

Kondensasi Asap Pirolisis Tempurung Kelapa Menjadi Asap Cair (*liquid Smoke*) Berbasis pada Luas Transfer Perpindahan Panas

Siti Jamilatun[†], Martomo Setyawan

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta
Jl.Prof. Dr.Soepomo, Janturan, Yogyakarta, Telp.(0274)379418/381523, Fax (0274) 381523
sitijamilatun_uad@yahoo.com¹

Abstrak - Proses pembakaran tempurung kelapa menjadi salah satu sebab terjadinya polusi udara dan ancaman pemanasan global. Untuk mengurangi dampak ini diperlukan alat pengembun yang dapat bekerja secara maksimal. Maka perlu untuk mengetahui pengaruh luas transfer perpindahan panas kondensor terhadap asap yang diembunkan. Penelitian dimulai dengan mempersiapkan tempurung kelapa, merangkai alat, memasukkan tempurung kelapa kedalam tangki pembakaran sebanyak 10 kg serta mengisi tangki kondensor dengan air sampai penuh. Pembakaran awal melalui lobang bawah yang ada di tangki pirolisis. Pembakaran tempurung kelapa dengan luas transfer perpindahan panas 408,2 cm² mempunyai kemampuan mengembunkan sebanyak 19 %, untuk luas transfer perpindahan panas 2059,8 cm² pengembunan 29 % dan untuk luas transfer perpindahan panasnya 4119,7 cm² pengembunannya 35 %. Adapun ter yang terbentuk rata rata 2,67%, abu 5,83%, arang 22,67% dan komponen yang hilang 41,5% dengan suhu operasi efektif rata rata 275-300°C, waktu efektif 6-8 jam.

Kata kunci: pirolisis, kondensasi, kondensor, asap cair, luas transfer perpindahan panas

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris yang banyak menghasilkan limbah pertanian, diantaranya adalah limbah kelapa dan tanaman jagung dan lainnya.(www.id.wiki.com/jagung/kelapa) Pembuatan briket dari biomassa didahului dengan proses pembakaran untuk menghasilkan arang dan ini salah satu sebab dunia menjadi semakin tidak sehat karena semakin banyak polusi yang dihasilkan dari aktifitas manusia. Sudah banyak penelitian dan bukti nyata dari ancaman pemanasan global. Namun, sampai sekarang ini isu pemanasan global belum mampu menyadarkan ke semua lapisan masyarakat. Sehingga setiap saat, polusi sebagai penyebab pemanasan global masih terus meningkat.(www.id.wiki.com/energy)

Dampak asap begitu luas, dalam jangka pendek asap yang berupa bahan partikel akibat pembakaran pembuatan arang tempurung kelapa berdampak negatif terhadap kesehatan manusia. Pengaruhnya dalam jangka pendek itu adalah mengiritasi saluran pernafasan dan dapat diikuti dengan infeksi saluran pernafasan sehingga timbul gejala berupa rasa tidak enak di saluran pernafasan.

Melihat kenyataan tersebut perlu dilakukan pengendalian dampak asap pembakaran pembuatan arang kelapa. Selain bau yang menyengat gas klorin dapat menyebabkan iritasi pada mata, saluran pernafasan juga gas klorin yang masuk dalam jaringan paru-paru dan bereaksi dengan ion hidrogen akan dapat membentuk asam klorida yang bersifat sangat korosif dan menyebabkan iritasi dan peradangan. Maka perlu dilakukan pengendalian dampak asap pembakaran pembuatan arang tempurung kelapa dengan cara mengkondensasikan dan menampung menjadi asap cair (*liquid smoke*), disamping mengurangi dampak negatifnya juga memiliki nilai tambah.

[†] Corresponding author

Distilat asap atau asap cair tempurung mengandung lebih dari 400 komponen dan memiliki fungsi sebagai penghambat perkembangan bakteri, baik dan aman sebagai pengawet alami. Asap cair dihasilkan dari tempurung kelapa, dan bisa digunakan sebagai bahan pengawet alami, sebagai pengganti dari bahan pengawet formalin yang terbukti sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Produk asap cair ini dapat digunakan untuk mengawetkan ikan, daging, sayuran, buah-buahan ataupun sebagai pengeras/pengawet karet dan anti rayap dalam industri kayu. Dari 4-5 kwintal arang tempurung kelapa dihasilkan distilat asap tempurung kelapa sekitar 40 liter.

