

## ANALISA PENGARUH TEBAL DINDING DAN ISOLASI TERHADAP PERPINDAHAN PANAS PADA STERILIZER

<sup>1</sup>Ir.H. Amirsyam Nasution, MT, <sup>2</sup>Ir. Muksin R. Harahap, S.Pd, MT<sup>3</sup>Wisnu Pradana  
Program Studi Teknik Mesin FT UISU

### Abstrak

Pabrik kelapa sawit Kebun Adolina PT. Perkebunan Nusantara IV (Persero) Perbaungan merupakan pabrik milik Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak dalam bidang industri penghasil crude palm oil (CPO) atau minyak sawit mentah. Perolehan persentase rendemen crude palm oil (CPO) yang rendah sering terjadi pada pabrik kelapa sawit Kebun Adolina PT. Perkebunan Nusantara IV (Persero) Perbaungan. Dalam sterilizer buah kelapa sawit direbus dengan uap pada suhu dan tekanan serta waktu tertentu. Jika persyaratan di atas tidak terpenuhi, maka efisiensi produksi dari CPO yang dihasilkan mungkin tidak mampu memenuhi spesifikasi yang ditetapkan dalam SNI 01-2901-2006. Oleh karena itu, analisa perlu dilakukan pada sterilizer. Hasil yang didapatkan dari analisis perpindahan panas pada Sterilizer Crude Palm Oil di PT. Perkebunan Nusantara IV (Persero) yaitu efisiensi panas, losses, perubahan energi dalam dan transient conduction. Efisiensi panas tertinggi terdapat pada peak I sebesar 0,846277. Losses terendah di peak III sebesar 51,765 kJ.

**Kata kunci:** *Crude Palm Oil, Sterilizer dan Efisiensi*

### 1. Pendahuluan

#### 1.1. Latar Belakang

Pabrik kelapa sawit Kebun Adolina PT. Perkebunan Nusantara IV (Persero) Perbaungan merupakan pabrik milik Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak dalam bidang industri penghasil crude palm oil (CPO) atau minyak sawit mentah. Rendemen crude palm oil (CPO) yang dihasilkan selama ini pada Pabrik Kepala Sawit Kebun Adolina PT. Perkebunan Nusantara IV (Persero) Perbaungan bervariasi dan terkadang tidak memenuhi standar atau rendemen yang dihasilkan rendah.

Standar rendemen crude palm oil (CPO) pada pabrik kelapa sawit Kebun Adolina PT. Perkebunan Nusantara IV (Persero) Perbaungan adalah 23 – 23,50% dengan sistem perebusan dua dan tiga peak. Rendemen tidak selalu tercapai sesuai dengan standar pada kenyataan dilapangan. Sistem perebusan menjadi salah satu permasalahan pada pabrik kelapa sawit Kebun Adolina PT. Perkebunan Nusantara IV (Persero) Perbaungan yang menyebabkan rendemen terkadang tidak tercapai. Sistem perebusan yang ideal adalah dua atau tiga peak. Pembukaan dan penutupan pipa inlet dan outlet steam dilakukan untuk mengatur puncak (peak) rebusan agar mencapai dua atau tiga peak. Keadaan tekanan uap yang mampu disuplai oleh boiler ke mesin rebusan merupakan salah satu faktor penyebab bervariasi nya peak menjadi dua atau tiga peak. Sistem perebusan satu peak, tidak akan menghasilkan rendemen sesuai dengan standar yang ditetapkan, tanda buah segar (TBS) juga tidak mendapatkan penguapan yang sempurna pada sistem perebusan satu peak yang berarti proses perebusan tidak berhasil. Proses perebusan merupakan 70% dari penentu keberhasilan pencapaian rendemen itu sendiri.

#### 1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisa perpindahan panas pada sterilizer dan tebal dinding berisolasi yang berkapasitas 30 ton/muatan.

### 2. Landasan Teori

#### 2.1 Analisa Termodinamika

##### 1. Keseimbangan Energi Sistem Umum

Dalam hukum Termodinamika I, energi dapat masuk dan keluar volume atur karena perpindahan panas melalui batas sistem. Hukum pertama termodinamika membahas total energi, yang terdiri dari kinetik dan energi potensial yang dikenal sebagai energi mekanik dan energi internal. energi internal dapat dibagi lagi menjadi energi panas.

