



**TUGAS AKHIR - TK145501**

**PABRIK PULP DARI SERAT RAMI (*Boehmeria nivea L.*  
*Gaudich*) DENGAN PROSES ACETOCELL**

**DIAH AYU TRININGSIH  
NRP. 10411500000006**

**AHMAD ARIF  
NRP. 10411500000007**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT.**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA INDUSTRI  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018**



**TUGAS AKHIR - TK145501**

**PABRIK PULP DARI SERAT RAMI (*Boehmeria nivea L.*  
*Gaudich*) DENGAN PROSES ACETOCELL**

**DIAH AYU TRININGSIH**  
**NRP. 10411500000006**

**AHMAD ARIF**  
**NRP. 10411500000007**

**Dosen Pembimbing**  
**Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT.**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA INDUSTRI**  
**Fakultas Vokasi**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya**  
**2018**



FINAL PROJECT - TK145501

**PULP FACTORY FROM RAMI FIBERS (*Boehmeria nivea L. Gaudich*) WITH ACETOCELL PROCESS**

DIAH AYU TRININGSIH  
NRP. 10411500000006

AHMAD ARIF  
NRP. 10411500000007

Conselor Lecturer  
Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT.

DEPARTEMENT OF INDUSTRIAL CHEMICAL ENGINEERING  
Faculty of VOCATIONAL  
Institute Technology of Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018

## LEMBAR PENGESAHAN

### LAPORAN TUGAS AKHIR DENGAN JUDUL : PABRIK PULP DARI SERAT RAMI (*Boehmeria nivea L. Gaudich*) DENGAN PROSES ACETOCELL TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya  
pada  
Departemen Teknik Kimia Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

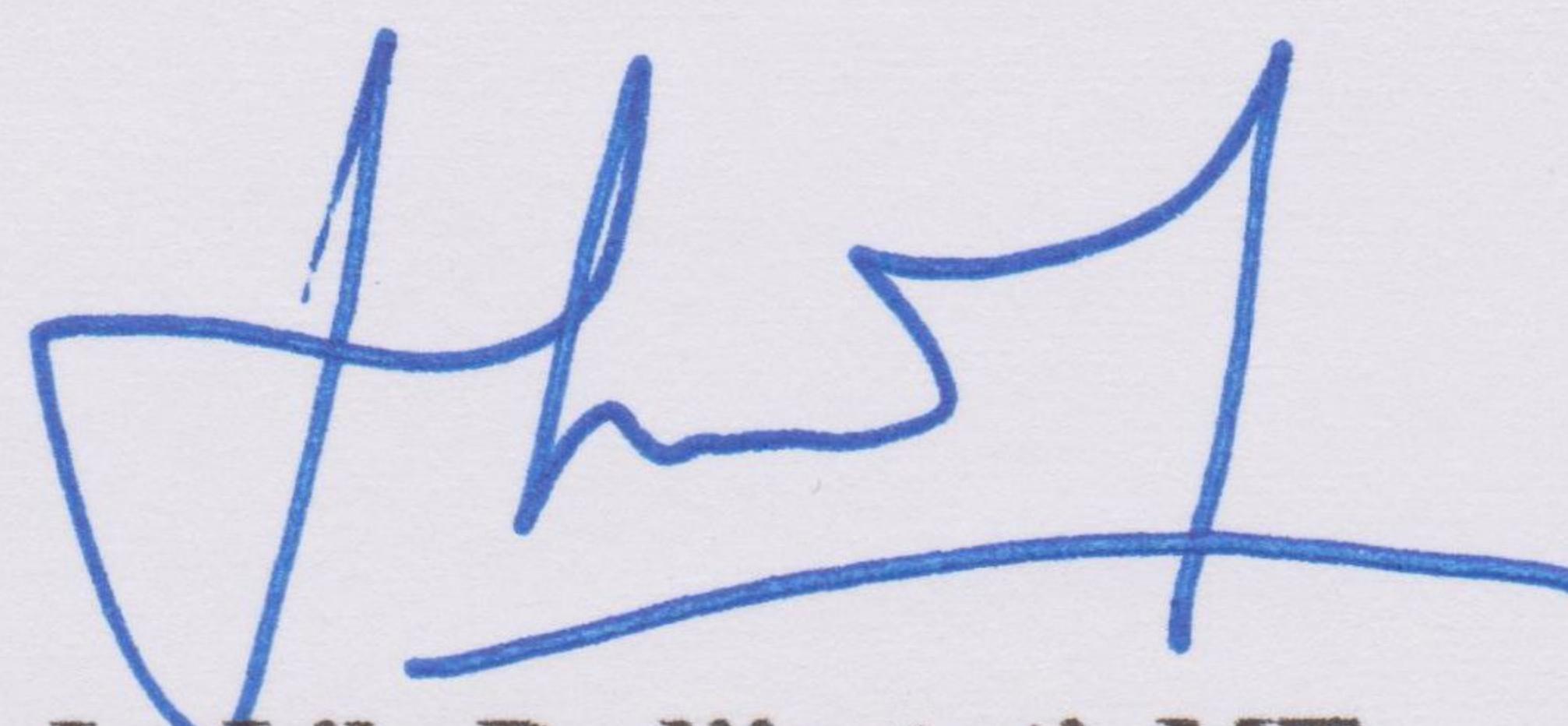
Oleh:

Diah Ayu Triningsih  
Ahmad Arif

(NRP 10411500000006)  
(NRP 10411500000007)

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT.  
NIP. 19580703 198502 2 001

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Kimia Industri  
FV-ITS



SURABAYA, 23 JULI 2018

## LEMBAR REVISI

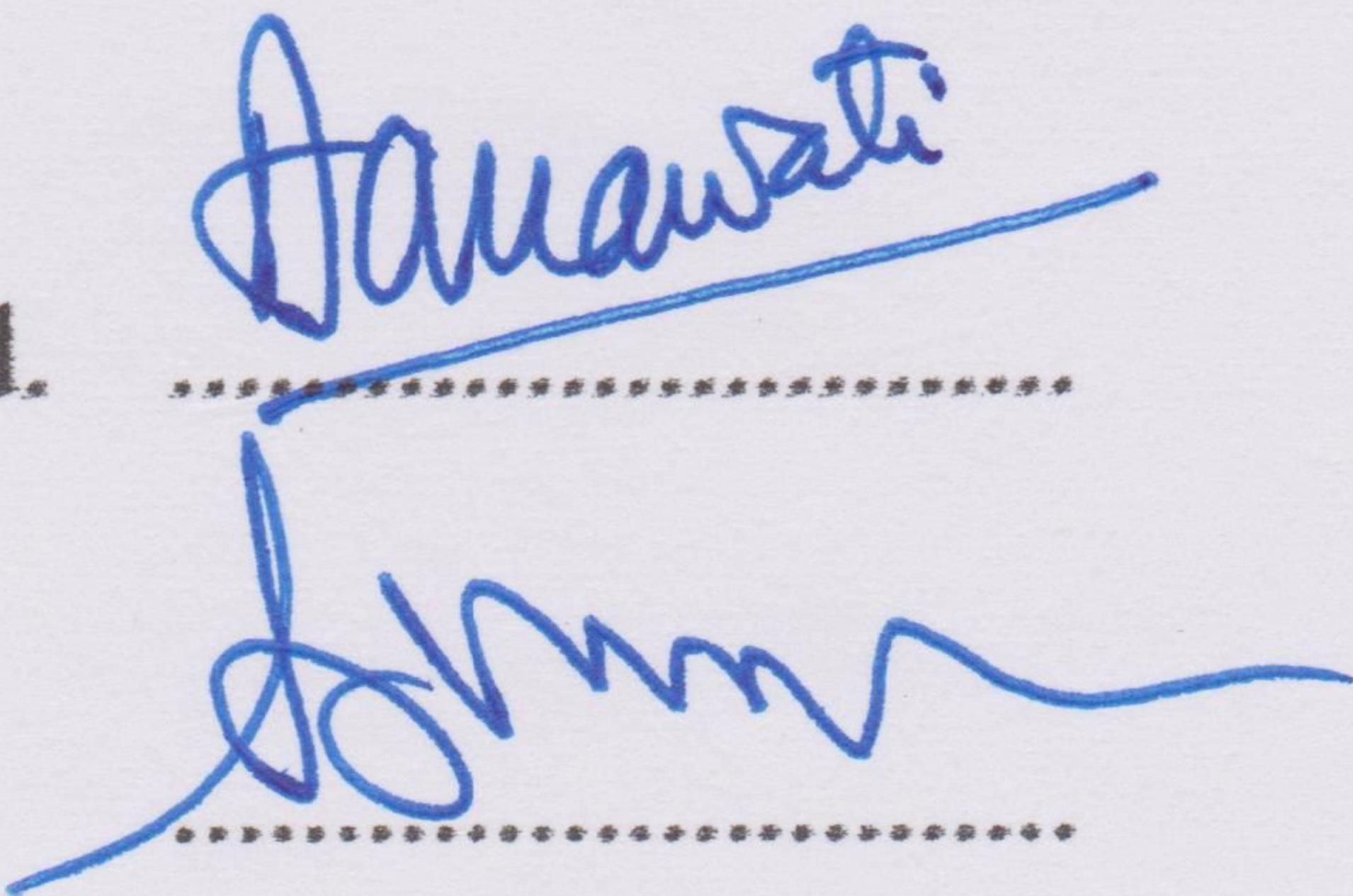
Telah diperiksa dan disetujui sesuai dengan hasil ujian tugas akhir pada tanggal 18 Juli 2018 untuk tugas akhir dengan judul **“Pabrik Pulp dari Serat Rami (*Boehmeria nivea L. Gaudich*) dengan Proses *Acetocell*”**, yang disusun oleh :

Diah Ayu Triningsih  
Ahmad Arif

(NRP 10411500000006)  
(NRP 10411500000007)

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir :

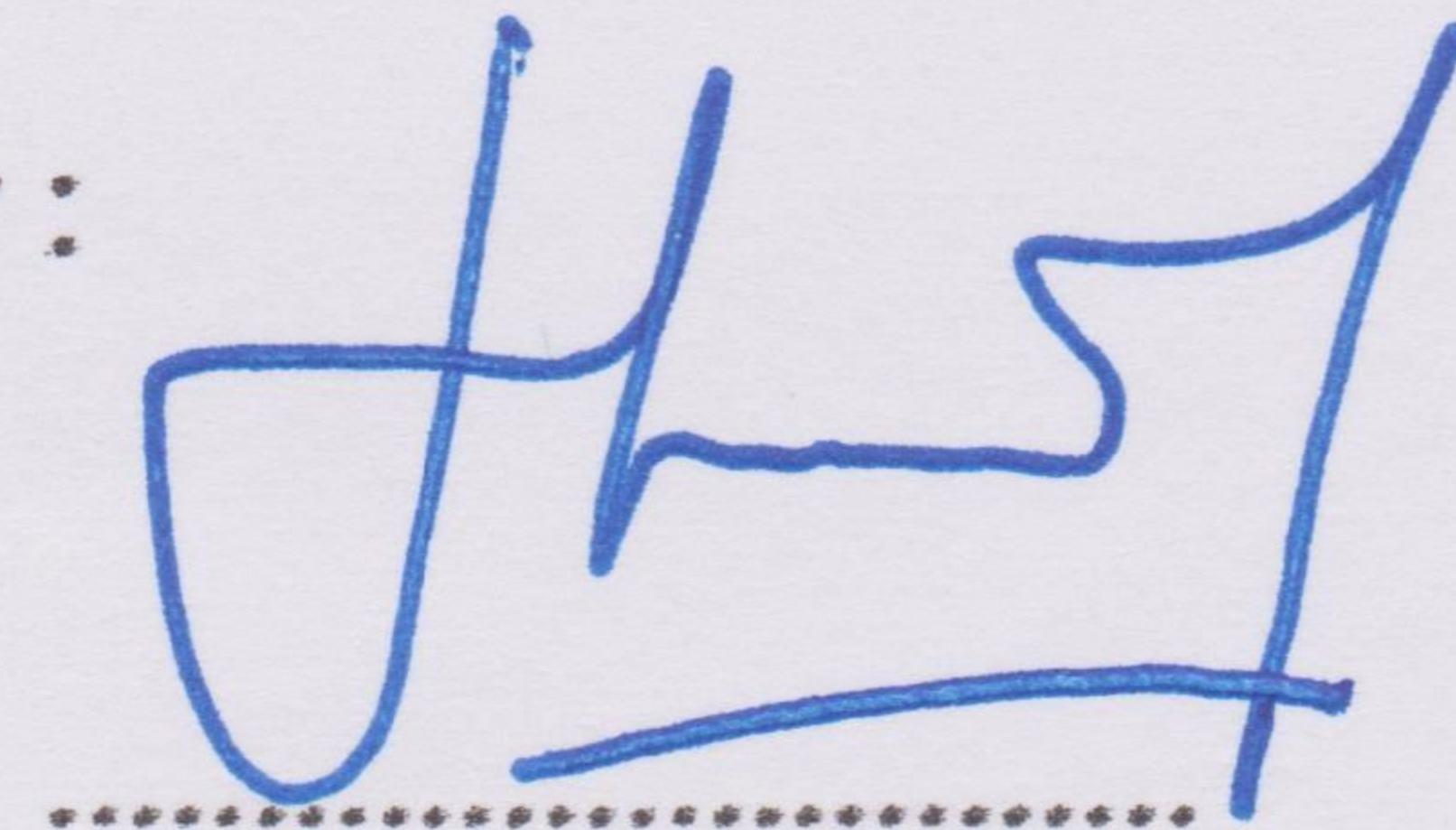
1. Prof. Dr. Ir. Danawati Hari Prajitno, M.Pd.



2. Ir. Agung Subyakto, MS.

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT.



SURABAYA, 23 JULI 2018

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul :

### **PABRIK PULP DARI SERAT RAMI (*Boechmeria nivea L. Gaudich*) DENGAN PROSES ACETOCELL**

Laporan tugas akhir ini merupakan tahap akhir dari penyusunan tugas akhir yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya (Amd) di Departemen Teknik Kimia Industri FV-ITS. Pada kesempatan kali ini atas segala bantuannya dalam penggeraan laporan tugas akhir ini, kami mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Ir. Agung Subyakto, MS selaku Ketua Departemen Teknik Kimia Industri FV-ITS
2. Ibu Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT selaku dosen pembimbing kami
3. Bapak Ir. Agung Subyakto, MS dan Ibu Prof. Dr. Ir. Danawati Hari Prajitno, M.Pd. selaku dosen penguji
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Kimia Industri FV-ITS
5. Kedua orangtua dan keluarga kami yang telah banyak memberikan dukungan moral maupun materil
6. Rekan-rekan seperjuangan angkatan 2015, serta angkatan 2014 dan angkatan 2016
7. Teman dan sahabat kami yang telah memberikan dukungan selama ini

Surabaya, Juli 2018

Penyusun

## **PABRIK PULP DARI SERAT RAMI (*Boechmeria nivea L.* *Gaudich*) DENGAN PROSES ACETOCELL**

Nama Mahasiswa : Dyah Ayu Triningsih  
(10411500000006)

Ahmad Arif  
(10411500000007)

Program Studi : Teknik Kimia Industri FV-ITS  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT.

