

Penelitian/Research

**KAJIAN PEMANFAATAN DAN EFISIENSI ENERGI PANAS DALAM PROSES
PENGOLAHAN MINYAK KELAPA DENGAN TEKNOLOGI HOID**

*The Study on The Thermal Energy Consumption and Efficiency in Coconut Oil Processing
Using HOID Technology*

Lukman Junaidi¹⁾, A.S. Tariq²⁾, Yang Yang Setiawan¹⁾, Dadang Supriatna¹⁾

¹⁾ Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Hasil Pertanian (BBIHP)

Jl. Ir. H. Juanda No. 11, Bogor 16122

²⁾ Natural Resources Institute (NRI)

Chatam Maritime, Central Avenue, Kent ME4 4TB, UK.

ABSTRACT: The study on the thermal energy consumption and efficiency in coconut oil processing using HOID technology was conducted to evaluate the performance of the thermal energy efficient furnace. The preliminary combustion experimental conducted to examine the thermal capacity of the system, indicated that the system could be used to fry minimum of 2 tons fresh coconut meat per 8 hours operation. The frying capacity of the furnace was influenced significantly by the ratio of the fresh coconut meat to coconut oil and the amount of coconut oil that should be replaced. The higher the ratio will result in the higher of the frying rate. The result of experiment showed that the maximum thermal efficiency of the furnace was around 70%. This maximum efficiency could be achieved if the loss of the thermal energy from the system could be made minimally, especially loss due to the sensible heat in the dry flue gas and loss due to the incomplete combustion of fuel resulting in carbon monoxide in the flue gas. The average thermal efficiency of the system was 54%.

Keywords: Thermal energy efficiency, coconut processing, coconut oil, combustion process.

PENDAHULUAN

Di Indonesia dikenal berbagai teknik proses pengolahan minyak kelapa, seperti proses pengkopraan, proses pembuatan santan, proses penyangraian kelapa parut, dan proses penggorengan kelapa parut. Perbedaan utama berbagai metode tersebut terletak pada metode pengeringan daging kelapa segar. Pada proses kopra pengeringan dilakukan dengan cara pengasapan daging kelapa, pada proses pembuatan santan pengeringan dilakukan dengan pemanasan santan untuk menguapkan air, pada proses penyangraian pengeringan dilakukan dengan pemanasan daging kelapa segar, sedangkan pada proses penggorengan kelapa parut pengeringan berlangsung dengan cara menguapkan air melalui proses penggorengan.

Metode pengolahan minyak kelapa yang paling umum digunakan untuk skala industri di Indonesia adalah metode pembuatan kopra dan metode penggorengan kelapa parut. Metode penggorengan kelapa parut inilah yang disebut teknologi HOID (*Hot Oil Immersion Drying*). Ditinjau dari aspek kecepatan proses dan kebersihan produk, maka teknologi HOID ini lebih unggul dibandingkan dengan teknologi pembuatan kopra. Namun demikian terdapat kecenderungan makin berkurangnya

industri yang menggunakan teknologi HOID (Breag et al, 1997). Salah satu faktor penyebabnya adalah kekurangefisienan operasi pabriknya. Untuk meningkatkan efisiensi pabrik pengolahan minyak kelapa, dapat dilakukan dengan berbagai upaya, salah satunya adalah dengan meningkatkan efisiensi penggunaan energi panas pada proses penggorengan. Upaya peningkatan efisiensi panas ini dilakukan dengan memodifikasi rancangan tungku yang sudah ada di industri, sehingga diperoleh tungku yang efisien penggunaan energi panasnya, mudah dikendalikan, dan memberikan kenyamanan lingkungan kerja.

Teknologi HOID merupakan teknologi pengolahan minyak kelapa yang asli Indonesia, namun demikian penelitian dan literatur yang membahas teknologi HOID masih sangat terbatas. Untuk lebih memahami dan mengembangkan teknologi HOID, maka dilakukan proyek penelitian dengan judul "*Improving the small scale extraction of coconut oil*". Tulisan ini ditujukan untuk membahas lebih mendalam tentang aspek pemanfaatan dan efisiensi energi panas dalam proses pengolahan minyak kelapa dengan teknologi HOID.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan adalah: kelapa parut (varietas kelapa dalam yang diperoleh dari perkebunan rakyat di lokasi sekitar Pontianak, Kalimantan Barat) dan minyak kelapa (diperoleh dari Pabrik Minyak Kelapa "Bapak Hidayat", Pontianak, Kalimantan Barat), serta kayu bakar (campuran berbagai jenis kayu/papan).

Alat

Thermocouple, infrared analyzer, data logger, timbangan (kapasitas 100 kg).

Metode

Evaluasi efisiensi energi panas dilakukan melalui percobaan penggorengan kelapa parut dalam proses pembuatan minyak kelapa. Penggorengan dilakukan dalam wajan terbuka menggunakan tungku yang terbuat dari bata tahan api yang berfungsi sebagai isolator panas. Wajan penggorengan berfungsi sebagai peralatan penukar panas (heat exchanger) antara panas api dan udara panas dengan minyak dan kelapa parut.