Untuk mengurangi dampak jangka pendek dan panjang akibat polusi udara serta memaksimalkan potensi tempurung kelapa yang masih melimpah serta kemanfaatannya yang sangat besar, maka perlu membuat alat pembakaran (pirolisis) yang dapat sekaligus mengkondensasikan atau mengembunkan asapnya. Dan untuk mendapatkan alat yang baik serta efisien dengan hasil arang dan asap cair (*liquid smoke*) yang maksimal perlu rancangan kondensasi yang dapat mengembunkan sebagian asap yang dihasilkan dari pembakaran biomassa. Asap cair yang terbentuk sangat berguna jika diolah lebih lanjut sebagai pengawet makanan dan keperluan yang lainnya (Setiadji, 2000).

Untuk memaksimalkan asap cair yang dihasilkan pada pembakaran tempurung kelapa maka perlu merancang unit peralatan pembakaran sekaligus pengambilan asap cairnya. Dengan mengetahui seberapa besar pengaruh luas transfer perpindahan panas atau panjang pipa kondensor terhadap asap yang dapat diembunkan maka hal ini akan sangat berguna dalam perancangan alat pada industry pembuatan arang sekaligus dalam pengembunan asapnya.

2. FUNDAMENTAL

Secara umum pembakaran dapat didefinisikan sebagai proses atau reaksi oksidasi yang sangat cepat antara bahan bakar (*fuel*) dan oksidator dengan menimbulkan panas atau nyala. Reaksi pembakaran bahan bakar padat adalah sebagai berikut:



Proses pembakaran padatan terdiri dari beberapa tahap seperti pemanasan, pengeringan, devolatilisasi dan pembakaran arang. Selama proses devolatilisasi, kandungan volatile akan keluar dalam bentuk gas seperti: CO, CO₂, CH₄ dan H₂. (Amin, S., 2000). Laju/kecepatan pembakaran : $-r_A$ atau dm_A/dt , dimana m_A adalah berat biomassa yang terbakar, maka:

$$-r_A = -dm_A/dt = km_A^n \quad (2)$$

Dimana : k = konstanta laju pembakaran
 n = pangkat reaksi

Karbonisasi merupakan suatu proses untuk mengkonversi bahan organik menjadi arang, pada proses karbonisasi akan melepaskan zat yang mudah terbakar seperti CO, CH₄, H₂, formaldehid, metana, formik dan acetil acid serta zat yang tidak terbakar seperti CO₂, H₂O dan tar cair. Gas-gas yang dilepaskan pada proses ini mempunyai nilai kalor yang tinggi dan dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan kalor pada proses karbonisasi. (http://wartawarga.gunadarma.ac.id/2009/12/tugas-iad-3-teknologi-energi_biomassa/).

Asap memiliki kemampuan untuk mengawetkan bahan makanan karena adanya senyawa asam, fenolat dan karbonil. Pirolisis tonggol jagung menghasilkan asap cair dengan kandungan senyawa fenol sebesar 4,13 %, karbonil 11,3 % dan asam 10,2 %. Sedangkan pirolisis untuk tempurung kelapa mempunyai kadar fenol 5,13 %, karbonil 13,28 %, asam 11,39 % dan untuk pirolisis dari kayu kelapa mengandung fenol sebesar 3,16 %, karbonil 12,94 %, dan asam 6,61 %. (Tranggono dkk, 1997)

Diketahui pula bahwa temperatur pembuatan asap merupakan faktor yang paling menentukan kualitas asap yang dihasilkan. Kandungan maksimum senyawa-senyawa fenol, karbonil, dan asam dicapai pada temperatur pirolisis 600°C. Produk yang diberikan asap cair yang dihasilkan pada temperatur 400°C dinilai mempunyai kualitas *organoleptik* yang terbaik dibandingkan dengan asap cair yang dihasilkan pada temperatur pirolisis yang lebih tinggi.

