

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Oleh:

AKMAL SYAMSUDDIN

11455104832

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU**

2020

Hak Cipta UINnaungi Ungaang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISIS SISTEM KONVERSI ENERGI BIOMASSA SABUT KELAPA
MENGUNAKAN SIKLUS RANKINE
(Studi Kasus: Desa Sungai Undan INHIL)

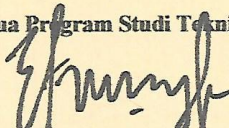
TUGAS AKHIR

oleh:

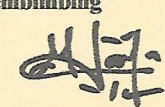
AKMAL SYAMSUDDIN
11455104832

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir program studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 11 Juni 2020

Ketua Program Studi Teknik Elektro


Ewi Ismaredah, S.Kom, M.Kom
NIP. 197509222009122002

Pembimbing


Marhama Jelita, S.Pd, M.Sc
NIK. 130517054

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS SISTEM KONVERSI ENERGI BIOMASSA SABUT KELAPA
MENGUNAKAN SIKLUS RANKINE
(Studi Kasus: Desa Sungai Undan INHIL)**

TUGAS AKHIR

oleh:

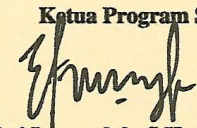
AKMAL SYAMSUDDIN
11455104832

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
di Pekanbaru, pada tanggal 11 Juni 2020

Pekanbaru, 11 Juni 2020

Mengesahkan,

 **Dekan**
Dr. Ahmad Darmawi, M.Ag
NIP. 19660604 199203 1 004

Ketua Program Studi

Ewi Ismaredah, S.Kom, M.Kom
NIP. 19750922 200912 2 002

DEWAN PENGUJI :

Ketua : Dr. Harris Simarmare, ST, MT

Sekretaris : Marhama Jelita, S.Pd, M.Sc

Anggota I : Dr. Liliana, ST, M.Eng

Anggota II : Susi Afriani, ST, MT

LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau adalah terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebenarnya.

Pekanbaru, 11 Juni 2020

Yang membuat pernyataan,

AKMAL SYAMSUDDIN
NIM. 11455104832

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERSEMBAHAN

Sebuah usaha dengan pemikiran dan keringat telah ku lalui dengan tantangan dan rintangan berat sehingga saatnya sekarang usaha itu membuahkan hasil berupa karya tulis yang menghantarkanku menjadi seorang sarjana. Semua ini hamba persembahkan kepada Allah yang telah menurunkan tanda-tanda qauliyah-Nya dari Al-Quran:

“Maka apakah mereka tidak memperhatikan Al-Quran? Kalau kiranya al-Quran itu bukan dari sisi Allah, tentunya mereka mendapat pertentangan yang banyak di dalamnya”
(QS. Annisa’: 82)

Semoga Engkau senantiasa meneguhkan imanku, meluruskan niatku, menundukan kapalku dan meluruskan ucapanku, yang berasal dari Rasulullah utusan-Mu yang bersumber dari firmanMu dan hanya kepada Engkau Maha Penguasa Semesta kami kembali.

“dan tiadalah yang diucapkannya itu (Al-Quran) menurut hawa nafsunya”
(QS. An-Nuur: 56)

Nabi Muhammad SAW, teladan dari segala keteladan. Izinkan hamba-Mu untuk menjadi pengikut setia, yang senantiasa menyerukan nama-Mu dan ayat-Mu, yang senantiasa menelaah perilaku utusan-Mu, sehingga hamba-Mu bisa menyampaikan kebenaran agama yang dibawa utusan-Mu

“Katakanlah yang benar walaupun pahit rasanya”
(HR. Bukhari dan Muslim)

Orang tua ku yang senantiasa memberi dukungan, orang tua yang senantiasa mempersiapkan segala kebutuhan saat proses penyelesaian tugas akhir dan terimakasih untuk semuanya, kelak aku akan membalas semuanya semampu ku dan pahala semoga selalu disisiMu ya Rabbi.

ANALISIS SISTEM KONVERSI ENERGI BIOMASSA SABUT KELAPA MENGUNAKAN SIKLUS RANKINE (Studi kasus: Desa Sungai Undan INHIL)

AKMAL SYAMSUDDIN
(NIM: 11455104832)

Tanggal Sidang: 11 Juni 2020

Tanggal Wisuda:

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara agraris, sebagai negara agraris ketersediaan biomassa sebagai sumber energi terbarukan sangat melimpah di Indonesia. Salah satu ketersediaan biomassa tersebut terdapat pada perkebunan kelapa yang terletak di Kabupaten Indragiri Hilir. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis sistem konversi energi biomassa sabut kelapa dengan siklus rankine menjadi energi listrik. Konversi energi dengan siklus rankine pada penelitian ini menggunakan metode konservasi energi dan konservasi massa sistem *control volume* (CV) pada keadaan *steady state* yang disimulasikan menggunakan *software cycle tempo*. Hasil analisis diperoleh untuk potensi residu sabut kelapa 3,15 ton sabut kelapa per hari dengan energi termal sebesar 52.731,26 kJ/hari, kapasitas uap yang dapat dibangkitkan dari potensi energi biomassa adalah 15.255 kg uap/hari. Entalpi uap pada sistem boiler sebesar 3226,3 kJ/kg, kerja yang dihasilkan pada sistem turbin sebesar 1.848,3 kW, besar entalpi air yang keluar dari pompa pada tekanan 32 bar dan temperatur 110°C adalah sebesar 461 kJ/kg. Daya listrik yang dibangkitkan oleh generator sebesar 1.663,47 kWh dengan konsumsi uap untuk menghasilkan 1 kWh adalah 9,2 kg uap/kWh sehingga mampu memenuhi beban listrik di Desa Sungai Undan sebesar 959,27 kWh/hari.

Kata kunci: CV, *Cycle Tempo*, Energi, Sabut Kelapa, Sistem

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

ANALYSIS OF COCONUT FIBER BIOMASS CONVERSION SYSTEM USING RANKINE CYCLE

(Case Study: Desa Sungai Undan INHIL)

AKMAL SYAMSUDDIN

(NIM: 11455104832)

Date of Session: 11 June 2020

Date of Graduation:

Department of Electrical Engineering

Faculty of Science and Technology

Sultan Syarif Kasim Riau State Islamic University, Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRACT

Indonesia is an agrarian country, as an agrarian country, the availability of biomass as a renewable energy source is very abundant in Indonesia. One of the availability of biomass is found in coconut plantations located in Indragiri Hilir Regency. The purpose of this study is to analyze the conversion system of coconut coir biomass energy with rankine cycle to electrical energy. Energy conversion by rankine cycle in this study uses the energy conservation method and the mass conservation volume control system (CV) in a steady state state that is simulated using cycle tempo software. The analysis results obtained for the potential of coconut coir residue 3.15 tons of coconut coir per day with thermal energy of 52,731,201.6 kJ / day, the capacity of steam that can be generated from biomass energy potential is 15,255 kg of steam / day. Steam enthalpy in the boiler system is 3226.3 kJ / kg, the work produced in the turbine system is 1,848.3 kW, the enthalpy of water coming out of the pump at 32 bar pressure and 1100C temperature is 461 kJ / kg. The electric power generated by the generator is 1,663.47 kWh with the consumption of steam to produce 1 kWh is 9.2 kg of steam / kWh so that it can meet the electricity load in the Undan River Village at 959.27 kWh / day.

Keywords: CV, Cycle Tempo, Coconut Fiber, Energy, System

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas berkah, rahmat dan hidayahnya yang senantiasa dilimpahkan kepada penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan penelitian tugas akhir ini sebagai syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.

Dalam penyusunan tugas akhir ini banyak hambatan serta rintangan yang penulis hadapi namun pada akhirnya dapat terlalui berkat adanya bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak baik secara moral, materil maupun spriritual. Untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua, Ayahanda tercinta Drs. Syamsuddin dan Ibunda tersayang Hj. Dahlia serta kakak Yuliana Syafitri M.Si dan adik-adik Syifa, Aura, Bilqis yang telah memberikan dukungan serta doa yang tiada henti-hentinya kepada penulis.
2. Bapak Dr. Drs. Ahmad Darmawi , M.Ag. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
3. Ibu Ewi Ismaredah M.Kom selaku ketua program studi Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
4. Ibu Marhamah Jelita S.Pd, M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan arahan selama penyusunan tugas akhir ini.
5. Ibu Dr. Liliana ST, M.Eng dan Ibu Susi Afriani, ST selaku dosen penguji pada Tugas Akhir ini.
6. Seluruh Bapak/Ibu dosen program studi Teknik Elektro yang telah memberikan pengetahuan yang sangat bermanfaat selama masa perkuliahan.
7. Seluruh staf dan karyawan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang telah memberikan bantuan kepada penulis.
8. Bapak Anton Abdul Rahkman S.Pd, selaku kepala Desa Sungai Undan dan bapak Bakhroji selaku sekertaris Desa Sungai Undan yang telah membantu dalam pengumpulan data yang diperlukan dalam penelitian ini dan memberi izin kepada penulis untuk melakukan penelitian di Desa Sungai Undan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

9. Seluruh responden dalam penelitian ini yang telah meluangkan waktu dan bersedia untuk memberikan data yang diperlukan dalam penelitian ini.
10. Seluruh teman-teman angkatan 2014 Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang selalu memberikan dukungan.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu dan memberikan dukungan.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna dikarenakan keterbatasan ilmu dan pengalaman yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala bentuk saran serta masukan bahkan kritik yang membangun dari berbagai pihak. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan semua pihak.

Pekanbaru, 11 Juni 2020

Penulis,

(Akmal Syamsuddiin)

UIN SUSKA RIAU

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR RUMUS.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xx
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang	I-1
1.2 Rumusan masalah	I-7
1.3 Tujuan penelitian	I-7
1.4 Batasan Penelitian.....	I-8
1.5 Manfaat Penelitian.....	I-8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait.....	II-1
2.2 Biomassa	II-4
2.2.1 Biomassa Sebagai Sumber Energi	II-6
2.2.2 Biorefinery	II-7
2.2.3 Biopower.....	II-7
2.2.4 Bioenergi.....	II-11
2.3 Kelebihan dan Kekurangan Biomassa	II-12

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.4 Pengukuran Potensi Biomassa	II-13
2.4.1 Metode Statistik – Residu Perkebunan Primer	II-13
2.4.2 Metode Statistik – Residu Perkebunan Sekunder	II-14
2.5 Tanaman Kelapa	II-14
2.4.1 Produk Hasil Samping Buah Kelapa	II-15
2.6 Perpindahan Panas (<i>Heat Transfer</i>)	II-17
2.7 Termodinamika	II-17
2.7.1 Sistem, Lingkungan dan Proses dalam Termodinamika	II-19
2.7.2 Hukum ke 0 Termodinamika	II-21
2.7.3 Hukum ke I Termodinamika	II-22
2.7.3.1 Panas	II-22
2.7.3.2 Kerja	II-22
2.7.3.3 Aliran Massa	II-23
2.7.4 Hukum ke II Termodinamika	II-23
2.7.4.1 Reservoir Energi Panas (<i>Heat Energy Reservoirs</i>)	II-24
2.7.4.2 Mesin Kalor	II-24
2.7.4.3 Efisiensi Termal	II-25
2.7.4.4 Hukum Termodinamika Ke II: Pernyataan Kelvin-Planck	II-26
2.7.4.5 Mesin Pendingin Dan Pompa Kalor (<i>Refrigerators and Heat Pumps</i>)	II-26
2.7.4.6 Pompa Kalor	II-27
2.7.4.7 Hukum Termodinamika Ke II: Pernyataan Clausius	II-28
2.7.5 Hukum ke III Termodinamika	II-30
2.7.5.1 Konservasi Massa untuk <i>Control Volume</i>	II-29
2.7.5.2 Konservasi Energi untuk <i>Control Volume</i>	II-31
2.7.6 Persamaan Energi untuk Aliran <i>Steady State</i> (Keadaan Tunak)	II-33
2.7.7 Aliran Massa dan Energi <i>Control Volume</i> (CV)	II-34
2.8 Proses-proses Energi	II-35
2.8.1 Proses Isokhorik (Volume Konstan)	II-35
2.8.2 Proses Isobarik (Tekanan Konstan)	II-35
2.8.3 Proses Isotermis (Temperatur Konstan)	II-35

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.8.4 Proses Adiabatik.....	II-36
2.9 Siklus Energi.....	II-36
2.9.1 Siklus Carnot.....	II-36
2.9.2 Siklus Rankine	II-38
2.9.2.1 Proses Siklus Rankine	II-38
2.9.2.2 Skema Siklus Rankine	II-39
2.9.2.3 Prinsip Kerja dari Sistem Siklus Rankine	II-41
2.10 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).....	II-41
2.10.1 Boiler	II-42
2.10.2 Turbin-Generator	II-44
2.10.3 Condenser	II-46
2.10.4 Pompa	II-47
2.11 Teknik Sampling.....	II-47
2.11.1 <i>Probability</i> Sampling	II-48
2.11.2 <i>Nonprobability</i> Sampling.....	II-49
2.11.3 Teknik Slovin.....	II-50
2.12 Perangkat Lunak <i>Cycle Tempo</i>	II-50
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Jenis Penelitian	III-1
3.2 Lokasi Penelitian.....	III-1
3.3 Tahapan Penelitian.....	III-1
3.4 Tahap Identifikasi Masalah.....	III-2
3.5 Studi Literatur	III-2
3.6 Pengumpulan Data.....	III-3
3.6.1 Biomassa Sabut Kelapa di Desa Sungai Undan.....	III-3
3.6.2 Profil Beban Listrik di Desa Sungai Undan.....	III-5
3.7 Sistem Konversi Energi Biomassa Sabut Kelapa	III-6
3.7.1 Analisis Potensi Biomassa Sabut Kelapa.....	III-6
3.7.2 Sistem Konversi Energi Siklus Rankine.....	III-6
3.8 Analisis Hasil Sistem Konversi	III-9
3.9 Apakah Profil Beban Terpenuhi	III-9

BAB IV HASIL DAN PEMBAHSAN

4.1 Analisis Potensi Energi Biomassa Sabut Kelapa.....	IV-1
4.2 Profil Beban Listrik Desa Sungai Undan	IV-3
4.3 Analisis Sistem Konversi Energi Biomassa Sabut Kelapa pada Siklus Rankine.....	IV-5
4.3.1 Pemilihan Apparatus.....	IV-6
4.3.2 Menginput Data dan Komponen.....	IV-8
4.3.3 Perhitungan Tingkat Keadaan Sistem Konversi	IV-13
4.4 Analisis Sistem Konversi Energi Biomassa Sabut Kelapa.....	IV-15
4.5 Analisis Sistem Konversi Biomassa Sabut Kelapa untuk Memenuhi Profil Beban di Desa Sungai Unda	IV-17

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran	V-1

DAFTAR PUSTAKA

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Skema Sistem Termodinamika.....	II-19
2.2 Proses dari keadaan 1 ke keadaan 2.....	II-21
2.3 Diagram Siklus Termodinamika.....	II-21
2.4 Hukum ke 0 Termodinamika.....	II-22
2.5 Sistem Kerja Mesin Kalor	II-26
2.6 Hukum Termodinamika kedua menurut Kelvin-Plank	II-27
2.7 Bagian-bagian mesin pendingin	II-28
2.8 Sistem pada Pompa Kalor.....	II-29
2.9 Aliran Zat Alir Satu Dimensi.....	II-31
2.10 Batas imajiner dan riil pada volume atur.....	II-34
2.11 Grafik Proses Isokhoris	II-35
2.12 Grafik Proses Isobarik	II-35
2.13 Grafik Proses Isotermis	II-36
2.14 Grafik Proses Adiabatis	II-36
2.15 Siklus Carnot	II-37
2.16 Mesin Carnot	II-37
2.17 Skema Siklus Rankine	II-40
2.18 Diagram T-s Pembangkit.....	II-40
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	III-2
3.2 Skema Sistem Siklus Rankine	III-7
3.3 <i>Flowchart Software Cycle Tempo</i>	III-7
4.1 Limbah Sabut kelapa yang ada di Desa Sungai Undan	IV-1
4.2 Komponen Siklus Rankine	IV-5
4.3 Apparatus Pompa pada <i>Cycle Tempo</i>	IV-6
4.4 Apparatus Boiler pada <i>Cycle Tempo</i>	IV-6
4.5 Apparatus Turbin-Generator pada <i>Cycle Tempo</i>	IV-7
4.6 Apparatus Condenser pada <i>Cycle Tempo</i>	IV-7

4.7	Apparatus Sistem Siklus Rankine pada <i>Cycle Tempo</i>	IV-8
4.8	Parameter Input Pompa pada <i>Cycle Tempo</i>	IV-9
4.9	Parameter Input Boiler pada <i>Cycle Tempo</i>	IV-10
4.10	Parameter Turbin-Generator pada <i>Cycle Tempo</i>	IV-12
4.11	Parameter Input Condenser pada <i>Cycle Tempo</i>	IV-13
4.12	Tingkat Keadaan Sistem Pompa	IV-13
4.13	Tingkat Keadaan Sistem Boiler	IV-14
4.14	Tingkat Keadaan Sistem Turbin-Generator	IV-14
4.15	Tingkat Keadaan Sistem Condenser	IV-15
4.16	Hasil Simulasi Sistem Konversi Energi Biomassa Sabut Kelapa pada <i>Cycle Tempo</i>	IV-16

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1.1 Nilai Kalor dari Limbah Biomassa Pertanian dan Perkebunan	II-5
1.1 Luas Areal Perkebunan Kelapa di Kecamatan Reth.....	III-3
2.2 Produksi dan Rata-rata Produksi per Ha Perebunan Kelapa di Kecamatan Reth.....	III-4
3.3 Data Biomassa Sabut Kelapa di Desa Sungai Undan.....	III-4
3.4 Nilai Kalor dan Energi Sabut Kelapa	III-5
4.1 Beban Listri pada Rumah Bapak Bakhroji.....	IV-4
4.2 Kebutuhan Beban Listri di Desa Sungai Undan.....	IV-5
4.3 Parameter Input pada Pompa.....	IV-9
4.4 Parameter Input pada Boiler.....	IV-10
4.5 Parameter Input Pada Turbin-Generator	IV-11
4.6 Parameter Input Pada Condenser.....	IV-12
4.7 Hasil Simulasi Sistem Konversi Energi Biomassa Sabut Kelapa	IV-16

UIN SUSKA RIAU

DAFTAR RUMUS

- 1.1 Residu pertanian primer
- 1.2 Residu pertanian pekunder
- 1.3 Laju aliran massa per satuan waktu (*mass flow rate*)
- 1.4 Laju aliran massa per satuan waktu
- 2.5 Laju perubahan massa dalam volume atur dalam selang waktu Δt
- 2.6 Laju perubahan massa yang berada dalam volume atur pada waktu t
- 2.7 Aliran massa masuk dan aliran massa keluar dalam volume atur
- 2.8 Jumlah massa yang melintasi permukaan A
- 2.9 Laju massa purata dari aliran melintasi permukaan atur selama selang waktu Δt
- 2.10 Laju aliran massa sesaat untuk volume
- 2.11 Laju aliran volumetris
- 2.12 Laju perpindahan panas/kalor dalam selang waktu Δt
- 2.13 Energi persatuan massa
- 2.14 Perubahan energi system
- 2.15 Kerja total yang dilakukan selama selang waktu Δt
- 2.16 Kerja total yang dilakukan selama selang waktu Δt apabila Δt mendekati nol
- 2.17 Kerja total yang dilakukan selama selang waktu Δt
- 2.18 Persamaan kekekalan energi dalam volume atur
- 2.19 Persamaan kekekalan energi dalam volume atur. Bila tidak ada aliran massa masuk atau keluar volume atur
- 2.20 Persamaan laju
- 2.21 Persamaan kontinuitas
- 2.22 Jumlah energi yang terkandung dalam bahan bakar
- 2.23 Efisiensi Boiler
- 2.24 Kapasitas uap boiler
- 2.25 Efisiensi termal pembangkit
- 2.26 Hukum I termodinamika
- 2.27 Daya Turbin

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

28 Daya Turbin

29 Daya Generator

30 *Specific Steam Consumption (SSC)*

31 Kapasitas Pompa

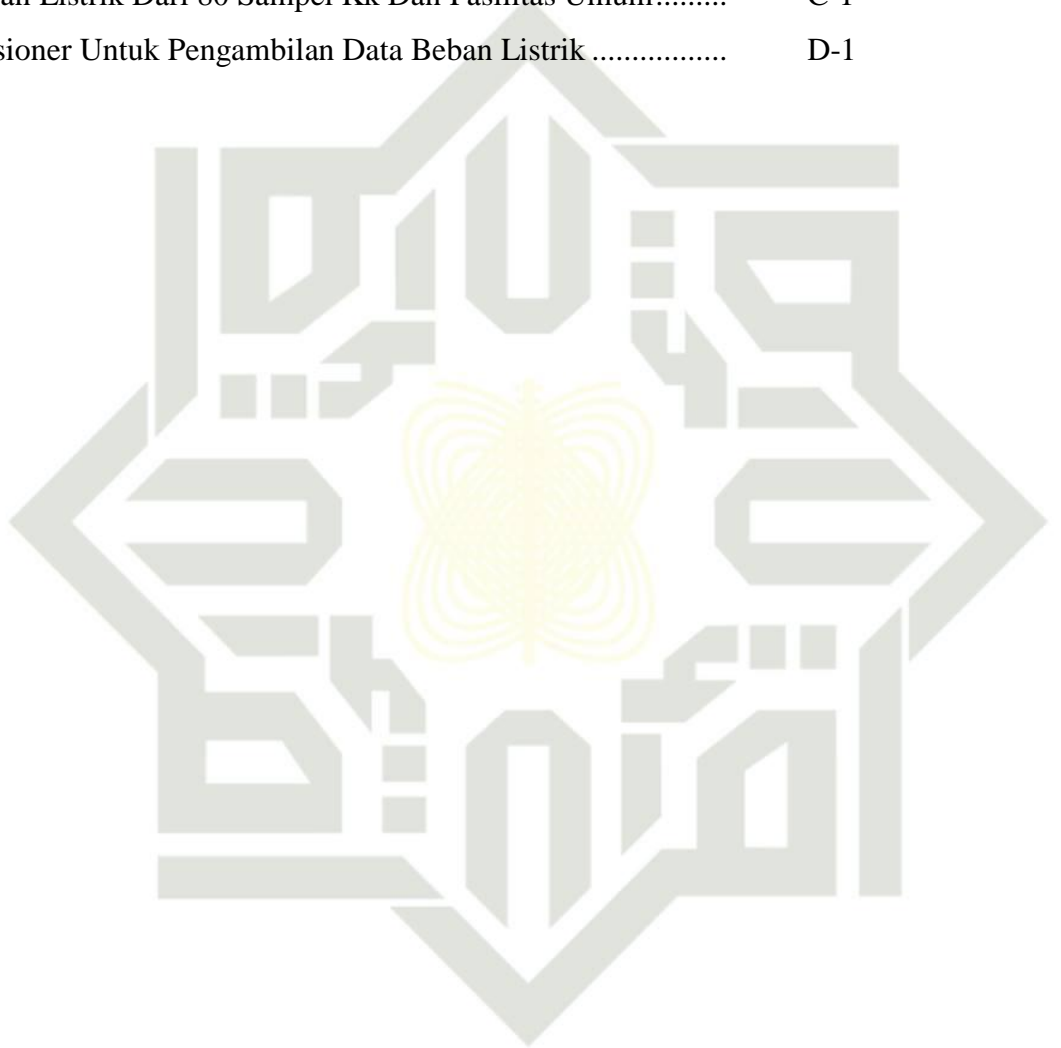
32 Rumus Slovin



UIN SUSKA RIAU

DAFTAR LAMPIRAN

Biomassa Sabut Kelapa Di Desa Sungai Undan	A-1
Kuisisioner Pengambilan Data Beban Listrik	B-1
Perhitungan Beban Listrik Dari 80 Sampel Kk Dan Fasilitas Umum.....	C-1
Wawancara Kuisisioner Untuk Pengambilan Data Beban Listrik	D-1



UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB I

PENDAHULUAN

1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan konsumsi energi terbesar di kawasan Asia Tenggara dan urutan kelima di Asia Pasifik dalam konsumsi energi primer, setelah negara China, India, Jepang, dan Korea Selatan. Pertumbuhan Produk Domestik Bruto (PDB) yang tinggi, mencapai rata-rata 6,04% per tahun selama periode 2017-2050, diperkirakan akan semakin mendorong peningkatan kebutuhan energi Indonesia di masa depan. Hal ini menyebabkan peran Indonesia dalam pasar energi dunia dan dalam upaya penurunan emisi rumah kaca bertambah signifikan. Konsumsi energi final (tanpa kayu bakar) Indonesia tahun 2016 masih didominasi oleh Bahan Bakar Minyak (BBM) sebesar 47%. Jika dilihat secara sektoral, maka sektor transportasi memiliki pangsa paling besar, yaitu sebesar 42%, lebih tinggi dari sektor industri dengan pangsa 36% [1].

Disisi kelistrikan, Konsumsi listrik nasional terus menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya akses listrik atau elektrifikasi serta perubahan gaya hidup masyarakat. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), konsumsi listrik Indonesia tahun 2017 mencapai 1.012 kilowatt per *hour* (kWh)/kapita, naik 5,9 persen dari tahun sebelumnya yaitu 956,36 kWh/kapita, sementara pada tahun 2014 dan 2015 sebesar 878 kWh/kapita dan 918 kWh/kapita [2].

Keadaan ini tidak didukung oleh ketersediaan cadangan energi di Indonesia, mengingat sebagian besar pembangkit listrik yang ada di Indonesia masih didominasi oleh pembangkit jenis konvensional berbahan bakar minyak yang bersumber dari energi fosil. Keadaan ini sangat membutuhkan solusi terkait diversifikasi energi, salah satunya ialah mengembangkan energi terbarukan (*renewable energy*) yang ramah lingkungan, berkelanjutan (*sustainable*), ekonomis, dan secara teknis mudah untuk diimplementasikan. Hal ini sesuai dengan kebijakan pemerintah dalam Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional, dimana persentase penggunaan energi terbarukan perlu ditingkatkan [3]. Energi Terbarukan harus segera dikembangkan secara nasional, bila tetap bergantung pada energi fosil, ini akan menimbulkan setidaknya tiga masalah besar, yakni cadangan minyak

Sumi akan semakin menipis (bila tanpa temuan sumur minyak baru), laju permintaan yang lebih besar dari produksi minyak akan menyebabkan kenaikan/ketidakstabilan harga dan menimbulkan polusi gas rumah kaca [4].

Beberapa jenis sumber energi alternatif yang bisa dikembangkan antara lain energi matahari, energi angin, energi panas bumi, energi panas laut (OTEC) dan energi biomassa. Di antara sumber-sumber energi alternatif tersebut, energi biomassa merupakan sumber energi alternatif yang perlu mendapat prioritas dalam pengembangannya dibandingkan dengan sumber energi yang lain [5]. Biomassa merupakan salah satu bentuk energi terbarukan, yaitu sumber energi yang dapat diperbaharui, seperti pohon, tanaman produksi serta limbahnya, serat-serat tanaman, limbah hewan, limbah industri, dan limbah-limbah lain yang berupa bahan organik [6]. Hal ini sejalan dengan negara Indonesia yang merupakan negara agraris yang banyak menghasilkan limbah pertanian dan perkebunan yang kurang termanfaatkan. Di samping itu sumber energi biomassa mempunyai keuntungan pemanfaatan, yaitu sumber energi ini dapat dimanfaatkan secara lestari karena sifatnya yang *renewable resources*, sumber energi ini relatif tidak mengandung unsur sulfur sehingga tidak menyebabkan polusi udara sebagaimana yang terjadi pada bahan bakar fosil, dan pemanfaatan energi biomassa juga meningkatkan efisiensi pemanfaatan limbah pertanian [5].

Mayoritas penduduk Indonesia berprofesi sebagai petani. Sebagai negara agraris, Indonesia memiliki berbagai macam jenis tanaman perkebunan seperti karet dengan luas areal perkebunan di tahun 2017 yaitu perkebunan karet 3.103.300 ha, kelapa 3.438.000 ha, kelapa sawit 5.698.000 ha, kopi 1.192 ha, kakao 1.616.000 ha, jambu mete 506.000 ha dan lain-lain. Dengan produksi perkebunan pada tahun yang sama, karet 3.050.200 ton, kelapa 2.821.300 ton, minyak kelapa sawit 13.191.200 ton, kopi 685.800 ton, kakao 558.800 ton dan jambu mete sebesar 135.500 ton [7]. Salah satu jenis tanaman perkebunan yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan limbahnya adalah kelapa. Indonesia dikenal sebagai negara penghasil kelapa terbesar di dunia [8]. Riau merupakan provinsi penghasil kelapa terbesar di Indonesia dengan luas areal perkebunan 502.935 ha mampu memproduksi kelapa sebesar 406.089 ton di tahun 2017 [9]. Dengan potensi tersebut limbah perkebunan kelapa yaitu sabut kelapa yang umumnya belum termanfaatkan sangat memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif dari biomassa.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Kabupaten Indragiri Hilir (INHIL) merupakan daerah penghasil kelapa terluas di Provinsi Riau, dengan luas areal perkebunan kelapa 392.753 ha yang tersebar di 20 kecamatan mampu memproduksi kelapa sekitar 298.599 ton di tahun 2015 dengan jumlah petani 80.264 [10]. Meskipun terdapat permasalahan kebun rusak sehingga tidak produktif yang mencapai 100.000 ha di tahun 2015, namun pemerintah Kabupaten INHIL melakukan penanganan melalui program Trio Tata Air, yakni pembangunan tanggul mekanik, tanggul saluran air, serta pembuatan saluran air. Melalui program tersebut pada tahun 2018, sekitar 40.000 ha kebun kelapa rakyat telah menjadi lahan produktif dan hasilnya telah dirasakan oleh petani kelapa di INHIL [11].

