

Analisis Teknis dan Ekonomis Pemanfaatan Sampah Organik Sebagai PLTSa di TPA Tanjung Belit

Muhammad Syukri⁽¹⁾, Marhama Jelita⁽²⁾

Program Studi Teknik Elektro
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. UIN Suska, Rimba Panjang, Kec. Tambang, Kab. Kampar, Riau 28293,
Indonesia

Email: ¹11850512387@students.uin-suska.ac.id, ²marhama.jelita@uin-suska.ac.id

Tersedia Online di

<http://www.jurnal.unublitar.ac.id/index.php/briliant>

Sejarah Artikel

Diterima pada 4 Januari 2023
Disetujui pada 11 Maret 2023
Dipublikasikan pada 30 Mei 2023
Hal. 511-526

Kata Kunci:

Incinerator; NPV; siklus rankine; sampah organik; PLTSa.

DOI:

<http://dx.doi.org/10.28926/briliant.v8i2.1275>

Abstrak: Rokan Hulu memiliki Tempat Pembuangan Akhir yang berada di daerah Tanjung Belit tercatat pada tahun 2021 timbunan sampah sebanyak 14.134,60 ton dan sebanyak 60% adalah sampah organik. Permasalahan sampah ini belum dapat teratasi dengan baik karena hanya sebagian saja sampah organik yang diolah dan pengadaan listrik di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Tanjung Belit masih menggunakan genset dengan anggaran Rp 210.800/hari untuk bahan bakar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis aspek teknis dan ekonomis dari pemanfaatan sampah organik sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa). Analisis teknis potensi energi bahan bakar sampah organik menggunakan pembakaran langsung dengan teknologi incinerator dan energi listrik PLTSa menggunakan metode Siklus Rankine dengan penerapan hukum Termodinamika 1 menggunakan *software* EES. Hasil aspek teknis diperoleh potensi sampah organik sebesar 0,26 kg/detik dan daya kalor

sampah organik sebesar 492,51 kW dapat menghasilkan daya listrik bersih sebesar 81,92 kW dengan efisiensi sebesar 16,63%. Potensi energi listrik yang dihasilkan dalam 1 hari sebesar 1.966,08 kWh dan dapat memenuhi kebutuhan beban energi listrik di TPA Tanjung Belit sebesar 12,424 kWh. Energi Listrik berlebih dialokasikan kepada PLN dengan pendapatan Rp 22.054.418.141. Hasil aspek ekonomis diperoleh NPV sebesar Rp. 32.949.577.331,33, waktu PP selama 2,63 tahun dan nilai IRR adalah 20,81%. Maka hasil pemanfaatan sampah organik sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) dapat dikatakan layak dari aspek teknis dan aspek ekonomis.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan sebuah negara yang memiliki jumlah kepulauan terbesar di dunia yaitu terdiri dari 17.504 pulau dan jumlah penduduk Indonesia tiap tahunnya mengalami peningkatan. Tercatat pada tahun 2021 jumlah penduduk mencapai 272,68 juta jiwa (Badan Pusat Statistik, 2022). Dengan adanya peningkatan jumlah penduduk Indonesia setiap tahunnya ini berbanding lurus dengan jumlah sampah yang dihasilkan. Sampah yang tercatat pada tahun 2021 sebesar 13.955.029,28 ton, dengan jumlah sampah yang tidak dikelola sebesar 4.712.730,1 ton (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2022a).

Produksi sampah yang banyak itu hampir dialami oleh setiap daerah di Indonesia terutama di daerah yang padat penduduk. Begitu juga di provinsi Riau dimana tercatat produksi sampah pada tahun 2021 sebesar 685.913,30 ton (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2022b). Dan dari total produksi sampah di provinsi Riau pada tahun 2021 kabupaten Rokan Hulu menyumbang sampah sebesar 127.685 Ton (Sukiman & Gunawan, 2022). Kabupaten Rokan Hulu merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Riau di mana luas wilayah keseluruhannya adalah 7.588 km² (Badan Pusat Statistik, 2021). Dari data tersebut menandakan bahwa permasalahan sampah ini terjadi juga di kabupaten Rokan Hulu.

Kabupaten Rokan Hulu memiliki Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang terletak di desa Tanjung Belit. TPA Tanjung Belit memiliki permasalahan dalam hal pengolahan sampah yang disebabkan oleh tidak adanya alat pemilah sampah dan tidak adanya daur ulang sampah baik sampah jenis organik maupun jenis sampah anorganik sehingga sampah hanya dibiarkan menumpuk. Di TPA Tanjung Belit sampah yang masuk ini berasal dari 4 Kecamatan yaitu Kecamatan Rambah, Kecamatan Tandun, Kecamatan Kabun dan Kecamatan Ujung Batu. TPA Tanjung Belit ini beroperasi setiap hari dimana pada setiap harinya selalu ada timbunan sampah yang bertambah dan apabila dibiarkan terus-menerus akan menimbulkan masalah baru bagi warga di Kabupaten Rokan Hulu dan dapat memenuhi TPA dalam waktu yang singkat jika biarkan begitu saja (Kabupaten Rokan Hulu, 2022).

Tercatat timbunan sampah yang dapat ditangani pada 2021 hanya sebesar 14.134,60 ton di TPA Tanjung Belit, sedangkan tahun 2020 sampah yang dapat ditangani sebesar 23.781 ton. Hal ini mengidentifikasi bahwa sampah yang dapat ditangani dari tahun sebelumnya mengalami penurunan yang sangat besar yaitu 68.2% sedangkan timbunan sampah pada tahun 2020 dan 2021 memiliki angka yang sama yaitu sebesar 127.685 ton. Dari jumlah sampah tersebut, sampah organik memiliki persentase sekitar 60% dan sampah anorganik sekitar 40%. Dimana jumlah sampah organik lebih banyak dan sampah organik ini tidak dikelola sama sekali sedangkan sampah anorganik yang sebesar 40% tersebut tersebut seharusnya dapat di kelola menjadi kerajinan lain atau dijual kembali oleh pemulung yang berada disana maka jumlah sampah anorganik berkurang dan lebih berpotensi menggunakan sampah organik (Unwaru Kevin Cahya Andilla et al., 2022). TPA Tanjung Belit ini sendiri memiliki luas sebesar 5.5 Ha. Selain permasalahan sampah TPA Tanjung Belit juga memiliki permasalahan lain. Permasalahan itu disampaikan oleh Asep Supriadi selaku pegawai di TPA Tanjung Belit pada sesi wawancara beliau menyampaikan bahwa Permasalahan lainnya mengenai pengadaan listrik untuk kegiatan dan operasional di TPA Tanjung Belit dimana masih menggunakan listrik tenaga genset saja. Dimana kapasitas maksimum genset yang digunakan adalah 5000 Watt dalam hal ini untuk menghasilkan energi listrik menggunakan bahan bakar solar untuk mengoperasikan genset dan apabila genset dihidupkan selama 24 jam akan memerlukan bahan bakar solar sebesar 31 liter dalam pengoperasiannya. Apabila dikalkulasikan dengan harga bahan bakar solar maka dalam waktu 24 jam memerlukan biaya sekitar Rp 210.800 (Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Rokan Hulu, 2022; Unwaru Kevin Cahya Andilla et al., 2022).

