

Increasing The Efficiency Of Plate Heat Exchanger (PHE) Economizer And Cooler Towards The Reduction Of Sterol Glucoside Components As Total Contaminants In Biodiesel

**Boy Andika Sinaga¹, Dian Syahputra Saragi², Mangatur Febri V Pane³,
Frandika Darma⁴**

¹ Program Studi Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara

^{2,3} Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Sumatera

⁴ Program Studi Teknik Kimia, Universitas Malikussaleh

e-mail: boyandikasinaga008@gmail.com

Abstrak

Sterol Glucoside menjadi komponen total contaminant pada produk biodiesel yang dapat mengakibatkan permasalahan pada mesin berbahan bakar biosolar. Sterol glucoside akan mengakibatkan penyumbatan pada injeksi bahan bakar sehingga distribusi bahan bakar pada ruang pembakaran tidak merata yang berdampak terhadap performa mesin semakin menurun. Penurunan sterol glucoside pada produk biodiesel dapat dilakukan dengan proses penyaringan pada temperatur yang lebih rendah dikarenakan kelarutan sterol glucoside dalam biodiesel semakin menurun pada temperatur yang lebih rendah. Penelitian ini dilakukan pada perusahaan produksi biodiesel yang berlokasi di Duri-Riau dengan kapasitas pengolahan sebesar 25,000 kg/jam dengan bahan baku utama RBDPO. Proses penurunan sterol glucoside sebagai total contaminant biodiesel dominan terjadi pada Section Biodiesel Drying dimana pada section ini terdapat peralatan seperti dryer, plate heat exchanger berupa heater, economizer, cooler dan filtrasi. Penelitian ini mempertimbangkan penurunan temperatur produk akhir biodiesel melalui penambahan plate pada economizer atau cooler sehingga akan terjadi peningkatan efisiensi perpindahan panas yang lebih baik lagi. Hasil yang didapatkan yaitu penambahan plate pada economizer sebanyak 24 plate dengan peningkatan efisiensi perpindahan panas sebesar 6,6% dan temperatur keluaran produk akhir 32°C. Pada penambahan plate cooler sebanyak 32 plate didapatkan efisiensi sebesar 16,3% dan temperatur produk akhir 35°C. Adapun pilihan penambahan plate dilakukan pada economizer disebabkan lebih efisien terhadap biaya dan energi. Hasil analisa didapatkan jumlah sterol glucoside sebelum penambahan plate economizer sebesar 18 ppm dan sesudah penambahan plate economizer sebesar 6 ppm atau turun sebanyak 66,7%.

Kata kunci: Biodiesel, Cooler, Economizer, Sterol Glucoside, Total Contaminant

Abstract

Sterol Glucoside is a total contaminant component in biodiesel products that can cause problems in biodiesel-fueled engines. Sterol glucoside will cause blockage in the fuel injection so that the distribution of fuel in the combustion chamber is uneven which has an impact on decreasing engine performance. The reduction of sterol glucoside in biodiesel products can be done by a filtration process at a lower temperature because the solubility of sterol glucoside in biodiesel decreases at lower temperatures. This study was conducted at a biodiesel production company located in Duri-Riau with a processing capacity of 25,000 kg/hour with the main raw material RBDPO. The process of reducing sterol glucoside as a total biodiesel contaminant predominantly occurs in the Biodiesel Drying Section where in this section there are equipment such as dryers, plate heat exchangers in the form of heaters, economizers, coolers and filtration. This study considers reducing the temperature of the final biodiesel product by adding plates to the economizer or cooler so that there will be an even better increase in heat transfer efficiency. The results obtained were the addition of 24 plates to the economizer with an increase in heat transfer efficiency of 6.6% and the final product output temperature of 32oC. The addition of 32 plate coolers resulted in an efficiency of 16.3% and a final product temperature of 35oC. The choice of adding plates to the economizer was made because it was more efficient in terms of cost and energy. The results of the analysis showed that the amount of sterol glucoside before the addition of the economizer plate was 18 ppm and after the addition of the economizer plate was 6 ppm or decreased by 66.7%.

