

Pengembangan Konsep Teknologi Hijau Dalam Agroindustri Minyak Goreng

Agung Siswahyu¹, Murwan Widyantoro^{*2}

¹ Program Studi Teknik kimia , Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Jakarta Raya, Jakarta, Indonesia

² Program Studi Teknik Industri , Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Jakarta Raya, Jakarta, Indonesia

e-mail: ¹agung.siswahyu@dsn.ubharajaya.ac.id, ^{*2}murwan@dsn.ubharajaya.ac.id

Abstract

This study evaluates the utility and emission reductions of a 1,500 ton/day palm cooking oil production plant through Aspen Hysys simulations (gate-to-gate) and process scenarios. The model includes degumming, bleaching, deodorization, fractionation, hot oil heating utilities, water cooling, and electricity. Three scenarios were tested: (1) Heat Exchanger Networking (HEN) for inter-stream heat exchange; (2) oil recovery in spent bleaching earth (SBE) as fuel; and (3) integration of HEN + SBE recovery. Results show reductions in heat, water, electricity, fuel, and emission requirements compared to the baseline, with the best performance differing per metric: scenario 3 effectively reduces heat, fuel, and emission requirements, while scenario 2 is efficient for water and electricity consumption. The study confirms that the application of green technology improves both the efficiency and sustainability of the Indonesian cooking oil industry..

Keywords : Cooking Oil, Green Technology, Hysys Simulation

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi pengurangan utilitas dan emisi produksi minyak goreng sawit skala 1.500 ton/hari melalui simulasi Aspen Hysys (gate-to-gate) dan skenario proses. Model mencakup degumming, bleaching, deodorization, fraksinasi, utilitas pemanas minyak panas, pendingin air, dan listrik. Tiga skenario diuji: (1) Heat Exchanger Networking (HEN) untuk pertukaran panas antar-aliran; (2) pemanfaatan kembali minyak dalam spent bleaching earth (SBE) sebagai bahan bakar; dan (3) integrasi HEN + recovery SBE. Hasil menunjukkan penurunan kebutuhan panas, air,

listrik, bahan bakar, dan emisi dibanding base line, dengan kinerja terbaik berbeda per metrik: skenario 3 efektif menurunkan kebutuhan panas, bahan bakar, dan emisi, sedangkan skenario 2 efisien bagi konsumsi air dan listrik. Studi menegaskan penerapan teknologi hijau meningkatkan efisiensi sekaligus keberlanjutan industri minyak goreng di Indonesia.

Kata Kunci: Minyak Goreng, Teknologi Hijau , Simulasi Hysys

PENDAHULUAN

Penerapan teknologi industri hijau pada dekade terakhir menjadi suatu fenomena yang tidak terhindarkan (Handoko dkk, 2016., Paula dan Handoko, 2016; Widyantoro dkk, 2016; Handayani dkk, 2016). Semakin berkembangnya kesadaran masyarakat akan efisiensi energi dan kelestarian lingkungan yang ditandai dengan kewajiban sertifikasi standar Nasional maupun internasional (ISO 14000) terkait industri hijau tersebut memaksa kita untuk berpikir melampaui pemikiran klasik terkait produktifitas, efisiensi dan efektifitas. Salah satu contoh penerapan teknologi industri hijau adalah di indndustri minyak goreng.

Konsumsi minyak goreng sekitar 20 kilogram/kapita/tahun, Indonesia memerlukan sekitar 5,4 juta kilogram minyak goreng sawit setiap tahun (PASPI, 2023).

Minyak goreng adalah bahan pangan yang memiliki komposisi utama berupa trigliserida yang berasal dari bahan nabati, melalui maupun tanpa perubahankimiawi termasuk hidrogenasi, pendinginan dan telah melalui proses rafinasi atau pemurnian yang digunakan untuk menggoreng (SNI, 2013). Umumnya minyak goreng berwujud cair dalam suhu kamar. Hal ini dikarenakan minyak goreng mengandung asam lemak tak jenuh, seperti asal oleat

($C_{17}H_{33}COOH$), asam linoleat ($C_{17}H_{31}COOH$), dan asam linolenat ($C_{17}H_{29}COOH$). Komposisi Asam Lemak Minyak Kelapa Sawit dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Komposisi Asam Lemak Minyak Kelapa Sawit

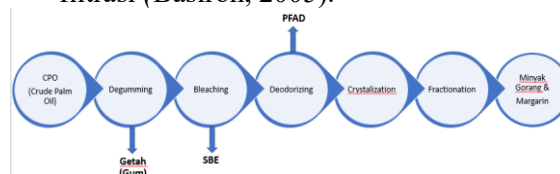
Jenis Asam	Rumus Molekul	Minyak Kelapa Sawit(%)
Asam lemak jenuh		
Miristat	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	1,1 – 2,5
Palmitat	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	40 – 46
Stearat	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	3,6 – 4,7
Asam lemak tak jenuh		
Oleat	$CH_3(CH_2)_7=CH(CH_2)_7COOH$	39 – 45
Linoleat	$CH_3CH=CHCH_2CH=CH(CH_2)_7COOH$	7 – 11

Proses pengolahan minyak goreng dilakukan melalui beberapa tahap :

