

Available online at: <http://reactor.poltekatiptd.ac.id/>

**REACTOR**  
Journal of Research on Chemistry and Engineering

| ISSN Online 2746-0401 |



## Kajian Pemanfaatan Cangkang Sawit Sebagai Pengganti Solar Industri Pada Sistem *Thermal Oil Heater* di Pabrik Resin

Sari Farah Dina<sup>1</sup>, Poltak Evencus Hutajulu<sup>1</sup>, Taufiq Bin Nur<sup>2</sup>, Justaman Arifin Karo-karo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politeknik Teknologi Kimia Industri Medan, Jln. Medan Tenggara No. VII, Medan Tenggara, Medan - 20228

<sup>2</sup> Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Sumatera Utara, Medan 20155, Indonesia

### ARTICLE INFORMATION

Received: August 13, 2022

Revised: December 14, 2022

Available online: December 21, 2022

### KEYWORDS

Heating System, Industrial Fuel, Palm Shells, Performance, Thermal Fluid

### CORRESPONDENCE

Name: Sari Farah Dina

E-mail: [sfdina1@kemenperin.go.id](mailto:sfdina1@kemenperin.go.id)

### A B S T R A C T

The National Energy Policy to develop the use of renewable energy has opened up opportunities for industry to develop the use of biomass. A study on the use of palm shells as a substitute for industrial diesel in a thermal oil heating system at a natural rubber resin factory in North Sumatra has been carried out. All information and data on the operation of TOH were obtained through secondary data collection and direct discussions in the field. The secondary data obtained include the type and specification of the heater, the characteristics of the thermal oil (type, flow rate, temperature inlet and outlet of the heater), fuel consumption/hour and the characteristics of palm shells. From the study conducted, it can be concluded that during the process of heating thermal oil which takes place gradually in the TOH system using industrial diesel, it has a heat capacity of 1.500.000 kcal/hour, but the maximum heat that is useful for heating thermal oil is 694,396 kcal/hour with maximum thermal efficiency is 80.69%. Estimated consumption of palm kernel shells required to heat thermal oil on the assumption of 70% thermal efficiency as a substitute for energy supplied by industrial diesel is 237 kg/hour. The savings from this fuel replacement is estimated Rp.3.286.800.000/year.

### PENDAHULUAN

Ketersediaan energi fosil yang semakin berkurang sedangkan kebutuhan terus meningkat, menyebabkan penggunaan energi biomassa semakin diminati. Hal ini sejalan dengan konteks kebijakan pemerintah didalam komitmen penyediaan energi bersih dan terjangkau yang telah ditetapkan melalui amanat Kebijakan Energi Nasional dimana akan mengurangi konsumsi energi fosil dan memperluas penggunaan energi terbarukan. Ditinjau dari konsumsi energi, sektor industri merupakan konsumen energi terbesar, dengan tingkat pertumbuhan 5,7% per tahun. Saat ini konsumsi energi sektor industri mengambil porsi sebesar 41%, yang didominasi oleh batubara, gas bumi dan listrik. Dilihat Gambar 1, hingga tahun 2050, diprediksi konsumsi ini terus meningkat.[1]. Dengan semakin berkembangnya industri, maka konsumsi energi juga semakin meningkat sehingga

pemerintah telah menetapkan beberapa kebijakan energi diantaranya adalah pemanfaatan energi baru dan terbarukan (EBT). Berkurangnya produksi energi fosil terutama minyak bumi serta komitmen global dalam pengurangan emisi gas rumah kaca, mendorong Pemerintah untuk meningkatkan peran energi baru dan terbarukan secara terus menerus sebagai bagian dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi. Sesuai PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target bauran energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050. Indonesia mempunyai potensi energi baru terbarukan yang cukup besar untuk mencapai target bauran energi primer tersebut.

Ketersediaan energi fosil yang semakin berkurang sedangkan kebutuhan terus meningkat, menyebabkan penggunaan energi biomassa semakin diminati. Hal ini sejalan dengan konteks kebijakan pemerintah didalam

komitmen penyediaan energi bersih dan terjangkau yang telah ditetapkan melalui amanat Kebijakan Energi Nasional dimana akan mengurangi konsumsi energi fosil dan memperluas penggunaan energi terbarukan. Ditinjau dari konsumsi energi, sektor industri merupakan konsumen energi terbesar, dengan tingkat pertumbuhan 5,7% per tahun. Saat ini konsumsi energi sektor industri mengambil porsi sebesar 41%, yang didominasi oleh batubara, gas bumi dan listrik. Dilihat Gambar 1, hingga tahun 2050, diprediksi konsumsi ini terus meningkat [1]. Dengan semakin berkembangnya industri, maka konsumsi energi juga semakin meningkat sehingga pemerintah telah menetapkan beberapa kebijakan energi diantaranya adalah pemanfaatan energi baru dan terbarukan (EBT). Berkurangnya produksi energi fosil terutama minyak bumi serta komitmen global dalam pengurangan emisi gas rumah kaca, mendorong Pemerintah untuk meningkatkan peran energi baru dan terbarukan secara terus menerus sebagai bagian dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi. Sesuai PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target bauran energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050. Indonesia mempunyai potensi energi baru terbarukan yang cukup besar untuk mencapai target bauran energi primer tersebut.

Pada tabel 1 dapat dilihat potensi energi baru dan terbarukan (EBT) total adalah ekuivalen 442 GW. Energi ini digunakan pada unit pembangkit listrik, untuk keperluan bahan bakar pada sektor transportasi, rumah tangga, komersial dan industri. Salah satu EBT yang memiliki potensi sangat besar untuk terus dikembangkan adalah pemanfaatan produk samping kelapa sawit, diantaranya tandan kosong kelapa sawit (TKKS), cangkang sawit dan juga limbah cair.