Keywords: Biodiesel, Cooler, Economizer, Sterol Glucoside, Total Contaminant

LATAR BELAKANG

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif pengganti yang bersifat biodegradable dan tidak beracun dengan bahan baku berasal dari minyak nabati maupun lemak hewani. Penggunaan biodiesel dianggap lebih baik disebabkan emisi karbon pembakaran pada mesin lebih rendah jika dibandingkan menggunakan diesel konvensional (Madiwale et al., 2017). Penggunaan biodiesel melalui program mandatori pemerintah Indonesia tahun 2023 mencapai 12,2 miliar liter dan pada tahun 2024 mengalokasikan peningkatan konsumsi 2-4% yaitu sebesar 13,4 miliar liter (Degreenia, 2023).

Karakteristik biodiesel terbukti memiliki kesamaan dengan diesel konvensional sehingga dapat digunakan secara langsung pada mesin tanpa adanya modifikasi. Biodiesel memiliki nilai viskositas yang tinggi dengan angka cetana yang rendah yang berdampak pada peningkatan waktu tunda penyalaan dan penurunan suhu penyalaan. Viskositas yang tinggi juga menjadi salah satu faktor peningkatan penyumbatan pada nozzle injeksi yang mengakibatkan pembakaran tidak akan sempurna didalam silinder mesin (Zheng et al., 2022). Permasalahan tersebut dapat diselesaikan dengan melakukan pencampuran biodiesel dengan diesel konvensional (solar) untuk mendapatkan standar viskositas dan angka cetana yang sesuai dengan standart. Secara umum pencampuran biodiesel disimbolkan dengan huruf "B" yang menunjukkan

persentasi pencampuran antara biodiesel dengan diesel konvensional (Madiwale & Bhojwani, 2016).

Permasalahan lain yang didapatkan pada penggunaan biodiesel adalah Total Contaminant (TC) yang terkandung didalamnya seperti kandungan glycerol, Free Fatty Acid (FFA), logam, komponen tak jenuh serta komponen Sterol Glycoside (SG) menjadi komponen yang berkontribusi terbesar pada TC (Banga & Varshney, 2010). SG akan menjadi endapan yang dapat menimbulkan permasalahan pada mesin yang menggunakan biodiesel dimana memberikan efek penyumbatan pada plugging filter sehingga bahan bakar tertahan dan tidak terdistribusi normal pada ruang pembakaran mesin. SG juga mengakibatkan endapan pada dasar tanki penyimpanan serta pengecilan pipa proses produksi biodiesel (Songtawee et al., 2014).

Penelitian yang dilakukan oleh Bondioli et al (2008) menjelaskan bahwa terdapat sebanyak 144 ppm SG didalam minyak sawit serta 35 ppm didalam minyak kedelai. Proses penurunan komposisi SG dalam biodiesel dapat dilakukan dengan filtrasi menggunakan temperatur rendah disebabkan kelarutan SG akan semakin menurun sebanding dengan penurunan temperatur.

Penggunaan temperatur yang lebih rendah pada produk biodiesel akan membantu proses pemisahan SG yang lebih efektif. SG akan tertahan pada filter sehingga meningkatkan kualitas produk akhir biodiesel. Pada penelitian ini akan dilakukan proses peningkatan efisiensi Plate Heat Exchanger (PHE) yaitu economizer serta cooler yang digunakan pada proses produksi biodiesel. Economizer digunakan untuk proses pemanfaatan panas produk terhadap pemanasan umpan sebelum masuk ke peralatan selanjutnya. Economizer digunakan untuk pengurangan biaya pengoperasian serta penghematan steam sebagai sumber panas produksi (Patil et al., 2012). Sebelum melakukan penyimpanan pada tanki produksi terlebih dahulu produk didinginkan menggunakan cooler. Peningkatan efisiensi economizer dan cooler diharapkan mampu memberikan penurunan temperatur produk akhir sehingga SG dapat disaring secara maksimal menggunakan filter.

METODE

Penelitian ini dilakukan pada pabrik produksi biodiesel PT. X yang berlokasi di daerah Duri-Riau, Indonesia. Adapun data penelitian yang digunakan berasal dari 2 sumber yaitu sumber primer (data kondisi operasi aktual perusahaan) dan sumber sekunder sebagai pendukung dalam penyelesaian penelitian ini (jurnal dan buku).

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi temperature gun, plate heat exchanger, filterbag ukuran 5 mikron, kertas saring Whatman No.41, timbangan, peralatan gelas, pompa vakum dan oven.