Ada beberapa penelitian yang mengkaji tentang pengolahan sampah, penelitian (Faruq, 2016) bertujuan mengolah potensi sampah jenis organik menjadi

energi listrik menggunakan teknologi *incinerator* dimana pada penelitian menghitung potensi listrik yang dihasilkan dari sampah jenis organik dalam kurung waktu 1 tahun jika PLTSa beroperasi. Dalam penelitian (HARAHAP, 2018) meneliti tentang pengolahan dua jenis sampah yaitu sampah organik dan anorganik dengan teknologi *incinerator*. Pada penelitian (Sepriona & Nurhalim, 2019) meneliti tentang analisis pembangunan sebuah PLTSa dikota Pekanbaru dan menganalisis kalayakan pembangkit dari aspek ekonomis.

Berdasarkan pada penelitian (Faruq, 2016; HARAHAP, 2018; Sepriona & Nurhalim, 2019) yang mengkaji tentang potensi sampah yang dikelola menjadi energi listrik melalui PLTSa. Dimana peneliti sebelumnya juga melakukan analisa dari aspek ekonomis dalam pembangunan PLTSa. Maka dari permasalahan tersebut penulis akan meneliti potensi sampah organik yang berada di TPA Tanjung Belit sebesar 60% dari keseluruhan sampah organik. Kemudian menghitung nilai kandungan kalor sampah organik serta mengitung potensi listrik yang dihasilkan oleh sampah organik. Dalam pengolahan sampah organik penulis memanfaatkan teknologi *incinerator*. Dimana teknologi *incinerator* merupakan cara pengolahan sampah dengan cara pembakaran menggunakan sedikit bahan bakar pada saat pembakaran awal, yang akan memusnahkan seluruh jenis sampah yang dibakar dalam waktu cepat (Faruq, 2016). Dalam penelitian ini juga penulis menganalisis potensi energi listrik menggunakan Siklus Rankine ideal dengan hukum Termodinamika 1. Dimana perhitungan matematisnya menggunakan bantuan *software Engineering Equation Solver (EES)* sehingga perhitungannya lebih akurat. Melakukan perhitungan secara aspek ekonomis dari pembangunan PLTSa di TPA Tanjung Belit serta kelebihan energi listrik yang dihasilkan oleh PLTSa akan dijual kepada PLN dengan sistem on grid. Kajian aspek ekonomis meliputi *Net Present Value (NPV)* yaitu sebuah selisih antara nilai arus kas masuk sekarang dan yang keluar selama dalam kurun waktu tertentu, kemudian *Internal Rate of Return (IRR)* yaitu metode perhitungan investasi dengan menghitung tingkat bunga yang menyamakan nilai investasi dengan nilai sekarang dari penerimaan-penerimaan kas bersih di waktu mendatang dan *Payback Period (PP)* yaitu sebuah metode untuk menghitung tahun diaman biaya investasi kembali pada saat sistem berjalan.

METODE

Pengumpulan Data Sampah

Data Sampah

Banyak sampah yang berada di Tempat Pembuangan Sampah (TPA) Tanjung Belit sampah yang lebih dominan adalah sampah jenis organik, berikut adalah data sampah di TPA Tanjung Belit.

Tabel 1. Data Sampah Dari Tahun 2017 – 2021 di TPA Tanjung Belit (Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Rokan Hulu, 2022).

Uraian	2017	2018	2019	2020	2021
Total Jumlah Sampah Ditangani (Ton)	66.671	66.671	24.04	23.781	14.134,60
Jumlah volume Produksi Sampah (Ton)	345.388	358.963	123.685,1	127.685,1	127.685

Pada tabel 1. diatas memperlihatkan bahwa data sampah dari tahun 2017 memperlihatkan jumlah sampah yang ditangani hanya 66.671 ton dari total sampah sebesar 345.388 ton. Pada tahun 2018 volume sampah meningkat menjadi 358,971 namun total sampah yang ditangani tetap sama yaitu sebesar 66.671 ton. Pada tahun 2019 volume sampah mengalami penurunan menjadi 123.685,1 ton dan sampah yang dapat ditangani juga menurun menjadi 24.04 ton. Pada tahun 2020 hingga 2021 jumlah volume sampah memiliki angka yang tidak jauh berbeda yaitu 127.685,1 ton dan 127.685 ton namun dalam penanganan sampah mengalami penurunan terus menerus. Pada tahun 2020 sampah yang ditangani hanya 23.781 kemudian pada tahun berikutnya yaitu 2021 mengalami penurunan yang sangat drastis yaitu 14.123,60 ton. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa pengolahan sampah dari tahun 2017 hingga 2021 di TPA Tanjung Belit sangat buruk karena persentasenya tiap tahun mengalami penurunan dari 5 tahun terakhir.

Tabel 2 Persentase Jenis Sampah di TPA Tanjung Belit (Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Rokan Hulu, 2022).

Jenis Sampah	Persentase (%)
Anorganik	40%
Organik	60%

Pada tabel 2. memperlihatkan bahwa untuk jenis sampah organik lebih besar dibandingkan dengan jenis sampah Anorganik yaitu dengan perbandingan 60% : 40% oleh karena itu untuk potensi pengolahan sampah menjadi energi listrik lebih efektif menggunakan jenis sampah organik.