Namun disisi lain Kabupaten INHIL merupakan salah satu Kabupaten dengan tingkat elektrifikasi terendah di Provinsi Riau. Perusahaan Listrik Negara (PLN) Persero menyatakan Rasio Elektrifikasi (RE) di Riau mencapai 89,06%. Pada tahun 2018, peningkatan RE di Riau cukup tinggi dalam tiga tahun terakhir dari sekitar 77% pada tahun 2016, menjadi 84% di tahun 2017, dan per Desember 2018 mencapai 89,06%. Hingga kini dari 12 kabupaten/kota di Riau, daerah dengan RE sudah mencapai 100% antara lain kota Pekanbaru, Dumai, Kabupaten Kampar dan Bengkalis. Sementara RE paling rendah berada di Kabupaten Pelalawan yakni 52,89%, dan Indragiri Hilir (INHIL) 60,88% [12]. Kecamatan Reteh merupakan salah satu kecamatan di INHIL yang mayoritas masyarakatnya merupakan petani kelapa yang tersebar di 14 desa dan kelurahan dengan luas total areal perkebunan 23.928 ha dengan jumlah petani 4.883 di tahun 2017 menyumbang 29.798 Ton hasil perkebunan kelapa untuk Kabupaten Indragiri Hilir dengan rata-rata produksi kelapa per hektar adalah 1.4 ton [13].

Desa Sungai Undan merupakan salah satu desa dengan luas wilayah terluas yang terletak di Kecamatan Reteh Kabupaten Indragiri Hilir. Berdasarkan hasil wawancara dengan bapak Bakhroji selaku Sekertaris Desa Sungai Undan menyebutkan bahwa desa ini belum mendapatkan akses listrik dari PLN dan hanya mengandalkan diesel sebagai sumber energi listrik yang hanya beroperasi pada malam hari yang dimulai sekitar pukul 18.00 WIB hingga pukul 22.00 atau 23.00 WIB. Diesel yang digunakan di Desa sungai Undan sebanyak 10 diesel dan kepemilikan diesel adalah perorangan/pribadi, dimana setiap diesel mengalirkan listrik ke satu atau dua RT. Bahan bakar yang digunakan setiap diesel untuk satu malam sebanyak 10 liter solar, dengan harga solar/liter Rp. 6.800. Tagihan listrik perbulan kepada masyarakat tergantung pada banyaknya peralatan listrik yang digunakan pada setiap rumah. Namun

Peralatan listrik yang dikenakan biaya perbulannya hanya jumlah lampu dan televisi. Peralatan listrik selain lampu dan televisi tidak dikenakan tagihan perbulannya. Satu lampu yang terpasang pada rumah dikenakan biaya 20 ribu rupiah perbulannya, sedangkan satu televisi dikenakan biaya 30 ribu rupiah.

Mayoritas masyarakat Desa Sungai Undan berprofesi sebagai petani kelapa, sehingga membuat desa ini mejadi salah satu penyumbang hasil perkebunan kelapa di Kabupaten INHIL dengan luas areal perkebunan 900 hektar dengan usia kelapa pada kisaran 15 – 30 tahunan. Berdasarkan hasil wawancara dengan bapak Bakhroji selaku Sekertaris Desa Sungai Undan menyebutkan bahwa Setiap hektar dari perkebunan kelapa untuk setiap masa panen dapat menghasilkan 500-1000 lebih buah kelapa. Produksi kelapa rata-rata per hektar adalah 1.391 kg. Waktu yang dibutuhkan untuk satu kali masa panen kelapa di Desa Sungai Undan adalah 4 bulan. Terdapat 25 titik tempat pengupasan kelapa di desa Sungai Undan. Setiap kali masa panen, petani kelapa akan mengalirkan buah kelapa ke tempat-tempat pengupasan kelapa dengan memanfaatkan pasang surut air sungai. Tujuannya adalah agar jarak yang ditempuh untuk mengupas kelapa tidak terlalu jauh dan lebih mudah untuk proses penjualan. Selain itu, petani juga biasanya mengangkut langsung menggunakan pompong setelah kelapa dikupas. Setelah dikupas, buah hasil pertanian kelapa dijadikan kopra terlebih dahulu sebelum dijual atau dijual langsung kepada tauke kelapa dalam kondisi bulat tanpa sabut. Selain daging buah, tempurung/batok kelapa oleh masyarakat biasanya diolah lagi menjadi arang sehingga memiliki nilai ekonomis sehingga dapat di jual atau digunakan sendiri untuk memasak. Berat per buah kelapa adalah 1,11 kg dan rasio produk-residu nya adalah 30% [16].

Usia tanaman kelapa yang ada di Desa Sungai Undan berada pada kisaran 15-30 tahunan. Jenis kelapa yang tumbuh di Desa Sungai Undan adalah kelapa dalam, kelapa dalam mulai produktif diusia 6-8 tahun dengan usia maksimal dari kelapa dalam dapat mencapai 100 tahun. Mayoritas masyarakat yang ada di Desa Sungai Undan merupakan orang Bugis dan Melayu. Suku bugis umumnya selalu melanjutkan tradisi nenek moyang atau orang tua terdahulu, begitupun dengan perkebunan kelapa. Alasan mereka tetap mengandalkan perkebunan kelapa sebagai sumber mata pencaharian adalah karena nenek moyang atau orang tua terdahulu telah berkebun kelapa sebelumnya. Selain masyarakat INHIL sendiri, pemerintah setempat juga sangat mendukung keberlangsungan tanam kelapa yang ada INHIL mengingat INHIL merupakan wilayah penghasil kelapa terbesar di Indonesia dan dunia, hal

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

ini dapat dilihat dari keriusan pemerintah INHIL dalam menangani permasalahan kebun rusak sehingga tidak produktif yang mulai terjadi pada tahun 2015. Selain dari itu, keberlangsungan perkebunan kelapa di INHIL khususnya di Desa Sungai Undan dapat dilihat dengan masih terdapat banyak areal perkebunan dengan Tanaman Belum Mneghasilkan (TBM) dan tanaman tua dan rusak yang di revegetasi dengan tanaman kelapa yang baru.

Sementara itu, berdasarkan hasil wawancara dengan bapak Bakhroji selaku Sekertaris Desa Sungai Undan menyebutkan bahwa sabut kelapa yang merupakan bagian terluar dari buah kelapa umumnya belum dimanfaatkan oleh masyarakat Desa Sungai Undan. Setiap kali selesai masa panen, limbah sabut kelapa dari perkebunan kelapa ini biasanya oleh masyarakat Desa Sungai Undan langsung dibakar atau dibiarkan menumpuk begitu saja. Hal ini karena sabut kelapa tidak memiliki nilai ekonomis seperti daging buah, air dan tempurungnya. Disisi lain apabila Sabut kelapa dimanfaatkan dengan baik dapat menjadi alternatif sumber bahan bakar untuk menghasilkan listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik Desa Sungai Undan yang belum teraliri listrik PLN. Sehingga apa bila limbah dari perkebunan kelapa (sabut kelapa) ini dimanfaaaatkan dalam cakupan desa dan didukung oleh pemerintah setempat, akan tercipta suatu sumber energi yang *renewable*. Hal ini dapat membuat desa Sungai Undan menjadi desa mandiri energi yang mampu menyediakan kebutuhan listriknya sendiri.

Selain potensi energi terbarukan dari biomassa limbah perkebunan kelapa, Desa Sungai Undan atau umumnya di INHIL juga memiliki potensi dari energi terbarukan yang lain. Seperti energi matahari/surya, wilayah Kabupaten INHIL memiliki rata-rata nilai radiasi matahari tahunan sebesar $4.42 \text{ kWm}^2/\text{d}$ dengan kelembaban relatif 84.9%. Selain energi matahari, Kabupaten INHIL juga memiliki potensi energi angin dengan rata-rata laju angin tahunan sebesar 2.3 m/k dengan tekanan atmosfer 100.6 kPa [15]. Pemilihan biomassa sabut kelapa sebagai sumber energi terbarukan pada penelitian ini karena Kabupaten INHIL merupakan daerah penghasil kelapa terbesar di Indonesia. Sebagai daerah penghasil kelapa terbesar tentu saja akan menghasilkan limbah perkebunan kelapa (sabut kelapa) yang sangat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. Hal ini sejalan dengan belum pemanfaatannya limbah sabut kelapa di INHIL.

Satu buah kelapa menghasilkan 0,4 kg sabut kelapa dengan kandungan 30% serat, sabut kelapa merupakan bagian yang membungkus tempurung kelapa dengan ketebalan sabut kelapa berkisar 5 sampai 6 cm dan terletak dibagian paling luar dari buah kelapa. Sabut kelapa

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

terdiri atas lapisan *exocarpium*/lapisan luar dan *endocarpium*/lapisan dalam. Komposisi kimia sabut kelapa terdiri dari lignin, selulosa, pyroligneous, acid, gas, arang, tanin, ter dan potasium. Lapisan dalam mengandung serat-serat halus yang dapat digunakan sebagai bahan pembuat tali, karpet, sikat, isolator panas dan suara, *pulp*, karung, filter, pengisi jok kursi mobil dan papan *hardboard* [16]. Komposisi dari limbah tempurung perkebunan kelapa memiliki nilai kalor sebesar 4128,9 kkal sedangkan sabut kelapa memiliki nilai kalor sebesar 1004,8 kkal [17]. Perkebunan kelapa seperti yang telah dijelaskan sebelumnya selain menghasilkan produk kelapa setiap kali masa panennya, juga menghasilkan sabut kelapa yang merupakan biomassa yang berasal dari limbah perkebunan kelapa yang masih belum banyak dimanfaatkan.

Pada penelitian ini, energi biomassa sabut kelapa akan dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan siklus rankine. Pemilihan siklus rankine pada penelitian ini mengacu pada siklus yang umumnya digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang menggunakan batubara sebagai bahan bakarnya. Komponen sistem konversi energi siklus rankine terdiri dari sistem boiler, sistem turbin, sistem kondensor, sistem pompa, dan turbin generator. Seperti halnya pada PLTU batubara, pada penelitian ini juga memanfaatkan air sebagai fluida awal yang selanjutnya diubah menjadi fluida kerja berupa uap bertekanan untuk memutar turbin-generator. Metode sistem konversi energi pada siklus rankine menggunakan konservasi energi dan konservasi massa pada sistem *control volume* (CV) pada keadaan *steady state*.

Hasil sistem konversi energi sabut kelapa menjadi energi listrik akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di desa Sungai Undan. Potensi ketersediaan dan energi sabut kelapa akan dihitung secara manual dengan menggunakan standard *Biomass Energy Europe Methods & Data Sources for Biomass Resource Assessments for Energy*, sistem konversi energi biomassa menjadi listrik diperoleh dengan menggunakan konservasi energi dan massa hukum termodinamika II dengan menginputkan data propertis termodinamik fluida kerja setiap sistem konversi energinya. Untuk memudahkan menganalisa sistem konversi energi sabut kelapa menggunakan siklus rankine, pada penelitian ini menggunakan *software cycle tempo*. *Software cycle tempo* merupakan program yang digunakan untuk analisis sistem termodinamika dan optimalisasi sistem konversi energi seperti pembangkit dan sistem refrigerasi. Tujuan utama dari *cycle tempo* adalah menghitung ukuran aliran massa dan energi

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

dalam sistem, termasuk didalamnya yaitu sifat-sifat termodinamika, komposisi gas, laju aliran massa. *Software cycle tempo* berisi sejumlah besaran model-model komponen dan pipa yang dengan keduanya kita bisa membuat model sistem yang kita inginkan. Program ini mempunyai *graphical user interface* yang moderen yang memudahkan pengguna, mengoperasikannya serta dapat melihat hasil perhitungan berdasarkan variabel yang relevan dalam berbagai variasi tabel dan grafik.

Berdasarkan permasalahan diatas, untuk memanfaatkan sabut kelapa sebagai energi biomassa yang bersifat *suistainable* dari perkebunan kelapa masyarakat di Desa Sungai Undan yang belum termanfaatkan, peneliti tertarik untuk membuat sebuah penelitian di Desa Sungai Undan Kecamatan Reteh INHIL yang berjudul **ANALISIS SISTEM KONVERSI ENERGI BIOMASSA SABUT KELAPA MENGGUNAKAN SIKLUS RANKINE (Studi kasus: Desa Sungai Undan INHIL)**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan di atas, timbul pertanyaan yang dijadikan rumusan masalah. Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana potensi energi biomassa sabut kelapa dari residu hasil perkebunan kelapa di Desa Sungai Undan Kec. Reteh INHIL?
2. Bagaimana analisis sistem konversi energi biomassa sabut kelapa menggunakan siklus rankine untuk menghasilkan energi listrik di Desa Sungai Undan Kec. Reteh INHIL?
3. Apakah potensi energi listrik yang dihasilkan dari analisis sistem konversi energi biomassa dapat memenuhi profil beban yang ada di Di Desa Sungai Undan yang belum mendapat akses listrik PLN?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis potensi biomassa sabut kelapa dari residu hasil perkebunan kelapa di Desa Sungai Undan Kec. Reteh INHIL.

Menganalisis sistem konversi energi biomassa sabut kelapa menggunakan siklus rankine untuk menghasilkan energi listrik di Desa Sungai Undan Kec. Reteh INHIL

Menganalisis potensi energi listrik yang dihasilkan dari analisis sistem konversi energi biomassa dapat memenuhi profil beban yang ada di Di Desa Sungai Undan yang belum mendapat akses listrik PLN

1.4 Batasan Masalah

Sebelum melakukan penelitian, terlebih dahulu diperlukan batasan-batasan dalam penelitian agar penelitian ini dapat lebih fokus pada objek penelitian, berikut ini batasan-batasan dalam penelitian ini:

1. Penelitian dilakukan di Desa Sungai Undan Kecamatan Reteh Kabupaten Indragiri Hilir (INHIL)
2. Biomassa limbah perkebunan yang dimanfaatkan adalah limbah perkebunan kelapa yang ada di Desa Sungai Undan
3. Limbah perkebunan kelapa yang digunakan adalah sabut kelapa dari perkebunan kelapa yang tidak termanfaatkan di Desa Sungai Undan
4. Metode analisis data yang digunakan adalah Siklus Rankine yang memanfaatkan air yang dipanaskan menjadi uap sebagai fluida kerja pada sistem
5. Profil beban yang menjadi target pemenuhan energi listrik adalah untuk KK (Kepala Keluarga) dan Fasilitas Umum yang ada di Desa Sungai Undan
6. Analisis aliran energi pada sistem dianggap dalam keadaan *Steady State*
7. Analisis sistem konversi energi siklus rankine menggunakan *software cycle tempo*
8. Air Umpan Boiler Awal Tidak Dihitung
9. Proyeksi ketersediaan sumber limbah sabut kelapa selama 20 tahun kedepan
10. Data properti material untuk perhitungan diambil dari Tabel Properti Termodinamika
11. Lokasi penelitian yang menjadi tempat penelitian adalah Desa Sungai Undan Kecamatan Reteh Kabupaten INHIL

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Menjadi sumber wawasan untuk pengembangan dan diversifikasi energi terbarukan dari biomassa limbah perkebunan

Dapat dijadikan sebagai salah satu rujukan bagi praktisi, mahasiswa maupun masyarakat luas untuk lebih memanfaatkan limbah hasil perkebunan kelapa yang belum dimanfaatkan

Memberi nilai ekonomis pada sabut kelapa

Diharapkan mampu menjadi bahan pertimbangan bagi pemerintah untuk pembangunan pembangkit listrik energi terbarukan pada daerah-daerah yang belum teraliri listrik PLN

Hak Cipta Ditindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Berikut ini dijelaskan mengenai *review* atas penelitian sebelumnya yang terkait dengan penelitian yang diusulkan, guna mendapatkan informasi mengenai penelitian sebelumnya yang memiliki topik atau permasalahan yang sama agar penelitian yang diusulkan tidak mengulangi penelitian yang telah ada sebelumnya.

Penelitian berjudul Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Biomassa Sawit (PLTBS) Kapasitas 5MW. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi limbah kelapa sawit di PKS Lubuk dalam dan PKS Sei Buatan dalam menghasilkan energi listrik dan merancang sistem pembangkit tenaga listrik yang memanfaatkan biomassa sebagai sumber bahan bakar. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Pembakaran Langsung (*Direct Fired*) terhadap biomassa yang menjadi sumber bahan bakar dan Siklus Rankine dalam proses menghasilkan listrik. Hasil dari penelitian ini menyebutkan bahwa Pabrik Kelapa Sawit memiliki potensi sebagai penghasil energi listrik terbarukan, khususnya dalam bentuk limbah biomassa dari tandan kosong, cangkang dan serabut. Nilai kalor rata-rata biomassa sawit terdiri dari tandan kosong 6.727 kJ/kg; cangkang 16.413 kJ/kg dan serabut 8.813 kJ/kg. Dari hasil analisis perancangan pembangkit, jika didukung oleh dua PKS Lubuk Dalam dan PKS Sei Buatan, maka akan diperoleh potensi energi dari tandan kosong sebesar 132.218.000 kJ/jam dengan daya terbangkit dari PLTBS sebesar 5 MW [18].

Penelitian berjudul Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Berbasis Tongkol Jagung. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji teknologi yang digunakan pada PLTBm 500 KW di Kecamatan Pulubala Kabupatn Gorontalo guna mengetahui kelayakan pembangunan pembangkit listrik tenaga biomassa di Provinsi Gorontalo. Penelitian ini dimulai dengan menghitung jumlah potensi tongkol jagung sebagai sumber bahan bahan bakar PLTBm. Dimana pada 2017 dengan hasil panen jagung di Provinsi Gorontalo sebesar 1.552.001 Ton dihasilkan limbah tongkol jagung sebesar 412.832 Ton dimana dengan menggunakan teknologi dengan metode Gasifikasi *updraft gasifier* mampu menghasilkan 297.535 Ton syngas pada PLTBm tersebut. Hasil dari hasil penelitian ini menjelaskan bahwa

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Massa syngas yang dihasilkan dari banyaknya limbah tongkol jagung yang diproduksi pada tahun 2017 sebesar 174.717 Ton syngas. Daya yang dihasilkan dengan mengkonversi nilai kalor dari massa syngas adalah sebesar 137.178,29 MW. Untuk optimalisasi syngas yang dihasilkan dari proses gasifikasi diperlukan perancangan dimensi reaktor yang sesuai agar rasio air fuel tidak besar [17].

Penelitian berjudul Analisis Efisiensi Gasifikasi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBM) Tongkol Jagung Kapasitas 500 KW di Kabupaten Gorontalo. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa efisiensi produksi gas pada PLTBM dengan mempertimbangkan pada faktor rasio massa udara dan massa bakar. Metode yang digunakan untuk menghasilkan gas sintetik dari tongkol jagung dalam penelitian ini adalah metode Gasifikasi, hasil yang diperoleh dari penelitian ini menyebutkan bahwa Kualitas daya listrik yang dihasilkan generator PLTBM tongkol jagung ditentukan oleh kualitas bahan bakar. Bahan bakar yang dihasilkan oleh PLTBM untuk menggerakkan generator diperoleh dari hasil proses gasifikasi pembakaran biomassa. Salah satu faktor yang berpengaruh besar terhadap kualitas bahan bakar (gas sintesis) hasil produksi Pembangkit Listrik Biomassa yaitu sifat gas yang flammable (gas mudah terbakar). Besarnya produksi gas sintesis ditentukan oleh rasio perbandingan antara massa udara terhadap massa bahan bakar. Kandungan energi biomassa dilihat dari LHV (*Lower Heating Value*) dan HHV (*Higher Heating Value*) synthetic gas yang mengalami penurunan seiring dengan peningkatan rasio udara bahan bakar (*Air Fuel Ratio/AFR*) dikarenakan konsentrasi kandungan gas terbakar juga ikut menurun seiring pertambahan AFR. Nilai AFR menentukan tingginya nilai efisiensi gasifikasi yang dihasilkan. Nilai AFR yang tepat dalam menghasilkan efisiensi gasifikasi maksimal sebesar 99.17% pada penelitian ini yaitu bernilai 0.702 [3].

Penelitian berjudul Desain Sistem Pembangkit Daya Biomassa Berbasis Siklus Rankine Organik di Kecamatan Tepus DIY. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi biomassa sekam padi dan tongkol jagung sebagai sumber energi alternatif serta meninjau permasalahan yang mungkin muncul jika pembangunan PLTBM dilakukan di Kecamatan Tepus, DIY. Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah *Organic Rankine Cycle (ORC)* atau Siklus Rankine Organik menggunakan fluida organik sebagai fluida kerja. Hasil dari penelitian ini menyimpulkan bahwa Kecamatan Tepus mempunyai potensi energi termal sebesar 2.500,52 KW yang didapat dari sumber biomassa tongkol jagung dan sekam

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Penelitian berjudul Pemanfaatan Sekam Padi Sebagai Energi Alternatif Untuk Mengembangkan Siklus Rankine Organik melalui sebuah pemodelan awal sistem. Dengan pemodelan sistem didapat efisiensi bersih sebesar 9,12% dengan keluaran daya listrik yang dapat dikonsumsi sebesar 228,21 KW [19].

Penelitian berjudul Pemanfaatan Sekam Padi Sebagai Energi Alternatif Untuk Mengembangkan Energi Listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi biomassa limbah pertanian padi dalam menghasilkan listrik dan memanfaatkan biomassa limbah pertanian padi yang tidak termanfaatkan di Desa Wineru Kecamatan Poigar Sulawesi Utara sebagai sumber energi alternatif dalam menopang krisis energi listrik yang dialami Sulawesi Utara. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Siklus Rankine yang memanfaatkan uap bertekanan untuk memutar turbin dan generator listrik dimana sekam padi sebagai bahan bakar untuk memanaskan boiler. Potensi biomassa sekam padi yang diperoleh pada setiap masa panen dari 200 hektar sawah yaitu 122.496 Kg, dengan masa panen selama 3 bulan maka diperoleh 1.020,8 sekam Kg/hari. Dari hasil penelitian, pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa Sekam yang dapat dimanfaatkan sebesar 1,02 ton/hari. Perkiraan energi listrik yang bisa dihasilkan sebesar 178,078 kW [20].

Penelitian berjudul Listrik Sebagai KO-Produk Potensial Pabrik Gula. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi limbah yang dihasilkan dari pabrik gula sebagai sumber energi biomassa dalam menghasilkan listrik. Limbah pabrik gula yang dijadikan sebagai biomassa dalam penelitian ini adalah ampas tebu dan daduk (daun kering). Metode yang digunakan dalam penelitian ini ada tiga yaitu *backpressure turbines* (TB), *condensing/extraction turbines* (TCE), dan *biomass integrated gasification to gas turbines* (BIG-GT). Dari hasil penelitian yang telah dilakukan menyebutkan bahwa Industri gula memiliki potensi surplus listrik apabila energi PG dikelola secara efisien. Sumber energi potensial dari tebu adalah ampas dan daduk. Potensi produksi listrik dari ampas dan daduk dapat mencapai 1.408.940 MWH yang bisa diwujudkan dalam jangka pendek, sedangkan dalam jangka panjang potensi produksi listrik dapat ditingkatkan hingga 2,80 juta MWH. Dengan menggunakan teknologi *condensing/extraction turbines* (TCE), PG berpotensi menghasilkan listrik 150 kWh/t. sehingga jika sebuah PG berkapasitas 5.000 ton tebu/hari (TTH) berpotensi menghasilkan listrik 135.000 MWH selama 180 hari giling. Bahkan teknologi *biomass integrated gasification to gas turbines* (BIG-GT) mampu memproduksi 300

10 Wh/t tebu. Dengan demikian, penerapan teknologi TCE berpotensi meningkatkan produksi listrik dari ampas dan daduk tebu [21].

Penelitian yang akan dilakukan hampir serupa dengan penelitian [18]. Pada penelitian tersebut menggunakan metode Pembakaran Langsung (*Direct Fired*) biomassa yang menjadi sumber bahan bakar dan siklus rankine dalam proses menghasilkan energi listrik. Pada penelitian ini akan menganalisis sistem konversi energi sabut kelapa menjadi energi listrik dan digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Desa Sungai Undan. Pada penelitian ini akan dihitung potensi ketersediaan dan energi biomassa sabut kelapa. Analisis sistem konversi siklus rankine menggunakan konservasi energi dan konservasi massa sesuai dengan hukum termodinamika II dengan menginputkan data propertis termodinamika fluida kerja. Analisis sistem konversi energi pada penelitian ini menggunakan *software cycle tempo* yang dapat menghasilkan energi listrik yang dihasilkan dari sistem konversi siklus rankine dari biomassa sabut kelapa. *Software cycle tempo* merupakan program yang digunakan untuk analisis sistem termodinamika dan optimalisasi sistem konversi energi seperti pembangkit dan sistem refrigerasi.

2.2 Biomassa

Biomassa merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat diperbaharui. Biomassa berasal dari makhluk hidup, termasuk hewan ataupun limbah hewan, tanaman yang meliputi pohon, tumbuh-tumbuhan serta limbah dari tanam, limbah industri serta limbah yang berbahan dasar organik. Pemanfaatan biomassa yang paling umum adalah untuk memproduksi panas. Panas yang dihasilkan dari pembakaran biomassa digunakan untuk memasak, Pemanas dan dan untuk memproduksi uap panas dalam industri. Setiap tahunnya diperkirakan sebanyak 5200 juta ton biomassa kering diseluruh dunia dibakar langsung selayaknya minyak, menghasilkan sekitar 88 quad ($23.466,67 \times 10^{12}$ kkal) energi. Masyarakat miskin dinegara berkembang memperoleh energi mereka dengan membakar biomassa. Dinegara berkembang, sekitan 2 milyar ton minyak yang berasal dari kayu 1,3 ton produk samping hasil panen, ditambah sekitar 1 milyar ton kotoran hewan dibakar setiap tahunnya [6]

Tabel 2.1 Nilai Kalor dari Limbah Biomassa Pertanian dan Perkebunan [16]

Limbah Biomassa	Kalor Jenis
Padi	
1. Sekam	3052,9 ton kal/ ton
2. Jerami	2914,5 ton kal/ton
3. Merang	3205,4 ton kal/ton
Pegung	
1. Bonggol	3523,9 ton kal/ton
2. Batang-daun	3674,6 ton kal/ton
3. Kelobot	3620,6 ton kal/ton
Singkong	
1. Batang	3894,5 ton kal/ton
Kelapa Sawit	
1. Serabut	11,40 ton kal/ton
2. Tempurung	15,21 ton kal/ton
3. Tandan	3700 (k kal/kg)
Kelapa	
1. Sabut	4004,8 kkal
2. Tempurung	4128,9 kkal
Hasil Hutan	
1. Kayu	3992,6 ton kal/ton

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.1 Biomassa Sebagai Sumber Energi

Biomassa mengacu pada materi yang berasal dari tumbuhan, namun biomassa juga dapat bersumber dari hewan mikroorganisme. Terdapat dua jenis biomassa sebagai bahan untuk bioenergi [6]:

Biomassa mentah

Biomassa mentah adalah bahan yang berasal dari makhluk hidup yang tidak diproses, misalnya produk hasil industri hutan seperti kayu atau sisa logging yang tidak memiliki ekonomis untuk diproses menjadi produk jadi, produk-produk hasil pertanian seperti ubi, jagung, kelapa sawit, rumput, produk samping pertanian, seperti jerami, kulit padi, kulit jagung, sisa-sisa batang jagung, tongkol jagung, tandang kosong kelapa sawit, sabut kelapa, kotoran hewan ternak, dan produk-produk dari laut seperti alga dan ganggang [6].

Contoh pemanfaatan biomassa mentah menjadi sumber energi adalah briket atau pellet kayu. Pellet atau briket kayu berasal dari sisa-sisa industri kayu yang secara ekonomis tidak dapat dimanfaatkan, misalnya serbuk gergaji, chip dan kulit kayu. Pellet kayu dibuat dari campuran serbuk gergaji, chip dan kulit kayu yang dikeringkan dan diproses menjadi pellet berdiameter 6-8 mm. Pellet kayu atau serpihan kayu dapat digunakan sebagai bahan bakar utama pembangkit tenaga listrik. Pellet kayu digasifikasi menghasilkan syngas, lalu energi panas yang dihasilkan digunakan untuk menaikkan temperatur air menjadi uap panas, uap panas kemudian menggerakkan turbin sehingga menghasilkan daya listrik [6].

2. Biomassa bekas olahan

Biomassa bekas olahan adalah bahan turunan dari biomassa mentah yang telah mengalami perubahan yang berarti secara fisik dan secara kimia. Seperti kertas, produk-produk karet alam, residu/limbah dari pengolahan bahan pangan dan limbah minyak goreng bekas. Limbah yang didapat dari industri pulp adalah salah satu sumber biomassa yang potensial [6].

Lindi hitam (*black liquor*) yang dihasilkan dari industri pulp mempunyai kandungan panas (*heat content*) sebesar 11.759 juta Btu/short ton. Pellet kertas sebesar 13.029 juta Btu/short ton. Limbah padat perkotaan sebesar 9.945 juta Btu/shot ton. Ban kendaraan hasil industri karet alam mempunyai kandungan panas sebesar 26.865 juta Btu/shot ton. Minyak goreng bekas dapat disintesa menjadi biodiesel dan digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermesin diesel tanpa merubah kontruksi mesin [6].

2.2 Biorefinery

Biorefinery meliputi usaha yang dilakukan untuk mendapatkan produk-produk yang bersumber dari biomassa, baik berupa panas, *fuel*, atau turunan-turunan kimia lain yang dapat dari fraksinasi komponen-komponen yang ada dalam biomassa. Biomassa dapat digunakan langsung untuk menghasilkan panas, atau diubah terlebih dahulu kedalam bentuk *fuel* sebelum diubah menjadi panas. Fraksi-fraksi utama dalam biomassa berupa lignin, selulosa, hemiselulosa dan ekstraktif juga dapat diubah menjadi *fuel* atau produk-produk lainnya [6].