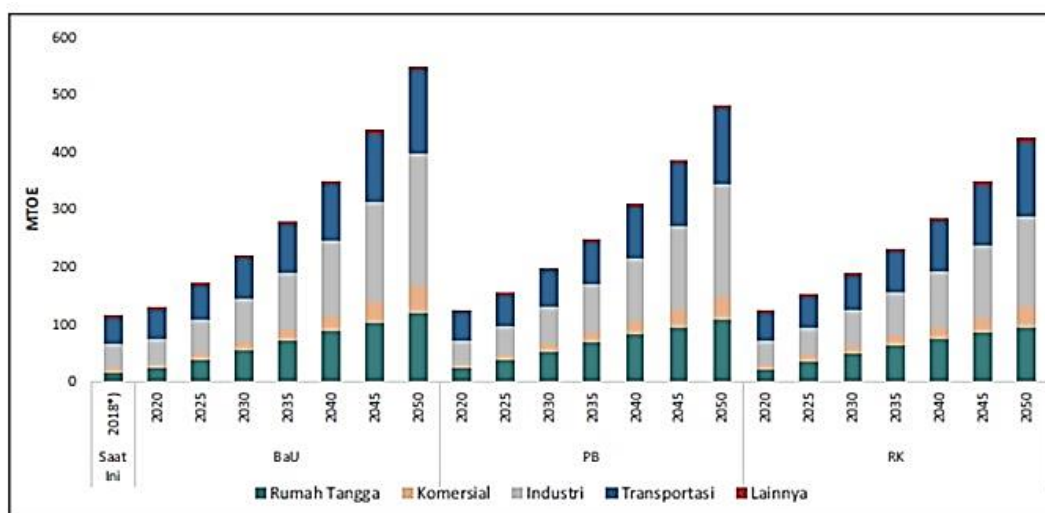
Namun sebagian besar pada penggunaannya masih menggunakan campuran dengan batubara [2] [5].

Industri kelapa sawit merupakan sumber biomassa terbesar di Indonesia dan jumlah yang tersedia untuk dimanfaatkan semakin meningkat sejalan dengan pertumbuhan industri pembangkit yang stabil. Diantara berbagai limbah hasil pengolahan kelapa sawit, cangkang sawit merupakan biomassa kelapa sawit yang sangat potensial untuk diaplikasikan sebagai sumber energi pengganti bahan bakar fosil, mengingat nilai kalorinya yang tinggi dan sifat fisik yang khas [6] [7].

Salah satu produsen resin berkualitas tinggi di Sumatera Utara menggunakan alat penukar kalor berupa *thermal oil heater* (TOH) pada proses produksi. Zat yang berasal dari siklusasi karet alam ini merupakan produk resin berkualitas tinggi yang memiliki pangsa pasar ekspor yang sangat kompetitif. Oleh karenanya pengembangan berkelanjutan terus dilakukan tak terkecuali dalam hal optimalisasi unit operasi dari proses produksi. Selain TOH pada pabrik resin ini telah memiliki umur pakai yang sudah harus mengalami revitalisasi, juga biaya bahan bakar solar industri yang terus mengalami peningkatan, maka perlu dilakukan kajian terhadap performa unit TOH jika menggunakan pemanas berbahan bakar cangkang sawit.

Tabel 1 Potensi Energi Terbarukan [14]

Jenis Energi	Potensi
Tenaga air	94,3 GigaWatt
Panas Bumi	28,5 GigaWatt
Bioenergi	32,6 GigaWatt
Bahan Bakar Nabati dan Biogas	200.000 barrel/ hari
Surya	207,8 GigaWatt
Angin	60,6 GigaWatt
Energi Laut	17,9 GigaWatt



Gambar 1. Permintaan Energi Final per Sektor [14]

*Thermal oil* atau fluida termik digunakan untuk membawa energi pada aplikasi pemanasan, industri *processing* dan juga pendinginan mesin-mesin industri. *Thermal oil* paling sesuai digunakan pada aplikasi bersuhu tinggi di mana kondisi operasi paling optimal berada di antara 150°C sampai 350°C. Pada suhu ini, pemanasan dengan menggunakan *thermal oil/thermal fluid* akan memiliki efisiensi paling tinggi jika dibandingkan dengan metode pemanasan lain seperti menggunakan steam (uap), elektrik atau pembakaran langsung [8].

TOH merupakan sistem tertutup dan didesain atas dasar pertimbangan laju alir, *pressure drop*, perubahan volume dan kekentalan fluida termiknya. Secara umum, sistem *thermal oil* terdiri dari koil pemanas, *burner*, pompa sirkulasi dan tangki ekspansi yang dilengkapi dengan sistem ventilasi, *collecting tank*, *valve*, *strainer*, *differential pressure* atau *pressure gauge* dan juga panel kontrol. Yang membedakannya hanya pada unit pembangkit energi yakni sistem pembakaran karena tergantung dari sifat bahan bakar yang digunakan baik sifat (cair, padat atau gas) maupun jenisnya (fossil atau biomassa).

Besarnya kapasitas TOH ditentukan oleh besarnya kebutuhan beban termal dari suatu unit proses, suhu operasi dan laju alir *thermal oil*. Pada sistem pemanas, *thermal oil* berada didalam koil akan menerima panas dari gas panas hasil pembakaran di *burner*. Selanjutnya *thermal oil* ini akan memberikan panas kepada media yang akan dipanaskan. *Thermal oil* yang panasnya sudah diambil oleh media akan lebih dingin dan kembali ke TOH untuk dipanaskan kembali. Bahan bakar yang dapat digunakan *burner* adalah gas, solar, batubara atau biomasa [8].

