

Potensi Listrik Dari Bioetanol Nira Kelapa Sawit Limbah *Replanting* Studi Kasus PT Duta Palma Nusantara PKS Kuko, Kabupaten Kuantan Singingi, Riau

Eksal Yoga Setiawan¹, Marhama Jelita²

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. HR. Soebrantas No. 155 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru, 28293
Email: 11850512297@students.uin-suska.ac.id, marhamajelita@uin-suska.ac.id

ABSTRAK

Listrik adalah kebutuhan penting untuk sektor kehidupan, tidak terkecuali sektor industry, dibuktikan dengan besarnya kebutuhan listrik PT Duta Palma Nusantara PKS Kuko yang mencapai 1,7-2,5 juta kW tiap tahunnya. Besarnya kebutuhan listrik tersebut selama ini dipenuhi oleh genset berbahan bakar solar. Tanaman *Elaeis quineensis Jacq* (kelapa sawit) adalah biomassa yang jumlahnya melimpah di Indonesia, khususnya Riau. Batang kelapa sawit masih memiliki kandungan nira yang dapat dijadikan sumber energi. Penelitian ini bertujuan menguji potensi energi bioetanol nira sawit untuk memenuhi kebutuhan listrik pabrik dengan menggunakan metode fermentasi dan destilasi dengan simulasi Superpro untuk mengetahui potensi bioetanol. Dari simulasi, diperoleh potensi bioetanol nira sawit PT Duta Palma Nusantara PKS Kuko Tahun 2020 sebesar 463.311,75 l/hari. Bioetanol tersebut dapat menghasilkan listrik sebesar 34.166.278,6 kWh dalam sehari untuk Etanol 10% (E10) dan 22.628.077,7 kWh dalam sehari untuk Etanol 100% (E100), dengan potensi daya E10 = 1.423.595,98 kW dan E100 = 942.836,57 kW. Apabila diaplikasikan pada genset dengan kapasitas 1100 kVa dengan campuran bahan bakar bensin, maka per jamnya *Total Fuel Consumption* (TFC) yang dibutuhkan sebesar 176,57 l/h untuk E10 dan 177,46 l/h untuk E100 dengan *Specific Fuel Consumption* (SFC) sebesar E10 = 0,0182 l/kWh dan E100 = 0,0183 l/kWh. Nilai efisiensi genset dengan bahan bakar (E0) adalah 90,10%, tertinggi dibanding jenis bahan bakar lainnya. Namun efisiensi bahan bakar (E10) juga cukup tinggi yakni 54,19% dan dapat ditingkatkan lagi sampai efisiensi 82,80% dengan penambahan etanol sampai 100% (E100). Maka dapat disimpulkan bahwa nira sawit dapat dijadikan bioethanol untuk bahan bakar genset yang memenuhi kebutuhan listrik pabrik.

Kata Kunci: Kelapa Sawit, Nira, Bioetanol, Listrik.

ABSTRACT

Electricity is an important requirement for the life sector, including the industrial sector, as evidenced by the large electricity demand of PT Duta Palma Nusantara PKS Kuko which reaches 1.7-2.5 million kW per year. So far, the large electricity demand has been met by diesel-fueled generators. Elaeis quineensis Jacq (oil palm) is a biomass that is abundant in Indonesia, especially Riau. Oil palm trunks still contain sap which can be used as an energy source. This study aims to test the energy potential of palm sap bioethanol to meet the electricity needs of the factory by using the fermentation and distillation method with Superpro simulation to determine the potential of bioethanol. From the simulation, the palm sap bioethanol potential of PT Duta Palma Nusantara PKS Kuko in 2020 is 463,311.75 l/day. The bioethanol can generate electricity of 34,166,278.6 kWh in a day for 10% ethanol (E10) and 22,628,077.7 kWh in a day for 100% ethanol (E100), with a potential power of E10 = 1,423,595.98 kW and E100 = 942,836.57 kW. When applied to a generator with a capacity of 1100 kVa with a gasoline fuel mixture, the required Total Fuel Consumption (TFC) per hour is 176.57 l/h for the E10 and 177.46 l/h for the E100 with Specific Fuel Consumption (SFC) of E10 = 0.0182 l/kWh and E100 = 0.0183 l/kWh. The value of the efficiency of the generator with fuel (E0) is 90.10%, the highest compared to other types of fuel. However, the fuel efficiency (E10) is also quite high at 54.19% and can be further increased to 82.80% efficiency with the addition of ethanol up to 100% (E100). So it can be concluded that palm sap can be used as bioethanol to fuel generators that meet the factory's electricity needs.

Keywords: Palm Oil, Neera, Bioethanol, Electricity.

Pendahuluan

Semakin banyak jumlah penduduk, maka berakibat pada semakin banyak energi yang dikonsumsi. Indonesia sebagai negara ke empat

dengan jumlah penduduk terbesar di dunia tidak lepas dari permasalahan ini. Hal ini dibuktikan dengan data *outlook* pengolahan energi nasional yang menyebutkan bahwa total konsumsi energi final pada tahun 2018 adalah sebesar 114 MTOE

dengan konsumsi tertinggi terdapat di sektor transportasi dengan total 40%, diikuti dengan sektor industri dan rumah tangga dengan presentase masing-masing sebesar 36% dan 16%, lalu ditutup oleh sektor komersial dan lainnya yang masing-masing sektor tersebut memiliki presentase 6% dan 2% [1].

Berdasarkan [2], sektor industri adalah sektor yang menyumbang konsumsi energi tertinggi di Indonesia. Begitu juga yang terjadi di PT Duta Palma Nusantara PKS Kuko. Menurut data pada tahun 2020, konsumsi energi PT tersebut untuk produksi dan kebutuhan pabrik mencapai 1.800.597 kW. Besarnya konsumsi energi tersebut masih dipenuhi oleh 2 mesin genset dengan total kapasitas 1750 kVa.