2.2.3 Biopower

Biopower atau biomassa power merupakan bentuk penggunaan biomassa untuk membangkitkan energi listrik. Biopower atau Biomassa power merupakan penggunaan biomassa untuk menghasilkan energi listrik baik melalui pembakaran langsung atau diubah terlebih dahulu menjadi bahan bakar gas atau minyak. 1 MWh energi listrik yang dihasilkan dari penggunaan biopower dapat menghindarkan emisi CO₂ sebesar 1 ton, hal ini membuat biopower menjadi hal yang menarik untuk diperbincangkan. Ada 5 jenis sistem biopower, yaitu pembakaran langsung (*direct fired*), co-firing, gasifikasi, penguraian anaerobik dan pirolisis [6].

1. *Direct – fired* (Pembakaran langsung)

Proses *Direct Fire* yaitu dengan membakar sumber biomassa secara langsung sehingga menghasilkan uap panas, uap panas kemudian menggerakkan turbin-generator untuk memproduksi energi listrik. Biomassa mengandung selulosa dan hemiselulosa (Holoselulosa), lignin dan ekstraktif yang mempunyai nilai panas yang cukup tinggi. Ekstraktif memiliki nilai panas yang cukup tinggi 13.896 Btu/lb, Hemiselulosa memiliki nilai panas 8.000 Btu/lb, sedangkan lignin mempunyai nilai panas 10.000 – 11.000 Btu/lb [6].

Untuk proses *Direct Fired*, biomassa terlebih dahulu harus dikeringkan, kemudian dikecilkan ukurannya untuk selanjutnya dijadikan briket (*pellet*). Pembriketan merupakan proses pensifikasi bahan organik lepas, seperti kopi, sekam padi dan serbuk gergaji. Melalui proses pembriketan akan meningkatkan karakteristik biomassa sebagai bahan bakar. Uap panas dari air yang diumpankan ke boiler diperoleh dari panas yang didapat dari pembakaran

biomassa (briket). Uap panas yang dihasilkan kemudian memutar roda turbin dan melalui suatu generator, putaran tersebut akan menghasilkan energi listrik. Pembriketan biomassa akan meningkatkan karakteristik penanganan biomassa, meningkatkan nilai kalori per satuan volume, mengurangi ongkos angkut dan membuat biomassa dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Pada beberapa industri, uap panas yang dihasilkan tidak hanya digunakan untuk menghasilkan listrik, tetapi juga digunakan untuk proses produksi penghangatan ruangan. Sehingga energi yang dihasilkan dari uap panas dapat dipergunakan lebih efisien. Industri yang menggunakan teknologi tersebut dinamakan *Combined heat and power (CHP) facility*, industri yang mengintegrasikan antara fasilitas panas dan energi [6].

Meskipun secara teknologi sangat memungkinkan untuk mengembangkan pembangkit listrikertenaga uap yang menggunakan biomassa sebagai bahan bakarnya, namun untuk efisiensi yang dihasilkannya sangat terbatas. Energi yang dihasilkan boiler biomassa hanya sekitar 20 – 50 MW, dibandingkan dengan energi yang dihasilkan boiler batubara yang mencapai 100 – 1500 MW. Meskipun ada teknologi yang mampu meningkatkan pembangkit uap berbasis biomassa hingga diatas 40%, namun efisiensi nyata yang dihasilkan dari pembangkit uap yang ada saat ini hanya berkisar 20% [6].

2. Co – firing

Co – firing adalah menggabungkan batubara dan biomassa sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi listrik, atau pembakaran dengan bahan bakar berbeda dalam satu boiler. Proses ini melibatkan biomassa yang menghasilkan energi antara 1% hingga 15%, sedangkan sisa energinya didapat dari batubara. Substitusi biomassa dalam sistem pembakaran yang menggunakan batubara dapat mengurangi emisi sulphur dioksida (SO_2), nitrogen oksida (NO_x) dan emisi gas lainnya. Energi yang terkandung dalam biomassa akan dikonversi menjadi energi listrik dengan efisiensi 33% hingga 37% dari pembangkit listrik berbahan batubara [6].

3. Pirolisis

Pirolisis adalah proses pengabuaan yang secara kimia terjadi dekomposisi bahan organik oleh panas tanpa kehadiran oksigen. Proses pirolisis dilakukan pada temperature 450 – 600°C atau jika dilakukan dalam reaktor bertekanan, pirolisis dilakukan pada suhu dibawah 430°C. Proses pirolisis biomassa akan menghasilkan uap-uap organik, gas-gas pirolisis dan

arang. Uap-uap organik lalu dikondensasikan menjadi membentuk bio-oil. Biasanya sekitar 60-75% bahan yang dipirolisis diubah menjadi minyak [6].

Biomassa dikecilkan ukurannya terlebih dahulu sebelum dimasukkan kedalam reaktor, sehingga ukurannya tidak lebih besar dari 14 mesh. Pirolisis cepat (*Flash pyrolysis*) dilakukan pada tekanan 101 kPa dan suhu 500°C. Setelah proses pirolisis selesai, dengan menggunakan alat pemisah yang berputar, arang padat dipisahkan dari cairan yang dihasilkan. Arang yang dihasilkan tersebut selanjutnya digunakan sebagai bahan bakar untuk memanaskan reaktor. Hasil pirolisis 1 kg biomassa yang berasal dari sampah perkotaan adalah 10% air, 20% arang (kandungan energi sekitar 4500 kkal/kg), 30% gas (kandungan energi sekitar 3570 kkal/m³), dan 40% minyak (kandungan energi sekitar 5950 kkal/kg) [6].

4. Gasifikasi Biomassa

Biomassa dengan air kurang dari 50% dapat dipanaskan dalam udara terbatas dan diubah menjadi gas (*syngas*) yaitu campuran antara gas karbon monoksida dan hydrogen. Syngas dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkitan energi listrik atau dapat juga dikonversi menjadi bentuk lain, seperti alkohol, hidrokarbon, eter atau produk kimia lainnya. Syngas harus dibersihkan terlebih dahulu secara menyeluruh sebelum masuk kedalam ruang bakar sebelum digunakan sebagai bahan bakar, hal ini karena syngas yang dihasilkan dapat menyebabkan karat pada mesin akibat senyawa kimia yang dikandungnya. Satu kilogram biomassa yang dikering anginkan dapat menghasilkan sekitar 2000 kkal gas yang telah bersih dan dapat membangkitkan 0,8 kWh daya listrik. Syngas sangat efisien untuk digunakan sebagai bahan bakar, sebab syngas dapat dengan Mudah bercampur dengan oksigen. Sebagaimana diketahui pembakaran adalah fungsi dari campuran antara oksigen dan hidrokarbon (minyak). Maka pembakaran akan lebih mudah terjadi bila bahan bakar yang digunakan dalam bentuk gas dibanding dengan bahan bakar dengan bentuk cair, apalagi dibanding dengan bahan bakar dalam bentuk padat. Sumber bahan mentah untuk mendapatkan syngas dapat berupa biomassa mentah atau dari limbah, misalnya limbah pabrik pulp dan kertas (*black liquor*) [6].

Walupun pirolisis dan gasifikasi disebut sebagai teknologi yang ramah lingkungan, namun sayangnya inecerator, pirolisis dan gasifikasi juga melepaskan polutan kelingkungan, yaitu [6]:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- Emisi udara termasuk gas-gas asam, dioksin dan furan, nitrogen oksida, sulphur dioksida, partikel-partikel, cadmium, merkuri, timah, dan hydrogen sulfida.
- Residu padat, meliputi abu mineral inert, senyawa-senyawa anorganik, sisa-sisa karbon. Residu padat ini dapat mencapai 8 – 15% dari volume biomassa yang digunakan.
- Emisi lain seperti air sisa, yang telah digunakan untuk perlakuan awal biomassa dan membersihkan gas yang dihasilkan.

Secara umum ada 3 bentuk fraksi yang terbentuk dalam pembakaran biomassa, yaitu abu bagian dasar, yang mengendap pada ruang bakar (panggangan), abu kasar yang melayang selama pembakaran, dan abu halus yang sebagian besar mengandung aerosol yang terbentuk selama pembakaran. Logam berat yang dapat menguap terlepas keudara selama pembakaran dan terakumulasi bersama abu yang melayang, selanjutnya terkondensasi atau bereaksi secara kimia dengan partikel lain yang melayang pada cerobong pembakaran. Abu dasar yang bercampur dengan abu kasar yang mengandung logam berat dapat menyebabkan polusi pada tanah [6].

5. Penguraian anaerobik

Penguraian anaerobik merupakan suatu proses biologi, dimana dalam proses pembusukan yang dilakukan oleh bakteri dan *archaea* metana akan dilepaskan, metana yang dihasilkan selanjutnya digunakan sebagai bahan bakar untuk membangkitkan energi listrik. Sebagai bahan baku untuk proses penguraian anaerobik, dapat digunakan limbah dari rumah tangga atau kotoran hewan ternak. Pada proses yang sederhana, kotoran ternak ditempatkan pada satu kantong dan di uraikan dengan bantuan air dan bakteri. Bakteri akan menguraikan bahan organik padat menjadi asam amino dan gula. Proses fermentasi dari bahan-bahan tersebut akan menghasilkan asam lemak yang menguap (*volatile fatty acids/VFAs*). VFAs melalui proses methanogenesis akan membentuk CO_2 , hidrogen dan asetat. Biogas tersebut merupakan campuran dari 55 – 70% metana, 25 – 35% karbon dioksida dan sebagian kecil lainnya berupa nitrogen dan hidrogen sulfida [6].

2.2.4 Bioenergi

Istilah bioenergi pada tulisan ini mengacu pada energi yang didapat dari bahan organik (biomassa). Pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi telah lama dilakukan. Dalam

Hak Cipta Ditamalkan UIN Suska Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Sejarah manusia ribuan tahun yang lalu, manusia membakar kayu untuk mendapatkan energi (anasa). Saat ini, kayu masih merupakan sumber energi terbesar yang bersumber dari bahan organik. Tetapi banyak sumber bahan organik lain selain kayu yang dapat digunakan untuk mendapatkan energi. Limbah atau produk samping hasil pertanian, limbah organik yang berasal dari pabrik pengolahan pulp dan kertas, limbah rumah tangga, limbah peternakan atau produk pertanian yang dapat dikonversi menjadi sumber energi merupakan sumber selain kayu yang dapat dimanfaatkan dan dikembangkan [6].

Mendapatkan energi dari biomasa dengan cara membakarnya secara langsung merupakan cara tradisional. Metode modern yang dilakukan untuk mendapatkan energi dari biomasa adalah dengan mengkonversi biomasa menjadi minyak dan listrik. Secara umum ada 3 produk yang dihasilkan dari bioenergi modern, yaitu: [6]

1. Bioetanol

Diproduksi melalui konversi produk pertanian, produk samping pertanian atau bahan organik lain yang mengandung pati, selulosa, hemiselulosa (senyawa karbohidrat). Etanol dapat digunakan sebagai bahan bakar yang dicampur dengan bensin. Etanol dapat dicampur dengan bensin hingga 24% tanpa mengubah konstruksi mesin motor. Penggunaan etanol sebagai campuran bahan bakar atau mungkin sebagai bahan bakar utama suatu saat nanti, dapat mengurangi efek rumah kaca, sebab pembakaran etanol dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca yang lebih sedikit dibanding dengan pembakaran minyak bensin. Berdasarkan *road map biofuel* pada *Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional, Indonesia menargetkan untuk mensubstitusi bensin dengan bioethanol (gasohol) sebanyak 2% pada tahun 2010, 3% tahun 2015 dan 5% tahun 2025 [6].

2. Biodiesel

Diproduksi melalui proses transesterifikasi senyawa trigliserida yang didapat dari minyak tumbuh-tumbuhan, seperti minyak kelapa sawit, kacang kedelai, jarak dan lain-lain. Atau dapat juga diproduksi dari proses transesterifikasi minyak jelantah. Ide penggunaan minyak nabati sebagai pengganti bahan bakar diesel didemonstrasikan pertama kalinya oleh Rudolph Diesel (\pm tahun 1900). Penelitian di bidang ini terus berkembang dengan memanfaatkan beragam lemak nabati dan hewani untuk mendapatkan bahan bakar hayati (*biofuel*) dan dapat diperbaharui (*renewable*). Puncak dari perkembangan ini yaitu

Hak Cipta Ditangguhkan UIN Suska Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

pertengahan tahun 80-an dengan ditemukannya alkil ester asam lemak yang memiliki karakteristik hampir sama dengan minyak diesel dari fosil yang dikenal dengan biodiesel. Biodiesel dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Target substitusi minyak solar dengan biodiesel untuk Indonesia hingga tahun 2025 sama dengan yang ditargetkan untuk Isohor [6].

Biogas

Dihasilkan melalui pembusukan bahan organik yang melibatkan beberapa bakteri tertentu. Proses pembusukan bahan organik tersebut akan melepaskan gas metana yang dapat digunakan sebagai bahan bakar. Selain dari pembusukan bahan organik padat, biogas juga dapat diproduksi dari limbah cair, misalnya limbah cair Pabrik Kelapa Sawit (PKS). Dari 600 – 700 kg limbah cair PKS dapat diproduksi sekitar 20 m³ biogas. Limbah cair PKS di Indonesia diperkirakan mencapai 37.633 juta ton (mengacu pada data produksi tahun 2004). Dari 37.633 juta ton limbah cair PKS dapat diproduksi biogas sebesar 1075 juta m³ (setara dengan 516 ribu ton LPG, 559 juta liter solar, 665,5 juta liter minyak tanah atau 5052,5 MWh), nilai kalor biogas rata-rata berkisar antar 4700-6000 kkal/m³ atau 20 – 24 MJ/m³ [6].

2.3 Kelebihan dan Kekurangan Biomassa

1. Kelebihan biomassa [22]

- Merupakan sumber energi terbarukan yang selalu ada.
- Meningkatkan kemandirian energi negara dan membantu mengurangi impor bahan bakar (biomassa dapat menekan penggunaan bahan bakar fosil seperti batubara, minyak dan gas alam).
- Penggunaan biomassa dari limbah dapat mengurangi polusi jauh lebih sedikit di dunia yaitu dengan mengkonversikan sampah atau limbah lain menjadi sumber energi yang berguna).
- Dapat membantu mengurangi tingkat total emisi gas rumah kaca dan penggunaan biomassa merupakan pilihan yang lebih ramah lingkungan jika dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar fosil.
- Biomassa merupakan teknologi energi terbarukan yang mampu memberikan hasil instan.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- Biomassa dapat ditemukan di semua negara yang di dunia.
- Biomassa udah dikonversi menjadi energi yang berguna dengan banyak teknologi yang berbeda.

Kelemahan biomassa [22]

- Kayu masih merupakan sumber biomassa utama di dunia dan terlalu banyak menggunakan kayu sebagai bahan bakar bisa mengakibatkan efek yang lebih buruk untuk iklim daripada bertahan dengan bahan bakar fosil.
- Menggunakan banyak lahan untuk biomassa dapat menyebabkan berkurangnya lahan untuk tanaman pangan yang dapat meningkatkan kelaparan di dunia.
- Banyak teknologi yang digunakan untuk mengkonversi biomassa menjadi bentuk energi yang berguna masih tidak cukup efisien dan membutuhkan biaya yang signifikan.
- Jika tanaman dibakar langsung, biomassa dapat menyebabkan tingkat polusi yang sama seperti bahan bakar fosil.
- Ketergantungan yang tinggi pada kayu.

2.4 Pengukuran Potensi Energi Biomassa

Metode dan pendekatan yang digunakan untuk mengukur potensi energi biomassa merujuk pada panduan yang dikembangkan oleh *Biomass Energy Europe*. Adapun penilaian tingkat potensi energi biomassa berdasarkan ketersediaan sumber daya biomassa, dilakukan dengan menggunakan metode statistik. Metode ini menggunakan data statistik berdasarkan penggunaan lahan, hasil panen, produksi tanaman, dan dari literatur. Data statistik kemudian dikombinasikan dengan faktor konversi, seperti hasil per ha, faktor residu ke tanaman (*residu to crop factor*), dan sebagainya. Faktor-faktor tersebut didasarkan pada penilaian/pendapat pakar, studi lapangan, atau tinjauan pustaka. Selain itu, asumsi dilakukan untuk menentukan bagian biomassa yang dapat digunakan untuk produksi energi, dengan mempertimbangkan kebutuhan penggunaan lahan untuk keperluan lain. Adapun potensi yang diukur berupa potensi energi teoritis [23].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2.4.1 Metode Statistik – Residu Perkebunan Primer

Residu pertanian primer dihitung dengan: [23]

$$THP_PAR = \sum(CA_i \times PA_i \times PtR_i \times AV_i) \quad (2.1)$$

Dimana:

THP_PAR : Residu pertkebunan primer (ton)
CAi : Area yang dibudidayakan untuk tanaman-I (ha)
PAi : Produksi pertanian untuk tanaman-I (ton/ha)
PtRi : Rasio produk-residu untuk tanaman-i
AVi : Ketersediaan residu untuk tanaman-i menurut sistem panen

Untuk mengkonversi potensi teoritis residu pertanian dari satuan ton ke satuan energi, dilakukan dengan perkalian potensi (dalam ton/tahun) dengan nilai kalor rendah dari residu tertentu (GJ/tonkering). Rasio produk residu menurut jenis tanaman (PtRi) adalah sebesar 1,757. Sedangkan ketersediaan residu untuk tanaman-i menurut sistem panen yang berlaku saat ini (AVi) diasumsikan = 1 [23].

2.4.2 Metode Statistik – Residu Perkebunan Sekunder

Residu pertanian sekunder (SAR) dihasilkan dan dikumpulkan dari perusahaan yang mengolah bagian tanaman pertanian yang dipanen untuk menghasilkan pangan/pakan. Di beberapa negara Eropa perusahaan wajib melaporkan volume dan cara pemanfaatan residu yang mereka hasilkan kepada badan statistik setempat. Namun, jika data statistik langsung tersebut tidak tersedia, metodologi untuk penilaian menggunakan persamaan berikut: [23]

$$P_{ti} = C_{ri} \times PtSR_i \quad (2.2)$$

Dimana:

Pti : Potensi teoritis dari residu perkebunan sekunder untuk tanaman i (ton/tahun)
Cri : Jumlah produksi tanaman-i (ton/tahun)
PtSRi : Rasio antara produk dan residu sekunder untuk tanaman-i (%)

2.5 Tanaman Kelapa

Tanaman kelapa disebut juga tanaman serbaguna, karena dari akar sampai ke daun kelapa bermanfaat, demikian juga dengan buahnya. Buah adalah bagian utama dari tanaman kelapa yang berperan sebagai bahan baku industri. Buah kelapa terdiri dari beberapa

Secara umum, kelapa terdiri atas tiga jenis, yaitu kelapa Dalam, kelapa Genjah, dan kelapa Hibrida. Ketiga jenis kelapa ini berbeda saat mulai berbuah, jumlah produksi buah, dan komposisi kimia buah. Faktor yang sangat mempengaruhi mutu bahan baku hasil samping kelapa adalah komposisi kimia buah. Kelapa Dalam kandungan selulosa, pentosa, lignin, dan arang, pada tempurung serta sabut lebih tinggi dari pada kelapa Genjah dan Hibrida, sedangkan kelapa Genjah dan Hibrida kadar abunya yang lebih tinggi. Kondisi ini menyebabkan untuk industri arang dan serat sabut mutu buah kelapa Dalam lebih baik dibandingkan dengan buah kelapa Genjah dan Hibrida. Untuk industri air kelapa ke tiga jenis kelapa ini tidak jauh berbeda [14].

Umur buah menunjukkan tingkat pertumbuhan buah kelapa, dimulai pada bulan ketiga, berat buah maksimum dicapai pada bulan ke tujuh, sedangkan volume pada bulan ke delapan. Tempurung terbentuk pada bulan ke tiga dan mencapai maksimum pada bulan ke sembilan. Daging buah mulai terlihat pada bulan ketujuh dan mencapai berat maksimum pada bulan ke duabelas. Pada bulan ke tujuh pada saat berat buah maksimum proporsi komponen buah terdiri atas 62% sabut, 7% tempurung, 1% daging buah, sisanya adalah air. Pada saat panen (12 bulan), proporsi berat basah sabut 56%, tempurung 17%, daging buah 27%; proporsi berat kering sabut 42%, tempurung 28%, dan daging buah 30%. Mutu tertinggi dari produk hasil samping akan tercapai pada saat umur buah 13 bulan terkecuali untuk *nata de coco*, pada umur demikian pertumbuhan buah sudah berhenti, kadar air pada sabut sudah turun dan kandungan abu juga rendah. Sedangkan untuk *nata de coco* pada umur 13 bulan kandungan minyak pada air kelapa mulai meningkat yang menyebabkan rendahnya mutu *nata de coco*. [14]

5.1 Produk Hasil Samping Buah Kelapa

1. Produk Dari Sabut

Satu buah kelapa menghasilkan 0,4 kg sabut kelapa dengan kandungan 30% serat, sabut kelapa merupakan bagian yang membungkus tempurung kelapa dengan ketebalan sabut kelapa sekitar berkisar 5 sampai 6 cm dan terletak dibagian paling luar dari buah kelapa. Sabut kelapa terdiri atas lapisan *exocarpium*/lapisan luar dan *endocarpium*/lapisan dalam. Komposisi kimia sabut kelapa terdiri dari lignin, selulosa, pyroligneous, acid, gas, arang, tanin, ter dan potasium. Lapisan dalam mengandung serat-serat halus yang dapat digunakan sebagai bahan pembuat tali, karpet, sikat, isolator panas dan suara, pulp, karung, filter, pengisi jok kursi mobil dan papan *hardboard* [14].

Produk primer dari pengolahan sabut kelapa terdiri atas serat panjang, serat halus dan pendek (*bristle*), serta debu abut. Serat dapat diproses menjadi serat berkaret, matras, geotextile, karpet, dan produk-produk industri atau kerajinan rumah tangga. Serat berkaret dan matras banyak digunakan dalam industri kasur, jok, dan pelapis panas. Debu sabut dapat diproses jadi *cocopeat* dan kompos, dan *particle board/hardboard*. *Cocopeat* digunakan sebagai substitusi gambut alam untuk industri bunga dan pelapis lapangan golf. Di samping itu, *hardboard* dapat diolah dari *bristle* [14].

2. Produk Dari Tempurung

Berat dan tebal tempurung sangat ditentukan oleh jenis tanaman kelapa. Kelapa Dalam mempunyai tempurung yang lebih berat dan tebal daripada kelapa Hibrida dan kelapa Genjah. Tempurung beratnya sekitar 15-19% bobot buah kelapa dengan ketebalan 3-5 mm. Komposisi kimia tempurung terdiri atas; Selulosa 26,60%, Pentosan 27,70%, Lignin 29,40%, Abu 0,60%, Solven ekstrakatif 4,20%, Uronat anhidrat 3,50%, Nitrogen 0,11%, dan air 8,00% [14].

Pada awalnya tempurung kelapa hanya digunakan sebagai bahan bakar, namun saat ini telah menjadi bahan baku industri yang cukup penting. Tempurung dapat diolah untuk menghasilkan produk seperti arang, arang aktif, barang kerajinan dan tempung tempurung. Arang aktif dari tempurung kelapa memiliki daya saing yang kuat karena kualitasnya yang tinggi dan termasuk sumber daya yang terbarukan. Selain digunakan dalam industri farmasi, pertambangan, dan penjernihan, arang aktif juga digunakan untuk penyaring atau penjernih ruangan untuk menyerap polusi dan bau tidak sedap dalam ruangan [14].

3. Produk Dari Air Kelapa

Hak Cipta Ditangguhkan UIN Suska Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Volume air yang terdapat pada kelapa Dalam sekitar 300 ml, kelapa Hibrida 230 ml, dan kelapa Genjah 150 ml. Air kelapa diolah untuk pembuatan produk minuman ringan, ragi, gula, alkohol, nata de coco, dextran, anggur, cuka, ethyl acetat, dan sebagainya. Komposisi kimia air kelapa adalah; specific gravity 1,02%, bahan padat 4,71%, gula 2,56%, abu 0,46%, lemak 0,74%, protein 0,55%, dan senyawa khlorida 0,17%. [14]

Air kelapa yang dapat diolah untuk menghasilkan produk yang memiliki nilai ekonomi seperti minuman ringan, nata de coco dan cuka. Selain sebagai makanan berserat, nata de coco juga dapat digunakan dalam industri akustik. Pada saat ini nata de coco yang telah berkembang mulai dari skala industri rumah tangga hingga industri besar [14].

2.6 Perpindahan Panas (*Heat Transfer*)

Perpindahan panas (*heat transfer*) merupakan proses perpindahan panas dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah. Ada 3 cara perpindahan panas: [25]

1. Konduksi

Perpindahan panas dari benda yang lebih panas ke benda yang kurang panas melalui sentuhan (kontak), atau dikatakan konduksi adalah perpindahan atau penyebaran panas di dalam suatu objek atau dari suatu ke objek lainnya karena kontak (sentuhan) langsung, melalui medium perantara. Dalam hal ini objek tidak berpindah melainkan hanya panasnya saja. Arus perpindahan panas melalui konduksi pada suatu benda dipengaruhi oleh luas benda atau objek yang tegak lurus pada arah perpindahan panas, ketebalan objek atau jarak antar objek, perbedaan temperature antara dua titik yang di ukur (umunya antara temperatur diluar bangunan dan didalam bangunan).

2. Konveksi

Perpindahan panas konveksi (*convection heat transfer*) adalah Perpindahan panas melalui perantara udara atau zat alir lainnya.

3. Radiasi

Perpindahan panas dengan radiasi yaitu perpindahan panas dari benda yang lebih panas ke benda yang kurang panas melalui pancaran.

7 Termodinamika

Termodinamika ialah ilmu yang mempelajari hubungan antara panas dan usaha (kerja), serta sifat-sifat yang mendukung hubungan tersebut. Dapat pula dikatakan bahwa termodinamika mempelajari energi dan transformasinya [26]. Seperti telah diketahui bahwa energi didalam alam dapat terwujud dalam berbagai bentuk, selain energi panas dan kerja, yaitu energi kimia, energi listrik, energi nuklir, energi gelombang elektromagnetik, energi akrobat magnet, dan lain-lain [26]. Energi dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk lain, baik secara alami maupun hasil rekayasa teknologi, selain itu energi di alam semesta bersifat kekal, tidak dapat dibangkitkan atau dihilangkan, yang terjadi adalah perubahan energi dari satu bentuk menjadi bentuk lain tanpa ada pengurangan atau penambahan. Prinsip ini disebut sebagai prinsip konservasi atau kekekalan energi [26].

Prinsip termodinamika diatas sebenarnya telah terjadi secara alami dalam kehidupan sehari-hari. Bumi setiap hari menerima energi gelombang elektromagnetik dari matahari, dan di bumi energi tersebut berubah menjadi energi panas, energi angin, gelombang laut, proses pertumbuhan berbagai tumbuh-tumbuhan dan banyak proses alam lainnya [25]. Proses didalam diri manusia juga merupakan proses konversi energi yang kompleks, dari input energi kimia dalam makanan menjadi energi gerak berupa berbagai kegiatan fisik manusia, serta energi yang sangat bernilai yaitu energi pikiran [26].

Prinsip alamiah dalam berbagai proses termodinamika direkayasa menjadi berbagai bentuk mekanisme untuk membantu manusia dalam menjalankan kegiatannya dengan memanfaatkan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Mesin konversi energi merupakan mesin energi kimia dalam bahan bakar atau sumber energi lain menjadi energi mekanik dalam bentuk gerak atau perpindahan diatas permukaan bumi, contohnya adalah mesin-mesin transportasi darat, laut, maupun udara hingga sampai di luar angkasa. Pabrik-pabrik dapat memproduksi berbagai jenis barang, digerakkan oleh mesin pembangkit energi listrik yang menggunakan prinsip konversi energi panas dan kerja. Untuk kenyamanan hidup, kita memanfaatkan mesin air conditioning/AC, refrigerator dan mesin panas yang menggunakan prinsip dasar termodinamika [26].

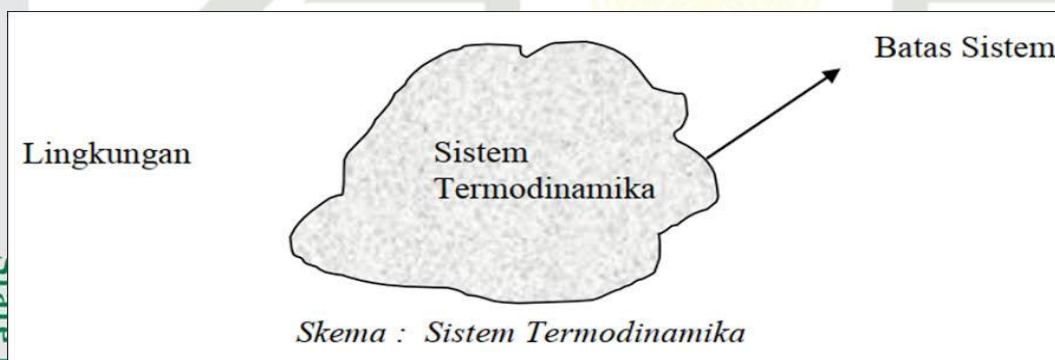
Sejak abad 17, perkembangan ilmu termodinamika telah memungkinkan untuk diaplikasikan yang dipelopori dengan penemuan mesin uap di Inggris, dan pada abad ke 19 diikuti oleh para ilmuwan termodinamika seperti Willian Rankine, Rudolph Clausius, dan

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Rd Kelvin. Pendekatan makroskopik merupakan awal pengembangan ilmu termodinamika, yang disebut pendekatan termodinamika klasik, yaitu sifat termodinamis didekati dari perilaku umum partikel-partikel zat yang menjadi media pembawa energi. Pendekatan tentang termodinamis suatu zat berdasarkan perilaku kumpulan partikel-partikel disebut pendekatan mikroskopis yang merupakan perkembangan ilmu termodinamika modern, atau disebut termodinamika statistik [26].