Kandungan Nilai Kalor Sampah Organik

Nilai kalor (*heating value*) merupakan sebuah nilai atau angka yang menampilkan jumlah kandungan energi yang berguna didalam bahan bakar. Nilai kalor ini biasanya berupa kalor yang di lepaskan dalam pembakaran sempurna. Berikut adalah jenis dan nilai kalor sampah yang dapat diolah (Samsinar & Anwar, 2018).

Tabel 3. Nilai kalor pada komposisi sampah organik (Samsinar & Anwar, 2018).

Komposisi Sampah	Nilai Kalor (kJ/kg)
Makanan	5.828,3
Kertas	1.207,9
Sayur-sayuran	5.828
Kayu	5.828

Pada tabel 3. menunjukan kandungan nilai kalor dari beberapa jenis sampah yang ada di TPA Tanjung Belit. Dimana sampah makanan memiliki nilai kalor tertinggi yaitu 5.828,3 kJ/kg. untuk jenis sampah kertas memiliki nilai kalor yang rendah sebesar 1.2007,9 kJ/kg. Kemudian untuk jenis sampah tanaman dan kayu memiliki kandungan kalor yang sama yaitu sebesar 5.828 kJ/kg. dari data diatas juga dapat dilihat bahwa kandungan kalor terbesar terdapat di sampah makanan dan nilai kalor terendah berada pada jenis sampah kertas.

Tabel 4. Komposisi sampah di TPA Tanjung Belit.

Komposisi Sampah	Persentase (%)
Makanan	35
Kertas	15
Sayur-sayuran	35
Kayu	15

Pada tabel 4 memperlihatkan persentase sampah organik yang berada di TPA Tanjung Belit. Dimana untuk sampah makanan dan sampah sayur-sayuran memiliki persentase paling besar yaitu 35%. Untuk sampah kertas dan kayu memiliki persentase yang kecil yaitu 15%. Hal ini disebabkan karena sebgaiian besar sampah organik di sumbang oleh sampah yang berasal dari pasar dan rumah tangga yang terdapat di sekitaran TPA Tanjung Belit.

Beban Listrik

Watt merupakan energi yang dipakai dalam satuan waktu. Menghitung jumlah watt yang dipakai ini diperlukan sebagai acuan untuk membuat PLTSa yang akan di rancang dan energi listriknya digunakan untuk kebutuhan sehari-hari dan fasilitas pendukung lainnya di TPA tanjung Belit. Selain itu juga dapat mengatasi persoalan sampah yang terus menumpuk tanpa diolah menjadi energi ataupun daur ulang.

Tabel 5. Jumlah komponen listrik yang akan digunakan di TPA Tanjung Belit.

No	Nama Barang	Jumlah barang	Daya (Watt)	Jumlah Watt	Durasi Hidup (Jam)	Konsumsi Energi (kWh)
1	Lampu Penerangan di TPA	10	65	650	12	7,8
2	Mesin air	1	600	600	3	1,8
3	Dispenser	1	250	250	8	2
4	Kipas angin	1	103	103	8	0,824
Total						12.424

Tabel 5. Diatas memperlihatkan kosumsi daya pada setiap komponen listrik yang digunakan di TPA Tanjung Belit. Diamana konsumsi daya terbesar terdapat pada lampu penerangan di TPA yaitu 7,8 kW untuk 12 jam durasi hidup. Sedangkan untuk konsumsi daya terendah adalah komponen kipas angin yang hanya 0,824 kW untuk 8 jam durasi hidup. kemudian pada mesin air konsumsi daya sebesar 1,8 kW untuk 3 jam durasi hidup. Sedangkan pada dispenser kosumsi daya sebesar 2 kW untuk 8 jam durasi hidup, maka total energi listrik yang digunakan dalam 1 hari adalah 58,504 kWh. Data ini digunakan sebagai acuan dimana keluaran daya dari PLTSa minimal harus dapat mencukupi daya yang dibutuhkan dalam kebutuhan daya listrik yang berada di TPA Tanjung Belit.

Perhitungan Aspek Teknis

Menghitung Nilai Kalor dan Daya Bahan Bakar Sampah Organik

Teknologi incinerator merupakan cara pengolahan sampah dengan cara pembakaran secara langsung dimana sampah organik dikeringkan terlebih dahulu agar sampah organik dapat terbakar dengan sempurna. Pada tabel 3. menjelaskan setiap komposisi sampah memiliki nilai kalor yang berbeda-beda tergantung dari

komposisi sampah tersebut. Dimana pada jenis sampah makanan dan sayur-sayuran memiliki persentase yang sama yaitu sebesar 35%. Sedangkan untuk jenis sampah kertas dan kayu memiliki persentase yang sama pula yaitu sebesar 15%. Maka untuk melakukan perhitungan matematis dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (WIBOWO, 2017):

$$HHV = HHV^* \times P \quad (1)$$

Dimana :

HHV = Nilai kalor komponen sampah (kJ/kg)

P = Persentase komponen sampah (% berat)

HHV* = Data nilai kalor tiap komponen sampah (kJ/kg)

Sedangkan untuk menghitung total kandungan nilai kalor bawah atau *lowest heating value* (LHV) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Widiyanto, 2017):

$$LHV = HHV - 3.240 \text{ kJ/kg} \quad (2)$$

Dimana :

LHV = Nilai kalor bawah (kJ/kg)

HHV = Nilai kalor atas (kJ/kg)

Kemudian untuk menghitung total daya kalor yang berasal dari sampah organik dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Total daya kalor sampah organik} = \text{Total sampah organik} \times \text{Total kandungan nilai kalor} \quad (3)$$

Dimana :