### **ABSTRAK**

*Industri kertas merupakan salah satu industri di Indonesia yang memiliki prospek cerah di masa mendatang serta dapat memberikan kontribusi dalam perekonomian Indonesia. Semakin meningkatnya impor pulp di Indonesia menunjukkan bahwa semakin besar pula kebutuhan pulp yang digunakan. Sehingga, untuk memenuhi kebutuhan pulp maka didirikan pabrik pulp. Pabrik pulp ini akan didirikan di daerah Garut, Jawa Barat. Pabrik ini menggunakan bahan baku serat rami dengan proses acetocell.*

*Pembuatan pulp dari serat rami menggunakan proses acetocell melalui 4 tahap. Tahap pertama yaitu pre-treatment dimana dalam tahap ini terjadi proses pencacahan bahan baku menjadi serpihan. Tahap kedua yaitu pemasakan dengan larutan pemasak  $\text{CH}_3\text{COOH}$  60% pada temperatur pemasakan 170°C selama ±180 menit di dalam pandia digester. Perbandingan antara  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan serat rami yaitu 2:1. Tahap ketiga adalah tahap pemutihan dengan hidrogen peroksid dan sodium dithionit untuk meningkatkan brightness dan proses pencucian dengan menggunakan air. Tahap keempat yaitu pulp akan menuju headbox yang selanjutnya menuju wire part untuk membentuk lembaran pulp. Kemudian pulp akan menuju ke press part roll dan rotary drum dryer untuk proses pengeringan. Pada tahap akhir produk akan disimpan di gudang penyimpanan.*

*Pabrik pulp bekerja secara kontinyu dan beroperasi selama 300 hari/tahun dengan kapasitas produksi 92.500 ton/tahun. Serat rami yang dibutuhkan yaitu 456,635 kg/hari dengan bahan baku pendukung  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , dan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ . Kebutuhan utilitas adalah air sanitasi, air umpan boiler, air make up kondensat dan air proses masing-masing sebesar 172 m<sup>3</sup>/hari; 999 m<sup>3</sup>/hari; 199,80 m<sup>3</sup>/hari; 8.006,72 m<sup>3</sup>/hari. Limbah yang dihasilkan dari industri ini yaitu black liquor dan limbah pencucian bubur pulp*

**Kata Kunci:** *Pulp, Serat Rami, Acetocell,  $\text{CH}_3\text{COOH}$*

## **PULP FACTORY FROM RAMI FIBERS (*Boehmeria nevea L.* *Gaudich*) WITH ACETOCELL PROCESS**

Name : Dyah Ayu Triningsih (10411500000006)  
                  Ahmad Arif (10411500000007)  
Department : Teknik Kimia Industri FV-ITS  
Coselor Lecturer : Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT.

### **ABSTRACT**

*The paper industry is one of the industries in Indonesia which has good prospects in the future and can contribute to the economy of Indonesia. The increasing import of pulp in Indonesia shows that the greater the necessity the pulp that is used. So, to meet the needs of the pulp the pulp factory was established then. This pulp mill will be established in the area of Garut, West Java. This factory uses raw material of fibre hemp by process acetocell*

*The manufacture of pulp of hemp fibres using acetocell through 4 stages. The first phase of pre-treatment in this stage occur where the process of counting the raw material into splinters. The second stage, namely cooking with a solution of  $\text{CH}_3\text{COOH}$  60% at temperature  $170^{\circ}\text{C}$  cooking for approximately 180 minutes in typical analysis for digester pandia. A comparison between the flax fiber  $\text{CH}_3\text{COOH}$  that is 2:1. The third stage is the stage of bleaching with hydrogen peroxide and sodium dithionit to increase the brightness and the process of washing using water. The fourth stage i.e. the headbox pulp will be heading next toward wire part to form the sheets of pulp. Then the pulp will be heading to a press roll and rotary drum part dryer for the drying process. On the final stage of the products to be stored in a storage shed.*

*The pulp factory work continuously and in operation for 300 days/year with a production capacity of 92,500 tons/year. Flax fiber is needed namely 456.635 kg/day with raw materials supporting  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , and  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ . The utility needs are water sanitation, boiler feedwater, condensate and water make up the respective process water of 172  $\text{m}^3/\text{day}$ ; 999  $\text{m}^3/\text{day}$ ; 199.80  $\text{m}^3/\text{day}$ ; 8,006.72  $\text{m}^3/\text{day}$ . Wastes from this industry i.e. black liquor and leaching waste pulp slurry*

**Key words:** *Pulp, Rami Fibers, Acetocell,  $\text{CH}_3\text{COOH}$*

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	i
<b>ABSTRAK .....</b>	ii
<b>ABSTRACT .....</b>	iii
<b>DAFTAR ISI.....</b>	iv
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	vi
<b>DAFTAR GRAFIK .....</b>	vii
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
I-1 Latar Belakang .....	I-1
I-2 Dasar Teori .....	I-3
I-3 Penentuan Kapasitas Pabrik.....	I-7
I-4 Lokasi Pabrik .....	I-11
I-5 Sifat Fisik dan Kimia Bahan .....	I-13
<b>BAB II MACAM DAN URAIAN PROSES</b>	
II-1 Macam Proses .....	II-1
II-2 Seleksi Proses.....	II-10
II-3 Uraian Proses Terpilih.....	II-13
<b>BAB III NERACA MASSA .....</b>	
<b>BAB IV NERACA PANAS.....</b>	
<b>BAB V SPESIFIKASI ALAT .....</b>	
<b>BAB VI UTILITAS</b>	
VI-1 Air .....	VI-1
VI-2 Proses Pengolahan Air di Pabrik.....	VI-5
VI-3 Perhitungan Kebutuhan Air.....	VI-10
VI-4 Steam.....	VI-12
VI-5 Listrik .....	VI-12
<b>BAB VII KESEHATAN DAN KESELAMATAN KERJA</b>	
VII-1 Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)	
Secara Umum .....	VII-1
VII-2 Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)	
Secara Khusus.....	VII-8
VII-3 Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)	
pada Alat.....	VII-11

## **BAB VIII ALAT UKUR DAN INSTRUMENTASI**

VIII.1	Instrumentasi Secara Umum di Industri .....	VIII-1
VIII.2	Instrumentasi Secara Umum pada Pabrik Pulp .....	VIII-4

## **BAB IX PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI KIMIA**

IX.1	Pengolahan Limbah Industri Secara Umum ..	IX-1
IX.2	Pengolahan Limbah Cair .....	IX-2
IX.3	Unit Pengolahan Limbah .....	IX-4
IX.4	Usaha Menangani dan Memanfaatkan Limbah	IX- 6
IX.5	Dampak yang Ditimbulkan Limbah .....	IX-9

<b>BAB X KESIMPULAN</b> .....	X-1
-------------------------------	-----

<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	x
----------------------------	---

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	xi
-----------------------------	----

## **LAMPIRAN :**

- APPENDIKS A
- APPENDIKS B
- APPENDIKS C
- PROSES FLOW DIAGRAM PABRIK
- PROSES FLOW DIAGRAM UTILITAS PABRIK

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar I.1</b> Peta Lokasi Kabupaten Garut.....	I-12
<b>Gambar II.1</b> Diagram Alir <i>Stone Grounwood (SGW)</i> .....	II-1
<b>Gambar II.2</b> Diagram Alir <i>Refiner Mechanical Pulp (RMP)</i> .....	II-2
<b>Gambar II.3</b> Diagram Alir <i>Termo Mechanical Pulping (TMP)</i> .....	II-3
<b>Gambar II.4</b> Diagram Alir <i>Chemi Termo Mechanical Pulp (CTMP)</i> .....	II-4
<b>Gambar II.5</b> Flowsheet Untuk Proses Sulfat .....	II-6
<b>Gambar II.6</b> Flowsheet Untuk Proses Sulfit.....	II-7

## **DAFTAR GRAFIK**

<b>Grafik I.1</b> Nilai Ekspor Pulp di Indonesia dari Tahun 2012-2016 .....	I-9
<b>Grafik I.2</b> Nilai Impor Pulp di Indonesia dari Tahun 2012-2016 .....	I-10
<b>Grafik I.3</b> Nilai Produksi Pulp di Indonesia dari Tahun 2012-2016 .....	I-10

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel I.1</b>	Data Nilai Ekspor Impor Pulp di Indonesia.	I-9
<b>Tabel II.1</b>	Kondisi Operasi dari Berbagai Macam Proses Pembuatan Pulp.....	II-11
<b>Tabel II.2</b>	Keuntungan dan Kerugian Beberapa Proses Secara Kualitatif.....	II-11
<b>Tabel III.1</b>	Komposisi Tanaman Rami .....	III-1
<b>Tabel III.2</b>	Neraca Massa pada <i>Open Yard</i> .....	III-2
<b>Tabel III.3</b>	Neraca Massa pada <i>Rotary Knife Cutter</i> ...	III-3
<b>Tabel III.4</b>	Neraca Massa pada <i>Vibrating Screen</i> .....	III-3
<b>Tabel III.5</b>	Neraca Massa pada Tangki Pengenceran $\text{CH}_3\text{COOH}$ .....	III-4
<b>Tabel III.6</b>	Neraca Massa pada Pandia Digester.....	III-5
<b>Tabel III.7</b>	Neraca Massa pada <i>Rotary Vacum Filter</i> IIII-6	
<b>Tabel III.8</b>	Neraca Massa pada Tangki Pengenceran $\text{H}_2\text{O}_2$ .....	III-7
<b>Tabel III.9</b>	Neraca Massa pada Reaktor $\text{H}_2\text{O}_2$ .....	III-8
<b>Tabel III.10</b>	Neraca Massa pada <i>Rotary Vacum Filter II</i> .....	III-9
<b>Tabel III.11</b>	Neraca Massa pada Tangki Pengenceran $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ .....	III-10
<b>Tabel III.12</b>	Neraca Massa pada Reaktor $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ .....	III-11
<b>Tabel III.13</b>	Neraca Massa pada <i>Rotary Vacum Filter III</i> .....	III-12
<b>Tabel III.14</b>	Neraca Massa pada <i>Wire Section</i> .....	III-14
<b>Tabel III.15</b>	Neraca Massa pada <i>Press Part Roll</i> .....	III-15
<b>Tabel III.16</b>	Neraca Massa pada <i>Rotary Drum Dryer</i> .	III-16
<b>Tabel III.17</b>	Neraca Massa pada <i>Roll</i> .....	III-17
<b>Tabel IV.1</b>	Neraca Panas pada Pandia Digester .....	IV-1
<b>Tabel IV.2</b>	Neraca Panas pada <i>Heat Exchanger I</i> .....	IV-2
<b>Tabel IV.3</b>	Neraca Panas pada <i>Rotary Vacum Filter I</i> .....	IV-3
<b>Tabel IV.4</b>	Neraca Panas pada Reaktor $\text{H}_2\text{O}_2$ .....	IV-3
<b>Tabel IV.5</b>	Neraca Panas pada <i>Heat Exchanger II</i> .....	IV-4

<b>Tabel IV.6</b>	Neraca Panas pada <i>Rotary Vacum Filter II</i> .....	IV-4
<b>Tabel IV.7</b>	Neraca Panas pada Reaktor $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ .....	IV-5
<b>Tabel IV.8</b>	Neraca Panas pada <i>Heat Exchanger III</i> ....	IV-6
<b>Tabel IV.9</b>	Neraca Panas pada <i>Rotary Vacum Filter III</i> .....	IV-6
<b>Tabel IV.10</b>	Neraca Panas pada <i>Rotary Drum Dryer</i> ...	IV-7
<b>Tabel VI.1</b>	Syarat Kualitas <i>Cooling Water</i> .....	VI-8
<b>Tabel VI.2</b>	Syarat Kualitas Demineralisasi <i>Water</i> untuk Kebutuhan Air Boiler .....	VI-10
<b>Tabel VI.3</b>	Kebutuhan Air Proses pada Pabrik .....	VI-11
<b>Tabel VI.4</b>	Kebutuhan Air Umpam Boiler.....	VI-11
<b>Tabel VI.5</b>	Kebutuhan <i>Steam</i> .....	VI-12
<b>Tabel VIII.1</b>	Instrumentasi pada Pabrik Pulp .....	VIII-5
<b>Tabel IX.1</b>	Batasan Air Limbah Industri .....	IX-4

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **I.1 Latar Belakang**

Kertas merupakan salah satu kebutuhan yang penting di dunia. Indonesia merupakan salah satu produsen kertas yang berencana menjadi produsen pulp dan kertas terbesar dunia(*Hidayati & dkk, 2009*). Industri pulp dan kertas merupakan salah satu industri yang memegang peranan penting bagi perekonomian Indonesia. Kertas menjadi salah satu sarana komunikasi secara non verbal dalam berbagai sektor kehidupan. Indonesia yang penduduknya berjumlah 237.556.363 (*Sensus Tahun 2010, BPS*) menjadikan negara tersebut konsumtif dalam pemakaian jumlah kertas. Sebagai negara berkembang, kebutuhan informasi serta hiburan berkembang pesat di Indonesia. Dalam segala usia, pemakaian kertas dipakai berdasarkan kebutuhan yang berbeda-beda. Dengan meningkatnya kebutuhan yang besar akan kertas dan tuntutan masyarakat akan teknologi yang ramah lingkungan meningkat menyebabkan perlunya pemasokan bahan baku yang besar pula pada sektor industri kertas(*Wibisono & dkk, 2011*). Saat ini, produksi kertas Indonesia menduduki peringkat ke-12 dunia, dengan pangsa 2,3% dari total produksi dunia yang mencapai nilai sebesar 318,2 juta ton pertahun. Sebagai catatan, kebutuhan kertas dunia mencapai 394 juta ton dan diperkirakan meningkat menjadi 490 juta tn pada tahun 2020. Hal ini menjadi peluang bagi Indonesia untuk meningkatkan dan memperluas industri pulp dan kertas di pasar ekspor mengingat potensi hutan Indonesia masih memiliki ruang yang besar untuk dikelola dan dikembangkan.

Serat sebagai bahan baku penting dalam pembuatan kertas, bahan utama dalam pembuatan pulp kertas adalah selulosa dalam bentuk serat, sedangkan serat selulosa dapat diperoleh dari tumbuhan kayu dan non kayu yang semuanya dapat dipergunakan untuk pembuatan pulp kertas (*Ayunda & dkk, 2013*). Hampir sebagian besar bahan baku pulp berasal dari kayu-kayu hutan



alam, diantaranya kayu bulat, merang, bambu, dan lain-lain. Dengan terus bertambahnya kapasitas industri pulp dan kertas yang tidak diiringi dengan pertumbuhan hutan alam, maka persediaan kayu-kayu hutan alam akan menipis. Usaha reboisasi atau penanaman kembali hutan gundul saja tidak cukup untuk mengantisipasi kekurangan bahan baku kayu bagi industri pulp dan kertas. Oleh karena itu, diperlukan suatu upaya penemuan bahan baku alternatif, terutama yang murah dan berwawasan lingkungan. Salah satu sumber serat yang sangat potensial adalah rami (*Boehmeria nivea L. Gaudich*) (Dewi & dkk, 2010).