1. Proses ini dimulai dari proses *Pretreatment* (*Degumming*), yaitu bahan berupa CPO masuk dengan penambahan *Phosphoric Acid* (konsentrasi 80-85%) dengan rate 0.05-0.3% dari feed minyak masuk. Kemudian dipanaskan hingga 90-110 oC dengan *resident time* 15-30 menit
2. Bleaching, dilakukan dengan penambahan *bleaching earth* sekitar 0.8 – 3 % (bergantung kualitas dari CPO). Proses *bleaching* berlangsung dibawah tekanan vakum (20-25 mmHg) pada temperatur 95-110 oC dengan waktu tinggal 30-45 menit.
3. Proses *Filtration*, minyak yang mengandung *bleaching earth* kemudian di filtrasi agar lebih bening (oranye terang).
4. Proses terakhir yaitu *Deodorization Process*, minyak yang telah diolah sebelumnya kemudian dideasidifikasi dan deodorasi. *Preated Oil* awalnya di daerasi dan diikuti dengan pemanasan 240-270°C, kondisi dibawah vakum (2-5 mmHg). Dalam kondisi tersebut dengan bantuan *stripping steam*, asam palmitat yang masih terdapat dalam *Preated Oil*, didistilasi bersama dengan senyawa *odoriferous* yang lebih volatil dan produk oksidasi seperti aldehid dan keton yang dapat menimbulkan bau dan rasa yang tidak diinginkan pada minyak. Untuk memaksimalkan *recovery*

energi panas, minyak panas hasil deodorasi dikontakkan di heat exchanger dengan *Preteated Oil* hingga 120-150 oC. Pendinginan lebih lanjut dilakukan dengan air hingga suhu 55-65 oC sebelum dilanjutkan ke *storage tank* (penyimpanan).

5. Fraksinasi merupakan proses pemisahan minyak dan lemak atau disebut dengan pemisahan antara minyak goreng dengan bahan baku margarin. Campuran minyak didinginkan dan ditumbuhkan padatan margarinnya dengan cara pendinginan. Pendinginan dikontrol dengan melakukan pengaturan perbedaan temperatur antara minyak dan *chilled water*, dan juga waktu pendinginan. Ketika suhu mencapai temperature yang diinginkan (biasanya pada 20 oC), bergantung pada kualitas minyak goreng yang dibutuhkan, pendinginan akan dihentikan dan sebagian massa yang mengkristal siap untuk di filtrasi (Basiron, 2005).



Gambar 1. Tahapan Proses Produksi Minyak Goreng

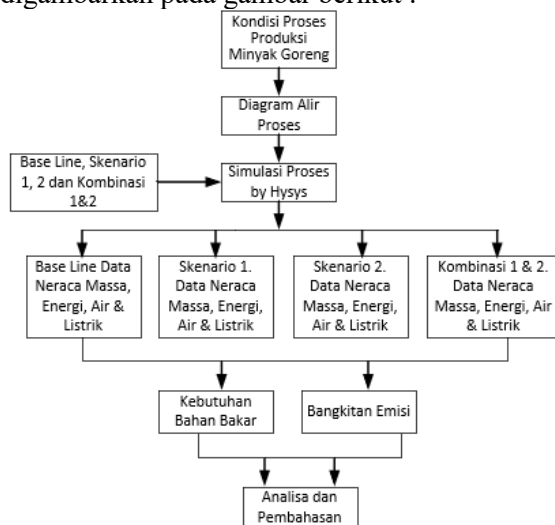
Permasalahan dari pengolahan minyak goreng ini adalah adanya inefisiensi dari proses yang ada, adanya inefisiensi ini menyebabkan dibutuhkan lebih banyak energi untuk proses produksi minyak goreng dan dengan semakin banyaknya energi akan semakin banyak dibuangnya emisi kelingkungan.

Penelitian mengenai minyak goreng dan penggunaan limbah minyak goreng untuk energi sudah banyak dilakukan (Lackner et al 2010; Chen et al 2007; Chisty et al 2007; Barndess et al 2003; Karmee et al 2015; Predojovic 2008; Pumwa 2004). Namun, produksi minyak goreng dalam kapasitas 1500 ton/hari dan hasil limbah emisi untuk energy masa depan belum pernah dilakukan. Disamping itu, analisis kebutuhan dan perhitungan emisi perlu dilakukan untuk relevansinya pengembangan industri energi dimasa depan. Oleh karena itu, Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui gambaran Utilitas & Emisi produk Minyak Goreng di Indonesia dengan mengukur konsumsi energi, emisi CO_2 , dan konsumsi air. Ruang lingkup penelitian ini adalah

pembuatan diagram alir proses produksi minyak goreng, pembuatan simulasi untuk mendapatkan data neraca massa, energi, kebutuhan air dan pemanas serta kebutuhan listrik. Selain itu dilakukan juga perhitungan kebutuhan bakar yang kemudian digunakan untuk menghitung emisi yang dihasilkan.