2.1 Sistem, Lingkungan dan Proses dalam Termodinamika

Sistem adalah sejumlah zat yang dibatasi oleh dinding tertutup. Yang dimaksud dengan zat disini bisa berupa zat padat, cair atau gas, dapat pula dwikutub magnet, tenaga radiasi, foton dan lain-lain. Dinding yang membatasi sistem itu bisa nyata atau khayal, lagi pula bersama dengan sistem yang dibatasinya, tidak perlu mempunyai bentuk yang tetap. Gambar 2.1 menggambarkan bagaimana hubungan antara Sistem dan lingkungan [25].



Gambar 2.1 Skema Sistem Termodinamika [25]

Lingkungan dari suatu sistem adalah semua sistem lain yang dapat bertukar tenaga dengan sistem tersebut. Suatu sistem bersama dengan lingkungannya disebut dunia (*Universe*). Suatu sistem disebut terisolasi bila tak terjadi pertukaran tenaga dengan lingkungannya. Suatu sistem disebut tertutup bila tak ada zat yang menembus dinding batasnya keluar atau masuk kedalam sistem tersebut. Sebaliknya dari keadaan ini disebut terbuka [25].

Terdapat dua jenis sistem termodinamika, yaitu sistem tertutup dan sistem terbuka. Dalam sistem tertutup tidak ada massa keluar dari sistem atau masuk kedalam sistem dan massa dari sistem yang dianalisis tetap, tetapi volumenya bisa berubah. Energi dalam bentuk panas atau kerja adalah energi yang dapat keluar masuk sistem tertutup. Contoh sistem

Sistem tertutup adalah suatu balon udara yang dipanaskan, dimana massa udara didalam balon tetap, tetapi volumenya berubah, dan energi panas masuk kedalam massa udara didalam balon [25].

Energi dan massa dapat keluar sistem atau masuk ke dalam sistem melewati batas sistem dalam sistem terbuka. Mesin- mesin konversi energi masih didominasi oleh sistem terbuka. Sistem mesin motor bakar adalah ruang didalam silinder mesin, dimana campuran bahan bakar dan udara masuk kedalam silinder, dan gas buang keluar sistem melalui knalpot. Dalam sistem terbuka, energi dan massa keluar masuk secara simultan. Contoh sistem termodinamika terbuka turbin gas, turbin uap, pesawat jet dan lain-lain [25].

Properti dari sistem merupakan karakteristik yang menentukan sifat dari sistem, seperti temperatur (T), tekanan (P), massa (m), volume (V), konduksi panas, viskositas dan lain-lain. Selain itu ada juga properti yang didefinisikan dari properti yang lainnya seperti, berat jenis, volume spesifik, panas jenis, dan lain-lain [25].

Apabila masing-masing jenis properti sistem dapat diukur pada semua bagiannya dan tidak berbeda nilainya maka sistem tersebut dapat berada pada suatu kondisi yang tidak berubah. Kondisi ini dinyatakan sebagai keadaan (state) tertentu dari sistem, dimana sistem mempunyai nilai properti yang tetap. Keadaan suatu sistem disebut mengalami perubahan keadaan apabila propertinya berubah. Sedangkan sistem dikatakan dalam keadaan seimbang jika suatu sistem tidak mengalami perubahan keadaan [25].

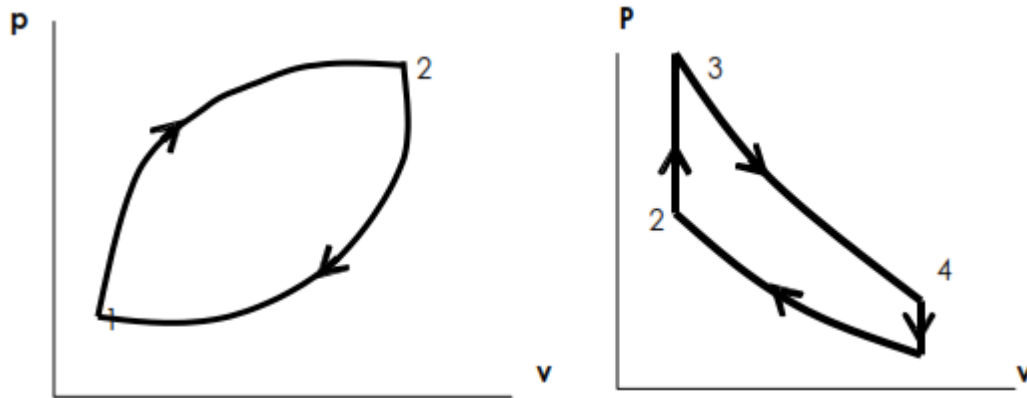
Proses merupakan perubahan sistem termodinamika dari keadaan seimbang satu menjadi keadaan seimbang lain, sedangkan lintasan proses adalah rangkaian keadaan diantara keadaan awal dan akhir. Seperti terlihat pada Gambar 2.1 [25].



Gambar 2.2 Proses dari keadaan 1 ke keadaan 2 [25]

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

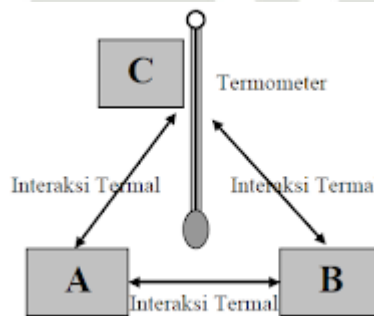
Apabila sistem tersebut menjalani rangkaian beberapa proses, dengan keadaan akhir sistem kembali ke keadaan awalnya, maka sistem tersebut dikatakan menjalani suatu siklus. Pada Gambar 2.2 terlihat suatu siklus terdiri dari 2 dan 4 jenis proses [25].



Gambar 2.3 Diagram Siklus Termodinamika [25]

2.2 Hukum ke 0 Termodinamika

Hukum ke 0 termodinamika menyatakan bahwa apabila dua benda mempunyai kesamaan suhu dengan benda ketiga, maka ketiga benda tersebut memiliki suhu yang sama. Dengan kata lain apabila benda A dan B secara terpisah dalam keadaan seimbang termal dengan benda benda C, maka A dan B satu dengan yang lain juga berada pada kondisi keadaan seimbang termal seperti pada gambar 2.4 [26]



Gambar 2.4 Hukum ke 0 Termodinamika [26]

Tampaknya hal ini sudah jelas benar, sebab kita sudah mengenalnya dalam eksperimen. Namun oleh karena kenyataan ini tak dapat dijabarkan dari hukum lain dan dalam presentasi termodinamika yang nalar hal ini mendahului hukum pertama dan kedua, maka

namakanlah hukum ini hukum ke nol. Hukum ini merupakan dasar untuk pengukuran suhu [26].

Hukum ke I Termodinamika

Hukum pertama dapat dinyatakan secara sederhana yaitu selama interaksi antara sistem dan lingkungan, jumlah energi yang diperoleh sistem harus sama dengan energi yang dilepaskan oleh lingkungan. Hukum termodinamika pertama menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan tetapi hanya dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain (kekalan energi), prinsip ini juga dikenal dengan istilah konservasi energi [26].

Energi dapat melewati batas dari suatu sistem melalui 3 bentuk yaitu: panas (*heat*), kerja (*work*) dan Aliran massa (*mass flow*). Perpindahan energi hanya terjadi dalam bentuk panas dan kerja pada sistem tertutup [26].

2.7.3.1 Panas

Bentuk energi yang dapat berpindah dari sistem ke lingkungan (dua sistem) didefinisikan sebagai panas/*heat* dengan sifat perbedaan temperatur. *Heat*/panas merupakan sebuah energi dalam keadaan transisi, panas dikenali jika hanya melewati batas sistem sehingga dalam termodinamika panas (*heat*) sering disebut dengan transfer panas (*heat transfer*) [26].

Proses adiabatik adalah suatu proses jika tidak terjadi perpindahan panas. Proses adiabatik dapat terjadi melalui dua cara: Pertama, jika tidak ada energi panas yang keluar karena sistem terisolasi secara sempurna. Kedua, antara sistem dan lingkungan berada pada temperatur yang sama sehingga tidak terjadi aliran panas karena perbedaan temperatur [26].

Panas memiliki arah dan jumlah. Kesepakatan tanda dari suatu konvensi digunakan untuk menandai arah dari panas yaitu sebagai berikut: Heat transfer bertanda positif (+) jika menuju sistem, dan bertanda negatif (-) jika keluar sistem [26].

2.7.3.2 Kerja

Seperti halnya panas, Kerja (*work*) adalah suatu bentuk interaksi antara sistem dan lingkungan. Seperti pada penjelasan sebelumnya, bahwa jika suatu energi dapat melintasi batas sistem adalah bukan panas dapat dipastikan bahwa bentuk energi tersebut adalah kerja.

Lebih detail transfer energi yang berhubungan dengan gaya yang menempuh sebuah jarak dapat dikatakan sebagai kerja [26].

Power merupakan kerja per unit waktu dengan simbol W , satuan poer adalah kJ/s, atau W. Sama sepeti panas, kerja/work mempunyai tanda konvensi. Positif (+) berarti kerja yang dilakukan sistem sedangkan bertanda negatif (-) berarti sistem dikenai kerja [26].

7.3.3 Aliran Massa

Mekanisme energi tambahan dalam sebuah sistem dalakukan oleh aliran massa. Ketika sistem dimasuki oleh massa, maka energi yang terdapat dalam massa akan menambah energi dalam sistem dan begitupun sebaliknya ketika keluar, energi dalam sistem akan dibawa oleh massa. Hukum termodinamika pertama untuk sebuah siklus tertutup dipresentasikan melalui persamaan umum sebagai berikut: [26]

“Perubahan dari total energi bersih di dalam sistem selama proses adalah sama dengan total energi yang masuk ke sistem dikurangi total energi yang keluar sistem selama proses”.

Energi total E dari sistem terbagi dari tiga bagian: energi dalam (U), energi potensial (PE) dan energi kinetik (KE). Sistem stationer hampir ditemukan pada semua sistem tertutup, yang umumnya selama proses tidak melibatkan perubahan ketinggian dan kecepatan. Perubahan energi kinetik dan energi potensial dapat diabaikan untuk sistem tertutup yang stationer. Sehingga hukum termodinamika pertama dapat direduksi menjadi: [26]

2.4 Hukum ke II Termodinamika

Pada pembahasan sebelumnya mengenai Hukum termodinamika I yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan malainkan hanya dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Pernyataan tersebut juga di kenal sebagai istilah konservasi energi, konservasi energi berlaku untuk sistem terbuka dan tertutup [26]. Entropi terkait dengan Hukum ke II Termodinamika. Hukum II termodinamika menyatakan seiring dengan meningkatnya waktu, mendekati nilai maksimumnya maka total entropi dari suatu sistem termodinamika terisolasi cenderung untuk meningkat [26].

Kegunaan hukum termodinamika II juga bisa untuk mengetahui kualitas energi (hukum I berhubungan dengan kuantitas energi dan perubahan bentuk energi tanpa mamandang kualitas

energi), menentukan batas toeritis unjuk kerja suatu sistem dan memperkirakan kelangsungan aksi kimia (*degree of completion of chemical reaction*) tidak terbatas hanya pada mengidentifikasi arah dari suatu proses [26].

2.7.4.1 Reservoir Energi Panas (*Thermal Energy Reservoirs*)

Perlu diketahui istilah reservoir energi panas (*Thermal Energy Reservoir*) atau lebih umum disebut dengan reservoir sebelum membahas mengenai hukum termodinamika ke II. Contoh dari benda/zat besar yang disebut reservoir adalah samudera, danau dan sungai untuk benda besar berwujud air dan atmosfer untuk benda besar berwujud udara. Reservoir adalah suatu benda/zat yang mempunyai kapasitas energi panas (massa x panas jenis) yang besar. Dengan kata lain reservoir dapat menyerap/menyuplai sejumlah panas yang tidak terbatas tanpa mengalami perubahan temperatur [26].

Suatu Reservoir juga dapat dimodelkan pada sistem dua-fasa, karena tanpa mengalami perubahan temperatur sistem dua -fasa dapat menyerap dan melepaskan panas. Saat pengaplikasian, ukuran sebuah reservoir menjadi relatif. Misalnya, sebuah ruangan dapat disebut sebagai sebuah reservoir dalam suatu analisa panas yang dilepaskan oleh pesawat televisi. Reservoir yang menyuplai energi disebut dengan *source* dan reservoir yang menyerap energi disebut dengan *sink* [26].

2.7.4.2 Mesin Kalor

Seperti kita ketahui panas dapat diperoleh dari kerja. Seperti misalnya pengaduk air. Temperatur akan naik ketika poros pada pengaduk diberikan kerja. Tetapi sebaliknya, poros tidak akan berputar jika kita memberikan panas pada air. Atau dengan kata lain kerja (poros) tidak akan tercipta jika memberikan panas pada air. Oleh karena itu dari uraian tersebut, diperlukan sebuah alat bantu yang dinamakan dengan mesin kalor (*heat engines*) untuk mengkonversi panas menjadi kerja [26].

Ciri-ciri dari sebuah mesin kalor adalah sebagai berikut: [26]

1. Mesin kalor menerima panas dari sumber bertemperatur tinggi (reaktor nuklir, energi matahari, furnace bahan bakar, dan sebagainya)
2. Kerja dikonversi dari sebagian panas dimesin kalor (biasanya dalam bentuk putaran poros)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

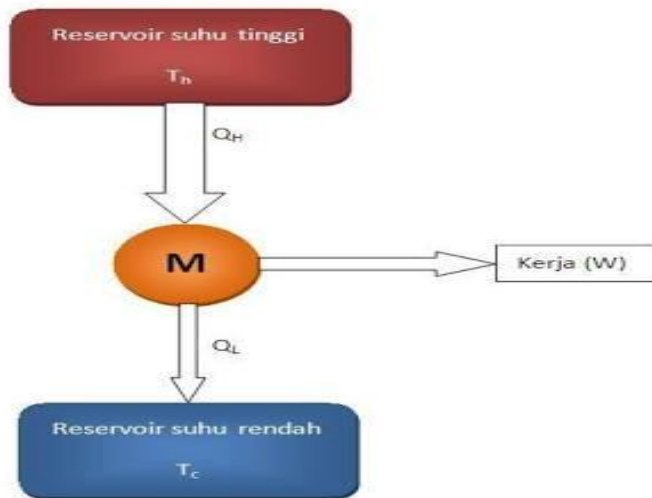
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- Sisa panas dibuang ke sink bertemperatur rendah oleh Mesin kalor
- Mesin kalor bekerja dalam sebuah siklus

Berdasarkan ciri-ciri di atas, motor bakar dan turbin gas sebenarnya tidak termasuk dalam sebagai sebuah mesin kalor, karena siklus termodinamika tidak terjadi secara lengkap pada fluida kerja dari motor bakar dan turbin gas [26].

Pembangkit listrik tenaga air merupakan sebuah alat produksi kerja yang paling tepat mewakili definisi dari mesin kalor, yang merupakan mesin pembakaran luar dimana fluida kerja mengalami siklus termodinamika yang lengkap [26].



Gambar 2.5 Sistem kerja Mesin Kalor [26]

2.7.4.3 Efisiensi Termal (*Thermal Efficiency*)

Untuk mengukur unjuk kerja dari suatu mesin kalor maka digunakan Efisiensi termal, yaitu output kerja bersih diperoleh dari berapa bagian dari input panas. Untuk mesin kalor, input yang diperlukan adalah jumlah panas yang disuplai ke fluida kerja dan output yang diinginkan adalah output kerja bersih. Dalam peralatan-peralatan praktis, seperti mesin kalor, mesin pendingin dan pompa kalor umumnya dioperasikan antara sebuah media bertemperatur tinggi pada temperatur T_H dan sebuah media bertemperatur rendah pada temperatur T_L [26].

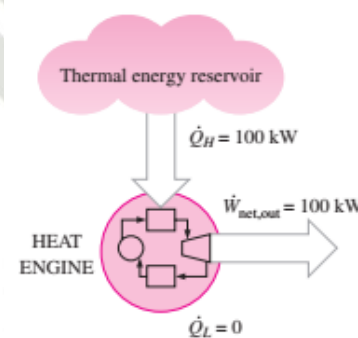
2.7.4.4 Hukum Termodinamika Ke II: Pernyataan Kelvin-Plank

Berdasarkan karakteristik dari sebuah mesin kalor, maka tidak ada sebuah mesin kalor yang dapat mengubah semua panas yang diterima dan kemudian mengubahnya semua menjadi kerja. Kelvin-Plank menyebutkan bahwa keterbatasan tersebut dalam sebuah pernyataan yang berbunyi:

“Adalah tidak mungkin untuk sebuah alat/mesin yang beroperasi dalam sebuah siklus yang menerima panas dari sebuah re servoir tunggal dan memproduksi sejumlah kerja bersih”

[26].

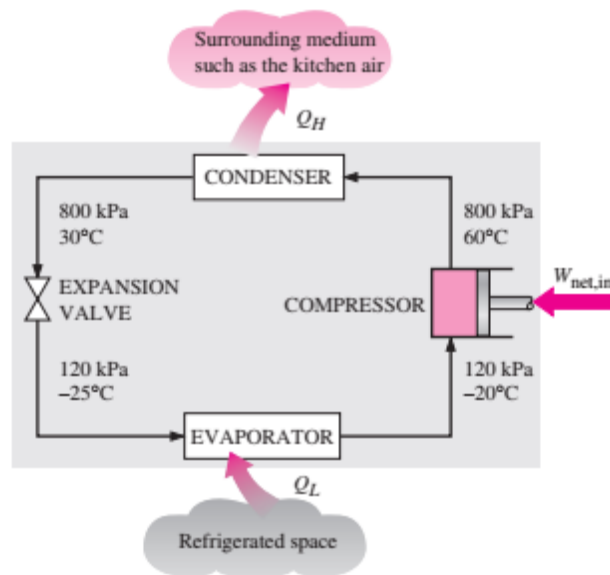
Pernyataan Kelvin -Plank (hanya diperuntuk untuk mesin kalor) diatas dapat juga diartikan sebagai tidak ada sebuah mesin/alat yang bekerja dalam sebuah siklus menerima panas dari reservoir bertemperatur tinggi dan mengubah seluruh panas tersebut menjadi kerja bersih. Atau dengan kata lain tidak ada sebuah mesin kalor yang mempunyai efisiensi 100%. Ketidakmungkinan efisiensi 100% adalah bukan karena adanya friksi, atau kehilangan-kehilangan lainnya, melainkan karena keterbatasan yang terjadi antara mesin kalor yang ideal dan aktual [26].



Gambar 2.6 Hukum Termodinamika kedua menurut Kelvin-Plank [26]

2.7.4.5 Mesin Pendingin Dan Pompa Kalor (*Refrigerators and Heat Pumps*)

Sama seperti mesin kalor, mesin pendingin adalah sebuah alat siklus. *Refrigerant* merupakan Fluida kerja pada sebuah mesin pendingin. Daur refrigerasi kompresi-uap yang melibatkan empat komponen: kondensor, kompresor, katup ekspansi dan evaporator merupakan siklus refrigerasi yang paling banyak digunakan adalah (Gambar 2.7) [26].



Gambar 2.7 Bagian-bagian mesin pendingin [26]

Refrigerant dalam bentuk uap dikompres ke tekanan kondensor ketika memasuki kompresor. Pada temperatur yang relatif tinggi *Refrigerant* meninggalkan kompresor dan kemudian didinginkan dan membuang panasnya ke lingkungan saat mengalami kondensasi dikondensor. Karena efek *throttling*, tekanan *refrigerant* turun drastis saat memasuki tabung kapilar. Dengan temperatur yang rendah, *refrigerant* kemudian memasuki evaporator, dimana disini *refrigerant* menyerap panas dari ruang refrigerasi dan kemudian *refrigerant* kembali memasuki kompresor. *coefficient of performance* (COP) merupakan istilah Efisiensi refrigerator, yang disimbolkan dengan COP_R . [26]

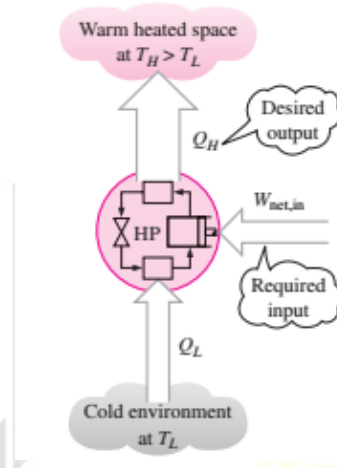
Perlu diketahui bahwa harga dari COP_R dapat berharga lebih dari satu, karena jumlah panas yang diserap dari ruang refrigerasi dapat lebih besar dari jumlah input kerja. Hal tersebut kontras dengan efisiensi termal yang selalu kurang dari satu. Salah satu alasan penggunaan *coefficient of performance* lebih disukai untuk menghindari kerancuan dengan istilah efisiensi, karena COP dari mesin pendingin lebih besar dari satu [26].

2.7.4.6 Pompa Kalor

Pompa kalor adalah suatu alat yang mentransfer panas dari media yang bersuhu rendah ke media yang bersuhu tinggi. Mesin pendingin bertujuan untuk menjaga agar ruang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

refrigerasi tetap dingin dengan menyerap panas dari ruang tersebut. Namun sebaliknya, pompa kalor bertujuan untuk menjaga ruangan tetap bertemperatur tinggi. Proses pemberian panas ruangan tersebut disertai dengan menyerap panas dari sumber yang bersuhu rendah [26].



Gambar 2.8 Sistem pada Pompa Kalor [26]

Coefficient of performance (COP) merupakan istilah dari efisiensi pompa kalor yang disimbolkan dengan COP_{HP} [26].

Air conditioner pada dasarnya adalah sebuah mesin pendingin, tetapi *Air conditioner* disini mendinginkan ruang atau gedung atau yang lainnya. Bukan mendinginkan ruang refrigerasi [26].

2.7.4.7 Hukum Termodinamika Ke II: Pernyataan Clausius

Pernyataan Kelvin-Planck pada Hukum ke II Termodinamika khusus membahas mesin kalor, sedangkan Pernyataan Clausius khusus membahas pompa kalor. Pernyataan Clausius dalam Hukum ke II Termodinamika adalah:

“Adalah tidak mungkin membuat sebuah alat yang beroperasi dalam sebuah siklus tanpa adanya efek dari luar untuk mentransfer panas dari media bertemperatur rendah ke media bertemperatur tinggi” [26].

Seperti yang telah diketahui bahwa panas akan berpindah dari sesuatu bersuhu tinggi ke sesuatu yang bersuhu rendah. Pernyataan Clausius tidak mengartikan bahwa suhu dapat berpindah dari sesuatu yang bersuhu rendah ke suhu yang lebih tinggi. Kecuali terdapat suatu

Kompresor yang mendapat suplai energi listrik dari luar, hal tersebut mungkin dapat untuk diciptakan [26].

Hukum ke III Termodinamika

Hukum ketiga termodinamika membahas tentang temperatur/suhu nol absolut. Hukum III ini menyatakan bahwa entropi sistem akan mendekati nilai minimum dan semua proses akan berhenti pada saat suatu sistem mencapai temperatur nol absolut. Hukum ini juga menyatakan bahwa temperatur nol absolut bernilai nol pada saat entropi benda berstruktur kristal sempurna [26].

2.7.5.1 Konservasi Massa untuk *Control Volume* (CV)

CV adalah volume dalam ruang (daerah) yang diselidiki yang dibatasi oleh permukaan atur. Ukuran dan bentuk volume atur dapat kita pilih sebarang dan didefinisikan berdasarkan pada kebutuhan analisis. Tetapi yang lazim ditemui adalah volume atur yang bentuk dan ukurannya tetap dan kedudukannya tetap terhadap suatu sumbu acuan. Pada ujung-ujung terbuka permukaan batasnya imajiner, sehingga masa, kalor, dan usaha dapat mengalir melalui permukaan atur [27].

Pada gambar 2.9 diperkenalkan prinsip kekekalan massa dalam volume atur. Gambar 2.9 terdapat aliran massa masuk dan keluar dari volume atur sehingga meningkatkan massa netto dalam volume atur. Selama selang waktu Δt , massa Δm_i masuk kedalam volume atur dan massa Δm_o meninggalkan volume atur. Jika massa dalam volume atur pada waktu t adalah $m(t)$ dan massa dalam volume atur setelah selang waktu $t + \Delta t$ adalah $m(t + \Delta t)$, menurut hukum kekekalan massa [27]:

$$\begin{aligned} m(t) + \Delta m_i &= m(t + \Delta t) + (\Delta m_o) \\ \Delta m_i - \Delta m_o &= m(t + \Delta t) - m(t) \end{aligned} \quad (2.3)$$

Persamaan 2.7 menyatakan bahwa aliran massa netto masuk volume atur selama selang waktu Δt sama dengan kenaikan massa dalam volume atur selama selang waktu Δt , atau [27]

$$[m(t + \Delta t) - m(t)] - (\Delta m_i - \Delta m_o) = 0 \quad (2.4)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Untuk menyatakan laju perubahan massa dalam volume atur dalam selang waktu Δt , persamaan 2.8 dibagi dengan Δt dan laju massa purata dari aliran melintas permukaan atur selama selang waktu Δt , [27]

$$\frac{m(t+\Delta t)-m(t)}{\Delta t} + \frac{\Delta m_0}{\Delta t} - \frac{\Delta m_i}{\Delta t} = 0 \quad (2.5)$$

$\frac{dm_{cv}}{dt}$ adalah laju perubahan massa yang berada dalam volume atur pada waktu t . \dot{m}_i dan \dot{m}_0 menyatakan laju aliran massa sesaat pada sisi masuk dan sisi keluar. Ketika Δt mendekati nol, persamaan 2.9 menjadi: [27]

$$\frac{dm_{cv}}{dt} = \dot{m}_i - \dot{m}_0 \quad (2.6)$$

Apabila terdapat beberapa aliran massa masuk dan aliran massa keluar, secara umum persamaan 2.10 dituliskan sebagai: [27]

$$\frac{dm_{cv}}{dt} = \sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_0 \quad (2.7)$$

Persamaan 2.11 disebut sebagai neraca laju massa untuk volume atur dengan beberapa sisi masuk dan sisi keluar. Secara lisan dikatakan: [27]

Laju waktu perubahan massa yang terdapat didalam volume atur pada saat t	Laju aliran massa total yang melintasi semua sisi masuk pada saat t	Laju aliran massa keluar total yang melintasi semua sisi keluar
	+	=

Kita tinjau aliran massa yang melintasi permukaan atur satu dimensi. Untuk penyederhanaan kita andaikan (a) zat alir mengalir secara seragam sepanjang pipa, (b) aliran tegak lurus permukaan atur dimana aliran tersebut masuk dan keluar ke dan dari volume atur, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10 [27].

Jika sejumlah massa Δm melintasi permukaan A selama selang waktu Δt dan zat alir berpindah sejauh Δx , volume zat alir yang melintasi permukaan A adalah $A\Delta x$. Jumlah massa yang melintasi permukaan A adalah: [27]

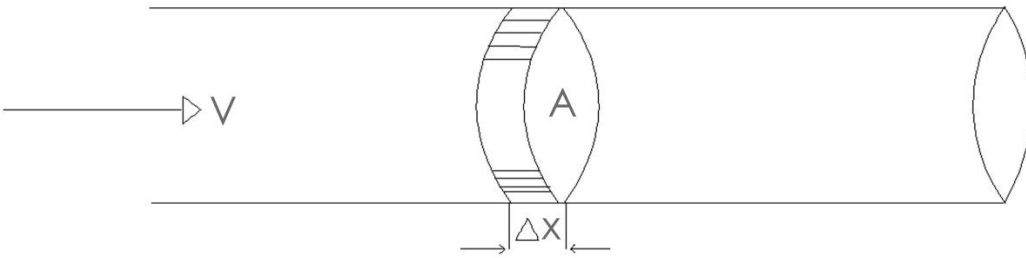
$$\Delta m = \rho A \Delta x \quad (2.8)$$

Laju massa purata dari aliran melintasi permukaan atur selama selang waktu Δt , [27]

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho A \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (2.9)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.9 Aliran Zat Alir Satu Dimensi [27]

Persamaan laju aliran massa sesaat untuk volume atur dapat diperoleh dengan mengambil limit Δt mendekati nol, [27]

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho A \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Atau dituliskan dengan, [27]

$$\dot{m} = \rho AV$$

atau dituliskan dalam bentuk volume jenis, [27]

$$\dot{m} = \frac{AV}{v} \quad (2.10)$$

V menyatakan kecepatan aliran massa masuk dan keluar volume atur. Perkalian AV disebut sebagai laju aliran volumetris. Dengan menyulihkan persamaan 2.14 ke persamaan 2.13 kita akan mendapatkan, [27]

$$\frac{dm_{cv}}{dt} = \sum \frac{A_i V_i}{v_i} - \sum \frac{A_o V_o}{v_o} \quad (2.11)$$

Pernyataan ini menyatakan prinsip kekekalan massa pada volume atur aliran satu dimensi [27].