Tanaman *Elaeis guineensis Jacq* atau yang dikenal sebagai tanaman kelapa sawit adalah salah satu komoditi biomassa yang jumlahnya melimpah di Indonesia. Hal ini menempatkan posisi Indonesia sebagai negara dengan luas lahan sawit terbesar di dunia dengan 14,3 juta ha lahan sawit. [3] [4]

Provinsi Riau sendiri menyumbang 19% dari total luas area lahan sawit di Indonesia, atau setara dengan 2,7 juta ha lahan sawit [2]. PT Duta Palma Nusantara Grup PKS Kuko adalah salah satu Perusahaan Kelapa Sawit (PKS) yang cukup besar di Provinsi Riau. Luas lahan sawit perusahaan tersebut sendiri seluas 14.257 ha dengan total tenaga kerja sebanyak 622 orang [5]

Area lahan sawit yang luas, tentunya berdampak kepada semakin banyaknya limbah yang dihasilkan. Belum lagi ditambah masa produktif tanaman sawit yang berkisar 15-20 tahun, menyebabkan perlunya diadakan peremajaan (*replanting*) tanaman sawit yang tidak produktif. [6] [7]] Data PT Duta Palma Nusantara PKS Kuko menyebutkan bahwa di tahun 2020, total terdapat 11.207,6 ha lahan sawit yang tergolong lahan dengan Tanaman Tua Rusak (TTR). [5] Jika dalam aplikasinya di lapangan 1 ha lahan sawit dapat ditanami 139-180 pohon, maka pada tahun 2020, terdapat 168.980 pohon sawit yang sudah harus ditebang karena tidak produktif. [5]

Limbah batang pohon sawit hasil *replanting* selama ini hanya ditebang kemudian dicacah dan dibiarkan begitu saja di lahan perkebunan kelapa sawit sebagai pupuk.[6][7] Limbah batang kelapa sawit masih memiliki beberapa zat yang masih dapat dimanfaatkan.[8] Badan Penyuluhan dan Pengembangan Sumber Daya Manusia Pertanian (BPPSDMP) pada tahun 2010 menyebutkan bahwa limbah batang pohon sawit masih dapat menghasilkan nira sebanyak 10 l nira per batangnya dalam sehari dan dapat disadap total selama 30 hari. [9][10] Nira tersebut mengandung glukosa sebesar 86,9%, sukrosa 11,6%, dan 1,5% fruktosa Dengan kandungan 86,9% glukosa tersebut, membuat nira sawit dapat diolah menjadi produk bioetanol. [11][12]

Penelitian terkait mengenai bioetanol nira sawit telah beberapa kali dilakukan. Penelitian tersebut antara lain meneliti mengenai karakteristik kimia parsial pada beberapa variabel interval waktu. [13][14] Selain itu, penelitian lain meneliti proses pembuatan bioethanol dengan *saccharomyces cerevisiae*. [15][16] Penelitian lain mengenai pembuatan bioethanol juga pernah dilakukan. Penelitian tersebut meneliti karakterisasi dan pemurnian nira sawit dengan menggunakan *zeolite*, [17][18]serta penelitian mengenai pengaruh umur pohon sawit terhadap produksi dan mutu nira sawit menambah banyaknya penelitian terkait akan topik ini. [19][20]

Kendati itu, semua penelitian masih hanya berfokus kepada pembuatan dan produksi bioethanol dari nira sawit,. Maka dari itu penelitian ini lebih jauh bertujuan untuk meneliti berapa besar potensi bioethanol yang dapat diperoleh dari nira sawit serta energi listrik, dan daya yang dapat dihasilkan. Untuk potensi etanol yang dapat dihasilkan dari nira dapat diproduksi dari proses fermentasi dan destilasi. Metode tersebut di simulasikan dengan aplikasi Superpro. Setelah didapatkan *volumetric flow*, lalu dihitung potensi energi, daya dan konsumsi bahan bakar menggunakan metode perhitungan matematis. Penelitian ini juga menghitung *Total Fuel Component (TFC)*, *Spesifik Fuel Component (SFC)*, dengan bahan bakar bioetanol nira sawit, untuk kemudian dibandingkan efisiensinya dan pengeluaran biaya, baik antara bahan bakar etanol dengan solar yang selama ini dipakai sebagai bahan bakar genset di PT Duta Palma Nusantara Grup PKS Kuko Kuantan Singingi, Riau. Nilai tersebut diatas diperoleh dengan metode perhitungan matematis. Sehingga akhirnya bioetanol ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar genset untuk membangkitkan listrik dan memenuhi kebutuhan listrik pabrik.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah gabungan antara metode simulasi dengan aplikasi dan juga perhitungan matematis dengan menggunakan rumus. Adapun tahapan yang dilalui dalam penelitian ini meliputi tahapan awal yakni identifikasi masalah dan juga studi literatur untuk memperkuat teori penelitian ini. Setelah teori dan rumus terkait penelitian didapat, tahapan elanjutnya ialah tahapan pengumpulan data sekunder dari PT Duta Palma Nusantara PKS Kuko. Data yang diambil meliputi data luas lahan sawit, data kapasitas produksi, jumlah lahan dan batang yang harus di *replanting*, spesifikasi teknis genset pabrik dan kebutuhan listrik pabrik. Setelah data didapatkan, Langkah selanjutnya ialah melakukan perhitungan matematis untuk menghitung potensi nira yang dapat dihasilkan dari batang pohon kelapa sawit. Perhitungan ini merujuk pada data wawancara langsung dengan penyadap nira

sawit di Kampung Maredan Barat dan juga data sekunder dari jurnal. Setelah potensi nira didapat, maka dilanjutkan dengan proses pembuatan reactor pada simulasi superpro. Hasil keluaran aplikasi superpro merupakan data *volumetric flow* bioethanol nira sawit. Data tersebut kemudian diolah dengan perhitungan matematis untuk menghitung beberapa tujuan penelitian diantaranya potensi energi listrik, daya, TFC, SFC, dan juga efisiensi bahan bakar bioethanol dari nira sawit tersebut.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan data primer yang diperoleh dari wawancara dengan stakeholder perusahaan PT Duta Palma Nusantara PKS Kuko dan data sekunder dari penelitian terkait. Data-data tersebut kemudian diolah dan dijadikan data masukan pada simulasi dengan aplikasi Superpro. Adapun proses yang digunakan dalam pembuatan bioethanol ini sendiri adalah fermentasi dan destilasi.