Fungsi utama dari suatu sistem *thermal fluid* (fluida termik) adalah mentransfer panas dari suatu sumber panas ke fasilitas unit proses. Umumnya suhu fluida termik keluar dari sumber panas adalah berkisar antara 170 – 350 °C (tergantung kebutuhan unit proses). Untuk itu, fluida termik yang digunakan harus memenuhi karakteristik minimal memiliki: stabilitas termal yang baik, sifat perpindahan panas yang baik, viskositas rendah, titik beku rendah, korosi rendah, toksisitas rendah, resiko rendah untuk personil akuisisi dan ekonomis. Fluida termik yang dapat memenuhi kriteria ini adalah minyak (oil). Di pasaran karakteristik *thermal oil* cukup diwakilkan oleh parameter temperatur (Tabel 2). *Thermal oil* yang digunakan pada industri yang dikaji adalah Seriola 150 yang dibuat dari bahan *distillates petroleum hydrotreated heavy paraffinic*.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Sumatera Utara tahun 2016 terdapat 25 (dua puluh lima) Kabupaten

penghasil kelapa sawit namun hanya 11 (sebelas) Kabupaten menjadi produsen unggulan. Dengan prediksi untuk setiap ton TBS yang diolah akan dihasilkan limbah cangkang sawit sebanyak 5%, maka dari Tabel 3. dapat dilihat bahwa ada 5 (lima) Kabupaten yakni Asahan, Simalungun, Langkat, Labuhanbatu Utara dan Labuhanbatu Selatan memiliki potensi cangkang sawit [9].

Tabel 3. Produksi TBS Segar dan Prediksi Limbah Cangkang Sawit di Beberapa Kabupaten Wilayah Sumatera Utara Tahun 2016 [16]

No	Kabupaten	TBS/tahun	Produksi
			Cangkang Sawit kg/hari
1	Deli Serdang	210,255	35,042
2	Serdang Bedagai	173,800	28,967
3	Asahan	1.050,159	175,027
4	Simalungun	517,218	86,203
5	Batubara	103,459	17,243
6	Langkat	633,472	105,579
7	Mandailing Natal	231,027	38,505
8	Padang Lawas Utara	295,863	49,311
9	Padang Lawas	438,022	73,004
10	Labuhanbatu Selatan	619,327	103,221
11	Labuhanbatu Utara	860,045	143,341

Ketersediaan cangkang sawit khususnya di Sumatera Utara, telah memberikan peluang bagi industri yang selama ini mengkonsumsi bahan bakar fosil untuk beralih ke biomassa. Kandungan sulfur yang dimiliki biomassa lebih rendah dari bahan bakar fosil (solar industri ataupun batubara) sehingga sumber energi terbarukan ini dapat dikatakan lebih ramah lingkungan. Namun untuk dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti energi fosil, ada beberapa persyaratan/kriteria yang harus diperhatikan. Nilai kalor rendah (LHV) biomassa umumnya adalah lebih rendah (3600 – 4800 kkal/kg) dibanding nilai kalor batubara (5500 – 7900 kkal/kg) dan bahan bakar solar (8500 – 10500 kkal/kg). Namun jika dihitung berdasarkan biaya energi/kWh, maka penggunaan cangkang sawit adalah yang berbiaya paling murah.

Cangkang sawit atau biomassa pada umumnya memiliki kandungan senyawa *volatile* yang tinggi (60 – 80 %) dibanding kadar *volatile* pada batubara, oleh karenanya biomassa lebih reaktif dibanding batubara ataupun bahan bakar solar. Akan tetapi, untuk dapat digunakan sebagai pengganti langsung terhadap energi fosil dari unit proses yang sudah beroperasi perlu dilakukan kajian neraca massa dan energi serta keekonomiannya [10]. Salah satu industri yang telah berhasil memanfaatkan cangkang sawit sebagai pengganti solar industry dapat menurunkan biaya bahan bakar sebesar 80% [9].

Tabel 2. Karakteristik Temperatur Beberapa *Thermal Oil* di pasaran [15]

<i>Thermal Oil</i>	Temperatur (°C)					
	Maksimum Operasi	Film Maksimum	Titik nyala	Pemompaan Minimum	Freezing	Autoignition
BP Transcal N	320	340	221	0	-12	350
Calflo HTF	325	343	231	-1	-18	355
Diphyl DT	330	340	135	-25	-54	545
Diphyl	400	410	115	13	12	615
Dowtherm A	400	430	113	12	12	615
Dowtherm Q	330	355	120	-30	-35	412
Essotherm 650	320	340	300	47	-9	350
Marlotherm SH	350	380	200	-5	-34	450
Mobiltherm 603	280	300	190	-8	-15	340
Pirobloc HTF Mineral	305	320	215	-5	-12	340
Therminol SP	315	335	177	-10	-40	365
Therminol 66	345	375	178	-3	-32	374
Therminol 75	380	400	132	-10	-18	585
Therminol VP-1	400	425	124	13	12	621
Shell Thermia Oil E	310	340	208	-2	-18	340
<b>Seriola 1510</b>	<b>310</b>	<b>330</b>	<b>230</b>		<b>-12</b>	<b>353</b>

Secara kimia cangkang sawit diklasifikasikan ke dalam bahan bakar padat yang memiliki unsur kimia antara lain zat arang atau karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), belerang (S), abu dan air, yang semuanya itu terikat dalam satu persenyawaan kimia. Beberapa

hasil penelitian tentang besarnya analisa ultimat dan proksimat cangkang sawit disajikan pada Tabel 4. Nilai kalor dipengaruhi oleh kadar karbon, hidrogen dan kadar air.