Perhitungan jumlah energi panas yang dapat dimanfaatkan untuk proses penggorengan dilakukan melalui percobaan pemanasan dan penguapan air dalam wajan. Jumlah energi panas yang diserap (Q_{total}) ditentukan dengan menggunakan rumus dari Tariq, et al (1996):

$$\begin{aligned} Q_{total} &= Q_{pemanasan} + Q_{penguapan}; \\ Q_{pemanasan} &= m c (t_2 - t_1) \\ Q_{penguapan} &= m L \end{aligned}$$

Keterangan :

- m adalah massa air, c adalah panas jenis air, dan $t_2 - t_1$ adalah peningkatan suhu air
- L adalah panas laten penguapan air pada suhu 100°C

Laju penggorengan (pengeringan) kelapa parut dihitung berdasarkan perbandingan jumlah energi panas yang dibutuhkan untuk proses penggorengan kelapa parut dengan jumlah energi panas yang dapat diserap dari tungku. Jumlah energi panas (Q) yang dibutuhkan untuk proses penggorengan kelapa parut (sampai suhu kelapa parut goreng mencapai 120°C) dihitung dengan menggunakan rumus dari Tariq, et al (1996):

$$\begin{aligned} Q_{\text{penggorengan tahap awal}} &= Q_{\text{kelapa-parut}} + Q_{\text{minyak}} \\ Q_{\text{penggorengan tahap selanjutnya}} &= Q_{\text{kelapa-parut}} + \\ Q_{\text{minyak tambahan}} & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{kelapa-parut}} &= Q_{\text{kelapa-segar}} + Q_{\text{air}} + Q_{\text{kelapa-kering}} \\ Q_{\text{kelapa-segar}} &= m_{\text{kelapa-segar}} C_{\text{kelapa-segar}} (100 - t_1) \\ Q_{\text{kelapa-kering}} &= m_{\text{kelapa-kering}} C_{\text{kelapa-kering}} (120 - 100) \\ Q_{\text{minyak kelapa}} &= m_{\text{minyak}} C_{\text{minyak}} (120 - t_1) \\ Q_{\text{minyak-tambahan}} &= m_{\text{minyak-tambahan}} C_{\text{minyak}} (120 - 100) \end{aligned}$$

Keterangan :

- $m_{\text{kelapa-segar}}$ adalah massa kelapa parut segar, $C_{\text{kelapa-segar}}$ adalah panas jenis kelapa parut segar, dan t_1 adalah suhu awal
- $m_{\text{kelapa-kering}}$ adalah massa kelapa parut kering, $C_{\text{kelapa-kering}}$ adalah panas jenis kelapa parut kering
- m_{minyak} adalah massa minyak kelapa, C_{minyak} adalah panas jenis minyak kelapa, dan $m_{\text{minyak-tambahan}}$ adalah massa minyak kelapa yang harus ditambahkan untuk menggantikan minyak kelapa yang terserap oleh kelapa parut goreng.

Data-data yang dipergunakan untuk perhitungan kapasitas energi panas yang dimanfaatkan dari sistem tungku dan perkiraan laju pengeringan (penggorengan kelapa parut) terdiri dari : (1) dimensi wajan, (2) karakteristik thermal dan fisik air dan kelapa (3) data komposisi daging kelapa segar.

Perhitungan jumlah energi yang diserap oleh minyak dan kelapa parut dalam proses penggorengan dilakukan secara tidak langsung yaitu dengan menghitung jumlah energi yang terbuang (tidak terserap) seperti yang sudah dibahas oleh Tariq, et al (1994) dan terdiri dari : $L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6, L_7$.

Efisiensi energi panas (E) dinyatakan dalam persentase panas yang dapat dimanfaatkan untuk proses penggorengan. Besarnya efisiensi dinyatakan dengan menggunakan rumus dari Tariq, et al (1994):

$$E (\%) = 100 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7)$$

Keterangan:

- L_1 : kehilangan karena energi (dalam bentuk sensible heat) terbawa bersama gas buang (gas) yang melewati cerobong asap
- L_2 : kehilangan akibat pembentuk hidrat pada proses pembakaran hidrat yang terdapat dalam kayu bakar
- L_3 : kehilangan karena kandungan air dalam kayu bakar
- L_4 : kehilangan karena pembakaran sempurna yang menghasilkan dalam gas hasil pembakaran
- L_5 : kehilangan karena karbon tidak terbakar yang terdapat abu

- L₆: kehilangan karena abu yang dikeluarkan dari tungku masih mengandung panas
- L₇: kehilangan karena panas keluar dari dinding luar tungku melalui proses konveksi dan radiasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Data kapasitas panas tungku untuk penguapan air

Waktu (jam)	Volume Air (m ³)	Air yang menguap (kg)	Penambahan air (kg)	Panas yang diserap (kJ)	Laju pindah panas (kW)
0	1,13	0	0	0	0
1:20	0,94	194,08	0	626493,39	123,63
0:59	0,71	203,66	203,66	459602,05	129,83
1:01	0,80	115,95	115,95	336240,53	91,87
1:00	0,73	184,11	184,11	460999,38	128,06
1:00	0,75	164,59	164,59	438065,29	120,84
0:58	0,80	115,90	0	323158,75	92,23
Jumlah	5,87	978,29	668,32	2.644.559,38	686,45

Hasil percobaan menunjukkan bahwa jumlah energi panas yang terserap selama 6 jam pembakaran adalah 2.644.559,38 kJ.