Konservasi energi pada hukum pertama termodinamika dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\Delta E_{st} = E_{in} - E_{out} + E_g$$

##### 2 Keseimbangan Energi Sistem Sterilizer 3 Puncak

Kekekalan energi pada hukum I termodinamika dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$E_{in} - E_{out} = E_g + E_{st}$$

Sedangkan untuk energi yang keluar berupa *heat loss* yang melalui dinding sterilizer dan energi yang dibawa oleh kondensat. Di dalam sistem tersebut tidak ada energi bangkitan ( $E_g = 0$ ). Sehingga persamaan keseimbangan energi sebagai berikut:

$$\Delta U = E_{in} - E_{out}$$

$$\Delta U = E_{uap} - (E_{kondensat} + Q_{loss})$$

##### 3. Energi Input ke dalam Sterilizer

Energi yang masuk ke dalam sterilizer berasal dari uap yang diinjeksikan dari *back*

pressure vessel. Kemudian energi termal uap tersebut diserap oleh kelapa sawit. Sehingga persamaannya sebagai berikut:

$$E_{in} = E_{uap}$$

dengan:

$$E_{uap} = m_{uap} \times h_{uap}$$

#### 4. Dasar Perpindahan Panas

Perpindahan panas didefinisikan sebagai berpindahnya energi dari satu tempat ke tempat lainnya yang disebabkan perbedaan temperature. Jenis-jenis perpindahan panas:

##### 1. Konduksi

$$\text{Laju Kalor} = Q/t = kA (T_2 - T_1)/x$$

##### 2. Konveksi

$$\text{Laju Kalor} = Q/t = hA (T_2 - T_1)$$

##### 3. Radiasi

$$\text{Laju Kalor} = Q/t = \sigma \epsilon A T^4$$

#### 5. Energi yang keluar dari Sistem

Energi yang keluar dari sistem berupa *heat loss* yang keluar melalui dinding sterilizer.

$$Q_{loss} = \frac{\Delta T}{\sum R_{th}} = \frac{\Delta T}{R_1 + R_2 + R_3}$$

atau

$$Q_{loss} = \frac{T_{steam} - T_{udara}}{\frac{1}{h_1^2 \pi r_1 L} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_1 L} + \frac{\ln(r_3/2)}{2\pi k_2 L} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi k_1 L} + \frac{1}{h_2^2 \pi r_3 L}}$$

#### 6. Transient Conduction

Perpindahan panas konduksi transien yaitu perpindahan panas konduksi yang berubah terhadap waktu. Pada waktu *steam* diinjeksikan kedalam sterilizer maka lori dan tandan buah segar mengalami proses konduksi transien.

$$Bi = \frac{hL_c}{k}$$

#### 7. Efisiensi Termal

Efisiensi termal yaitu perbandingan energi yang bermanfaat untuk merebus kelapa sawit (bahan baku) dengan energi yang masuk. Sehingga persamaannya sebagai berikut:

$$n_{sterilizer} = \frac{E_{used}}{E_{in}} = \frac{\Delta E_{st}}{E_{uap}} = \frac{\Delta U}{(m \times h)_{uap}}$$

#### 8. Aliran Kalor dan Kebutuhan Uap

Dalam sistem dua dimensi, dimana hanya dua batas suhu, dapat didefinisikan faktor bentuk konduksi *S* sehingga dapat diperoleh rumus mencari aliran kalor sebagai berikut:

$$q = k.S.\Delta T$$

### 3. Pengumpulan Data

#### 1 Data PT. Perkebunan Nusantara IV Perbaungan

Data yang dibutuhkan untuk menganalisis *Sterilizer* diperoleh dari dokumen

Adolina PT. Perkebunan Nusantara IV Perbaunganyaitu:

Tabel 1 Data *Sterilizer* Adolina PT. Perkebunan Nusantara IV Perbaungan

NO	STERILIZER DATA	
1	Type	Horizontal
2	Outside Diameter	2700 mm
3	Cylinder Length	19400 mm
4	Shell Thickness	16 mm
5	Working pressure Max	3,5 bar
6	Rockwool Insulating Thickness	50 mm
7	Aluminium Cover Thickness	1 mm

Tabel 2 Dimensi Lori

No	Lori	Ukuran
1	Panjang Lori	6000 mm
2	Jari-jari Lori	1160 mm

Tabel 3 Data Operasi *Sterilizer*

No	Temperatur	
1	Temperatur awal Lori	30 °C
2	Temperatur awal Kelapa sawit	30 °C
3	Tekanan Uap Masuk	3,5 bar
4	Temperatur Uap Masuk	135°C
5	Temperatur uap di dalam sterilizer Peak I	111,4 °C
6	Temperatur uap di dalam sterilizer Peak II	127,53 °C
7	Temperatur uap di dalam sterilizer Peak III	133,43 °C