Pirolisis (*destructive distillation*) adalah proses pemanasan suatu zat tanpa adanya oksigen sehingga terjadi penguraian komponen-komponen penyusun kayu keras. (Tranggono dkk, 1997) Perhitungan teoritis pengembunan asap pada kondensor dengan luas transfer perpindahan panas yang berbeda-beda.

Pada prinsipnya asap cair merupakan asap (fasa gas) yang terkondensasi menjadi cair (fasa cair), penelitian ini difokuskan pada proses kondensasi asap. Untuk memprediksi proses kondensasi asap dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

I. Energi yang dibutuhkan untuk menurunkan temperatur asap

Dari temperatur pirolisis (200-300°C) sampai titik didih air (100°C) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_I = M \cdot C_p \cdot (T_{u_2} - T_{u_1})$$

Dimana:

Q_I = Energi yang dibutuhkan ,kal

M = Massa asap cair yang diharapkan (diperhitungkan),gram

C_p = Panas Sensibel air , kal/gram.°C

T_{u_1} =Temperatur air mendidih,°C

T_{u_2} =Temperatur pirolisis,°C

II. Energi yang dibutuhkan untuk perubahan asap menjadi cair

Dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_2 = M \cdot L_p$$

Dimana:

Q_2 = Energi yang dibutuhkan untuk mencair ,kal

M = Massa asap cair yang diharapkan (diperhitungkan),gram

L_p = Panas latent untuk mengembun,kal/gram

III. Energi yang dibutuhkan untuk menurunkan temperatur asap cair

Dari temperatur titik didih air (100°C) sampai temperatur proses kondensasi yang diharapkan yaitu 25°C

$$Q_{III} = M \cdot C_p \cdot (T_{u_2} - T_{u_3})$$

Dimana:

Q_{III} = Energi yang dibutuhkan ,kal

M = Massa asap cair yang diharapkan (diperhitungkan) ,gram

C_p = Panas Sensibel air ,kal/gram°C

T_{u_2} = Temperatur air mendidih ,°C

T_{u_3} = Temperatur proses kondensasi yang diharapkan,°C

$$Q_{total} = Q_I + Q_{II} + Q_{III}$$

Massa air yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{Total} = M_a \cdot C_p \cdot (T_{a_2} - T_{a_1})$$

Jadi,

$$M_a = Q_{Tot} / C_p \cdot (T_{a_2} - T_{a_1})$$

Perubahan suhu air pendingin masuk dan keluar kondensor = 2 °C

Dimana:

M_a = Massa air yang dibutuhkan,gram

C_p = Panas sensibel air ,kal/gram.°C

T_{a_1} = Temperatur air masuk ,°C

T_{a_2} = Temperatur air keluar,°C

Setelah jumlah massa air yang dibutuhkan didapatkan maka panjang kondensor yang dibutuhkan dapat digunakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{total} = k \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot R \cdot L \cdot \frac{(T_{u_1} - T_{u_2})}{(X_1 - X_2)}$$

Jadi L dapat diketahui

Q_{tot} = Total energi yang dibutuhkan ,kal

k = Thermal konduktivitas bahan ,kal/cm².°C

R = Jari-jari pipa kondensor ,cm

- Tu_1 = Temperatur pirolisa,cm
 Tu_3 = Temperatur proses kondensasi yang diharapkan,°C
 X_1 = Jari-jari luar pipa,cm
 X_2 = Jari-jari dalam pipa,cm

2.1 Tujuan Penelitian.

Tujuan penelitian ini untuk merancang tangki kondensor dengan berbagai luas transfer perpindahan panas yang digunakan untuk mengembunkan asap guna menghasilkan *liquid smoke* atau asap cair dan mendapatkan data perancangan meliputi meliputi waktu pembakaran, suhu asap pada tangki pirolisis, suhu asap cair yang terembunkan, volume asap cair yang terembunkan, suhu air kondensor yang digunakan setiap jamnya