Untuk mengetahui jumlah energi panas yang tersimpan di dalam tungku setelah proses pembakaran dihentikan, maka dilakukan pengukuran jumlah energi yang terserap oleh air, setelah dibiarkan berada di dalam wajan selama 14 jam. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data jumlah panas yang disimpan tungku setelah tidak ada penambahan bahan bakar

Waktu (jam)	Volume Air (m ³)	Air yang menguap (kg)	Penambahan air (kg)	Jumlah panas yang diserap (kJ)	Laju pindah panas (kW)
2:02	0,65	156,40	0	352887,60	50,50
12:00	0,53	118,00	0	266298,75	6,16
Jumlah	1,17	274,40	0	619.186,35	56,66

Dari Tabel 2 terlihat bahwa jumlah energi yang tersimpan dalam tungku sebagai hasil proses pembakaran 535 kg kayu selama 6 jam, adalah 6.191.86,35 kJ. Jumlah energi panas tersebut sangat besar dan diperkirakan mampu menaikkan suhu minyak di dalam wajan sampai pada titik bakar. Apabila diasumsikan minyak kelapa yang ada di dalam wajan sebanyak 430 kg maka sejumlah energi

Penetapan kapasitas energi tungku

Penetapan kapasitas energi panas dari tungku yang dapat dipergunakan untuk proses penggorengan kelapa parut dilakukan untuk mengetahui kapasitas maksimum yang dapat dipergunakan untuk memproduksi minyak HOID.

Penetapan kapasitas energi panas dilakukan dengan cara mengukur jumlah energi yang diserap oleh air dalam wajan. Jumlah bahan bakar yang digunakan adalah 535 kg. Hasil pengukuran ditunjukkan dalam Tabel 1.

panas tersebut dapat meningkatkan suhu minyak sebesar 359 °C.

Peningkatan suhu minyak tersebut sudah dapat mengakibatkan minyak kelapa terbakar. Swern (1979) menyebutkan bahwa titik mulai terbakarnya minyak (fire point) jagung dan minyak kacang adalah 362°C (pada kandungan FFA 1%). Sedangkan untuk minyak kelapa suhu tersebut bahkan lebih rendah.

Untuk mengatasi masalah tersebut salah satu cara adalah dengan menambahkan sejumlah kelapa parut ke dalam minyak panas dalam wajan pada proses penggorengan terakhir, dan tidak menambahkan bahan bakar ke dalam tungku. Kelapa parut tersebut dibiarkan sampai pagi untuk menyerap energi panas yang tersimpan dalam tungku.

Perkiraan laju penggorengan (pengeringan) kelapa parut

Berdasarkan data kapasitas panas yang dapat diserap air dalam tungku, dilakukan perhitungan perkiraan laju penggorengan (pengeringan) kelapa parut. Setiap proses penggorengan menggunakan minyak dengan jumlah 215 kg dan ketinggian minyak adalah 23 cm. Kedalam minyak ditambahkan 60 kg kelapa parut segar, sehingga perbandingan kelapa parut segar dengan minyak adalah 1: 3,28. Dalam proses perhitungan tersebut diasumsikan jumlah minyak yang terserap (terangkat) setiap kali proses penyerapan (pengambilan) kelapa parut goreng adalah 20%

dari volume minyak penggoreng atau 0,66 kg minyak/kg kelapa parut segar. Kelapa parut *goreng (kering) diperkirakan dipanaskan* sampai suhu 120°C.

Jumlah energi panas yang dibutuhkan untuk memanaskan setiap kg kelapa parut segar, dari 26°C sampai 100°C adalah: 1227,89 kJ. Jumlah energi panas yang dibutuhkan untuk memanaskan 3,28 kg minyak kelapa, dari 26°C sampai 120°C pada proses penggorengan tahap pertama adalah : 626,68 kJ. Jumlah energi panas yang dibutuhkan untuk memanaskan 0,66 kg minyak yang ditambahkan pada setiap tahap proses penggorengan berikutnya, dari 26°C sampai 120°C adalah 125,34 kJ.

Jumlah energi panas yang dibutuhkan untuk proses penggorengan tahap pertama adalah : 1854,57 kJ, sedangkan jumlah energi panas yang dibutuhkan untuk setiap tahap proses penggorengan berikutnya adalah 1353,22 kJ.

Berdasarkan data-data tersebut maka dapat diperkirakan rata-rata laju proses penggorengan kelapa parut, dengan perbandingan 1: 3,28, adalah 296 kg kelapa parut per jam. Dengan demikian kapasitas penggorengan sistem tungku apabila dioperasikan 8 jam penggorengan adalah 2366 kg kelapa parut, sedangkan untuk 7 jam proses penggorengan adalah 2070 kg kelapa parut.

Dari data pemanasan air dalam tungku dapat disimpulkan bahwa untuk menyiapkan sistem tungku sampai kondisi siap dipergunakan untuk menguapkan air dari daging kelapa dibutuhkan waktu sekitar 40 - 60 menit. Dengan demikian untuk dapat

memanfaatkan waktu 8 jam proses penggorengan harus dilakukan pemanasan awal tungku 40 - 60 menit sebelum mulai operasi penggorengan, agar kapasitas tungku per satu shift operasi dapat dimanfaatkan secara maksimal.