### 4. Pembahasan Dan Analisa

#### 4.1 Analisa Berdasarkan Termo dinamika

##### 1. Energi Masuk *Sterilizer*

Energi yang masuk ke dalam *sterilizer* merupakan uap yang berasal dari *back pressure vessel* yang memiliki tekanan 3,5 bar dan temperatur 135°C

##### a. Peak I

##### 1. Menghitung Volume *Sterilizer*, Lori dan Tandan Buah Segar

$$v_{sterilizer} = \frac{\pi}{4} \times d_{in}^2 \times L$$

$$= \frac{\pi}{4} \times (2,633m)^2 \times$$

$$19,4m$$

$$= 105,578 m^3$$

$$V_{lori} = A_{tutuplori} \times L$$

$$= 2,31 m^2 \times 6 m$$

$$= 13,86 m^3$$

$$V_{TBS} = \pi \times r^2 \times L$$

$$= \pi \times (1,16 m)^2 \times 6 m$$

$$= 25,35 m^3$$

2. Menghitung massa uap pada sterilizer  
Massa uap dapat dihitung sebagai berikut:

$$m_{uap} = \rho_{uap} \times V$$

Dengan

$$V = V_{sterilizer} - V_{lori} - V_{TBS}$$

$$V = 105,578 \text{ m}^3 - 13,863 \text{ m}^3 - 25,351 \text{ m}^3$$

$$= 66,364 \text{ m}^3 \text{ dan}$$

$$P = 1,5 \text{ bar}$$

$$\rho_{uap} = 0,86 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ dan pada}$$

$$P = 3,5 \text{ bar dan}$$

$$T = 135 \text{ }^\circ\text{C}$$

Massa uap diperoleh sebagai berikut:

$$m_{uap} = 0,86 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 66,364 \text{ m}^3 = 57,07 \text{ kg}$$

Setelah menghitung massa uap, energi masuk dapat diperoleh sebagai berikut :

$$E_{in} = m_{uap} \times h_{uap}$$

$$= 57,26 \text{ kg} \times 2727,15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$= 156156,6 \text{ kJ}$$

#### b. Peak II

1. Menghitung Volume Sterilizer, Lori dan Tandan Buah Segar

$$v_{sterilizer} = \frac{\pi}{4} \times d_{in}^2 \times L$$

$$= \frac{\pi}{4} \times (2,633 \text{ m})^2 \times$$

$$19,4 \text{ m}$$

$$= 105,578 \text{ m}^3$$

$$V_{lori} = A_{tutuplori} \times L$$

$$= 2,31 \text{ m}^2 \times 6 \text{ m}$$

$$= 13,86 \text{ m}^3$$

$$V_{TBS} = \pi \times r^2 \times L$$

$$= \pi \times (1,16 \text{ m})^2 \times 6 \text{ m}$$

$$= 25,35 \text{ m}^3$$

2. Menghitung massa uap pada sterilizer  
Massa uap dapat dihitung sebagai berikut:

$$m_{uap} = \rho_{uap} \times V$$

dengan

$$V = V_{sterilizer} - V_{lori} - V_{TBS}$$

$$V = 105,578 \text{ m}^3 - 13,863 \text{ m}^3 - 25,351 \text{ m}^3$$

$$= 66,364 \text{ m}^3 \text{ dan}$$

$$P = 2,5 \text{ bar}$$

$$\rho_{uap} = 1,39 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P = 3,5 \text{ bar dan}$$

$$T = 135 \text{ }^\circ\text{C dari}$$

Maka massa uap diperoleh sebagai berikut :

$$m_{uap} = 1,39 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 66,364 \text{ m}^3$$

$$= 92,34 \text{ kg}$$

Setelah menghitung massa uap, energi masuk dapat diperoleh sebagai berikut :

$$E_{in} = m_{uap} \times h_{uap}$$

$$E_{in} = 92,34 \text{ kg} \times 2727,15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$= 251823,37 \text{ kJ}$$