Tabel 4. Hasil Analisa Cangkang Sawit [4] [11] [12] [13] [14]

Kandungan	Hasil Riset				
	Raju, dkk 2016	Lee dkk, 2013	Abnisa dkk, 2011	Idris dkk, 2012	Sukiran, 2008
Analisa Ultimat, % wt					
C	68,45	55,82	49,74	48,68	53,78
H	9,52	5,62	5,32	4,77	7,20
N	0,20	0,84	0,008	1,17	0,00
S	0,74	-	0,16	0,20	0,51
O	20,99	37,73	44,86	45,27	36,30
Analisa Proksimat, % wt					
Kadar Air	3,87	11,90	11,00	-	5,73
<i>Volatile Matter</i>	72,34	66,80	67,20	73,77	73,74
<i>Fixed Carbon</i>	20,61	17,90	19,70	15,15	18,37
<i>Ash</i>	7,06	3,40	2,10	11,08	2,21
Nilai Kalor, kkal/kg	4022	3337	-	3423	4649

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisa dan evaluasi terhadap kebutuhan konsumsi energi TOH berbahan bakar solar industri dan kajian potensi penggantian bahan bakar menjadi biomassa dari cangkang sawit. Kajian ini dibatasi untuk menganalisa kebutuhan energi minimal untuk menaikkan energi spesifik *thermal oil* pada selisih temperatur (masuk dan keluar *heater*)  $\Delta T$  sebesar 20 dan 25 °C.

## METODOLOGI

Untuk melaksanakan kajian, semua informasi dan data tentang pengoperasian TOH diperoleh melalui pengumpulan data sekunder dan diskusi langsung di lapangan. Data sekunder yang diperoleh berupa, tipe dan spesifikasi alat, jenis dan laju alir *thermal oil*, temperatur *thermal oil* masuk dan keluar *heater*, konsumsi bahan bakar/jam.

### Menghitung Kebutuhan Riil Energi Untuk Memanaskan Thermal Oil

Untuk menghitung kebutuhan panas sensible untuk menaikkan suhu *thermal oil*, maka dilakukan pengamatan dan pencatatan temperatur masuk dan keluar heater setiap 15 menit yang dimulai saat start awal (jam 08.00 WIB) hingga akhir proses produksi resin (jam 15.00). Data ini digunakan untuk menghitung energi minimal yang dibutuhkan untuk memanaskan *thermal oil*, kemudian membandingkan berapa energi yang disuplai oleh bahan bakar solar dan berapa kebutuhan bahan bakar biomassa (cangkang sawit) yang diperlukan untuk memanaskan *thermal oil*.

Jumlah energi yang dibutuhkan untuk memanaskan *thermal oil* dari temperatur masuk pemanas ( $T_{in}$ ) menjadi temperatur keluar pemanas ( $T_{out}$ ) dinyatakan sebagai panas/kalor sensibel dan dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{sensible} = m_{t.o} \cdot Cp_{t.o} \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (1)$$

Keterangan:

$m_{t.o}$  = laju aliran fluida termik

$Cp_{t.o}$  = panas spesifik fluida termik

Perhitungan besarnya panas sensibel yang dibutuhkan untuk memanaskan *thermal oil* (Seriola 1510) dihitung setiap 5 (lima) menit pada laju alir fluida  $75 \text{ m}^3/\text{jam}$ . Sifat termodinamika (panas spesifik dan densitas) ditetapkan sebagai fungsi temperatur [13].

### Simulasi Perhitungan Kebutuhan Energi Memanaskan Thermal Oil pada variasi $\Delta T$ (20 dan 25°C)

Simulasi ini dilakukan dalam rangka mengetahui kebutuhan energi maksimal untuk memanaskan *thermal oil* pada selisih temperatur masuk dan keluar *heater* konstan yakni 20°C dan 25°C. Kebutuhan energi maksimal inilah yang dipilih sebagai dasar menetapkan kebutuhan bahan bakar biomassa yang akan digunakan sebagai bahan bakar pengganti solar industri. Dengan menggunakan persamaan 1) dihitung kembali kebutuhan energi ( $Q_{sensible}$ ) dengan memasukkan nilai laju *thermal oil* dan kapasitas panas *thermal oil*.

### Efisiensi Pengoperasian Thermal Oil Heater (TOH) Berbahan Solar Industri (Kondisi Riil)

Performa dari TOH dinyatakan sebagai efisiensi termal dan dihitung berdasarkan rasio antara panas sensibel yang dibutuhkan untuk memanaskan *thermal oil* dan panas yang dilepas bahan bakar solar. Efisiensi termal ini ditentukan setiap 5 (lima) menit dan dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

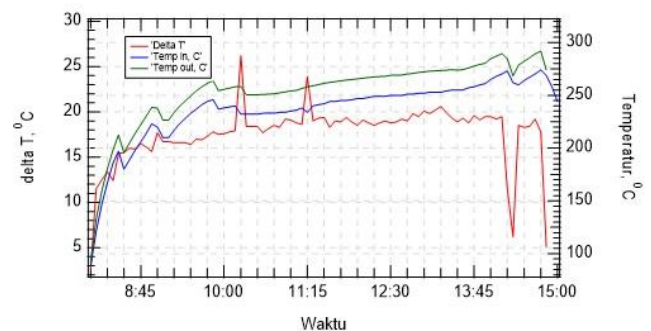
$$\eta = \frac{Q_{sensible}^{thermal\ oil}}{H_{out\ put}^{solar\ industri}} \quad (2)$$