Dalam industri pengolahan minyak kelapa dengan teknologi HOID, ternyata perbandingan kelapa parut dengan minyak bervariasi dari 1: 1, 1: 3, sampai 1: 5 (Junaidi et al, 1994, dan Supriatna et al, 1994). Sedangkan hasil penelitian di laboratorium menunjukkan perbandingan maksimum yang masih memungkinkan proses penggorengan berlangsung baik adalah 1: 0,8 (Rouziere, 1995). Untuk mengetahui gambaran pengaruh perbandingan kelapa parut dengan minyak kelapa terhadap laju proses penggorengan, dilakukan perhitungan yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 3.

Data pada Tabel 3 di atas menunjukkan bahwa semakin besar perbandingan kelapa parut dengan minyak kelapa (1: 0,8) semakin tinggi laju penggorengan kelapa parut. Dengan demikian kapasitas sistem tungku dapat ditingkatkan dengan meningkatkan perbandingan kelapa parut dengan minyak kelapa. Namun demikian masih perlu dipelajari lebih mendalam pengaruh peningkatan perbandingan kelapa parut dengan minyak kelapa terhadap kemudahan operasi penggorengan dan efektivitas pindah panas dari minyak ke kelapa parut. Karena makin besar perbandingan kelapa parut dengan minyak kelapa maka campuran kelapa parut dengan minyak tersebut akan berbentuk massa yang lebih pekat.

Tabel 3. Laju penggorengan kelapa parut, dengan asumsi minyak yang terambil setiap penyerokan adalah 20% dari bobot kelapa parut yang digoreng

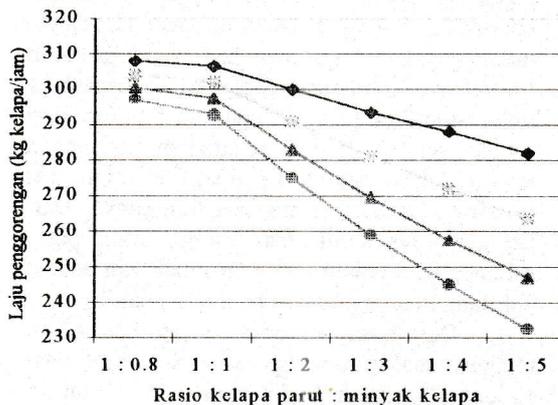
Perbandingan	1 : 0.8	1 : 1	1 : 2	1 : 3	1 : 4	1 : 5
Waktu (jam)	Laju penggorengan (kg kelapa parut / jam)					
0	0	0	0	0	0	0
1:20	337	331	300	270	243	218
0:59	371	369	357	346	336	327
1:01	269	267	259	251	244	237
1:00	374	372	360	350	339	330
1:00	349	346	336	326	316	307
0:58	270	268	260	252	245	238
Rata-rata laju penggorengan/jam	328	325	312	299	287	276
Kapasitas penggorengan (8 jam penggorengan)	2626	2603	2495	2393	2298	2209
Kapasitas Penggorengan (7 jam penggorengan)	2298	2278	2183	2094	2011	1933

Dalam proses penggorengan kelapa parut, jumlah minyak yang terserap pada saat penyerokan kelapa parut yang sudah matang, juga dapat bervariasi. Variasi tersebut dapat

disebabkan oleh cara penyerokan kelapa parut goreng. Jumlah minyak yang terserap dapat mempengaruhi laju penggorengan kelapa parut. Hal ini disebabkan terbawanya energi

panas oleh minyak yang terserap dan adanya kebutuhan panas untuk menaikkan suhu minyak kelapa yang ditambahkan sampai mencapai 120°C. Untuk melihat gambaran pengaruh variasi jumlah minyak kelapa yang terserap terhadap laju penggorengan kelapa parut dilakukan perhitungan laju penggorengan dengan jumlah minyak yang terserap bervariasi antara 10%, 20%, 30%, dan 40% dari jumlah kelapa parut segar yang digoreng. Hasil perhitungan ditunjukkan dalam Gambar 1.

Gambar 1. Pengaruh jumlah minyak kelapa yang terserap terhadap laju penggorengan



Keterangan : jumlah minyak yang terserap:

- ◆ 10%
- ⊠ 20%
- ▲ 30%
- 40%

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa semakin sedikit jumlah minyak yang terserap akan menghasilkan laju penggorengan yang lebih besar. Semakin kecil perbandingan kelapa parut dengan minyak kelapa (1 : 5) akan semakin nyata pengaruh jumlah minyak yang terserap terhadap laju penggorengan. Dengan demikian untuk meningkatkan laju penggorengan atau kapasitas sistem tungku harus diupayakan agar minyak yang terserap seminimal mungkin.

Berdasarkan produk akhirnya, industri minyak kelapa dengan teknologi HOID dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu:

1. Industri dengan minyak hasil penirisan kelapa parut goreng sebagai produk akhir
2. Industri dengan minyak hasil pengepresan kelapa parut goreng sebagai produk akhir.