1. Pengumpulan Data dan Parameter Proses

Tahapan pengumpulan data dan parameter proses dilakukan dengan dua cara, yakni dengan survei (wawancara langsung) di lokasi penelitian PT Cerenti Subur Duta Palma Nusantara Grup serta dengan data parameter terkait dari *literatur review*

1. Data PKS Cerenti Subur Duta Palma Nusantara Grup [5]

Tabel 1. Data Luas Lahan Kelapa Sawit PT Duta Palma Nusantara PKS Kuko

No	Tahun	Luas Lahan (Ha)
1	2021	14.257
2	2020	14.257
3	2019	14.257
4	2018	14.257
5	2017	14.257

*Luas lahan tertanam 12.133,37 ha dari luas lahan HGU 14.257 ha

*Dengan keterangan bahwa 1ha lahan sawit dapat ditanam 140 pohon sawit, maka total pohon sawit PT Duta Palma Nusantara PKS Kuko adalah sebanyak 1.698.671 batang pohon

Tabel 2. Data Spesifikasi Genset Cummins 1100 kVa Produksi PT Duta Palma Nusantara PKS Kuko [21]

No	Spesifikasi	Keterangan
1	<i>Manufacturer</i>	Cummins
2	<i>Model</i>	QST 30 G4
3	<i>Engine Power Output at rated rpm</i>	970kWm 1300 HP
4	<i>Total Displacement</i>	30.480 L
5	<i>Fuel Consumption at full load</i>	202 L/h
6	<i>Dimensions (LxWxH)</i>	4400 x 1776 x 2341 mm

Tabel 3. Data Luas Lahan Yang Harus di Replanting PT Duta Palma Nusantara PKS Kuko [5]

No	Tahun	Luas Lahan (Ha)	Keterangan
1	2021	4.127,62	Belum replanting untuk tahun 2021
2	2020	11.207,6	Replanting Tahun 2020
3	2019	1.625,45	Replanting Tahun 2019
4	2018	1.686,58	Replanting Tahun 2018
5	2017	3.845,92	Baru direplanting

Tabel 4. Data Jumlah Pohon Yang Harus di Replanting PT Duta Palma Nusantara PKS Kuko [5]

No	Tahun	Jumlah pohon
1	2021	-
2	2020	168.980
3	2019	227.580
4	2018	236.124
5	2017	488.028

Tabel 5. Data Kebutuhan Listrik Untuk Produksi PT Duta Palma Nusantara PKS Kuko [5]

No	Tahun	Kebutuhan listrik/tahun (kW)	Kebutuhan listrik/bulan (kW)
1	Sampai September 2021	1.771.160	198.680
2	2020	1.800.597	208.480
3	2019	2.531.656	201.812
4	2018	2.178.964	214.676

Tabel 6. Data Kapasitas Produksi Sawit PT Duta Palma Nusantara PKS Kuko [5]

No	Tahun	Total produksi (Kg)
1	Sampai September 2021	43.835.622
2	2020	80.579.900
3	2019	103.253.760
4	2018	126.567.420

Tabel 7. Data Spesifikasi Genset Caterpillar 650 kVa Produksi PT Duta Palma Nusantara PKS Kuko [22]

No	Spesifikasi	Keterangan
1	<i>Manufacturer</i>	Catterpillar
2	<i>Model</i>	C18DEAP
3	<i>Cooling System</i>	<i>Engine Coolant Capacity</i> 20,8L
4	<i>Combustion Air Inlet Flow Rate</i>	35.8 m ³ /min
5	<i>Fuel Consumption at full load</i>	133,2 L/h
6	<i>Heat Rejection to Exhaust (Total)</i>	27 kW

2. Parameter Proses

Tabel 8 Data perbandingan nilai *Low Heating Value* berbagai jenis bahan bakar [9].

No	Bahan Bakar	Kadar (BTU/gal)
1	<i>Gasoline (E0)</i>	115.400
2	<i>Gasoline (E10)</i>	114.300
3	Diesel	128.700
4	Biodiesel (B100)	117.100
5	Etanol (E100)	75.700

Tabel 9. Nilai karakteristik bahan bakar campuran [9].

<i>Fuel % Composition By Volume</i>	<i>LHV (KJ/Kg)</i>	Densitas (g/cm ³)
0% etanol + 100% Solar	43.340	0,832
10% etanol + 90% <i>gasoline</i>	41.381,95	0,7154
100% etanol + 0 % solar	26.950	0,7190

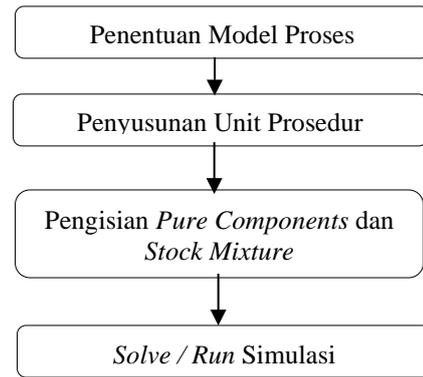
Tabel 10. Data sifat bahan bakar jenis bioethanol dan *gasoline* [10].

Komponen	Bioethanol	Gasoline
<i>Heating Value</i> dalam (MJ/Kg)	26,8	42
<i>Heating value</i> dalam (MJ/l)	21,3	32
Nilai Oktan (RON)	108	92-96
Densitas pada suhu 15 C (Kg/l)	0,79	0,76
Viskositas pada suhu 20 C(mm ² /s)	1,5	0,6
Kadar Oksigen (%)	35	0-2
<i>Fuel Equivalent to Gasoline</i>	0,66	1,0

2.Penghitungan Potensi Bioethanol Nira Kelapa Sawit Hasil Pengolahan Limbah Replanting

1. Diagram Alir Pembuatan Bioethanol Nira Sawit Dengan Aplikasi Superpro v8.5

Perhitungan potensi bioethanol nira sawit ini dilakukan dengan metode fermentasi dan destilasi dengan menggunakan aplikasi Superpro v8.5. Adapun tahapan simulasi dengan aplikasi ini dapat dilihat pada gambar 2 berikut :



Gambar 1. Alur Pembuatan Bioethanol di Aplikasi Superpro

Adapun tahapan dalam pembuatan simulasi dengan aplikasi Superpro v.8,5 meliputi penentuan unit fisik , pendefinisian komponen yang digunakan, penentuan unit prosedur, penentuan laju aliran masukan dan keluaran serta penentuan operasi dan masih banyak lagi.

2. Penentuan Model Proses

Model proses disini merupakan proses yang dilakukan setelah penentuan nilai komponen murni. Dalam aplikasi Superpro sendiri memiliki 2 pilihan proses yang ada diantaranya *batch* dan *continuous*. Adapun proses yang digunakan dalam simulasi ini adalah dengan proses *batch*. Alasan pemilihan jenis proses ini karena penggunaan siklus dalam proses ini. *Scheduling* yang dilakukan juga digunakan metode manual dan dilakukan di saat pengaturan awal aplikasi Superpro[11].