2.2 Manfaat Penelitian

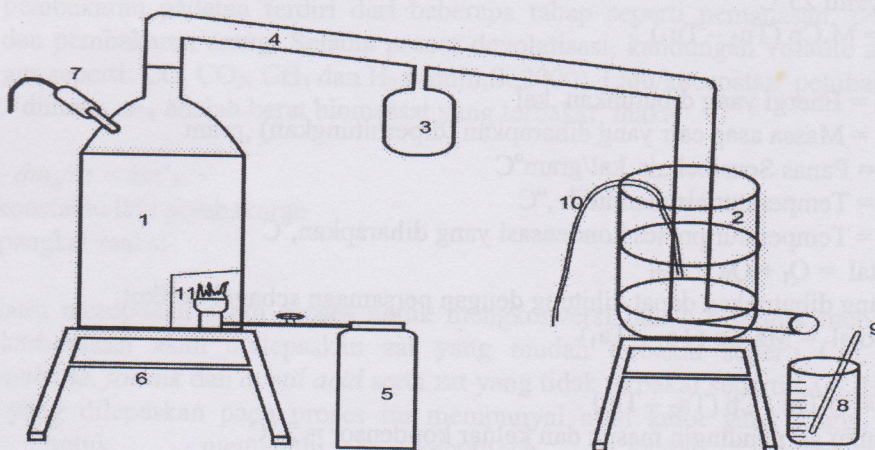
Manfaat penelitian adalah mengatasi polusi sekaligus menambah nilai ekonomis yang diakibatkan oleh pembakaran pada industry pembuatan arang , mendapatkan cara mengembunkan asap dengan tiga macam luas transfer perpindahan panas kondensor dan pengaruhnya terhadap kecepatan pengembunan pada kondensor.

3. METODOLOGI PENELITIAN

a. Bahan : Tempurung kelapa

b. Alat :

- | | |
|---------------------|----------------------------------|
| 1. Pirolisator | 7. Termokopel |
| 2. Tangki Pendingin | 8. Gelas Penampung Asap Cair |
| 3. Penampung Tar | 9. Termometer |
| 4. Pipa Asap | 10. Selang aliran air pendingin |
| 5. Tabung Gas | 11. Alat pembakar bahan (kompor) |
| 6. Penyangga | |

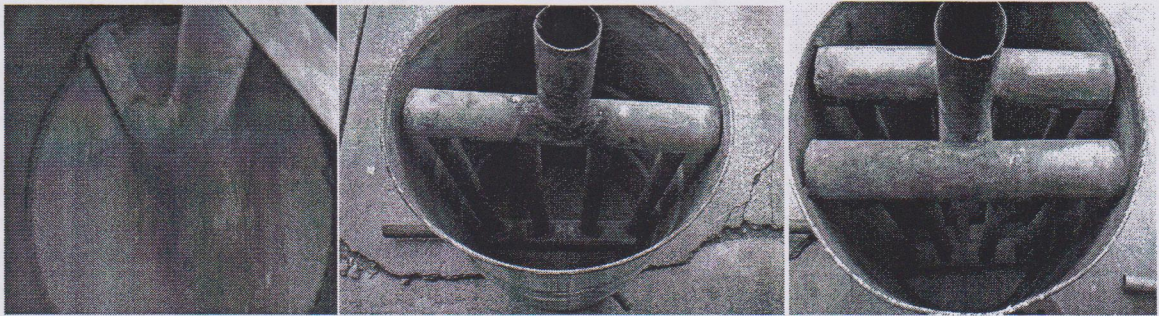


Gambar 1. Rancangan unit pembuatan asap cair dengan satu pipa kondensor

c. Cara Penelitian.

Tempurung kelapa dijemur dan diperkecil ukurannya kemudian merangkai alat dan memasukkannya ke dalam tangki pembakaran/pirolisis sebanyak 10 kg serta mengisi tangki kondensor dengan air sampai penuh. Pembakaran dimulai dengan membakar bahan melalui lobang bawah yang ada di tangki pirolisis dengan gas LPG , setelah 5 menit dimatikan dan lobangnya ditutup rapat. Tempurung kelapa akan terbakar dan asap akan diembunkan didalam kondensor, catat suhu di ruang pembakaran dan jumlah asap cair yang terbentuk tiap jamnya. Saat asap sudah habis berarti pembakaran sudah selesai, catat jumlah ter

terbentuk dan arang yang dihasilkan. Penelitian diulangi menggunakan jenis kondensor dengan luas transfer perpindahan panas atau panjang yang berbeda-beda.