Untuk industri jenis pertama, batasan minimal minyak yang terserap adalah rendemen proses pembuatan minyak kelapa, yaitu sekitar 30% dari bobot kelapa parut segar. Tetapi untuk meningkatkan laju

penggorengan, jumlah 30% tersebut tidak harus diambil pada setiap kali selesai proses penggorengan. Jumlah minyak yang terserap dapat dirancang untuk meningkatkan laju penggorengan. Dengan catatan produk yang akan dijual dikumpulkan pada akhir shift kerja. Untuk itu perlu dipertimbangkan frekuensi penggunaan ulang minyak kelapa dalam proses penggorengan. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan ulang minyak kelapa sampai 18 kali masih dapat mempertahankan mutu minyak yang dihasilkan (Rouziere, 1995).

Ditinjau dari segi mutunya, minyak hasil penirisan memiliki kadar air yang lebih rendah dibandingkan dengan minyak hasil pengepresan. Sehingga minyak hasil penirisan diperkirakan memiliki daya tahan simpan yang lebih baik.

EFISIENSI ENERGI PANAS DALAM PROSES PENGOLAHAN MINYAK KELAPA DENGAN TEKNOLOGI HOID

Evaluasi efisiensi energi panas dilakukan dengan tujuan untuk mengkaji unjuk kerja tungku yang didesain sebagai tungku efisien. Desain untuk efisiensi tungku didasarkan pada :

- Penggunaan tempat pembakaran (grate) yang memungkinkan pasokan udara untuk proses pembakaran lebih baik;
- Gas buang, sebelum terbuang melalui cerobong, dilewatkan pada setengah permukaan wajan sebagai upaya penyerapan energi melalui proses konveksi; dan
- Penggunaan material bata api (fire clay) tipe LH₃₂ (SK₃₂) sebagai isolator panas.

Untuk evaluasi efisiensi energi panas dari sistem tungku, dilakukan percobaan penggorengan kelapa parut sejumlah 1950 kg. Jumlah ini didasarkan pada perkiraan kapasitas maksimum tungku. Hasil pengukuran pada percobaan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.

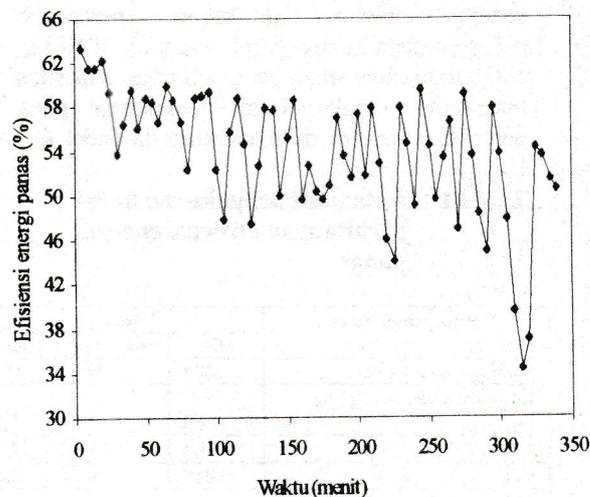
Tabel 4. Data hasil pengukuran untuk perhitungan efisiensi energi panas

Jenis pengukuran	Nilai		
	Min.	rata-rata	Maks.
Suhu gas buang (°C)	284	390	454
Komposisi gas buang (%) :			
O ₂	2,4	10,7	17,2
CO ₂	3,4	9,1	15,5
CO	0,018	0,4	3,6
Bobot gas buang kering per satuan bobot bahan bakar yang dibakar (%)	4,8	10,8	24,3
Tingkat udara lebih (excess air) (%)	3	148,2	473

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa suhu gas buang masih sangat tinggi, sehingga masih mengandung energi panas yang cukup besar. Perry (1984) merumuskan grafik yang menunjukkan hubungan antara suhu gas hasil pembakaran dengan energi panas yang dikandungnya. Dengan mengacu pada grafik tersebut, maka gas buang dengan suhu dan komposisi seperti pada Tabel 4, masih memiliki energi panas $\pm 4400 \text{ kJ/m}^3$.

Hasil percobaan pengukuran komposisi gas buang menunjukkan bahwa kadar CO yang cukup tinggi pada awal proses pembakaran. Hal ini menunjukkan proses pembakaran belum berlangsung sempurna. Faktor utama yang menyebabkan terjadinya proses pembakaran tidak sempurna adalah karena kekurangan udara pembakaran. Namun apabila diperhatikan berdasarkan komposisi gas buang secara keseluruhan, terlihat bahwa kadar CO akan berkurang seiring dengan makin lamanya proses pembakaran (temperatur di dalam tungku makin tinggi). Dengan demikian dapat disebutkan bahwa pembakaran tidak sempurna yang terjadi pada tahap awal proses pembakaran bukan disebabkan jumlah udara yang kurang di dalam tungku, tetapi karena temperatur didalam tungku yang relatif rendah. Dengan kata lain cerobong yang digunakan (dengan tinggi 9 m) sudah cukup mampu menghisap volume udara ke dalam tungku yang dibutuhkan oleh proses pembakaran.

Berdasarkan hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 4, dilakukan perhitungan efisiensi energi panas tungku, dan hasilnya ditunjukkan secara grafik pada Gambar 2.



Gambar 2. Efisiensi energi panas dari tungku

Dari Gambar 2, dapat dilihat bahwa efisiensi panas tungku bervariasi dari 34,4% sampai 63,4%, dengan rata-rata 54%. Berdasarkan perhitungan terhadap data yang diperoleh, efisiensi panas tungku maksimum dapat mencapai 70%. Dengan demikian dapat disebutkan bahwa efisiensi panas rata-rata pada proses penggorengan tersebut masih jauh dari tingkat efisiensi panas maksimum yang dapat dihasilkan tungku tersebut.