Prosedur Perhitungan Jumlah Penambahan PHE pada Economizer dan Cooler

Prosedur penelitian yang dilakukan adalah pengumpulan data kondisi operasi beserta spesifikasi alat pada pabrik dimana data ini akan digunakan sebagai pendukung dalam perhitungan penambahan jumlah PHE. Melalui data yang sudah dikumpulkan dilakukan perhitungan (Yunus & Cengel, 2004):

1. Nilai beban panas fluida (Q)

$$Q_c = m_c \cdot C_{pc} \cdot \Delta T \quad (1)$$

$$Q_h = m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T \quad (2)$$

2. Log Mean Temperature Difference (LMTD)

$$LMTD = \frac{(T_{h \text{ in}} - t_{c \text{ out}}) - (T_{h \text{ out}} - t_{c \text{ in}})}{\ln \left[\frac{(T_{h \text{ in}} - t_{c \text{ out}})}{(T_{h \text{ out}} - t_{c \text{ in}})} \right]} \quad (3)$$

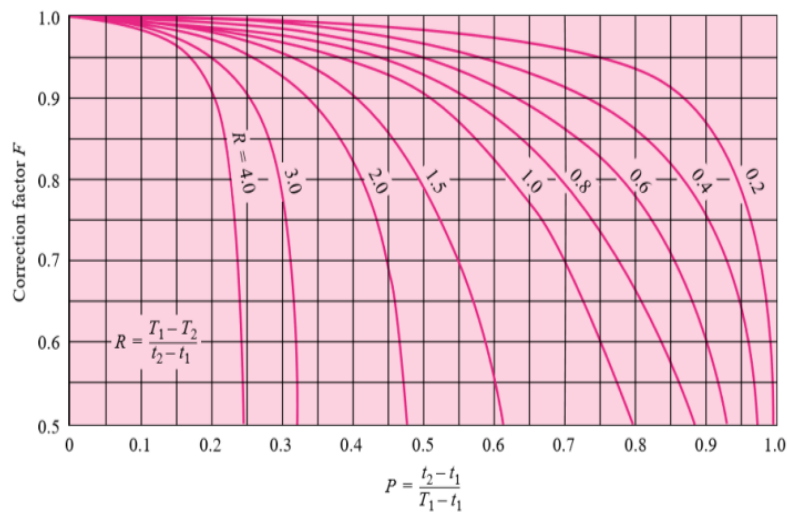
3. Koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) dan luas permukaan perpindahan panas (A)

$$U = Q/A \cdot LMTD \quad (4)$$

4. Nilai faktor koreksi

$$R = \frac{(T_1 - T_2)}{(t_1 - t_2)} \quad (5)$$

$$P = \frac{(t_1 - t_2)}{(T_1 - T_2)} \quad (6)$$

**Gambar 1. Nilai Faktor Koreksi**

Sumber: Yunus & Cengel (2004)