3. Penyusunan Unit Prosedur

Tabel 11. Unit Prosedur

No	Unit Prosedur	Unit Operasi yang Digunakan
1	Fermentasi Untuk tahapan ini adalah digunakan <i>fermentor</i> , yakni sebuah unit yang menggambarkan reaksi stoikiometri yang terjadi di <i>stirred-jacketed vessel</i> . Reaksi ini juga bekerja dalam proses <i>batch</i> serta ukuran tangka dapat diatur sesuai dengan volume bahan yang diolah di dalam proses	<i>Ferment (Batch Stoich,fermentation)</i>
2	<i>Heat Exchanger</i> Tahapan ini dilakukan guna menaikkan temperatur	<i>Electric Heat</i>

	dengan menggunakan komponen <i>electric heat</i>
3	Destilasi Unit ini melakukan fraksinasi <i>multistage</i> yang dilakukan dengan berdasar pada selisih <i>votality</i> .

4. Pengisian *Pure Components* dan *Stock Mixture* Pada Aplikasi Superpro

Tabel 12. Kandungan *pure component* nira sawit[3].

No	Komponen	Kandungan
1	Glukosa	86,9%
2	Sukrosa	11,6%
3	Fruktosa	1,5%

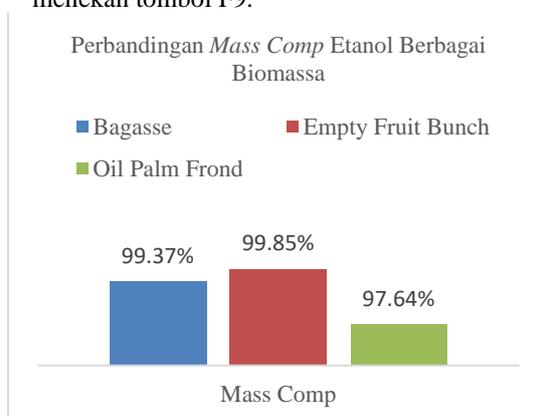
Tabel 13. Penentuan nilai *stock mixture*

No	Komponen	Kandungan
1	Udara	100 kg/ <i>Batch</i>
2	Air	100 (kg/ <i>Batch</i>)

Keterangan : *Auto Adjust* Aplikasi Superpro

3. Simulasi dan Verifikasi

Tahapan simulasi dengan aplikasi Superpro dilakukan dengan melakukan *solve* pada tools yang telah tersedia. Adapun *shortcut* lain yang dapat dilakukan untuk run simulasi ialah dengan menekan tombol F9.



Gambar 2. Perbandingan Nilai *MassComp* Etanol Berbagai Biomassa

Verifikasi hasil simulasi sendiri dilakukan dengan cara melihat apakah etanol yang dihasilkan oleh biomassa tersebut memenuhi standar untuk dijadikan bahan bakar yakni melebihi 99,5%. Jika hasil yang menjadi *output* diatas nilai tersebut, maka bahan bakar tersebut dapat dikatakan layak untuk digunakan. Verifikasi juga dilakukan dengan membandingkan penelitian terkait yang pernah dilakukan sebelumnya dengan metode yang sama dengan menggunakan aplikasi Superpro [12]. Penelitian ini membahas mengenai

pembandingan hasil etanol dari berbagai biomassa *lignoselulosa* yakni EPB dan OPF. Penelitian tersebut menjadi data pembandingan untuk verifikasi penelitian ini. Dengan metode serupa, diperoleh hasil *mass comp* kurang lebih sama yakni 99,37% untuk *Bagasse*, 99,85% untuk EPB dan 97,64% untuk OPF.

4. Perhitungan Matematis

Adapun perhitungan matematis disini meliputi:

1. Potensi Energi dan Daya Listrik

Potensi energi dan daya listrik disini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan matematis :

$$\text{Energi Listrik} = \text{Volumetric flow} \times \text{LHV} \quad (1)$$

Dengan :

Energi Listrik : Energi *output* yang dihasilkan sumber biomassa (kWh/Hari)

Volumetric Flow : Laju Aliran Volume (Gal)

Low Heating Value : Kalor Saat air dan hidrogen dalam fasa uap (BTU/Gal)

1 BTU/Gal = 0,000293071 kWh)

LHV E100 = 75.700 BTU/gal, LHV E10 =

114.300 BTU/Gal

Perhitungan Potensi daya juga dapat dilakukan dengan rumus :

$$\text{Potensi Daya} = \text{Energi Listrik} / 24 \text{ Jam} \quad (2)$$

2. Menghitung Nilai *TFC* dan *SFC*

Parameter *TFC* dan *SFC* dihitung dengan persamaan :

$$\text{TFC (Kg/hr)} = (\text{m} \cdot \rho \cdot 3600) / 1000 \quad (3)$$

Dengan :

TFC : Perbandingan total konsumsi bahan bakar dalam periode tertentu (kg/hr)

m : *fuel burette reading* (cc)

ρ = Densitas (gr/cc)

T = *Time Taken* (s)

$$\text{SFC (Kg/kWh)} = \text{TFC} / \text{P} \quad (4)$$

Dengan :

SFC : Rasio perbandingan antar *TFC* dan daya yang dihasilkan

TFC : Perbandingan total konsumsi bahan bakar dalam periode tertentu (Kg/hr)

P : Daya keluaran generator (kW)

3. Menghitung Nilai Efisiensi

$$\text{Efisiensi} = (3600 \cdot \text{P}) / (\text{TFC} \cdot \text{LHV}) \times 100\% \quad (5)$$

Dengan :

TFC : Perbandingan total konsumsi bahan bakar dalam periode tertentu (Kg/hr)

LHV : Kalor Saat air dan hidrogen dalam fasa uap (BTU/Gal)

P : Daya keluaran generator (kW)

4. Menghitung Pengeluaran Biaya Untuk Bahan Bakar

Pengeluaran = Total konsumsi BB x waktu operasi x harga BB

Dengan :

Konsumsi BB : TFC (1/hr)

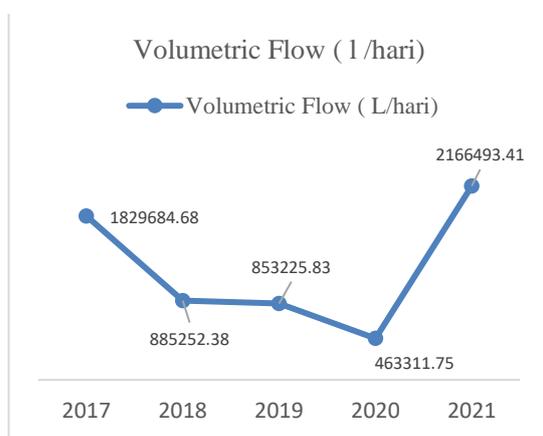
Waktu operasi : Waktu Produksi PKS (12 jam)

Harga BB : Harga bahan bakar yang dipakai (Rp)

Hasil dan Pembahasan

1. Potensi Bioetanol Nira Kelapa Sawit

Setelah simulasi dijalankan, maka diperoleh hasil simulasi seperti pada grafik berikut :



Gambar 3. Hasil *Volumetric Flow* Bioetanol Tahun 2017-2021 Dengan Aplikasi Superpro

Dapat diketahui bahwa dengan *input* biomassa berupa nira sawit dengan volume 1.183.644 l/hari dengan spesifikasi kadar *glukosa* 86,9%, *sukrosa* 11,6%, dan 1,5% *fruktosa*, maka menghasilkan *volumetric flow* sebesar 463.311,75 l/hari. Karena produksi nira sawit hanya dapat dilakukan dalam 30 hari, maka dalam setahun, total bioethanol yang dapat dihasilkan adalah sebesar 13.899.352,5 l. Hasil diatas sesuai dengan penelitian [5] yang menyebutkan bahwa setiap pohon sawit dapat menghasilkan 10 L nira sawit.