Untuk meningkatkan efisiensi panas tungku maka persentase kehilangan energi harus diminimalkan. Kehilangan energi dalam bentuk L_2 dan L_3 dapat diminimalkan dengan menggunakan bahan bakar yang memiliki kadar air rendah. Kehilangan energi dalam bentuk L_4 dan L_5 dapat diminimalkan dengan mengupayakan terjadinya proses pembakaran sempurna. Kehilangan energi dalam bentuk L_6 tidak signifikan karena abu dikeluarkan dari tungku setelah dingin. Sedangkan kehilangan energi dalam bentuk L_7 relatif konstan dan besarnya tergantung material tungkunya. Dari ketujuh jenis kehilangan energi, yang perlu dikendalikan dalam proses pembakaran adalah kehilangan energi dalam bentuk L_1 dan L_4 .

Dari hasil percobaan diperoleh bahwa efisiensi maksimum diperoleh pada saat nilai L_1 dan L_4 adalah 13,1% dan 0,4%. Nilai L_1 sangat tergantung pada nilai persentase bobot gas hasil pembakaran (W_d) dan selisih temperatur gas hasil pembakaran dengan temperatur lingkungan, sedangkan nilai L_4 tergantung pada volume CO pada gas buang.

Apabila dianalisis hasil pengukuran terhadap nilai W_d dan tingkat udara lebih pada proses pembakaran, terlihat adanya korelasi positif. Semakin tinggi tingkat kelebihan udaranya maka nilai W_d juga akan meningkat. Dengan demikian untuk meminimalkan kehilangan energi melalui gas buang, perlu pengaturan tingkat kelebihan udara pada proses pembakaran.

Tingkat kelebihan udara ditentukan oleh dua faktor yang saling berhubungan, yaitu jumlah udara dan jumlah bahan bakar di dalam tungku. Mengingat desain tungku pada percobaan ini menggunakan cerobong sebagai alat penghisap udara ke dalam ruang pembakaran, maka jumlah udara di dalam tungku relatif konstan. Dengan demikian faktor penentu tingkat kelebihan udara adalah jumlah bahan bakar di dalam tungku. Berdasarkan hal tersebut maka upaya mencapai kondisi efisiensi panas maksimum tungku dapat dilakukan dengan pengaturan jumlah bahan bakar di dalam tungku, sehingga tingkat kelebihan udara dapat dikendalikan sesuai dengan kebutuhan untuk dapat melangsungkan proses pembakaran sempurna. Upaya lain

adalah dengan merubah desain sistem tungku, yaitu dengan menggunakan pompa sebagai penghisap udara, sehingga besar kecilnya udara yang masuk ke dalam tungku dapat diatur sesuai dengan kebutuhan.

Namun demikian perlu diperhatikan bahwa tingkat kelebihan udara sangat menentukan suhu di dalam tungku. Semakin rendah tingkat kelebihan udara akan semakin tinggi suhu pembakaran di dalam tungku, demikian juga sebaliknya. Oleh karena itu, salah satu faktor pembatas dalam pengaturan tingkat kelebihan udara (sehubungan dengan suhu pembakaran) adalah daya tahan tungku terhadap panas. Berdasarkan spesifikasinya, bata tahan api jenis LH₃₂ (SK₃₂) mampu bertahan sampai suhu 1350°C.

Tariq (1981) merumuskan grafik hubungan antara tingkat kelebihan udara dengan temperatur nyala api pada kondisi adiabatik (adiabatic flame temperature) pada berbagai tingkat kadar air bahan bakar kayu. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa proses pembakaran kayu (kadar air 30% basis basah) pada tingkat kelebihan udara 60% akan menghasilkan suhu nyala api adiabatik sebesar $\pm 1320^\circ\text{C}$, dan pada tingkat kelebihan udara 20% akan menghasilkan suhu $\pm 1550^\circ\text{C}$. Dengan demikian pada tingkat kelebihan udara 60%, tungku yang dibangun dengan bata tahan api LH₃₂ (SK₃₂) masih mampu bertahan.

Perlu diingat bahwa suhu nyala adiabatik adalah suhu teoritis maksimum yang dihasilkan dari proses pembakaran, apabila proses berlangsung secara adiabatik. Dalam prakteknya suhu tersebut tidak pernah tercapai, sehingga suhu pembakaran yang dihasilkan selalu lebih rendah dari suhu nyala adiabatik tersebut. Hal ini disebabkan adanya sejumlah panas yang hilang dari sistem pembakaran, adanya sejumlah bahan bakar yang tidak terbakar seluruhnya, dan gas hasil pembakaran tidak bertahan lama di dalam sistem (ruang) pembakaran, sehingga tidak cukup waktu bagi gas tersebut untuk mencapai kondisi kesetimbangan.

Oleh karena hal tersebut di atas maka tingkat kelebihan udara hanya sebesar 20% diperkirakan masih cukup aman terhadap tungku. Hal ini dapat dilihat dari data yang diperoleh pada saat percobaan, cukup sering terjadi kondisi di mana tingkat kelebihan udara sebesar $\pm 20\%$, tetapi tungku masih mampu bertahan.

