

**ANALISIS PERHITUNGAN STEAM YANG DIBUTUHKAN  
PADA PROSES PELUMATAN BUAH KELAPA SAWIT  
DI UNIT DIGESTER**

**SKRIPSI**

**OLEH:**

**HOTMAN ORAMA SIMATUPANG  
198130119**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

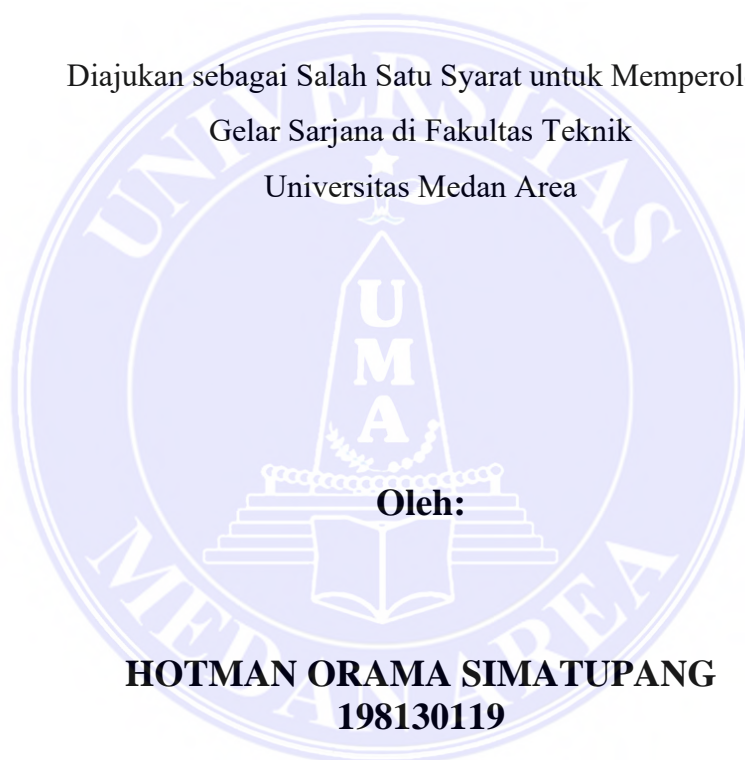
Document Accepted 8/10/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

# **ANALISIS PERHITUNGAN STEAM YANG DIBUTUHKAN PADA PROSES PELUMATAN BUAH KELAPA SAWIT DI UNIT DIGESTER**

## **SKRIPSI**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik  
Universitas Medan Area



**Oleh:**

**HOTMAN ORAMA SIMATUPANG  
198130119**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

## HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal : Analisis Perhitungan Steam Yang Dibutuhkan  
Pada Proses Pelumatan Buah Kelapa Sawit Di  
Unit Digester  
Nama Mahasiswa : Hotman Orama Simatupang  
NIM : 198130119  
Fakultas : Teknik Mesin

Disetujui Oleh  
Komisi Pembimbing

  
(Dr. Eng. Supriatno, S.T., M.T)

Pembimbing

  
(Dr. Eng. Supriatno, S.T., M.T)  
Dekan

  
(Dr. Iswandi, S.T., M.T)  
Ka. Prodi

Tanggal Lulus: 16 Agustus 2024

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 16 Agustus 2024



Hotman Orama Simatupang  
198130119

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

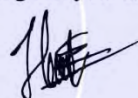
Sebagai sevitak akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hotman Orama Simatupang  
NPM : 198130119  
Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Tugas Akhir/Skripsi/Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*non-exclusive- free right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul: ANALISIS PERHITUNGAN STEAM YANG DIBUTUHKAN PADA PROSES PELUMATAN BUAH KELAPA SAWIT DI UNIT DIGESTER

beserta perangkat yang ada (jika di perlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir/skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini buat dengan sebenarnya.

Di buat di: Medan  
Pada tanggal: 16 Agustus 2024  
Yang menyatakan

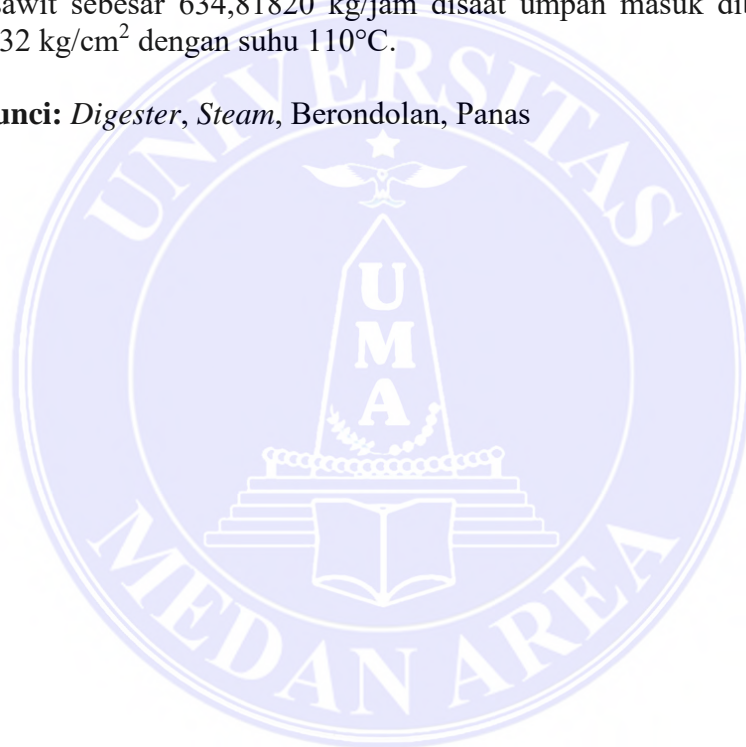


(Hotman Orama Simatupang)  
198130119

## ABSTRAK

*Steam* yang dibutuhkan sangat berpengaruh terhadap proses pelumatan buah kelapa sawit di unit *digester*. Tujuan dari penelitian ini untuk menghitung jumlah panas yang diserap berondolan dan *steam* yang dibutuhkan pada proses pelumatan buah kelapa sawit di unit *digester*. Metode yang digunakan adalah perhitungan panas *sensibel* dan panas *laten*. Teknik pengumpulan data dilakukan dengan cara observasi, pengambilan data lapangan dan melakukan analisis data. Hasil perhitungan penelitian ini adalah panas yang diserap oleh berondolan selama proses pelumatan adalah 346.178,902 Kkal/jam dari umpan berondolan sebanyak 13.664 kg/Jam. Untuk jumlah *steam* yang dibutuhkan untuk pelumatan buah kelapa sawit sebesar 634,81820 kg/jam disaat umpan masuk diberikan tekanan *steam* 2,32 kg/cm<sup>2</sup> dengan suhu 110°C.

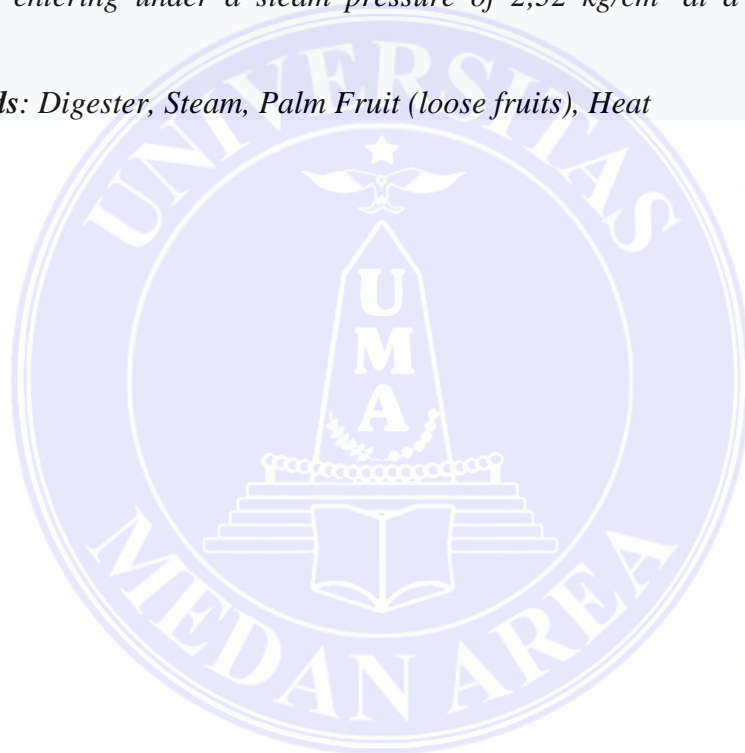
**Kata Kunci:** *Digester*, *Steam*, Berondolan, Panas



## ABSTRACT

*The steam required significantly influences the process of palm fruit digestion in the digester unit. The purpose of this study was to calculate the amount of heat absorbed by the palm fruit (loose fruits) and the steam required during the palm fruit digestion process in the digester unit. The method used involved calculating sensible heat and latent heat. Data collection techniques included observation, field data collection, and data analysis. The results of this study showed that the heat absorbed by the palm fruit (loose fruits) during the digestion process was 346.178,902 Kcal/hour from a fruit feed of 13.664 kg/hour. The amount of steam needed for the digestion of palm fruit (loose fruits) was 634,81820 kg/hour, with the feed entering under a steam pressure of 2,32 kg/cm<sup>2</sup> at a temperature of 110°C.*

**Keywords:** *Digester, Steam, Palm Fruit (loose fruits), Heat*



## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bangkinang Pada Tanggal 24 Agustus 2001 dari ayah M. Simatupang dan ibu R. Butar-butar. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Tahun 2019 penulis lulus dari SMKN 2 Pematang Siantar dan terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Selama mengikuti perkuliahan, penulis menjadi mahasiswa selama perkuliahan pada tahun ajaran 2019 sampai tahun ajaran 2023. Penulis melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) di PMKS Siancimun di Padang Lawas.