$Q_{sensible}^{thermal\ oil}$  dihitung menggunakan persamaan 1 dan  $H_{output}$  solar industri diperoleh dari perkalian laju bahan bakar solar industri dengan nilai kalor spesifiknya. Nilai kalor solar industry adalah 8660 kkal/liter. Dan kapasitas panas *thermal oil* adalah untuk jenis Seriola 1510 [18]. Untuk melihat potensi penghematan yang dapat dilakukan jika TOH berbahan bakar solar industri digantikan TOH berbahan bakar cangkang sawit, maka dilakukan analisa perbandingan panas maksimum yang dapat dihasilkan dari kedua bahan bakar tersebut. Dengan mempertimbangkan efisiensi alat dan panas riil yang dikonsumsi *thermal oil*, didapat kebutuhan cangkang sawit pengganti solar industri. Atas dasar jumlah ini dilakukan perhitungan penghematan yang dapat dilakukan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Perhitungan Kebutuhan Riil Energi untuk Memanaskan Thermal Oil

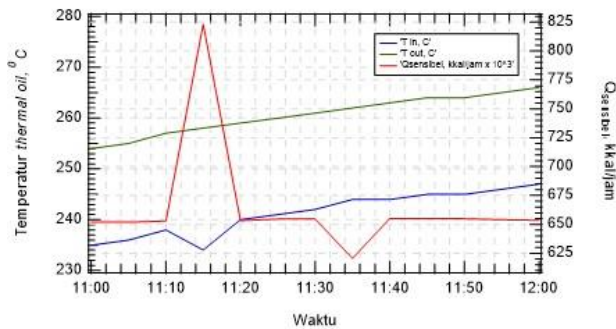
Langkah awal yang dilakukan adalah mengetahui berapa energi maksimal yang dibutuhkan selama proses pemanasan *thermal oil* menggunakan bahan bakar solar. Selama proses pemanasan berlangsung tidak terjadi perubahan fasa pada *thermal oil*, sehingga yang diperlukan hanya panas sensibel saja. Untuk itu variabel yang sangat menentukan adalah selisih temperatur *thermal oil* sebelum dan sesudah keluar pemanas ( $\Delta T$ ). Dari data lapangan seperti ditunjukkan pada Gambar 2. yang diambil selama satu hari proses produksi (08:00 – 15:00 WIB), diperoleh data selisih temperatur berada pada rentang 5 – 24 °C. dan rata-rata berada pada selisih temperature ( $\Delta T$ ) sebesar 18°C.



Gambar 2. Data Pengamatan Pemanasan *Thermal Oil* Menggunakan Pemanas Berbahan Bakar Solar Industri

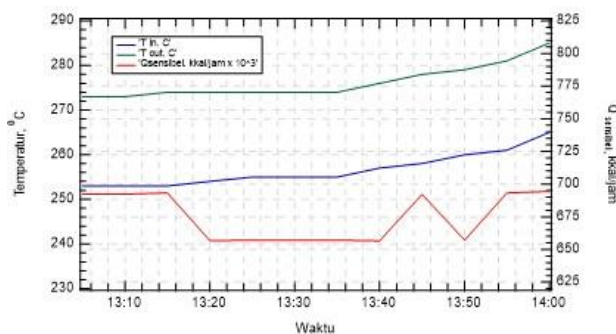
Hasil perhitungan panas sensibel yang diperlukan untuk memanaskan *thermal oil* setiap 5 (lima) menit selanjutnya dikonversi dalam satuan kkal/jam, disajikan pada Gambar 3 dan 4. Selama proses produksi berlangsung (11:00 – 14:00 WIB) panas sensibel yang diperlukan berada pada rentang 620.596 – 694.396 kkal/jam. Dari gambar tersebut dapat dilihat bagaimana pengaruh besar kecilnya selisih temperatur keluar dan

masuk *thermal oil* ( $\Delta T$ ) terhadap kebutuhan panas sensibel. Semakin besar  $\Delta T$  maka semakin besar energi yang dibutuhkan untuk memanaskan kembali *thermal oil*, dan sebaliknya. Fenomena ekstrim ini dapat dilihat pada jam 11:15; 11:35; 13:45 dan 13:50.



Gambar 3. Panas sensibel yang diperlukan untuk memanaskan *thermal oil* (11:00 – 12:00) WIB

Untuk mengantisipasi lonjakan kebutuhan energi untuk pemanasan *thermal oil* seperti yang dialami pada kondisi riil, maka perhitungan simulasi kebutuhan energi termal dari bahan bakar biomassa (cangkang sawit) dilakukan perhitungan panas sensibel pada dua rentang temperatur ( $\Delta T$ ) yakni 20 dan 25 °C.



