

Analisis Potensi Biomassa di Kecamatan Pulau Burung Menggunakan Teknologi Insenerasi Sebagai Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Suwitno, Hendrian Syaputra, Nurhahlim, Dian Yayan Sukma, Amir Hamzah

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau

suwitno@lecturer.unri.ac.id

Abstrak

Steam Power Plant is a widely applied electrical energy generation system. The limitation of fossil fuels has spurred us to find alternative fuels. One alternative fuel that can be used in PLTU is biomass. Coconut coir is a biomass that has the potential to become an alternative fuel which is abundantly available in Indragiri Hilir district, especially in the Pulau Burung sub-district. This study aims to calculate the electrical power generated from the utilization of coconut fiber as an energy source in Steam Power Plants. The method used in this research is to process quantitative data from coconut fruit production to obtain the availability of coconut fiber, generated calorific value, steam turbine output work and generated electrical energy. The results showed that the availability of coconut fiber with an annual average value of 1,058.405 kg/hour. The heat value from burning one kilogram of coconut fiber was 16,767.2967 kJ / kg. Using calculations, two steam power plant of electrical system designs were obtained, where the output power of the first unit generator was 647,7053 kW and the output of the unit two generating system is 289,2458 kW with a total electric power generated by the PLTU of 936.9511 kW.

Keywords: Alternative Energy, Biomass, Coconut Fiber, Incineration, Steam Power Plant

I. PENDAHULUAN

Di tengah krisis sumber energi yang terjadi di dunia termasuk juga Indonesia, perkembangan teknologi penyedia energi listrik mengarah pada inovasi energi alternatif sebagai pengganti energi yang persediaannya semakin menipis. Tanaman merupakan salah satu energi alternatif yang disarankan diantaranya. Energi alternatif yang berasal dari tanaman dapat berupa biomassa, baik biomasa padat, cair dan gas. Salah satu tanaman yang berpotensi dijadikan sumber energi alternatif dengan ketersediaan yang berlimpah di Indonesia adalah dari tanaman kelapa. (Rismayani, 2011).

Kabupaten Indragiri Hilir (Inhil) memiliki perkebunan dengan produksi satu tahunnya kelapa dalam mencapai 262.992,42 ton dengan luas lahan 225.417 Ha dan kelapa hibrida 50.367,80 ton dengan luas lahan 35.564 Ha (BPS Kab. Inhil, 2020). Buah kelapa sendiri terdiri dari tempurung 12%, daging buah 28%, sabut 35% dan air kelapa 25% dengan jumlah sabut dan tempurung kelapa di bakar selama ini adalah 47% dari produksi kelapa butir. (Ihwan, 2019). Salah satu daerah penghasil kelapa di Kabupaten Inhil adalah Kecamatan Pulau Burung. Mayoritas sumber pendapatan masyarakat setempat adalah penjualan kelapa butir ke pabrik pengolahan kelapa, banyaknya perkebunan kelapa yang terdapat di daerah tersebut menghasilkan limbah hasil pertanian berupa sabut kelapa. Dalam upaya mengurangi tumpukan sabut dan bersarangnya hewan berbahaya di tumpukan sabut kerap masyarakat melenyapkannya dengan membakar. (Razali, 2022). Desa Pulau Burung menjadi pusat kecamatan dan juga menjadi tempat pembangkit

listrik yang mensuplai energi listrik ke beberapa kecamatan sekitarnya. Daerah ini juga memiliki sumber air yang berlimpah karena berada di pesisir pantai dan tersedia banyak kanal buatan, begitu pula untuk sumber energi biomassa berupa limbah perkebunan yaitu sabut kelapa yang belum dimanfaatkan menjadikan Kecamatan ini sebagai lokasi yang tepat untuk membuat pembangkit tambahan berupa Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU-Biomassa) dengan memanfaatkan energi alternatif berupa sabut kelapa. Pelayanan listrik kepada masyarakat juga menjadi salah satu pertimbangan untuk melakukan penelitian ini sebagai upaya mencari solusi dalam memenuhi penyaluran listrik dua puluh empat jam kepada konsumen. (Razali, 2022).