## KATA PENGANTAR

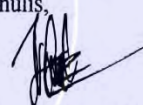
Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala karuniaNya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini ialah Analisis Perhitungan Steam Yang Dibutuhkan Pada Proses Pelumatan Buah Kelapa Sawit Di Unit Digester.

Terima kasih penulis sampaikan kepada Dr.Eng. Supriatno, ST., MT. selaku pembimbing serta Dr. Iswandi, S.T., M.T yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada ayah, ibu serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya, ungkapan terimakasih juga disampaikan kepada saudara kandung saya dan teman-teman yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir/skripsi/tesis ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan tugas akhir/skripsi/tesis ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan Pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terimakasih.

Medan, 16 Agustus 2024

Penulis,



Hotman Orama Simatupang  
198130119

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR RIWAYAT.....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR NOTASI.....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Hipotesis Penelitian .....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. <i>Digester</i> .....	4
2.1.1. Komponen-komponen Mesin <i>Digester</i> .....	7
2.2. <i>Steam</i> .....	11
2.2.1. Jenis-jenis <i>Steam</i> Bertekanan .....	12
2.2.2. Komponen Utama Pembentukan <i>Steam</i> .....	12
2.3. Neraca Energi .....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	19
3.2. Bahan dan Alat .....	19
3.2.1. Bahan.....	19
3.2.2. Alat .....	20
3.3. Metode Penelitian.....	22
3.4. Populasi dan Sampel.....	22
3.5. Prosedur Kerja .....	23
3.5.1. Diagram Alir Penelitian.....	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	25
4.1. Hasil Pengumpulan Data .....	25
4.2. Data Komposisi Berondolan.....	25
4.3. Perhitungan.....	29
4.4. Pembahasan .....	36
BAB V SIMPULAN DAN SARAN .....	37
5.1. Simpulan.....	37
5.2. Saran .....	37
DAFTAR PUSTAKA .....	38
LAMPIRAN.....	40

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Diagram alir penelitian	19
Tabel 3.2. Spesifikasi <i>Digester</i>	21
Tabel 3.3. Populasi dan Sampel	22
Tabel 4.1. Data Proses Pencacahan Berondolan di <i>Digester</i>	25
Tabel 4.2. Data Komposisi Umpan Berondolan di <i>Digester</i>	26
Tabel 4.3. Data Komposisi Cacahan <i>Digester</i>	27
Tabel 4.4. Data Komposisi Fraksi Minyak	28
Tabel 4.5. Harga Cp Komponen Buah Kelapa Sawit	28
Tabel 4.6. Neraca Massa di Unit <i>Digester</i>	35
Tabel 4.7. Tabulasi Data di Unit <i>Digester</i>	35
Tabel 4.8. Data Persenan Minyak Proses Mesin <i>digester</i>	36



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Komponen Mesin <i>Digester</i>	7
Gambar 2.2. Ketel Uap	13
Gambar 2.3. <i>Dearator</i>	14
Gambar 2.4. <i>Back Pressure Vessel</i>	15
Gambar 3.1. Berondolan	20
Gambar 3.2. <i>Digester</i>	21
Gambar 3.3. <i>Termometer</i>	21
Gambar 3.4. Diagram Alir Penelitian	24
Gambar 4.1. Grafik Histogram Komposisi Umpan Berondolan <i>Digester</i>	26
Gambar 4.2. Grafik Histogram Komposisi Cacahan <i>Digster</i>	27
Gambar 4.3. Grafik Histogram Komposisi Fraksi Minyak	28
Gambar 4.4. Diagram Komposisi Berondolan <i>Digester</i>	29
Gambar 4.5. Grafik Garis Persenan Minyak Mesin <i>Digester</i>	37



## DAFTAR NOTASI

$Q_1$	= Panas yang di bawa masuk brondolan (Kkal/jam)
$Q_2$	= Panas <i>steam</i> yang masuk (Kkal/jam)
$Q_3$	= Panas minyak yang keluar (Kkal/jam)
$Q_4$	= Panas produk yang keluar (Kkal/jam)
$Q$	= Laju alir transfer panas (Kkal/jam)
$\dot{m}$	= Laju aliran massa (kg/jam)
$C_p$	= Kapasitas Panas (Kkal/kg°C)
$\Delta T$	= Selisih Temperatur (°C)
$Q$	= Jumlah panas <i>steam</i> yang dibutuhkan (Kkal/jam)
$\dot{m}_s$	= Jumlah <i>steam</i> (kg/jam)
$\lambda_s$	= Panas <i>Laten</i> (Kkal/kg)
$\dot{m}_1$	= Laju massa total berondolan masuk (kg/jam)
$\dot{m}_2$	= Laju massa total <i>steam</i> masuk (kg/jam)
$\dot{m}_3$	= Laju massa total fraksi minyak (kg/jam)
$\dot{m}_4$	= Laju massa total cacahan <i>digester</i> (kg/jam)
$w_1$	= Komponen minyak (kg/jam)
$w_2$	= Komponen serabut (kg/jam)
$w_3$	= Komponen air (kg/jam)
$w_4$	= Komponen <i>sludge</i> (kg/jam)
$w_5$	= Komponen cangkang (kg/jam)
$w_6$	= Komponen inti (kg/jam)
$\dot{m}$	= Umpan berondolan masuk (kg/jam)
$T_1$	= Temperatur berondolan masuk (°C)
$T_2$	= Temperatur berondolan keluar (°C)
$P_s$	= Tekanan <i>steam</i> (kg/cm <sup>2</sup> )
$T_s$	= Temperatur <i>steam</i> masuk (°C)
$T_f$	= Temperatur fraksi minyak (°C)
$Q$	= Panas dilepas <i>steam</i> (Kkal/jam)
$\dot{m}$	= Massa <i>steam</i> (Kg/jam)
$\lambda$	= Entalphy panas penguapan (Kkal/jam)
$\Delta H$	= Panas perubahan temperatur (Kkal/jam)
$X_1$	= Temperatur awal (°C)
$X_2$	= Temperatur akhir (°C)
$Y_1$	= Harga hg pada temperatur awal (Kj/kg)
$Y_2$	= Harga hg pada temperatur akhir (Kj/kg)

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi industri yang kian pesat pada era jaman sekarang ini. Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) memiliki peranan penting dalam kemajuannya baik dalam industri skala kecil, menengah, ataupun skala besar yang berkembang dalam sektor perkebunan terutama kelapa sawit.

Pada dasarnya buah sawit terdiri dari empat bagian utama, yaitu eksokrap, mesokrap, endokrap, dan endosperma. Eksokrap merupakan bagian terluar dari buah sawit yang berupa kulit buah yang bertekstur licin dan berwarna merah jingga pada buah yang matang. Mesokrap adalah bagian penting dari buah sawit, Karena bagian inilah sebagian besar minyak (*Crude Palm Oil*) tersimpan. Bagian ini adalah daging buah yang berserat dan berwarna kuning terang. Sementara itu, endokrap adalah bagian lebih dalam setelah mesokrap yang berupa cangkang atau tempurung yang melindungi bagian dalam berupa inti sawit atau kernel (endosperm). Pada kernel inilah embrio sawit berada, yang mana merupakan bagian yang menghasilkan minyak sawit (*palm kernel oil*).

Sebelum memasuki proses pengepresan, brondolan buah sawit harus dicacah dulu pada unit *digester*. Buah yang masuk ke dalam *digester* diaduk sedemikian rupa sehingga sebagian besar daging buah sudah terlepas dari bijinya (Sastrosayono, I. S. 2003)

Mesin *digester* adalah suatu alat yang dibutuhkan dalam proses pengolahan pabrik kelapa sawit. Energi putaran pada mesin *digester* bersumber

dari arus listrik yang menggerakkan Electromotor untuk membantu dalam proses pengolahan kelapa sawit menghasilkan kualitas minyak CPO terbaik. (Tambunan, M, dkk. 2023). Proses pelumatan buah kelapa sawit perlu diperhatikan suhu yang masuk ke dalam tabung *digester* untuk mempermudah pelumatan buah kelapa sawit sehingga daging terpisah dari biji. *Digester* dilengkapi dengan pisau atau disebut *Stirring Arm* dengan kecepatan 25-26 Rpm. (Sinuraya, E. W. 2017).