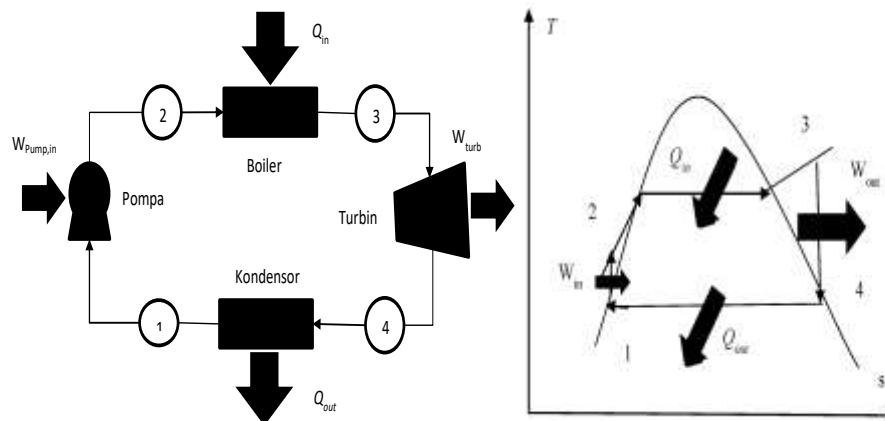
Total daya kalor sampah organik (kW)

Jumlah sampah organik (kg/detik)

Total kandungan nilai kalor (kJ/kg)

Menghitung Energi Listrik

Dalam menghitung potensi listrik yang dihasilkan oleh sampah organik menggunakan metode pembakaran secara langsung dengan prinsip hukum Termodinamika I Siklus *Rankine* ideal.



Gambar 1 Siklus Rankine Ideal dan Diagram Siklus Rankine

Dimana siklus rangkine memiliki 4 proses yaitu (Fata & Fajriani, 2019; Permana & Mahardika, 2019):

a) Proses 1-2 (pompa)

Dimana air dipompa dari tekanan rendah ke tinggi namun fluida kerja masih berbentuk cair sehingga tidak memerlukan input tenaga. Dalam proses ini menggunakan Hukum Termodinamika 1:

$$\dot{W}_{pompa} + \dot{m}(h_1 - h_2) = 0 \quad (4)$$

b) Proses 2-3 (Boiler)

Dalam proses ini Air bertekanan tinggi dimasukkan kedalam boiler untuk mengalami proses berikutnya, yaitu dipanaskan secara isobarik (tekanan konstan). Dalam proses ini juga menggunakan Hukum Termodinamika 1:

$$\dot{Q}_{boiler} + \dot{m}(h_2 - h_3) = 0 \quad (5)$$

c) Proses 3-4 (Turbin)

Dalam proses ini terjadi pada turbin uap. Uap air kering yang berasal dari boiler masuk ke turbin dan lalu mengalami sebuah proses ekspansi secara isentropik. Energi yang tersimpan di dalam uap air dikonversi menjadi energi gerak pada turbin. Dalam proses ini juga menggunakan Hukum Termodinamika 1:

$$\dot{W}_{Turbin} + \dot{m}(h_3 - h_4) = 0 \quad (6)$$

d) Proses 4-1(Kondensor)

Dalam proses ini Uap air yang akan keluar dari turbin uap masuk ke kondensor dan kemudian mengalami proses kondensasi secara isobarik. Uap air dikonversi fasenya menjadi cair kembali sehingga dapat digunakan kembali pada proses siklus rangkine ideal. Dalam proses ini juga menggunakan Hukum Termodinamika 1:

$$\dot{Q}_{Kondensor} + \dot{m}(h_4 - h_1) = 0 \quad (7)$$

Dimana :

\dot{W}_{pompa} = Daya pompa (Watt)

\dot{W}_{turbin} = Daya turbin (Watt)

$\dot{Q}_{Kondensor}$ = Laju aliran kondensor (Watt)

\dot{Q}_{boiler} = Laju boiler (Watt)

Sedangkan untuk mencari nilai daya bersih dan efisiensi dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\dot{W}_{net} = \dot{W}_{turbin} - \dot{W}_{pompa} \quad (8)$$

Dimana :

\dot{W}_{net} = Daya bersih (kW)

\dot{W}_{turbin} = Daya turbin (kW)

\dot{W}_{pompa} = Daya pompa (kW)

$$\pi_{th} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{boiler}} \quad (9)$$

Dimana :

π_{th} = Efisiensi (%)

\dot{W}_{net} = Daya bersih (kW)

\dot{Q}_{boiler} = Kalor boiler (Watt)

Menghitung Aspek Ekonomis

Dimana dalam perhitungan aspek ekonomis ini bertujuan untuk melihat pembangunan PLTSA PLTSA ini dari segi ekonomis. Maka perhitungan ekonomis ini diperlukan adapun persamaan untuk menghitung pembangunan PLTSA dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (J. Widodo,2022) :

$$\text{Pendapatan} = \text{Daya Keluaran PLTSA (kWh)} \times \text{Rp } 1.671,42 \quad (10)$$

Dan selain pendapatan yang diterima perlu juga perhitungan investasi awal yang diperlukan untuk pembangunan suatu PLTSA. Khususnya PLTSA yang akan dibangun di TPA yang berada di TPA Tanjung Belit (Sidiq, 2018).

Net Present Value (NPV)

NPV merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menghitung nilai bersih pada waktu saat ini metode perhitungan ini terdiri dari *cash flow benefit* (CFB) dan *cash flow cost* (CFC). Untuk menentukan NPV dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (M. Giatman, 2006):

$$NPV = \sum CFB - CFC \quad (11)$$

Jika :

NPV > 0, berarti usaha layak untuk dilaksanakan

NPV < 0, berarti usaha tidak layak untuk dilaksanakan

NPV = 0, berarti usaha yang dijalankan tidak untung dan tidak rugi

A. Cash Flow Benefit (CFB)

CFB merupakan sebuah aliran uang masuk di setiap tahun selama sistem berjalan. Aliran uang masuk dihitung berdasarkan nilai suku bunga pada tahun tersebut. Menghitung nilai CFB dapat menggunakan persamaan berikut (Giatman,2006):

$$CFB = \sum_{t=0}^n \text{Cost}(1 + i) \quad (12)$$

B. Cash Flow Cost (CFC)

CFC merupakan sebuah aliran uang keluar di setiap tahun selama sistem bekerja. Uang ini terdiri dari total investasi sistem selama n tahun. Jika selama waktu yang ditentukan terdapat pembayaran berulang dengan nilai yang sama, maka perhitungan CFC menggunakan faktor bobot sekarang (PWF). Menghitung nilai CFC dapat menggunakan persamaan berikut (M. Giatman, 2006):

$$CFC = \sum_{t=0}^n \text{investasi} - PWF \quad (13)$$

$$PWF = \left(\frac{1+a}{1+i} \right)^n \quad (14)$$

Payback Period (PP)