Rami merupakan salah satu serat alam yang sangat kuat dan bertambah kuat dalam keadaan basah. Rami merupakan tanaman alam dengan batang kebanyakan berbentuk lurus dan ramping dengan tinggi 150–200 cm dan diameter 12–20 mm tergantung tempat atau kondisi dimana rami itu tumbuh. Rami termasuk tanaman berserat dengan rata-rata panjang serat 120–150 mm. Tanaman rami merupakan tumbuhan tahunan sehingga dapat difungsikan untuk penghijauan dan pelestarian alam. Serat rami sangat tahan lama, putih bersih, dan berkilau. Serat rami mempunyai ketahanan tarik delapan kali dari katun dan tujuh kali dari sutera, tahan terhadap bakteri dan pembusukan, dan tidak berubah pada kenaikan kelembaban hingga 25%, anti inframerah, tidak mudah berkerut, halus, dapat dicampur dengan kapas, rayon, dan polyester serta wool. Daya serap terhadap airnya (*moisture regain*) terbilang tinggi yaitu 12% sedangkan daya serap kapas hanya 8%. Rami bagian kayu mempunyai panjang serat rata-rata 6,54 mm termasuk ke dalam kelompok serat sangat panjang dibandingkan *pinus merkusii* yang hanya 4,01 mm. Sedangkan tebal dindingnya sekitar 2,10  $\mu\text{m}$  tidak setebal *pinus merkusii* yaitu 7,66  $\mu\text{m}$ , dan kelemasannya lebih tinggi dari *pinus merkusii*. Serat *pinus merkusii* lebih ramping dari rami kayu. Rami mempunyai keunggulan sifat serat rami dan potensi yang cukup tersedia, oleh karena itu rami mempunyai peluang untuk dikembangkan sebagai bahan baku untuk pembuatan pulp, sehingga dapat meningkatkan nilai tambah dari rami dan

---



mengurangi ketergantungan impor bahan baku serat panjang untuk pembuatan pulp (*Wirawan & dkk, 2010*).

Berdasarkan penjelasan diatas, maka kami memilih judul **“Pabrik Pulp dari Serat Rami (*Boechmeria nivea L. Gaudich*) dengan Proses Acetocell”** sebagai judul dari tugas akhir.

## I.2 Dasar Teori

### I.2.1 Pengertian Pulp Dan Kertas

Pulp adalah hasil pemisahan serat dari bahan baku berserat (kayu maupun non kayu) melalui berbagai proses pembuatannya (mekanis, semikimia, kimia). Pulp terdiri dari serat-serat (selulosa dan hemiselulosa) sebagai bahan baku kertas (*Ayunda & dkk, 2013*).

Kertas adalah barang yang berwujud lembaran-lembaran tipis yang dihasilkan dengan kompresi serat yang berasal dari pulp yang telah mengalami pengrajan pengeringan, ditambah beberapa bahan tambahan yang saling menempel dan saling menjalin, serat yang digunakan biasanya berupa serat alam yang mengandung selulosa dan hemiselulosa (*Ayunda & dkk, 2013*).

Secara umum kertas dibedakan menjadi dua golongan, yaitu kertas budaya dan kertas industri. Yang termasuk kertas budaya adalah kertas-kertas cetak dan kertas tulis, diantaranya adalah kertas kitab, buku, koran dan kertas amplop. Sedangkan yang termasuk kertas industri adalah kertas kantong kertas minyak, pembungkus buah-buahan, kertas bangunan, kertas isolasi elektris, karton dan pembungkus sayur-sayuran(*Ayunda & dkk, 2013*).

### I.2.2 Proses Pembuatan Pulp

Pulp dapat dikonversi ke sejumlah produk yang berbeda dengan berbagai aplikasi sehingga didapatkan berbagai macam produk. Pulp terdiri dari serat, biasanya didapat dari kayu. Proses *pulping* bertujuan terutama untuk membebaskan serat dari matriks kayu (*Henriksson, 2009*). Sebagai bahan baku kertas, parameter yang penting dari pulp adalah kandungan selulosa dan kandungan lignin. Kandungan selulosa yang tinggi sangat diperlukan pada



pembuatan kertas karena merupakan bahan dengan rantai yang panjang sehingga dengan kadar yang tinggi kertas yang dihasilkan akan kuat. Sedangkan kandungan lignin menunjukkan banyaknya lignin dalam pulp. Pada dasarnya proses pembuatan pulp dapat dibedakan menjadi 3 macam yaitu:

1. Secara mekanis
2. Secara semikimia
3. Secara kimia

(Bahri, 2015).

### I.2.3 Kegunaan Kertas

Kertas merupakan hasil dari pengolahan pulp. Kertas sangat dibutuhkan dalam kehidupan masyarakat yang nantinya kertas memiliki nilai fungsi yang berbeda tergantung dengan jenis kertasnya. Berikut penggolongan jenis kertas berdasarkan kegunaannya:

1. *Uncoated groundwood*
  - Kertas yang tidak mempunyai lapisan “coating” pigmen dan diproduksi menggunakan pulp mekanis (*mechanical pulps*), bubur kertas yang diproduksi tanpa proses kimiawi.
  - Kurang lebih 80% kertas jenis ini adalah kertas koran (*newsprint*).
  - Disamping itu, jenis kertas lainnya adalah kertas untuk direktori, *computer paper*, katalog, dan *advertising supplements* yang dicetak dengan sistem *rotogravure*).
2. *Coated groundwood*
  - Umumnya kertas ini berwarna kekuningan karena banyak pulp mekanis.
  - Kertas ini umumnya ditemukan pada kegunaan kertas dengan mesin cetak *letterpress* dan *offset*, seperti LWC (*light weight coated*) kertas yang mempunyai lapisan *coating* rendah sekitar 7-10 gr/m<sup>2</sup> dan kertas *coated* untuk majalah.



### 3. Uncoated woodfree

- Kertas jenis ini mempunyai kandungan pulp mekanis lebih rendah dari 10% umumnya bisa 0% dan tidak mempunyai lapisan *coating* pigmen sama sekali.
- Kegunaan kertas ini termasuk "*office papers*" (formulir, kertas fotokopi, kertas buku tulis, dan kertas amplop), kertas *carbonless* (NCR), dan kertas cetak atau anda biasa sebut HVS untuk brosur, selebaran, iklan, dan bahkan kartu pos bila tebal. Pada pasar ekspor, jenis kertas ini sering juga disebut "*printing, writing, and book papers*" (kertas cetak, tulis dan buku).

### 4. Coated woodfree

- Jenis kertas ini juga mengandung kurang 10% pulp mekanis, tetapi mempunyai lapisan *coating* pigmen baik dua sisi atau satu sisi.
- Kegunaan paling umum adalah untuk majalah, buku, cetak *commercial* dengan mutu yang tinggi dan mahal karena *brightness* yang relatif tinggi dibanding kertas *uncoated groundwood*.

### 5. Kraft paper

- Kertas kraft, arti harfiahnya adalah kertas kuat, mempunyai 4 kegunaan utama:
  - ✓ Kertas bungkus (*wrapping*) seperti untuk bungkus kertas plano, kertas bungkus nasi dll.
  - ✓ Kantong (*bag/sack*) - seperti kantong belanja atau "*shopping bag*",
  - ✓ Karung (*shipping sack*) - seperti karung atau kantong semen
  - ✓ Berbagai fungsi "*converting*".

### 6. Bleached paperboard

- Pulp kertas yang dipakai adalah "*beached sulfate*" dan kegunaan utama adalah "*folding carton*" - untuk membuat box, dan kertas karton susu atau *juice*. Karena "*bleach*"



maka warna kertas karon ini putih dan sekitar setengah jumlah produksi adalah *coated*.

- Golongan jenis kertas ini termasuk untuk membuat gelas kertas, piring kertas, karton tebal cetak, "*tag stock*" (kertas karton untuk gantungan, kartu komputer, "*file folders*" (map folio), dan kartu index (kartu index nama).
7. *Unbleached paperboard*
- Kertas karton ini tidak diputihkan dengan *bleaching* dan diproduksi dari "*virgin kraft*" (pulp kimia dengan serat *non-recycle*) atau "*neutral sulfite semi-chemical pulp*" (bubur kertas dengan proses semi-kimia sulfit yang netral).
  - Produk utama adalah *linerboard*, jenis kertas yang digunakan untuk membuat "*corrugated containers*" (*corrugated box* yang biasanya berwarna coklat). Berat gramatur umumnya 130 gr/m<sup>2</sup> sampai dengan 450 g/m<sup>2</sup>.
  - "*Corrugating medium*" atau kertas medium juga masuk dalam kategori ini yang dibuat dengan sebagian campuran kertas *recycle*.
8. *Recycled paperboard*
- Pulp yang digunakan terdiri atas kertas *recycle* atau daur ulang.
9. *MG Kraft specialties*
- Kertas jenis ini mempunyai permukaan dengan penampakan yang licin dan seperti kaca (*glaze*) dimana kertas tersebut diproduksi diatas mesin yang mempunyai silinder pengering/pemanas yang diameternya sangat besar.
  - Kertas jenis dimaksud dapat berupa (*base paper*) untuk "*wax paper*", kertas bungkus, "*carbonizing*", dan *kraft specialties*.



### 10. Tissue

- Bubur kertas yang dipakai untuk tisu adalah pulp kimia yang di *bleach* dengan tambahan sekitar 50 atau lebih pulp mekanis.
- Mayoritas kertas tisu digunakan untuk produk sanitari seperti tisu gulung, "towel", "bathroom", "napkins" dll.

### 11. Market Pulp

- Pulp atau bubur kertas juga dikategorikan sebagai kertas yang dibagi jenisnya berdasarkan jenis kayu, proses pembuatan pulp, dan proses pemutihan atau "*bleaching*". Bubur kertas dijual dalam bentuk lembaran, bal, dan gulungan.

### 12. Others

- Kategori lain-lain digunakan untuk jenis kertas yang tidak masuk dalam ke 11 golongan kertas diatas. Contohnya seperti kertas "*hardboard*", "*asbestos board*", kertas *cigarette*, "*condenser*", kertas *bible*), *glassine*, kertas tahan minyak, kertas *release* untuk *sticker*, dan kertas yang tersusun dari serat tetumbuhan bukan pohon (seperti kertas serat pisang abaca dll.).

(*Market Brief ITPC*, 2015)

### I.3 Penentuan Kapasitas Pabrik

Dalam pendirian suatu pabrik, analisa pasar untuk penentuan kapasitas pabrik adalah hal yang penting. Dengan kapasitas yang ada maka dapat ditentukan perhitungan neraca massa, neraca panas dan spesifikasi alat. Bahan baku yang digunakan oleh pabrik kertas ini adalah serat rami (*Boehmeria nivea L. Gaudich.*).

Berikut adalah beberapa faktor penting dalam perhitungan kapasitas pabrik yaitu:

1. Ketersediaan bahan baku
2. Jumlah ekspor dan impor pulp di Indonesia
3. Jumlah kebutuhan konsumsi pulp di Indonesia

---

Salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam pendirian



pabrik pulp dari serat rami adalah kapasitas pabrik. Pabrik pulp dengan bahan baku serat rami ini direncanakan akan mulai beroperasi pada tahun 2022 dengan mengacu pada pemenuhan kebutuhan impor, ekspor, dan produksi.

Faktor penting yang mempengaruhi perhitungan kapasitas pabrik akan diuraikan sebagai berikut:

### 1. Ketersediaan Bahan Baku

Kondisi geografis serta demografis di Indonesia sangat sesuai untuk budidaya tanaman rami. Indonesia telah memiliki varietas unggul tanaman rami yang dinamakan Ramindo 1 (dahulu Pujon 10) asal Pujon, Malang, Jawa Timur. Ramindo I memiliki produktivitas serat (*China grass*) yang tinggi (2-2,7 ton/ha/tahun) dan dapat dibudidayakan di dataran rendah, sedang maupun tinggi. Ramindo I dapat dipanen setiap 2 bulan dan dalam setahun dapat dilakukan 5 hingga 6 kali panen. Menurut data Ditjenbun, pada tahun 2012 luas area perkebunan rami Indonesia hanya ±528 Ha dan keseluruhannya merupakan perkebunan rakyat(*Novarini & dkk, 2015*).

Garut memiliki lahan yang potensial untuk rami yang sesuai secara agroklimat. Pemanfaatan lahan tersebut untuk rami dapat sekaligus diharapkan memecahkan permasalahan penjarahan hutan. Luas lahan tersedia dan telah ditanami rami saat ini mencapai 281,7 hektar yang merupakan lahan Perhutani dan Dinas Kehutanan Provinsi Jawa Barat. Selain itu, tersedia pula lahan hak guna usaha (HGU) yang kurang produktif di Kecamatan Cikajang, yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan rami bila lahan yang tersedia belum memenuhi target pengembangan.

### 2. Ekspor dan Impor Pulp di Indonesia

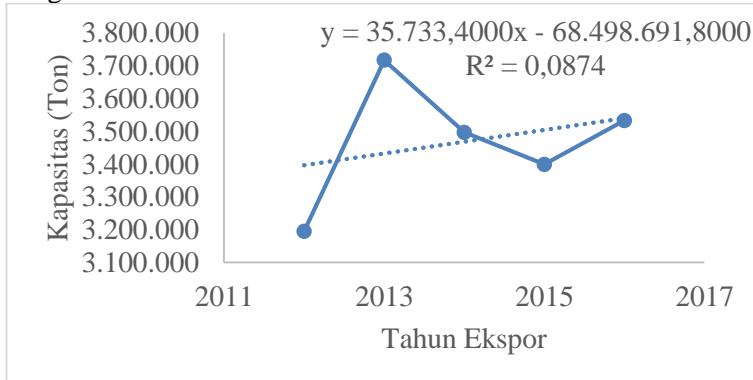
Berikut ini adalah beberapa data ekspor, impor, dan produksi pulp kertas tahun 2012-2016:

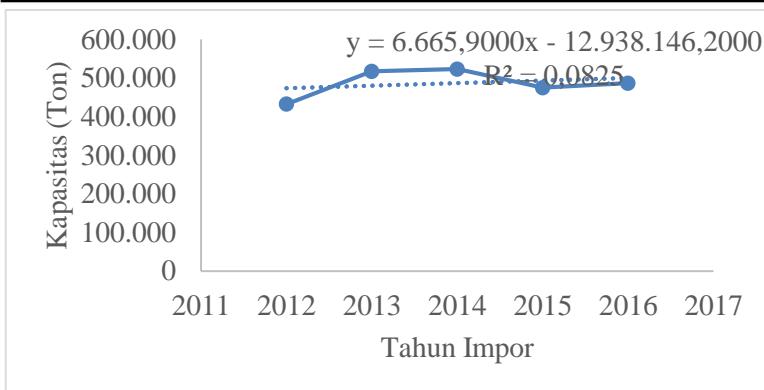
**Tabel I.1** Data Nilai Ekspor Impor Pulp di Indonesia

Tahun	Ekspor	Impor	Produksi
	Volume berat (ton)	Volume berat (ton)	Volume berat (ton)
2012	3.195.492	432.229	5.760.378
2013	3.716.959	517.364	4.617.552
2014	3.497.111	523.433	5.347.336
2015	3.399.357	475.231	5.503.794
2016	3.532.960	486.625	5.867.873

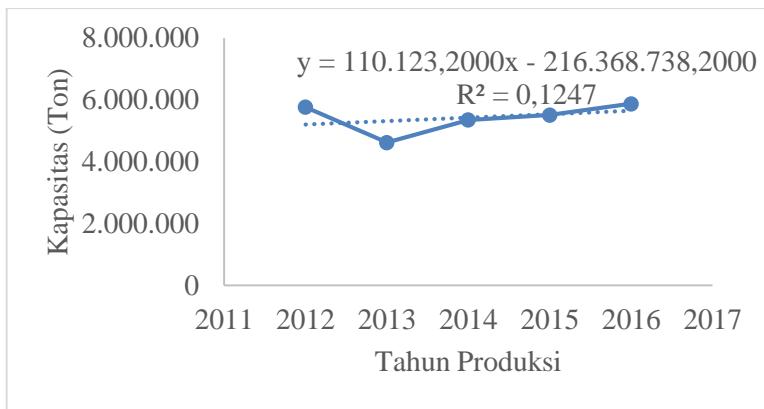
(Badan Pusat Statistik, 2016)

Dari data tabel diatas dapat diperoleh grafik nilai ekspor, impor, dan produksi pulp di Indonesia dari tahun 2012-2016 sebagai berikut:

**Grafik I.1** Nilai Ekspor Pulp di Indonesia dari Tahun 2012-2016



**Grafik I.2** Nilai Impor Pulp di Indonesia dari Tahun 2012-2016



**Grafik I.3** Nilai Produksi Pulp di Indonesia dari Tahun 2012-2016

Berdasarkan hasil grafik yang diperoleh dari **Tabel 1.1**, maka perkiraan volume kebutuhan eksport, impor, dan produksi pulp (ton) pada tahun 2022 dapat dihitung. Berikut persamaan yang digunakan :

Konversi eksport, impor, dan produksi pulp pada tahun 2022 adalah :



- 
- Produksi : 6.299.968 ton/tahun
  - Ekspor : 3.753.434 ton/tahun
  - Impor : 540.506 ton/tahun

Maka perkiraan kebutuhan pulp pada tahun 2022 dapat dihitung sebagai berikut :

$$[\text{Kekurangan Ketersediaan Pulp}]_{2022}$$

$$= [\text{Produksi}]_{2022} + [\text{Impor}]_{2022} - [\text{Ekspor}]_{2022}$$

$$= 6.299.968 + 540.506 - 3.753.434$$

$$= 3.087.040 \text{ ton/tahun}$$

Dengan asumsi adanya pabrik kertas lain yang masih beroperasi dan jumlah bahan baku yang tersedia, maka kapasitas pabrik baru yang akan beroperasi adalah 3% dari total kekurangan ketersediaan kertas di tahun 2022.