*Steam* yang dibutuhkan untuk proses mesin *digester* bersumber dari tabung BPV (*Back Pressure Vessel*) yaitu hasil pemanasan air yang di proses dalam *boiler*. *Steam* yang di injeksikan ke dalam proses pengadukan akan memudahkan proses kerja pada mesin screw press. Apabila *steam* di injeksikan melebihi yang dibutuhkan akan menyebabkan kandungan minyak pada brondol berkurang sehingga proses pelepasan daging brondol akan sulit dipisah dari biji dan mengalami kondensat.

Faktor yang mempengaruhi proses pengolahan pelumatan buah kelapa sawit di dalam mesin *digester* adalah suhu yang dibutuhkan dan kapasitas  $\pm 3/4$  dari volume *digester*. Bertujuan menjahui terjadinya kerusakan pada pisau mesin *digester* dan menghindari terjadinya *losses* tinggi di *fibre* dan biji.

Berdasarkan latar belakang tersebut peneliti tertarik untuk memahami dan menganalisis *steam* mesin *digester* di pabrik kelapa sawit, dengan demikian penulis mengangkat judul “Analisis Perhitungan *Steam* Yang Dibutuhkan Pada Proses Pelumatan Buah Kelapa Sawit Di Unit *Digester*”.

## 1.2. Perumusan Masalah

Adapun identifikasi dan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Mengetahui jumlah panas yang diserap oleh berondolan selama proses pelumatan di unit *digester*?
2. Mengetahui jumlah *steam* yang dibutuhkan pada proses pelumatan berondolan di unit *digester*?

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk :

1. Untuk menghitung jumlah panas yang diserap oleh berondolan selama proses pelumatan di unit *digester*.
2. Untuk menghitung jumlah *stem* yang dibutuhkan pada proses pelumatan brondolan di unit *digester*.

## 1.4. Hipotesis Penelitian

Hipotesis dalam penelitian ini adalah perhitungan *steam* yang dibutuhkan pada proses pelumatan buah kelapa sawit di unit *digester* di PKS PT. Paluta Inti Sawit Desa Siancimun Kec. Halongonan Timur, Kab. Padang Lawas Utara.

## 1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini ialah:

1. Memahami dan memberi wawasan dalam perhitungan *steam* yang dibutuhkan pada proses pelumatan buah kelapa sawit di unit *digester*.
2. Sebagai bahan referensi ilmu pendidikan dengan industri.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. *Digester*

Mesin *digester* berarti mesin yang digunakan untuk mencabik sambil mengaduk brondolan agar daging buah dan biji terpisah. *Digester* berasal dari kata "*digest*", yang berarti mencabik. Untuk pengolahan yang baik permukaan tabung *digester* atau ketel harus di isi sama tingginya setiap waktu, karena perputaran tabung bergantung pada tekanan dan buah tabung yang paling bawah diprioritaskan. Pengolahan yang tidak rata menyebabkan minyak memeras serat hilang. (Lubis, S. 2011).

Mempersiapkan daging buah untuk *press* adalah tujuan utama proses pengadukan sehingga minyak dapat dipisahkan dari daging buah dengan mudah dan tanpa kerugian. Untuk mencapai tujuan itu diperlukan syarat-syarat sebagai berikut:

1. Pelumatan harus menghasilkan cacahan yang baik sehingga tidak ada lagi buah yang utuh (daging buah masih melekat pada bijinya).
2. Daging buah tidak boleh terlalu lumat menjadi bubur struktur serabut daging buah harus terlihat.
3. Selama proses pelumatan suhu pemanasan dapat diatur dan diukur untuk meningkatkan efek pengepressan.
4. Waktu yang dibutuhkan mesin *digester* untuk pelumatan buah berkisar antara 14–20 menit dengan suhu *steam* 90-95 °C.

Fungsi *Digester*:

1. Sebagai alat bejana yang dilengkapi dengan pisau pengaduk untuk pelumat buah.
2. Mencincang brondolan sehingga daging dengan biji mudah dipisahkan.
3. Mengeluarkan sebagian minyak dari brondolan yang timbul akibat proses pengadukan.
4. Memudahkan untuk pengeluaran minyak (*oil*) di pressan dengan sistem *screw press* yang berlawanan arah dengan kecepatan putaran 22-25 rpm.
5. Memproses *press cake* pada *cake breaker conveyor* untuk proses di *depericarper*.

Stasiun perebusan menghasilkan brondol atau buah sawit yang masuk ke *digester*. Selama proses pengadukan *steam injection* dengan suhu 90–100 °C dari *boiler* ditembakkan ke dalam bejana *digester* untuk menjaga suhu brondol buah atau daging buah sawit tetap pada 90–100 °C. Memungkinkan proses untuk membedakan minyak sawit dari daging buah selama proses kempa di mesin *digester*. *Injeksi* uap mempercepat pelunakan brondolan mempermudah lepasnya sel minyak dari daging buah, dan memudahkan pemisahan daging buah dari biji sawit. Selama proses pelumatan dengan alat *digester* dua parameter yang harus dipantau adalah suhu brondolan atau buah dan putaran per detik (*rpm*) dari pisau pengaduk. (Sinuraya, E, W. 2017).

Faktor-faktor yang mempengaruhi kerja *digester*, antara lain:

1. Pastikan pisau *digester* memiliki dinding yang tidak lebih dari 15 mm.
2. Pastikan volume buah *digester* penuh setidaknya 3/4 dari volume *digester* (jangan tutup pisau atas dengan brondolan).
3. Pastikan temperatur *digester* tetap sekitar 90-95°C untuk memudahkan

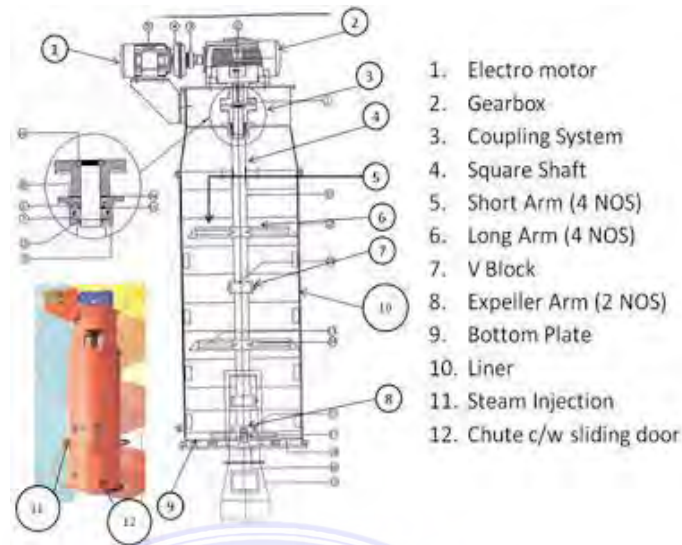
pelepasan daging buah dari biji.

4. Efek lengan pengadukan: Kecepatan efektif lengan pengadukan adalah 22-25 rpm.
5. Durasi pengadukan
6. Kematangan buah rebus. (Pratiwi, S. 2020)

Di dalam mesin *digester* buah atau brondolan sawit yang sudah terisi diputar dengan menggunakan pisau yang dipasang pada poros utama, pisau pengaduk ini terdiri dari:

1. *Long stirring arms*
2. *Short stirring arms*
3. *Bottom stirring arms*

Di dalam *digester* juga ada pisau yang berputar yang berfungsi sebagai rotor dan pisau tetap yang berfungsi sebagai *stator*. Oleh karena itu brondolan kelapa sawit atau buahnya tidak diputar sebaliknya tetapi dibenturkan dengan pisau yang tetap. Dengan adanya tangki pengaduk (*stirring arms*) dan tangki tetap (*fixed arms*), buah kelapa sawit atau brondolan akan memecah atau membuka susunan serat pada daging buahnya dan melunakkan dengan sempurna. Pengadukan ini berlangsung selama 14–20 menit dengan minyak kasar keluar. Setelah buah atau brondolan kelapa sawit terlepas dari bijinya, kemudian masuk ke proses selanjutnya, yaitu pengepressan. Proses pengepressan ini dikenal sebagai *screw press*. Gambar berikut menunjukkan komponen mesin *digester*.



Gambar 2.1. Komponen Mesin *Digester*

### 2.1.1.1. Komponen-komponen Mesin *Digester*

#### 1. *Elektromotor*

*Elektromotor* banyak digunakan di industri untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Alat ini akan menggerakkan mesin *digester* di pabrik kelapa sawit.

#### 2. *Gearbox*

Salah satu bagian penting motor yang disebut sebagai sistem pemindah tenaga adalah *gearbox*, juga dikenal sebagai transmisi. Tugas transmisi biasanya adalah mengirim gerakan atau mengubah tenaga dari gerakan motor, sehingga *spindle* mesin dan melakukan gerakan *feeding*.

#### 3. *Coupling System*

*Coupling System* merupakan sistem pengikat menghubungkan dua poros pada kedua ujungnya untuk mentransmisikan daya mekanis.