5. Perhitungan jumlah plate (NP)

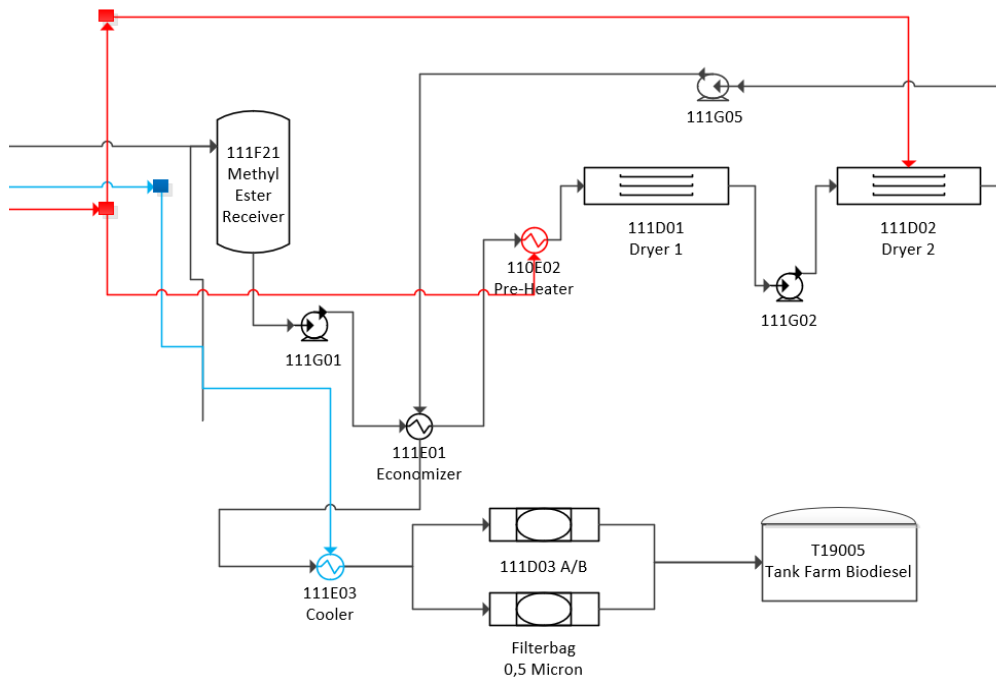
$$N_p = A/A_{1p} \quad (7)$$

Prosedur Perhitungan Total Kontaminan (SG)

Sampel yang digunakan adalah produk akhir biodiesel yang sudah disaring menggunakan filterbag ukuran 5 mikron dengan 2 sampel yaitu sebelum penambahan (X) dan sesudah penambahan (Y) plate economizer dilakukan. Sampel yang didapatkan kemudian dianalisa menggunakan prosedur analisa Total Contaminant (TC) ASTM D6217. Metode uji standar ini digunakan untuk menentukan jumlah massa kandungan impurities yang terkandung dalam produk biodiesel yaitu dengan cara filtrasi dan analisa secara gravimetri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Diagram alir proses pada Section Biodiesel Drying dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram Alir Proses Section Biodiesel Drying

Gambar 2 menunjukkan diagram alir proses biodiesel drying dimana umpan biodiesel dengan temperatur rendah akan memasuki proses drying melalui economizer untuk dikontakan dengan produk biodiesel keluaran drying yang memiliki temperatur tinggi. Pada economizer akan terjadi perpindahan panas dengan dari produk keluaran ke umpan masuk drying. Produk yang sudah didinginkan pada economizer selanjutnya dipompakan menuju cooler untuk pendinginan produk sebelum disaring menggunakan filterbag dan disimpan dalam tanki penyimpanan. Filterbag yang digunakan pada proses produksi menggunakan ukuran 5 mikron dengan temperatur produk akhir 40°C.

Perhitungan Tambahan Plate Pada Economizer

Spesifikasi economizer secara desain yang digunakan adalah sebagai berikut:

Jumlah Plate : 223 Plate
Panjang Plate : 1400 mm
Lebar Plate : 426 mm
Luas Plate Awal : 133 m²

Tabel 1 Data Temperatur Economizer

$T_{h_{in}}$ (°C)	$T_{h_{out}}$ (°C)	$t_{c_{in}}$ (°C)	$t_{c_{out}}$ (°C)
115	60	45	109,27

Tabel 2. Beban Panas Pada $t_{c_{in}}$ 45 °C

Komponen	F_{in} (kg/jam)	C_p	Q_{in} (kW)
Biodiesel	25500	239,54	122166216
H ₂ O	200	91,17	364695
Total			122530911

Tabel 3. Beban Panas $t_{c_{out}}$ 110 °C

Komponen	F_{out} (kg/jam)	C_p	Q_{out} (kW)
Biodiesel	25500	387,34	832374448
H ₂ O	200	87,50	1474883
Total			833849331

Berdasarkan data Tabel 2 dan Tabel 3 maka didapatkan nilai beban panas fluida (Q) yaitu 711318420 kW. Melalui persamaan (3) dan (4) didapatkan nilai LMTD 19,57 K dan nilai U sebesar 60925,49 W/m²K. Dengan perhitungan diatas maka didapatkan efisiensi economizer secara design sebesar 78,57%.

Tabel 4. Beban Panas Pada $T_{h_{in}}$ 115 °C

Komponen	F_{in} (kg/jam)	C_p	Q_{in} (kW)
Biodiesel	25500	398,44	914441143
Total			914441143