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas Pabrik} &= (3\% \times 3.087.040 \text{ ton/tahun}) \\ &= 92.611 \text{ ton/tahun} \approx 92.500 \text{ ton/tahun}\end{aligned}$$

Maka, kapasitas pabrik yang akan dibangun tahun 2022 yaitu 92.500 ton/tahun = 308 ton/hari dengan masa kerja 300 hari/tahun.

#### I.4 Lokasi Pabrik

Lokasi suatu pabrik akan menentukan kedudukan pabrik dalam persaingan maupun penentuan kelangsungan produksinya. Penentuan lokasi pabrik yang tepat, ekonomi dan menguntungkan dipengaruhi oleh beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan agar secara teknis dan ekonomis pabrik yang dirancang akan menguntungkan.

Lokasi pendirian pabrik pulp ini dipilih di daerah Garut, Jawa Barat dengan pertimbangan :

➤ **Ketersediaan Air**

Air merupakan hal terpenting pada suatu pabrik. Kebutuhan air pabrik meliputi air pendingin proses, air umpan boiler, air konsumsi umum dan sanitasi serta air pemadam apabila terjadi kecelakaan. Di Garut, ketersediaan air sangat memadai karena dekat dengan sungai Cimanuk.



### ➤ **Penyediaan Bahan Baku**

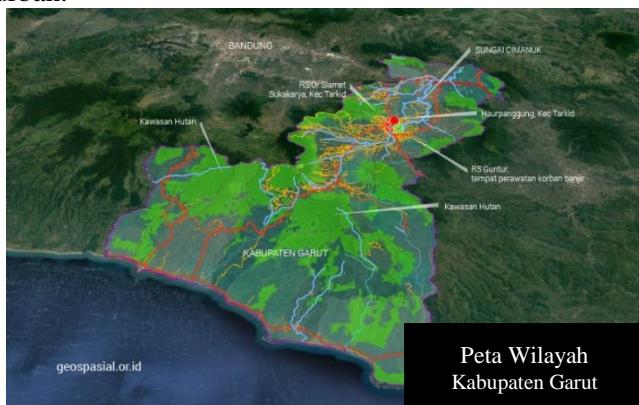
Pabrik kertas ini akan didirikan di Garut, Jawa Barat karena di daerah tersebut memiliki luas lahan yang tersedia dan telah ditanami rami saat ini mencapai 281,7 hektar yang merupakan lahan Perhutani dan Dinas Kehutanan Provinsi Jawa Barat. Selain itu, tersedia pula lahan hak guna usaha (HGU) yang kurang produktif di Kecamatan Cikajang, yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan rami bila lahan yang tersedia belum memenuhi target pengembangan.

### ➤ **Transportasi**

Pendirian pabrik ditempatkan di Garut, Jawa Barat dengan pertimbangan karena daerah ini terdapat Pelabuhan Cimahi Muara sehingga dapat mempermudah transportasi dalam kegiatan ekspor impor.

### ➤ **Tenaga Kerja**

Tenaga kerja sebagian besar dapat diambil dari penduduk sekitar karena lokasi yang tidak terlalu jauh dengan pemukiman, sehingga selain memenuhi kebutuhan tenaga kerja juga membantu meningkatkan taraf hidup penduduk sekitar pabrik serta mengurangi tingkat pengangguran baik dari penduduk sekitar ataupun penduduk urban.



**Gambar I.1 Peta Lokasi Kabupaten Garut**



## I.5 Sifat Fisik dan Kimia Bahan

### I.5.1 Bahan Baku Utama

#### 1. Serat Rami

- Sifat Fisik

Karakteristik	Keterangan
Panjang Serat Rata-rata (mm)	120-150
Diameter Serat Rata-rata	40-60
<i>Tensile Strength</i> (kg/mm <sup>2</sup> )	95
Kekuatan serat (g/denier)	5-8
Berat Jenis (g/cm <sup>3</sup> )	1,5
Pengaruh Panas	Rusak, 200°C
Pengaruh Alkali	Mengelembung
Pengaruh Oksidator	Kurang tahan oksidator kuat

- Sifat Kimia

Karakteristik	Keterangan
Selulosa (% berat)	68,6-76,2
Lignin (% berat)	0,6-0,7
Hemiselulosa (% berat)	13,1-16,7
Pektin (% berat)	1,9
Lilin (% berat)	0,3
Kadar Air (% berat)	8,0

(Purwati, 2010)



## I.5.2 Bahan Baku Penunjang

### 1. CH<sub>3</sub>COOH (Asam Asetat)

- Sifat Fisik

Parameter	Keterangan
Auto Ignition Temperature	463 °C (865,4 °F)
Sifat Fisik dan Penampilan	Cair
Berat Molekul	60,5 g/mol
Titik Didih	118,1 °C (244,6 °F)
Titik Leleh	16,6 °C (61,9 °F)
Temperatur Kritis	321,67 °C (611 °F)
Specific Gravity	1,049 (air = 1)
Tekanan Uap	1.5 kPa (T = 20 °C)
Denitas Uap	2,07 (Air = 1)

- Sifat Kimia

Parameter	Keterangan
Kelarutan	larut pada air dingin, air panas, larut dalam <i>diethyl ether, acetone. Miscible with Glycerol, alcohol, Benzene, Carbon Tetrachloride.</i> Tidak larut dalam <i>Carbon Disulfide</i>
Stabilitas	Produk Stabil
Korosivitas	Korosivitas tinggi pada bahan <i>stainless steel</i> (304), mudah korosi pada aluminium dari cooper, tidak korosi pada <i>stainless steel</i> (316)

(Sumber:MSDS ScienceLab.com)



## 2. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Hidrogen Peroksida)

- Sifat Fisik

Parameter	Keterangan
Warna	Tidak Berwarna
Kelarutan	- Mudah Larut dalam Air Dingin. - Larut pada <i>Diethyl Eter</i>
Titik Didih	108°C (226,4°F)
Titik Cair	-33°C (-27,4°F)
<i>Specific Gravity</i>	1,1 (Air = 1)
Tekanan Uap	3,1 kPa ( Air = 1)
Densitas Uap	1,1 (Udara = 1)

(Sumber:MSDS ScienceLab.com)

Hidrogen peroksida termasuk zat oksidator yang bisa digunakan sebagai pemutih pulp yang ramah lingkungan. Di samping itu, hidrogen peroksida juga mempunyai beberapa kelebihan antara lain pulp yang diputihkan mempunyai ketahanan yang tinggi serta penurunan kekuatan serat sangat kecil. Pada kondisi asam, hidrogen peroksida sangat stabil, pada kondisi basa mudah terurai. Peruraian hidrogen peroksida juga dipercepat oleh naiknya suhu. Zat reaktif dalam sistem pemutihan dengan hidrogen peroksida dalam suasana basa adalah perhydroxyl anion (HOO<sup>-</sup>) (*Dence and Reeve, 1996*).



### 3. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ (*Sodium Dithionite*)

- Sifat Fisik

Parameter	Keterangan
Bentuk	Serbuk
Warna	Putih
pH	7-9 (pada 50 g/l 20 °C)
Titik Nyala	>100 °C (Metoda: DIN 51754)
Densitas	2,5 g/cm³ (pada 20 °C)
Kelarutan dalam Air	250 g/l (pada 20 °C)
Suhu Penguraian	> 80 °C
Titik Lebur	100 °C

- Sifat Kimia

Parameter	Keterangan
Reaktifitas	- Bahaya dapat langsung menyala - Kemungkinan menyala sendiri akibat kelembaban udara
Stabilitas Kimia	Pada penguraian dalam wadah dan tabung tertutup, resiko meledak dapat terjadi akibat bertambahnya tekanan yang berlebihan.
Kondisi yang dihindari	Paparan pada kelembaban dan pemanasan
Reaksi Berbahaya	Terjadi dengan oksidator dan <i>oxyhalogenic acids</i>

(Sumber: Lembaran Data Keselamatan Bahan 2014)



### I.5.3 Produk

#### I.5.3.1 Produk Utama

##### 1. Pulp

- Sifat Fisik

Parameter	Keterangan
Bentuk	Serat Putih
Kelarutan	Tidak Larut dalam Air
<i>Tensile</i>	59,1 psi
<i>Stretch</i>	2,6 %
<i>Tear Factor</i>	8,57

- Sifat Kimia

Parameter	Keterangan
pH Rata-Rata	7,0
<i>Char Point</i>	180 °C
<i>Temperature Pengapian</i>	230 °C
Densitas	0,5 gr/cm <sup>3</sup>

#### I.5.3.2 Produk Samping

Secara Umum komposisi bahan kimia yang terkandung dalam *black liquor* adalah NaOH, Na<sub>2</sub>S, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dan Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Thomas M, 1989) dan juga masih mengandung bahan total belerang tereduksi (TRS) yang tidak menguap. *Black liquor* sangat berperan penting dalam industri pulp, karena dapat didaur ulang menjadi lindi hijau dimana pada *recovery* boiler diasup oleh natrium sulfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) agar kekurangan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> pada digester dapat dipenuhi pada *green liquor* mengalami proses caustisasi menjadi lindi putih.



*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## BAB II

# MACAM DAN URAIAN PROSES

### II.1 Macam Proses

Pada dasarnya proses pembuatan pulp ada tiga macam yaitu:

1. Secara mekanis
2. Secara semikimia
3. Secara kimia

(*Bahri, 2015*).

#### II.1.1 Proses Mekanis

Proses mekanis digunakan untuk pengolahan bahan baku kayu. Pelepasan serat-serat dilakukan secara mekanis yang dilakukan dengan cara pengeringan dan penggerusan. Bahan baku pada proses ini biasanya kayu yang berserat panjang. Tidak digunakan bahan kimia, sedang *yield* yang didapat sekitar 95%.

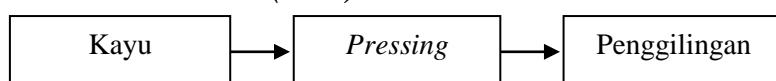
Pembuatan pulp secara mekanis dibagi menjadi 4 proses yaitu:

1. *Stone Grounwood (SGW)*
2. *Refiner Mechanical Pulp (RMP)*
3. *Termo Mechanical Pulping (TMP)*
4. *Chemi Termo Mechanical Pulp (CTMP)*

(*Casey, 1980*).

Berikut ini penjelasan dari masing-masing proses pembuatan pulp secara mekanis:

##### 1. *Stone Grounwood (SGW)*



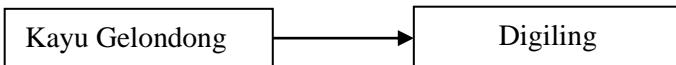
**Gambar II.1** Diagram Alir *Stone Grounwood (SGW)*

Proses ini dilakukan dengan cara menggiling kayu dalam bentuk chip dan akan diperoleh pulp dengan proses mekanis. Pulp dihasilkan dengan cara menekan kayu bulat dengan silinder berputar yang terbuat dari batu pasir. Dalam proses *groundwood* bertekanan, penggilingan dilakukan dalam sistem bertekanan 3-5



bar. Dengan cara itu akan tercapai titik didih yang lebih tinggi dan suhu *shower water* bisa dinaikkan. Suhu *shower water* bervariasi antara 70-120°C bergantung pada desain proses. Hasil pulp yang menggunakan proses mekanis yaitu sekitar 90-100% tetapi kekuatan derajat putih yang dihasilkan rendah. Pulp *groundwood* digunakan pada berbagai jenis kertas cetak (kertas majalah) (Henriksson, 2009).

## 2. Refiner Mechanical Pulp (RMP)

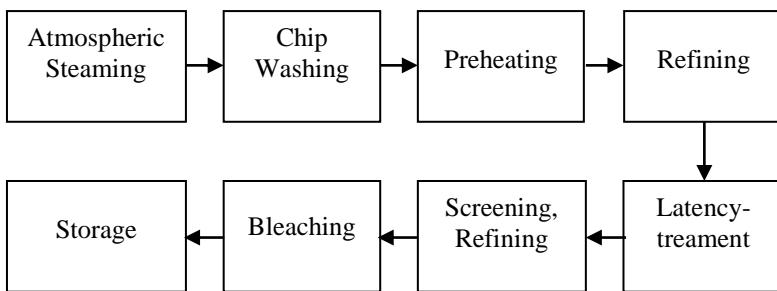


Gambar II.2 Diagram Alir Refiner Mechanical Pulp (RMP)

Menurut Casey (1980), proses ini menggunakan penggilingan cakram (*disk refiner*) untuk menguraikan bahan baku pulp. Bahan baku utamanya adalah kayu jarum. Pada umumnya untuk semua proses penggilingan mekanik terdapat dua operasi dasar yang dilakukan selama penggilingan: pelepasan kayu menjadi serat-serat tunggal dan berkas serat, dan fibrilasi yang meliputi pengubahan serat-serat menjadi unsur-unsur fibriler. Karena kualitas dan sifat-sifat pulp mekanik terutama tergantung pada sifat serat, maka jumlah tahapan penggilingan dan terutama rancang bangun penggiling sangat penting. Pada dasarnya penggilingan pulp mekanik dapat dilakukan dalam satu (proses tahap-tunggal), dua, tiga atau empat tahap (proses tahap ganda), dengan kecenderungan ke penggilingan dua tahap. Hal ini disebabkan karena keuntungan dalam bahan baku kayu dan pemakaian energi. Pada saat ini tahap pertama kebanyakan menggunakan tekanan sedangkan tahap-tahap berikutnya dilakukan di bawah kondisi tekanan atmosfer. Ada dua jenis tipe dasar *refining* yang digunakan untuk proses ini, yaitu *single-stage refiner* dan *multi-stage refining*.