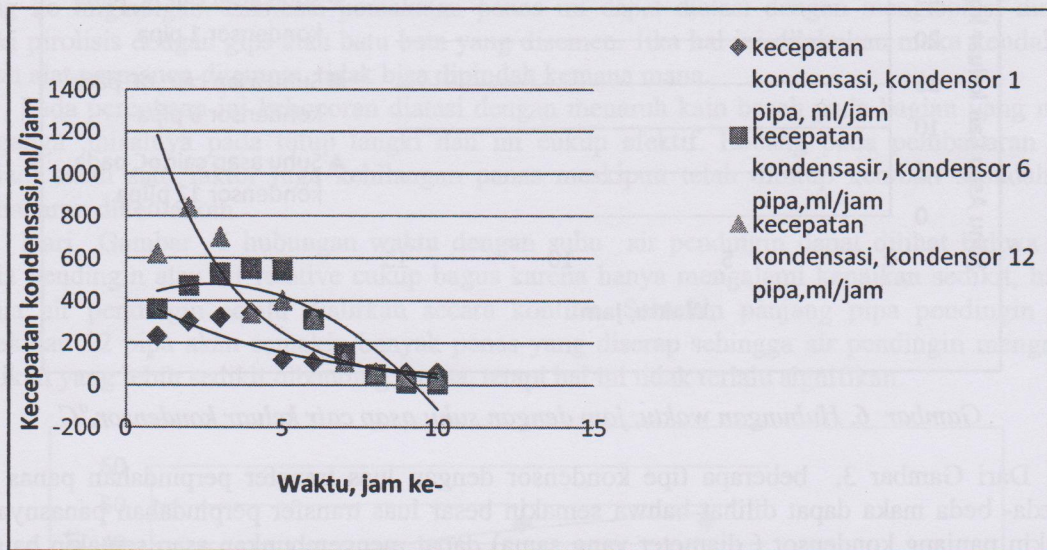


Gambar 2. Kondensor dengan 1 pipa, 6 pipa dan 12 pipa

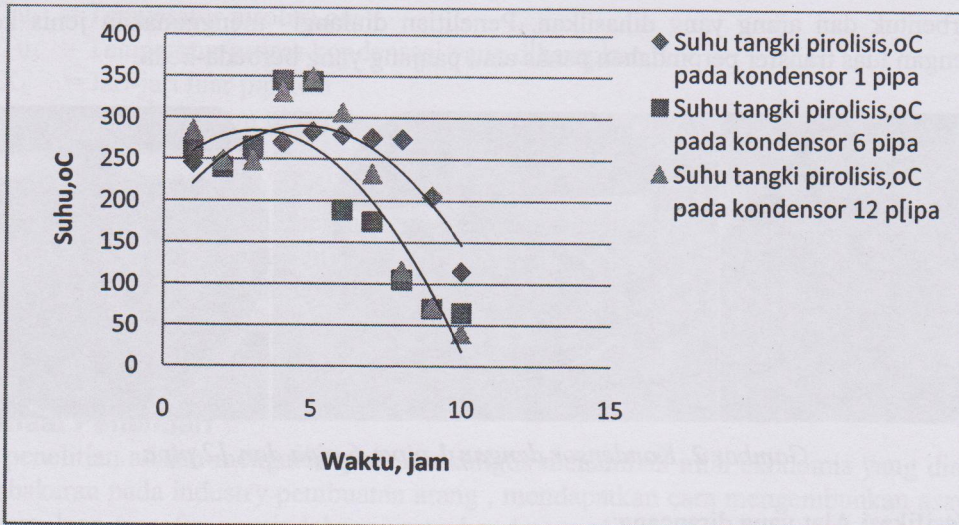
d. Spesifikasi Alat yang dirancang:

- 1) Tangki Pirolisis, Kapasitas :10 kg, diameter: 47cm, Tinggi : 69 Cm, Bahan: Stainless Steel 3.
- 2) Pipa pendingin pada kondensor : Satu pipa : diameter = 2 cm, panjang tiap pipa = 65 cm, Enam pipa : diameter = 2 cm, panjang tiap pipa = 49 cm, Duabelas pipa: diameter = 2 cm , panjang tiap pipa = 50 cm Tangki kondensor : diameter = 30 cm dan tinggi = 150 cm

