbesar pada kondisi 12 (debit 120 ml/s) sebesar 123,479 watt. Laju perpindahan panas air pendingin terkecil pada debit kondisi 1 sebesar 57,691 watt dan terbesar pada debit kondisi 12 sebesar 210,697 watt.



Gambar 5. Hasil perbandingan laju perpindahan panas asap cair dengan air pendingin

Penelitian ini tentu menunjukkan hasil yang berbeda dengan penelitian Haryadi (2015). Hal ini dikarenakan material kondensor berbahan tembaga dengan konduktivitas termal 401 W/m.K. Sedangkan pada simulasi ini, kondensor terbuat dari kaca dengan konduktivitas termal lebih kecil yaitu 0,9 W/m.K.

4. KESIMPULAN

Simulasi laju perpindahan panas telah dilakukan. Dari hasil simulasi aliran fluida pada pirolisator, disimpulkan bahwa semakin besar debit air pendingin kondensor maka semakin kecil suhu *output* asap cair. Hal ini berdampak pada peningkatan produksi asap cair karena proses pengembunan asap menjadi semakin cepat. Semakin besar debit air pendingin kondensor semakin besar nilai laju perpindahan panas yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alkindi, (2015), Analisis CFD Aliran Udara Panas pada Pengering Tipe Rak dengan Sumber Energi Gas Buang. Jurnal keteknikan Pertanian.
- Elykurniati, (2009), Pemanfaatan Blotong Menjadi Bahan Bakar Cair dan Arang dengan Proses Pirolisis. Surabaya: Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur.
- Haryadi, S., (2015), Pengaruh Arah Aliran Pendingin Pada Kondensor Terhadap Hasil Pengembunan Proses Pirolisis Limbah Plastik, Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Holman, JP., (1995), Perpindahan Kalor, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Ratnani, R.D, Purbacaraka F.H., Hartati, I., dan Syafa'at, I., (2019), Activated Carbon From Teak Wood, Jackfruit Wood And Mango Wood Pyrolysis Process, Journal of Physics:Conference Series

- Ratnani, R.D., dan Widiyanto, (2018), A Review of Pyrolysis of Eceng Gondok (Water hyacinth) for Liquid Smoke, *E3S Web of Conferences* **73**
- Tilman, D., (1981), *Wood Combution: Principles, Process and Economics*. Academic Press Inc. New York.
- Tranggono, Suhardi, B. Setiadji, P. Darmadji, Supranto dan Sudarmanto, (1996), Identifikasi asap cair dari berbagai jenis kayu dan tempurung kelapa. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*.
- Utomo, B.S.B., Wibowo, S., dan Widiyanto, T.N., (2012), *Asap Cair; Cara Membuat Dan Aplikasinya Pada Pengolahan Ikan Asap*, hal 15, Penebar Swadaya, Cimanggis Depok.
- Versteeg, H. K., dan Malalasekera, W., (1995), *An introduction to computational fluid dynamics: The finite volume method*. Longman Group Ltd. England.