#### c. Peak III

1. Menghitung Volume Sterilizer, Lori dan Tandan Buah Segar

$$v_{sterilizer} = \frac{\pi}{4} \times d_{in}^2 \times L$$

$$= \frac{\pi}{4} \times (2,633 \text{ m})^2 \times 19,4 \text{ m}$$

$$= 105,578 \text{ m}^3$$

$$V_{lori} = A_{tutuplori} \times L$$

$$= 2,31 \text{ m}^2 \times 6 \text{ m}$$

$$= 13,86 \text{ m}^3$$

$$V_{TBS} = \pi \times r^2 \times L$$

$$= \pi \times (1,16 \text{ m})^2 \times 6 \text{ m}$$

$$= 25,35 \text{ m}^3$$

2. Menghitung massa uap pada sterilizer. Massa uap dapat dihitung sebagai berikut:

$$m_{uap} = \rho_{uap} \times V$$

dengan

$$V = V_{sterilizer} - V_{lori} - V_{TBS}$$

$$V = 105,578 \text{ m}^3 - 13,863 \text{ m}^3 - 25,351 \text{ m}^3$$

$$= 66,364 \text{ m}^3 \text{ dan}$$

$$P = 3 \text{ bar}$$

$$\rho_{uap} = 1,65 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ dan pada}$$

$$P = 3,5 \text{ bar}$$

$$T = 135 \text{ }^\circ\text{C dari}$$

Maka massa uap diperoleh sebagai berikut :

$$m_{uap} = 1,65 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 66,364 \text{ m}^3$$

$$= 109,55 \text{ kg}$$

Setelah menghitung massa uap, energi masuk dapat diperoleh sebagai berikut:

$$E_{in} = m_{uap} \times h_{uap}$$

$$E_{in} = 109,55 \text{ kg} \times 2727,15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$= 298754,46 \text{ k}$$

## 2. Energi Keluar

Energi yang keluar dari sterilizer berasal dari kondensat. Uap yang ada di dalam sterilizer mengalami kondensasi sehingga massa uap sama dengan massa kondensat karena tidak

mengalami perubahan massa. Massa kondensat tiap peak dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. Massa Kondensat Tiap Peak

Peak	Massa kondensat (kg)
I	57,26
II	92,34
III	109,55

Energi yang keluar dari sterilizer dapat dihitung sebagai berikut:

$E_{out} = m_{kondensat} \times h_{kondensat}$  dengan *enthalpy* kondensat pada temperatur 100°C sebesar 2727,153 kJ/kg karena kondensat dibuang ke atmosfer. sehingga energi yang keluar dari sterilizer sebagai berikut:

Tabel 5. Energi Keluar Tiap Peak

Peak	$E_{out}$ (kJ)
I	33159,9652
II	53474,8847
III	63440,7389

### 3. Analisa Perpindahan Panas

#### 3.1. Kondensasi dan Panas yang Diserap oleh Lori Tiap Peak

Berikut adalah contoh perhitungan kondensasi di sisi lori pada peak I. Diperoleh properties uap sebagai berikut:

Tabel 7. Properties Uap Tiap Peak pada Kondisi Saturated Vapor

Peak	$T_{sat}$ (K)	$T_s$ (K)	$v$ (m <sup>3</sup> /kg)	$\rho_v$ (kg/m <sup>3</sup> )	$h_{fg}$ (kJ/kg)	$h_{fg}$ (J/kg)
I	384,51	303	11,612	0,861	2226,38	2226380
II	400,53	381,8	0,722	1,386	2181,4	2181406
III	406,43	399,9	0,616	1,622	2163,7	2163697

Dengan menggunakan temperatur film ( $T_f = \frac{T_{sat} + T_s}{2}$ ) dapat diperoleh properties sebagai berikut:

Tabel 8 Properties Uap Tiap Peak pada Kondisi Saturated Vapor

Peak	$T_f$ (K)	$v_f$ (m <sup>3</sup> /kg)	$\rho_f$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\mu_f$ (N.s/m <sup>2</sup> )	$k_f$ (W/m.K)	$c_{p,f}$ (J/kg.K)	$\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	$Pr_f$
I	343,8	0,001	977,3	$4 \times 10^{-4}$	0,663	4190,25	$4,06 \times 10^{-7}$	2,5
II	391,8	0,0011	944,2	$2,4 \times 10^{-4}$	0,686	4240,98	$2,5 \times 10^{-7}$	1,5
III	403,2	0,0011	934,4	$2,1 \times 10^{-4}$	0,688	4263,01	$2,3 \times 10^{-7}$	1,3

Berikut adalah contoh perhitungan pada peak I:

#### 1. Menghitung Jacob Number

Jacob Number dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Ja = \frac{c_{p,l}(T_{sat} - T_s)}{h_{fg}} = \frac{4190,5 \frac{J}{kg} \cdot K(384,51 - 303)}{2226380} = 0,153404$$