2. Potensi Energi Listrik dan Potensi Daya Bioetanol Nira Kelapa Sawit

Untuk konversi menjadi energi listrik, maka kita akan menghitung potensi tersebut dengan persamaan (1).Sebelum itu, kita perlu mengubah satuan *volumetric flow* dari l/hari menjadi gal. Hal ini dikarenakan satuan *LHV* yang kita gunakan dalam satuan gal. Karena kita juga mengasumsikan bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar campuran (90% *gasoline* dan 10% etanol) maka berdasarkan data kandungan *LHV* sesuai data pada

bagian metode penelitian , perhitungan energi listrik yang dihasilkan menjadi :

$$\text{Energi Listrik} = \text{Volumetric flow} \times \text{LHV}$$

$$\text{Energi Listrik} = 12.239.401,5 \frac{\text{gal}}{\text{hari}} \times 114,300 \frac{\text{BTU}}{\text{gal}}$$

$$\text{Energi Listrik} = 409.995.641,961 \text{ kWh/hari}$$

Karena produksi nira sawit hanya dapat dilakukan 30 hari dalam setahun, maka dalam 1 tahun 2020, rerata potensi energi listrik E10 yang dapat dihasilkan per hari adalah sebesar 34.166.278,6 kWh/hari. Setelah kita mendapatkan hasil dari energi listrik yang dihasilkan oleh etanol nira sawit, maka kita dapat menghitung potensi daya berdasarkan persamaan (2).

$$\text{Potensi daya} = \text{Energi Listrik} / 24 \text{ Jam}$$

$$\text{Potensi daya} = 409.995.641,961 \text{ kWh} / 24 \text{ jam}$$

$$\text{Potensi daya} = 17.083.151,74 \text{ kW} \text{ atau setara } 17.083,15 \text{ MW}$$

Karena produksi nira sawit hanya dapat dilakukan 30 hari dalam setahun, maka dalam 1 tahun 2020, rerata potensi daya yang dapat dihasilkan E10 per hari adalah sebesar 1.423.595,98 kW/hari atau setara 1,4 MW/hari.

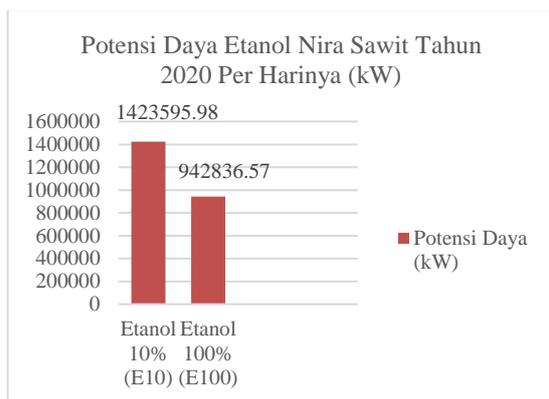
Untuk asumsi bahan bakar etanol 100% atau E100, dengan persamaan yang sama dengan persamaan menghitung energi pada E10 ,diperoleh nilai energi listrik dari E100 sebesar 271.536.932,321 kWh/hari Karena produksi nira sawit hanya dapat dilakukan 30 hari dalam setahun, maka dalam 1 tahun 2020, rerata potensi energi listrik E100 yang dapat dihasilkan per hari adalah sebesar 22.628.077,7 kWh/hari.

Untuk potensi daya sendiri, dengan persamaan 2 dapat dihasilkan daya sebesar 11.314.038,84kW atau setara 11.314,04 MW. Karena produksi nira sawit hanya dapat dilakukan 30 hari dalam setahun, maka dalam 1 tahun 2020, rerata potensi daya listrik E100 yang dapat dihasilkan per hari adalah sebesar 942.836,57 kW/hari.



Gambar 4 Grafik Energi Listrik Etanol E10 dan E100

Dapat dilihat bahwa dengan *input* bahan baku berupa nira sawit dengan volume 463.311,75 L/harinya dapat menghasilkan energi listrik sebesar 34.166.278,6 kWh/hari untuk E10 dan 22.628.077,7 kWh/hari untuk E100 dengan potensi daya 1.423.595,98 kW untuk E10 dan 942.836,57 kW Untuk E100. Dari hasil tersebut, apabila kita memanfaatkan untuk *mengcover* kebutuhan beban yang ada di PT Cerenti Subur Duta Palma Nusantara Grup, berdasarkan hasil data yang ada pada bagian metode penelitian, maka kebutuhan beban di PKS tersebut dapat tercukupi.



Gambar 5 Grafik Potensi Daya Etanol E10 dan E100(kW)

Dari data diatas juga dapat dilihat bahwa energi listrik dan potensi yang dimiliki oleh E10 adalah jauh lebih besar dibandingkan E100. Hal ini diakibatkan kandungan energi dalam BTU/gal yang dimiliki oleh etanol 10% jumlahnya lebih besar yakni 114.300 BTU/gal dibanding etanol 100 yang energinya hanya 75.700 BTU/Gal. Namun begitu, keduanya masih dapat dijadikan bahan bakar utama pengganti solar untuk menghidupkan genset yang memenuhi kebutuhan beban PT Duta Palma Nusantara Grup PKS Kuko.

Aspek keberlanjutan energi juga dapat dikelola dengan proses *replanting* yang bertahap, sehingga nira sawit dapat dihasilkan setiap harinya, juga kebutuhan akan bahan baku produksi tetap tersedia. Hal ini berakibat pada pasokan etanol untuk bahan bakar campuran pada genset dapat terus tersedia sehingga PKS tidak perlu lagi mengimpor batang limbah *replanting* dari perusahaan atau daerah lain.