Payback Period merupakan lama waktu yang dibutuhkan untuk pengembalian modal atau investasi awal saat proyek dibangun. *Payback Period* dapat dicari dengan menghitung nilai pemasukan selama proyek bekerja dan

dengan menghitung nilai bersih sekarang. Dalam *payback period* ini rencana investasi dikatakan layak (feasible) jika $k \leq n$ dan sebaliknya, (dimana k adalah jumlah periode pengembalian, dan n adalah umur investasi). *Payback Period* dapat dihitung dengan persamaan berikut (M. Giatman, 2006):

$$PP = \text{Year before recovery} + \frac{\text{investment cost}}{\text{NPV kumulatif}} \quad (15)$$

Dimana :

Year before recovery = Jumlah tahun sebelum tahun pengembalian final (tahun)

Investment cost = Biaya investasi awal (Rp)

NPV Kumulatif = Jumlah kas bersih nilai sekarang per tahun (Rp)

Internal Rate of Return (IRR)

Internal Rate of Return (IRR) merupakan metode perhitungan investasi dengan menghitung tingkat bunga yang menyamakan nilai sekarang investasi dengan nilai sekarang dari penerimaan-penerimaan kas bersih di waktu mendatang. Menghitung IRR dapat menggunakan persamaan berikut (M. Giatman, 2006):

$$IRR (\%) = i_1 + \left\{ \left(\frac{NPV_1}{NPV_2 - NPV_1} \right) \times (i_2 - i_1) \right\} \quad (16)$$

Dimana :

IRR = *Internal Rate of Return* (%)

NPV₁ = *Net Present Value* dengan tingkat bunga rendah (Rp)

NPV₂ = *Net Present Value* dengan tingkat bunga tinggi (Rp)

i₁ = Tingkat bunga pertama (%)

i₂ = Tingkat bunga kedua (%)

Jika :

IRR lebih besar dari pada suku bunga Bank maka proyek layak dilaksanakan.

IRR lebih kecil dari pada suku bunga Bank maka proyek tidak layak untuk dilaksanakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan tabel Berdasarkan data pada tabel 1 , jumlah sampah yang dihasilkan di TPA Tanjung Belit pada tahun 2021 sebesar 14.134,60 ton/tahun dimana persentase untuk sampah organik adalah sebesar 60%. Sehingga untuk melihat jumlah sampah organik saja dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Sampah Organik} &= \text{Total Sampah Keseluruhan} \times \text{Persentase sampah} \\ &= 14.134,60 \times 60\% \\ &= 8.480,76 \text{ ton/tahun} \\ &= 23.170 \text{ kg/hari} \\ &= 0,26 \text{ kg/detik} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas menunjukkan bahwa total sampah organik yang berada di TPA Tanjung Belit sebesar 8.480,76 ton/tahun dari total sampah keseluruhan pada tahun 2021.

Nilai Kalor dan Daya Bahan Bakar Sampah Organik

Dalam penelitian ini proses perubahan sampah menjadi energi listrik menggunakan teknologi pembakaran secara langsung atau *incinerator* sehingga memerlukan perhitungan nilai kandungan kalor dari jenis sampah organik

,Berdasarkan pada data pada tabel 3 dan 4 serta menggunakan persamaan berikut dapat dihitung kandungan nilai kalor sampah organik di TPA Tanjung Belit adalah sebagai berikut:

$$HHV_{(\text{Makanan})} = 5.828,3 \text{ kJ/kg} \times \left(\frac{35}{100}\right) = 2.039,9 \text{ kJ/kg}$$

$$HHV_{(\text{Kertas})} = 1.207,9 \text{ kJ/kg} \times \left(\frac{15}{100}\right) = 181,1 \text{ kJ/kg}$$

$$HHV_{(\text{Sayur-sayuran})} = 5.828 \text{ kJ/kg} \times \left(\frac{35}{100}\right) = 2.039,1 \text{ kJ/kg}$$

$$HHV_{(\text{Kayu})} = 5.828 \text{ kJ/kg} \times \left(\frac{15}{100}\right) = 874,2 \text{ kJ/kg}$$

Maka jumlah keseluruhan kandungan kalor sampah HHV organik di TPA Tanjung Belit adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} & HHV_{(\text{Makanan})} + HHV_{(\text{Kertas})} + HHV_{(\text{Sayur-sayuran})} + HHV_{(\text{Kayu})} = \\ & = 2.039,9 + 181,1 + 2.039,1 + 874,2 \\ & = 5.134,3 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Sehingga dapat menghitung jumlah kandungan kalor LHV sebagai berikut :

$$LHV = 5.134,3 \text{ kJ/kg} - 3.240 \text{ kJ/kg} = 1.894,3 \text{ kJ/kg}$$

Dari hasil perhitungan kandungan kalor LHV yang dihasilkan oleh sampah organik adalah sebesar 1.894,3 kJ/kg. Maka dapat dihitung jumlah keseluruhan kandungan bahan bakar sampah organik di TPA Tanjung Belit adalah:

$$\text{Total daya kalor bahan bakar sampah organik} = 0,26 \text{ kg/detik} \times 1.894,3 \text{ kJ/kg} = 492,51 \text{ kW}$$

Dari hasil perhitungan diatas maka didapat total daya bahan bakar sampah organik yang dihasilkan di TPA Tanjung Belit adalah sebesar 492,51 kW dari jumlah sampah 0,26 kg/detik.

Menghitung Potensi Listrik

Menghitung Daya Keluaran PLTSA

A. Pemilihan Spesifikasi Komponen PLTSA

Tabel 6. Spesifikasi Komponen PLTSA

	Pompa	Boiler	Turbin Uap	Kondensor
Jenis	Sentrifugal Bertingkat	CFB	B1.5- 3.43/0.685	Surface Condensor
Tekanan Masuk	190 kPa	10 MPa	10 MPa	190 kPa

Dimana spesifikasi komponen Siklus *Rankine* dalam perancangan PLTSA di TPA Tanjung Belit dapat dilihat pada Tabel 6. Dari tabel tersebut berisi informasi mengenai jenis komponen yang digunakan dan tekanan masuk fluida pada setiap komponen.