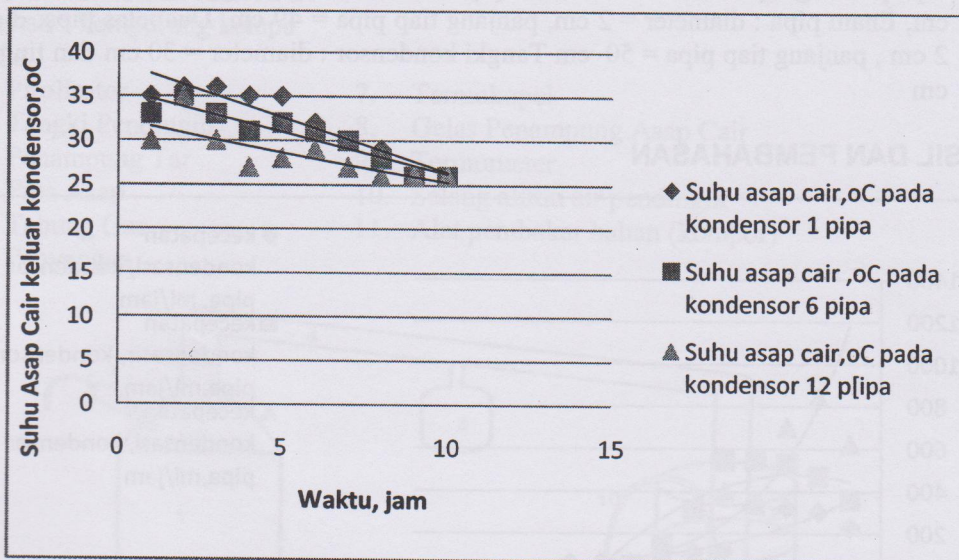
4. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 4. Hubungan antara waktu, jam ke- dengan kecepatan kondensasi, ml/jam



Gambar 5. Hubungan antara waktu dengan suhu asap pada tangki pirolisis. oC



Gambar 6. Hubungan waktu, jam dengan suhu asap cair keluar kondensor, oC

Dari Gambar 3, beberapa tipe kondensor dengan luas transfer perpindahan panas yang berbeda-beda maka dapat dilihat bahwa semakin besar luas transfer perpindahan panasnya atau semakin panjang kondensor (diameter yang sama) dapat mengembunkan asap semakin banyak . Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa kecepatan kondensasi pada awal pembakaran adalah tinggi, hal ini terjadi karena asap yang terbentuk juga banyak.

Pada awal pembakaran kecepatan pembakaran juga tinggi, dimana banyak tempurung kelapa yang terbakar setiap jamnya adalah besar. Kecepatan kondensasi dapat diartikan banyaknya asap yang dapat terembunkan setiap jamnya. Kecepatan kondensasi akan semakin turun seiring dengan menurunnya asap yang dihasilkan dari proses pirolisis, dimana pada jam ke 7, 8 penurunan sangat besar dan mulai jam ke 8 sudah tidak efektif lagi. Hal ini dikarenakan banyaknya bahan yang terbakar juga semakin berkurang karena bahan juga semakin berkurang karena telah terbakar.

Selain faktor kecepatan pembakaran efisiensi pengembunan juga dipengaruhi oleh kemampuan kondensor untuk mengembunkan, semakin panjang kondensor atau semakin besar luas transfer perpindahan panas maka akan semakin banyak asap yang terembunkan sampai batas tertentu dimana panjang kondensor dapat dihitung dengan prinsip perpindahan panas.

Dalam penelitian ini digunakan tiga macam kondensor dengan panjang yang berbeda beda dengan diameter yang sama. Keterbatasan dalam perancangan kondensor adalah masih sulitnya pengelasan untuk bahan stainlessstiel dan untuk bentuk yang rumit sering terjadi kebocoran pada lekukan lekukan penyambungan. Namun hal ini deapat diatasi dengan pengelasan ulang.