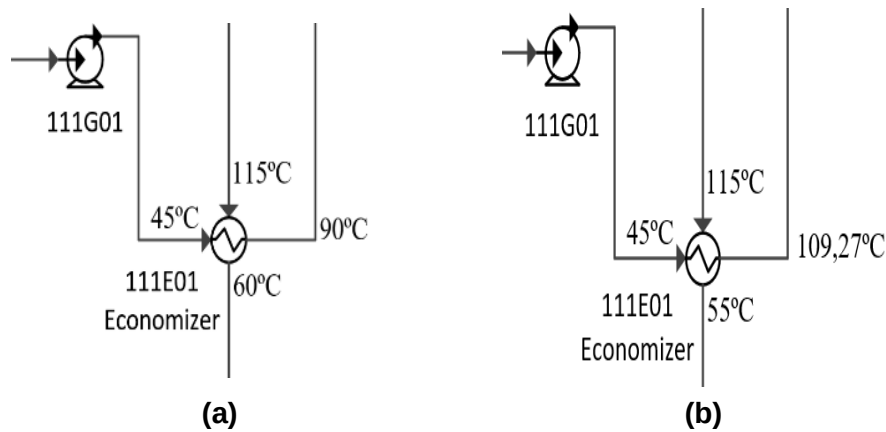
Tabel 5. Beban Panas $T_{h_{out}}$ 55 °C

Komponen	F_{out} (kg/jam)	C_p	Q_{out} (kW)
Biodiesel	25500	265,52	203122723
Total			203122723

Tabel 4 dan Tabel 5 menunjukkan besaran beban panas biodiesel dimana temperatur keluaran produk economizer yang diinginkan $T_{h_{out}}$ 55°C. Berdasarkan data yang ada

didapatkan nilai beban panas fluida (Q) sebesar 711318420 kW dan melalui persamaan (3) dan (4) didapatkan nilai LMTD 16,37 K beserta nilai U sebesar 420 W/m²K. Adapun efisiensi yang didapatkan adalah sebesar 85,17%. Peningkatan efisiensi sebesar 6,6% untuk mengoptimalkan proses perpindahan panas pada economizer sehingga temperatur produk yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan sebelum masuk ke peralatan cooler.

Peningkatan efisiensi ini berbanding lurus dengan penambahan plate pada economizer. Berdasarkan Gambar 1 didapatkan nilai faktor koreksi sebesar 0,7 sehingga nilai True Temperature Difference (TM) sebesar 11,45 K. Melalui persamaan (7) didapatkan jumlah plate yang harus digunakan 247 plate atau dengan penambahan sebanyak 24 plate. Gambar 3 menampilkan economizer sebelum dan sesudah penambahan plate.



Gambar 3. (a) Economizer dengan 223 Plate dan (b) Economizer Sesudah Optimalisasi dengan 247 Plate

Sumber: Data Hasil Olah (2024)

Perhitungan Tambahan Plate Pada Cooler

Spesifikasi cooler secara desain yang digunakan adalah sebagai berikut:

Jumlah Plate	: 257 Plate
Panjang Plate	: 1400 mm
Lebar Plate	: 426 mm
Luas Plate Awal	: 153 m ²

Tabel 6. Data Temperatur Cooler Sebelum Penambahan Plate

Th_{in} (°C)	Th_{out} (°C)	tc_{in} (°C)	tc_{out} (°C)
60	40	30	48

Tabel 7. Beban Panas Pada Th_{in} 60 °C

Komponen	F_{in} (kg/jam)	C_p	Q_{in} (kW)
----------	-------------------	-------	---------------

Biodiesel	25500	278,07	248182729
Total			248182729

Tabel 8. Beban Panas $T_{h_{out}}$ 40 °C

Komponen	F_{out} (kg/jam)	C_p	Q_{out} (kW)
Biodiesel	25500	226,11	86487357
Total			86487357

Tabel 7 dan Tabel 8 menunjukkan nilai masing-masing beban panas $T_{h_{in}}$ dan $T_{h_{out}}$ sebelum penambahan plate pada cooler. Oleh sebab itu maka didapatkan nilai beban panas fluida yaitu 161695372 kW. Melalui persamaan (3) dan (4) didapatkan nilai LMTD 8,04 K dan nilai U sebesar 131 W/m²K. Dengan perhitungan diatas maka didapatkan efisiensi cooler secara desain sebesar 67%. Penambahan plate pada economizer mengakibatkan penurunan temperatur produk masuk ke cooler yang sebelumnya 60°C menjadi 55°C dimana hal ini mengakibatkan penurunan temperatur produk keluaran cooler dari 40°C menjadi 32°C mengikuti persamaan (2).