3. Konsumsi Bahan Bakar Bioetanol Nira Kelapa Sawit (TFC dan SFC)

Langkah selanjutnya kita perlu menghitung nilai *Total Fuel Consumption (TFC)* yang dimiliki oleh etanol nira sawit ini. Untuk aplikasi pada genset kita menggunakan bahan bakar campuran dengan perbandingan konsentrasi (90% *gasoline* dan 10% etanol). Maka dengan menggunakan persamaan (3) dan data generator set berikut:

Tabel 15. Spesifikasi Genset Pengganti [13].

maka dapat dihitung *TFC*:

$$TFC (E10) = (m.rho.3600) / 1000$$

$$TFC (E10) = (4410 \cdot 0,7154 \text{ gr/cc} \times 3600) / 1000 \times 900 \text{ ss}$$

$$TFC (E10) = 12,6196 \text{ kg/h} \times 1,272 = 16,05 \text{ L/h}$$

Genset diatas adalah genset baru yang kami rekomendasikan untuk mengganti genset solar yang sudah ada di PT Duta Palma. Karena kapasitas genset diatas adalah 100kVa, sedangkan kebutuhan beban genset di PT Duta Palma adalah 1.100 kVa, maka total kita membutuhkan 11 genset, sehingga total *TFC* genset nya adalah:

$$\text{Total } TFC = 11 \times 16,04 \text{ L/h} = 176,57 \text{ L/h}$$

Namun apabila kita ingin menggunakan bahan bakar etanol 100%, maka total konsumsi bahan bakarnya adalah:

$$TFC (E100) = (m.rho.3600) / 1000$$

$$TFC (E100) = (4410 \cdot 0,7190 \text{ gr/cc} \times 3600) / 1000 \times 900 \text{ ss}$$

$$TFC (E100) = 12,6831 \text{ kg/h} \times 1,272 = 16,13 \text{ L/h}$$

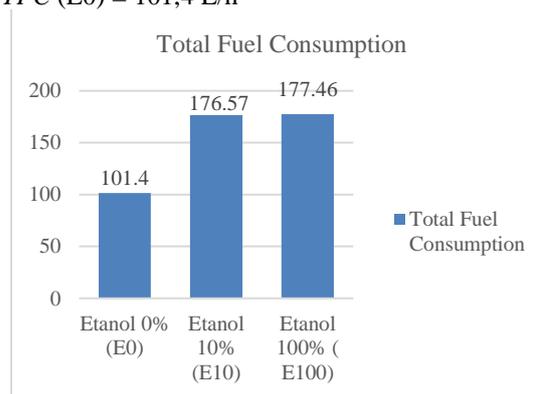
$$\text{Total } TFC (E100) = 11 \times 16,13 \text{ L/h} = 177,46 \text{ L/h}$$

Dari perhitungan diatas dapat dianalisa bahwa untuk menghidupkan genset dengan spesifikasi daya 1100 kVa, per jamnya dibutuhkan bahan bakar campuran E10 sebesar 176,44 L. Konsumsi bahan bakar yang dikonsumsi oleh bahan bakar E10, memang lebih besar dari bahan bakar E0 atau etanol 0% dalam hal ini murni 100% solar. Karena jika kita menggunakan data pada bagian metode penelitian lalu dihitung dengan menggunakan persamaan 3, maka bahan bakar E0 =

$$TFC (E0) = (m.rho.3600) / 1000$$

$$TFC (E0) = (30480000 \cdot 0,832 \text{ gr/cc} \times 3600) / 1000 \times 900 \text{ ss}$$

$$TFC (E0) = 101,4 \text{ L/h}$$



Gambar 6 Grafik TFC E0, E10, dan E100 (L/h)

Dari data diatas, dapat dilihat bahwa total konsumsi bahan bakar yang tertinggi adalah bahan bakar E100, tingginya konsumsi bahan bakar ini disebabkan oleh rendahnya titik beku bahan bakar bensin, sehingga lebih banyak mengkonsumsi bahan bakar dibanding bahan bakar solar yang cepat panas.

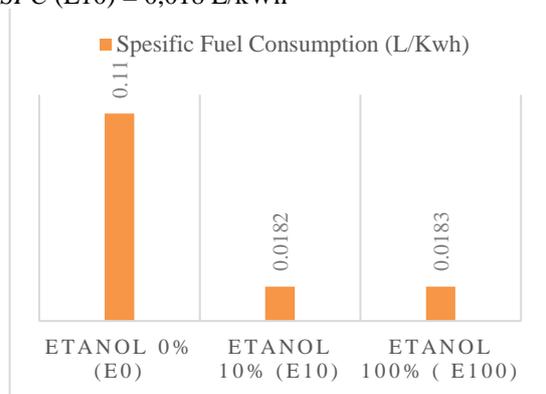
Specific Fuel Consumption juga dapat dihitung dengan persamaan (4). Maka jika kita menggunakan data E10 pada bagian metode penelitian, nilai *SFC* nya adalah :

$$SFC (E10) (Kg/kWh) = TFC/P$$

$$SFC (E10) = 12,6196 \text{ kg/h} / 880kW$$

$$SFC (E10) = 0,0114 \text{ kg/kWh} \times 1,272 \text{ L}$$

$$SFC (E10) = 0,018 \text{ L/kWh}$$



Gambar 7 Grafik SFC E0, E10, dan E100 (L/kWh)

Dari perhitungan diatas dapat dianalisa bahwa konsumsi bahan bakar spesifik jenis bahan bakar E10 adalah sebesar 0,0182 L/kWh. Nilai konsumsi bahan bakar spesifik dari bahan bakar jenis E10 lebih kecil dibandingkan nilai konsumsi bahan bakar spesifik solar 100% atau E0. Karena jika kita menggunakan data pada bagian metode penelitian lalu dihitung dengan menggunakan persamaan 4, maka nilai bahan bakar spesifik bahan bakar E0 hanya 0,11 L/kWh. Untuk bahan bakar E100 sendiri, dengan persamaan yang sama, diperoleh nilai *SFC* adalah sebesar 0,0183.