Berdasarkan penjabaran paragraf-paragraf sebelumnya, penulis melakukan penelitian berjudul “Analisis Potensi Biomassa Berupa Sabut Kelapa di Kecamatan Pulau Burung Sebagai Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Menggunakan Teknologi Insenerasi” yang dilakukan di Kecamatan Pulau Burung Kabupaten Indragiri Hilir.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Biomassa

Biomassa adalah bahan organik berupa produk hasil proses fotosintesis dari makhluk hidup contohnya biomassa yang berasal dari tumbuhan, kotoran ternak, limbah perkebunan dan pertanian. Setiap tanaman memiliki potensi untuk dijadikan sumber energi biomassa. Salah satunya adalah tanaman kelapa yang dapat dijadikan energi alternatif pengganti energi fosil. Ditinjau dari nilai

kalor yang dimiliki oleh sabut dari tanaman kelapa hampir setara dengan nilai kalor jenis batubara lignit. Untuk nilai kalor yang terkandung pada sabut kelapa yaitu mencapai 4.004,8 kkal/ kg dengan komposisi sabut kelapa sebesar 30% dari satu buah kelapa. (Rauf, 2018)(Saputra, M. H., 2021)(Ihwan, 2019)

2.2 Incenerator

Insinerasi, atau pembakaran konvensional adalah istilah umum untuk konversi termal secara langsung pada biomassa melalui proses pembakaran dengan kadar oksigen tinggi, pada suhu lebih dari 800°C. Dimana, gas panas hasil pembakarannya tersusun dari karbondioksida, nitrogen, uap air, dan residu abu.(Samsinar, 2018).

2.3 Boiler

Boiler menjadi tempat memanaskan air berfase jenuh menjadi uap jenuh yang bertekanan. pada boiler perpindahan panas terjadi dalam skala besar yang berasal dari gas hasil pembakaran insenerator ke air pada ketel boiler dan tidak terjadi kerja yang mengakibatkan air menjadi superheated-steam saat keluar dari boiler. Untuk mencari nilai kalor spesifik yang masuk ke boiler dapat menggunakan persamaan 1 berikut: (Mainil, 2013)(Chengel, 2006).

$$q_{in} = h_g - h_f \quad (1)$$

Dengan kalor yang diterima boiler didapat dengan mengalikan kalor spesifik masuk boiler dengan masa fluida sebagai berikut.(Chengel, 2006).

$$Q_{in} = m \times q_{in} \quad (2)$$

Dengan bahan bakar yang diperlukan boiler untuk menghasilkan uap yang diinginkan menggunakan persamaan 3 sebagai berikut.(Maulanawi, 2020).

$$W_{bb} = \frac{m \times q_{in}}{\eta_k \times q_{inc}} = \frac{Q_{in}}{\eta_k \times q_{inc}} \quad (3)$$

Dimana:

- q_{in} = Kalor yang Masuk ke Boiler. (kJ/kg)
- h_1 = Entalpy dikandung Air Masuk Ketel. (kJ/kg)
- h_2 = Entalpy dikandung Uap Keluar Ketel. (kJ/kg)
- Q_{in} = Kalor yang Diterima Boiler. (kW)
- W_{bb} = Bahan Bakar yang Dibutuhkan. (kg/jam)
- Q_{in} = Kalor diterima yang Diterima Boiler. (kW)
- m = Massa Fluida. (kg/Jam)
- η_k = Efisiensi Ketel Uap.