B. Perhitungan Dengan *software Engineering Equation Solver* (EES)

Dimana perhitungan matematis siklus rankine menggunakan bantuan *software Engineering Equation Solver* (EES). Perhitungan PLTSA menggunakan siklus rankine yang terdiri dari 4 proses yaitu proses pada sistem pompa, proses

pada boiler, proses pada turbin dan proses pada kondensor. Propertis Termodinamika per masing-masing proses pada sistem pembangkit dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 7. Tabel propertis PLTSa

NO	Keadaan Siklus Rankine Ideal	Data Propertis Fluida
1	Keadaan 1 (Pump)	$P = 190 \text{ kPa}, x = 0$
2	Keadaan 2 (Boiler)	$P = 10 \text{ MPa}, \dot{Q} = 492,51 \text{ kW}$
3	Keadaan 3 (Turbin)	$P = 10 \text{ MPa}$
4	Keadaan 4 (Kondensor)	$P = 190 \text{ kPa}$

Berdasarkan Spesifikasi turbin dan pompa yang dipilih, maka propertis Termodinamika untuk setiap keadaan pada siklus, keadaan 1 pompa memiliki tekanan pompa sebesar 190 kPa dan kualitas uap ini menunjukkan fasa dari fluida kerjanya yaitu dalam keadaan cair jenuh. keadaan 2, pada sistem boiler ini memiliki tekanan sebesar 10 MPa pada boiler dan daya bahan bakar sampah organik yang masuk ke sistem turbin sebanyak 492,51 kW. Keadaan 3, sistem turbin memiliki tekanan sebesar 10 MPa dikarenakan isobarik dan keadaan 4 sistem kondensor memiliki tekanan sebesar 190 kPa.

C. Daya bersih dan Efisiensi Listrik PLTSa

Daya bersih merupakan daya keluaran dari sebuah PLTSa, dimana hasil dari daya bersih yang dihasilkan oleh PLTSa dan efisiensi dari sebuah PLTSa dapat dilihat pada tabel 7. Untuk perhitungan matematisnya dibantu dengan bantuan software *Engineering Equation Solver (EES)*.

Tabel 8. Daya dan Efisiensi PLTSa

Pompa (kW)	Boiler (kW)	Turbin (kW)	Kondensor (kW)	Daya Bersih (kW)	Efisiensi (%)
10,37	492,5	71,56	431,3	81,92	16,63

Pada tabel 8. diatas adalah hasil perhitungan yang didapat menggunakan software *Engineering Equation Solver (EES)*. Pompa menghasilkan energi listrik sebesar 10,37 kW, Boiler menghasilkan energi listrik sebesar 492,5 kW, Turbin menghasilkan energi listrik sebesar 71,56 kW kondensor menghasilkan energi listrik sebesar 431,3 kW, Daya Bersih sebesar 81,92 kW, dana efisiensinya sebesar 0,1663 atau sebesar 16,63%.

D. Energi Listrik

Perhitungan energi listrik:

$$\begin{aligned} \text{Energi listrik PLTU} &= \text{daya bersih PLTU} \times \text{durasi operasi PLTU} \\ &= 81.92 \text{ kW} \times 24 \text{ jam} = 1.966,08 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Maka hasil energi listrik PLTSa yang dihasilkan adalah sebesar 1.966,08 kWh, maka dapat kita lihat apakah PLTSa mampu mencukupi beban listrik yang ada di TPA Tanjung Belit. Maka dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 9. Energi Listrik dan Beban Listrik

Daya Bersih (kW)	Energi Listrik (kWh)	Efisiensi	Beban Listrik (kWh)
81,92	1.966,08	16,63%	12,424

Dapat dilihat pada tabel 8. bahwa energi listrik yang dihasilkan oleh PLTU adalah sebesar 1.966,08 kWh dan beban listrik yang ada di TPA Tanjung Belit hanya sebesar 12,424 kWh. Maka dapat disimpulkan bahwa PLTSa yang dirancang di TPA Tanjung Belit lebih dari cukup memenuhi kebutuhan energi listrik dalam pengoperasian sehari-hari. Pada data diatas energi listrik yang dihasilkan dengan beban listrik memiliki kelebihan energi listrik sebesar 1.953,656 kWh dimana energi berlebih ini akan dijual kepada pihak PLN.

Aspek Ekonomis

Dalam perhitungan ekonomis ini dihitung dengan pendapatan yang dihasilkan oleh hasil dari penjualan dengan energi listrik PLTSa TPA Tanjung Belit tahun 2022 dengan pihak PLN dengan estimasi harga beli listrik PLN tipe *incenerator* adalah Rp 1.671,42 per kWh untuk 10 tahun pertama dan tahun ke 11 hingga tahun ke 30 sebesar Rp 1.421,4 per kWh (Widodo, 2022). Maka penerimann pendapatan TPA Tanjung Belit dari hasil penjualan adalah sebagai berikut :

Energi Listrik Berlebih = Energi Listrik – Beban Listrik

$$= 1.966,08 \text{ kWh} - 12,424 \text{ kWh} = 1.953,656 \text{ kWh}$$

Maka energi listrik yang berlebih sebesar 1.953,656 kWh sehingga pendapatan dari hasil penjualan dapat dihitung sebagai berikut (Widodo, 2022):

Pendapan 10 tahun pertama :

Pendapatan = 1.953,656 kWh × Rp 1.671,42

= Rp 3.265.379,71 dalam sehari

= Rp 3.265.379,71 × 365 = Rp 1.191.863.594,15/tahun

= Rp 1.191.863.594,15 × 10 tahun = Rp 11.918.635,941,5/10 tahun

Pendapatan pada tahun ke-11 hingga tahun ke-20:

Pendapatan = 1.953,656 kWh × Rp 1.421,4

= Rp 2.776.926,63 dalam sehari atau dalam pertahun

= Rp 2.776.926,63 × 365 = Rp 1.013.578.219,95/tahun

= Rp 1.013.578.219,95 × 10 tahun = Rp 10.135.782.199,5/10 tahun

Pendapatan selama 20 tahun :