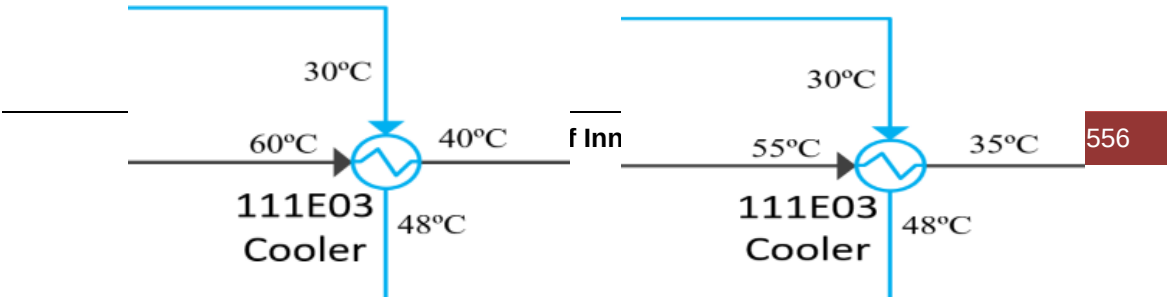
Tabel 9. Beban Panas Pada $T_{h_{in}}$ 55 °C

Komponen	F_{in} (kg/jam)	C_p	Q_{in} (kW)
Biodiesel	25500	265,52	199139925
Total			199139925

Tabel 10. Beban Panas $T_{h_{out}}$ 35 °C

Komponen	F_{out} (kg/jam)	C_p	Q_{out} (kW)
Biodiesel	25500	212,37	53094925
Total			53094925

Tabel 9 dan Tabel 10 menampilkan besaran beban panas pada masukan dan keluaran cooler. Berdasarkan data yang ada didapatkan nilai beban panas fluida (Q) adalah sebesar 146045000 kW. Melalui persamaan (3) dan (4) didapatkan nilai LMTD 5,13 K dan nilai U sebesar 252,8 W/m²K. Adapun efisiensi yang didapatkan adalah sebesar 83,3%.



(a) **(b)**
Gambar 4. (a) Cooler dengan 257 Plate dan (b) Cooler dengan 289 Plate
Sumber: Data Hasil Olah (2024)

Peningkatan efisiensi sebesar 16,3% dilakukan untuk mendapatkan temperatur produk akhir sesuai dengan yang diinginkan sebelum dilakukan penyimpanan didalam tanki. Peningkatan efisiensi ini berbanding lurus dengan penambahan plate pada cooler. Berdasarkan Gambar 1 didapatkan nilai faktor koreksi sebesar 0,62 sehingga nilai True Temperature Difference (TM) sebesar 3,34 K. Melalui persamaan (7) didapatkan jumlah plate yang harus digunakan 289 plate atau dengan penambahan sebanyak 32 plate.

Berdasarkan perhitungan penambahan plate pada economizer dan cooler yang dilakukan didapatkan efisiensi masing-masing PHE meningkat dimana penambahan plate pada economizer meningkat sebesar 6,6% dan penambahan plate pada cooler meningkatkan efisiensi menjadi 16,3% dimana temperatur produk akhir sesuai dengan yang diinginkan. Akan tetapi perlu diperhatikan bahwa jumlah plate yang ditambah pada masing-masing PHE akan memberikan pressure drop yang lebih tinggi sehingga membutuhkan pompa dengan daya yang lebih besar. Penambahan plate pada cooler juga akan memberikan peningkatan temperatur pada cooling water sebagai fluida pendingin yang akan memberikan beban terhadap kinerja cooling tower. Oleh sebab itu, peneliti merekomendasikan untuk penambahan plate pada economizer dibandingkan pada cooler.

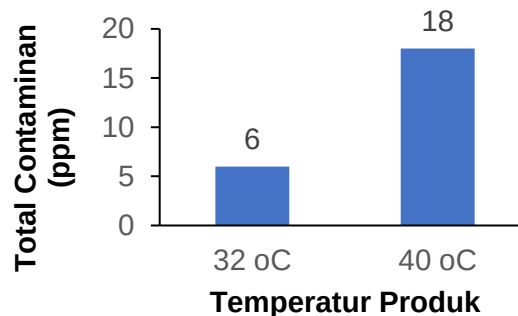
Perhitungan Total Kontaminan Sebelum dan Sesudah Penambahan Plate Pada Economizer

Total Contaminant (TC) yang terdapat pada produk biodiesel memiliki standart dimana sesuai dengan mandatori pemerintah Indonesia melalui B35 maksimal 20 ppm. Prosedur analisa jumlah TC pada produk biodiesel mengikuti standart ASTM D6217.