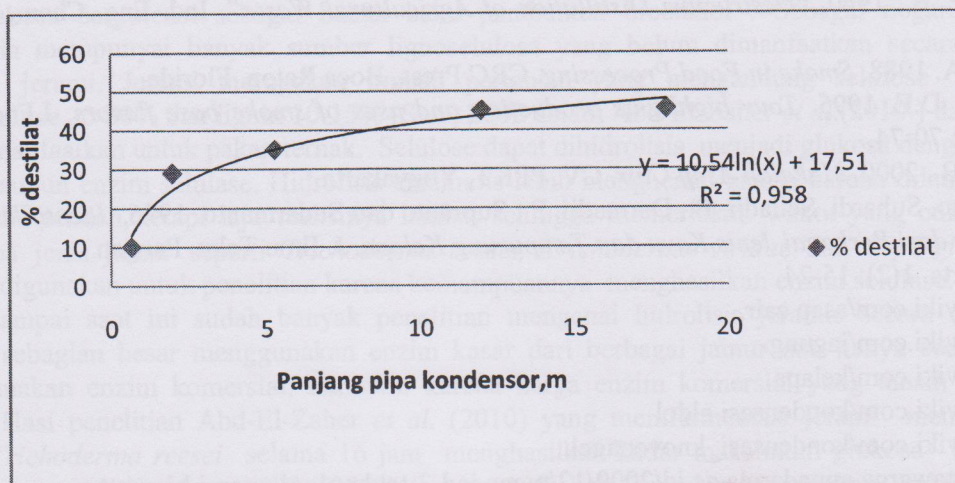
Pada proses kondensasi, terlihat masih ada asap yang keluar dari pipa pengeluaran kondensat, ini dapat diartikan ada sebagian asap yang belum mampu terembunkan. Hal ini dapat dipahami bahwa kemampuan air yang bersuhu 20-25°C mempunyai keterbatasan dalam pengembunan. Asap yang tidak terembunkan mempunyai komponen komponen yang titik didihnya sangat rendah, sehingga memerlukan media pendinginan yang mempunyai suhu yang lebih rendah misalnya air es atau refrigerant. Tetapi untuk refrigerant ekonomis mengingat harganya yang mahal. Maka pemakaian es batu yang dicelupkan pada air pendingin sangat membantu dalam memaksimalkan pengembunan.

Pada pemakaian 1 pipa dengan diameter 2 cm dan panjang 65 cm , luas transfer perpindahan panas 408,2 cm² mempunyai kemampuan mengembunkan sebanyak 19 %, pada pemakaian 6 pipa dengan diameter 2 cm panjang total 198 cm, luas transfer perpindahan panas 2059,8 cm² pengembunan 29 % dan untuk 12 pipa dengan diameter 2 cm dan panjang pipa 528 cm, luas transfer perpindahan panasnya 4119,7 cm² pengembunannya 35 %. Dari Gambar 7 dapat dilihat peningkatan asap cair yang terembunkan cukup besar. Maka semakin panjang pipa kondensor akan semakin banyak asap cair yang terembunkan mengikutin kecenderungan persamaan logaritmik dan akan tetap sampai batas panjang kondensor tertentu tertentu.

Untuk suhu pembakaran atau pirolisis dapat dicermati dari Gambar 5, suhu pembakaran yang tercapai oleh alat ini berkisar antara 250-300°C dengan kecenderungan naik diawal menuju 300°C kemudian akan menurun pada jam ke 7. Hal ini disebabkan masih ada lobang kebocoran pada alat dan belum adanya isolasi pada tangki pirolisis sehingga panas hasil pembakaran akan hilang ke lingkungan. Efisiensi pemakaian panas ini dapat diatasi dengan mengisolasi dinding tangki pirolisis dengan gips atau batu bata yang disemen. Jika hal ini dilakukan maka kendalanya adalah alat permanen ditempat, tidak bisa dipindah kemana mana.

Pada percobaan ini kebocoran diatasi dengan menaruh kain basah pada bagian yang masih menganga ,misalnya pada tutup tangki dan ini cukup efektif. Lobang pada pembakaran awal menjadi salah satu faktor juga kehilangan panas meskipun telah ditutup kembali sesudah alat pembakaran dikeluarkan.

Dari Gambar 6 hubungan waktu dengan suhu air pendingin dapat dilihat bahwa suhu media pendingin atau air relative cukup bagus karena hanya mengalami kenaikan sedikit, hal ini karena air pendingin selalu dialirkan secara kontinu. Semakin panjang pipa pendingin pada pemakaian 12 pipa akan semakin banyak panas yang diserap sehingga air pendingin mengalami kenaikan yang lebih sedikit dibanding 1 pipa, tetapi hal ini tidak terlalu signifikan.