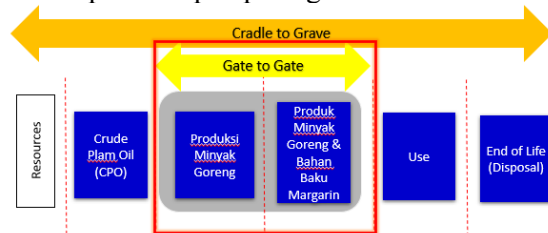
METODE PENELITIAN

Proses produksi ramah lingkungan untuk produk minyak goreng dilakukan dengan pendekatan metodologi Analisa neraca massa dan energi menggunakan perangkat lunak Aspen Hysys Versi 9 untuk menghasilkan data yang diperlukan. Simulasi produksi minyak goreng dirancang untuk memberikan gambaran aliran massa produksi minyak goreng, kebutuhan proses pendinginan menggunakan air, proses pemanasan menggunakan minyak panas dan kebutuhan listrik. Penetapan *base line* penggunaan massa, energi dan listrik serta pembuatan scenario pengurangan penggunaan massa, energi dan listrik dengan 3 skenario. Keseluruhan metodologi yang dilakukan digambarkan pada gambar berikut :



Gambar 2. Metodologi Penelitian Produksi Minyak Goreng dan Analisis Bangkitan Emisi

Batas sistem produksi minyak goreng yang diteliti dan disimulasikan adalah *Gate to Gate* seperti tampak pada gambar berikut :



Gambar 3. Batas Sistem produksi Minyak Goreng

Pengembangan Konsep Teknologi Hijau...

Skenario penurunan emisi dan penggunaan utilitas dilakukan dengan memanfaatkan 2 potensi yang ada dalam proses produksi minyak goreng, diantaranya memanfaatkan adanya aliran yang membutuhkan pendinginan dan membutuhkan pemanas. Kedua aliran ini dipertemukan agar dapat saling mempertukarkan energi yang diperlukan satu dengan yang lainnya. Konsep mempertukarkan energi antar sesama aliran didalam proses disebut dengan Heat Exchanger Networking (HEN) (Kareem et al 2018). Potensi kedua yang dimiliki adalah adanya potensi minyak goreng yang memiliki nilai kalor dan dapat diambil Kembali kemudian dijadikan bahan bakar yang dapat digunakan untuk mengurangi penggunaan gas alam. Sehingga kebutuhan akan bahan bakar dapat dikurangi. Potensi ketiga adalah menggabungkan potensi pertama dan kedua. Keseluruhan potensi ini akan disimulasikan dan akan dilihat potensi mana yang memiliki peluang untuk dapat menurunkan emisi dan kebutuhan utilitas serta dapat di aplikasikan.

Input Data Simulasi Hysys

Input data yang diperlukan untuk pembuatan simulasi terdiri dari data bahan yang terlibat dalam simulasi hysys yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Sifat Fisika Bahan

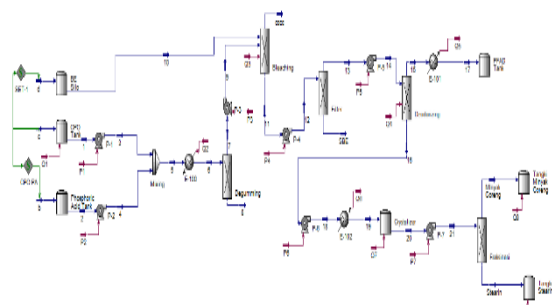
Nama Bahan	Sifat Fisik		
	Berat Molekul	Densitas. Kg/m ³	Titik Didih. °C
Asam Palmitat	256,4	881,6	351
Air	18	998	100
Minyak Pemanas	260,3	1004	344
Minyak Goreng	885,4	907,8	554,2
Margarin	891,5	862	813
Asam Pospat	97,99	1685	212
Bleaching Earth	274	550	

Model system perhitungan/*Fluid Package* yang digunakan adalah UNIQUAC.

Simulasi Proses Produksi Minyak Goreng

Simulasi proses ini merupakan kelanjutan dari proses input data, pada bagian ini tahapan proses produksi minyak goreng kita masukkan tahapan proses nya kedalam hysys sehingga dihasilkan diagram alir proses yang terdiri dari

rangkaian peralatan utama seperti peralatan *degumming*, *bleaching*, *deodorizing* dan fraksinasi. Selain itu rangkaian peralatan pendukung seperti tangka, pompa dan alat penukar kalor juga disertakan dalam pembuatan simulasi ini. Hasil pembuatan simulasi proses produksi minyak goreng ini disampaikan pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Proses Produksi Minyak Goreng

Hasil dari simulasi ini adalah data kebutuhan bahan dan energi serta listrik yang disebut dengan neraca massa dan energi, kebutuhan listrik, kebutuhan pemanas dan kebutuhan air.

Perhitungan Kebutuhan Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan adalah gas alam, Biosolar dan CPO. Kebutuhan bahan bakar dihitung menggunakan persamaan :

$$\text{Jumlah bahan bakar} = \frac{Q_{\text{Pemanas}}}{\text{Nilai Kalor Bahan Bakar}} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

- Jumlah bahan bakar, (kg/jam) (Liter/jam)
- Q Pemanas, (kKal/jam) (kJoule/jam)
- Nilai kalor bahan bakar, (kKal/kg) (kJoule/liter)

Q Pemanas diketahui dari hasil perhitungan simulasi, sedangkan nilai kalor bakar gas alam adalah 9.000 -11.000 Kcal/ Kg, nilai kalor bakar Biosolar : 9.240 kkal/liter dan nilai kalor bakar CPO adalah 17 s/d 37,4 MJ/kg (Ioelovich, 2015).