Gambar 5. Peralatan Filtrasi dan Pompa Vakum dalam Penentuan TC Biodiesel

Prosedur penentuan jumlah TC dilakukan dengan proses filtrasi dan selanjutnya menggunakan analisa secara gravimetri. Adapun hasil yang didapatkan bahwa nilai TC sebelum penambahan plate economizer sebesar 18 ppm dan sesudah penambahan plate economizer menjadi 6 ppm atau turun sekitar 66,7%. Komponen terbesar TC pada biodiesel secara umum adalah kandungan SG dimana karakteristik dari SG adalah kelarutan yang semakin rendah berbanding lurus terhadap temperatur produk biodiesel. Karakteristik ini mengakibatkan sejumlah SG tersaring oleh filterbag yang digunakan pada saat proses akhir produksi. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Bondioli et al (2008) menjelaskan bahwa proses penurunan komposisi SG sebagai TC dalam biodiesel dapat dilakukan dengan filtrasi menggunakan temperatur rendah disebabkan kelarutan SG akan semakin menurun sebanding dengan penurunan temperatur.



Gambar 6. Jumlah TC Pada Temperatur 32°C dan 40°C

Sumber: Data Hasil Olah (2024)

SIMPULAN

Sterol glucoside (SG) merupakan komponen utama dalam total contaminant produk biodiesel. Keberadaan komponen ini dalam jumlah banyak akan menimbulkan permasalahan pada mesin berbahan bakar campuran biodiesel. Oleh sebab itu perlu dilakukan penurunan komponen ini melalui penyaringan secara maksimal pada

temperatur yang lebih rendah dibandingkan temperatur oprasional saat ini. Terdapat beberapa pilihan yang digunakan untuk penurunan produk akhir biodiesel ini yaitu dengan cara penambahan plate pada economizer atau cooler. Akan tetapi pilihan terbaik berdasarkan biaya dan efisiensi energi dimana penambahan plate pada economizer lebih dipertimbangkan dibandingkan dengan penambahan plate pada cooler. Adapun jumlah plate yang ditambahkan pada economizer sebanyak 24 plate mengakibatkan peningkatan efisiensi menjadi 85,17 % dengan temperatur produk akhir semula 40°C menjadi 32°C. Selain itu didapatkan TC sebesar 6 ppm atau turun sebesar 66,7%. Hasil ini menunjukkan penambahan plate pada economizer berhasil menurunkan TC produk biodiesel.

DAFTAR PUSTAKA

- Banga, S., & Varshney, P. K. (2010). Effect of impurities on performance of biodiesel: A review. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 69(8), 575–579.
- Bondioli, P., Cortesi, N., & Mariani, C. (2008). Identification and quantification of steryl glucosides in biodiesel. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 110(2), 120–126. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200700158>
- Degreenia, J. (2023). Report Name: Oilseeds and Products Update. United States Department of Agriculture, 10.
- Madiwale, S., & Bhojwani, V. (2016). An Overview on Production, Properties, Performance and Emission Analysis of Blends of Biodiesel. *Procedia Technology*, 25(November), 963–973. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.189>
- Madiwale, S., Karthikeyan, A., & Bhojwani, V. (2017). A Comprehensive Review of Effect of Biodiesel Additives on Properties, Performance, and Emission. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 197(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/197/1/012015>
- Patil, A. D., Baviskar, P. R., Sable, M. J., & Barve, S. B. (2012). Optimization of Economiser Design for the Enhancement of Heat Transfer Coefficient. *International Journal of Applied Research in Mechanical Engineering*, April, 171–176. <https://doi.org/10.47893/ijarme.2012.1031>
- Songtawee, S., Ratanawilai, S., & Tongurai, C. (2014). Effect of Sterol Glucosides in Biodiesel Production. *International Journal of Advances in Chemical Engineering and Biological Sciences*, 1(1), 140–143. <https://doi.org/10.15242/ijacebs.c0114033>
- Yunus, & Cengel, A. (2004). *Heat Transference a Practical Approach*. MacGraw-Hill, 4(9), 874.
- Zheng, F., Cho, H. M., & Xu, C. (2022). Effect of Biodiesel Blended Fuel on the Performance and Emission Characteristics of Diesel Engines - A Review. *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, 27(1), 215–231. <https://doi.org/10.2478/ijame-2022-0014>