Gambar 7. Hubungan antara panjang pipa dengan % destilat

Gambar 7 menggambarkan hubungan antara panjang pipa dengan % destilat, pada pembakaran 10 kg tempurung kelapa panjang pipa kondensor 12 meter banyak destilat sudah maksimal yakni 45 % dan dari perhitungan secara teori menggunakan neraca panas, untuk menghasilkan 1,8 kg asap cair atau sekitar 1798 ml asap cair dari pembakaran 10 kg tempurung kelapa membutuhkan pipa dengan diameter 3 cm dan panjang 2,6 m. Perbedaan antara teori dan praktek dilapangan dipengaruhi oleh banyak hal, diantaranya adalah lekukan lekukan pada pipa, jenis pipa, proses pengembunan, pengelasan, kecepatan angin dan suhu sekitarnya.

Dari penelitian ini didapatkan data data penting yang dapat dipakai untuk merancang unit dengan skala komersil atau skala yang lebih besar. Inovasi proses dan alat yang lebih efisien dengan hasil yang lebih maksimal selalu dikembangkan untuk mendapatkan proses yang ekonomis dengan hasil yang maksimal.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang kami lakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Asap hasil karbonisasi tempurung kelapa dapat diambil dengan cara diembunkan dengan media pendingin air
2. Jumlah asap yang diembunkan dipengaruhi luas transfer perpindahan panas atau panjang pipa kondensor
3. Suhu operasi efektif rata rata 275-300°C, waktu efektif 6-8 jam.
4. Dari data penelitian pada pemakaian 1 pipa dengan diameter 2 cm dan panjang 65 cm , luas transfer perpindahan panas 408,2 cm² mempunyai kemampuan mengembunkan sebanyak 19 %, pada pemakaian 6 pipa dengan diameter 2 cm panjang total 198 cm, luas transfer perpindahan panas 2059,8 cm² pengembunan 29 % dan untuk 12 pipa dengan diameter 2 cm dan panjang pipa 528 cm, luas transfer perpindahan panasnya 4119,7 cm² pengembunannya 35 %.
5. Dari perhitungan secara teori menggunakan neraca panas, untuk menghasilkan 1,8 kg asap cair dari pembakaran 10 kg tempurung kelapa membutuhkan pipa dengan diameter 3 cm dan panjang 2,6 m. Perbedaan antara teori dan praktek dilapangan dipengaruhi oleh banyak hal, diantaranya adalah lekukan lekukan pada pipa, jenis pipa, proses pengembunan, pengelasan, kecepatan angin dan suhu sekitarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Darmaji, P. 2002. *Optimasi proses pembuatan tepung asap*. Agritech. Fakultas Teknologi Pertanian. UGM. Yogyakarta. 22(4): 174-175.
http://b1r1n6.blogspot.com/2009_06_01_archive.html
- Jacobs, P. B., 1940, "Destructive Distillation of Agricultural Waste", Ind. Eng. Chem, 32, 219-229.
- Maga, J.A. 1988. *Smoke in Food Processing*. CRC Press, Boca Raton. Florida.
- Pszczola, D.E. 1995. *Tour highlights production and uses of smoke base flavors*. J.Food Tech. (49): 70-74.
- Setiadji, B., 2000, *Makalah Asap Cair*, CV. PPKT, Yogyakarta.
- Tranggono, Suhardi, Setiadji, B., Darmadji, P., Supranto dan Sudarmanto. 1996. *Identifikasi Asap Cair dari Berbagai Jenis Kayu dan Tempurung Kelapa*. J. Ilmu Tekn. Pangan. Yogyakarta. 1(2): 15-24.
- www.id.wiki.com/asap_cair.
- www.id.wiki.com/jagung.
- www.id.wiki.com/kelapa.
- www.id.wiki.com/kondensasi_aldol.
- www.id.wiki.com/kondensasi_knovenagel.
- www.wartawarga.gunadarma.ac.id/2009/12/tugas-iad-3-teknologi-energi_biomassa