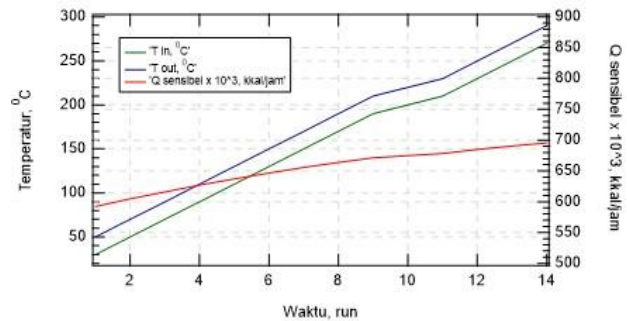
Gambar 4. Panas sensibel yang diperlukan untuk memanaskan *thermal oil* (12:05 – 14:00) WIB

### Simulasi Perhitungan Kebutuhan Energi Memanaskan *Thermal Oil* pada variasi $\Delta T$

Hasil simulasi untuk menentukan kebutuhan energi maksimal untuk memanaskan *thermal oil* tanpa melihat jenis sumber energi awalnya telah dilakukan untuk masing-masing selisih temperatur *thermal oil* masuk dan keluar *heater* ( $\Delta T$ ) yakni 20 dan 25 °C, yang disajikan pada Gambar 5 dan 6. Kebutuhan panas sensible teoritis pada laju alir fluida yang dipanaskan tetap sangat dipengaruhi seberapa besar temperatur fluida akan dinaikkan dari temperatur awal fluida masuk pemanas dengan kata lain disebut dengan  $\Delta T$ .

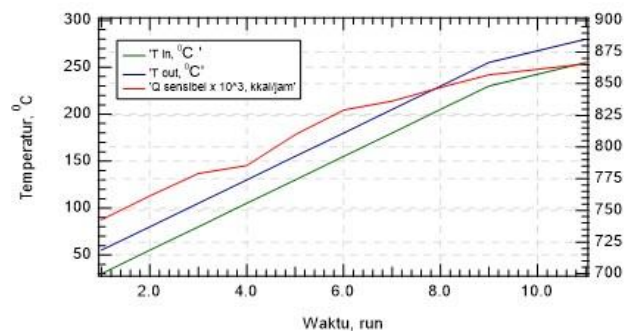
Dari 2 (dua) variasi  $\Delta T$  yang disimulasikan pada laju alir *thermal oil* tetap (75 m<sup>3</sup>/jam) seperti disajikan pada Gambar 5 dan 6 dapat dilihat bahwa semakin besar  $\Delta T$  maka panas sensibel yang dibutuhkan juga semakin

besar. Meskipun sifat termodinamika dari fluida, dengan semakin tinggi temperatur, densitas akan semakin rendah, namun kapasitas panas semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa dengan semakin tinggi kapasitas panas maka dibutuhkan energi yang semakin besar untuk menaikkan temperatur *thermal oil*.



Gambar 5. Simulasi Perhitungan Kebutuhan Panas Sensibel Memanaskan *Thermal Oil* pada  $\Delta T = 20^\circ\text{C}$

Pada Gambar 5 dimana laju kenaikan suhu *thermal oil* persatuan waktu ditetapkan sebesar  $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ , dibutuhkan energi antara  $592.4 \times 10^3 - 695.3 \times 10^3$  kkal/jam. Pada Gambar 6 dimana laju kenaikan suhu *thermal oil* persatuan waktu ditetapkan sebesar  $\Delta T = 25^\circ\text{C}$ , dibutuhkan energi lebih besar yakni antara 742,5 – 865,8 kkal/jam.



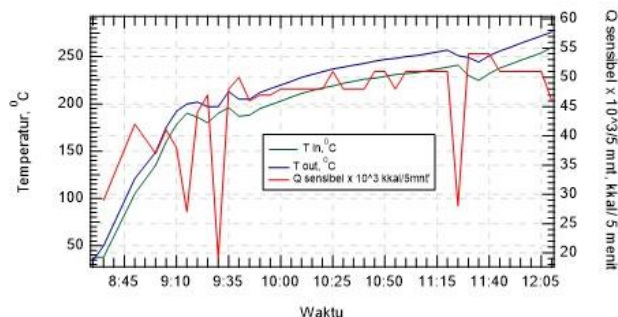
Gambar 6. Simulasi Perhitungan Kebutuhan Panas Sensibel Memanaskan *Thermal Oil* pada  $\Delta T = 25^\circ\text{C}$

Jika pemanas didesain dengan keluaran panas sebesar 1.000.000 kkal/jam, maka untuk simulasi 1 ( $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ ) diperkirakan dapat mengoperasikan jenis pemanas yang memiliki efisiensi 70%. Dan untuk simulasi 2 ( $\Delta T = 25^\circ\text{C}$ ), sebaiknya mengoperasikan jenis pemanas yang memiliki efisiensi sekitar 85%.

### Efisiensi Pengoperasian *Thermal Oil Heater* (TOH) Berbahan Solar Industri (Kondisi Riil)

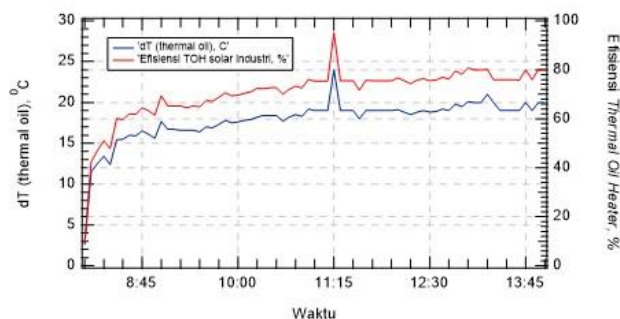
Hasil pengamatan riil di lapangan terhadap pengoperasian TOH mulai dari kondisi *start-up* (08:00 WIB) hingga akhir proses produksi (12:05 WIB) dapat dilihat pada Gambar 7. Data suhu *thermal oil* (Seriola 1510) diambil pada kondisi masuk dan keluar TOH untuk setiap 5 (lima) menit.