### 3. Termo Mechanical Pulping (TMP)

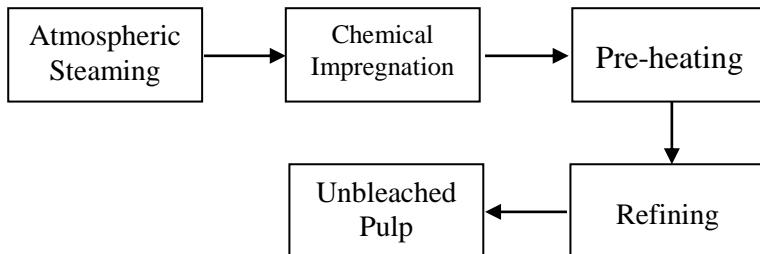


**Gambar II.3** Diagram Alir Termo Mechanical Pulping (TMP)

Dalam proses TMP, chip dipanaskan dan disaring dalam sistem bertekanan uap. Prosesnya dimulai di mana salju dan es dicairkan oleh uap yang diperoleh dari penyuling. Selanjutnya, chip melewati mesin cuci chip untuk menghilangkan pasir atau benda asing lainnya yang lebih berat dari pada chip. Hal ini diperlukan untuk melindungi peralatan proses, seperti cakram pemurni dari keausan. Sebelum penyulingan, chip dipanaskan dalam berbagai jenis pemanas awal sampai 115-155°C. Pada sistem yang lebih tua biasanya dilakukan dengan pemanasan awal hingga 3 menit. Sistem yang lebih baru sering kali berjalan dengan waktu pemanasan awal yang jauh lebih singkat (hingga 10 detik). Defibrasi awal berada di zona umpan atau biasa disebut zona pemutus dimana chip diubah menjadi serat tunggal atau bundel serat. Serat ini kemudian dibersihkan dan disaring dengan gaya sentrifugal lalu dimasukkan ke dalam celah cakram sempit dimana serat disintesis secara intensif [pada konsentrasi pulp tinggi (30-50%)]. Air terus ditambahkan untuk mengimbangi cairan yang menguap saat serat disaring (Henriksson, 2009).



#### 4. *Chemi Termo Mechanical Pulp (CTMP)*



**Gambar II.4** Diagram Alir *Chemi Termo Mechanical Pulp (CTMP)*

Menurut Henriksson (2009) untuk produksi CTMP, dilengkapi dengan unit untuk impregnasi chip dengan bahan kimia. Serat kayu lunak biasanya di impregnasi dengan 2-3% larutan alkali natrium sulfit yang lemah ( $\text{pH} = 9,5$ ), sedangkan untuk kayu keras digunakan larutan impregnasi basa kuat dalam kombinasi dengan sodium sulfite ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) atau hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Dalam satu variasi CTMP-system (HT CTMP) suhu pemanasan awal jauh lebih tinggi ( $T > 170^\circ\text{C}$ ) digunakan untuk menghasilkan pulp dengan serat yang sangat panjang. Sebelum tahap impregnasi chip dipanaskan sampai suhu mendekati  $100^\circ\text{C}$  dengan maksud untuk menciptakan *steam atmosphere* di dalam rongga chip. Pada sekrup kompresi unit impregnasi, chip ditekan dan pada saat bersamaan akan dimasukkan cairan impregnasi. Cairan itu akan masuk ke dalam chip. Waktu tinggal cairan impregnasi di dalam dijaga tetap singkat ( $< 0,5$  menit). Sebagian besar CTMP-plant dilengkapi dengan retensi bin (waktu tinggal kira-kira 30 menit), untuk memudahkan bahan kimia impregnasi menembus dinding serat sebelum pemanasan awal dan penyulingan. CTMP dan juga TMP dilapisi peroksida hingga sekitar 80% (ISO *brightness*). Sedangkan saat memproduksi CTMP dari kayu keras yang terang, misalnya aspen, di mana kandungan lignin lebih rendah dibandingkan kayu lunak, kecerahan sampai 85% (ISO



brightness) dengan pemutihan peroksida.

### II.1.2 Proses Semi Kimia (NSSC)

Menurut Bahri (2015), pada proses semi kimia, tahap awal pembuatan pulp menggunakan bahan-bahan kimia sebagai pelunak bahan baku. Pelunakan dimaksudkan untuk memutuskan ikatan lignoselulosa dengan menghilangkan sebagian dari hemiselulosa dan lignin. Kemudian diperlakukan secara mekanis untuk memisahkan serat-seratnya. Disini pulp semi kimia masih mengandung lebih dari 25% lignin yang terdapat dalam kayu. Pulp yang diperoleh biasanya digunakan untuk membuat kertas pembungkus, kertas cetak dan papan kertas kayu. Jika konsentrasi bahan kimia semakin tinggi, maka penyerapan terhadap selulosa semakin naik dibandingkan dengan penyerapan terhadap lignin, yang dapat menghasilkan rendemen dan kekuatan rendah.

### II.1.3 Proses Kimia

Proses pembuatan pulp secara kimia adalah proses pembuatan pulp yang menggunakan bahan kimia sebagai bahan utama untuk melarutkan bagian-bagian kayu yang tidak diinginkan. Rendemen pulp yang diperoleh dalam proses ini relatif rendah dibandingkan dengan proses mekanis dan semi kimia, yaitu antara 40 – 60 %, sehingga diperoleh produk selulosa yang lebih murni. Ada tiga macam proses pembuatan proses pembuatan pulp secara kimia yaitu:

1. Proses Soda
2. Proses Sulfat atau Kraft
3. Proses Sulfit
4. Proses Organosolv

Dimana masing-masing menggunakan larutan pemasak yang berbeda (*Bahri, 2015*)

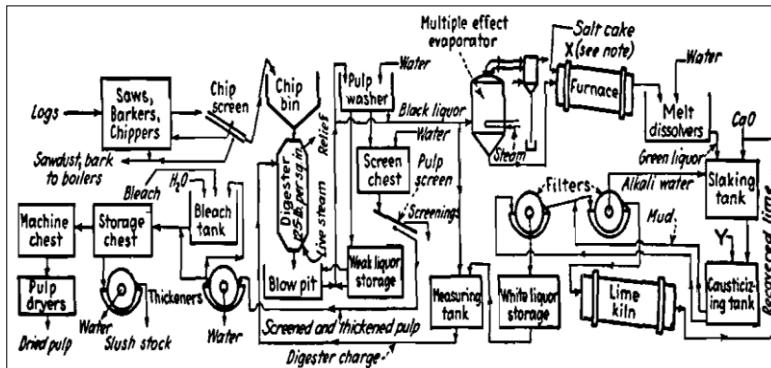
Proses pembuatan pulp dengan proses dasar, dimana larutan dimasak yang digunakan untuk proses soda adalah NaOH, sedangkan untuk proses sulfat digunakan larutan pemasak NaOH, Na<sub>2</sub>S, dan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, dan untuk proses sulfit (asam) digunakan larutan pemasak garam sulfite (*Saleh, 2009*).

---



Berikut ini penjelasan dari masing-masing proses pembuatan pulp secara mekanis:

### 1. Proses Sulfat

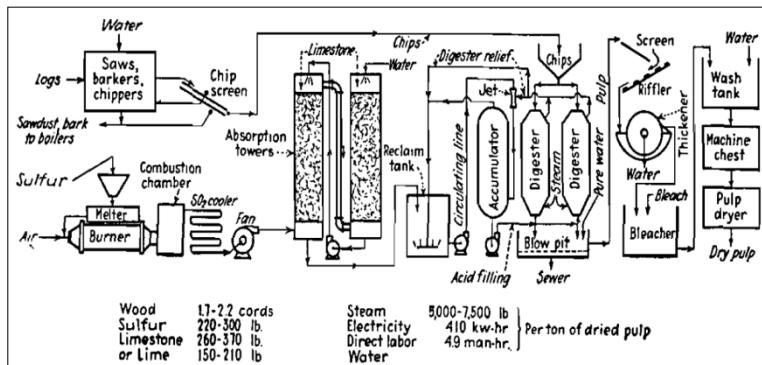


Gambar II.5 Flowsheet Untuk Proses Sulfat

Kraft atau *sulfate pulping* adalah proses alkalin dimana sebagian besar digunakan pada pembuatan pulp. Proses ini adalah hasil dari proses soda yang dimasak dengan larutan NaOH dan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> yang memiliki konsentrasi tinggi (12%). Material yang ditambahkan ke *cooking liquor* untuk proses kraft adalah Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, sehingga proses ini memiliki nama umum yaitu proses sulfat. Pemasakan dilakukan dengan larutan yang mengandung Na<sub>2</sub>S, NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> yang terbentuk dari sulfat selama persiapan dan pemulihan cairan. Chip dimasukkan ke dalam digester yang bekerja secara kontinyu dan tekanan *pre-steamed* sekitar 100 kPa yang bertujuan untuk menguapkan gas terpentin dan gas yang tidak dapat dikondensasi. Mereka kemudian masuk ke zona impregnasi tekanan tinggi sekitar 900 kPa, dimana suhunya disesuaikan dan akan bertemu di *cooking liquor*. Waktu pemasakan sekitar 1,5 jam di 170°C (*Sherve's, 1986*).



## 2. Proses Sulfit



Gambar II.6 Flowsheet Untuk Proses Sulfit

Hampir semua jenis kayu dapat digunakan untuk proses ini. Ini melibatkan *prehydrolysis* untuk menghilangkan *pentosans* dan *polyoses*, diikuti dengan penambahan sulfat dan pemutihan *multistage*. Di dalam reaktor kimiawi akan melibatkan hidrolisis lignin terhadap alkohol dan asam. Hidrolisis ini juga menghasilkan mercaptan dan sulfida. Kuantitas bubur kertas yang dibuat dengan proses ini terus berkurang meskipun kualitasnya tinggi, karena disebabkan oleh masalah pencemaran air. Kayu dibersihkan dan terkelupas seperti yang dijelaskan untuk pulp sulfat, chip yang dihasilkan berukuran sekitar 1,5 cm. Proses sulfit biasanya terdiri dari pengolahan kayu dalam larutan berair yang mengandung kalsium bisulfit dan kelebihan sulfur dioksida. Proses sulfit melibatkan dua jenis reaksi utama, yang mungkin bersamaan:

1. Sulfonasi dan pelarutan lignin dengan bisulfit.
2. Pemisahan hidrolitik kompleks selulosa lignin.

Digester dipanaskan dengan uap langsung. Kondisi ini bergantung pada sifat kayu, komposisi asam, dan kualitas bubur kertas yang dibebankan. Tekanan bervariasi dari 480 sampai 1100 kPa, tergantung pada pembangunan pabrik. Waktu dan suhu



berkisar 6-12 jam dan dari 170-176°C (*Sherve's, 1986*).

### 3. Proses Soda/Alkali

Menurut Saleh (2009), sistem pemasakan alkali yang menggunakan tekanan tinggi dan menambahkan NaOH yang berfungsi sebagai larutan pemasak dengan perbandingan 4 : 1 dari kayu yang digunakan. Larutan yang dihasilkan dipekatkan dengan cara penguapan. Proses alkali jarang dipergunakan dibandingkan dengan proses sulfit, karena proses alkali lebih sulit memperoleh zat kimia dari larutan pemasak. Keuntungan proses soda adalah mudah mendapatkan kembali bahan kimia hasil pemasakan (*recovery*) NaOH dari lindi hitam dan bahan baku yang dipakai dapat bermacam-macam. Sedangkan yang mempengaruhi proses soda adalah:

- a. Perbandingan bahan kimia terhadap bahan baku

Perbandingan bahan kimia terhadap bahan baku dipengaruhi oleh densitas bahan baku. Karena bahan baku berdensitas tinggi biasanya kandungan ligninnya tinggi sehingga bahan kimia berdensitas tinggi lebih besar daripada kebutuhan bahan kimia berdensitas rendah.

- b. Konsentrasi dari *cooking liquor*

Proses pulp sebaiknya dilakukan pada konsentrasi cooking liquor yang rendah yang dipertahankan selama proses dengan metode infection cooking yaitu pemasakan dimulai pada konsentrasi rendah dan diadakan penambahan alkali selama jangka waktu tertentu dalam pemasakan sehingga konsentrasi white liquor tetap terjaga.

- c. Suhu dan Pemasakan

Kenaikan suhu dalam proses akan menurunkan hasil dan viskositas pulp. Dalam suhu yang tinggi degradasi terhadap karbohidrat sangat besar sehingga bila waktu pemasakan singkat maka suhu harus tinggi dan sebaliknya.

### 4. Proses Organosolv

---

*Organosolv* merupakan proses *pulping* yang menggunakan

---



bahan yang lebih mudah didegradasi seperti pelarut organik. Pada proses ini, penguraian lignin terutama disebabkan oleh pemutusan ikatan eter. Beberapa senyawa organik yang dapat digunakan antara lain adalah asam asetat, etanol dan metanol (*Effendi, 2009*).

#### **4.1 Acetosolv Pulping**

Metode *Acetosolv* telah dipatenkan. Menurut klaim paten, kayu dan tanaman tahunan dimasak pada 373-385 K dengan asam asetat berair yang mengandung 0,05-0,2% asam klorida pada pemasakan awal dan hidrogen peroksida 0,5-2% pada akhirnya. Pulp menghasilkan 40-60% dan bilangan kappa 2-30 diperoleh dengan waktu pengurasan dua sampai 5 jam (*Nimz & Casten 1986b dalam Muurinen 2000*).

*Pulp Acetosolv* dapat diproses dalam dua tahap. Sebelum tahap pertama pulp (bilangan kappa 59) dicuci dengan asam asetat 93% yang bertujuan untuk menurunkan bilangan kappa menjadi 24. Tahap pemutihan pertama adalah perlakuan dengan hidrogen peroksida diikuti dengan pencucian dengan asam asetat panas. Setelah tahap pemutihan pertama, pulp memiliki bilangan kappa 3,8 dan kecerahan ISO 39,5%. Tahap kedua adalah penambahan ozon, yang bertujuan untuk menurunkan bilangan kappa menjadi 0,27 dan meningkatkan kecerahan menjadi 71,5% ISO (*Nimz & Casten 1986b dalam Muurinen 2000*).

Dalam proses pembuatan pulp dengan metode *acetosolv*, ada banyak hal yang perlu diperhatikan, mulai dari suhu, waktu pemasakan, konsentrasi asam asetat dan juga konsentrasi katalis yang digunakan. Katalis yang dipakai dalam proses pulping dengan metode *acetosolv* adalah asam klorida (HCl) sebanyak 0,01% (*Vazquez dkk., 1997*).

#### **4.2 Acetocell Pulping**

Selama pengoperasian pabrik *Acetosolv*, terjadi masalah material dan korosi yang parah pada peralatan. Inilah alasan mengapa proses asli dimodifikasi dan disebut proses *Acetocell*. Modifikasi utama adalah (*Gottlieb et al 1992 dalam Muurinen 2000*):

- Konsentrasi asam asetat dalam cairan bubur kertas yaitu 60%.
-



- Tidak ada katalis yang digunakan.
- Suhu pulping dinaikkan dari 383 K menjadi 443 K.
- Tekanan digester diangkat dari atmosfir sampai 0,8 MPa.
- Waktu bubur yaitu 180-300 menit.
- digantikan oleh digester konvensional.