4. Efisiensi Bahan Bakar

Setelah diketahui nilai *TFC* dan *SFC*, maka kita dapat menghitung nilai efisiensinya. Dengan menggunakan persamaan (5), maka :

$$\text{Efisiensi (E10)} = (3600 \cdot P) / (TFC \cdot LHV) \times 100\%$$

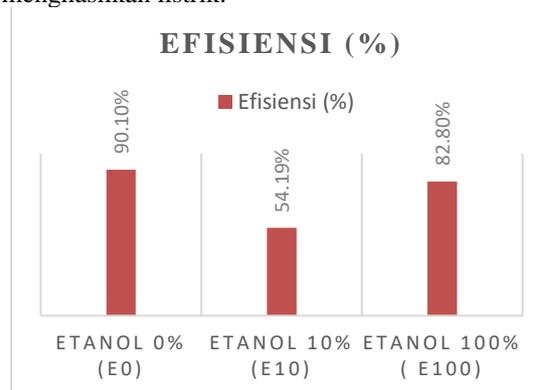
$$\text{Efisiensi (E10)} = (3600 \cdot 1100 \text{ kVa}) / (176,57 \cdot 41381,95) \cdot 100$$

$$\text{Efisiensi E (10)} = 54,19\%$$

Dari perhitungan diatas dapat dilihat bahwa nilai efisiensi dari bahan bakar E10 adalah sebesar 54,19 %. Nilai efisiensi bahan bakar E10 ini lebih rendah dibandingkan dengan nilai efisiensi bahan bakar E0. Karena jika dengan menggunakan metode perhitungan yang sama dan data yang ada pada bagian metode penelitian, nilai efisiensi dari bahan bakar E0 mencapai 90,10%. Maka jika dihitung selisih diantara kedua jenis bahan bakar ini menghasilkan selisih sebesar 35,91%.

Nilai efisiensi bahan bakar etanol masih dapat ditingkatkan dengan penambahan konsentrasi etanol. Hal ini dibuktikan dengan perhitungan bahwa dengan konsentrasi E100, dan dengan data serta perhitungan yang sama dengan konsentrasi lainnya, nilai efisiensi dari E100 adalah sebesar 82,80% Maka dari itu dengan nilai efisiensi yang cukup tinggi ini, maka membuat bioetanol dapat

menjadi sumber energi yang menjanjikan untuk diolah menjadi bahan bakar genset untuk menghasilkan listrik.



Gambar 8. Grafik Efisiensi E0, E10, dan E100 (L/h)

5. Aspek Pembiayaan

Kendati nilai efisiensi bahan bakar E0 tinggi mencapai 90%, namun jika kita hitung analisis ekonominya, maka bahan bakar solar lebih mahal dibanding dengan bahan bakar etanol, maupun campuran bahan bakar etanol dengan bensin. Jika dihitung aspek ekonomisnya berdasar pada total konsumsi bahan bakar dan daftar harga bahan bakar berikut :

Tabel 16. Daftar Harga Bahan Bakar Pertamina Untuk Industri. [29]

No	Jenis Bahan Bakar	Harga
1	Bahan Bakar Solar HSD Pertamina Area 1	
	a. Bisnis Industri	Rp.10.726,75
	b. Bisnis Tambang	Rp.11.126,45
	c. Bisnis Shipping	Rp.11.078,20
2	Harga bensin	Rp.7.650,00

Maka total pengeluaran untuk bahan bakar produksi untuk tiap jenis bahan bakar adalah sebagai berikut :

- a. Genset bahan bakar solar :
 Pengeluaran
 = Total konsumsi BB x waktu operasi x harga BB
 Pengeluaran = 101,4L/h x 12 jam x Rp.10.726,75
 Pengeluaran = Rp.13.052.309,4/Hari
- b. Genset bahan bakar E10:
 Pengeluaran
 = Total konsumsi BB x waktu operasi x harga BB
 Pengeluaran = 176,57L/h x 12 jam x Rp.7650
 Pengeluaran = Rp.16.209.126/Hari
- c. Genset bahan bakar E100
 Karena bahan bakar murni disupply dari etanol hasil produksi nira sawit limbah replanting PKS itu sendiri, maka pengeluaran untuk bahan bakar genset

adalah Rp.0, artinya tidak perlu mengeluarkan biaya untuk membeli bahan bakar genset.

Tabel 17 Hasil Penelitian

No	Variabel	Nilai
1	<i>Volumetric Flow</i> Etanol Nira Sawit	463.311,75 L/hari
2	<i>Mass comp</i> etanol nira sawit	96,37%
3	Energi Listrik	E10 = 34.166.278,6 kWh/Hari E100 = 22.628.077,7 kWh/Hari
4	Potensi Daya	E10 = 1.423.595,98 kW E100 = 942.836,57 kW
5	<i>Total Fuel Consumption</i>	E0 = 101,4 L/h E10 = 176,57L/h E100 = 177,46 L/h
6	<i>Spesific Fuel Consumption</i>	E0 = 0,11 L/kWh E10 = 0,0182 L/kWh E100 = 0,0183 L/kWh
7	Efisiensi	E0 = 90,10% E10 = 54,19% E100 = 82,80%

Kesimpulan

Dari hasil yang telah diperoleh, dapat disimpulkan bahwa dalam pengolahan 1.183.644 L nira sawit, dapat menghasilkan etanol sebesar 463.311,75 L/hari. Kandungan etanol yang dimiliki telah memenuhi standar untuk bahan bakar yakni sebesar 96,37%. Energi listrik yang dihasilkan dari etanol nira sawit sebesar 34.166.278,6 kWh/Hari untuk E10 dan 22.628.077,7 kWh/Hari untuk E100 dengan potensi daya sebesar 1.423.595,98 kW untuk E10 dan 942.836,57 kW untuk E100. Apabila rata-rata kebutuhan beban PT Duta Palma Nusantara PKS Kuko tiap tahun nya sebesar 205.912 kW per bulan, dengan adanya potensi energi listrik sebesar 1.423.595,98/ hari , maka energi listrik yang dihasilkan dari etanol nira sawit ini adalah lebih dari cukup dan dapat digunakan untuk *mengcover* kebutuhan beban yang ada di PKS Cerenti Subur Duta Palma Nusantara Grup. Namun, nilai efisiensi bahan bakar etanol E10 cukup rendah yakni 54,19%, . Rendahnya nilai efisiensi bahan bakar etanol masih dapat ditingkatkan dengan penambahan konsentrasi etanol menjadi 100%, sehingga efisiensi bahan bakar etanol akan meningkat mencapai 82,80%. Dengan adanya bahan bakar etanol ini, beban biaya pengadaan bahan bakar produksi perusahaan dapat berkurang sebesar Rp.13.052.309,4 / hari atau setara Rp.391.569.270,00/ bulan.