2.4 Turbin Uap

Turbin uap penghasil kerja utama yang mengubah tekanan uap dari boiler ke gerak dalam bentuk putaran poros turbin yang akan disalurkan

ke poros generator. Untuk besar kerja spesifik yang di hasilkan dari turbin dapat menggunakan persamaan 4 sebagai berikut: (Sulistiya, 2021)(Mainil, 2013)(Chengel, 2006).

$$w_{turbin\ out} = h_2 - h_3 \quad (4)$$

Keluaran turbin uap berupa uap yang fasenya campuran atau saturasi. Untuk mendapatkan nilai campuran pada fluida keluaran turbin dapat menggunakan persamaan 5 berikut.(Chengel, 2006).

$$X_{gs} = \frac{s_{gs} - s_{fg}}{s_{fg}} \quad (5)$$

Dimana:

S_{gs} = Entropi Fase Gas Keluar Turbin Isentropik. (kJ/kg.K)

S_{fg} = Entropi Air Jenuh Kondisi Isentropik. (kJ/kg.k)

S_{fgs} = Entropi Penguapan Kondisi Isentropik. (kJ/kg.K)

Nilai entalpi uap spesifik keluaran turbin isentropis dapat menggunakan persamaan 6 berikut. (Chengel, 2006)

$$h_{gs} = h_{fg} + X_{gs} \times h_{fgs} \quad (6)$$

Kerja spesifik keluaran turbin pada kondisi isentropis dapat menggunakan persamaan 7 sebagai berikut.(Chengel, 2006)

$$w_{out,s} = h_2 - h_{gs} \quad (7)$$

Dimana:

$w_{out,s}$ = Kerja Spesifik Turbin Uap Kondisi Isentropis (kJ/kg)

h_{gs} = Enthalpi Keluar Turbin Isentropis (kJ/kg)

Kerja yang dihasilkan turbin uap pada kondisi isentropis dapat menggunakan persamaan 8 berikut. (Chengel, 2006)

$$W_{out,s} = m \times w_{out,s} \quad (8)$$

Dimana:

$W_{out,s}$ = Kerja Dhasilkan Turbin Kondisi Isentropis (kW)

$w_{out,s}$ = Kerja Spesifik Dhasilkan Turbin Isentropis (kJ/kg)

m = Massa Fluida (kg/s)

Kerja turbin pada kondisi aktual turbin uap perlu dicari nilai kerja spesifik pada turbin uap untuk mendapatkan efisiensi dari turbin yang di gunakan maka dari itu diperlukan nilai enthalpi uap keluar turbin pada kondisi aktual seperti persamaan 9 berikut.(Widayana, 2022).

$$h_{2a} = \frac{h_2 - A \left[1 - \left(\frac{h_{f3}}{h_{g3} - h_{f3}} \right) \right]}{1 + \frac{A}{h_{g3} - h_{f3}}} \quad (9)$$

Dengan nilai A, (Widayana, 2022)

$$A = 0,425 \times (h_2 - h_{2s}) \quad (10)$$

Dimana:

h_{2a} = Entalpi Uap Keluar Turbin Kondisi Aktual. (kJ/kg)

Kerja spesifik yang dihasilkan turbin pada kondisi aktual menggunakan persamaan 11 berikut. (Widayana, 2022)

$$w_{out,a} = h_2 - h_{2a} \quad (11)$$

Dimana:

$w_{out,a}$ = Kerja Spesifik Turbin Uap Kondisi Aktual. (kJ/kg)

h_{2a} = Enthalpi Keluar Turbin Kondisi Aktual. (kJ/kg)

Untuk mencari kerja yang dihasilkan turbin uap pada kondisi isentropis dapat menggunakan persamaan 12 berikut. (Chengel, 2006)

$$W_{out,a} = m \times w_{out,a} \quad (12)$$

Dimana:

$W_{out,a}$ = Kerja yang Dihasilkan Turbin Kondisi Aktual (kW)

$w_{out,a}$ = Kerja Spesifik Dihasilkan Turbin Uap Kondisi Aktual (kJ/kg)

m = Massa Fluida (kg/s)

Dengan efisiensi dari turbin uap seperti persamaan 14 berikut, (Chengel,2006).

$$\eta_{Turbin} = \frac{w_{out,a}}{w_{out,s}} \times 100\% \quad (13)$$

Dimana:

η_{Turbin} = Efisiensi Turbin Uap (%)

$w_{out,a}$ = Kerja Spesifik Turbin Kondisi Aktual (kJ/kg)

$w_{out,s}$ = Kerja Spesifik Turbin Kondisi Isentropis (kJ/kg)

2.5 Generator

Generator adalah alat penghasil energi dalam bentuk energi listrik dari proses mengkonversi energi gerak memanfaatkan induksi magnet. Pada sistem PLTU generator mendapatkan suplai energi mekanik dari poros generator yang disandingkan dengan poros turbin. Daya generator dapat dicari menggunakan persamaan 14 berikut.(Sulistiya, 2021)

$$P_G = W_{turbin} \times \eta_G \quad (14)$$

Dengan:

P_G = Daya keluaran Generator. (kW)

$N_{eff\ turbin}$ = Daya Keluaran Turbin Uap. (kW)

η_G = Efisiensi dari Generator Listrik.(%)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Ketersediaan Bahan Bakar Sabut Kelapa

Jumlah produksi kelapa Dalam dan Hibrida Kecamatan Pulau Burung dari tahun 2017-2022 dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Produksi Kelapa 2017-2022 di Kecamatan Pulau Burung

Tahun	Jumlah Produksi Kelapa (kg)	
	Dalam	Hibrida
2017	13.054.800	12.936.487,30
2018	13.054.800	12.936.487,30
2019	13.605.277,40	12.804.059,40
2020	14.033.910	12.816.190,20
2021	14.033.910	12.816.190,20
2022	14.033.910	12.816.190,20

Komposisi buah kelapa terdiri sabut 35% maka jumlah sabut kelapa dari hasil produksi dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Produksi Sabut Kelapa Kecamatan Pulau Burung Tahun 2017-2022

Tahun	Produksi Sabut 35 % (kg)		Total (kg/tahun)
	Dalam	Hibrida	
2017	4.569.180,00	4.527.770,56	9.096.950,56
2018	4.569.180,00	4.527.770,56	9.096.950,56
2019	4.761.847,10	4.481.420,79	9.243.267,88
2020	4.911.868,50	4.485.666,57	9.397.535,07
2021	4.911.868,50	4.485.666,57	9.397.535,07
2022	4.911.868,50	4.485.666,57	9.397.535,07
Rata-Rata	4.772.635,43	4.498.993,60	9.271.629,03

Dari Tabel.2 didapat rata-rata produksi sabut kelapa di Kecamatan Pulau Burung tahun 2017-2022 sebesar 9.271.629,033 kg/tahun dengan nilai rata-rata per-jam sebesar 1.058,405 kg yang didapat dari perhitungan sebagai berikut.

$$W_{sabut} (kg/jam) = \frac{9.271.629,033 \text{ kg}}{365 \text{ hari} \times 24 \text{ jam}} = 1.058,405 \text{ kg/jam}$$

Dengan nilai kalor jenis dari sabut kelapa sebesar 4.004,8 kkal/kg dengan nilai konversi 1 kkal sebanding dengan 4,1868 kJ maka nilai panas dapat terbangkit dari satu kilogram sabut kelapa sebesar:

$$Q_{sabut} = 4.004,8 \text{ kkal/kg} \times 4,1868 = 16.767,2967 \text{ kJ/kg}$$

3.2 Boiler

Pemilihan boiler sesuai demonstrasi dari produsen dengan memperhatikan bahan bakar yang digunakan dalam prakteknya. Spesifikasi boiler yang digunakan seperti pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Spesifikasi Boiler

Brand	EPCB Boiler
Type	Double drum chain gate fired steam
Steam capacity [kg/h]	4.000
Rate steam pressure [Mpa]	1,6
Steam temperature [°C]	204
Feed water temperature [°C]	60
Efficiency thermal [%]	82,3

Dari Tabel. 3 spesifikasi boiler yang digunakan maka ditetapkan data boiler sebagai berikut.