Dari Gambar 7 dapat dilihat besarnya perbedaan suhu masuk dan keluar fluida termik ( $\Delta T$ ) selama pemanasan pada unit TOH berada pada rentang (10 – 19 °C). Jumlah energy termal yang diperlukan untuk menaikkan suhu fluida termal secara bertahap dari 38°C hingga mencapai suhu 276°C berada pada kisaran 19,52 – 54,24 kkal untuk setiap 5 menit.



Gambar 7. Hasil Pengamatan Pemanasan *Thermal Oil* pada *Thermal Oil Heater* Berbahan Bakar Solar Industri

Jumlah energi yang disuplai dari bahan bakar solar pada laju pemakaian 1200 liter/12 jam (100 liter/jam) dengan nilai kalor sebesar 8.660 kkal/liter dan densitas 0,8443 kg/liter, akan menghasilkan panas keluar (Heat output) sebesar 866.000 kkal/jam. Efisiensi TOH pada kondisi yang sedang beroperasi menggunakan bahan bakar solar industri dihitung menggunakan persamaan 2, dan hasilnya disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Efisiensi *Thermal Oil Heater* Menggunakan Bahan Bakar Solar Industri (Kondisi Riil)

Dari gambar 8 dapat dilihat bahwa mulai jam 08:00 sampai dengan jam 11:00, energi pembakaran solar industri utamanya untuk menaikkan temperatur *thermal oil* dari 89 °C menjadi 230 °C. Pada kondisi ini, efisiensi TOH berada dibawah 75%, dan pada waktu pemanasan selanjutnya efisiensi maksimum dicapai hingga 80,69%.

#### Analisa Kebutuhan Cangkang Sawit sebagai Pengganti Solar Industri

Total  $H_{out\ put}$  yang dibutuhkan =  $H_{out\ put}$  yang disuplai TOH yang ada (solar) yakni 866.000 kkal/jam. Jika cangkang sawit yang disuplai ke ruang bakar memiliki nilai kalor sebesar 4200 kkal/kg dan asumsi efisiensi

ruang bakar adalah 70%, maka jumlah cangkang sawit yang dibutuhkan adalah sebesar:

$$m_{cangkang\ sawit} = 237\ kg/jam$$

#### Potensi Penghematan Harga Bahan Bakar

Berdasarkan data yang diperoleh dilapangan dimana TOH beroperasi 12 jam sehari, dan 25 hari dalam sebulan. Bahan bakar berupa solar industri yang dikonsumsi sebanyak 100 liter/jam akan digantikan dengan sistem pemanas biomassa menggunakan bahan bakar berupa cangkang sawit. Dengan melakukan konversi atas dasar jumlah panas yang dihasilkan dari pembakaran solar industri adalah 866.000 kkal/jam. Maka dapat dilihat hasil perhitungan simulasi potensi penghematan yang dapat dilakukan jika bahan bakar solar industri diganti dengan cangkang sawit (Tabel 5).

Tabel 5. Perbedaan Harga Bahan Bakar Solar Industri dan Cangkang Sawit pada Pemanasan *Thermal Oil*

Keterangan	Solar Industri	Cangkang Sawit
<b>Konsumsi bahan bakar</b>		
liter/jam	100	
kg/jam		237
<b>Nilai kalor</b>		
kkal/liter	8.660	
kkal/kg		4200
<b>Harga bahan bakar, kkal/jam</b>		
efisiensi 80%	692800	
efisiensi 70%		696780
<b>Harga bahan bakar</b>		
Rp/liter	11500	
Rp/kg		1000
<b>Total harga konsumsi bahan bakar/jam</b>		
	1.150.000	237.000
<b>Total Saving</b>		
Rp /jam		913.000
Rp /hari (1 hari = 12 jam)		10.956.000
Rp /bln (1 bln = 25 hari)		273.900.000
Rp /tahun		3.286.800.000

Perhitungan ini dilakukan dengan mempertimbangkan efisiensi kerja pemanas. Untuk pemanas menggunakan solar industri (pemanas yang saat ini beroperasi), hasil perhitungan seperti yang disajikan pada Gambar 9 diperoleh efisiensi maksimum adalah 80%. Untuk pemanas jika menggunakan cangkang sawit (dengan

asumsi nilai kalor 4200 kkal/jam dan efisiensi alat 70%), akan diperoleh konsumsi sebesar 237 kg.

Berdasarkan perhitungan seperti yang disajikan pada Tabel 5, diperoleh potensi penghematan yang cukup signifikan untuk dilakukan penggantian TOH dari solar industri menjadi biomassa (cangkang sawit). Mengingat panas sensibel pada kondisi riil yang dibutuhkan untuk memanaskan *thermal oil* adalah 694.396 kkal/jam (Gambar 4), maka pemilihan TOH berbahan bakar biomassa cukup untuk pemanas dengan spesifikasi kapasitas panas 1.000.000 kkal/jam. TOH berbahan bakar solar industri memiliki kapasitas panas 1.500.000 kkal/jam, sedangkan panas yang dikonsumsi *thermal oil* maksimum 694.396 kkal/jam. Oleh karenanya penggantian unit pemanas menggunakan biomassa pada kapasitas 1.000.000 kkal/jam juga berpotensi lebih efektif dan efisien dibanding kapasitas yang lebih besar (1.500.000 kkal/jam).