Perhitungan Kebutuhan Pemanas dan Air

Jumlah kebutuhan pemanas dan air dihasilkan dari simulasi hysys, kebutuhan jumlah pemanas dan air diketahui dari rumus :

$$Q_{\text{Pemanas}} = m \text{ Cp } \Delta t \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

1. Q_{Pemanas} : panas yang diperlukan untuk meningkatkan temperature bahan, (kKal/jam) (kJoule/jam)

2. m : jumlah bahan yang akan dipanaskan/pemanas, kg
3. Cp : Kapasitas panas bahan, kJ/kg °C, Cp air : 4,22 kJ/kg °C dan Cp minyak panas : 2,85 kJ/kg °C (Aspen hysys, 2005)
4. Δt : perbedaan temperature, °C

Dengan modifikasi rumus diatas dihasilkan persamaan untuk menghitung jumlah pemanas dan pendingin, $m = \frac{Q_{\text{Pemanas}}}{\text{Cp } \Delta t} \dots \dots \dots (3)$

Perhitungan Emisi

Perhitungan emisi dilakukan dengan cara mengalikan jumlah kebutuhan bahan bakar atau listrik dengan factor konversi dari bahan bakar menjadi emisi setara jumlah CO₂ yang dihasilkan. jumlah emisi yang dihasilkan dihitung menggunakan rumus 4.

$$\text{Jumlah emisi} = \text{Kebutuhan bahan bakar/listrik} \times \text{factor konversi Emisi setara CO}_2 \dots \dots \dots (4)$$

Dimana, :

1. Jumlah emisi : Ton CO₂
2. Faktor emisi : Ton CO₂/Ton bahan bakar atau Ton CO₂/kWh listrik, 43 kg CO₂/kWh Listrik, 3,412 Ton CO₂/Ton gas alam dan 2,68 kg CO₂/Liter Biosolar (people.exeter.ac.uk, 2022).
3. Kebutuhan bahan bakar/Isitrik : Ton atau kWh

HASIL DAN PEMBAHASAN,

Hasil simulasi proses produksi minyak goreng, hasil yang disampaikan berupa neraca massa dan energi, kebutuhan pendingin dan pemanas serta kebutuhan alir dan listrik. Hasil data yang diperoleh didasarkan pada proses produksi minyak goreng dengan kapasitas 1.500 Ton/hari atau setara dengan 62,5 Ton/Jam. Hasil neraca massa disampaikan pada Tabel 3

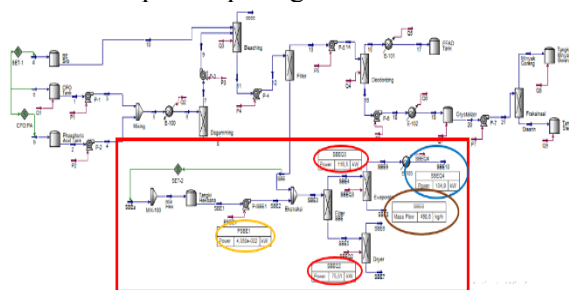
Tabel 3. Hasil Simulasi Neraca Massa

Nama Bahan	Input (Kg/jam)	Output (Kg/jam)
CPO	62.500	
Asam Phosphat	125	
Bleaching Earth	1.250	
Getah (Gum)		125
Spent Bleaching Earth (SBE)		1.749
Palm Fatty Acid Distillate (PFAD)		3.125
Minyak Goreng		33.994

memerlukan energi sebesar 8.466 kW menjadi 4.014 kW. Dengan terjadinya penurunan kebutuhan pemanas dan pendinginan ini otomatis akan mengurangi sirkulasi pemanas dan kebutuhan air. Kebutuhan minyak panas dari sebanyak 890,4 m³/jam menjadi 419,9 m³/jam selain itu sirkulasi air dari sebanyak 1.303 m³/jam menjadi 1.144 m³/jam dan dengan penurunan sirkulasi media utilitas ini akan menurunkan kebutuhan listriknya dari 380,77 kW menjadi 275,698 kW. Dengan turunnya kebutuhan listrik dan pemanas maka akan menurunkan kebutuhan bahan bakar serta emisi.

Skenario 2

Skenario 2 memfokuskan pengurangan energi dan emisi dengan menggunakan proses pengambilan kembali minyak yang berada didalam SBE sejumlah 0,9% dari total kapasitas pengolahan perhari menjadi bahan bakar (Akbar et al 2012). Dengan kapasitas 1.500 Ton CPO/hari atau setara 62,5 Ton CPO/jam akan dihasilkan bahan bakar dari minyak hasil *recovery* SBE sebanyak 498,6 kg/jam minyak atau setara dengan 11,96 Ton/hari. Proses penambahan proses *recovery* minyak dari SBE akan disampaikan pada gambar 8.