#### 4. *Square Shaft*

Poros persegi adalah komponen mesin berbentuk batang dan biasanya

berpenampang lingkaran yang berfungsi untuk memindahkan putaran atau mendukung beban dengan atau tanpa meneruskan daya beban yang didukung oleh poros. Beberapa contoh poros persegi adalah roda gigi, roda daya (*fly wheel*), roda ban (*pulley*), roda gesek.

#### 5. *Arm (Expeller, Long and Short)*

Pisau sebagai melumatkan atau mencabik brondolan Jumlah pisau 6 tingkat, terdiri dari 1 tingkat pisau lempar dan 5 tingkat pisau aduk. Panjang pisau dari dinding digester 15 mm.

#### 6. *V Block*

Poros persegi yang ada di antara pisau digester dapat dikunci atau diperkuat dengan *V Block*, dan berfungsi sebagai penyanggah getar poros persegi.

#### 7. *Bottom Plate*

Untuk memungkinkan minyak sawit yang terpisah mengalir keluar dari *digester*, plat bawah dipasang di atas plat bawah sehingga ada celah sebesar 5 cm antara perforasi di atas plat bawah dan di atas plat bawah. Lubang perforasi berdiameter 4-5 mm dan memiliki luas yang lebih besar dari pipa pengeluaran minyak. Selama pengadukan, daging buah akan terlumat dan sel-sel minyak akan terbuka, memungkinkan minyak keluar dan memenuhi *digester*. Minyak sawit yang keluar ini harus dikeluarkan segera agar beban kerja *screw press* dapat dikurangi. Jadi, selain melumatkan, *digester* juga memisahkan minyak, dan *screw press* melanjutkan proses yang *digester* tidak bisa lakukan. Kinerja *digester* sangat memengaruhi pengendalian kehilangan ampas kempa. Semakin daging buah lumat, semakin banyak minyak yang

terpisah, dan proses pengempaan di *screw press* menjadi lebih mudah.

#### 8. *Steam Injection*

Untuk mempercepat suhu kerja ideal, *steam* injeksi langsung biasanya digunakan untuk pemanasan, mendistribusikan *steam* ke *digester* untuk mencapai suhu pelumatan 95°C. *Jaket steam* biasanya ditinggalkan karena suhu kerja lebih lama dicapai daripada injeksi langsung. Selain itu, tujuan pemakaian injeksi langsung adalah untuk mencapai temperatur kerja sesegera mungkin sebelum *mass passing to digester* (MPD) mulai bergerak dari *digester* menuju *screw press*.

#### 9. *Chute*

*Chute* adalah jalur keluar yang menghubungkan *digester* ke *screw press*. *Chute* biasanya berbentuk kotak memanjang ke bawah dan memiliki klep keluaran, yang merupakan alat yang bergerak naik dan turun untuk membuka dan menutup aliran *digester* untuk jalur keluar dari *digester* ke *screw press*.

### 2.1.2. Spesifikasi mesin *digester*

1. Tipe : Vertikal
2. Tinggi : 2500 mm
3. Diameter : 1130 mm
4. Volume *digester* : 2600 L
5. Kapasitas *digester* : 10000 kg/jam
6. Laju massa masuk : 18729 kg/jam
7. Kecepatan Putaran : 27 rpm
8. Waktu Pelumatan : 10-15 menit
9. Temperatur masuk : 61°C
10. Temperatur keluar : 90-95°C
11. Tekanan *Steam* : 2,344 kg/cm<sup>2</sup>
12. Temperatur *steam* masuk : 125°C
13. Temperatur *steam* keluar : 84°C
14. Temperatur fraksi minyak : 90-95°C
15. Temperatur kerja : 95°C

## 2.2. *Steam*

*Steam* adalah air yang telah dipanaskan di dalam *boiler* dan menghasilkan uap air dengan suhu dan tekanan tertentu. Digunakan sebagai cara untuk memindahkan energi yang terkendali dari ruang utama *boiler* yang otomatis ke lokasi yang digunakan oleh perusahaan. Suatu bentuk penyediaan energi adalah steam yang bergerak mengelilingi pabrik. Dalam suatu *boiler*, *steam* dibuat dengan tekanan yang sesuai dengan kebutuhan pada titik pengguna industri. Suhu *steam* jenuh meningkat menjadi 100°C pada tekanan atmosfer. (Winanti, W. S. 2006).

Meskipun uap air biasanya disebut sebagai uap, tidak semua uap air dapat disebut sebagai uap. Ada tiga jenis uap air: Uap Kering, *saturated steam* (uap jenuh), *superheated steam* (uap panas lanjut). (Sukarman, S. 2010).

*Steam* (uap air) dapat dibedakan sebagai berikut:

1. Uap Kering

Yaitu uap yang dihasilkan dengan proses pemanasan lanjut dari uap jenuh dan tidak mengandung molekul air.

2. Uap Jenuh (*Saturated Steam*)

Jika kalor ditambahkan ke uap basah, fraksi airnya akan menguap. Selama proses penguapan, suhu uap akan tetap konstan. Jika uap terus dipanaskan hingga mencapai keadaan uap jenuh, juga dikenal sebagai uap jenuh, uap akan semakin kering. Selama proses penguapan, suhu uap akan tetap (konstan) untuk setiap peningkatan, karena tekanan uap jenuh memiliki massa jenis yang cenderung meningkat.

3. Uap Panas Lanjut (*Superheated Steam*)



Uap panas terus-menerus yang dialirkan melalui pipa yang dipanasi oleh aliran gas hasil pembakaran sampai mencapai keadaan uap jenuh kering disebut uap panas lanjut. Selama penguapan uap sampai mencapai keadaan uap jenuh kering, suhu uap tetap konstan. Pada tekanan konstan, suhu uap akan naik lagi menjadi uap panas. Perubahan tekanan dan derajat pemanasan lanjut akan memengaruhi suhu uap panas lanjut.

### 2.2.1. Jenis-Jenis *Steam* Bertekanan

Adapun jenis-jenis *steam* bertekanan yaitu:

#### 1. *Low-Pressure Steam* (Uap bertekanan rendah)

*Low-Pressure Steam* adalah uap yang bertekanan  $<3,5$  barg. Sistem uap bertekanan rendah membutuhkan lebih sedikit energi untuk menghasilkan panas karena beroperasi pada tekanan dan suhu yang dikurangi. Uap bertekanan rendah digunakan dalam berbagai industri seperti pemanasan dan pengolahan makanan.

#### 2. *Medium-Pressure Steam* (Uap bertekanan sedang)

*Medium-Pressure Steam* adalah uap dengan tekanan antara 3,5-17,5 barg. Uap bertekanan rendah digunakan dalam berbagai industri,

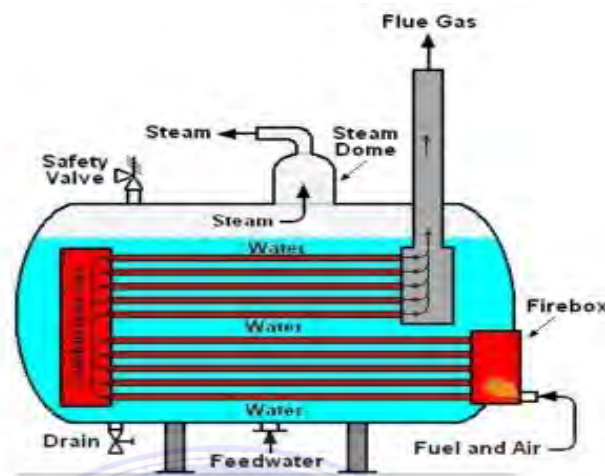
#### 3. *High-Pressure Steam* (Uap bertekanan tinggi)

*High-Pressure Steam* adalah uap yang tinggi dengan bertekanan  $>17,5$  barg. Sistem uap bertekanan tinggi membutuhkan lebih banyak daya untuk menghasilkan transfer energi yang sangat baik.

### 2.2.2. Komponen Utama Pembentukan *Steam*

Adapun komponen utama yang berfungsi sebagai alat untuk menghasilkan *steam* adalah sebagai berikut:

## 1. Ketel Uap (*Boiler*)



Gambar 2.2. Ketel Uap

Ketel uap, juga dikenal sebagai *boiler*, adalah peralatan utama dalam proses pembangkit listrik tenaga uap. *Boiler* menghasilkan uap, atau *steam*, yang digunakan sebagai energi penggerak mesin *steam*. Energi kimia dari bahan bakar di dalam dapur (*furnace*) diubah menjadi panas melalui proses pembakaran. Sebagian besar panas yang dihasilkan diberikan kepada air dalam ketel, menghasilkan uap atau *steam* yang berguna. Industri proses, penggerak, pemanas, dan banyak lagi menggunakan uap ini. (Rahmawati, K. 2018).