2.7.5.2 Konservasi Energi Untuk *Control Volume* (CV)

Hukum pertama termodinamika, [27]

$$E_2 - E_1 = Q - W$$

Laju perpindahan panas/kalor dalam selang waktu Δt , [27]

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{E_2 - E_1}{\Delta t} + \frac{W}{\Delta t} \quad (2.12)$$

$E_2 - E_1$ adalah perubahan energi system. Gambar 2.11 (a) memperlihatkan volume atur yang memiliki massa tetap m yang mengisi daerah yang berbeda pada waktu t dan kemudian t

Hak Cipta Ditangguhkan oleh UIN Suska Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Δt ditunjukkan gambar 2.11 (b). Jika E(t) adalah energi dalam volume atur pada saat t, E (t + Δt) adalah energi dalam volume atur pada selang waktu t + Δt. [27]

Maka,

$$\begin{aligned} E_1 &= E(t) + e_1 \Delta m_i \\ E_2 &= E(t + \Delta t) + e_o \Delta m_o \end{aligned}$$

menyatakan energi persatuan massa dan sama dengan: [27]

$$e = u + \frac{v^2}{2} + gz \quad (2.13)$$

sehingga perubahan energi system dapat dituliskan sebagai: [27]

$$\begin{aligned} E_2 - E_1 &= E(t + \Delta t) + e_o \Delta m_o - E(t) - e_i \Delta m_i \\ &= [E(t + \Delta t) - E(t)] + (e_o \Delta m_o - e_i \Delta m_i) \end{aligned} \quad (2.14)$$

$e_o \Delta m_o - e_i \Delta m_i$ menyatakan aliran energi neto yang melintasi permukaan atur selama selang waktu Δt sebagai akibat massa sebesar Δm_i dan Δm_o melintasi permukaan atur. [27]

Kerja total yang dilakukan selama selang waktu Δt adalah: [27]

$$W = W_{cv} + (p_o v_o \Delta m_o - p_i v_i \Delta m_i) \quad (2.15)$$

Persamaan 2.19 dibagi dengan Δt kemudian disulihkan ke persamaan 2.17 dan disusun kembali, sehingga diperoleh: [27]

$$\frac{Q}{\Delta t} + \frac{\Delta m_i}{\Delta t} (e_i + p_i v_i) = \left(\frac{E(t + \Delta t) - E(t)}{\Delta t} \right) + \frac{\Delta m_o}{\Delta t} (e_o + p_o v_o) + \frac{W_{cv}}{\Delta t}$$

Dengan menyulihkan persamaan 2.18 ke persamaan 2.20 diperoleh: [27]

$$\frac{Q}{\Delta t} + \frac{\Delta m_i}{\Delta t} \left(u_i + p_i v_i + \frac{v_i^2}{2} g z_i \right) = \left(\frac{E(t + \Delta t) - E(t)}{\Delta t} \right) + \frac{\Delta m_o}{\Delta t} (u_o + p_o v_o) + \frac{W_{cv}}{\Delta t}$$

Karena $u + pv = h$, maka: [27]

$$\left(\frac{E(t + \Delta t) - E(t)}{\Delta t} \right) = \frac{W_{cv}}{\Delta t} - \frac{Q}{\Delta t} + \frac{\Delta m_i}{\Delta t} \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} g z_i \right) - \left(\frac{\Delta m_o}{\Delta t} \left(h_o + \frac{v_o^2}{2} g z_o \right) \right)$$

Apabila Δt mendekati nol, [27]

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{E(t + \Delta t) - E(t)}{\Delta t} = \frac{dE_{cv}}{dt}$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{W}{\Delta t} = \dot{W}$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Q}{\Delta t} = Q$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta m_i}{\Delta t} = \dot{m}_i$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta m_o}{\Delta t} = \dot{m}_o \quad (2.16)$$

Persamaan 2.15 dapat dituliskan dalam bentuk, [27]

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = Q_{cv} - \dot{W} + \dot{m}_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} g z_i \right) - \dot{m}_o \left(h_o + \frac{v_o^2}{2} g z_o \right) \quad (2.17)$$

Jika terdapat beberapa tempat aliran massa masuk dan beberapa tempat aliran massa keluar ke/dari volume atur, [27]

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = Q_{cv} - \dot{W} + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} g z_i \right) - \sum \dot{m}_o \left(h_o + \frac{v_o^2}{2} g z_o \right) \quad (2.18)$$

Persamaan 2.18 juga disebut persamaan kekekalan energi dalam volume atur. Bila tidak ada aliran massa masuk atau keluar volume atur persamaan 2.18 menjadi: [27]

$$Q = \frac{dE}{dt} + \dot{W} \quad (2.19)$$

Persamaan ini merupakan bentuk persamaan laju aliran kalor dari hukum pertama untuk sistem. [27]

2.6 Persamaan Energi untuk Aliran *Steady State* (Keadaan Tunak)

Dalam sistem tertutup laju aliran perubahan energi sama dengan laju aliran energi sebagai kalor dan/usaha. Untuk keadaan tunak dan aliran tunak sistem terbuka, laju perubahan energi total dalam permukaan batas sistem adalah nol yaitu laju energi total harus tidak bertambah dan/berkurang dalam permukaan batas sistem. Dalam sistem terbuka terdapat perpindahan massa melewati permukaan batas. [27]

Keadaan tunak dan aliran tunak dapat dicapai apabila: [27]

Sifat zat kerja yang dipilih tidak berubah terhadap waktu. Laju energi total dalam volume atur adalah konstan

$$\frac{dE}{dt} = 0$$

Hukum pertama sebagai persamaan laju:

$$0 = Q - \dot{W} + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} g z_i \right) - \sum \dot{m}_o \left(h_o + \frac{v_o^2}{2} g z_o \right) \quad (2.20)$$

Massa zat alir persatuan waktu yang masuk konstan dan sama dengan zat alir yang keluar dari alat agar massa zat alir dalam volume atur konstan, sifat zat alir pada setiap titik dalam volume atur tidak berubah terhadap waktu.

$$\frac{dm}{dt} = \sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_o = 0$$

Atau

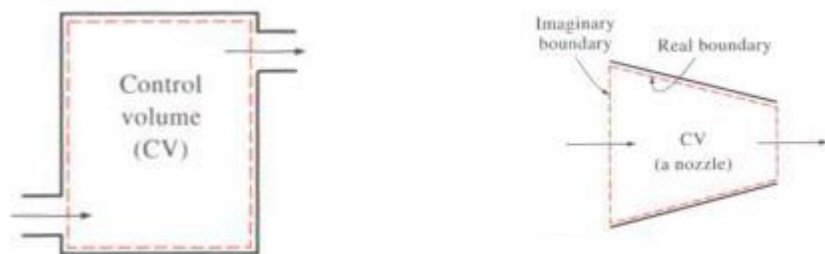
$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_o \quad (2.21)$$

Persamaan 2.21 disebut persamaan kontinuitas.

Aliran Massa dan Energi *Control Volume* (CV)

Secara prinsip dengan mempelajari analisa aliran massa pada sistem terbuka dimana terdapat aliran massa, peralatan seperti turbin, kompresor dan pompa dapat dianalisis. Seperti halnya pada sistem tertutup, perpindahan energi melalui sebuah volume atur dapat terjadi dalam bentuk panas dan kerja, namun selain itu dapat terjadi bentuk perubahan energi yang lain yaitu energi yang membawa massa masuk atau keluar yang disebut dengan energi aliran [26].

Terlebih dahulu harus diterangkan beberapa istilah yang akan sering dijumpa pada pembahasan ini, seperti *control surface*, *unsteady*, *steady*, *uniform* dan *transient*. Permukaan atur (*control surface*) adalah batas dari sebuah volume atur, *control surface* tersebut dapat berupa batas imajiner atau batas riil. Contohnya pada nosel, bagian bagian masuk dan keluar nosel merupakan batas imajiner, sedangkan bagian dalam nosel merupakan batas riil, karena tidak ada batas secara fisik pada bagian ini [26].



Gambar 2.10 Batas imajiner dan riil pada volume atur [26]

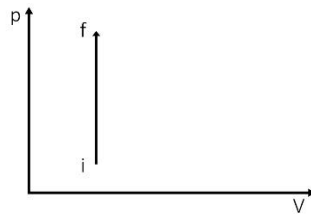
Unsteady atau *transient* merupakan perubahan terjadi berdasarkan waktu. Sedangkan kebalikannya adalah *Steady* yang berarti tidak berubah terhadap waktu. Tidak berubah terhadap lokasi dalam region yang ditentukan merupakan pengertian dari *Uniform*. Agar lebih

Gas, pembahasan mengenai prinsip konversi energi dan massa pada volume atur adalah sebagai berikut [26].

Proses-Proses Energi

2.8.1 Proses Isokhorik (Volume konstan)

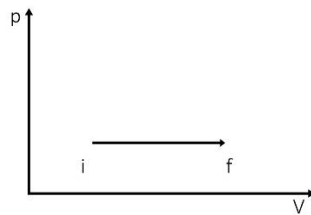
Proses isokhorik juga disebut proses volume konstan, proses isometrik, atau proses isovolumetrik. Jika gas mengalami proses termodinamika dalam volume yang konstan maka gas tersebut dikatakan mengalami proses isokhorik. Bila volume konstan, $p/T = \text{konstan}$, [25]



Gambar 2.11 Grafik Proses Isokhoris [25]

2.8.2 Proses Isobarik (tekanan konstan)

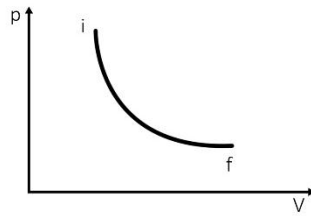
Jika gas mengalami proses termodinamika dengan menjaga tekanan tetap konstan maka gas dikatakan mengalami proses isobarik. Bila tekanan konstan, $V/T = \text{konstan}$, [25]



Gambar 2.12 Grafik Proses Isobarik [25]

2.8.3 Proses Isotermis (temperatur konstan)

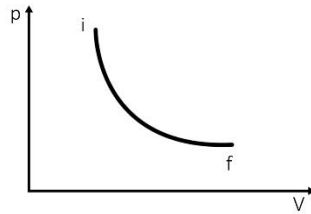
Jika proses perpindahan energi berlangsung dalam suhu konstan (tetap) maka proses tersebut dikenal dengan istilah proses isotermis. Jika terjadi pada suhu konstan, tidak ada perubahan energi dalam dan berdasarkan hukum I termodinamika, kalor yang diberikan sama dengan usaha yang dilakukan oleh sistem. Bila temperatur konstan, $pV = \text{konstan}$, [25]



Gambar 2.13 Grafik Proses Isotermis [25]

2.8.4 Proses Adiabatik

Proses adiabatik adalah suatu proses termodinamika di mana tidak ada panas yang ditransfer ke atau dari kerja fluida. Pada proses ini tidak ada kalor yang masuk, maupun keluar dari sistem, $Q = 0$. Pada proses adiabatik berlaku hubungan $pV^\gamma = \text{konstan}$, [25]



Gambar 2.14 Grafik Proses Adiabatik [25]

2.9 Siklus Energi

2.9.1 Siklus Carnot

Pada tahun 1824 Carnot merupakan orang yang pertama kali memperkenalkan pada teori termodinamika tentang suatu proses siklus sederhana, yang saat ini dikenal sebagai siklus Carnot. Carnot sangat tertarik untuk meningkatkan efisiensi mesin uap. Namun perhatiannya tidak hanya diarahkan pada masalah mekanis, tetapi lebih dicurahkan pada usaha untuk memahami asas-asas fisis mendasar yang menyangkut masalah efisiensi. Landasan pengetahuan tentang termodinamika dapat dikatakan merupakan usaha dari Carnot [25].

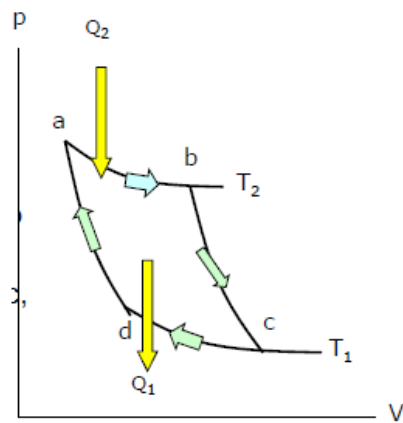
Siklus Carnot bisa diaplikasikan menggunakan sistem yang bersifat zat padat, cair ataupun gas, atau juga lapisan permukaan, atau zat paramagnetik. Bahkan sistem juga boleh mengalami perubahan fase selama siklus tersebut. Siklus Carnot untuk gas sempurna dapat dilihat pada gambar 2.13 setelah diproyeksikan pada bidang p-v [25].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

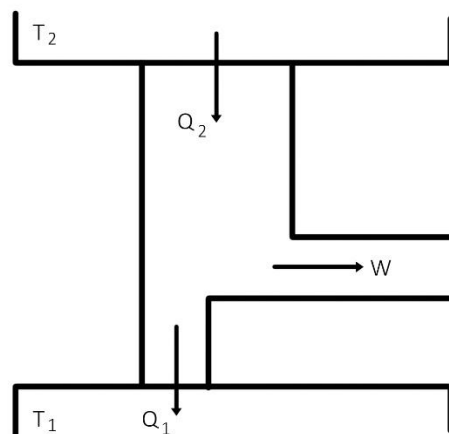


Gambar 2.15 Siklus Carnot [25]

Zat tersebut melakukan proses siklus yang terdiri dari 2 isoterm dan 2 adiabat, dimulai dari titik a dan kembali lagi di a [24].

- Ekspansi isotermal dari a ke b pada suhu T_2 . Panas Q_2 masuk dan usaha dilakukan oleh sistem
- Ekspansi adiabatik dari b ke c, suhu turun menjadi T_1 dan usaha dilakukan oleh sistem
- Pemampatan isotermal pada suhu T_1 dari c ke d. panas Q_1 keluar dari sistem dan usaha dilakukan terhadap sistem
- Pemampatan adiabatik dari d ke a, suhu naik menjadi T_2 dan usaha dilakukan terhadap sistem

Diagram arus pada Mesin Carnot dapat pula dilukiskan seperti dibawah ini (gambar 2.17) [25].



Gambar 2.16 Mesin Carnot [25]

9.2 Siklus Rankine

Siklus Rankine adalah siklus termodinamika yang mengubah panas menjadi kerja. Panas disuplai secara eksternal pada aliran tertutup, yang biasanya menggunakan air sebagai fluida yang bergerak. Siklus ini menghasilkan 80% dari seluruh energi listrik yang dihasilkan seluruh dunia. Siklus ini dinamai untuk mengenang ilmuwan Skotlandia, William John Macquorn Rankine [26].

Siklus Rankine adalah model operasi mesin uap panas yang secara umum ditemukan di pembangkit listrik. Sumber panas yang utama untuk siklus Rankine adalah batu bara, gas alam, minyak bumi, nuklir, dan panas matahari [26].

Siklus Rankine kadang-kadang diaplikasikan sebagai siklus Carnot, terutama dalam menghitung efisiensi. Perbedaannya hanyalah siklus ini menggunakan fluida yang bertekanan, bukan gas. Efisiensi siklus Rankine biasanya dibatasi oleh fluidanya. Tanpa tekanan yang mengarah pada keadaan super kritis, range temperatur akan cukup kecil. Uap memasuki turbin pada temperatur 565°C (batas ketahanan stainless steel) dan kondenser bertemperatur sekitar 30°C . Hal ini memberikan efisiensi Carnot secara teoritis sebesar 63%, namun kenyataannya efisiensi pada pembangkit listrik tenaga batu bara sebesar 42% [26].

Fluida pada Siklus Rankine mengikuti aliran tertutup dan digunakan secara konstan. Berbagai jenis fluida dapat digunakan pada siklus ini, namun air dipilih karena berbagai karakteristik fisika dan kimia, seperti tidak beracun, terdapat dalam jumlah besar, dan murah [26].

2.9.2.1 Proses Siklus Rankine

Terdapat 4 proses dalam siklus Rankine, setiap siklus mengubah keadaan fluida (tekanan dan/atau wujud) [26].

1. Fluida dipompa dari bertekanan rendah ke tekanan tinggi dalam bentuk cair. Proses ini membutuhkan sedikit input energi.
2. Fluida cair bertekanan tinggi masuk ke boiler di mana fluida dipanaskan hingga menjadi uap pada tekanan konstan menjadi uap jenuh.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

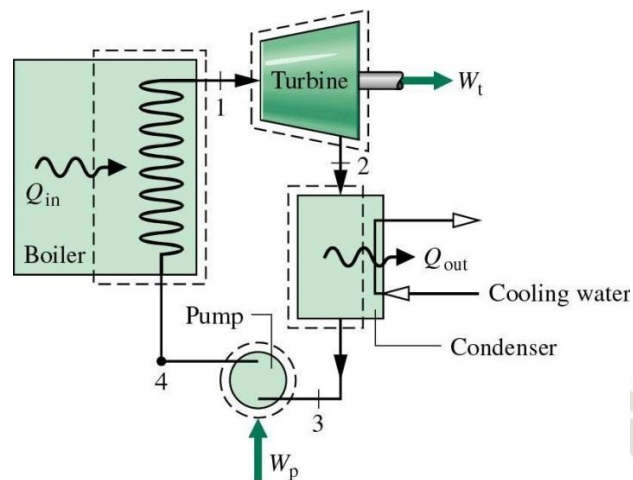
- Uap jenuh bergerak menuju turbin, menghasilkan energi listrik. Hal ini mengurangi temperatur dan tekanan uap, dan mungkin sedikit kondensasi juga terjadi.
- Uap basah memasuki kondenser di mana uap diembunkan dalam tekanan dan temperatur tetap hingga menjadi cairan jenuh.

Dalam siklus Rankine ideal, pompa dan turbin adalah isentropik, yang berarti pompa dan turbin tidak menghasilkan entropi dan memaksimalkan output kerja. Dalam siklus Rankine yang sebenarnya, kompresi oleh pompa dan ekspansi dalam turbin tidak isentropik. Dengan kata lain, proses ini tidak bolak-balik dan entropi meningkat selama proses. Hal ini meningkatkan tenaga yang dibutuhkan oleh pompa dan mengurangi energi yang dihasilkan oleh turbin. Secara khusus, efisiensi turbin akan dibatasi oleh terbentuknya titik-titik air selama ekspansi ke turbin akibat kondensasi. Titik-titik air ini menyerang turbin, menyebabkan erosi dan korosi, mengurangi usia turbin dan efisiensi turbin. Cara termudah dalam menangani hal ini adalah dengan memanaskannya pada temperatur yang sangat tinggi [26].

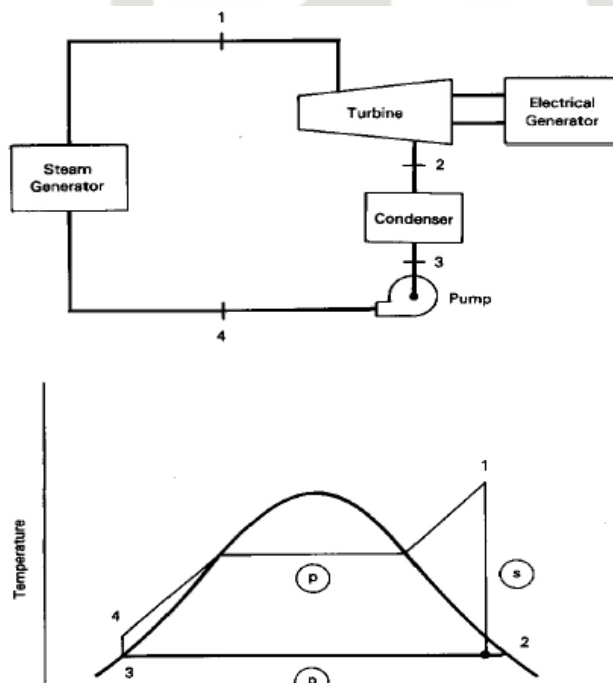
Efisiensi termodinamika bisa didapatkan dengan meningkatkan temperatur input dari siklus. Terdapat beberapa cara dalam meningkatkan efisiensi siklus Rankine. Siklus Rankine dengan pemanasan ulang. Dalam siklus ini, dua turbin bekerja secara bergantian. Yang pertama menerima uap dari boiler pada tekanan tinggi. Setelah uap melalui turbin pertama, uap akan masuk ke boiler dan dipanaskan ulang sebelum memasuki turbin kedua, yang bertekanan lebih rendah. Manfaat yang bisa didapatkan diantaranya mencegah uap berkondensasi selama ekspansi yang bisa mengakibatkan kerusakan turbin, dan meningkatkan efisiensi turbin [26].

2.9.2.2 Skema Siklus Rankine

Siklus Rankine adalah sebuah siklus uap bertekanan/bertenaga paling sederhana yang merupakan modifikasi dari siklus Carnot, di mana proses pemanasan dan pendinginan pada siklus ini terjadi pada tekanan yang tetap. Siklus Rankine ideal dan diagram T-s digambarkan sebagai berikut: [26]



Gambar 2.17 Skema Siklus Rankine [26]



Gambar 2.18 Diagram T-s Pembangkit [26]

Air masuk kedalam pompa sebagai cairan jenuh pada kondisi 1 dan dikompresi sampai tekanan operasi boiler. Pengurangan sedikit dari volume spesifik air akan meningkatkan temperatur air selama kompresi isentropik. Agar proses lebih aman, jarak antara proses 1 – 2 pada diagram T – s diatas biasanya dilebihkan. Pada kondisi 2, Air memasuki boiler sebagai cairan terkompresi, kemudian pada kondisi 3 menjadi uap *superheated*. Dimana suhu panas yang diberikan oleh boiler ke air pada temperatur yang tetap [26].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Generator uap merupakan seluruh bagian yang menghasilkan uap (Boiler). Pada kondisi 3 uap *superheated* akan memasuki turbin untuk disekspansi secara isentropik, uap tersebut kemudian menghasilkan kerja untuk menghasilkan listrik dengan memutar poros yang terhubung dengan generator listrik. Tekanan dan temperatur dari uap akan turun selama proses ini menuju keadaan 4 dimana uap akan masuk kondensor dan biasanya sudah berupa uap jenuh. Uap ini akan dicairkan pada tekanan konstan didalam kondensor dan akan meninggalkan kondensor sebagai cairan jenuh yang akan masuk pompa untuk melengkapi siklus ini [26].

Sehingga data dibawah kurva proses pada diagram $T - s$ menunjukkan transfer panas untuk proses reversibel internal. Area dibawah kurva proses 2 – 3 menunjukkan panas yang ditransfer ke boiler, dan area dibawah kurva proses 4 – 1 menunjukkan panas yang dilepaskan di kondensor. Perbedaan dari kedua aliran ini adalah kerja netto yang dihasilkan selama siklus [26].

Siklus Rankine adalah siklus yang cocok untuk siklus tenaga uap. Beberapa kesulitan pada siklus Carnot dapat diatasi dengan memanaskan steam di reboiler sampai mencapai kondisi *superheated* dan mengkondensasikannya secara keseluruhan dikondenser [26].

2.9.2.3 Prinsip Kerja dari Sistem Siklus Rankine

Fluida kerja berupa air jenuh pada kondensor dikompresi pompa sampai masuk boiler atau ketel uap. Dari proses kompresi pada pompa terjadi kenaikan temperatur kemudian di dalam boiler air dipanaskan. Sumber energi panas berasal dari proses pembakaran atau dari energi yang lainya seperti nuklir, panas matahari, dan lainnya. Uap yang sudah dipanaskan di boiler kemudian masuk turbin. Fluida kerja mengalami ekspansi sehingga temperatur dan tekanan turun. Selama proses ekspansi pada turbin terjadi perubahan dari energi fluida menjadi energi mekanik pada sudu-sudu menghasilkan putaran poros turbin. Uap yang keluar dari turbin kemudian dikondensasi pada kondensor sehingga sebagian besar uap air menjadi mengembun. Kemudian siklus berulang lagi [26].

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.10 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit listrik tenaga uap adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi panas dari uap (steam) untuk memutar turbin sehingga dapat digunakan untuk membangkitkan energi listrik melalui generator.

Pada umumnya PLTU menggunakan siklus rankine dalam sistem konversi energi listriknya. *Steam* yang dibangkitkan berasal dari perubahan fase air yang berada pada boiler akibat mendapatkan energi panas dari hasil pembakaran bahan bakar. Secara garis besar, sistem pembangkit tenaga uap terdiri dari beberapa peralatan utama di antaranya: Boiler, Turbin-Generator, Condenser dan Pompa.

2.10.1 Boiler

Boiler merupakan alat konversi energi yang mengubah air menjadi uap dengan cara pemanasan. Panas yang dibutuhkan untuk menguapkan air tersebut diperoleh dari pembakaran bahan bakar pada ruang bakar/ketel uap. Uap yang dihasilkan pada boiler kemudian digunakan untuk memutar turbin-generator. Boiler memiliki 4 bagian utama yaitu:

1. Drum ketel

Drum ketel berfungsi sebagai tempat penampungan air panas serta tempat terbentuknya uap. Drum ini menampung uap jenuh (*saturated steam*) berserta air dengan perbandingan antara 50% air dan 50% uap. Pada drum ketel terpasang sekat-sekat agar air tidak terbawa oleh uap. Air yang memiliki suhu rendah akan turun kebawah dan air yang bersuhu tinggi akan naik keatas dan menguap.

2. Superheater

Superheater merupakan tempat pengeringan *steam*, dikarenakan uap yang berasal dari drum ketel masih dalam keadaan basah sehingga belum dapat digunakan. Proses pemanasan lanjutan menggunakan *superheater pipe* yang dipanaskan dengan suhu lebih dari 350°C. Dengan suhu tersebut, uap akan menjadi kering dan dapat digunakan untuk menggerakkan turbin maupun untuk keperluan lain.

3. Economizer

Economizer berfungsi menyerap panas dari gas hasil pembakaran setelah melewati *superheater*. Pemanasan air ini dilakukan agar perbedaan temperatur antara air pengisi dengan air yang ada didalam drum ketel tidak terlalu tinggi, sehingga tidak terjadi *thermal stress*

tegangan yang terjadi akibat adanya pemanasan) didalam *main drum*. Selain itu dengan memanfaatkan gas sisa pembakaran, maka akan meningkatkan efisiensi boiler dan proses pembentukan uap lebih cepat.

4. *Steam Air Heater*

Komponen ini merupakan alat yang berfungsi untuk memanaskan udara yang digunakan untuk menghembus/meniup bahan bakar agar dapat terbakar sempurna. Udara yang akan dihembuskan, sebelum melewati air heater memiliki suhu yang sama dengan suhu udara normal, yaitu 38°C.

Berdasarkan teknologi proses pembakarannya, secara umum boiler dibagi menjadi tiga jenis:

1. *Stoker Type Boiler*

Jenis boiler stoker mekanik ini menggunakan rantai berjalan sebagai tempat pembakaran bahan bakar yang umumnya berupa padatan. Secara singkat proses kerjanya adalah dengan meniupkan udara panas dari bawah rantai sehingga bahan bakar padat (misalnya batu bara) dapat terbakar. Boiler jenis ini juga dapat membakar berbagai jenis bahan bakar antara lain batu bara, limbah kayu, kulit kayu, bahkan sampah anorganik.

2. *Sistem Pulverized*

Pulverized boiler merupakan boiler yang paling banyak digunakan pada saat ini, khususnya di Indonesia. Prinsip kerjanya adalah dengan menggunakan mill untuk menggiling batu bara sehingga menjadi serbuk sebelum diumpankan ke dalam ruang bakar. Keuntungan pulverized boiler dibandingkan dengan stoker adalah merespon cepat dalam perubahan beban, menaikkan efisiensi thermal, kemampuan memasukkan sejumlah besar bahan bakar melalui burner.

3. *Sistem Fludized Bed*

Prinsip kerja dari Fludized Bed Boiler hampir sama dengan boiler stoker mekanik, namun pada boiler ini tidak menggunakan rantai, akan tetapi menggunakan tumpukan (bed) partikel pasir yang diletakkan di bagian bawah ruang bakar boiler sebagai media untuk memanaskan udara dan ruang bakar secara keseluruhan. Udara dengan tekanan dan kecepatan tinggi menghembuskan dari dasar tungku melalui nozzel-nozzel dan menembus tumpukan pasir sehingga batu bara yang berada di atas pasir tersebut dapat melayang dan terbakar di dalam ruang bakar.

Berdasarkan jenis pipa boiler, secara umum boiler dibagi menjadi dua jenis:

Fire Tube Boiler

Pada boiler ini memiliki dua bagian didalamnya yaitu bagian tube yang merupakan tempat terjadinya pembakaran dan bagian barrel/tong yang berisi fluida. Tipe boiler pipa api ini memiliki karakteristik yaitu menghasilkan jumlah steam yang rendah serta kapasitas yang terbatas. Prinsip kerjanya adalah proses pengapian terjadi didalam pipa dan panas yang dihasilkan diantarkan langsung kedalam boiler yang berisi air. Kelebihan dari boiler jenis ini adalah proses pemasangan cukup mudah dan tidak memerlukan pengaturan yang khusus, tidak membutuhkan area yang besar dan memiliki biaya yang murah. Kekurangannya adalah memiliki tempat pembakaran yang sulit dijangkau saat hendak dibersihkan, kapasitas steam yang rendah dan kurang efisien karena banyak kalor yang terbuang sia-sia.

2. *Water Tube Boiler*

Memiliki konstruksi yang hampir sama dengan jenis pipa api, jenis ini juga terdiri dari pipa dan barrel, yang membedakan hanya sisi pipa yang diisi oleh air sedangkan sisi barrel merupakan tempat terjadinya pembakaran. Karakteristik pada jenis ini ialah menghasilkan jumlah steam yang relatif banyak. Prinsip kerjanya adalah Proses pengapian terjadi pada sisi luar pipa, sehingga panas akan terserap oleh air yang mengalir di dalam pipa. Kelebihan boiler jenis ini yaitu memiliki kapasitas steam yang besar, nilai efisiensi relatif lebih tinggi dan tungku pembakaran mudah untuk dijangkau saat akan dibersihkan. Kekurangannya adalah Biaya investasi awal cukup mahal, membutuhkan area yang luas dan membutuhkan komponen tambahan dalam hal penanganan air.