Energi Pendinginan : $10.954 + 104,9 = 11.058,9 \text{ kW}$

Energi Pemanasan : $12.287 + 116,5 + 75,51 = 12.403,5 \text{ kW}$

Energi Listrik : $25,728 + 0,049 = 25,77 \text{ kW}$

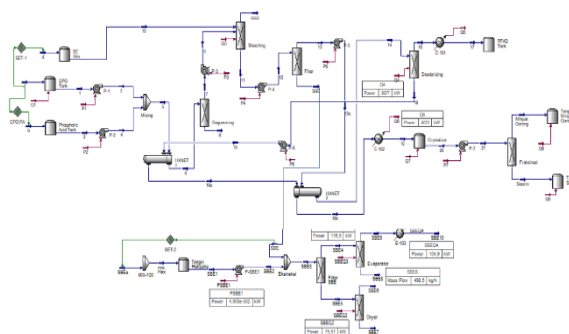
Sumber Bahan Bakar : $498,6 \times 27 = 13.462.200 \text{ kJ/jam} : 3.739,5 \text{ kW}$

Gambar 8. Kebutuhan Energi Pada Skenario 2

Rangkaian peralatan yang berada dalam kota warna merah merupakan tambahan peralatan yang digunakan untuk proses *recovery* SBE. Dari proses ini kita dapat memperoleh potensi energi sebesar 3.739 kW dengan penambahan energi pemanas sebesar 192,01 kW dan energi pendinginan sebesar 104,9 kW serta penggunaan listrik sebesar 384,17 kw. Dari proses ini kita akan memperoleh energi bersih sebesar 3.083,641 kW atau setara 82,47% dari potensi energi yang ada.

Skenario 3

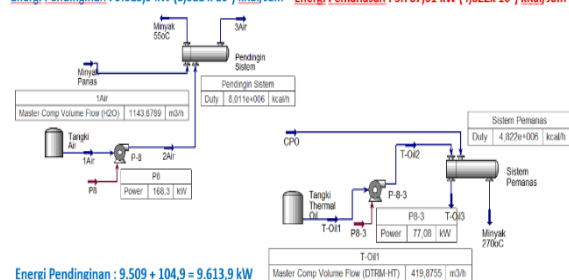
Scenario ketiga dilakukan untuk memaksimalkan potensi pengematan energi dan pengurangan emisi yang dapat dilakukan pada produksi minyak goreng. Skenario HEN dan *Recovery* minyak SBE diintegrasikan sehingga menghasilkan suatu rangkaian proses seperti tercantum pada gambar 9.



Gambar 9. Diagram Alir Proses Skenario 3

Dari hasil simulasi tersebut dihasilkan data energi pemanas yang diperlukan sebesar : 5.787 kW, energi pendinginan sebesar : 9.613,9 kW dan energi listrik sebesar : 280,11 kW. Untuk memenuhi sejumlah panas tersebut diperlukan minyak panas sebanyak 419,87 m³/jam yang disirkulasi terus menerus pada temperature inlet 300°C dan temperatur outlet 280°C, selain itu diperlukan air sebanyak 1.143,87 m³/jam yang disirkulasi pada temperature inlet 28°C dan temperature outlet 35°C. Skema kebutuhan energi pada kondisi 3 ini disampaikan pada gambar 10.

Energi Pendinginan : $9.613,9 \text{ kW}$ ($8,011 \times 10^6 \text{ kJ/jam}$) Energi Pemanasan : $5.787,01 \text{ kW}$ ($4,822 \times 10^6 \text{ kJ/jam}$)



Energi Pendinginan : $9.509 + 104,9 = 9.613,9 \text{ kW}$

Energi Pemanasan : $5.595 + 116,5 + 75,51 = 5.787,01 \text{ kW}$

Energi Listrik : $34,688 + 0,049 + 168,3 + 77,08 = 280,117 \text{ kW}$

Sumber Bahan Bakar : $498,6 \times 27 = 13.462.200 \text{ kJ/jam} : 3.739,5 \text{ kW}$

Gambar 10. Kebutuhan Energi Pada Skenario 3

Utilitas dan Emisi

Kebutuhan Utilitas pada kondisi Base Line, scenario 1, scenario 2 dan scenario 3 akan disampaikan pada Tabel 4.

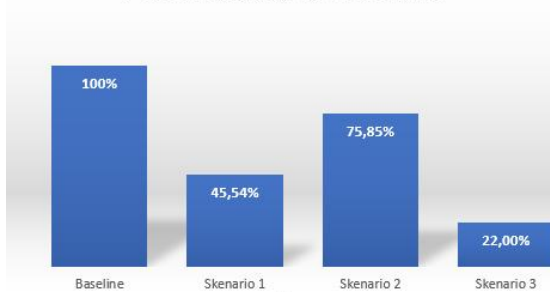
Tabel 4. Kebutuhan Utilitas & Emisi

Utilitas & Emisi	Base Line	Ske 1	Ske 2	Ske 3
Kebutuhan Pemanas, kW	12.287	5.595	9.319,86	2.703,36
Kebutuhan Air, m ³ /jam	1.303,48	1.131,45	1.313,84	1.143,88
*Kebutuhan Listrik, kWh	380,77	275,61	384,17	280,12
**Kebutuhan Bahan Bakar, Ton/hari	22	11,18	17,87	5,4
Emisi, Ton/hari	461,78	319,57	452,61	306,11

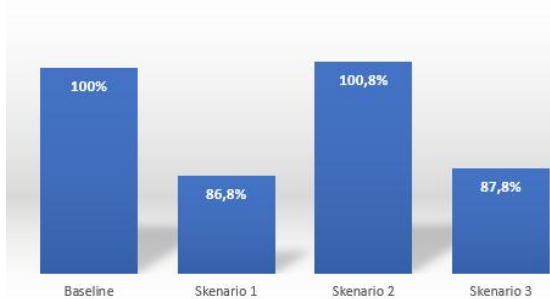
*kebutuhan listrik dihitung per hari dan diperoleh dari on grid

**bahan bakar yang digunakan gas alam

Profile Kebutuhan Pemanas



Profile Kebutuhan Air



Pengembangan Konsep Teknologi Hijau...