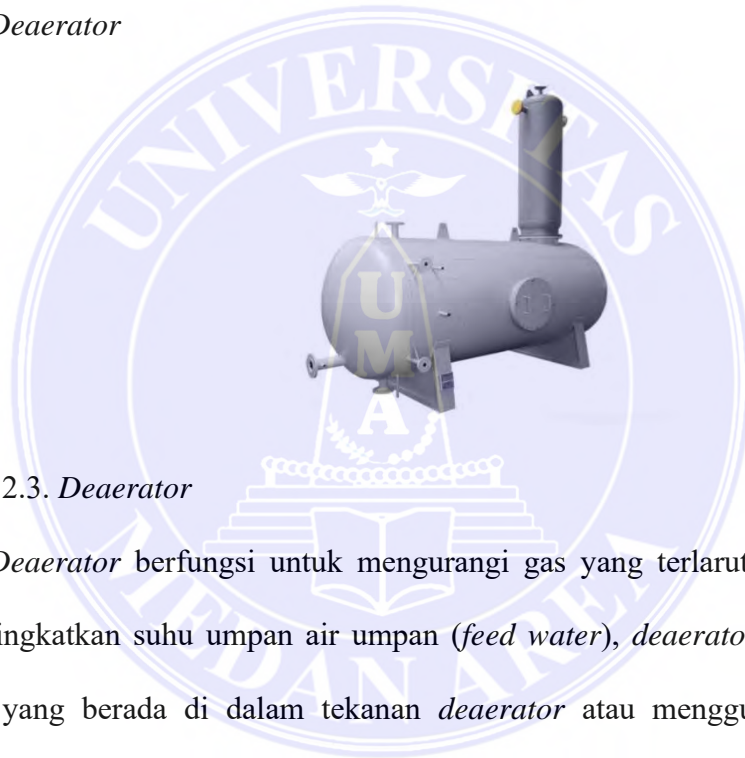
Sistem kerja *boiler* terdiri dari sistem air umpan/air pengisi *boiler*, sistem uap, sistem bahan bakar, dan sistem udara pembakaran dan gas buang. Sistem air umpan mengisi *boiler* secara otomatis dengan air saat diperlukan sistem uap mengumpulkan dan mengontrol jumlah uap yang dihasilkan *boiler* dan sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menghasilkan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Semua komponen sistem udara pembakaran dan gas buang berfungsi untuk

menyediakan udara untuk pembakaran dan membuang dan mengontrol gas yang dihasilkan dari pembakaran ke atmosfer. (Santiatma, I. 2017).

Spesifikasi *boiler*:

1. Tekanan uap normal : 30 kg/cm<sup>2</sup>
2. Temperatur *Steam* : 320°C
3. Kapasitas uap : 35 ton/jam
4. Tempertur *feed water* : 100°C

## 2. *Deaerator*



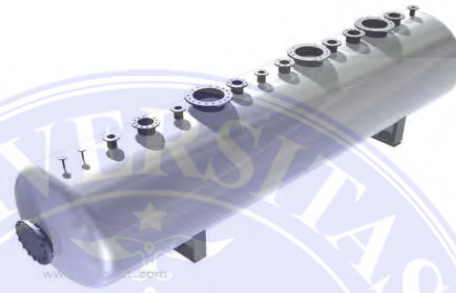
Gambar 2.3. *Deaerator*

*Deaerator* berfungsi untuk mengurangi gas yang terlarut dalam air dan meningkatkan suhu umpan air umpan (*feed water*), *deaerator* menggunakan uap yang berada di dalam tekanan *deaerator* atau menggunakan vacuum *deaerator*. Sebelum air keluar dari *deaerator* diumpankan ke *boiler*, bahan kimia ditambahkan untuk meningkatkan kualitas air *boiler* agar tidak ada kerak. (Juluhu, P. 2019).

Prinsip kerja *deaerator* yaitu air yang masih mengandung oksigen dan gas CO<sub>2</sub> disemprotkan ke *steam deaerator*. Senyawa Hydrazine (N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) atau senyawa lain yang berfungsi sebagai penyerap oksigen yang telah diinjeksikan di *deaerator* menyerap gas tersebut. Kemudian dikeluarkan melalui pipa

pelepas gas atau udara. *Deaerator* juga bekerja karena sifat oksigen, yang kelarutannya pada air akan berkurang ketika suhu meningkat. *Drum* yang lebih kecil berfungsi sebagai tempat pemanasan awal dan pembuangan gas dari air, sedangkan *drum* yang lebih besar menampung air sebelum masuk ke *boiler*. (Ariyanto, D. 2019).

### 3. *Back Pressure Vessel*

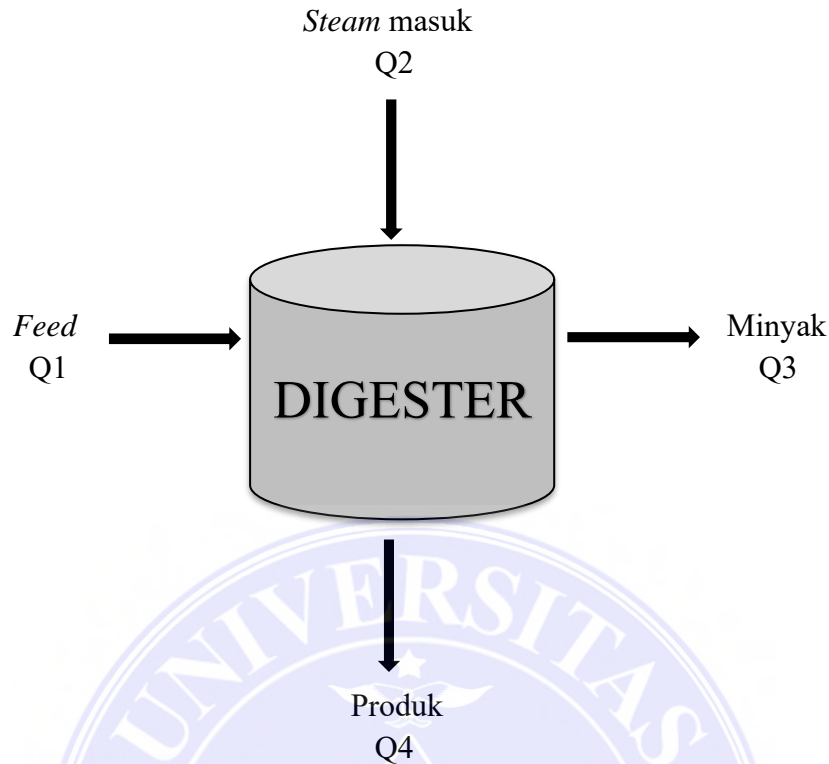


Gambar 2.4. *Back Pressure Vessel*

*Back Pressure Vessel* adalah alat dengan tekanan balik menerima dan menyimpan *steam* dari uap sisa. Suhu turbin menggerakkan uap, yang di distribusikan ke semua stasiun proses yang membutuhkan uap. (Ulum, dkk. 2021). Kapasitas tekanan yang masuk ke dalam *Back Pressure Vessel* berkisar 3 kg/cm<sup>2</sup>.

### 2.3. Neraca Energi

Cabang keilmuan yang dikenal sebagai neraca energi mempelajari kesetimbangan energi dalam sebuah sistem. Neraca energi adalah implementasi dari hukum termodinamika pertama, yang mencakup hukum kekekalan energi, yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan.



Persamaan yang dapat diambil dari diagram diatas yaitu:

$$Q1 + Q2 = Q3 + Q4 \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

Q1 = Panas yang di bawa masuk brondolan (Kkal/Jam)

Q2 = Panas *steam* yang masuk (Kkal/Jam)

Q3 = Panas minyak yang keluar (Kkal/Jam)

Q4 = Panas produk yang keluar (Kkal/Jam)

Dikarenakan jenis *steam* yang digunakan pada alat *digester* yaitu *saturated steam*. Untuk mendapatkan nilai panas/kalor dari bahan masuk (*feed*) dapat diketahui dengan menggunakan persamaan dari panas *sensible* untuk mencari panas yang diserap oleh bahan masuk (*feed*) yaitu:

$$Q \text{ brondolan} = (m \cdot C_p \text{ minyak} \cdot \Delta T) + (m \cdot C_p \text{ air} \cdot \Delta T) + (m \cdot C_p \text{ serabut} \cdot \Delta T) + (m \cdot C_p \text{ inti} \cdot \Delta T) + (m \cdot C_p \text{ cangkang} \cdot \Delta T).$$

### 1. Panas *Sensible*

Panas *sensible* diukur sebelum air mencapai suhu pendidihan dan didefinisikan sebagai jumlah panas yang harus dipindahkan untuk meningkatkan atau menurunkan suhu suatu material atau campuran. Suatu zat akan mengalami peningkatan suhu ketika menerima panas sensitif, tetapi penurunan suhu akan terjadi ketika zat tersebut melepaskan panas sensitif. Kapasitas panas sangat terkait dengan efek panas ini. (Agustina, S. 2021). Dalam hal ini transfer panas dapat diitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

Q = Laju alir transfer panas (Kkal/Jam)

m = Laju aliran massa (Kg/Jam)

C<sub>p</sub> = Kapasitas Panas (Kkal/Kg°C)

ΔT= Selisih Temperatur (°C)

### 2. Panas *Laten*

Panas *laten* adalah panas yang diperlukan untuk mengubah *fase* atau wujud suatu zat tanpa mengubah suhunya. Selain massa benda, titik didih dan titik beku bahan juga memengaruhi besar kecilnya panas latennya. Temperatur di sekitar benda tidak memengaruhi panas yang dikandungnya. Besarnya atau jumlah panas yang dibutuhkan dapat dilihat dari persamaan berikut. (Naibaho, P. 1998).

$$Q = m_s \cdot \lambda_s \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

Q = Jumlah panas *steam* yang dibutuhkan (Kkal/jam)

$m_s$  = Jumlah *steam* (Kg/Jam)

$\lambda_s$  = Panas *Laten* (Kkal/Kg)



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan 12 Februari 2024 sampai dengan 12 Maret 2024. Penelitian ini akan dilaksanakan di PKS PT. Paluta Inti Sawit Desa Siancimun, Kec. Halongonan Timur, Kab. Padang Lawas Utara, Provinsi Sumatra Utara.