Tingkat efisiensi panas tungku juga ditentukan oleh mekanisme pindah panas yang berlangsung. Desain tungku yang digunakan dalam percobaan ini memungkinkan terjadinya pindah panas dengan cara radiasi dan konveksi. Radiasi berlangsung karena adanya

permukaan wajan yang kontak langsung dengan nyala api, sedangkan konveksi berlangsung karena adanya permukaan wajan yang dilalui gas buang sebelum keluar melalui cerobong. Rumus umum untuk pindah panas konveksi dan radiasi (Batty dan Folkman, 1983), adalah:

$$Q_{\text{(konveksi)}} = h A (t_1 - t_2),$$

$$Q_{\text{(radiasi)}} = \varepsilon \sigma A (t_1^4 - t_2^4).$$

h = koefisien pindah panas konveksi
 A = luas permukaan pindah panas
 t_1 dan t_2 = suhu permukaan dan lingkungan
 ε = tingkat emisivitas permukaan
 σ = konstanta Stefan-Boltzmann

Dengan mengasumsikan koefisien pindah panas konveksi dengan media udara yang berlangsung secara alami (free convection) sebesar $6 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$ (Batty dan Folkman, 1983), dan tingkat emisivitas bata api sebesar 0,75 (McAdams, 1954), dilakukan perhitungan yang disederhanakan untuk membandingkan besarnya energi panas yang dapat dipindahkan melalui proses konveksi dan radiasi. Hasil perhitungan menunjukkan pada suhu 1100°C , maka energi panas yang dapat dipindahkan melalui proses radiasi 9,7 kali lebih besar dibandingkan pindah panas konveksi. Sedangkan pada suhu 550°C , energi yang dapat dipindahkan dengan cara radiasi hampir sama dengan energi yang dipindahkan dengan cara konveksi. Berdasarkan rumusan tersebut dapat dilihat bahwa semakin tinggi selisih suhu permukaan dan suhu lingkungan ($t_1 - t_2$) maka perbedaan energi yang dapat diserap melalui proses konveksi dan radiasi akan semakin besar. Dengan demikian untuk meningkatkan efisiensi panas tungku, harus diupayakan sebanyak mungkin permukaan wajan yang dapat menerima pindah panas dengan cara radiasi.

Nilai efisiensi energi panas tungku yang didesain untuk percobaan ini, yaitu sebesar rata-rata 54%, sudah cukup tinggi, dibandingkan dengan sistem tungku lainnya. Breag dan Baker (1995) menyebutkan bahwa sistem pemanfaatan sisa panas pada pembuatan arang (teknologi WHU) memiliki nilai efisiensi panas sebesar 42% untuk proses pemanasan udara pengering, dan 20% untuk proses pengeringan kopra. Waris dan Simandjuntak (1985) mendesain tungku untuk penyulingan minyak atsiri, dan memperoleh nilai efisiensi energi panas sebesar 34,33%. Sedangkan Pohan et. al (1996) melakukan percobaan pembuatan kopra dengan sistem pemanasan langsung menggunakan tungku yang terbuat dari drum, memperoleh nilai

efisiensi energi panas untuk proses pengeringan kopra sebesar 13,57%. Hudaya dan Hartoyo (1984) melakukan penelitian efisiensi berbagai jenis tungku, yaitu tungku Lorena, tungku Singer, dan tungku tradisional. Hasil percobaan menunjukkan efisiensi tungku Lorena, Singer, dan tradisional masing-masing adalah: 24,75%, 24,50%, dan 18,64%. Tungku Lorena dan tungku Singer secara teoritis memiliki efisiensi $\pm 50\%$ (Evans, 1979, dan Singer, 1961). Rendahnya efisiensi tungku Lorena dan tungku Singer hasil percobaan Hudaya dan Hartoyo (1984) disebabkan perbedaan bentuk dan material tungku.

Namun demikian efisiensi sistem tungku yang diuji coba dalam percobaan ini masih lebih rendah dari hasil yang diperoleh oleh Reupke dan Tariq (1994). Lebih lanjut, Reupke dan Tariq melakukan penelitian modifikasi sistem tungku untuk pengeringan bahan hasil pertanian, dan menghasilkan prototipe tungku yang menghasilkan nilai efisiensi panas sebesar 71% - 74% dari nilai kalori bruto (GCV) bahan bakar.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kapasitas panas yang dihasilkan dari tungku mampu menggoreng (mengeringkan) kelapa parut sejumlah 2,4 ton (perbandingan 1 : 3) dengan 8 jam penggorengan, dan 2,1 ton dengan 7 jam penggorengan. Kapasitas penggorengan tungku sangat ditentukan oleh perbandingan kelapa parut dengan minyak kelapa dan jumlah minyak kelapa yang terbawa bersama kelapa parut goreng setiap kali proses penyerokan.

Gas hasil pembakaran yang dilewatkan melalui cerobong masih mengandung energi panas yang cukup besar, sehingga perlu diupayakan pemanfaatannya untuk proses lain.