Profile Kebutuhan Listrik



Profile Kebutuhan Bahan Bakar



Profile Pembangkitan Emisi



Gambar 11. Profile Kebutuhan Utilitas dan Pembangkitan Emisi

Gambar 11 menunjukkan bahwa profile kebutuhan panas scenario 3 merupakan skema yang paling sedikit memerlukan panas dari luar yaitu hanya 22% dari kebutuhan panas *base line*. Untuk profile kebutuhan air scenario 2 adalah skema yang paling sedikit memerlukan air yaitu 86,8% dari kebutuhan air *base line*. Untuk profile kebutuhan listrik scenario 2 hanya memerlukan 72,38% dari kebutuhan listrik pada kondisi *base line*. Untuk profile kebutuhan bahan bakar scenario 3 merupakan skema yang memerlukan bahan bakar paling sedikit yaitu 24,55% dari kebutuhan bahan bakar *base line*. Untuk pembangkitan emisi scenario 3 merupakan skema yang menghasilkan emisi paling sedikit. Atas hal tersebut scenario 2 dan 3 merupakan scenario yang dapat menurunkan kebutuhan utilitas dan pembangkitan emisi secara signifikan

KESIMPULAN DAN SARAN.

Pengembangan konsep teknologi hijau dalam agroindustri minyak goreng dapat dilakukan dengan cara menggunakan scenario 3 untuk mengurangi penggunaan panas yaitu 22% dari kebutuhan panas *base line*. skenario 2 dapat digunakan untuk melakukan penghematan air 86,8% dari kebutuhan air *base line*. Scenario 2 dapat digunakan untuk penghematan listrik sebesar 72,38% dari kebutuhan listrik pada kondisi *base line*. Scenario 3 digunakan untuk penghematan bahan bakar paling yaitu 24,55% dari kebutuhan bahan bakar *base line*. Untuk mengurangi bangkitan emisi skenario 3 merupakan skema yang menghasilkan emisi paling sedikit. Dengan kondisi ini skenario 2 dan 3 merupakan skenario yang dapat menurunkan kebutuhan utilitas dan pembangkitan emisi secara signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd, A. A., Kareem, M. Q. & Naji, S. Z. (2018) 'Performance Analysis of Shell and Tube Heat Exchanger: Parametric Study', Case Studies in Thermal.
- Akbar, M, Andika.2012. Optimasi Ekstraksi Spend Bleaching *Earth* Dalam. Recovery Minyak Sawit. Skripsi Universitas Indonesia
- Arrow, K., 1969. Classificatory notes on the production and transmission of technological knowledge, American Economic Review, Papers and Proceedings, May, 244–250.
- Aspen Hysys, 2005. Hysys Operation Guide, Aspen Technology, Inc. Ten Canal Park Cambridge, MA, Website <http://www.aspentech.com>
- Atlas M., Florida R. (1998), Handbook of Technology Management: Book Chapter in Green Productivity, Richard Dorf (editor),. CRC Press
- Atmawinata, A ('TT') "Pendalaman Struktur Industri, Efisiensi dan Efektivitas dalam Implementasi Industri Hijau" Laporan Kajian 2012 Staf Ahli Menteri.
- Badan Pusat Statistik Jakarta Pusat, (2021). Konsumsi Minyak Goreng tahun 2021. Jakarta Pusat: Badan Pusat Statistik.
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. SNI 3741:2013 Minyak Goreng.
- Basiron, Y. 2005. Palm Oil. Di dalam: Shahidi F, editor. Bailey's Industrial Oil and Fat Products
- Berndes, G., Hoogwijk, M., and Van den Broek, R. (2003). "The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies," Biomass Bioenergy 25 (1),1-28.
- Bozeman, B., 2000; Technology transfer and public policy: A review of research and theory. Research Policy, 29, 627-655.
- BSN, 2013. Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 2013 SNI No 3741:2013. Minyak. Goreng.
- Caleb MacCarthy & Stephen Adusei, 2021. REDUCTION OF FREE FATTY ACIDS IN PALM KERNEL OIL USING BAGASSE ADSORBENT OF VARYING MASSES, IPTEK The Journal of Technology and Science, 32(2), 2021 (e/pISSN:2088-2033, 0853-4098), DOI: 10.12962/j20882033.v32i2.9489
- Chen, F., and Dixon, R. A. (2007). "Lignin modification improves fermentable sugaryields for biofuel production," Natur. Biotechnol. 25, 759-761.
- Chisti, Y. (2007). "Biodiesel from microalgae," Biotechnol. Adv. 25, 294-306.
- Choe, E. and Min, D.B. 2007. Chemistry of Deep-Fat Frying Oils. Journal of Food Science, 72, R77-R86.
- Cintia B. Gonçalves & Antonio J.A. Meirelles, 2004. Liquid–liquid equilibrium data for the system palm oil + fatty acids + ethanol + water at 318.2 K, Fluid Phase Equilibria 221 (2004) 139–150, doi:10.1016/j.fluid.2004.05.002.
- Cintia B. Gonçalves, Christianne E.C. Rodrigues, Elaine C. Marcon, Antonio J.A. Meirelles, 2015. Deacidification of Palm Oil by Solvent Extraction, Separation and Purification Technology (2016), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2016.01.016>.
- Corley, R.H.V. dan Tinker, P.B. 2003. The Oil Palm. Ed. 4. Blackwell Science. Inc., Iowa, USA.
- Cui, A.S., David A.G, Tamer C., and Marina D. 2006. The influence of Market and Cultural Environmental Factors on