Tabel 3.1. Jadwal Tugas Akhir

Aktivitas	2023			2024		
	Mei	Nov	Des	Feb-Maret	Jun	Agu
Pengajuan Judul	■					
Penulisan Proposal		■				
Seminar Proposal			■			
Proses Penelitian				■		
Pengolahan Data					■	
Penyelesaian Laporan						■
Seminar Hasil						
Evaluasi dan Persiapan Sidang						■
Sidang Sarjana						

#### 3.2. Bahan dan Alat

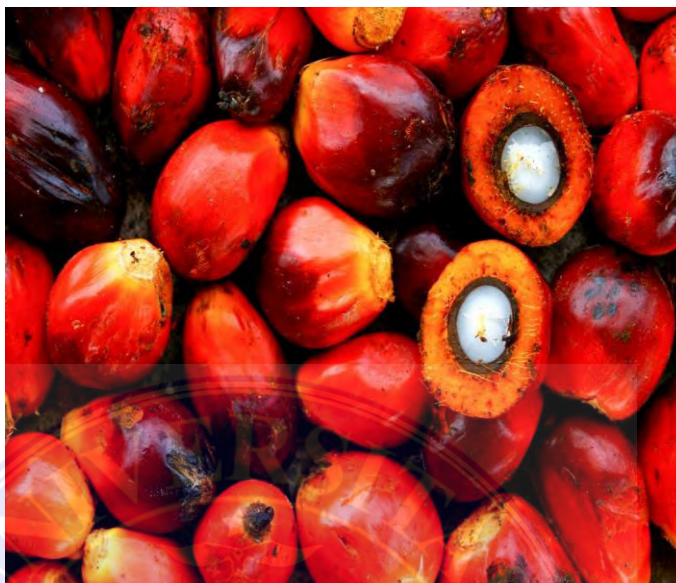
##### 3.2.1. Bahan

###### 1. Berondolan

Berondolan sawit merupakan bagian buah sawit yang terlepas dari



tandan buah ketika buah sudah terlalu matang ataupun buah yang jatuh saat proses penurunan buah dari pokok sawit.



Gambar 3.1. Berondolan.

## 2. *Steam*

*Steam* atau uap merupakan sejenis fluida yang mengalami perubahan fase dari air ke gas, bila mengalami pemanasan sampai temperature didih di bawah tekanan tertentu.

## 3.2.2. Alat

### 1. *Digester*

Mesin *digester* merupakan bagian dari pabrik pengolahan kelapa sawit yang digunakan untuk mengelolah buah kelapa sawit mentah menjadi minyak kelapa sawit dan bungkil. Prosesnya melibatkan pemanasan dan pencacahan daging buah kelapa sawit dengan bantuan uap panas untuk mempermudah proses pelepasan biji dari daging buah. Spesifikasi mesin *digester* di PKS PT. Paluta Inti Sawit Desa Siancimun dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.2. Spesifikasi *Digester*

Data	Spesifikasi
Merk	Serumpun Indah Lestari (SIL)
Model	1500 L
Kapasitas	3,904 m <sup>3</sup>
Diameter Tabung	1270 mm (1,27 m)
Tinggi Tabung	3083 mm (3,083 m)
Kecepatan Putaran Pisau	25 Rpm

Sumber: PKS PT. Paluta Inti Sawit Desa Siancimun



Gambar 3.2. *Digester*

## 2. *Termometer*

*Termometer* adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu dengan menyatakan drajat dingin atau panas suatu benda.



Gambar 3.3. *Termometer*

### 3.3. Metode penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan beberapa metode pencarian data, antara lain:

1. Studi Literatur, merupakan metode penelitian dengan cara membaca berbagai kepustakaan untuk mengetahui dan mendapatkan teori tentang data yang terkait dengan masalah yang akan dibahas.
2. Observasi lapangan, merupakan, metode penelitian yang dilakukan secara langsung pada objek penelitian yang dilakukan dengan melakukan pengamatan langsung pada objek yang akan diteliti, guna mendapatkan data yang di butuhkan.
3. Pengumpulan data, merupakan metode yang dilakukan untuk mengumpulkan sejumlah data-data dengan mencatat data (dokumen), mengambil foto/video berhubungan dengan masalah yang diteliti.

### 3.4. Populasi dan Sampel

Dalam penelitian ini dilakukan pengumpulan data dengan cara mengamati objek dan melakukan riset ke lokasi tempat penelitian, selanjutnya mencatat data-data yang diperlukan untuk melengkapi data yang dibutuhkan dalam penyusunan tugas akhir.

Tabel 3.3. Populasi dan Sampel

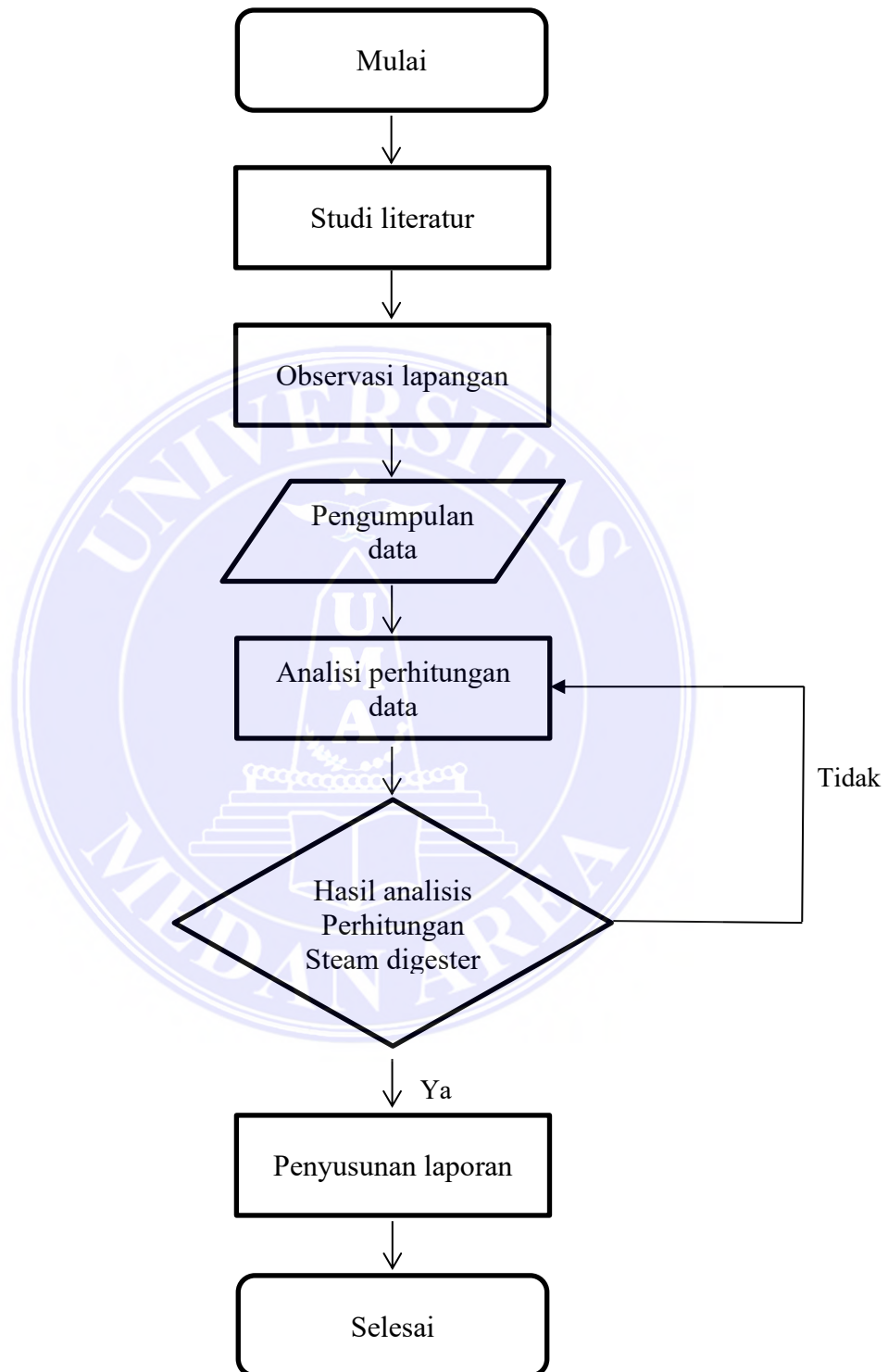
Data	Berondolan			Steam		Fraksi minyak
	$\dot{m}$ (kg/jam)	$T_1$ (°C)	$T_2$ (°C)	$P_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$T_s$ (°C)	$T_f$ (°C)
1	?	?	?	?	?	?
2	?	?	?	?	?	?
3	?	?	?	?	?	?