= Rp 11.918.635.941,5/10 tahun + Rp 10.135.782.199,5/10 tahun

= Rp 22.054.418.141

Maka pendapatan sehari dalam penjualan yang dihasilkan oleh PLTSa Tanjung Belit sebesar Rp 3.265.379,71 dalam sehari atau pendapatan dalam setahun sebesar Rp 1.191.863.594,15/tahun jika dikalkulasikan untuk 10 tahun pertama maka pendapatan sebesar Rp 11.918.635,941,5. Kemudian pendapatan perhari pada tahun ke 11 hingga tahun ke 20 adalah sebesar Rp 2.776.926,63 atau dalam 1 tahun sebesar Rp 1.013.578.219,95/tahun maka jika dikalkulasikan selama 10 tahun sebesar Rp 10.135.782.199,5. Pendapatan PLTSa TPA Tanjung Belit selama 20 tahun beroperasi adalah sebesar Rp 22.054.418.141. Dalam pembangunan PLTSa

di Tanjung Belit ini juga dapat menghemat anggaran dalam pengoperasian yaitu biaya pembelian bahan bakar solar dimana bahan bakar ini untuk mengoperasikan genset dalam keperluan operasional di TPA Tanjung Belit. Anggaran yang dihabiskan untuk operasionalnya genset dalam 1 hari adalah Rp 210.800 atau dalam 1 tahun sebesar Rp 76.942.000 . Jika dikalkulasikan dalam 20 tahun maka anggaran yang dihemat sebesar Rp 1.538.840.000.

Total Biaya Investasi

Total awal investasi ini merupakan total biaya awal yang dikeluarkan saat memabangun PLTSa di TPA Tanjung Belit. Adapun Rinciannya sebagai berikut :

Tabel 10. Perkiraan Investasi (Novendra, 2020)

No	Jenis	Harga (Rp)
1	Incenerator	Rp 1.740.395.808
2	Pompa	Rp 14.999.500
3	Boiler	Rp 1.366.888.291
4	Turbin Uap	Rp 1.888.093.440
5	Generator	Rp 761.328.000
6	Kondensor	Rp 144.840.000
	Total Biaya	5.786.189.039

Biaya O&M tetap incenarator (Musyafiq & Cahyo, 2018):

$$\begin{aligned} \text{Biaya O\&M tetap incenarator} &= 4\% \times \text{Total komponen PLTSa} \\ &= 4\% \times 5.786.189.039 \\ &= 231.447.561 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya O\&M terkait incinerator} &= 4 \text{ USD} \times \text{kapasitas Pembangkit} \\ &= 4 \text{ USD} \times 1.966,08 \text{ kWh} \\ &= 7.864,32 \text{ USD} \times \text{Rp } 15.582,50 \\ &= \text{Rp } 122.541.834,24 \end{aligned}$$

Dimana kurs 1 USD adalah Rp 15.582,50. Dimana biaya operasional dalam 1 tahun dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Biaya Operasional dan Perawatan

No	Jenis	Biaya per tahun (Rp)
1	Biaya O&M tetap incenerator	231.447.561
2	Biaya O&M terkait incenerator	122.541.834,24
	Total Biaya	353.989.395,24

Setelah mendapat biaya operasional dan perawatan dalam 1 tahun maka dapat dihitung biaya total operasional dan perawatan selama umur proyek yaitu adalah 20 tahun.

Tabel 12. Total Biaya O&M Komponen Selama Umur Proyek

Tahun	O&M	Biaya per tahun (Rp)
1	Biaya O&M incinerator dan komponen lain	353.989.395,24

2	Biaya O&M incinerator dan komponen lain	353.989.395,24
:		
20	Biaya O&M incinerator dan komponen lain	353.989.395,24
	Total Biaya	7.079.787.904,8

Pada tabel 12 menjelaskan bahwa total biaya O&M Komponen pada setiap tahunnya memiliki biaya tetap yaitu sebesar Rp 353.989.395.24 pertahunnya sehingga total biaya O&M selama 20 tahun adalah sebesar Rp 7.079.787.904,8. Sehingga dapat dihitung biaya investasi total awal dalam pembangunan PLTSa di TPA Tanjung Belit adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya Investasi Total} &= \text{Rp } 5.786.189.039 + \text{Rp } 7.079.787.904,8 \\ &= \text{Rp } 12.865.976.943,8 \end{aligned}$$

Biaya investasi total selama umur proyek yaitu 20 tahun adalah Rp 12.865.976.943,8

Analisis Perhitungan Kelayakan Ekonomis

Dimana dalam menganalisa sebuah pembangunan sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) di Tanjung Belit ditinjau oleh beberapa parameter seperti umur proyek, nilai dari NPV (*Net Present Value*), waktu PP (*Payback Period*), Nilai dari IRR (*Internal Rate Return*), suku bunga dan inflasi. Dimana nilai tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 13. Hasil Perhitungan Kelayakan Ekonomis

No	Deskripsi	Hasil Perhitungan
1	Umur Proyek	20 Tahun
2	Suku Bunga Bank dan Inflasi	6,42%, dan 3,5%
3	NPV (<i>Net Present Value</i>)	Rp. 32.949.577.331,33
4	PP (<i>Payback Period</i>)	2.63 Tahun
5	IRR (<i>Internal Rate Return</i>)	20,81%

Berdasarkan pada tabel 13 dari hasil perhitungan ekonomis didapat nilai NPV (*Net Present Value*) dengan hasil perhitungann sebesar Rp 32.949.577.331,33, sedangkan PP (*Payback Period*) pembangunan PLTSa di TPA Tanjung Belit adalah 2,63 Tahun, dan IRR (*Internal Rate Return*) adalah 20,81%. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa pembangunan PLTSa Tanjung Belit layak dilaksanakan karena nilai NPV > 0.

KESIMPULAN

Kabupaten Rokan Hulu dengan luas wilayah keseluruhannya adalah 7.588 km². memiliki TPA bernama TPA Tanjung Belit seluas 5.5 Ha menghasilkan jumlah sampah organik sebesar 60% atau jumlah sampah organik yang dihasilkan sebesar 0.57 kg/detik dengan total energi kalor sampah organik sebesar 492,51kW. Dari pemanfaatan sampah organik ini menjadi energi listrik menggunakan teknologi *incinerator* mampu menghasilkan energi listrik sebesar 1.966,08 kWh.