Ucapan Terima Kasih

1. Fakultas Sains dan Teknologi serta Program Studi Teknik Elektro yang telah mengizinkan penelitian ini
2. Kepada Manager PT Duta Palma Nusantara PKS Kuko , Kuantan Singingi, Riau, Bapak Sugiono yang telah berkenan memberikan data perusahaan sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan
3. Kepada Bapak Anto , pengusaha gula merah nira sawit di Kampung Maredan Barat, Kecamatan Tualang, Kabupaten Siak, Riau yang telah berkenan untuk menjadi narasumber dan pengambilan data kandungan nira kelapa sawit

Daftar Pustaka

- [1] Suharyati, Outlook Energi Indonesia 2019, Jakarta: Dewan Energy Nasional, 2019.
- [2] Rina Novia Yanti, "POTENSI LIMBAH PADAT PERKEBUNAN KELAPA SAWIT DI PROVINSI RIAU," *Wahana Forestra: Jurnal Kehutanan* , vol. Vol. 15 No. 2 , no. -, pp. 1-11, 2020.
- [3] Ledy Purwandani, "Pembuatan Bioetanol dari Nira Kelapa Sawit Menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*," *Buletin LOUPE*, vol. Vol. 16 No. 01, no. -, pp. 1-7, 2020.
- [4] Jaswan Litana, "KARAKTERISTIK KIMIA PARSIAL NIRA PADA BEBERAPA INTERVAL WAKTU PENGAMBILAN DENGAN VARIASI LAMA PELAYUAN DARI BATANG POHON KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq) YANG DITUMBANGKAN," *JFLS*, vol. Vol 2 No 2:, no. Karakteristik Nira Sawit, p. 77 – 87., 2018. Sugiono, Interviewee, *Data Perusahaan PT Duta Palma Nusantara PKS Kuko , Kabupaten Kuantan Singingi, Riau*. [Interview]. Senin Oktober 2021
- [6] Memori SRY Citra R Gulo, "PENGARUH UMUR POHON KELAPA SAWIT DAN TAHAPAN PENGELUARAN NIRA TERHADAP MUTU NIRA KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq)," *Jurnal Rekayasa pangan dan Pertambangan*, vol. Vol.6 No.2, no. -, pp. 273-278, 2018.
- [7] Ain, N. (2010). Study on Bioethanol Production from Oil Palm Trunk Sap. Faculty of Chemical & Natural Resources Engineering. Universiti Malaysia Pahang, Malaysia

- [8] Azizah, N., Al A.N. Baarri, dan S. Mulyani. 2012. Pengaruh lama fermentasi terhadap kadar alkohol, pH, dan produksi gas pada proses fermentasi bioetanol dari whey dengan substitusi kulit nanas. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*. 1. 2:82-86.
- [9] Kaewsrichan. 2011. Potential utilization of sap from oil palm (*Elaeis guineensis*) for lactic acid production by *Lactobacillus casei*. *Journal of Sustainable Energy and Environment*. 2.3: 99-104.
- [10] Fachrial, E., Adrian, Harmileni. 2018. Isolasi Aktivitas Anti Mikroba Bakteri Asam Laktat dari Fermentasi Nira Kelapa Sawit. *Biolink*. 5. 1:51-58
- [11] Hutasoit, J., D. Griyantoro, E. Melwita 2016. Pengaruh waktu fermentasi dan kadar air nira nipah dalam pembuatan bioetanol menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*. *Jurnal Teknik Kimia*. 2. 22: 50-57
- [12] Bai, F.W, W.A. Anderson, M. Moo-Young. 2008. Ethanol fermentation technologies from sugar and starch feedstocks. *Biotechnology Advances*. Vol. 26:89–105
- [13] Soares, E.V. 2010. Flocculation of *Saccharomyces cerevisiae* : a Review. *Journal of Applied Microbiology* ISSN 1364- 5072. Vol.110: 1-18.
- [14] Manurung, M.M., G. Handayani, N. Herlina. 2016. Pembuatan Bioetanol Dari Nira Aren (*Arenga pinnata* Merr) Menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 5. 4: 21-25.
- [15] Wyman, C.E. 1999. Ethanol Production From Lignocellulosic Biomass: overview. CRC Press. Inc. Cleceland Ohio. Chapter 1:1-18
- [16] Tohari, A. 2012. Sekali lagi: Etanol dari Tebu. P3GI. Pasuruan.
- [17] Richana, Nur dan Suarni. 2008. Teknologi Pengolahan Jagung. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pasca Panen. Bogor
- [18] Quintero, J.A., V. 2006. Palm sugar: the Indigeneous Sweetness. *ILEIA Newslett*. 13(2): 19
- [19] Forgacs, E. And Cserhati, T. 2003. Gas Chromatography. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. New York
- [20] Aisyah, S.N dan Sembiring, K.C. 2009. Bioproses dan Teknologi Pembuatan Bioetanol. *Berita IPTEK LIPI*. Tahun ke47(1): 64-71.
- [21] UK, "Standby Power Generation UK," Senin Juni 2018. [Online]. Available: <https://standbypowergeneration.co.uk/>. [Accessed Selasa Oktober 2021].
- [22] Caterpillar, "Caterpillar," Rabu Agustus 2018. [Online]. Available: <https://emc.cat.com>. [Accessed Selasa Oktober 2021].
- [23] U. D. Energy, "US Departement Energy," US Departement Energy, Senin July 2016. [Online]. Available: https://www.afdc.energy.gov/uploads/publication/alternative_fuel_price_report_july_2016. [Accessed Selasa September 2021].
- [24] T. Suprianto, "Bahan Bakar Gasohol 9 Premium-Bioetanol) Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Pretreatment Lignocellulotic material dan Fermentasi," *jurnal INTEKNA*, vol. Volume 16 No 2, no. -, pp. 101-200, 2016.
- [25] Berg, "Superpro designer User Manual," Superpro designer User Manual, Senin September 2016. [Online]. Available: <http://www.unisaarland.de>. [Accessed Rabu Oktober 2021].
- [26] Sulaeman, "Simulasi Produksi Bioetanol Dalam Biorefinery Dengan Variasi Biomassa Menggunakan Superpro Designer," Telkom University, Bandung, 2019.
- [27] Hariyadi, "Permodelan Proses dan Analisa Teknis Produksi Bioetanol Dengan Memanfaatkan Limbah Singkong," -, Pekanbaru, 2019.
- [28] Perkins, "Perkins," Kamis Juni 2021. [Online]. Available: <https://perkins.com> . [Accessed Senin Oktober 2021].
- [29] PERTAMINA, "PERTAMINA," Sabtu September 2021. [Online]. Available: <https://www.pertamina.com/id/news-room/announcement/daftar-harga-bbk-tmt-18-september-2021-Zona-all>. [Accessed Selasa Oktober 2021].