2.10.2 Turbin-Generator

Turbin uap termasuk mesin tenaga atau mesin konversi energi dimana hasil konversi energinya dimanfaatkan mesin lain untuk menghasilkan daya. Di dalam turbin terjadi perubahan dari energi potensial uap menjadi energi kinetik yang kemudian diubah lagi menjadi energi mekanik pada poros turbin, selanjutnya energi mekanik diubah menjadi energi listrik pada generator. Energi mekanis yang dihasilkan dalam bentuk putaran poros turbin dapat secara langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi dihubungkan dengan mekanisme

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

yang digerakkan. Jika dibandingkan dengan penggerak generator listrik yang lain, turbin uap mempunyai kelebihan antara lain penggunaan panas yang lebih baik. Tidak menghasilkan bunga api listrik. Pengontrolan putaran yang lebih mudah. Uap bekasnya dapat digunakan kembali atau untuk proses. Siklus yang terjadi pada turbin uap adalah siklus Rankine, yaitu berupa siklus tertutup, dimana uap bekas dari turbin dimanfaatkan lagi dengan cara mendinginkannya pada kondensor, kemudian dialirkan lagi ke pompa dan seterusnya sehingga merupakan suatu siklus tertutup.

Untuk mengubah energi potensial uap menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros dilakukan dengan berbagai cara, sehingga turbin uap secara umum terdiri dari tiga jenis utama, yaitu turbin uap impuls, reaksi, dan gabungan (impuls-reaksi). Selama proses ekspansi uap di dalam turbin juga terjadi beberapa kerugian utama yang dikelompokkan menjadi dua jenis kerugian utama, yaitu kerugian dalam dan kerugian luar. Hal ini akan menyebabkan terjadinya kehilangan energi, penurunan kecepatan dan penurunan tekanan dari uap tersebut yang pada akhirnya akan mengurangi efisiensi siklus dan penurunan daya generator yang akan dihasilkan oleh generator listrik. Menurut reaksi aksi uap, turbin terdiri dari:

1. Turbin impuls, yang energi potensial uapnya diubah menjadi energi kinetik di dalam nosel atau laluan yang dibentuk oleh sudu-sudu diam yang berdekatan dan didalam sudu-sudu gerak, energi kinetik uap diubah menjadi energi mekanis.
2. Turbin reaksi aksial yang ekspansi uapnya diantara laluan sudu, baik sudu pengarah maupun sudu gerak.
3. Turbin reaksi radial tanpa sudu pengarah yang diam
4. Turbin reaksi radial dengan sudu pengarah yang diam

Menurut proses penurunan kalo, turbin uap terdiri dari:

1. Turbin kondensasi (condensing turbine) dengan regenerator, yaitu turbin dimana uap pada tekanan yang lebih rendah dari tekanan atmosfer dialirkan ke kondensor, disamping itu uap juga dicerat dari tingkat-tingkat menengahnya untuk memanaskan air pengisian ketel, dimana jumlah penceratan itu biasanya dari 2-3 hingga sebanyak 8-9. Kalor laten uap buang selama proses kondensasi semuanya hilang pada turbin ini.
2. Turbin kondensasi dengan satu atau dua penceratan dari tingkat menengahnya pada tekanan tertentu untuk keperluan-keperluan industri dan pemanasan.

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Turbin tekanan lawan (back pressure turbine), yaitu turbin yang uap buang dipakai untuk keperluan-keperluan pemanasan dan untuk keperluan-keperluan proses dalam industri.

Turbin tumpang, yaitu suatu jenis turbin tekanan lawan dengan perbedaan bahwa uap buang dari turbin jenis ini lebih lanjut masih dipakai untuk turbin- turbin kondensasi tekanan menengah dan rendah. Turbin ini, secara umum beroperasi pada kondisi tekanan dan temperatur uap awal yang tinggi, dan dipakai kebanyakan untuk membesarkan kapasitas pembangkitan pabrik, dengan maksud untuk mendapatkan efisiensi yang lebih baik.

- Turbin tekanan lawan dengan percepatan uap dari tingkat-tingkat menengahnya pada tekanan tertentu, dimana turbin jenis ini dimaksudkan untuk mensuplai uap kepada konsumen pada berbagai kondisi tekanan dan temperatur.
- Turbin tekanan rendah (tekanan buang), yaitu turbin yang uap buang dari mesin-mesin uap, palu uap, mesin tekan, dan lain-lain, dipakai untuk keperluan pembangkitan tenaga listrik
- Turbin tekanan campur dengan dua atau tiga tingkat-tekanan, dengan suplai uap buang ke tingkat-tingkat menengahnya.

2.10.3 Condenser

Condenser adalah suatu alat yang terdiri dari jaringan pipa dan digunakan untuk mengubah uap menjadi zat cair (air). dapat juga diartikan sebagai alat penukar kalor (panas) yang berfungsi untuk mengkondensasikan fluida. Dalam penggunaannya kondensor diletakkan diluar ruangan yang sedang didinginkan supaya panas yang keluar saat pengoprasiannya dapat dibuang keluar sehingga tidak mengganggu proses pendinginan.

Prinsip kerja kondensor tergantung dari jenis kondensor tersebut, secara umum terdapat dua jenis kondensor yaitu surface condenser dan direct contact condenser.

1. Surface Condenser

Cara kerja dari jenis alat ini ialah proses pengubahan dilakukan dengan cara mengalirkan uap kedalam ruangan yang berisi susunan pipa dan uap tersebut akan memenuhi permukaan luar pipa sedangkan air yang berfungsi sebagai pendingin akan mengalir di dalam pipa (inside side), maka akan terjadi kontak antara keduanya dimana uap yang memiliki

temperatur panas akan bersinggungan dengan air pendingin yang berfungsi untuk menyerap kalor dari uap tersebut, sehingga temperatur steam (uap) akan turun dan terkondensasi.

Direct Contact

Cara kerja dari kondensor jenis ini yaitu proses kondensasi dilakukan dengan cara mencampurkan air pendingin dan uap secara langsung. Jenis dari kondensor ini disebut spray condenser, pada alat ini proses pencampuran dilakukan dengan menyemprotkan air pendingin ke arah uap. Sehingga steam akan menempel pada butiran-butiran air pendingin tersebut dan akan mengalami kontak temperatur, selanjutnya uap akan terkondensasi dan tercampur dengan air pendingin yang mendekati fase saturated (basah).

Air pendingin dalam kondensor sangat memiliki peranan penting dalam proses kondensasi uap menjadi condensat water. Bahan baku air pendingin biasanya didapatkan dari danau dan air laut (sea water, dalam proses pengambilannya biasanya digunakan alat sejenis jaring yang berfungsi untuk menjaring kotoran serta benda-benda padat lainnya agar tidak terikut kedalam hisapan pompa yang tentunya dapat mengganggu kinerja kondensor bahkan kerusakan pada peralatan.

2.10.4 Pompa

Salam sistem siklus pembangkit uap Rankine, pompa memiliki peran melakukan sirkulasi air di dalam siklus. Selain itu, pompa berfungsi meningkatkan tekanan air yang masuk ke dalam drum atas boiler. Spesifikasi pompa pengisi ketel (Feed Water Pump/FWP) memiliki karakteristik khusus, yaitu dengan beda tekanan yang tinggi antara sisi hisap dan sisi buang. Pada kasus rancangan ini, pada sisi buang memiliki tekanan hingga 32 barg. Dengan kondisi tersebut, maka diperlukan pompa dengan jenis multistage untuk dapat menghasilkan tekanan yang tinggi.

Air yang masuk dan harus dipompakan oleh FWP juga memiliki temperatur yang tinggi, hingga 105°C , dengan demikian diperlukan pemilihan spesifikasi pompa yang sangat ketat agar tidak terjadi kavitasi. Pemilihan jenis pompa harus memperhitungkan NPSH tersedia dan NPSH diperlukan, berdasarkan instalasi perpipaan pompa. Salah satu solusi adalah dengan memberikan gaya tekanan grafitasi (lift force) dengan cara meninggikan sisi hisap hingga berada di atas posisi pompa.

2.11 Teknik Sampling

Populasi merupakan wilayah generalisasi yang terdiri atas obyek/subyek yang memiliki kualitas dan karakteristik tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan ditarik kesimpulannya. Populasi bukan hanya orang, tetapi juga objek dan benda-benda alam yang lain. Populasi juga bukan sekedar jumlah yang ada pada obyek/subyek yang dipelajari, tetapi meliputi seluruh karakteristik/sifat yang dimiliki oleh subyek atau obyek yang diteliti [29]

Sampel merupakan bagian dari jumlah dan karakteristik yang dimiliki oleh populasi. Bila populasi besar, dan peneliti tidak mungkin mempelajari semua yang ada pada populasi, misalnya karena keterbatasan dana, tenaga dan waktu, maka peneliti dapat menggunakan sampel yang diambil dari populasi itu. Apa yang dipelajari dari sampel kesimpulannya akan dapat diberlakukan pada populasi. Untuk itu sampel yang diambil dari populasi harus betul-betul representatif (mewakili). [29]

Adapun teknik sampling adalah teknik pengambilan sampel. Untuk menentukan sampel dalam penelitian terdapat berbagai teknik sampling yang digunakan. Teknik sampling pada dasarnya dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu *Probability Sampling* dan *Nonprobability sampling*. [29]

2.11.1 Probability Sampling

Probability Sampling adalah teknik pengambilan sampel yang memberikan peluang yang sama bagi setiap unsur (anggota) populasi untuk dipilih menjadi anggota sampel. *Probability Sampling* meliputi, *simple random sampling*, *proportionate stratified random*, *disproportionate stratified random*, dan *area random*. [29]

1. Simple Random Sampling

Dikatakan simple (sederhana) karena pengambilan anggota sampel dari populasi dilakukan secara acak tanpa memperhatikan strata yang ada dalam populasi itu. Cara ini dilakukan bila anggota populasi dianggap homogen.

2. Proportionate Stratified Random Sampling

Teknik ini dilakukan bila populasi memiliki anggota/unsur yang tidak homogen dan berstrata secara proporsional.

3. Disproportionate Stratified Random Sampling

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Teknik ini digunakan untuk menentukan jumlah sampel bila populasi berstrata tetapi kurang proporsional.

Area Random Sampling (sampling menurut daerah)

Teknik sampling daerah digunakan untuk menentukan sampel bila obyek yang akan diteliti atau sumber data sangat luas, misalnya penduduk dari suatu negara, provinsi atau kabupaten. Untuk menentukan penduduk mana yang akan dijadikan sumber data, maka pengambilan sampel ditetapkan secara bertahap dari wilayah yang luas sampai kewilayah terkecil.

2.11.2 Nonprobability Sampling

Nonprobability sampling adalah teknik pengambilan sampel yang tidak memberi peluang/kesempatan yang sama bagi setiap unsur atau anggota populasi untuk dipilih menjadi sampel. Teknik ini meliputi, sampling sistematis, sampling kuota, sampling aksidental/insidental, *puposive sampling*, sampling jenuh dan snowball sampling. [29]

1. Sampling Sistematis

Sampling sistematis adalah teknik pengambilan sampel berdasarkan urutan dari anggota populasi yang telah diberi nomor urut. Misalnya anggota populasi yang terdiri dari 100 orang. Dari semua anggota itu diberi nomor urut, yaitu 1 sampai 100. Pengambilan sampel dapat dilakukan dengan mengambil nomor ganjil saja, genap saja, atau kelipatan dari bilangan tertentu.

2. Sampling Kuota

Sampling kuota adalah teknik untuk menentukan sampel dari populasi yang mempunyai ciri-ciri tertentu sampai jumlah (kuota) yang diinginkan.

3. Sampling Aksidental/insidental

Sampel insidental adalah teknik penentuan sampel berdasarkan kebetulan, yaitu siapa saja yang secara kebetulan/insidental bertemu dengan peneliti dapat digunakan sebagai sampel, bila dipandang orang yang kebetulan ditemui itu cocok sebagai sumber data.

4. *Purposive* Sampling

Sampling *purposive* adalah teknik penentuan sampel dengan pertimbangan tertentu. Misalnya akan melakukan penelitian tentang kualitas makanan, maka sampel sumber datanya adalah orang yang ahli makanan.

Sampling Jenuh

Sampling jenuh adalah teknik penentuan sampel bila semua anggota populasi digunakan sebagai sampel.

Snowball Sampling

Snowball sampling adalah teknik penentuan sampel yang mula-mula jumlahnya kecil, kemudian membesar. Ibarat bola salju yang menggelinding yang lama-lama menjadi besar. Dalam penentuan sampel, pertama-tama dipilih satu atau dua orang, tetapi karena dengan dua orang ini belum merasa lengkap terhadap data yang diberikan, maka peneliti mencari orang lain yang dipandang lebih tahu dan dapat melengkapi data yang diberikan oleh dua orang sebelumnya.

2.11.3 Teknik Slovin

Penentuan jumlah sample yang dibutuhkan dalam sebuah penelitian dapat menggunakan rumus slovin: [28]

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2} \quad (2.32)$$

Dimana:

n : Ukuran sampel/jumlah responden

N : Ukuran Populasi

: Persentase kelonggaran ketelitian kesalahan pengambilan sampel yang masih bisa ditolerir

Dalam rumus slovin terdapat ketentuan bahwa nilai $e = 0.1$ (10%) untuk populasi dalam jumlah besar. Sedangkan nilai $e = 0.2$ (20%) untuk populasi dalam jumlah kecil. Sehingga rentang sampel yang dapat diambil dari teknik slovin adalah antara 10-20 % dari populasi penelitian.

2.12 Perangkat Lunak Cycle Tempo

Perangkat lunak cycle tempo (*Thermodynamics Energy Sistem and Mass Flow Calculation for Power*) dikembangkan oleh *Departement of Thermal Power Engineering* dari *Delft University of Technology* dengan *TNO Institute of Envoironmental Sciences*. Perangkat lunak *cycle tempo* pada awalnya dikembangkan untuk memodelkan *Thermal Power Plant*.

Perangkat lunak *cycle tempo* merupakan program yang digunakan untuk pemodelan termodinamika dan optimalisasi sistem konversi energi seperti pembangkit dan sistem refrigerasi.

Tujuan utama dari *cycle tempo* adalah menghitung ukuran aliran massa dan energi dalam sistem, termasuk didalamnya yaitu sifat-sifat termodinamika, komposisi gas, laju aliran massa. Perangkat lunak *cycle tempo* berisi sejumlah besaran model-model komponen dan pipa yang dengan keduanya kita bisa membuat model sistem yang kita inginkan. Program ini mempunyai *graphical user interface* yang moderen yang memudahkan pengguna, mengoperasikannya serta dapat melihat hasil perhitungan berdasarkan variabel yang relevan dalam berbagai variasi tabel dan grafik seperti *system efficiencies, energy balance of the system, energy dan energy flows, quantities of heat transferred, temperature profiles in heat exchanger, h-s diagram of cycle*.

Hak Cipta Ditangguhkan UIN Suska Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

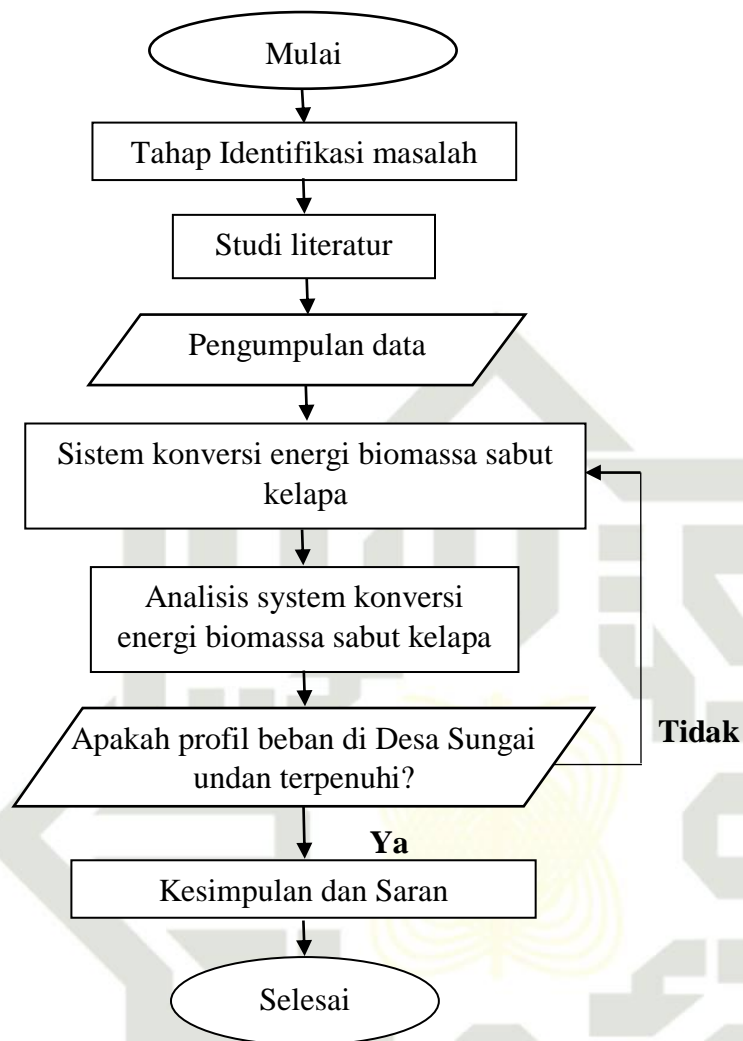
Penelitian yang akan dilakukan merupakan penelitian kuantitatif dengan melakukan pengumpulan data-data dari lapangan, data sekunder dan analisis data untuk mendapatkan kesimpulan akhir dari penelitian yang dilakukan.

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi yang menjadi tempat dilakukannya penelitian ini adalah Desa Sungai Undan yang merupakan salah satu desa yang terletak di Kecamatan Reteh Kabupaten Indragiri Hilir (INHIL). Desa Sungai Undan merupakan desa dengan luas wilayah terluas dari 14 desa dan kelurahan yang ada di Kecamatan Reteh. Desa Sungai Undan merupakan salah satu desa yang belum tersentuh jaringan listrik PLN di Kecamatan Reteh, pengadaan energi listrik di desa ini mengandalkan diesel yang hanya beroperasi pada malam hari. Masyarakat Desa Sungai Undan mayoritas merupakan petani kelapa. Luas perkebunan kelapa yang ada di Desa Sungai Undan adalah 900 ha dengan rata-rata produksi kelapa per hektar nya adalah 1,4 ton buah kelapa. Waktu yang dibutuhkan untuk satu kali masa panen adalah 4 bulan dan hasil panen perkebunan kelapa menyisahkan residu sabut kelapa yang tidak termanfaatkan.

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan pada penelitian ini dimulai dengan identifikasi masalah berupa latar belakang, rumusan masalah, batasan penelitian, tujuan penelitian dan manfaat dari penelitian. Selanjutnya yaitu melakukan studi literatur dari berbagai sumber. Kemudian pengumpulan data yang diperlukan untuk penelitian baik berupa data primer atau pun data sekunder. Setelah itu membuat pemodelan sistem PLTBm Sabut kelapa. Validasi dan menganalisis pemodelan sistem PLTBm Sabut kelapa dan yang terakhir adalah penarikan kesimpulan. *Flowchart* penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 di bawah.



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

3.4 Tahap Identifikasi Masalah

Tahap identifikasi masalah pada penelitian ini yaitu penentuan latar belakang yang mendasari penelitian ini diangkat, setelah itu merumuskan masalah dan menentukan tujuan dari penelitian ini berdasarkan rumus masalah. Selain itu juga menentukan batasan-batasan penelitian dan manfaat dari penelitian yang dikerjakan.

3.5 Studi Literatur

Studi literatur pada penelitian ini menjelaskan mengenai *review* atas penelitian sebelumnya yang terkait dengan penelitian yang diusulkan, guna mendapatkan informasi

penelitian sebelumnya yang memiliki topik atau permasalahan yang sama agar penelitian yang diusulkan tidak mengulangi penelitian yang telah ada sebelumnya. Studi literatur pada penelitian ini mengambil referensi dari jurnal dan skripsi penelitian yang memiliki kesamaan dengan penelitian yang di usulkan.

3.6 Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini mencakup kegiatan yang terdiri dari studi kepustakaan, pendataan melalui pengumpulan data sekunder pada beberapa instansi terkait, serta wawancara dan kuisioner untuk mendapatkan data sekunder yang diperlukan pada penelitian ini.

3.6.1 Biomassa Sabut Kelapa di Desa Sungai Undan

Pengumpulan data untuk potensi biomassa dilakukan dengan pengumpulan data sekunder dari beberapa instansi terkait dan studi kepustakaan serta wawancara langsung. Adapun data yang diperlukan diantaranya data luas area perkebunan kelapa, produksi perkebunan kelapa per hektar dan rasio produk-residu dari perkebunan kelapa.

1. Luas Areal Dan Produksi Perkebunan Kelapa

Perkebunan kelapa di Desa Sungai Undan Kecamatan Reteh Kabupaten INHIL merupakan perkebunan milik rakyat. Data luas areal dan produksi kelapa di Kecamatan Reteh diperoleh dari data statistik perkebunan kelapa dari tahun 2015-2019. Data statistik Perkebunan Luas Areal dan Produksi kelapa di Kecamatan Reteh dapat dilihat pada tabel 3.1 dan 3.2

Tabel 3.1 Luas Areal Perkebunan Kelapa di Kecamatan Reteh [31]

Tahun	Luas Areal (HA)			Jumlah
	Tanaman Belum Menghasilkan	Tanaman Menghasilkan	Tanaman Tua dan Rusak	
2015	1 332	13 017	10 694	25 043
2016	1 332	13 017	10 694	25 043
2017	1 228	12 905	10 910	25 043
2018	1 005	21 422	1 501	23 928

2019	1 005,00	21 421,63	1 501,14	23 927,77
------	----------	-----------	----------	-----------

Tabel 3.2 Produksi dan Rata-rata Produksi per Ha Perebunan Kelapa di Kecamatan Reteh [31]

Tahun	Produksi (Kg)	Rata-rata produksi/Ha (Kg/Ha)	Jumlah Petani
2015	17 321 000	1 360	5 111
2016	18 106 647	1 391	5 111
2017	17 950 855	1 391	5 111
2018	29 797 487	1 391	4 883
2019	29 797 487,33	1 392	4 883

2. Luas Areal, Usia Tanaman dan Waktu Panen

Data sekunder luas areal, usia tanaman dan waktu panen perkebunan kelapa di Desa Sungai Undan, pada penelitian diperoleh melalui wawancara dengan sekretaris desa Sungai Undan. Data terkait luas areal, usia tanaman dan waktu panen kelapa dapat dilihat pada tabel 3.3.

3. Berat dan Rasio Residu Kelapa

Berat dan rasio residu biomassa sabut kelapa pada penelitian ini diperoleh dari studi literatur, jurnal oleh Z. Mahmud dan Y. Ferry, "Prospek pengolahan hasil samping buah kelapa", *Perspektif*, Vol. 4, No. 2, Hal. 55-63. Data berat dan rasio biomassa sabut kelapa disajikan pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Data Biomassa Sabut Kelapa di Desa Sungai Undan

Biomassa Sabut Kelapa di Desa Sungai Undan	
Luas perkebunan kelapa	900 Ha
Produksi rata-rata kelapa/hektar	1.392 Kg
Usia tanaman kelapa	15-30 Tahun
Waktu satu kali masa panen	4 bulan
Berat per buah kelapa	1.11 Kg
Rasio produk-residu sabut kelapa	30%

Nilai Kalor Sabut Kelapa

Nilai Kalor merupakan salah satu parameter terpenting dalam menentukan kualitas bahan bakar. Nilai kalor sabut kelapa pada penelitian ini diperoleh dari studi literatur jurnal oleh A. I. Pratiwi dan M. Asri, “Analisis pembangkit listrik tenaga biomassa berbasis tongkol menggunakan *Dialektika*, Vol. 5, No. 2, Hal. 108-115. Dari studi literatur tersebut nilai kalor biomassa sabut kelapa disajikan pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Nilai Kalor dan Energi Sabut Kelapa

Nilai Kalor dan Energi		
Sabut kelapa	Nilai Kalor	Energi
	4004,8 kkal/kg	16.740,064 kJ/kg

5. Propertis Termodinamika

Propertis termodinamika merupakan suatu parameter yang menentukan keadaan pada suatu sistem konversi energi. Data propertis termodinamika diperlukan untuk menganalisis energi pada sistem konversi energi menggunakan persamaan konservasi energi pada suatu sistem. Data propertis termodinamika pada penelitian ini meliputi parameter temperatur, tekanan. Nilai parameter propertis termodinamika pada penelitian ini menggunakan data asumsi, dimana data asumsi ini bertujuan untuk mendapatkan keluaran energi listrik yang dapat memenuhi kebutuhan energi listrik di Desa Sungai Undan.

3.6.2 Profil Beban Listrik di Desa Sungai Undan

1. Populasi Desa sungai Undan

Populasi merupakan wilayah generalisasi yang terdiri atas obyek/subyek yang memiliki kualitas dan karakteristik tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan ditarik kesimpulannya. Sedangkan sampel merupakan bagian dari jumlah dan karakteristik yang dimiliki oleh populasi [29]. Jumlah populasi dalam penelitian ini adalah seluruh Kepala Keluarga (KK) sebanyak 406 KK dan Fasilitas Umum berupa kantor kepala desa, masjid, mushalla, puskesmas pembantu (pustu) yang ada di Desa Sungai Undan. Dalam penelitian ini penulis mempersempit jumlah populasi seluruh KK yang berjumlah 406 KK dengan

Menentukan ukuran sampel yang dilakukan dengan perhitungan menggunakan teknik Slovin menurut Sugiono. Teknik sampling yang digunakan dalam penelitian ini adalah Probability Sampling - Cluster Sampling (area sampling) dimana seluruh populasi dalam penelitian ini terbagi dalam 4 dusun yaitu Mayang sari 202 KK, Melati Indah 48 KK, Mawar Putih 81 KK dan Lancang Kuning 75 KK. Adapun pengumpulan data profil beban di Desa Sungai Undan dilakukan dengan menggunakan kuesioner yang disebarakan kepada seluruh sampel pada penelitian ini.

2. Profil Beban Listrik

Profil energi listrik di Desa Sungai Undan diperoleh dengan penyebaran kuesioner. Kuesioner yang disebarakan untuk mendapatkan data rating daya berisi data peralatan listrik yang digunakan, durasi pemakaian peralatan listrik dan jumlah peralatan. Perhitungan energi listrik di Desa Sungai Undan menggunakan persamaan 3.1.

$$\text{Energi listrik} = \text{Rating daya} \times \text{Durasi Pemakaian} \times \text{Jumlah Peralatan} \quad 3.1$$

3.7 Sistem Konversi Energi Biomassa Sabut Kelapa

3.7.1 Analisis Potensi Biomassa Sabut Kelapa

Perhitungan potensi biomassa dilakukan untuk mengetahui potensi ketersediaan biomassa dan potensi energi (energi bahan bakar) yang dapat digunakan untuk membangkitkan energi listrik. Potensi ketersediaan bioamassa dihitung dengan menggunakan Metode Statistik – Residu Perkebunan Sekunder pada persamaan 2.2, dimana jumlah produksi tanaman digunakan nilai rata-rata produksi kelapa per hektar di Desa Sungai Undan yang diperoleh dari data BPS Kabupaten Indragiri Hilir. Sedangkan nilai rasio produk-residu diperoleh dari studi kepustakaan. Potensi biomassa sabut kelapa per hektar selanjutnya dikalikan dengan luas areal perkebunan kelapa yang ada di Desa Sungai undan dan dibagikan dengan waktu satu kali masa panen sehingga diperoleh biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar per hari.

3.7.2 Sistem Konversi Energi Siklus Rankine

Siklus rankine merupakan merupakan suatu siklus energi termodinamika yang mana pada siklus ini terjadi konversi energi dari jenis energi panas menjadi energi mekanik. Siklus rankine dari refensi penelitian oleh A. Wibowo, “Perancangan sistem pembangkit listrik

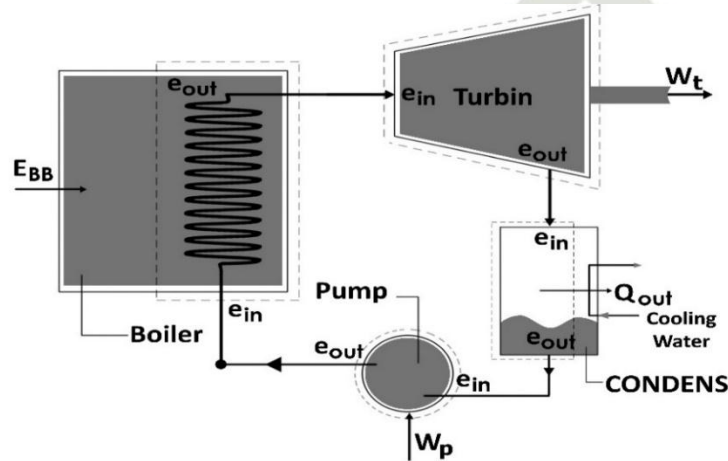
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

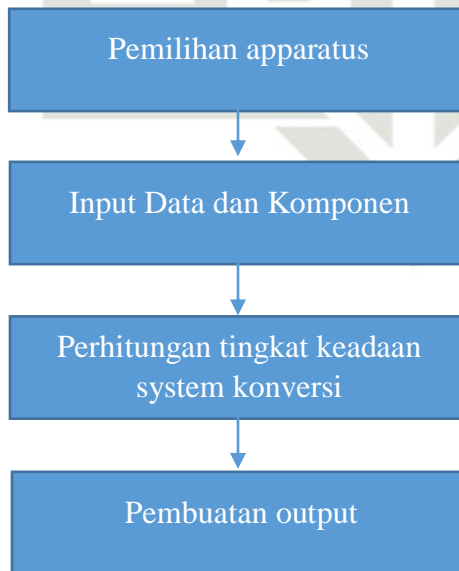
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

biomassa sawit (PLTBS) kapasitas 5 MW”, *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal*, Vol. 1, No. Hal 53-60 dalam mengkonversi energi terdapat 4 sistem konversi utama yaitu sistem boiler, sistem turbin, sistem kondensor dan sistem pompa. Skema sistem siklus rankine dapat dilihat pada gambar 3.2. Pada penelitian ini menggunakan energi biomassa sabut kelapa untuk konversi menjadi energi listrik menggunakan siklus rankine untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Desa Undan.