$$T1 = 5 \text{ }^\circ\text{C}, P1 = 0,15 \text{ Mpa}, h1 = 314,12 \text{ kJ/kg}, T2 = 194 \text{ }^\circ\text{C}, P2 = 1,6 \text{ MPa}, h2 = 800,19 \text{ kJ/kg}$$

Dengan kapasitas uap yang diinginkan sesuai dengan spesifikasi boiler yang digunakan yaitu 4.000 kg/jam (1,1111 kg/s) dan nilai penyetaraan 1 kJ/s = 1 kW (Chengel, 2006) maka nilai kalor yang diperlukan untuk mendapatkan uap sebagai berikut.

$$Q_{in} = 4.000 \text{ kg/jam} (2.800,19 \text{ kJ/kg} - 314,12 \text{ kJ/kg}) = 9.944.284,41 \text{ kJ/jam}$$

Dengan penyetaraan satuan ke besaran listrik didapat.

$$Q_{in} = 9.944.284,41 \text{ kJ} \times \frac{1}{3.600 \text{ s}} = 2.762,30 \text{ kJ/s} = 2.762,30 \text{ kW}$$

Dengan energi dihasilkan dari pembakaran satu kilogram kelapa 16.767,6971 kJ/kg dan efisiensi ketel uap sebesar 82,3% maka bahan bakar yang diperlukan boiler sebagai berikut.

$$M_{\text{bahan bakar}} = \frac{9.944.284,41 \text{ kJ/jam}}{0,823 \times 16.767,6971 \text{ kJ/kg}} = 720,61 \text{ kg/jam}$$

3.3 Turbin Uap

Spesifikasi turbin uap dilihat dari nilai tekanan dan temperature uap keluar boiler dimana peneliti memilih spesifikasi turbin uap diatas nilai parameter keluaran boiler. Spesifikasi yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Spesifikasi Turbin Uap

Brand	Qnp Turbine S10
Max Output [MW]	1
Max Speed [rpm]	3000
Max nlet Steam [Mpa]	2,1
Max Inlet Temperature [C]	350
Exhaus Pressure [Mpa]	0,008

Dari data pada Tabel 4 spesifikasi turbin dan data uap keluaran boiler sebelumnya, maka dapat ditetapkan data uap masuk dan keluar dari turbin sebagai berikut (Lee, 2017).

$$T2= 204 \text{ }^\circ\text{C}, P2 = 1,6 \text{ Mpa}, T3 = 41,394 \text{ }^\circ\text{C}, P3 = 0,008 \text{ Mpa}, h2 = 2.800,19 \text{ kJ/kg}, s2= s3s = 6,4208 \text{ kJ/kg.K}$$

Digunakan pendekatan interpolasi untuk mencari nilai enthalpi dan entropi uap keluaran turbin pada tekanan 8 kPa dengan menggunakan data dari tabel A-5 saturated water-pressure data kondisi isentropis (3s) pada keluaran turbin uap dengan Tekanan 8 kPa dan temperatur uap 41,394 °C sebagai berikut.

$$hf3 = 173,362 \text{ kJ/kg}, hfg3 = 2.402,7 \text{ kJ/kg}, hg3 = 2.576,0 \text{ kJ/kg}, s2s = s3s = 6,4208 \text{ kJ/kg.K}, sf3 = 0,5909 \text{ kJ/kg.K}, sfg3 = 7,6390 \text{ kJ/kg.K}, sg3 = 8,2298 \text{ kJ/kg.K}$$

Maka dapat dicari nilai fraksi uap keluaran turbin uap sebagai berikut.

$$X_{3s} = \frac{6,4208 \text{ kJ/kg.K} - 0,5909 \text{ kJ/kg.K}}{7,6390 \text{ kJ/kg.K}} = 0,7632$$

Nilai enthalpi uap keluar turbin uap sebagai berikut.

$$h_{3s} = 173,36 \text{ kJ/kg} + (0,7632 \times 2.402,7 \text{ kJ/kg}) = 2.007,0231 \text{ kJ/kg}$$