- Technology Transfer Between Foreign MNCs and local subsidiaries: A Croatian illustration. *Journal of World Business*, 41(2): 100-111.
- Factor emisi bahan bakar dan listrik terhadap emisi CO₂, diunduh 9 November 2022, https://people.exeter.ac.uk/TWDavies/energy_conversion/Calculation%20of%20CO2%20emissions%20from%20fuels.htm
- Firman, L. R., Ochoa, N. A., Marchese, J., & Pagliero, C. L. (2013). Deacidification and solvent recovery of soybean oil by nanofiltration membranes. *Journal of Membrane Science*, 431, 187–196.
- Handajani et al. 2010. Pengaruh Ekstraksi terhadap Karakteristik Fisika, Kimia dan Sensoris Minyak Wijen (*Sesamum Indicum*. L). *Jurnal Agritrich* Vol. 30. Universitas Sebelas Maret.
- Handayani, S., Nursanti, E., Handoko, F. (2016). “Perencanaan Perbaikan Berkelanjutan (CI- PDCA) untuk Mewujudkan Efisiensi Energi pada Sistem Perkantoran”, *Proceedings Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri (SENIATI)*. ISSN.2085- 4218
- Handoko, F. (2014). “Constructing Knowledge and Technology Transfer Model for SMEs Technology Development in Emerging Economies. *International Journal of Pedagogy and Teacher Education*. Vol 1, No. 2. pp. 93
- Handoko, F., Nursanti, E., Gatot, Tjahjadi, M.E., Hutabarat, J., Mulyadi, L., and Kustamar. (2018). “Green Industrial System in Indonesia”, *MATEC Web Conf.*, T11 (2018) 01010, DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816401010>
- Handoko, F., Nursanti, E., Harmanto, D and Sutriyono. (2014). “The role of tacit and codified knowledge within technology transfer program on technology adaptation”. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol.11, No. 8.
- Handoko, F., Vitasari, P., Hidayat, S., Tjahjadi, M.E. (2015). “Technology transfer program for SMEs in Indonesia”, *Journal of Physics*: 1375(1), 012053
- Pengembangan Konsep Teknologi Hijau...*
- Ilmi. 2015. Kualitas Minyak Goreng dan Produk Gorengan selama Penggorengan di Rumah Tangga Indonesia. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan* Vol. 4 No. 2.
- Ioelovich M, 2015. Recent Findings and the Energetic Potential of Plant Biomass as a Renewable Source of Biofuels – A Review, *Bioresources* 10(1):1879-1914, DOI:10.15376/biores.10.1.1879-1914
- Ip, P. K. (2010). „The Challenge of Developing a Business Ethics in China”, *Journal of Business Ethics*, 88:211–224.
- IPCC . 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Japan. Di dalam : Kementerian Lingkungan Hidup. 2012. Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi GRK 70 nasional – Buku II Volume 1 Metodologi Perhitungan Tingka Emisi gas Rumah Kaca. Jakarta (ID) : Kementerian Lingkungan Hidup
- Jayed M.H., Masjuki, H.H., Saidur, R., Kalam, M.A., Jahirul, M.I. (2009). Environmental aspects and challenges of oilseed produced biodiesel in Southeast Asia *Ren and Sustainable Energy Review*
- Kamarza Mulia^{1*}, Dezaldi Adam¹, Ida Zahrina², Elsa Anisa Krisanti, 2018. REEN EXTRACTION OF PALMITIC ACID FROM PALM OIL USING BETAINE-BASED NATURAL DEEP EUTECTIC SOLVENTS, *International Journal of Technology* (2018) 2: 335-344, ISSN 2086-9614, DOI: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i2.1008>.
- Karmee S K, Liardi D, Lee J and Lin C S K 2015 Conversion of lipid from food waste to biodiesel *Waste Management* 41 pp 169-173
- Kementerian Perdagangan. 2008. Profil komoditas Minyak Goreng.
- Ketaren, S. 2008. Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan. Universitas Indonesia.
- KLHK, Kementerian Lingkungan Hidup. 2012.

- Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi GRK nasional – Buku II Volume 1 Metodologi Perhitungan Tingka Emisi gas Rumah Kaca. Jakarta (ID) : Kementerian Lingkungan Hidup
- Lackner K S 2010 Comparative impacts of fossil fuels and alternative energy resources Issuesin Environmental Science and Technology (Carbon capture: Sequestration and storage) 29(Royal society of Chemistry-Springer)
- Liao, Hui. 2007. Do It Right This Time: The Role Of Employee Service Recovery Performance In Customerperceived Justice And Customer Loyalty After Service Failures. *Journal Of Applied Psychology*, 92(2): 475-489.
- Lin, C.Y., Ho,Y.H, ('TTT'); "Determinants of Green Practice Adoption for Logistics Companies in China", *Journal of Business Ethics*, 98:67-85.
- Paula, C., Handoko, F. ('TT□'). "Implementasi Reduce, Reuse, Recycle (3R) untuk memenuhi Kebutuhan Palet pada PT.X", *Proceedings Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri (SENIATI)*. ISSN.2085-4218
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2012 Tentang Izin Lingkungan.
- Predojevic Z J 2008 The production of biodiesel from waste frying oils: A comparison ofdifferent purification steps *Fuel* 87 pp 3522-3528
- Pumwa, J., "The Investigation of Using Coconut Oil as a Possible Fuel Substitute for Diesel Engines", A Research Report, Department of Engineering, School of Engineering & Computer Science, Baylor University, Waco, Texas, USA, December 10, 2004.
- Rabu R A, Janajreh I and Honnery D 2013 Transesterification of waste cooking oil: processoptimization and conversion rate evaluation *Energy Conversion and Managemen*pp764-769
- Raman, L. P., Cheryan, M., & Rajagopalan, N. (1996). Solvent recoveryand partial deacidification of vegetable oils by membrane technology. *Lipid/Fett*, 98, 10–14.
- Rindengan, B. dan Novariant Hengky. 2004. Minyak Kelapa Murni: Pembuatan dan Pemanfatannya. Seri Agritekno. Penebar Swadaya. Jakarta. Hal. 6, 9, 64-. 65.
- S. O. Laia*, S. L. Henga, K. C. Chonga, W. J. Lau, 2016. DEACIDIFICATION OF PALM OIL USING SOLVENT EXTRACTION INTEGRATED WITH MEMBRANE TECHNOLOGY, *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)* 78:12 (2016) 69–74, eISSN 2180–3722,
- Samiaji T. 2011. "Gas CO2 di Wilayah Indonesia" [jurnal]. Lapan.go.id
- Saputra 2017. Pemanfaatan Minyak Goreng Bekas untuk Pembuatan Biodiesel Menggunakan Katalis Zeolit Alat Teraktivasi. *Jurnal Chemurgy* 1 (2). DOI: <http://dx.doi.org/10.30872/cmg.v1i2.1138>
- Sartika, RAD. 2009. Pengaruh Lemak Trans Terhadap Kesehatan. *Jantung, MAKARA, Jurnal Sains*, Vol.13, No.1, p.23-28.
- Singh, P. S., Ray, P., Subramanian, R., Chakkaravarthi, A., & Gopika,S. K. (2020). Indian patent application No. 2020,1103,4405. New Delhi: Indian Patent Office.
- Sri Rahayu1,a), Supriyatin2 and Adiati Bintari1, 2019. Activated Carbon-Based Bio-Adsorbent for Reducing Free Fatty Acid Number of Cooking Oil, *The 9th International Conference on Global Resource Conservation (ICGRC) and AJI from Ritsumeikan University*, AIP Conf. Proc. 2019, 050004-1–050004-5; <https://doi.org/10.1063/1.5061897>
- Subramanian Rangaswamy, Gopika S. Kumar & Chezhiyan Kuppasamy, 2021. Membrane technology for vegetable oil processing—Current status and future prospects, *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2021;1–28, Institute of Food Technologists, DOI: 10.1111/1541-4337.12825
- Sudarmaji, S., Haryono, B., dan Suhardi. 2003.

- Analisis Bahan Makanan dan Pertanian. Yogyakarta. LibertyYogyakarta.
- Tsair-Wang Chung, Yi-Ling Wu, and Shih-Hong Hsu, 2018. Removal of Free Fatty Acid from Plant Oil by the Adsorption Process, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 362 (2018) 012019 doi:10.1088/1757-899X/362/1/012019
- Widyantoro, H., Handoko, F., Nursanti., E. (2016). “Pengendalian Biaya Manufaktur Berbasis Environment Oriented Cost Management (EOCM)”, Proceedings Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri (SENIATI). ISSN.2085-421.
- Wijayaningtyas, M., Handoko, F., Hidayat, S. (2019) “The millennials' perceived behavioural control on an eco-Friendly house purchase intention”, Journal of Physics: Conference Series, 2019, 1375(1), 012060
- Wijayaningtyas, M., Hidayat, S., Nainggolan, T A., Handoko, F., Lukiyanto, K., Ismail, A. (‘T’T) “Energy Efficiency of EcoFriendly Home: Users' Perception”, E,S Web of Conferences 188, 00019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018800019>
- Xizhen Zhang¹, Yunjian Ma¹, Xiao-li Qin², Frank Hollmann³, and Yonghua Wang, 2022. A New Deacidification Strategy for Crude Vegetable Oil:Removal of Free Fatty Acids via Photobiocatalytic Decarboxylation, DOI: [10.22541/au.164736455.58070076/v1](https://doi.org/10.22541/au.164736455.58070076/v1)

Agung Siswahu, Murwan Widyantoro

Submitted: **01/07/2025**; Revised: **01/08/2025**; Accepted: **01/10/2025**; Published: **31/10/2025**