## KESIMPULAN

Telah dilakukan pengamatan dan analisa terhadap pengoperasian sistem TOH berbahan bakar solar industri dengan kapasitas panas terpasang 1.500.000 kkal/jam, yang digunakan sebagai sistem pemanas pada proses produksi resin berbahan baku karet alam, serta potensi penggantian bahan bakar menjadi biomassa (cangkang sawit). Hasil pengamatan yang dilakukan selama sistem pemanasan berlangsung yakni dari jam 08:00 sampai dengan jam 15:00, menunjukkan bahwa rata-rata selisih antara temperatur *thermal oil* masuk dan keluar pemanas ( $\Delta T$ ) adalah 18°C. Panas sensibel maksimum yang diperlukan untuk memanaskan kembali temperatur *thermal oil* yang dikembalikan dari unit proses produksi resin adalah 694.396 kkal/jam. Hasil simulasi terhadap 2 (dua) variasi yakni 20 °C dan 25 °C menunjukkan bahwa semakin besar  $\Delta T$  maka semakin besar panas sensibel yang dibutuhkan. Kedua simulasi menunjukkan kapasitas panas dibawah 1.000.000 kkal/jam. Hasil analisa termal dan ekonomi terhadap penggantian sistem TOH berbahan bakar solar industri 100 liter/jam (nilai kalor 8.660 kkal/liter) menunjukkan bahwa cangkang sawit sebanyak 237 kg/jam (nilai kalor 4200 kkal/kg) dapat sistem pemanas solar industri yang ada dengan potensi penghematan sebesar Rp. 3.286.800.000 pertahun.

## ACKNOWLEDGMENT

Terimakasih kepada Direktur dan Staff PT. Industri Karet Nusantara – Unit Resiprene 35 yang telah memberikan dana serta informasi data primer dan sekunder sehingga kajian ini dapat dilaksanakan dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Sukiran, "Pyrolysis of empty oil palm fruit bunches using the quartz fluidised- fixed bed reactor," 2008.
- [2] B. P. Statistik, "Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2017," <https://www.bps.go.id/publication/>, Mar. 29, 2019.
- [3] R. Ahmad, M. A. Mohd Ishak, N. N. Kasim, and K. Ismail, "Properties and thermal analysis of upgraded palm kernel shell and Mukah Balingian coal," *Energy*, vol. 167, pp. 538–547, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.018>.
- [4] Raju Muhammad, "Karakterisasi Arang dan Gas-Gas Hasil Pirolisis Limbah Kelapa Sawit," *Jurnal Keteknikaan Pertanian (JTEP)*, vol. 4, no. 2, pp. 153–160, 2016, doi: DOI: 10.19028/jtep.04.2.p 153-160.
- [5] S. K. Loh, "The potential of the Malaysian oil palm biomass as a renewable energy source," *Energy Convers Manag*, vol. 141, pp. 285–298, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.081>.
- [6] Handaya Handaya, Herry Susanto, Dikky Indrawan, and Marimin Marimin, "Supply and Demand Characteristics of Palm Kernel Shell as a Renewable Energy Source for Industries," *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 11, no. 2, pp. 481–490, May 2022.
- [7] C. H. Lim *et al.*, "A review of industry 4.0 revolution potential in a sustainable and renewable palm oil industry: HAZOP approach," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 135, p. 110223, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110223>.
- [8] Alpha Omega, "Thermal Oil Guide Origins," [https://www.cv-ao.com/Thermal Oil Guide Origin.pdf](https://www.cv-ao.com/Thermal%20Oil%20Guide%20Origin.pdf), Apr. 06, 2022.
- [9] Y. Lee *et al.*, "Comparison of biochar properties from biomass residues produced by slow pyrolysis at 500°C," *Bioresour Technol*, vol. 148, pp. 196–201, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.08.135>.
- [10] Total Energies, "Product Catalog SERIOLA 1510," *Product Catalog Total Energies*, Mar. 29, 2019.
- [11] W.-H. Chen and J.-S. Wu, "An evaluation on rice husks and pulverized coal blends using a drop tube furnace and a thermogravimetric analyzer for application to a blast furnace," *Energy*, vol. 34, no. 10, pp. 1458–1466, 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.06.033>.
- [12] Total Oil, "TDS PDS OLI TOTAL SERIOLA 1510," Mar. 29, 2022. <http://file.jayadipa.co.id/tds> (accessed Mar. 21, 2022).



- [13] F. Abnisa, W. M. A. W. Daud, W. N. W. Husin, and J. N. Sahu, "Utilization possibilities of palm shell as a source of biomass energy in Malaysia by producing bio-oil in pyrolysis process," *Biomass Bioenergy*, vol. 35, no. 5, pp. 1863–1872, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.033>.
- [14] Kementrian ESDM RI, "Outlook Energi Indonesia 2019," 2019.
- [15] Hot oil heaters and thermal fluids: the complete guide - Pirobloc, <https://www.pirobloc.com/en/hot-oil-heaters-and-thermal-fluids-guide/> (accessed Mar. 21, 2022).
- [16] S. S. Idris, N. A. Rahman, and K. Ismail, "Combustion characteristics of Malaysian oil palm biomass, sub-bituminous coal and their respective blends via thermogravimetric analysis (TGA)," *Bioresour Technol*, vol. 123, pp. 581–591, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.07.065>.
- [17] S. S. Idris, N. A. Rahman, K. Ismail, A. B. Alias, Z. A. Rashid, and M. J. Aris, "Investigation on thermochemical behaviour of low rank Malaysian coal, oil palm biomass and their blends during pyrolysis via thermogravimetric analysis (TGA)," *Bioresour Technol*, vol. 101, no. 12, pp. 4584–4592, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.059>.
- [18] M. A. Heredia Salgado, L. A. C. Tarelho, M. A. A. Matos, D. Rivadeneira, and R. A. Narváez C, "Palm oil kernel shell as solid fuel for the commercial and industrial sector in Ecuador: tax incentive impact and performance of a prototype burner," *J Clean Prod*, vol. 213, pp. 104–113, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.133>