#### 2. Menghitung Modified Latent Heat ( $h'_{fg}$ )

$$h'_{fg} = h_{fg}(1 + 0,68 Ja) = 2226,38 \frac{kJ}{kg} (1 + 0,68 \times 0,153404) = 2458,6241 \frac{kJ}{kg}$$

#### 3. Menghitung Parameter Tak Berdimensi P

Karena ketebalan kondensasi tidak diketahui, maka dapat menggunakan Parameter P untuk mengganti Reynolds Number. Untuk menghitung P sebagai berikut

$$P = \frac{k_l L (T_{sat} - T_s)}{\mu_l h_{fg} \left[ \frac{v_1^2}{g} \right]^{1/3}} = \frac{0,663 \text{ W/m.K} \times 4,13 \text{ m} \times (384,51 - 303) \text{ K}}{0,000397 \text{ N.s/m}^2 \times 2458,6241 \times 10^3 \text{ J/kg} \left[ \frac{(4,06 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}^2)^2}{9,81 \text{ m/s}^2} \right]^{1/3}} = 8045,1532 \text{ Turbulen } (P \geq 2530, Pr_f \geq 1)$$

$$L = \frac{\pi D}{2} = \pi \times \frac{2,633 \text{ m}}{2} = 4,13 \text{ m}$$

#### 4. Menghitung Nusselt Number

Karena pada peak I, peak II dan peak III merupakan kondensasi turbulen dengan nilai  $P \geq 2530, Pr_f \geq 1$ , maka untuk menghitung Nusselt Number menggunakan persamaan yang direkomendasikan oleh Labuntsov sebagai berikut:

$$Nu_L = \frac{1}{P} \left[ (0,024 \times 8045,1532 - 53) \times 2,5^{1/2} + 89 \right]^{4/3} = 0,261$$

#### 5. Menghitung koefisien konveksi

$$h_L = \frac{Nu_L k_l}{(v^2/g)^{1/3}} = \frac{0,261 \times 0,663 \text{ W/m.K}}{\left[ \frac{(2,9 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}^2)^2}{9,81 \text{ m/s}^2} \right]^{1/3}} = 6768,327 \text{ W/m.K}$$

Koefisien konveksi kondensasi dan panas yang diserap oleh lori tiap peak dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 9. Koefisien Konveksi dan Panas yang Diserap oleh Lori Tiap Peak

Peak	$h$ (W/m <sup>2</sup> .K)	Q (MJ)
I	6768,327	608,29
II	6952,06	94,31
III	7307,633	27,318

## 5. Penutup

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan:

- a. Jumlah panas yang diserap oleh lori (*transient conduction*) dan kelapa sawit pada *peak* I,II dan III semakin menurun seiring bertambahnya waktu. Hal tersebut disebabkan karena rasio  $\frac{Q}{Q_0}$  semakin menurun dari *peak* I hingga *peak* III.
- b. Temperatur akhir dari lori dari *peak* I hingga *peak* II mengalami kenaikan setelah itu pada *peak* III mengalami penurunan. Sedangkan kelapa sawit dari *peak* I hingga *peak* III mengalami kenaikan karena pada *peak* III kelapa sawit lebih banyak menyerap panas dibandingkan lori
- c. Semakin tipis dinding dan isolasi maka semakin besar panas yang hilang melalui dinding perebusan *sterilizer*, dan sebaliknya semakin tebal dinding dan isolasi semakin rendah panas yg hilang dari dinding *sterilizer*.

#### Daftar Pustaka

- [1]. Holman, J.P. (2010). "Heat Transfer, Tenth Edition". Mc Graw-Hill.Inc.
- [2]. Naibaho, Waldemar and Siagian, Parulian. (2012). "Upaya Peningkatan Mutu CPO Melalui Analisis Kebutuhan Uap Diarea Stasiun Klarifikasi Pks 20 Ton Tbs/Jam". Fakultas Teknik prodi Teknik Mesin UHN dengan konsentrasi Konversi Energi
- [3]. Sitepu, Tekad. (2011). "Analisa Kebutuhan Uap Pada Sterilizer Pabrik Kelapa Sawit Dengan Lama Perebusan 90 Menit.". Skripsi Jurusan Teknik Mesin Universitas Sumatra Utara.
- [4]. Tohir. (2014). "Analisa Kalor yang Dibutuhkan pada Sterilizer tipe Horizontal Kapasitas 13 ton (tbs/jam) pada PT. SUMBER INDAH PERKASA".