### 3.5. Prosedur Kerja

Proses penelitian perhitungan *steam* yang dibutuhkan dalam proses pelumatan buah kelapa sawit di unit *digester* pada proses pengolahan kelapa sawit sebagai berikut:

1. Melakukan pengamatan langsung ke lapangan pabrik untuk mempelajari proses pengolahan kelapa sawit, terutama pada proses pengolahan berondolan.
2. Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan di dalam pabrik
3. Menentukan perumusan data yang diambil sesuai dengan judul skripsi
4. Mengukur suhu berondolan menggunakan *termometer*
5. Mengukur fraksi minyak keluaran dari *digester*
6. Mengukur suhu kinerja mesin *digester* saat beroperasi
7. Menentukan komposisi berondolan sebelum masuk ke dalam *digester* dan hasil pencacahan mesin *digester*.
8. Mengumpulkan data yang diperlukan untuk melengkapi pokok permasalahan skripsi.

### 3.5.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.4. Diagram Alir Penelitian

## BAB V

### SIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Simpulan

Kesimpulan yang didapat berdasarkan hasil analisis penelitian dapat dinyatakan bahwa.

1. Dalam proses pelumatan buah kelapa sawit di unit *digester* dengan laju massa berondolan masuk sebesar 13.664 kg/jam didapat jumlah panas yang diserap oleh berondolan sebanyak 346.178,902 Kkal/jam.
2. Untuk jumlah *steam* yang dibutuhkan selama proses pelumatan buah kelapa sawit yaitu 634,81820 kg/jam dengan tekanan *steam* sebesar 2,32 kg/cm<sup>2</sup> dan temperatur suhu 110°C.

#### 5.2. Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan untuk penelitian selanjutnya berdasarkan dengan penelitian yang sudah dilakukan antara lain.

1. Dibutuhkan pemantauan tekanan *steam* masuk ke *digester* saat dalam proses pelumatatan agar tidak terjadi kerusakan kandungan minyak pada buah kelapa sawit.
2. Untuk penelitian selanjutnya diperlukan perhitungan kehilangan panas saat proses pelumatan buah kelapa sawit di unit *digester*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Lubis, S. (2011). *Perencanaan Mesin Digester Untuk Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 10 Ton TBS/Jam* (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area).
- Sinuraya, E. W. (2017). *Pemantauan Suhu Digester Pada Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Melalui Protokol HTTP Menggunakan Library WebClient Arduino*. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 19(1), 35-41.
- Pratiwi, S. (2020). *Analisis Tingkat Utilitas Dan Penjadwalan Produksi Mesin Digester Menggunakan Metode Indikator Pada PTPN IV Gunung Bayu Sumatera Utara* (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area).
- Winanti, W. S. (2006). *Perbaikan Jalur Distribusi Steam Untuk Penghematan Steam Pada Industri Kertas*. *Teknik Lingkungan PTL-BPPT*, Edisi Khus, 51-57.
- Sukarman, S. (2010). *Steam Dalam Pembuatan Pakan Untuk Komoditas Akuakultur*. *Media Akuakultur*, 5(2), 123-128.
- Rahmawati, K. (2018). *Perancangan Desain Boiler Pada Mini Plant Steam Engine Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap*. Institut Teknologi Sepuluh November: Surabaya.
- Santiatma, I. (2017). *Pemodelan Dan Analisan Boiler Menggunakan Kesetimbangan Massa Dan Energi*. Tugas Akhir, Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh November.
- Jaluhu, P. (2019). *Analisa Pengaruh Kualitas Air Terhadap Efisiensi Ketel uap di Pabrik PT. Perkebunan Lembah Bhakti (PLB)* (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area).
- Ariyanto, D. (2019). *Analisis Kegagalan Pipa Elbow dari High Pressure Heater (HPH) ke Deaerator pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Ulum, Z., Hasan, S., Sinulingga, E. P., Latifah, S., & Fachrudin, K. A. (2021, March). *An Introduction Of Scada-based Based Back Pressure Vessel (BPV) At Palm Oil Factory With Biomass Energy*. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1811, No. 1, p. 012046). IOP Publishing.
- Agustina, S. (2021). *Diktat Neraca Energi*.
- Naibaho, P. (1998). *Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit, Pusat Penelitian Kelapa Sawit*. Universitas Medan, Medan.
- Tambunan, M. P., Pasaribu, G. A., Sebayang, S., & Silalahi, E. W. (2023). *Perancangan Mesin Digester Yang Digunakan Di PMKS PT. Socfindo Aceh Singkil*. *Jurnal Teknologi Mesin UDA*, 4(1), 299-305.
- Hikmawan, O., & Rachmiadji, I. (2021). *Penentuan Kinerja Mesin Digester Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 10 Ton TBS/Jam Di Unit Sterilizer Pabrik Kelapa Sawit*. *Jurnal Teknik Dan Teknologi*, 16(31), 43-50.

- Sitepu, T. (2011). *Analisa Kebutuhan Uap Pada Sterilizer Pabrik Kelapa Sawit Dengan Lama Perebusan 90 Menit*. Jurnal Dinamis, 2(8).
- Sastrosayono, I. S. (2003). *Budi daya kelapa sawit*. AgroMedia.
- Surbakti, C. A. B., Sebayang, E. H. B., & Razak, A. (2021). *Analisis Efisiensi Ketel Uap Kapasitas 35 Ton/Jam Di PT Perkebunan Lembah Bhakti, Astra Agro Lestari, TBK*. Prosiding Konferensi Nasional Social & Engineering Polmed (Konsep), 2(1), 158-164.





## LAMPIRAN

### Lampiran tabel *Saturated Steam*

Table A.1  
Thermodynamic Properties of Steam\*  
Table A.1.1  
Saturated Steam: Temperature Table

Temp. °C T	Press. kPa P	Specific Volume		Internal Energy			Enthalpy			Entropy		
		Sat. Liquid $v_f$	Sat. Vapor $v_g$	Sat. Liquid $u_f$	Evap. $u_{fg}$	Sat. Vapor $u_g$	Sat. Liquid $h_f$	Evap. $h_{fg}$	Sat. Vapor $h_g$	Sat. Liquid $s_f$	Evap. $s_{fg}$	Sat. Vapor $s_g$
0.01	0.6113	0.001 000	206.14	.00	2375.3	2375.3	.01	2501.3	2501.4	0.0000	9.1562	9.1562
5	0.8721	0.001 000	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	0.001 000	106.38	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.7198	8.9008
15	1.7051	0.001 001	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.0	0.2245	8.5569	8.7814
20	2.339	0.001 002	57.79	83.95	2319.0	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.3706	8.6672
25	3.169	0.001 003	43.36	104.88	2304.9	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.1905	8.5580
30	4.246	0.001 004	32.89	125.78	2290.8	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.0164	8.4533
35	5.628	0.001 006	25.22	146.67	2276.7	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	7.8478	8.3531
40	7.384	0.001 008	19.52	167.56	2262.6	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	7.6845	8.2570
45	9.593	0.001 010	15.26	188.44	2248.4	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	7.5261	8.1648
50	12.349	0.001 012	12.03	209.32	2234.2	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	0.7038	7.3725	8.0763
55	15.758	0.001 015	9.568	230.21	2219.9	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	0.7679	7.2234	7.9913
60	19.940	0.001 017	7.671	251.11	2205.5	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	0.8312	7.0784	7.9096
65	25.033	0.001 020	6.197	272.02	2191.1	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	0.8935	6.9375	7.8310
70	31.19	0.001 023	5.042	292.95	2176.6	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	0.9549	6.8004	7.7553
75	38.58	0.001 026	4.131	313.90	2162.0	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	6.6669	7.6824
80	47.39	0.001 029	3.407	334.86	2147.4	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	6.5369	7.6122
85	57.83	0.001 033	2.828	355.84	2132.6	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1341	6.4102	7.5445
90	70.14	0.001 036	2.361	376.85	2117.7	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	6.2866	7.4791
95	84.55	0.001 040	1.982	397.88	2102.7	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	6.1659	7.4159

\* Adapted from Joseph H. Keenan, Frederick G. Keyes, Phillip G. Hill, and Joan G. Moore, *Steam Tables* (New York: John Wiley & Sons, Inc., 1969).