Gambar 3.2 Skema Sistem Siklus Rankine

Penelitian ini menggunakan *software cycle tempo* untuk menghitung propertis termodinamika, komposisi gas dan laju aliran massa pada setiap sistem konversi energi. Tahapan dalam dalam menjalankan *software cycle tempo* dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Flowchart software cycle tempo

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Tahapan perhitungan pada *software cycle tempo* terdapat 4 tahapan yaitu:

Pemilihan Apparatus

Pemilihan Aparatus dalam *software cycle tempo* disesuaikan dengan skema sistem siklus rankine yang terdiri dari sistem boiler, sistem boiler, sistem kondensor dan sistem pompa.

a. Sistem Boiler

Sistem boiler merupakan suatu sistem yang mengkonversi energi panas menjadi energi uap/kinetik partikel.

b. Sistem Turbin

Sistem turbin merupakan sistem yang mengkonversi energi kinetik partikel menjadi energi mekanik.

c. Sistem Kondensor

Sistem kondensor merupakan sistem konversi yang digunakan untuk mengubah uap bekas keluaran turbin menjadi air

d. Sistem Pompa

Sistem boiler merupakan sistem yang mengkonversi energi perputaran mekanik menjadi energi potensial.

2. Input Data Dan Komponen

Pada tahapan ini akan dilakukan penginputan data berupa properti pada setiap sistem konversi siklus rankine.

3. Perhitungan Tingkat Keadaan Sistem Konversi

Setelah membuat apparatus sistem konversi, dan menginputkan data dan komponen setiap sistem konversi energi, maka *software cycle tempo* akan melakukan perhitungan. Perhitungan *cycle tempo* menggunakan persamaan konservasi energi dan konservasi massa pada setiap sistem konversi energi siklus rankine.

- Konservasi massa dan energi pada system boiler
- Konservasi massa dan energi pada sistem turbin
- Konservasi massa pada condenser
- Konservasi massa pada pompa

Pembuatan output

Output dari software cycle tempo ditentukan dari running skema system siklus rankine.

hasil yang akan diperoleh dari *software cycle tempo* yaitu daya/energi listrik dari sistem berdasarkan potensi ketersediaan biomassa, propertis termodinamika keluaran (entalpi) serta aliran massa (*mass flow*).

3.8 Analisis Hasil Sistem Konversi

Setelah menjalankan perhitungan konversi energi biomassa sabut kelapa menjadi energi listrik dengan menggunakan *software cycle tempo*, maka akan diperoleh hasil yaitu energi listrik yang dihasilkan oleh sistem generator. Selain itu juga *output software cycle tempo* yaitu properti termodinamika keluaran (entalpi) dan laju aliran massa (*mass flow*) pada setiap sistem konversi energi sesuai dengan skema siklus rankine.

3.9 Apakah Profil Beban Terpenuhi

Analisis hasil pada penelitian ini dilakukan dengan menganalisis potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan oleh generator dari potensi biomassa sabut kelapa yang dapat tersedia setiap harinya di Desa Sungai Undan. Potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan digunakan untuk memenuhi profil beban yang ada di Desa Sungai Undan berupa KK dan fasilitas umum untuk akses listrik selama 24 jam/hari.

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian, perhitungan dan pemodelan sistem PLTBm sabut kelapa di Desa Sungai Undan menggunakan *cycle tempo 5.1* yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan:

1. Potensi energi biomassa sabut kelapa dari residu hasil perkebunan kelapa di Desa Sungai Undan Kec. Reteh INHIL sebesar 3,15 Ton/hari dengan energi termal sebesar 52.731.201,6 kJ. Energi termal tersebut dapat digunakan sebagai bahan bakar PLTBm dengan menggunakan siklus rankine sebagai sistem konversi energi biomassa sabut kelapa.
2. Hasil analisis sistem konversi energi biomassa sabut kelapa dari potensi biomassa sabut kelapa yang dapat tersedia setiap harinya di Desa Sungai undan diperoleh entalpi uap yang dihasilkan boiler adalah sebesar 3.226.3 kJ/kg dengan kapasitas uap 15.255 kg uap/hari dan asumsi efisiensi boiler sebesar 80%. Kerja yang dilakukan oleh turbin dengan asumsi efisiensi turbin sebesar 75% adalah 1.848,3 kWh dan potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan oleh generator adalah 1.663,47 kWh dengan *specific steam consumption* (SSC) 9,2 kg uap/kWh.
3. Pemenuhan profil beban yang ada di Desa Sungai Undan yaitu untuk KK yang berjumlah 400 KK dan fasilitas umum, kebutuhan energi listrik di Desa Sungai Undan KK dan fasilitas umum dengan akses listrik selama 24 jam/hari adalah 959,27 kWh. Dari hasil analisis sistem konversi energi biomassa sabut kelapa menggunakan siklus rankine, diperoleh daya yang dapat dibangkitkan di generator listrik sekitar 1663 kWh. Sehingga daya yang dibangkitkan generator dari potensi biomassa yang dapat tersedia setiap harinya mampu memenuhi kebutuhan listrik di Desa Sungai Undan untuk akses listrik selama 24 jam/hari dan masih terdapat kelebihan daya sekitar 668,8 kWh.

5.2 Saran

Penulis menyarankan agar penelitian ini dapat dilanjutkan oleh mahasiswa Teknik Elektro UIN SUSKA Riau. Adapun hal-hal yang penulis sarankan yaitu Optimalisasi desain

Hak Cipta Ditangguhkan UIN Suska Riau

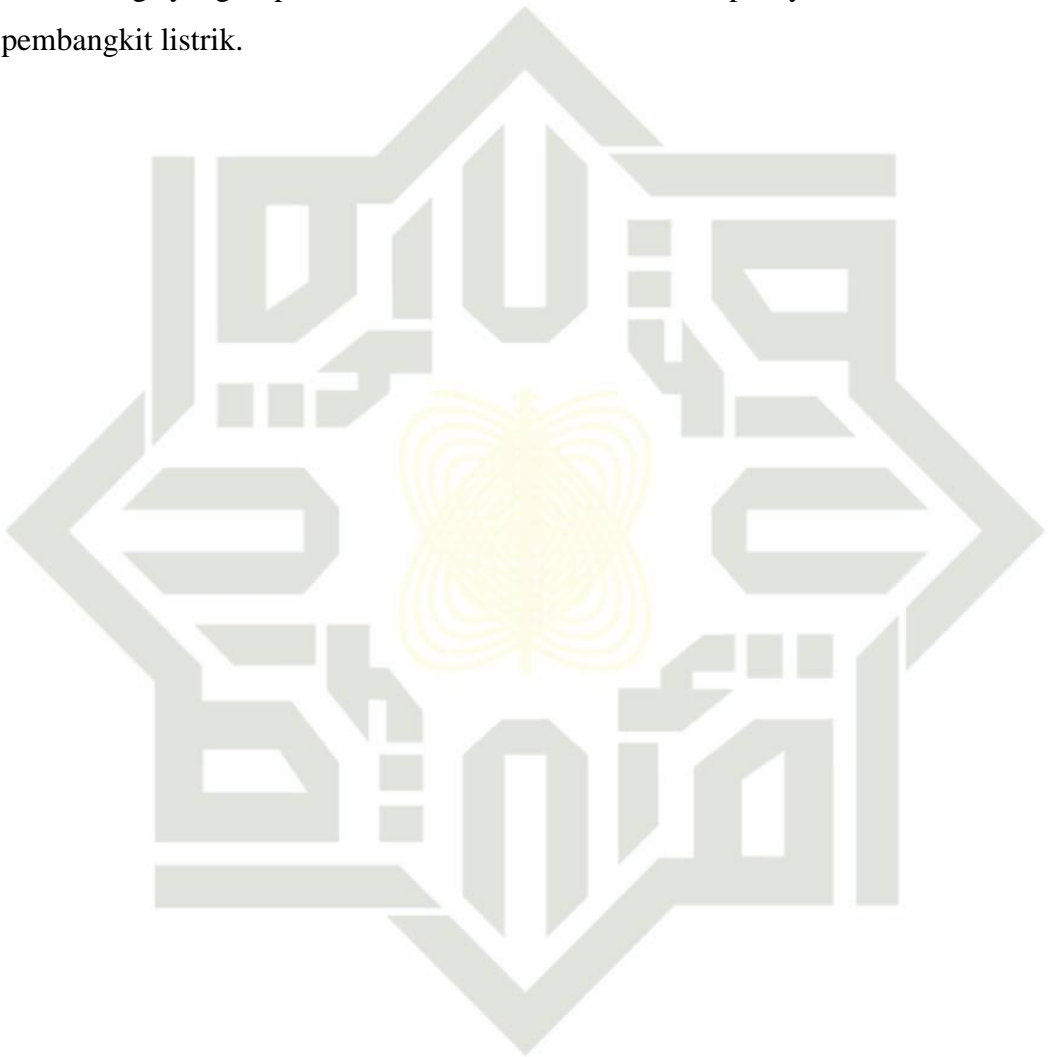
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

prototype PLTBm sabut kelpa, sehingga dihasilkan output yang efisien, serta pemilihan peralatan dan komponen yang lebih selektif.

Selain perkebunan kelapa jenis kelapa dalam, di Desa Sungai Undan juga terdapat perkebunan kelapa dari jenis kelapa hybrid, sehingga untuk penelitian selanjutnya agar dapat memperhitungkan potensi energi yang dapat dimanfaatkan dari limbah kelapa hybrid untuk menjadi bahan bakar pembangkit listrik.



UIN SUSKA RIAU

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), “Energi Berkelanjutan Untuk Transportasi Darat”, *Outlook Energi Indonesia 2018*, Agustus 2018.
- [2] Kementerian ESDM, Konsumsi Listrik Indonesia Per Kapita, *databoks*, 11 Januari 2018. [Online]. Tersedia: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2018/01/11/inilah-konsumsi-listrik-nasional> [Diakses: 2 September 2019]
- [3] M. Zainuddin, M. Fujiaman, D. Mariani, & M. Aslawatah, “Analisis efisiensi gasifikasi pada pembangkit listrik tenaga biomassa (pltbm) tongkol jagung kapasitas 500 kw di kabupaten gorontalo”, *Jurnal Sains Teknologi dan Industri*, Vol. 14, No. 2, Hal. 192-198, Juni 2017.
- [4] I. Kholiq, “Pemanfaatan energi alternatif sebagai energi terbarukan untuk mendukung substitusi BBM”, *Jurnal IPTEK*, Vol. 19, No. 2, Hal. 75-91, Desember 2015.
- [5] A. Sulistyanto, “Karakteristik pembakaran biobriket campuran batubara dan sabut kelapa”, *Media Mesin*, Vol. 7, No. 2, Hal. 77-84, Juli 2006.
- [6] J. Karman, *Teknologi dan Proses Pengolahan Biomassa*, Bandung: Alfabeta, 2012.
- [7] Direktorat Jenderal Perkebunan, Produksi Perkebunan Rakyat Menurut Jenis Tanaman (ribu ton) 2000-2018*, *Badan Pusat Statistik*, 27 Juni 2018. [Online]. Tersedia: <https://www.bps.go.id/dynamictable/2018/06/27/1476-produksi-perkebunan-rakyat-menurut-jenis-tanaman-ribu-ton-2000-2018-.html> [Diakses: 3 September 2019]
- [8] H. Praha, Mentan Sebut Produksi Kelapa Indonesia Terbesar di Dunia, *Kompas.com*, 25 Juli 2018. [Online]. Tersedia: <https://www.google.com/amp/s/amp.kompas.com/ekonomi/read/2018/07/25/083751626/mentan-sebut-produksi-kelapa-indonesia-terbesar-di-dunia> [Diakses: 2 September 2019]
- [9] Direktorat Jenderal Perkebunan, “Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas Kelapa 2015-2017”, *Statistik Perkebunan Indonesia*, Desember 2016.
- [10] BPS Kab. Indragiri Hilir, “Luas Areal Perkebunan Kelapa Dalam dan Produksi, Rata-rata Produksi Per Ha Kelapa Dalam di Kabupaten Indragiri Hilir 2015”, *Pertanian dan Perkebunan*, Agustus 2016.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

- [1] D. M. Nur, Di INHIL 100.000 Hektare Kebun Kelapa Rusak Perlahan Membaik, *Gagasanriau.com*, 06 Januari 2019. [Online] Tersedia: <https://gagasanriau.com/news/detail/40623/di-inhil-100000-hektare-kebun-kelapa-rusak-perlahan-membaik> [Diakses: 25 November 2019]
- [2] Antara, PLN: Rasio Elektrifikasi di Riau Capai 89 Persen, *Republika*, 11 Oktober 2019. [Online]. Tersedia: <https://www.google.com/amp/s/m.republika.co.id/amp/pm8mdx423> [Diakses: 2 September 2019]
- [13] BPS Kab. INHIL, “Kecamatan Reteh dalam Angka 2018”, September 2018.
- [14] A. Abdurrahman, Rencana Pembangunan Jangka Mnengah Desa (RPJMDes) Periode 2016-2021, Juni 2016.
- [15] National Aeronautics and Space Administration (NASA). RETScreen – Pusat Data Iklim.
- [16] Z. Mahmud, & Y. Ferry, “Prospek pengolahan hasil samping buah kelapa”, *Perspektif*, Vol. 4, No. 2, Hal. 55-63, Desember 2005.
- [17] A. I. Pratiwi, & M. Asri, “Analisis pembangkit listrik tenaga biomassa berbasis tongkol jagung”, *Dialektika*, Vol. 5, No. 2, Hal. 108-115, Agustus 2018.
- [18] A. Wibowo, “Perancangan sistem pembangkit listrik biomassa sawit (PLTBS) kapasitas 5 MW”, *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal*, Vol. 1, No. 2, Hal. 53-60, Agustus 2016.
- [19] R. R. D. Wicaksono, 2015, “Desain Sistem Pembangkit Daya Tenaga Biomassa Berbasis Siklus Rankine Organik di Kecamatan Tepus”, Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Gadjra Mada, Yogyakarta.
- [20] M. Supit, H. Tumaliang, & M. Rumbayan, “Pemanfaatan sekam padi sebagai energi alternatif untuk membangkitkan energi listrik”, *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer*, Vol. 4, No. 4, Hal. 12-18, 2015.
- [21] Y. Kurniawan & H. Santoso, “Listrik sebagai ko-produk potensial pabrik gula”, *Jurnal Litbang Pertanian*, Vol. 28, No. 1, Hal. 23-28, Maret 2009.
- [22] V. Febriyanita, 2015, “Pengembangan Biogas Dalam Rangka Pemanfaatan Energi Terbarukan Di Desa Jetak Kecamatan Getasan Kabupaten Semarang”, Skripsi, Fakultas Ilmu Sosial Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- [23] *Biomass Energy Europe, Methods & Data Sources for Biomass Resource Assessments for Energy*, Germany: Freiburg, 2010.

- [4] R. Barlina, “Potensi buah kelapa muda untuk kesehatan dan pengolahannya”, *Perspektif*, Vol. 3, No. 2, Hal. 46-60, Desember 2004.
- [5] D. Hadi, *Termodinamika*, Yogyakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Desember 1993.
- [6] P. R. Ansyah et al, *Buku Ajar Termodinamika I*, Banjarmasin: Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat, 2018.
- [7] A. K. Riza Sulistiati, *Termodinamika*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2010.
- [28] J. Dunn, *Thermodynamics Analysis*, 2007.
- [29] S. Sgiono, *Statistika Untuk Penelitian*, Bandung: ALFABETA, Mei 2007.
- [30] M. Arif, “Pengertian Pemodelan Sistem”, in *Pemodelan Sistem*, Edisi 1, Yogyakarta: Republish, Agustus 2017.
- [31] BPS Kab. Indragiri Hilir, “Kecamatan Reteh Dalam Angka 2015-2019”,

Hak Cipta Ditangguhkan oleh UIN Suska Riau
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LAMPIRAN A

**BIOMASSA SABUT KELAPA DI DESA SUNGAI UNDAN
KECAMATAN RETEH KABUPATEN INHIL DAN SURVEY
LOKASI**

UIN SUSKA RIAU

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





© Ha

Hak Cipta

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

an Syarif Kasim I



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LAMPIRAN B

**KUISIONER PENGAMBILAN DATA BEBAN LISTRIK DI
DESA SUNGAI UNDAN KECAMATAN RETEH KABUPATEN
INHIL**

UIN SUSKA RIAU

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

No. 1

Tanggal: 11/02/2020

**Kuisiener Pemodelan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa
(PLTBm) Sabut Kelapa Dengan Metode Siklus Rankine
Menggunakan Cycle Tempo**

Nama Enumerator : Akmal Syamsuddin
 Nama Responden : Bakhtroji
 Jenis Kelamin : Laki - laki
 Umur : 50
 Alamat :
 Jalan : Parit 3 Sci. Undan
 RT : 01
 RW : 01
 Dusun : Mayang Sari
 Desa : Sungai Undan Kecamatan Reteh
 No HP :
 Kepala Keluarga :
 Nama : Bakhtroji
 Tempat tanggal lahir :
 Status : Menikah
 Pendidikan terakhir : SMA
 Pekerjaan : Petani
 Jumlah tanggungan : 2 Orang

A. Beban listrik yang terpasang pada rumah

Beban Listrik	Jumlah	Daya	Waktu Pemakaian (Jam/Hari)
1. Lampu	3	20	6
2. Televisi	1 (14)	64	6
3. Setrika			
4. Mesin Air	1	125	1
5. Setrika			
6. Rice Cooker			
7. Kipas Angin			
8. Kulkas			
9. Handphone			
10.			

B. Beban listrik yang mungkin ditambah jika PLTBm Sabut Kelapa di Desa Sungai Undan dibangun dan listrik hidup selama 24 jam

Beban Listrik	Jumlah	Daya	Waktu Pemakaian (Jam/Hari)
1. Lampu	7	20	12
2. Setrika	1	300	1
3. Rice Cooker	1		4
4. Kipas Angin	2	45	12
5. TV	1	64	10
6. Mesin air	1	125	3

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

No. 2

Tanggal: 11/02/2020

**Kuisiioner Pemodelan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa
(PLTBm) Sabut Kelapa Dengan Metode Siklus Rankine
Menggunakan Cycle Tempo**

Nama Enumerator : Akmal Syamsuddin
 Nama Responden : Sagufri
 Jenis Kelamin : laki-laki
 Umur : 68
 Alamat :
 Jalan : Parit 3 Sei. Undan
 RT : 01
 RW : 01
 Dusun : Mayang Suri
 Desa : Sungai Undan Kecamatan Reteh
 No HP :
 Kepala Keluarga :
 Nama : Sagufri
 Tempat tanggal lahir : Sungai Undan, 1951
 Status : Merikah
 Pendidikan terakhir : SR
 Pekerjaan : Petani
 Jumlah tanggungan : 1 orang

A. Beban listrik yang terpasang pada rumah

Beban Listrik	Jumlah	Daya	Waktu Pemakaian (Jam/Hari)
1. Lampu	3	16	6
2. Televisi	1	69	6
3. Setrika			
4. Mesin Air	1	125	1
5. Setrika			
6. Rice Cooker			
7. Kipas Angin			
8. Kulkas			
9. Handphone			
10.			

B. Beban listrik yang mungkin ditambah jika PLTBm Sabut Kelapa di Desa Sungai Undan dibangun dan listrik hidup selama 24 jam

Beban Listrik	Jumlah	Daya	Waktu Pemakaian (Jam/Hari)
1. Lampu	5	16	12
2. Televisi	1	69	10
3. Mesin air	1	125	2
4.			
5.			

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

No. 91

Tanggal: 15/02/2020

Kuisisioner Pemodelan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) Sabut Kelapa Dengan Metode Siklus Rankine Menggunakan Cycle Tempo

Nama Enumerator : Akmal Syamsuddin
 Nama Responden : Eva Tryana
 Jenis Kelamin : Perempuan
 Umur :
 Alamat :
 Jalan : Jl. Sarang
 RT : 02
 RW : 04
 Dusun : Melati Indah
 Desa : Sungai Undan Kecamatan Reteh
 No HP :
 Kepala Keluarga :
 Nama : Junaidi
 Tempat tanggal lahir : Sungai Undan, 31 Des 1960
 Status : Menikah
 Pendidikan terakhir : SD
 Pekerjaan : Wiraswasta
 Jumlah tanggungan : 5 orang

Eva Tryana

A. Beban listrik yang terpasang pada rumah

Beban Listrik	Jumlah	Daya	Waktu Pemakaian (Jam/Hari)
1. Lampu	5	18	6
2. Televisi	1 (21)	80	6
3. Setrika			
4. Mesin Air			
5. Setrika			
6. Rice Cooker			8
7. Kipas Angin	1	75	6
8. Kulkas			
9. Handphone			
10.			

B. Beban listrik yang mungkin ditambah jika PLTBm Sabut Kelapa di Desa Sungai Undan dibangun dan listrik hidup selama 24 jam

Beban Listrik	Jumlah	Daya	Waktu Pemakaian (Jam/Hari)
1. Lampu	5	18	12
2. TV	1	80	12
3. Kipas angin	1	75	19
4.			
5.			

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

No. 42

Tanggal: 15/02/2020

**Kuisiener Pemodelan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa
(PLTBm) Sabut Kelapa Dengan Metode Siklus Rankine
Menggunakan Cycle Tempo**

Nama Enumerator : Akmal Syamsuddin
 Nama Responden : Saripah Unora
 Jenis Kelamin : Perempuan
 Umur :
 Alamat :
 Jalan : Jl. Melati Indah
 RT : 01
 RW : 01
 Dusun : Melati Indah
 Desa : Sungai Undan Kecamatan Reteh
 No HP :
 Kepala Keluarga :
 Nama : Sumirdar
 Tempat tanggal lahir : Sungai Undan, 05 Sep 1973
 Status : Menikah
 Pendidikan terakhir : SMP
 Pekerjaan : Pedagang
 Jumlah tanggungan : 1 orang



A. Beban listrik yang terpasang pada rumah

Beban Listrik	Jumlah	Daya	Waktu Pemakaian (Jam/Hari)
1. Lampu	7	20	6
2. Televisi	1 (21)	80	6
3. Setrika			
4. Mesin Air			
5. Setrika			
6. Rice Cooker			
7. Kipas Angin	2	45	6
8. Kulkas			
9. Handphone			
10.			

B. Beban listrik yang mungkin ditambah jika PLTBm Sabut Kelapa di Desa Sungai Undan dibangun dan listrik hidup selama 24 jam

Beban Listrik	Jumlah	Daya	Waktu Pemakaian (Jam/Hari)
1. Lampu	7	20	12
2. TV	1	80	12
3. Kipas angin	2	45	14
4. Mesin air	1	125	2
5.			

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

No. 49

Tanggal: 13 /02/2020

**Kuisioner Pemodelan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa
(PLTBm) Sabut Kelapa Dengan Metode Siklus Rankine
Menggunakan Cycle Tempo**

Nama Enumerator : Akmal Syamsuddin
 Nama Responden : Lasikun
 Jenis Kelamin : laki-laki
 Umur : 39
 Alamat :
 Jalan : Kuala Sungai Undan
 RT : 01
 RW :
 Dusun : Lancang Kuning
 Desa : Sungai Undan Kecamatan Reteh
 No HP :
 Kepala Keluarga :
 Nama : Lasikun
 Tempat tanggal lahir : Sungai Undan, 18 Juli 1980
 Status : menikah
 Pendidikan terakhir : MA
 Pekerjaan : Petani
 Jumlah tanggungan : 3 orang

A. Beban listrik yang terpasang pada rumah

Beban Listrik	Jumlah	Daya	Waktu Pemakaian (Jam/Hari)
1. Lampu	4	18	6
2. Televisi	1 (14)	69	6
3. Setrika			
4. Mesin Air			
5. Setrika			
6. Rice Cooker			
7. Kipas Angin			
8. Kulkas			
9. Handphone			
10.			

B. Beban listrik yang mungkin ditambah jika PLTBm Sabut Kelapa di Desa Sungai Undan dibangun dan listrik hidup selama 24 jam

Beban Listrik	Jumlah	Daya	Waktu Pemakaian (Jam/Hari)
1. Lampu	4	18	22
2. TV	1	69	10
3. Kipas angin	1	45	10
4.			
5.			

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

No. 00

Tanggal: 13/02/2020

**Kuisioner Pemodelan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa
(PLTBm) Sabut Kelapa Dengan Metode Siklus Rankine
Menggunakan Cycle Tempo**

Nama Enumerator : Akmal Syamsuddin
 Nama Responden : Rosidah
 Jenis Kelamin : Perempuan
 Umur : 41
 Alamat :
 Jalan : Kuala Sungai Undan
 RT : 01
 RW :
 Dusun : Lancung Kuning
 Desa : Sungai Undan Kecamatan Reteh
 No HP :
 Kepala Keluarga :
 Nama : Mulyadi
 Tempat tanggal lahir : Sungai Undan, 18 Mei 1975
 Status : Menikah
 Pendidikan terakhir : MA
 Pekerjaan : Petani
 Jumlah tanggungan : 1 orang

A. Beban listrik yang terpasang pada rumah

Beban Listrik	Jumlah	Daya	Waktu Pemakaian (Jam/Hari)
1. Lampu	3	20	6
2. Televisi	1 (20)	80	6
3. Setrika			
4. Mesin Air			
5. Setrika			
6. Rice Cooker			
7. Kipas Angin			
8. Kulkas			
9. Handphone			
10.			

B. Beban listrik yang mungkin ditambah jika PLTBm Sabut Kelapa di Desa Sungai Undan dibangun dan listrik hidup selama 24 jam

Beban Listrik	Jumlah	Daya	Waktu Pemakaian (Jam/Hari)
1. Lampu	4	20	12
2. TV	1	80	10
3. Kipas angin	1	45	10
4.			
5.			

No. 65

Tanggal: 19/02/2020

**Kuisiener Pemodelan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa
(PLTBm) Sabut Kelapa Dengan Metode Siklus Rankine
Menggunakan Cycle Tempo**

Nama Enumerator : Akmal Syamsuddin
 Nama Responden : Asman
 Jenis Kelamin : Laki-laki
 Umur : 50
 Alamat :
 Jalan : Parit Pelajar sungai Undan
 RT : 01
 RW :
 Dusun : Mawar putih
 Desa : Sungai Undan Kecamatan Reth
 No HP :
 Kepala Keluarga :
 Nama : Asman
 Tempat tanggal lahir : Parit Pelajar, 18 April 1970
 Status :
 Pendidikan terakhir : Sarawixah
 Pekerjaan : Nelayan
 Jumlah tanggungan : 9 Orang

A. Beban listrik yang terpasang pada rumah

Beban Listrik	Jumlah	Daya	Waktu Pemakaian (Jam/Hari)
1. Lampu	3	15	6
2. Televisi	1	69	6
3. Setrika			
4. Mesin Air			
5. Setrika			
6. Rice Cooker			
7. Kipas Angin			
8. Kulkas			
9. Handphone			
10.			

B. Beban listrik yang mungkin ditambah jika PLTBm Sabut Kelapa di Desa Sungai Undan dibangun dan listrik hidup selama 24 jam

Beban Listrik	Jumlah	Daya	Waktu Pemakaian (Jam/Hari)
1. Lampu	3	15	12
2. TV	1	69	10
3. Kipas angin	1	45	10
4.			
5.			

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

No. 66

Tanggal: 19/02/2020

**Kuisiener Pemodelan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa
(PLTBm) Sabut Kelapa Dengan Metode Siklus Rankine
Menggunakan Cycle Tempo**

Nama Enumerator : Akmal Syamsuddin
 Nama Responden : Wagimin
 Jenis Kelamin : Laki-laki
 Umur : 42
 Alamat :
 Jalan : Parit Pelajar Sungai Undan
 RT : 01
 RW :
 Dusun : Mawar Putih
 Desa : Sungai Undan Kecamatan Reteh
 No HP :
 Kepala Keluarga :
 Nama : Wagimin
 Tempat tanggal lahir : Sungai Undan, 14 Juni 1977
 Status : Menikah
 Pendidikan terakhir : SD
 Pekerjaan : Nelayan, Petani
 Jumlah tanggungan : 2 orang

clawin

A. Beban listrik yang terpasang pada rumah

Beban Listrik	Jumlah	Daya	Waktu Pemakaian (Jam/Hari)
1. Lampu	1	16, 20 (3)	6
2. Televisi			
3. Setrika			
4. Mesin Air	1	125	1
5. Setrika			
6. Rice Cooker			
7. Kipas Angin	1	45	6
8. Kulkas			
9. Handphone			
10.			

B. Beban listrik yang mungkin ditambah jika PLTBm Sabut Kelapa di Desa Sungai Undan dibangun dan listrik hidup selama 24 jam

Beban Listrik	Jumlah	Daya	Waktu Pemakaian (Jam/Hari)
1. Lampu	20	20 4	12
2. TV	85	1	10
3. Mesin air	125	1	2
4. Kipas angin	45	1	10
5.			