Maka kerja spesifik keluaran turbin uap sebagai berikut.

$$W_{out,s} = 2.800,19 \text{ kJ/kg} - 2.007,0231 \text{ kJ/kg} = 793,168 \text{ kJ/kg}$$

Diketahui laju aliran masa uap sebesar 1,1111 kg/s maka kerja keluaran turbin kondisi isentropis sebagai berikut.

$$W_{out,s} = 1,1111 \text{ kg/s} \times 793,168 \text{ kJ/kg} = 881,2978 \text{ kJ/s} = 881,2978 \text{ kW}$$

Untuk kondisi keluaran aktual (3a) dari turbin uap. Nilai konstanta keluaran turbin aktual (A) didapat.

$$A = 0,425 \times (2.800,19 \text{ kJ/kg} - 2.007,0231 \text{ kJ/kg}) = 337,096 \text{ kJ/kg}$$

Dengan menggunakan persamaan (9) diperoleh nilai enthalpi keluaran turbin kondisi actual;

$$h_{3s} = 2181,3644 \text{ kJ/kg}$$

Dengan kerja spesifik keluaran turbin uap pada kondisi aktual sebagai berikut.

$$W_{out,a} = 2.181,3644 \text{ kJ/kg} - 2.800,19 \text{ kJ/kg} = 618,8267 \text{ kJ/kg}$$

Maka efisiensi isentropis turbin dapat dihitung sebagai berikut.

$$\eta_{Turbin} = \frac{W_{out,a}}{W_{out,s}} \times 100\% = \frac{618,8267}{793,168} \times 100\% = 78,01 \%$$

Dengan diketahui efisiensi turbin uap yang digunakan dan diketahui nilai daya keluaran turbin uap kondisi isentropis sebesar 419,0502 kW maka daya keluaran turbin uap pada kondisi aktual dapat dihitung sebagai berikut.

$$W_{out,a} = W_{out,s} \times \eta_{Turbin} = 881,2978 \text{ kW} \times 0,7801 = 687,5852 \text{ kW}$$

Diketahui daya yang dihasilkan turbin uap dalam kondisi aktual sebesar 687,5852 kW

3.3 Generator

Diketahui daya keluaran turbin pada kondisi aktual 687,5852 kW. Penetapan spesifikasi generator yang digunakan melihat dari sisi daya yang diberikan turbin uap maka didapat spesifikasi generator yang digunakan seperti tampak pada Tabel 5.

Tabel 5. Spesifikasi Generator

Brand-Type	STAMFORD-S1L2-N1
Power Factor	0,8
Frekuensi (Hz)	50
Phase	3
Voltage Star series (V)	380
Power (kVA / kW)	710 /
Efficiency (%)	94,2
Input (kW)	320

Dari Tabel 5 diketahui efisiensi generator sebesar 94,2% (0,942). Daya keluaran generator dapat dicari dengan mengalikan daya dihasilkan turbin dengan efisiensi dari generator yang digunakan sebagai berikut.

$$P_G = 687,5852 \text{ kW} \times 0,942 = 647,7053 \text{ kW}$$

3.4 Kelebihan Bahan Bakar

Pada desain pembangkit tenaga uap diatas menghabiskan bahan bakar sebesar 720,61 kg/Jam dari total bahan bakar keseluruhan sebesar 1.058,4051 kg/Jam maka sisa bahan bakar yang belum digunakan sebesar 337,7951 kg/jam sebagai berikut.

$$\Delta W = 1.058,4051 \text{ kg/jam} - 720,61 \text{ kg/jam} = 337,7951 \text{ kg/jam}$$

Melihat potensi energi listrik yang didapat dari keseluruhan pemanfaatan bahan bakar ketersediaan bahan bakar untuk membangkitkan daya 647,705kW, cukup tersedia, karena masih tersisa 337,795 kg/jam.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dalam menganalisis potensi biomassa perkebunan berupa sabut kelapa di Kecamatan Pulau Burung sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menggunakan teknologi insenerasi maka didapat kesimpulan penelitian sebagai berikut:

1. Nilai rata-rata jumlah produksi sabut Kelapa Dalam dan Kelapa Hibrida dari tahun 2017 hingga tahun 2022 sebesar 9.271.629,033 kg/tahun atau sebesar 1.058,405 kg/jam.
2. Nilai kalor terkandung pada sabut kelapa sebesar 4004,8 kKal/kg dapat membangkitkan energi panas sebesar 16.767,2967 kJ/kg.
3. Desain sistem pembangkit pertama menghasilkan energi listrik generator sebesar 647,7053 kW dengan daya turbin sebesar 687,5852 kW dari pemanfaatan uap yang dihasilkan boiler sebesar 1,1111 kg/s dengan memanfaatkan bahan bakar sabut kelapa sebesar 720,61 kg/jam dengan bahan bakar yang belum terpakai sebesar 337,7951 kg/jam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terimakasih kepada Universitas Riau yang telah menyediakan sarana dan prasana penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Badan Pusat Statistik. 2021. *Banyaknya Pembangkit dan Produksi Listrik Menurut Ranting/Subranting di Kabupaten Indragiri Hilir*, Dilihat pada 16 april 2023.
- [2]. Badan Pusat Statistik. 2021. *Rincian Produksi Listrik Menurut Ranting/Subranting di Kabupaten Indragiri Hilir*, Dilihat pada 16 april 2023,
- [3]. Chandra, A., & Nurmutia, S. 2020. *Teknik Tenaga Listrik*. Pamulang. UNPAM PRESS.
- [4]. Chengel, Y. A., & Boles, M. A. 2006. *Thermodynamics: An Engineering Approach 5th edition*. New York, McGraw-Hill.
- [5]. Ihwan, K., & Surya, R. Z. 2019. *Analisa Potensi Pengembangan Energi Alternative Berbasis Limbah Kelapa Di Kabupaten Indragiri Hilir*”. JUTI UNISI, 3(2), 27-31.
- [6]. Mainil Afdhal, K. 2013. *Pengembangan Perangkat Lunak Untuk Simulasi Siklus Rankine (Steam Power Plant System) Sebagai Bahan Pembelajaran Termodinamika Teknik*. Jurnal Mekanikal, 4(1), 337-344.
- [7]. Maulanawi, H. 2020. *Analisa Unjuk Kerja Boiler Kapasitas 30 Ton Uap/Jam dengan Menggunakan Campuran Bahan Bakar Fiber dan Shell*,. Pekanbaru. Universitas Islam Riau.
- [8]. Rauf, A. S., Widodo, S., & Nawir, A. 2018. *Peningkatan Nilai Kalori Pada Batubara Lignit Dengan Metode Aglomerasi Air dan Minyak Sawit Pada PT*”. *Indonesia Power UJP PLTU Barru*. Jurnal Geomine, 6(3), 124-130.
- [9]. Rismayani, S., & Tayibnapis, A. S. 2011. *Pembuatan Bio-Briket Dari Limbah Sabut Kelapa Dan Bottom Ash*”. *Arena Tekstil*, 26(1).
- [10]. Samsinar, R., & Anwar, K. 2018. *Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kapasitas 115 kW*”. *Elektrum*, 15:2.
- [11]. Saputra, M. H. 2021. *Analisis Teknis Dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (Pltbn) Menggunakan Sabut Kelapa Hibrida (Studi Kasus: Desa Bangun Harjo Jaya Kabupaten Indragiri Hilir)*”. (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau).

- [12]. Sulistia, Y. 2021. *Analisis Teknis Dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Pltu) Berbasis Biomassa (Studi Kasus Kecamatan Rangsang, Desa Dwi Tunggal)*". (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau).
- [13]. Widayana, A. 2022. *Eksergi dan Energi Losses Turbin Unit 1 PLT Gunung Salak Paska Re-blading*". 1 (1): 21-31.