Table A.1.1 (Continued)  
Saturated Steam: Temperature Table

Temp. °C T	Press. MPa p	Specific Volume		Internal Energy			Enthalpy			Entropy		
		Sat. Liquid $v_f$	Sat. Vapor $v_g$	Sat. Liquid $u_f$	Evap. $u_{fg}$	Sat. Vapor $u_g$	Sat. Liquid $h_f$	Evap. $h_{fg}$	Sat. Vapor $h_g$	Sat. Liquid $s_f$	Evap. $s_{fg}$	Sat. Vapor $s_g$
100	0.10135	0.001044	1.6729	418.94	2087.6	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	6.0480	7.3549
105	0.12082	0.001048	1.4194	440.02	2072.3	2512.4	440.15	2243.7	2683.8	1.3030	5.9328	7.2958
110	0.14327	0.001052	1.2102	461.14	2057.0	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.3185	5.8202	7.2387
115	0.16906	0.001056	1.0366	482.30	2041.4	2523.7	482.48	2216.5	2699.0	1.3734	5.7100	7.1833
120	0.19858	0.001060	0.8919	503.50	2025.8	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5270	5.6020	7.1296
125	0.23221	0.001065	0.7706	524.74	2009.9	2534.6	524.99	2188.5	2713.5	1.5813	5.4962	7.0775
130	0.2701	0.001070	0.6685	546.02	1993.9	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	5.3925	7.0269
135	0.3130	0.001075	0.5822	567.35	1977.7	2545.0	567.69	2159.6	2727.3	1.6870	5.2907	6.9777
140	0.3613	0.001080	0.5089	588.74	1961.3	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	5.1908	6.9299
145	0.4154	0.001085	0.4463	610.18	1944.7	2554.9	610.63	2129.6	2740.5	1.7907	5.0926	6.8833
150	0.4758	0.001091	0.3928	631.68	1927.9	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	4.9960	6.8379
155	0.5431	0.001096	0.3468	653.24	1910.8	2564.1	653.84	2098.6	2752.4	1.8925	4.9010	6.7935
160	0.6178	0.001102	0.3071	674.87	1893.5	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	4.8075	6.7502
165	0.7005	0.001108	0.2727	696.56	1876.0	2572.5	697.34	2066.2	2763.5	1.9925	4.7153	6.7078
170	0.7917	0.001114	0.2428	718.33	1858.1	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	4.6244	6.6663
175	0.8920	0.001121	0.2168	740.17	1840.0	2580.2	741.17	2032.4	2773.6	2.0909	4.5347	6.6256
180	1.0021	0.001127	0.1940	762.09	1821.6	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	4.4461	6.5857
185	1.1227	0.001134	0.1740	784.10	1802.9	2587.0	785.37	1997.1	2782.4	2.1879	4.3586	6.5465
190	1.2544	0.001141	0.1565	806.19	1783.8	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	4.2720	6.5079
195	1.3978	0.001149	0.1410	828.37	1764.4	2592.8	829.98	1960.0	2790.0	2.2835	4.1863	6.4698
200	1.5538	0.001157	0.1273	850.65	1744.7	2595.3	852.45	1940.7	2793.2	2.3309	4.1014	6.4328
205	1.7230	0.001164	0.1152	873.04	1724.5	2597.5	875.04	1921.0	2796.0	2.3780	4.0172	6.3952
210	1.9062	0.001173	0.1044	895.53	1703.9	2599.5	897.76	1900.7	2798.5	2.4248	3.9347	6.3585
215	2.104	0.001181	0.0947	918.14	1682.9	2601.1	920.62	1879.9	2800.5	2.4714	3.8507	6.3221
220	2.318	0.001190	0.0861	940.87	1661.5	2602.4	943.62	1858.5	2802.1	2.5178	3.7683	6.2861
225	2.548	0.001199	0.0784	963.73	1639.6	2603.3	966.78	1836.5	2803.3	2.5639	3.6863	6.2503
230	2.795	0.001209	0.0715	986.74	1617.2	2603.9	990.12	1813.8	2804.0	2.6099	3.6047	6.2146
235	3.060	0.001219	0.0653	1009.89	1594.2	2604.1	1013.62	1790.5	2804.2	2.6558	3.5233	6.1791
240	3.344	0.001229	0.0597	1033.21	1570.8	2604.0	1037.32	1766.5	2803.8	2.7015	3.4422	6.1437
245	3.648	0.001240	0.0547	1056.71	1546.7	2603.4	1061.23	1741.7	2803.0	2.7472	3.3612	6.1083
250	3.973	0.001251	0.0501	1080.39	1522.0	2602.4	1085.36	1716.2	2801.5	2.7927	3.2802	6.0730
255	4.319	0.001263	0.0459	1104.28	1496.7	2600.9	1109.73	1689.8	2799.5	2.8383	3.1992	6.0375
260	4.688	0.001276	0.0421	1128.39	1470.6	2599.0	1134.37	1662.5	2796.9	2.8838	3.1181	6.0019
265	5.081	0.001289	0.0387	1152.74	1443.9	2596.6	1159.28	1634.4	2793.6	2.9294	3.0368	5.9662
270	5.499	0.001302	0.0356	1177.36	1416.3	2593.7	1184.51	1605.2	2789.7	2.9751	2.9551	5.9301
275	5.942	0.001317	0.0327	1202.25	1387.9	2590.2	1210.07	1574.9	2785.0	3.0208	2.8730	5.8938
280	6.412	0.001332	0.0301	1227.46	1358.7	2586.1	1235.99	1543.6	2779.6	3.0668	2.7903	5.8571
285	6.909	0.001348	0.0277	1253.00	1328.4	2581.4	1262.31	1511.0	2773.3	3.1130	2.7070	5.8199
290	7.436	0.001366	0.0255	1278.92	1297.1	2576.0	1289.07	1477.1	2766.2	3.1594	2.6227	5.7821
295	7.993	0.001384	0.0235	1305.2	1264.7	2569.9	1316.3	1441.8	2758.1	3.2062	2.5375	5.7437
300	8.581	0.001404	0.0216	1332.0	1231.0	2563.0	1344.0	1404.9	2749.0	3.2534	2.4511	5.7045
305	9.202	0.001425	0.0198	1359.3	1195.9	2555.2	1372.4	1366.4	2738.7	3.3010	2.3633	5.6643
310	9.856	0.001447	0.0181	1387.1	1159.4	2546.4	1401.3	1326.0	2727.3	3.3493	2.2737	5.6230
315	10.547	0.001472	0.0165	1415.5	1121.1	2536.6	1431.0	1283.5	2714.5	3.3982	2.1821	5.5804
320	11.274	0.001499	0.0150	1444.6	1080.9	2525.5	1461.5	1238.6	2700.1	3.4480	2.0882	5.5362
330	12.845	0.001561	0.0129	1505.3	993.7	2498.9	1525.3	1140.6	2665.9	3.5507	1.9099	5.4417
340	14.586	0.001638	0.0107	1570.3	894.3	2464.6	1594.2	1027.9	2622.0	3.6594	1.7663	5.3357
350	16.513	0.001740	0.0081	1641.9	776.6	2418.4	1670.6	893.4	2563.9	3.7777	1.6335	5.2112
360	18.651	0.001893	0.0060	1725.2	626.3	2351.5	1760.5	720.5	2481.0	3.9147	1.5379	5.0526
370	21.03	0.002123	0.0044	1844.0	384.5	2228.5	1890.5	441.6	2332.1	4.1106	1.6865	4.7971
374.14	22.09	0.003153	0.0031	2029.6	0	2029.6	2099.3	0	2099.3	4.4298	0	4.4298

**Tabel Pengambilan data Penelitian sebulan dari tanggal 12 februari sampai 12 maret 2024 pengolahan digester di PKS PT. Paluta Inti Sawit.**

Data	Tanggal	Berondolan		Steam		Panas yang di Serap Berondolan	Massa Steam	
		M (Kg/Jam)	T1 (°C)	T2 (°C)	Ps (Kg/cm <sup>2</sup> )			Ts (°C)
1	13-Feb	13664	55	94	2,54	110	275.528,90	545,39814
2	14-Feb	13664	61	90	2,54	110	207.880,43	546,92778
3	15-Feb	13664	60	87	2,54	110	190.750,72	548,229883
4	17-Feb	13664	40	89	2,32	110	346.178,90	634,81820
5	19-Feb	13664	59	92	2,32	110	233.140,89	546,162962
6	20-Feb	13664	63	91	2,32	110	197.815,54	546,545371
7	21-Feb	13664	57	95	2,83	110	268.214	545,015734
8	22-Feb	13664	64	90	2,83	110	183.685,92	546,92778
9	24-Feb	13664	60	91	2,83	110	219.010	546,545371
10	26-Feb	13664	63	90	2,28	110	190.750,72	546,162963
11	27-Feb	13664	55	90	2,28	110	247.269,38	546,92778
12	28-Feb	13664	58	91	2,28	110	233.140,89	546,545371
13	29-Feb	13664	62	88	2,58	110	186.685,92	547,71172
14	02-Mar	13664	58	91	2,58	110	233.140,89	546,162962
15	04-Mar	13664	55	90	2,58	110	247.26,38	546,92778
16	05-Mar	13664	63	90	2,35	110	190.750,72	546,92778
17	06-Mar	13664	51	87	2,35	110	254.335,28	548,229883
18	07-Mar	13664	49	89	2,35	110	282.593,70	634,81820
19	09-Mar	13664	50	92	2,52	110	296.723,35	546,162962
20	11-Mar	13664	60	93	2,52	110	233.140,89	545,780553
Jumlah							4.470.737,04	11.108,92918