*Spruce chips* akan mengalami proses delignifikasi oleh proses *Acetocell* menghasilkan bilangan kappa yaitu 10. Pengurangan bilangan kappa pada pulp yang dihasilkan dilakukan dengan ozon (1-2% pada pulp) dan ekstraksi ringan. Bilangan kappa bisa dikurangi menjadi 2-4. Pemutihan bebas klorin sepenuhnya diakhiri dengan perlakuan asam peroksida hidrogen peroksida dan/atau *peroxyacetic*. Hasil akhir pulp yang diproses yaitu dari 43 sampai 46% (*Muurinen, 2000*).

### 4.3 *Formacell Pulping*

Nimz dan Schone (Nimz & Schoene 1993, Nimz & Schoene 1994) telah menemukan sebuah proses dimana material lignoselulosa di delignifikasi di bawah tekanan dengan campuran asam asetat (50-95 w-%), asam format (<40 w-%) dan air (<50 w-%). Suhu pulping antara 403 K dan 463 K. Perbandingan *liquor* keras yang dapat digunakan dari kayu dari 1:1 sampai 12:1. Ekstraksi kontinyu dicapai dengan menghubungkan 2-20 digester sesuai garis. Ekstraksi dilakukan dan bubur kertas dicuci dengan cairan *pulping* segar. Distilasi azeotropik dengan butil asetat digunakan untuk memisahkan air dari asam. Metode inilah yang kemudian disebut metode *Formacell pulping*. Bubur kertas *Formacell Aspen* dapat diproses sampai kecerahan 86% dalam sistem pelarut organik murni. Langkah pemutihan yang digunakan adalah *ozon*, *peroxyacetic acid*, dan *butyl acetate* (*Muurinen, 2000*).

## II-2 Seleksi Proses

Berbagai proses pembuatan pulp yang telah dijelaskan tentunya memiliki keuntungan dan kerugian serta kondisi operasi yang berbeda. Kondisi operasi tersebut meliputi *yield* yang dihasilkan, suhu operasi, pH, waktu operasi dan energi yang



dibutuhkan selama proses.

**Tabel II.1** Kondisi Operasi dari Berbagai Macam Proses Pembuatan Pulp

Macam Proses	Kondisi Operasi				
	Yield (%)	Suhu (°C)	pH	Waktu Operasi	Energi (kWh/ton)
1. Mekanis <ul style="list-style-type: none"><li>• SGW</li><li>• RMP</li><li>• TMP</li><li>• CTMP</li></ul>	95-97 92-94 > 90 85-95	160 130 30 70	- - 4-6 4-6	- - 2-3 menit 1,5-2 jam	800-1500 1400-1900 2000=2500 2000=2500
2. Semikimia (NSSC)	75-85	160-80	7-10	15-60 menit	2600-3000
3. Kimia <ul style="list-style-type: none"><li>• Sulfit</li><li>• Sulfat</li><li>• Alkali/soda</li><li>• Acetocell</li></ul>	43-48 45-55 50-70 46-85	125-43 164-75 155-75 70-100	1-2 13=14 13-14 -	3-7 jam 1-2 jam 0,5-3 jam 120-180 menit	2600-3000 2600-3000 2600-3000 2600-3000

(Ullmann's 2003; Amraini 2010)

**Tabel II.2** Keuntungan dan Kerugian Beberapa Proses Secara Kualitatif

No.	Proses	Keuntungan	Kerugian
1.	Mekanis	1. Daya cetak kertas baik <sup>[1]</sup>	1. Kekuatan pulp rendah <sup>[1]</sup>
		2. Ramah lingkungan <sup>[1]</sup>	
		3. Didapatkan serat yang banyak <sup>[1]</sup>	
2.	Semi kimia	1. Rendemen tinggi <sup>[2]</sup>	1. Tidak cocok untuk nonwood <sup>[2]</sup>



		2. Persyaratan mengenai kualitas dan spesies kayu rendah <sup>[2]</sup>	
		3. Penggunaan bahan kimia relatif rendah <sup>[2]</sup>	
3.	a. Sulfat/kraft	1. Dapat digunakan untuk semua jenis kayu dan kualitas kayu <sup>[2]</sup>	1. Rendemen yang lebih rendah daripada pembuatan pulp sulfat <sup>[2]</sup>
		2. Waktu pemasakan pendek <sup>[2]</sup>	2. Warna gelap jika tidak dikelantang <sup>[2]</sup>
		3. Sifat kekuatan pulp baik <sup>[2]</sup>	3. Persoalan bau <sup>[2]</sup>
	b. Sulfit	1. Rendemen yang lebih tinggi pada bilangan kappa tertentu sehingga kebutuhan kayu lebih rendah <sup>[1]</sup>	1. Kekuatan dari pulp lebih rendah daripada proses sulfat <sup>[1]</sup>
		2. Derajat pulp yang tidak dikelantang lebih tinggi dari pada proses sulfat <sup>[1]</sup>	2. Keterbatasan sistem pemulihan bahan kimia <sup>[1]</sup>
		3. Biaya instalasi lebih rendah <sup>[1]</sup>	3. Persoalan kerak <sup>[1]</sup>
		4. Tidak ada persoalan bau <sup>[1]</sup>	4. Persoalan pemasakan lama <sup>[1]</sup> 5. Persoalan pencemaran lingkungan <sup>[1]</sup>
	c. Alkali / Soda	1. Proses sederhana <sup>[1]</sup>	1. Proses delignifikasi kurang sempurna <sup>[1]</sup>
		2. Mengolah bahan baku non-kayu <sup>[1]</sup>	2. Biaya operasi tinggi <sup>[1]</sup>
		3. Sedikit bahan kimia <sup>[1]</sup>	3. Rendemen



		pemasakan yang rendah <sup>[1]</sup> 4. Kurang ramah lingkungan <sup>[1]</sup>
d. Organ osolv	1. Ramah lingkungan <sup>[3]</sup>	1. Pencucian pulp tidak dapat menggunakan air <sup>[3]</sup>
	2. Daur ulang lindi hitam mudah dilakukan karena tanpa unsur sulfur <sup>[3]</sup>	2. Bahan kimia bersifat menguap <sup>[3]</sup>
	3. Bahan mudah didegradasi <sup>[3]</sup>	3. Tidak cocok untuk pulping dengan campuran dari beberapa jenis kayu <sup>[3]</sup>
	4. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> rendemen pulp yang dihasilkan tinggi <sup>[3]</sup>	
	5. Tidak menyebabkan timbulnya pencemaran gas berbau <sup>[3]</sup>	
	6. Proses dapat dilakukan pada temperatur dan tekanan rendah <sup>[3]</sup>	
	7. Biaya operasi murah <sup>[3]</sup>	

<sup>[1]</sup>Casey, 1980; <sup>[2]</sup>D. Fengel dan G. Wegener, 1985; <sup>[3]</sup>Nugroho, 2009)

Dari beberapa pertimbangan mengenai keuntungan dan kerugian serta kondisi operasi yang telah dijelaskan maka dipilih pembuatan pulp menggunakan proses organosolv dengan metode *acetocell pulping*.

### II.3 Uraian Proses Terpilih

Proses pembuatan pulp dari serat rami ini dilakukan dengan proses *acetocell* karena proses ini ramah lingkungan.



Pada proses ini dilakukan melalui beberapa tahap yaitu:

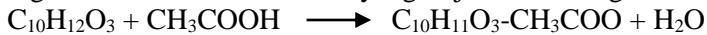
1. Proses *pre-treatment*
2. Proses pemasakan
3. Proses *bleaching*
4. Proses *post-treatment*

### II.3.1 Proses Pre-Treatment

Potongan tanaman rami ditampung pada area *open yard* (F-111), kemudian diangkut menggunakan *belt conveyor* (J-112) menuju *rotary knife cutter* (C-110). Alat ini berfungsi untuk memperkecil ukuran serat rami menjadi chip. Dari *rotary knife cutter* (C-110), chip akan masuk ke alat *vibrating screen* (H-114) dimana fungsinya yaitu untuk meyeleksi potongan chip sesuai dengan ukuran yang ditentukan yaitu 6 mm. Kemudian chip akan diangkut menggunakan *bucket elevator* (J-115) menuju proses pemasakan.

### II.3.2 Proses Pemasakan

Chip yang telah melewati proses *pre-treatment* kemudian dibawa menuju digester (R-230). Chip dimasak dengan suhu *pulping* 170°C. Tekanan digester diangkat dari atmosfer sampai 8 atm dan waktu pemasakan 180 menit. Pada proses pemasakan, digunakan asam asetat 60% dengan tujuan agar bahan kimia asam asetat 60% yang berasal dari tangki pengenceran asam asetat (M-212) masuk ke pori-pori kapiler chip serat rami. Perbandingan antara bahan baku dengan larutan asam asetat 60% yang digunakan adalah 1:2. Reaksi yang terjadi dalam digester:



Lignin      Asam asetat      Aceto ligninat

Setelah pemasakan selesai, pulp yang dihasilkan akan dipompa (L-232) menuju ke dalam tangki penyimpan sementara (F-233). Dari tangki penyimpan sementara, selanjutnya pulp dialirkan menggunakan pompa (L-241) menuju ke *rotary vacum filter* (H-240). Bubur pulp akan menempel di dinding luar silinder. Setelah keluar dari RVF, bubur pulp kemudian dialirkan menuju proses *bleaching*.

---



### II.3.3 Proses *Bleaching*

Bubur pulp dari proses pemasakan dialirkan menuju *bleaching tank*  $H_2O_2$  (R-310). Larutan  $H_2O_2$  ditambahkan sebanyak 3% dari jumlah total bahan yang masuk. Konsentrasi larutan  $H_2O_2$  yaitu 10%, dimana larutan ini berasal dari tangki pengenceran  $H_2O_2$  (M-311). Temperatur pada proses *bleaching* sebesar 95°C dengan rentang waktu selama 2 jam, pada tekanan 5 bar dan rentang pH 10,5-11. Setelah dari *bleaching tank*  $H_2O_2$ , pulp akan dipompa (L-321) menuju proses pencucian dengan menggunakan alat *rotary vacum filter* (H-320). Cake hasil *washing* kemudian akan dialirkan menuju *bleaching tank*  $Na_2S_2O_4$  (R-330) lalu ditambahkan larutan  $Na_2S_2O_4$  1% dari jumlah total bahan yang masuk. Konsentrasi larutan  $Na_2S_2O_4$  yaitu 20%, dimana larutan ini berasal dari tangki pengenceran  $Na_2S_2O_4$  (M-331). Temperatur pada proses *bleaching* sebesar 80°C dengan rentang waktu selama 15 menit, pada tekanan 5 bar dan rentang pH 5-6. Setelah dari *bleaching tank*  $Na_2S_2O_4$ , pulp akan dipompa (L-341) menuju proses pencucian dengan menggunakan alat *rotary vacum filter* (H-340). Selanjutnya *black liquor* dari proses pemasakan dan proses *bleaching* akan ditampung dalam bak penampung dan akan masuk ke proses pengolahan limbah sedangkan bubur pulp yang telah dicuci akan menuju tahap *post-treatment*.

### II.3.4 Proses *Post-Treatment*

Bubur pulp dari tangki pengenceran akan dipompa menuju ke *headbox* (X-411). Dari *headbox*, pulp akan dicetak menjadi lembaran diatas *wire section* (H-412). Pada bagian ini air akan banyak keluar sampai kadar air sisa yaitu 80%. Lembaran pulp kemudian dilewatkan ke proses *press part roll* (H-413), dimana pada tahap ini lembaran pulp akan ditekan sampai kadar airnya tinggal 50%. Terakhir, pulp akan menuju ke *rotary drum dryer* (B-410) untuk dilakukan pengeringan hingga lembaran pulp memiliki kadar air 6% dari berat pulp. Kemudian lembaran pulp menuju *roll* (X-414).

---



*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

### BAB III NERACA MASSA

Kapasitas	: 92.500 ton/tahun = 308.333 kg/hari
Operasi	: 300 hari/tahun, 24 jam/hari
Satuan massa	: kg
Basis waktu	: 1 hari

Untuk kapasitas 308.333 kg/hari, dibutuhkan bahan baku batang tanaman rami sebanyak 461.248 kg tanaman rami/hari atau 461,248 ton tanaman rami/hari dengan komposisi tanaman rami adalah sebagai berikut :

**Tabel III.1 Komposisi Tanaman Rami**

Komposisi	Persentase	Massa
Selulosa	75,10%	346.396,88
Hemiselulosa	14,10%	65.035,90
Pektin	1,90%	8.763,70
Lignin	0,60%	2.767,49
Wax	0,30%	1.383,74
Air pada serat	8%	36.899,80
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>461.247,51</b>

#### **III.1 Tahap Pre-Treatment**

##### **III.1.1 Open Yard (F-111)**

Fungsi : sebagai tempat penyimpanan awal dari tanaman rami.



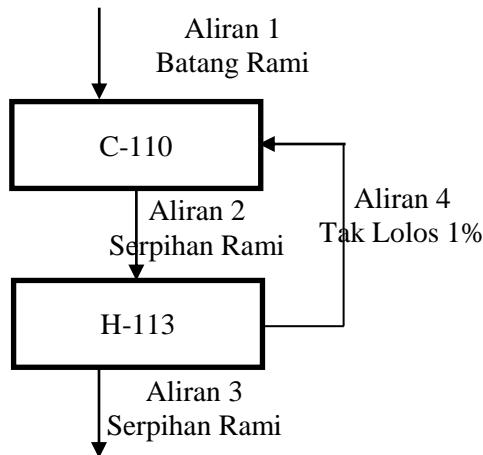


Tabel III.2 Neraca Massa pada Open Yard

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa	Komponen	Massa
Batang Rami		Aliran 1	
Selulosa	346.396,88	Selulosa	346.396,88
Hemiselulosa	65.035,90	Hemiselulosa	65.035,90
Pektin	8.763,70	Pektin	8.763,70
Lignin	2.767,49	Lignin	2.767,49
Wax	1.383,74	Wax	1.383,74
Air pada serat	36.899,80	Air pada serat	36.899,80
Total	461.247,51	Total	461.247,51

### III.1.2 Rotary Knife Cutter (C-110)

Fungsi : sebagai tempat pemotongan batang tanaman rami agar panjangnya menjadi ± 6 mm.



**Tabel III.3** Neraca Massa pada *Rotary Knife Cutter*

<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>
<u>Aliran 1</u>		<u>Aliran 2</u>	
Selulosa	346.396,88	Selulosa	346.396,88
Hemiselulosa	65.035,90	Hemiselulosa	65.035,90
Pektin	8.763,70	Pektin	8.763,70
Lignin	2.767,49	Lignin	2.767,49
Wax	1.383,74	Wax	1.383,74
Air pada serat	36.899,80	Air pada serat	36.899,80
<b>Total</b>	<b>461.247,51</b>	<b>Total</b>	<b>461.247,51</b>

**III.1.3 Vibrating Screen (H-114)**

Fungsi : untuk menyeleksi potongan rami yang ukurannya telah memenuhi syarat.