Efisiensi panas maksimum tungku adalah 70%. Hasil percobaan menunjukkan rata-rata efisiensi panas yang diperoleh adalah 54%, sehingga masih perlu diupayakan proses yang dapat mencapai efisiensi panas maksimum tungku tersebut. Peningkatan efisiensi panas dapat diupayakan dengan meminimalkan energi panas yang hilang, dengan cara: penggunaan bahan bakar yang memiliki kadar air rendah, pengaturan tingkat kelebihan udara pada proses pembakaran, dan mengupayakan proses pembakaran berlangsung sempurna.

Selain itu upaya peningkatan efisiensi thermal juga dapat dilakukan dengan merancang tungku yang memungkinkan luas permukaan yang mengalami pindah panas

radiasi lebih besar dibandingkan dengan luas permukaan yang mengalami pindah panas konveksi.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk menetapkan perbandingan kelapa parut dengan minyak kelapa, dan jumlah minyak yang terbawa sewaktu penyerokan, yang menghasilkan efisiensi proses optimal, serta pengembangan desain sistem tungku untuk memperoleh efisiensi proses yang lebih baik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada: Bapak A. Basrah Enie, Kepala Balai Besar Industri Hasil Pertanian, DEPPERINDAG dan G.R. Breag, Natural Resources Institute, Inggris atas terlaksananya kegiatan penelitian "Improving the small scale extraction of coconut oil"

DAFTAR PUSTAKA

- Batty, J.C. and Folkman, S.L. (1983) *Food Engineering Fundamentals*. John Wiley, New York.
- Breag, G.R. and Baker, D. (1995) A "Synopsis of developments on the introduction of the waste heat recovery technology in Southern and South East Asia". *Proceedings of the UNIDO - APCC Interregional Workshop*, Bali.
- Breag, G.R., Setiawan, Y.Y., Junaidi, L., Supriatna, D., Tariq, A.S. and Oldham, P. (1997) *Final Technical Report on Hot Oil Immersion Drying (HOID) Technology*. APCC, Jakarta.
- Evans, I. (1979) *Lorena Owner Built Stoves, The Appropriate Technology Project of Volunteer in Asia*. Stanford-California 94305. Volunteer in Asia Publication. Di dalam Hudaya, N. dan Hartoyo. Efisiensi beberapa jenis tungku kayu bakar. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, I (3) 1984 : 16 -18.
- Hudaya, N. dan Hartoyo. (1984) Efisiensi beberapa jenis tungku kayu bakar. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, I (3) : 16 -18.
- Junaidi, L., Supriatna, D. dan Sunarto, P. (1994) *Laporan survey ke industri pengolahan minyak kelapa di Sumatera Barat*. (Laporan intern / tidak dipublikasikan).
- MC. Adams, W.H. (1954) *Heat Transmission*. London, McGraw-Hill. Di dalam: Tariq, A.S. P. Reupke, and G. Sarwar.

- Biomass Combustion Systems; A guide for monitoring and efficient operation. NRI, London, 1994.
- Perry, R.H., Green, D.W. and Maloney, J.O. (1984). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 6th ed. London, McGraw-Hill.
- Pohan, H.G., Rohaman, M.M. dan Setiawan, Y.Y. (1996) *Laporan percobaan lapangan (field testing) pembuatan kopra dengan cara tradisional dan cara "Waste Heat Recovery Unit (WHU) Technology*. BBIHP. (Laporan intern / tidak dipublikasikan).
- Reupke P. and Tariq, A.S. (1994) *Biomass-Fuelled Indirect Air Heater for Agro-Processing Industries; Design Approach*. NRI, London
- Rouziere, A. (1995) *Technical report of work undertaken on HOID; Methodology and result*. CFC Report No. 8.
- Singer, H. (1961) *Improved of Fuelwood Cooking Stoves and Economy Fuelwood Consumption*. FAO-Rome. Report to The Government of Indonesia. Di dalam Hudaya, N. dan Hartoyo. Efisiensi beberapa jenis tungku kayu bakar. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, I (3) 1984: 16 -18.
- Supriatna, D., Junaidi, L. and Sunarto, P.(1994) *Report of survey on hot oil immersion process (HOIP) in North Sulawesi*. Laporan intern/tidak dipublikasikan.
- Swern, D. (ed).(1979) *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. Vol. 1. John Wiley, New York.
- Tariq, A.S. (1994) A Computer program for calculating the thermodynamic and transport properties of the products of hydrocarbon-air combustion. *Fuel Technology Group Report No. 21*. University of Portsmouth, UK. 1981. Di dalam : Tariq, A.S. P. Reupke, and G. Sarwar. *Biomass Combustion Systems; A guide for monitoring and efficient operation*. NRI, London.
- Tariq, A.S., Breag, G.R., Setiawan, Y.Y., Junaidi, L. and Supriatna, D.(1996) *Testing and Performance of An Experimental Energy Efficient Furnace for Hot Oil Immersion Drying Process for Production of Coconut Oil*. NRI & IRDABI Project Report. (Laporan intern / tidak dipublikasikan).
- Tariq, A.S., Reupke, P. and Sarwar, G.(1994) *Biomass Combustion Systems; A guide for monitoring and efficient operation*. NRI, London.
- Waris dan Simandjuntak, H.P.(1986) *Perbaikan Tungku Penyulingan Minyak Atsiri untuk Peningkatan Efisiensi Bahan Bakar*. BBIHP. Bogor (Laporan Projek DIP).