LAMPIRAN C

PERHITUNGAN BEBAN LISTRIK DARI 80 SAMPEL KK DAN FASILITAS UMUM DI DESA SUNGAI UNDAK KECAMATAN REREH KABUPATEN INHIL

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Perhitungan Beban Listrik 80 Sampel Dengan Asumsi Akses Listrik 24 Jam

Note:

D: Daya Listrik

Jp: Jumlah Peralatan

Wp: Waktu Pemakaian

$$\text{Energi Listrik} = D \times Wp \times Jp$$

$$\text{Total: } 2.300/1000 = 2,3 \text{ kWh}$$

1. Lampu	: 20 x 12 x 7 = 1.680
Setrika	: 300 x 1 x 1 = 300
Rice Cooker	: 350 x 4 x 1 = 1.400
Kipas Angin	: 45 x 12 x 2 = 1.080
TV	: 64 x 10 x 1 = 640
Mesin Air	: 125 x 3 x 1 = 375

$$\text{Total: } 4.864/1000 = 4,855 \text{ kWh}$$

2. Lampu	: 16 x 12 x 5 = 960
TV	: 64 x 10 x 1 = 640
Mesin Air	: 125 x 3 x 1 = 250

$$\text{Total: } 1.850/1000 = 1,85 \text{ kWh}$$

3. Lampu	: 18 x 12 x 5 = 1.080
Kipas Angin	: 45 x 10 x 1 = 450
TV	: 64 x 10 x 1 = 640
Mesin Air	: 125 x 2 x 1 = 250

$$\text{Total: } 2.420/1000 = 2,42 \text{ kWh}$$

4. Lampu	: 16 x 12 x 4 = 768
TV	: 64 x 12 x 1 = 768

$$\text{Total: } 1.356/1000 = 1,356 \text{ kWh}$$

5. Lampu	: 20 x 12 x 5 = 1.200
Kipas Angin	: 45 x 12 x 1 = 540
TV	: 64 x 10 x 1 = 640
Mesin Air	: 125 x 2 x 1 = 250

$$\text{Total: } 2.630/1000 = 2,63 \text{ kWh}$$

6. Lampu	: 18 x 12 x 5 = 1.080
TV	: 80 x 10 x 1 = 800
Kipas Angin	: 45 x 12 x 1 = 540

$$\text{Total: } 2.420/1000 = 2,42 \text{ kWh}$$

7. Lampu	: 20 x 12 x 4 = 1.080
Kipas Angin	: 45 x 10 x 1 = 450
TV	: 64 x 10 x 1 = 640
Mesin Air	: 125 x 2 x 1 = 250

8. Lampu	: 20 x 12 x 3 = 720
TV	: 64 x 10 x 1 = 640
Mesin Air	: 125 x 2 x 1 = 250

$$\text{Total: } 1.610/1000 = 1,61 \text{ kWh}$$

9. Lampu	: 18 x 12 x 4 = 864
Kipas Angin	: 45 x 10 x 1 = 450
TV	: 64 x 10 x 1 = 640

$$\text{Total: } 1.954/1000 = 1,954 \text{ kWh}$$

10. Lampu	: 16 x 12 x 4 = 768
TV	: 64 x 10 x 1 = 640
Kipas Angin	: 45 x 10 x 1 = 450

$$\text{Total: } 1.858/1000 = 1,858 \text{ kWh}$$

11. Lampu	: 16 x 12 x 4 = 768
Kipas Angin	: 45 x 12 x 1 = 540
TV	: 64 x 10 x 1 = 640

$$\text{Total: } 1.948/1000 = 1,948 \text{ kWh}$$

12. Lampu	: 18 x 12 x 5 = 1.080
TV	: 80 x 10 x 1 = 800
Mesin Air	: 125 x 2 x 1 = 250

$$\text{Total: } 2.130/1000 = 2,13 \text{ kWh}$$

13. Lampu	: 20 x 12 x 3 = 720
TV	: 64 x 10 x 1 = 640
Mesin Air	: 125 x 2 x 1 = 250
Kipas Angin	: 45 x 10 x 1 = 450

$$\text{Total: } 2.060/1000 = 2,06 \text{ kWh}$$

14. Lampu	: 20 x 12 x 5 = 1.200
TV	: 64 x 10 x 1 = 640
Kipas Angin	: 45 x 10 x 1 = 450
Mesin Air	: 125 x 2 x 1 = 250

$$\text{Total: } 2.540/1000 = 2,54 \text{ kWh}$$

15. Lampu	: 15 x 12 x 3 = 540
-----------	---------------------

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

TV	: 64 x 10 x 1 = 640	TV	: 64 x 10 x 1 = 640
Total: 1.180/1000 = 1,18 kWh		Kipas Angin	: 45 x 10 x 1 = 450
		Mesin Air	: 125 x 2 x 1 = 250
		Total: 2.108/1000 = 2,108 kWh	
16. Lampu	: 18 x 12 x 4 = 864	25. Lampu	: 20 x 12 x 4 = 960
TV	: 64 x 10 x 1 = 640	TV	: 80 x 10 x 1 = 800
Kipas Angin	: 45 x 12 x 1 = 540	Kipas Angin	: 45 x 10 x 1 = 450
Total: 2.044/1000 = 2,044 kWh		Specker	: 20 x 5 x 1 = 100
		Laptop + Printer	: 101 x 5 x 1 = 505
		Total: 2.815/1000 = 2,815 kWh	
17. Lampu	: 13 x 12 x 3 = 468	26. Lampu	: 26 x 12 x 3 = 936
TV	: 64 x 10 x 1 = 640	TV	: 64 x 10 x 1 = 640
Total: 1.108/1000 = 1,108 kWh		Kipas Angin	: 45 x 14 x 1 = 630
		Total: 2.206/1000 = 2,206 kWh	
18. Lampu	: 16 x 12 x 5 = 960	27. Lampu	: 18 x 12 x 3 = 648
TV	: 80 x 10 x 1 = 800	TV	: 64 x 10 x 1 = 640
Mesin Air	: 125 x 2 x 1 = 250	Kipas Angin	: 45 x 12 x 1 = 540
Total: 2.010/1000 = 2,01 kWh		Total: 1.828/1000 = 1,828 kWh	
		28. Lampu	: 20 x 12 x 3 = 720
19. Lampu	: 15 x 12 x 3 = 540	TV	: 80 x 10 x 1 = 800
TV	: 80 x 10 x 1 = 800	Total: 1.520/1000 = 1,52 kWh	
Kipas Angin	: 45 x 10 x 1 = 450	29. Lampu	: 16 x 12 x 4 = 768
Total: 1.790/1000 = 1,79 kWh		TV	: 64 x 10 x 1 = 640
		Kipas Angin	: 45 x 10 x 1 = 450
20. Lampu	: 18 x 12 x 3 = 648	Total: 1.858/1000 = 1,858 kWh	
TV	: 64 x 10 x 1 = 640	30. Lampu	: 18 x 12 x 3 = 648
Total: 1.288/1000 = 1,288 kWh		TV	: 64 x 10 x 1 = 640
		Kipas Angin	: 45 x 12 x 1 = 540
21. Lampu	: 20 x 12 x 5 = 1.200	Mesin Air	: 125 x 2 x 1 = 250
TV	: 80 x 10 x 1 = 800	Total: 2.078/1000 = 2,078 kWh	
Kipas Angin	: 45 x 10 x 1 = 450	31. Lampu	: 20 x 12 x 3 = 720
Total: 2.450/1000 = 2,45 kWh		TV	: 64 x 10 x 1 = 640
		Kipas Angin	: 45 x 10 x 1 = 450
22. Lampu	: 16 x 12 x 4 = 768	Total: 1.810/1000 = 1,810 kWh	
TV	: 64 x 10 x 1 = 640	32. Lampu	: 15 x 12 x 3 = 540
Kipas Angin	: 45 x 10 x 1 = 450	TV	: 64 x 10 x 1 = 640
Mesin Air	: 125 x 2 x 1 = 250		
Total: 2.103/1000 = 2,103 kWh			
23. Lampu	: 20 x 12 x 4 = 960		
TV	: 64 x 10 x 1 = 640		
Kipas Angin	: 45 x 10 x 1 = 450		
Mesin Air	: 125 x 2 x 1 = 250		
Total: 2.300/1000 = 2,3 kWh			
24. Lampu	: 16 x 12 x 4 = 768		

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Mesin Air : $125 \times 2 \times 1 = 250$

Total: $1.430/1000 = 1,43 \text{ kWh}$

33. Lampu : $16 \times 12 \times 3 = 576$
TV : $80 \times 10 \times 1 = 800$

Total: $1.376/1000 = 1,376 \text{ kWh}$

34. Lampu : $13 \times 12 \times 3 = 468$
TV : $64 \times 10 \times 1 = 640$
Kipas Angin : $45 \times 10 \times 1 = 450$
Mesin Air : $125 \times 2 \times 1 = 250$

Total: $1.808/1000 = 1,808 \text{ kWh}$

35. Lampu : $16 \times 12 \times 3 = 576$
TV : $64 \times 10 \times 1 = 640$
Kipas Angin : $45 \times 14 \times 1 = 630$
Mesin Air : $125 \times 2 \times 1 = 250$

Total: $2.097/1000 = 2,097 \text{ kWh}$

36. Lampu : $20 \times 12 \times 4 = 960$
TV : $64 \times 10 \times 1 = 640$
Kipas Angin : $45 \times 10 \times 1 = 450$

Total: $2.050/1000 = 2,05 \text{ kWh}$

37. Lampu : $18 \times 12 \times 4 = 864$
TV : $80 \times 10 \times 1 = 800$
Kipas Angin : $45 \times 14 \times 1 = 630$

Total: $2.294/1000 = 2,294 \text{ kWh}$

38. Lampu : $20 \times 12 \times 3 = 720$
TV : $64 \times 10 \times 1 = 640$
Kipas Angin : $45 \times 10 \times 1 = 450$
Mesin Air : $125 \times 2 \times 1 = 250$

Total: $2.060/1000 = 2,06 \text{ kWh}$

39. Lampu : $20 \times 12 \times 4 = 960$
TV : $64 \times 10 \times 1 = 640$
Kipas Angin : $45 \times 10 \times 1 = 450$

Total: $2.050/1000 = 2,050 \text{ kWh}$

40. Lampu : $16 \times 12 \times 3 = 576$
TV : $80 \times 10 \times 1 = 800$
Kipas Angin : $45 \times 10 \times 1 = 450$
Mesin Air : $125 \times 2 \times 1 = 250$

Total: $2.076/1000 = 2,076 \text{ kWh}$

41. Lampu : $18 \times 12 \times 5 = 1.080$
TV : $80 \times 12 \times 1 = 960$
Kipas Angin : $45 \times 14 \times 1 = 630$

Total: $2.670/1000 = 2,67 \text{ kWh}$

42. Lampu : $20 \times 12 \times 7 = 1.680$
TV : $80 \times 12 \times 1 = 960$
Kipas Angin : $45 \times 14 \times 2 = 630$
Mesin Air : $125 \times 2 \times 1 = 250$

Total: $3.520/1000 = 3,52 \text{ kWh}$

43. Lampu : $18 \times 12 \times 7 = 1.512$
TV : $64 \times 12 \times 1 = 768$
Kipas Angin : $45 \times 14 \times 2 = 630$

Total: $2.910/1000 = 2,91 \text{ kWh}$

44. Lampu : $26 \times 12 \times 9 = 2.800$
TV : $80 \times 10 \times 1 = 800$
Kipas Angin : $45 \times 12 \times 3 = 630$
Kulkas : $80 \times 16 \times 1 = 1.280$

Total: $5.518/1000 = 5,518 \text{ kWh}$

45. Lampu : $20 \times 12 \times 5 = 1.200$
TV : $80 \times 12 \times 1 = 960$
Kipas Angin : $45 \times 14 \times 1 = 630$

Total: $2.790/1000 = 2,79 \text{ kWh}$

46. Lampu : $18 \times 12 \times 3 = 648$
TV : $64 \times 10 \times 1 = 640$
Kipas Angin : $45 \times 12 \times 1 = 540$
Mesin Air : $125 \times 2 \times 1 = 250$

Total: $2.078/1000 = 2,078 \text{ kWh}$

47. Lampu : $20 \times 12 \times 10 = 2.400$
TV : $90 \times 12 \times 1 = 1.080$
Kipas Angin : $45 \times 14 \times 3 = 630$
Mesin Air : $125 \times 2 \times 1 = 250$

Total: $4.360/1000 = 4,36 \text{ kWh}$

48. Lampu : $20 \times 12 \times 6 = 1.440$
TV : $80 \times 12 \times 1 = 960$
Kipas Angin : $45 \times 14 \times 2 = 630$
Mesin Air : $125 \times 2 \times 1 = 250$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Total: $3.280/1000 = 3,28 \text{ kWh}$		57. Lampu	: $20 \times 12 \times 5 = 1.200$
49. Lampu	: $18 \times 12 \times 4 = 864$	TV	: $80 \times 10 \times 1 = 800$
TV	: $64 \times 10 \times 1 = 640$	Kipas Angin	: $45 \times 10 \times 1 = 450$
Kipas Angin	: $45 \times 10 \times 1 = 450$	Mesin Air	: $125 \times 2 \times 1 = 250$
Total: $1.954/1000 = 1,954 \text{ kWh}$		Total: $2.700/1000 = 2,7 \text{ kWh}$	
50. Lampu	: $20 \times 12 \times 4 = 960$	58. Lampu	: $18 \times 12 \times 4 = 864$
TV	: $80 \times 10 \times 1 = 800$	TV	: $64 \times 10 \times 1 = 640$
Kipas Angin	: $45 \times 10 \times 1 = 450$	Kipas Angin	: $45 \times 10 \times 1 = 450$
Total: $2.210/1000 = 2,21 \text{ kWh}$		Total: $1.954/1000 = 1,954 \text{ kWh}$	
51. Lampu	: $16 \times 12 \times 4 = 768$	59. Lampu	: $16 \times 12 \times 6 = 1.151$
TV	: $64 \times 10 \times 1 = 640$	TV	: $64 \times 10 \times 1 = 640$
Kipas Angin	: $45 \times 10 \times 1 = 450$	Kipas Angin	: $45 \times 10 \times 1 = 450$
Mesin Air	: $125 \times 2 \times 1 = 250$	Mesin Air	: $125 \times 2 \times 1 = 250$
Total: $2.108/1000 = 2,108 \text{ kWh}$		Total: $2.492/1000 = 2,492 \text{ kWh}$	
52. Lampu	: $13 \times 12 \times 3 = 468$	60. Lampu	: $26 \times 12 \times 6 = 1.872$
TV	: $64 \times 10 \times 1 = 640$	TV	: $80 \times 12 \times 1 = 960$
Total: $1.108/1000 = 1,108 \text{ kWh}$		Kipas Angin	: $45 \times 12 \times 2 = 1.080$
53. Lampu	: $16 \times 12 \times 4 = 768$	Mesin Air	: $125 \times 2 \times 1 = 250$
TV	: $64 \times 10 \times 1 = 640$	Kulkas	: $90 \times 10 \times 1 = 900$
Kipas Angin	: $45 \times 10 \times 1 = 450$	Total: $5.062/1000 = 5,062 \text{ kWh}$	
Mesin Air	: $125 \times 2 \times 1 = 250$	61. Lampu	: $18 \times 12 \times 5 = 1.080$
Total: $2.108/1000 = 2,108 \text{ kWh}$		TV	: $64 \times 10 \times 1 = 640$
54. Lampu	: $20 \times 12 \times 7 = 1.680$	Kipas Angin	: $45 \times 10 \times 1 = 450$
TV	: $80 \times 12 \times 1 = 960$	Mesin Air	: $125 \times 2 \times 1 = 250$
Kipas Angin	: $45 \times 10 \times 2 = 900$	Total: $2.420/1000 = 2,42 \text{ kWh}$	
Mesin Air	: $125 \times 2 \times 1 = 250$	62. Lampu	: $18 \times 12 \times 5 = 1.080$
Kulkas	: $90 \times 14 \times 1 = 1.260$	TV	: $64 \times 10 \times 1 = 640$
Total: $5.050/1000 = 5,05 \text{ kWh}$		Kipas Angin	: $45 \times 10 \times 1 = 450$
55. Lampu	: $18 \times 12 \times 4 = 864$	Mesin Air	: $125 \times 2 \times 1 = 250$
TV	: $64 \times 10 \times 1 = 640$	Total: $2.420/1000 = 2,42 \text{ kWh}$	
Kipas Angin	: $45 \times 10 \times 1 = 450$	63. Lampu	: $20 \times 12 \times 5 = 1.200$
Total: $1.954/1000 = 1,954 \text{ kWh}$		TV	: $80 \times 12 \times 1 = 960$
56. Lampu	: $16 \times 12 \times 3 = 576$	Kipas Angin	: $45 \times 10 \times 2 = 900$
TV	: $64 \times 10 \times 1 = 640$	Mesin Air	: $125 \times 2 \times 1 = 250$
Kipas Angin	: $45 \times 10 \times 1 = 450$	Total: $3.310/1000 = 3,31 \text{ kWh}$	
Total: $1.666/1000 = 1,666 \text{ kWh}$		64. Lampu	: $16 \times 12 \times 3 = 576$
		TV	: $80 \times 10 \times 1 = 800$
		Kipas Angin	: $45 \times 10 \times 1 = 450$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Total 1 826/1000 = 1,826 kWh

65. Lampu : 13 x 12 x 3 = 468
 TV : 64 x 10 x 1 = 640
 Kipas Angin : 45 x 10 x 1 = 450

Total 1 558/1000 = 1,558 kWh

66. Lampu : 20 x 12 x 4 = 960
 TV : 80 x 10 x 1 = 800
 Kipas Angin : 45 x 10 x 1 = 450
 Mesin Air : 125 x 2 x 1 = 250

Total 2 460/1000 = 2,46 kWh

67. Lampu : 18 x 12 x 3 = 648
 TV : 64 x 10 x 1 = 640

Total 1 288/1000 = 1,288 kWh

68. Lampu : 16 x 12 x 4 = 768
 TV : 64 x 10 x 1 = 640
 Kipas Angin : 45 x 10 x 1 = 450

Total 1 858/1000 = 1,858 kWh

69. Lampu : 16 x 12 x 3 = 576
 TV : 80 x 10 x 1 = 800
 Kipas Angin : 45 x 10 x 1 = 450
 Mesin Air : 125 x 2 x 1 = 250

Total 2 076/1000 = 2,076 kWh

70. Lampu : 13 x 12 x 3 = 468
 TV : 64 x 10 x 1 = 640

Total 1 108/1000 = 1,108 kWh

71. Lampu : 18 x 12 x 6 = 1,296
 TV : 64 x 10 x 1 = 640
 Kipas Angin : 45 x 12 x 1 = 540
 Mesin Air : 125 x 2 x 1 = 250

Total 2 636/1000 = 2,636 kWh

72. Lampu : 16 x 12 x 5 = 960
 TV : 64 x 10 x 1 = 640
 Kipas Angin : 45 x 10 x 1 = 450
 Mesin Air : 125 x 2 x 1 = 250

Total 2,390/1000 = 2,39 kWh

73. Lampu : 20 x 12 x 3 = 720
 TV : 80 x 10 x 1 = 800
 Kipas Angin : 45 x 12 x 1 = 540

Total 2 060/1000 = 2,06 kWh

74. Lampu : 18 x 12 x 3 = 648
 TV : 64 x 10 x 1 = 640
 Kipas Angin : 45 x 10 x 1 = 450

Total 1 738/1000 = 1,738 kWh

75. Lampu : 18 x 12 x 4 = 864
 TV : 80 x 10 x 1 = 800
 Kipas Angin : 45 x 10 x 1 = 450
 Mesin Air : 125 x 2 x 1 = 250

Total 2 364/1000 = 2,364 kWh

76. Lampu : 16 x 12 x 4 = 768
 TV : 80 x 10 x 1 = 800
 Kipas Angin : 45 x 12 x 1 = 540
 Mesin Air : 125 x 2 x 1 = 250

Total 2,358/1000 = 2,358 kWh

77. Lampu : 20 x 12 x 4 = 960
 TV : 64 x 10 x 1 = 640
 Kipas Angin : 45 x 10 x 1 = 450
 Mesin Air : 125 x 2 x 1 = 250

Total 2,300/1000 = 2,3 kWh

78. Lampu : 20 x 12 x 4 = 960
 TV : 64 x 10 x 1 = 640
 Kipas Angin : 45 x 12 x 1 = 540

Total 2,140/1000 = 2,14 kWh

79. Lampu : 20 x 12 x 4 = 960
 TV : 64 x 10 x 1 = 640
 Kipas Angin : 45 x 12 x 1 = 540

Total 2 140/1000 = 2,14 kWh

80. Lampu : 20 x 12 x 4 = 960
 TV : 64 x 10 x 1 = 640

Total 1 601/1000 = 1,601 kWh

**Total daya listrik dari 80 sampel:
 184,014 kWh**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Rata-rata daya listrik dari 80 sampel:
 $183,403 : 80 = 2,3 \text{ kWh}$

Jumlah KK di Desa Sungai Undan adalah
 406 KK, maka:
 $406 \times 2,3 \text{ kWh} = 933,8 \text{ kWh}$

FASILITAS UMUM

Kantor Desa

Lampu 1	: 20 x 8 x 2	= 320
Lampu 2	: 20 x 10 x 1	= 200
Sound System	: 165 x 2 x 1	= 330
Kipas Angin	: 45 x 10 x 2	= 900
Printer	: 125 x 2 x 1	= 250
Total:	2000/1000	= 2 kWh

Puskesmas Pembantu

Lampu 1	: 20 x 8 x 3	= 480
Lampu 2	: 20 x 12 x 1	= 240
Sound System	: 165 x 1 x 1	= 165
Kipas Angin	: 45 x 8 x 2	= 720
Pompa	: 125 x 2 x 1	= 250
Total:	1.855/1000	= 1,855 kWh

Mesjid Al Huda

Lampu 1	: 20 x 3 x 4	= 240
Lampu 2	: 20 x 12 x 2	= 480
Sound System	: 165 x 5 x 1	= 825
Kipas Angin	: 45 x 5 x 4	= 900
Pompa	: 125 x 2 x 1	= 250
Total:	2.695/1000	= 2,695 kWh

Mesjid Al Jihad

Lampu 1	: 20 x 3 x 3	= 180
Lampu 2	: 20 x 12 x 2	= 480
Sound System	: 165 x 5 x 1	= 825
Kipas Angin	: 45 x 5 x 4	= 900
Pompa	: 125 x 2 x 1	= 250
Total:	2.635/1000	= 2,635 kWh

Mesjid Nurul Mu'min

Lampu 1	: 20 x 3 x 3	= 180
Lampu 2	: 20 x 12 x 2	= 480
Sound System	: 165 x 5 x 1	= 825
Kipas Angin	: 45 x 5 x 4	= 900
Pompa	: 125 x 2 x 1	= 250
Total:	2.635/1000	= 2,635 kWh

Mesjid Munajatul Ummah

Lampu 1	: 20 x 3 x 3	= 180
Lampu 2	: 20 x 12 x 2	= 480
Sound System	: 165 x 5 x 1	= 825

Kipas Angin	: 45 x 5 x 3	= 675
Pompa	: 125 x 2 x 1	= 250
Total:	2.410/1000	= 2,410 kWh

Mesjid Nurul Ihsan

Lampu 1	: 20 x 3 x 4	= 240
Lampu 2	: 20 x 12 x 2	= 480
Sound System	: 165 x 5 x 1	= 825
Kipas Angin	: 45 x 5 x 4	= 900
Pompa	: 125 x 2 x 1	= 250
Total:	2.695/1000	= 2,695 kWh

Mushallah Al Mutmainnah

Lampu 1	: 20 x 3 x 2	= 120
Lampu 2	: 20 x 12 x 2	= 480
Sound System	: 165 x 5 x 1	= 825
Kipas Angin	: 45 x 5 x 1	= 225
Pompa	: 125 x 2 x 1	= 250
Total:	1.900/1000	= 1,9 kWh

Mushallah Nurul Hidayah

Lampu 1	: 20 x 3 x 2	= 120
Lampu 2	: 20 x 12 x 2	= 480
Sound System	: 165 x 5 x 1	= 825
Kipas Angin	: 45 x 5 x 2	= 450
Pompa	: 125 x 2 x 1	= 250
Total:	2.125/1000	= 2,125 kWh

Mushallah Nurul Falah

Lampu 1	: 20 x 3 x 2	= 120
Lampu 2	: 20 x 12 x 2	= 480
Sound System	: 165 x 5 x 1	= 825
Kipas Angin	: 45 x 5 x 2	= 450
Pompa	: 125 x 2 x 1	= 250
Total:	2.125/1000	= 2,125 kWh

Mushallah Fatul Jannah

Lampu 1	: 20 x 3 x 2	= 120
Lampu 2	: 20 x 12 x 2	= 480
Sound System	: 165 x 5 x 1	= 825
Kipas Angin	: 45 x 5 x 2	= 450
Pompa	: 125 x 2 x 1	= 250
Total:	2.125/1000	= 2,125 kWh

Total daya listrik yang dibutuhkan untuk fasilitas umum untuk akses listrik 24 jam/hari adalah 25,47 kWh

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LAMPIRAN D

**WAWANCARA KUISIONER UNTUK PENGAMBILAN DATA
BEBAN LISTRIK DI DESA SUNGAI UNDAK KECAMATAN
RETEH KABUPATEN INHIL**

UIN SUSKA RIAU

© Ha

Hak Cipta

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Harif Kasim I

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Akmal Syamsuddin, kelahiran Riau, 26 juni 1996. Merupakan anak kedua dari lima bersaudara, buah hati dari pasangan bapak Drs. Syamsuddin dan ibu Hj. Dahlia yang beralamat di JL. Merpati sakti Gang Pipit No.4A Kelurahan Simpang Baru, Kecamatan Tampan, Kota Pekanbaru, Provinsi Riau. Penulis menyelesaikan pendidikan SD INPRES Batuparigi pada tahun 2008, SMPN 1 Tobadak pada tahun 2011,

SMAN 1 Reteh pada tahun 2014, dan melanjutkan pendidikan kejenjang perguruan tinggi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Fakultas Sains dan Teknologi Program Studi Teknik Elektro Konsentrasi Energi dan lulus pada tahun 2020 dengan predikat **Memuaskan**.

Selama perkuliahan penulis aktif dalam organisasi external kampus dan kegiatan ekstrakurikuler kampus. Penulis sempat mewakili UIN SUSKA Riau pada Pekan Ilmiah Olahraga Seni dan Riset (PIONIR) tingkat nasional antar Perguruan Tinggi Keagamaan Islam Negeri Se-Indonesia di Aceh dan Malang-Jawa Timur dibidang Sepak Takraw. Dengan ketekunan dan motivasi yang tinggi untuk terus belajar dan berusaha, penulis telah berhasil menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga dengan penulisan tugas akhir ini mampu memberikan manfaat atau kontribusi bagi siapa saja yang membutuhkannya.

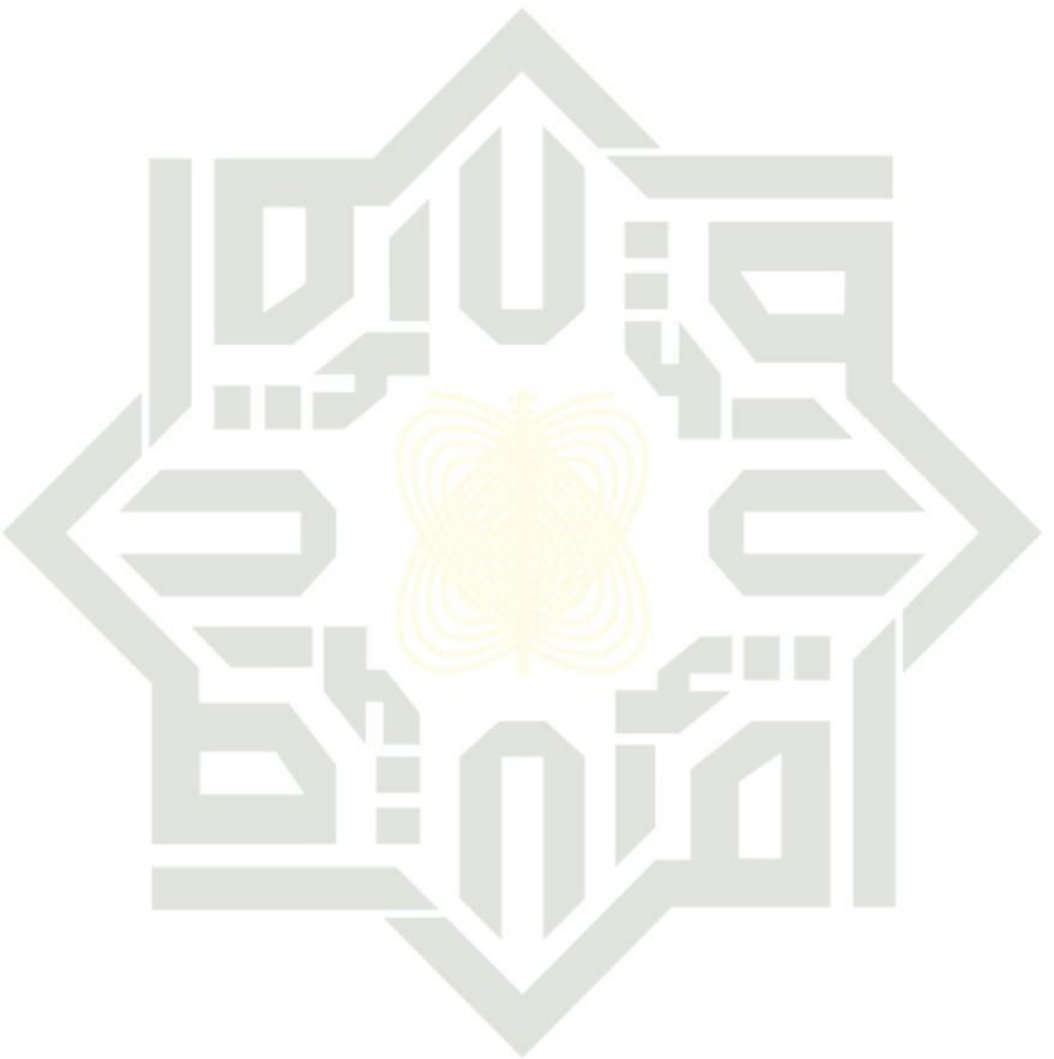
Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT. atas terselesaikannya tugas akhir ini yang berjudul ***“Analisis Sistem Konversi Energi Biomassa Sabut Kelapa Menggunakan Siklus Rankine (Studi Kasus: Desa Sungai Undan INHIL***

UIN SUSKA RIAU

+62 823 8949 8011

akmalsyam26.as@gmail.com

Analisis Sitem Konversi Energi Biomassa Sabut Kelapa
Menggunakan Siklus Rankine (Studi Kasus: Desa Sungai
Undan INHIL)



UIN SUSKA RIAU

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim I

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.