**Tabel III.4** Neraca Massa pada *Vibrating Screen*

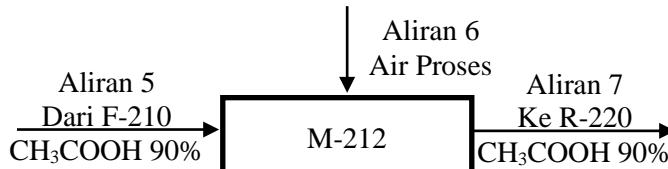
<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>
<u>Aliran 2</u>		<u>Aliran 3</u>	
Selulosa	346.396,88	Selulosa	342.932,91
Hemiselulosa	65.035,90	Hemiselulosa	64.385,54
Pektin	8.763,70	Pektin	8.676,07
Lignin	2.767,49	Lignin	2.739,81
Wax	1.383,74	Wax	1.369,91
Air pada serat	36.899,80	Air pada serat	<u>36.530,80</u>
			456.635,03
<u>Aliran 4</u> <u>(Batang rami)</u>		Tidak lolos	
			4.612,48
<b>Total</b>	<b>461.247,51</b>	<b>Total</b>	<b>461.247,51</b>



### III.2 Tahap Pemasakan

#### III.2.1 Tangki Pengenceran CH<sub>3</sub>COOH (M-212)

Fungsi : untuk mengencerkan larutan CH<sub>3</sub>COOH 90% menjadi larutan CH<sub>3</sub>COOH 60% berat.

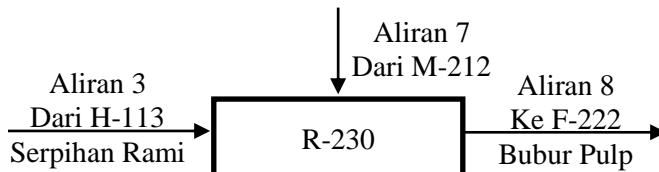


Tabel III.5 Neraca Massa pada Tangki pengenceran CH<sub>3</sub>COOH

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa	Komponen	Massa
<u>Aliran 5</u> CH <sub>3</sub> COOH	547.962,04	<u>Aliran 7</u> CH <sub>3</sub> COOH	547.962,04
Air	60.884,67	Air	365.308,03
	608.846,71		
<u>Aliran 6</u> Air Proses	304.423,35		
<b>Total</b>	<b>913.270,06</b>	<b>Total</b>	<b>913.270,06</b>

#### III.2.2 Pandia Digester (R-230)

Fungsi : untuk mengubah potongan rami menjadi bubur pulp dan terjadi proses delignifikasi pada suhu T = 170°C.



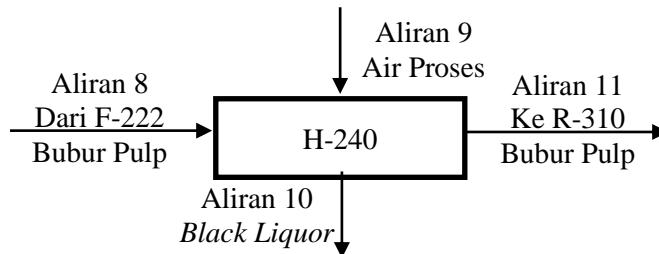


Tabel III.6 Neraca Massa pada Pandia Digester

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa	Komponen	Massa
<u>Aliran 3</u>		<u>Aliran 8</u>	
Selulosa	342.932,91	Serat:	
Hemiselulosa	64.385,54	Selulosa	342.932,91
Pektin	8.676,07	Hemiselulosa	64.385,54
Lignin	2.739,81	Pektin	4.338,03
Wax	1.369,91	Lignin sisa	273,98
Air pada serat	<u>36.530,80</u>	Wax	684,95
	<u>456.635,03</u>	Air pada serat	<u>246,58</u>
<u>Aliran 7</u>			<u>412.862,00</u>
CH <sub>3</sub> COOH	547.962,04	Cairan:	
Air	<u>365.308,03</u>	CH <sub>3</sub> COOH	547.140,09
	<u>913.270,06</u>	sisa	
		Pektin larut	4.339,03
		Aseto ligninat	3.041,19
		Wax larut	684,95
		Air sisa	<u>401.838,83</u>
			<u>957.043,10</u>
<b>Total</b>	<b>1.369.905,10</b>	<b>Total</b>	<b>1.369.905,10</b>

### III.2.3 Rotary Vacum Filter I (H-240)

Fungsi : untuk memisahkan dan mencuci bubur pulp dari black liquor.





Tabel III.7 Neraca Massa pada Rotary Vacum FilterI

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa	Komponen	Massa
<u>Aliran 8</u>		<u>Aliran 10</u>	
Serat:		Serat:	
Selulosa	342.932,91	Selulosa	51.439,94
Hemiselulosa	64.385,54	Hemiselulosa	9.657,83
Pektin	4.338,03	Pektin	650,70
Lignin sisa	273,98	Lignin sisa	41,10
Wax	684,95	Wax	<u>102,74</u>
Air pada serat	<u>246,58</u>		61.892,31
	412.862,00		
Cairan:		Cairan:	
CH <sub>3</sub> COOH	547.140,09	CH <sub>3</sub> COOH	465.069,08
sisa		sisa	
Pektin larut	4.339,03	Pektin larut	3.687,33
Aseto ligninat	3.041,19	Aseto ligninat	2.585,01
Wax larut	684,95	Wax larut	582,21
Air sisa	<u>401.838,83</u>	Air sisa	<u>3.252.820,93</u>
	957.043,10		2.724.722,56
<u>Aliran 9</u>		<u>Aliran 11</u>	
Air Proses	3.424.763,74	Serat:	
		Selulosa	291.492,97
		Hemiselulosa	54.727,71
		Pektin	3.687,33
		Lignin sisa	232,88
		Wax	582,21
		Air pada serat	<u>36,99</u>
			350.760,09
		Cairan:	
		CH <sub>3</sub> COOH	82.071,01
		sisa	
		Pektin larut	650,70
		Aseto ligninat	456,18
		Wax larut	102,74

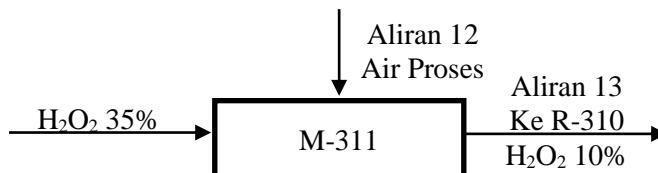


		Air sisa	<u>573.990,23</u> 657.270,88
Total	1.369.905,10	Total	1.369.905,10

### III.3 Tahap Bleaching

#### III.3.1 Tangki Pengenceran H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (M-311)

Fungsi : untuk mengencerkan larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 35% menjadi larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10% berat.

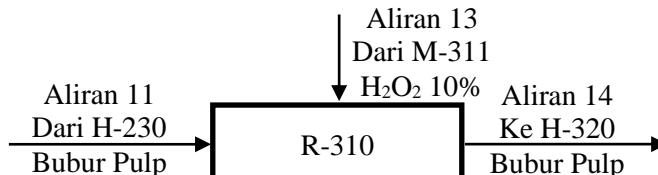


Tabel III.8 Neraca Massa pada Tangki Pengenceran H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa	Komponen	Massa
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35%		Aliran 13	
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3.024,09	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3.024,09
Air	<u>5.616,17</u>	Air	27.216,84
	8.640,27		
Aliran 12			
Air Proses	21.600,66		
<b>Total</b>	<b>30.240,93</b>	<b>Total</b>	<b>30.240,93</b>

#### III.3.2 Reaktor H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (R-310)

Fungsi : meningkatkan *brightness* pulp.

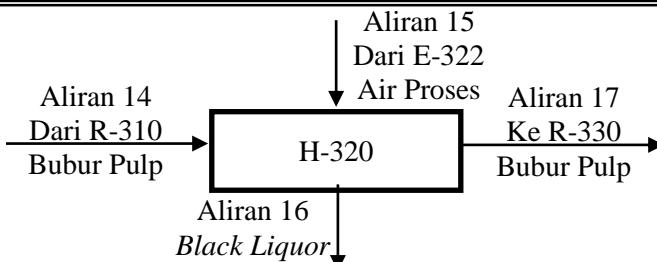


Tabel III.9 Neraca Massa pada Reaktor H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa	Komponen	Massa
<u>Aliran 11</u>		<u>Aliran 14</u>	
Serat:		Serat:	
Selulosa	291.492,97	Selulosa	291.492,97
Hemiselulosa	54.727,71	Hemiselulosa	54.727,71
Pektin	3.687,33	Pektin	1.474,93
Lignin sisa	232,88	Lignin sisa	139,73
Wax	582,21	Wax	232,88
Air pada serat	36,99	Air pada serat	9,32
	350.760,09		348.077,54
Cairan:		Cairan:	
CH <sub>3</sub> COOH	82.071,01	CH <sub>3</sub> COOH	82.071,01
sisa		sisa	
Pektin larut	650,70	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3.006,50
Aseto ligninat	456,18	Pektin larut	2.863,10
Wax larut	102,74	Aseto ligninat	456,18
Air sisa	573.990,23	Wax larut	452,07
	657.270,88	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	101,43
<u>Aliran 13</u>		Air sisa	601.244,06
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3.024,09		690.194,35
Air	27.216,84		
	30.240,93		
<b>Total</b>	<b>1.038.271,89</b>	<b>Total</b>	<b>1.038.271,89</b>

### III.3.3 Rotary Vacum Filter II (H-320)

Fungsi : untuk memisahkan dan mencuci bubur pulp dari *black liquor*.

Tabel III.10 Neraca Massa pada *Rotary Vacum Filter II*

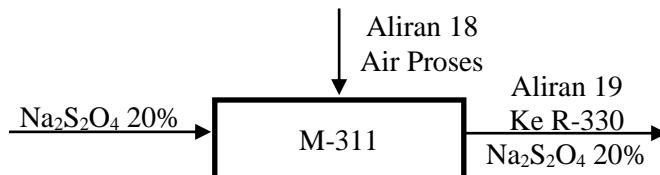
Masuk		Keluar	
Komponen	Massa	Komponen	Massa
<u>Aliran 14</u>		<u>Aliran 16</u>	
Serat:		Serat:	
Selulosa	291.492,97	Selulosa	29.149,30
Hemiselulosa	54.727,71	Hemiselulosa	5.472,77
Pektin	1.474,93	Pektin	2.724,28
Lignin sisa	139,73	Lignin sisa	13,97
Wax	232,88	Wax	430,15
Air pada serat	9,32		37.790,48
	348.077,54	Cairan:	
Cairan:		CH <sub>3</sub> COOH	73.863,91
CH <sub>3</sub> COOH	82.071,01	sisa	
sisa		H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2.705,85
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3.006,50	Aseto ligninat	410,56
Pektin larut	2.863,10	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	91,29
Aseto ligninat	456,18	Air sisa	2.877.239,80
Wax larut	452,07		2.954.311,41
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	101,43	<u>Aliran 17</u>	
Air sisa	601.244,06	Serat:	
	690.194,35	Selulosa	262.343,68
<u>Aliran 15</u>		Hemiselulosa	49.254,94
Air Proses	2.595.679,74	Pektin	1.327,44
		Lignin sisa	125,76
		Wax	209,60
		Air pada serat	0,93



		Cairan: CH <sub>3</sub> COOH sisa H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Pektin larut Aseto ligninat Wax larut C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub> Air sisa	313.262,34 8.207,10 300,65 286,31 45,62 45,21 10,14 <u>319.692,38</u> 328.587,41
<b>Total</b>	<b>3.633.951,63</b>	<b>Total</b>	<b>3.633.951,63</b>

### III.3.4 Tangki Pengenceran Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (M-331)

Fungsi : untuk mengencerkan larutan Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 90% menjadi 20% berat.



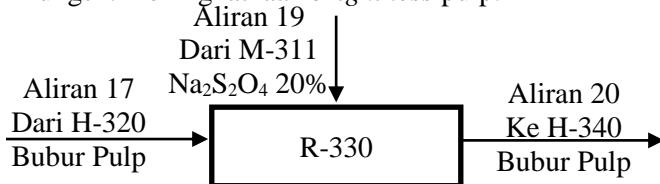
**Tabel III.11** Neraca Massa pada Tangki Pengenceran Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa	Komponen	Massa
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 90%		Aliran 19	
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.283,70	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.283,70
Air	142,63	Air	5.134,80
	1.426,33		
Aliran 18			
Air Proses	4.992,16		
<b>Total</b>	<b>6.418,50</b>	<b>Total</b>	<b>6.418,50</b>



### III.3.5 Reaktor Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (R-330)

Fungsi : meningkatkan *brightness pulp*.



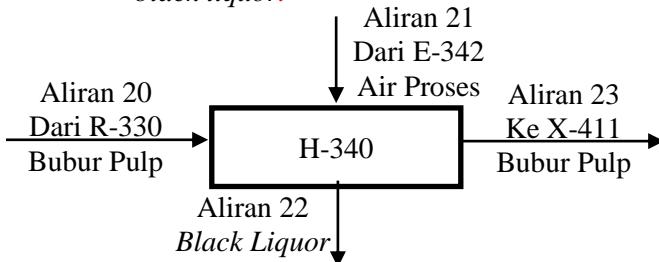
**Tabel III.12** Neraca Massa pada Reaktor Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa	Komponen	Massa
<u>Aliran 17</u>		<u>Aliran 20</u>	
Serat:		Serat:	
Selulosa	262.343,68	Selulosa	262.343,68
Hemiselulosa	49.254,94	Hemiselulosa	49.254,94
Pektin	1.327,44	Pektin	530,98
Lignin sisa	125,76	Lignin sisa	75,45
Wax	209,60	Wax	83,84
Air pada serat	0,93	Air pada serat	5,03
	313.262,34		312.293,91
Cairan:		Cairan:	
CH <sub>3</sub> COOH sisa	8.207,10	CH <sub>3</sub> COOH sisa	8.207,10
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	300,65	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.235,07
Pektin larut	286,31	Pektin larut	1.082,77
Aseto ligninat	45,62	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	300,65
Wax larut	45,21	Wax larut	170,96
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	10,14	C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	69,87
Air sisa	319.692,38	Aseto ligninat	45,62
	328.587,41	NaHSO <sub>3</sub>	29,06
<u>Aliran 19</u>		C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	10,14
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.283,70	Air	324.823,08
Air	5.134,80		335.974,33
	6.418,50		
<b>Total</b>	<b>648.268,24</b>	<b>Total</b>	<b>648.268,24</b>



### III.3.6 Rotary Vacum Filter III (H-340)

Fungsi : untuk memisahkan dan mencuci bubur pulp dari *black liquor*.