Listrik yang dihasilkan oleh PLTSa dengan listrik ini sudah mampu mencukupi kebutuhan operasional sehari-hari di TPA Tanjung Belit yang hanya 12,424 kWh. Energi listrik yang berlebih akan dijual kepada pihak PLN dimana dalam perhitungan ekonomis dari PLTSa memiliki pendapatan selama umur proyek yang diasumsikan 20 tahun adalah sebesar Rp 22.054.418.141 dan investasi total sebesar Rp 12.865.976.943,8. Kemudian melukan analisa ekonomis dari beberapa parameter yaitu NPV (*Net Present Value*) dengan hasil perhitungann sebesar Rp 32.949.577.331,33, sedangkan PP (*Payback Period*) PLTSa di TPA Tanjung Belit adalah 2,63 Tahun, dan IRR (*Internal Rate Return*) adalah 20,81%. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa pembangunan PLTSa Tanjung Belit layak dilaksanakan karena nilai NPV > 0.

SARAN

Perlu dilakukan kajian atau penelitian tentang pemanfaatn dan potensi listrik sampah jenis anargonik yang berada di TPA Tanjung Belit sehingga sampah anorganik yang tidak dapat di daur ulang dapat dijadikan bahan baku dalam PLTSa.

DAFTAR RUJUKAN

- Badan Pusat Statistik. (2021). *Luas Wilayah (km²), 2018-2020*. BPS - Statistics Indonesia. <https://rohulkab.bps.go.id/indicator/153/51/1/luas-wilayah.html>
- Badan Pusat Statistik. (2022). *Jumlah Penduduk Pertengahan Tahun (Ribu Jiwa), 2020-2022*. BPS - Statistics Indonesia. <https://www.bps.go.id/indicator/12/1975/1/jumlah-penduduk-pertengahan-tahun.html>
- Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Rokan Hulu. (2022). *Pemerintah Kabupaten Rokan Hulu Dinas Lingkungan Hidup*. PEMERINTAH KABUPATEN ROKAN HULU. <https://dlh.rokanhulukab.go.id/>
- Faruq, U. I. (2016). STUDI POTENSI LIMBAH KOTA SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH (PLTSa) KOTA SINGKAWANG. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS TANJUNGPURA*, 2(1), 7. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/17223/14698>
- Fata, A. S., & Fajriani. (2019). Analisis siklus uap pltu pangkalan susu pt indonesia power. *Jurnal Hadron*, 1(01), 9–11.
- HARAHAP, A. H. (2018). *STUDI KELAYAKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH DI KOTA PEKANBARU* [Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau]. <http://repository.uin-suska.ac.id/14874/>
- Kabupaten Rokan Hulu. (2022). *Kabupaten Rokan Hulu*. <https://rohilkab.go.id/>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2022a). *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN)*. Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2022b). *TIMBULAN SAMPAH*. Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/timbulan>
- M. Giatman. (2006). *Ekonomi Teknik* (S. . D. Ir. Drs. H. Arson Aliludin (ed.)). PT RajaGrafindo Persada. <http://repository.unp.ac.id/15871/1/Ekonomi-Teknik-Giatman-r.pdf>

- Musyafiq, A. A., & Cahyo, B. N. (2018). Pemilihan Teknologi Waste To Energy Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (Studi Kasus: Tpa Mojorejo Kabupaten Sukoharjo Jawa Tengah). *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 125–128. https://publikasiilmiah.unwahas.ac.id/index.php/PROSIDING_SNST_FT/article/view/2353
- Novendra, R. (2020). *Analisis Teknis Dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (Pltsa) (Studi Kasus :TPA Muara Fajar Pekanbaru)* [Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau]. <http://repository.uin-suska.ac.id/46565/>
- Permana, D. I., & Mahardika, M. A. (2019). Pemanfaatan Panas Buang Flue Gas Pltu Dengan Aplikasi Siklus Rankine Organik. *Barometer*, 4(2), 197–202. <https://doi.org/10.35261/barometer.v4i2.1851>
- Samsinar, R., & Anwar, K. (2018). Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kapasitas 115 Kw (Studi Kasus Kota Tegal). *Jurnal Elektrum*, 15(2), 33–40.
- Sepriona, T., & Nurhalim. (2019). ANALISIS PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH (PLTSa) KOTA PEKANBARU DITINJAU DARI ASPEK EKONOMI TEKNIK. *Jom FTEKNIK*, 5, 1–6.
- Sidiq, M. (2018). *Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Menggunakan Ampas Tebu dari PT. Madu Baru Yogyakarta* (Vol. 5, Issue 3) [Universitas Teknologi Yogyakarta]. <http://eprints.uty.ac.id/2372/>
- Sukiman, H., & Gunawan, H. I. (2022). Laporan Penyelenggaraan Pemerintahan Daerah Kabupaten Rokan Hulu Tahun Anggaran 2021. In *PEMERINTAH KABUPATEN ROKAN HULU*. https://rokanhulukab.go.id/rohul-content/uploads/buku_lppd_kab_rokan_hul_ta_2021.pdf
- Unwaru Kevin Cahya Andilla, Sudarti, & Yushard. (2022). Analisis Pemanfaatan Sampah Organik Dan Anorganik Terhadap Teknologi PLTSa Di Beberapa Kota Besar Di Indonesia. *JUSTEK : JURNAL SAINS DAN TEKNOLOGI*, 5(2), 255–263. <https://doi.org/https://doi.org/10.31764/justek.vXiY.ZZZ>
- WIBOWO, A. B. (2017). *KAJIAN AWAL PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH DI KOTA BANDUNG* [Institut Teknologi Bandung]. <https://digilib.itb.ac.id/index.php/gdl/view/14012>
- Widiyanto, S. (2017). Analisis Nilai Kalor Pengujian Bahan Bakar Biomassa Terhadap Korelasi HHV(High Heating Value). *Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta*. <https://core.ac.uk/download/pdf/148617279.pdf>
- Widodo, J. (2022). Peraturan Presiden (PERPRES) tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik. In *The Government of Indonesia*. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/225308/perpres-no-112-tahun-2022#:~:text=Perpres ini mengatur mengenai pengaturan,dituangkan dalam dokumen perencanaan sektoral.>