Tabel III.13 Neraca Massa pada *Rotary Vacum Filter III*

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa	Komponen	Massa
<u>Aliran 20</u>		<u>Aliran 22</u>	
Serat:		Serat:	
Selulosa	262.343,68	Selulosa	20.987,49
Hemiselulosa	49.254,94	Hemiselulosa	3.940,40
Pektin	530,98	Pektin	42,48
Lignin sisa	75,45	Lignin sisa	6,04
Wax	83,84	Wax	6,71
Air pada serat	5,03		
	312.293,91		24.983,11
Cairan:		Cairan:	
CH <sub>3</sub> COOH	8.207,10	CH <sub>3</sub> COOH	7.550,53
sisa		sisa	
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.235,07	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.136,27
Pektin larut	1.082,77	Pektin larut	996,15
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	300,65	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	276,60
Wax larut	170,96	Wax larut	157,29
C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	69,87	C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	64,24
Aseto ligninat	45,62	Aseto ligninat	41,97
NaHSO <sub>3</sub>	29,06	NaHSO <sub>3</sub>	26,74
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	10,14	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	9,33
Air	324.823,08	Air	1.789.858,82
			1.800.117,97

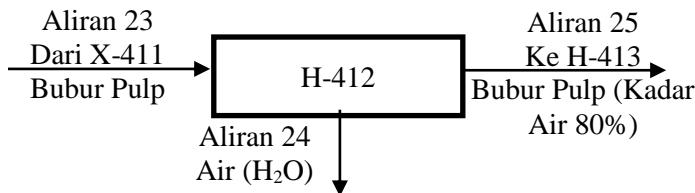


Aliran 21 Air Proses	335.974,33 1.620.671	<u>Aliran 23</u> Serat: Selulosa Hemiselulosa Pektin Lignin sisa Wax Air pada serat	241.256,18 45.314,54 488,50 69,42 77,13 0,40
		Cairan: $\text{CH}_3\text{COOH}$ sisa $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ Pektin larut $\text{H}_2\text{O}_2$ Wax larut $\text{C}_{10}\text{H}_{11}\text{O}_4\text{NaS}$ Aseto ligninat $\text{NaHSO}_3$ $\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_4$ Air	656,57 98,81 86,62 24,04 13,68 5,59 3,65 2,33 0,81 155.639,49 156.531,59
<b>Total</b>	<b>2.268.935,85</b>	<b>Total</b>	<b>2.268.935,85</b>

### III.4 Tahap Post-Treatment

#### III.4.1 Wire Section (H-412)

Fungsi : untuk mengurangi kadar air menjadi 80% berat air.



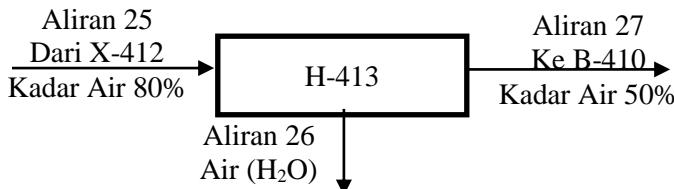


Tabel III.14 Neraca Massa pada Wire Section

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa	Komponen	Massa
<u>Aliran 23</u>		<u>Aliran 24</u>	
Serat:		Air	31.127,98
Selulosa	241.256,18	<u>Aliran 25</u>	
Hemiselulosa	45.314,54	Serat:	
Pektin	488,50	Selulosa	241.256,18
Lignin sisa	69,42	Hemiselulosa	45.314,54
Wax	77,13	Pektin	488,50
Air pada serat	0,40	Lignin sisa	69,42
	287.306,17	Wax	77,13
Cairan:			287.305,77
CH <sub>3</sub> COOH	656,57	Cairan:	
sisa		CH <sub>3</sub> COOH	656,57
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	98,81	sisa	
Pektin larut	86,62	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	98,81
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	24,04	Pektin larut	86,62
Wax larut	13,68	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	24,04
C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	5,59	Wax larut	13,68
Aseto ligninat	3,65	C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	5,59
NaHSO <sub>3</sub>	2,33	Aseto ligninat	3,65
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	0,81	NaHSO <sub>3</sub>	2,33
Air	155.639,49	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	0,81
	156.531,59	Air	124.511,92
<b>Total</b>	<b>443.837,77</b>	<b>Total</b>	<b>443.837,77</b>

### III.4.2 Press Part Roll (H-413)

Fungsi : mengurangi kadar air menjadi 50% berat air.



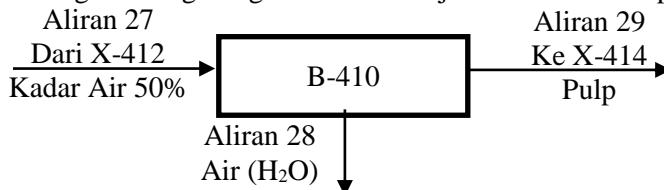
Tabel III.15 Neraca Massa pada Press Part Roll

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa	Komponen	Massa
<u>Aliran 25</u>		<u>Aliran 26</u>	
Serat:		Air	62.255,96
Selulosa	241.256,18	<u>Aliran 27</u>	
Hemiselulosa	45.314,54	Serat:	
Pektin	488,50	Selulosa	241.256,18
Lignin sisa	69,42	Hemiselulosa	45.314,54
Wax	77,13	Pektin	488,50
Air pada serat	0,40	Lignin sisa	69,42
	287.306,17	Wax	77,13
			287.305,77
Cairan:		Cairan:	
$CH_3COOH$	656,57	$CH_3COOH$	656,57
sisa		sisa	
$Na_2S_2O_4$	98,81	$Na_2S_2O_4$	98,81
Pektin larut	86,62	Pektin larut	86,62
$H_2O_2$	24,04	$H_2O_2$	24,04
Wax larut	13,68	Wax larut	13,68
$C_{10}H_{11}O_4NaS$	5,59	$C_{10}H_{11}O_4NaS$	5,59
Aseto ligninat	3,65	Aseto ligninat	3,65
$NaHSO_3$	2,33	$NaHSO_3$	2,33
$C_{10}H_{12}O_4$	0,81	$C_{10}H_{12}O_4$	0,81
Air	124.511,92	Air	62.255,96
	125.404,02		63.148,06
<b>Total</b>	<b>412.709,79</b>	<b>Total</b>	<b>412.709,79</b>



### III.4.3 Rotary Drum Dryer (B-410)

Fungsi : mengurangi kadar air menjadi 6% dari berat pulp.

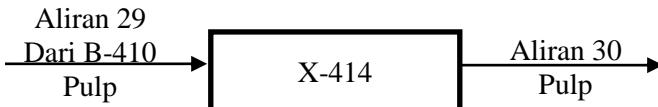


**Tabel III.16** Neraca Massa pada *Rotary Drum Dryer*

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa	Komponen	Massa
<u>Aliran 27</u>		<u>Aliran 28</u>	
Serat:		CH <sub>3</sub> COOH	656,57
Selulosa	241.256,18	sisa	
Hemiselulosa	45.314,54	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	98,81
Pektin	488,50	Pektin larut	86,62
Lignin sisa	69,42	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	24,04
Wax	77,13	Wax larut	13,68
Air pada serat	0,40	C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	5,59
	287.306,17	Aseto ligninat	3,65
Cairan:		NaHSO <sub>3</sub>	2,33
CH <sub>3</sub> COOH	656,57	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	0,81
sisa		Air	41.228,73
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	98,81		42.120,83
Pektin larut	86,62	<u>Aliran 29</u>	
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	24,04	Serat:	
Wax larut	13,68	Selulosa	241.256,18
C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	5,59	Hemiselulosa	45.314,54
Aseto ligninat	3,65	Pektin	488,50
NaHSO <sub>3</sub>	2,33	Lignin sisa	69,42
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	0,81	Wax	77,13
Air	62.255,96	Air	21.027,23
	63.148,06		308.333,00
<b>Total</b>	<b>350.453,83</b>	<b>Total</b>	<b>350.453,83</b>



### III.4.4 Roll (X-414)



Tabel III.17 Neraca Massa pada Roll

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa	Komponen	Massa
<u>Aliran 29</u>		<u>Aliran 30</u>	
Serat:		Serat:	
Selulosa	241.256,18	Selulosa	241.256,18
Hemiselulosa	45.314,54	Hemiselulosa	45.314,54
Pektin	488,50	Pektin	488,50
Lignin sisa	69,42	Lignin sisa	69,42
Wax	77,13	Wax	77,13
Air	21.027,23	Air	21.027,23
	308.333,00		308.333,00
<b>Total</b>	<b>308.333,00</b>	<b>Total</b>	<b>308.333,00</b>



*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## BAB IV

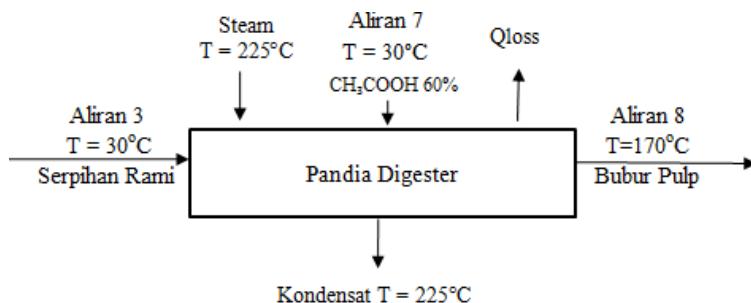
### NERACA PANAS

Kapasitas	: 92.500 ton/tahun = 308.333 kg/hari
Operasi	: 300 hari/tahun, 24 jam/hari
Satuan Panas	: kkal
Basis Waktu	: 1 hari
Suhu Reference	: 25°C

#### IV.1 Tahap Pemasakan

##### IV.1.1 Pandia Digester (R-230)

Fungsi : untuk mengubah potongan rami menjadi bubur pulp dan terjadi proses delignifikasi pada suhu  $T = 170^\circ\text{C}$ .



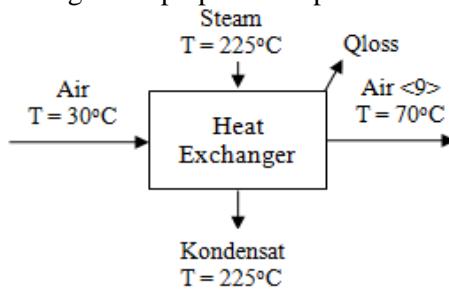
**Tabel IV.1** Neraca Panas pada Pandia Digester

Masuk		Keluar	
$\text{H}_3$	849.841,5	$\text{H}_8$	128.168.801,3
$\text{H}_7$	3.527.156,4	Qloss	3.580.534,8
$\Delta \text{H}_{\text{reaksi}}$	55.761.642,25		
$\text{Qsupply}$	71.610.695,9		
<b>Total</b>	<b>131.749.336,1</b>	<b>Total</b>	<b>131.749.336,1</b>



#### IV.1.2 Heat Exchanger I (E-232)

Fungsi : sebagai alat perpindahan panas.

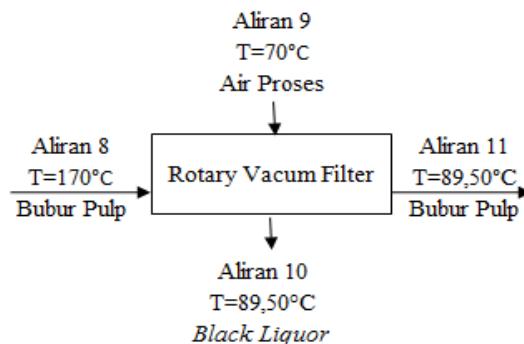


Tabel IV.2 Neraca Panas pada *Heat ExchangerI*

Masuk		Keluar	
H <sub>in</sub>	17.141.944,79	H <sub>out</sub>	154.712.649,39
Q <sub>supply</sub>	144.811.268,01	Q <sub>loss</sub>	7.240.563,40
<b>Total</b>	<b>161.953.212,79</b>	<b>Total</b>	<b>161.953.212,79</b>

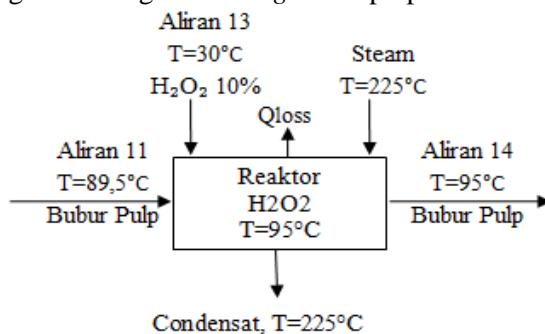
#### IV.1.3 Rotary Vacum Filter I (H-240)

Fungsi : untuk memisahkan dan mencuci bubur pulp dari *black liquor*.



**Tabel IV.3** Neraca Panas pada *Rotary Vacum Filter I*

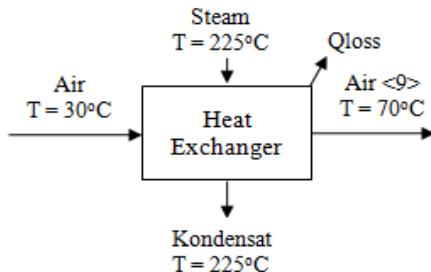
Masuk		Keluar	
H <sub>8</sub>	128.168.801,28	Q <sub>10</sub>	234.530.067,53
Q <sub>9</sub>	154.712.649,39	Q <sub>11</sub>	48.351.383,14
<b>Total</b>	<b>282.881.450,67</b>	<b>Total</b>	<b>282.881.450,67</b>

**IV.2 Tahap Bleaching****IV.2.1 Reaktor H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (R-310)**Fungsi : meningkatkan *brightness* pulp.**Tabel IV.4** Neraca Panas pada Reaktor H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Masuk		Keluar	
H <sub>11</sub>	48.351.383,1	H <sub>14</sub>	53.716.396,3
H <sub>13</sub>	140.688,1	Qloss	116.683,3
ΔH reaksi	3.007.342,84		
Qsupply	2.333.665,5		
<b>Total</b>	<b>53.833.079,6</b>	<b>Total</b>	<b>53.833.079,6</b>

**IV.2.2 Heat Exchanger II (E-322)**

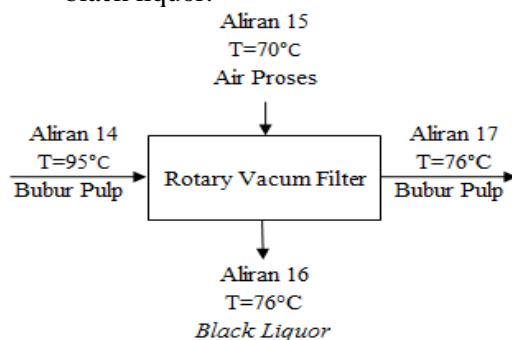
Fungsi : sebagai alat perpindahan panas.

**Tabel IV.5** Neraca Panas pada *Heat Exchanger II*

Masuk		Keluar	
H <sub>in</sub>	12.992.140,51	H <sub>out</sub>	117.259.068,61
Qsupply	109.754.661,15	Qloss	5.487.733,06
<b>Total</b>	<b>122.746.801,66</b>	<b>Total</b>	<b>122.746.801,66</b>

**IV.2.3 Rotary Vacum Filter II (H-320)**

Fungsi : untuk memisahkan dan mencuci bubur pulp dari black liquor.

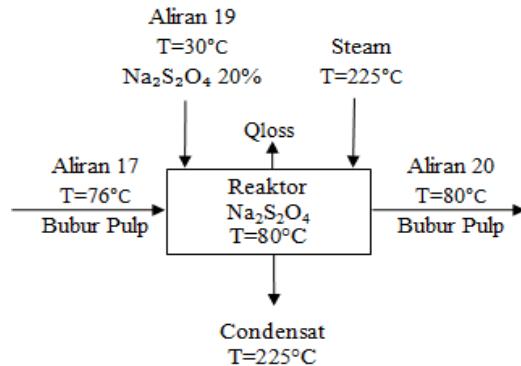
**Tabel IV.6** Neraca Panas pada *Rotary Vacum Filter II*

Masuk		Keluar	
H <sub>14</sub>	53.716.396,35	H <sub>16</sub>	149.392.938,31
H <sub>15</sub>	117.259.068,61	H <sub>17</sub>	21.582.526,65
<b>Total</b>	<b>170.975.464,95</b>	<b>Total</b>	<b>170.975.464,95</b>



#### IV.2.4 Reaktor $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ (R-330)

Fungsi : meningkatkan *brightness* pulp.

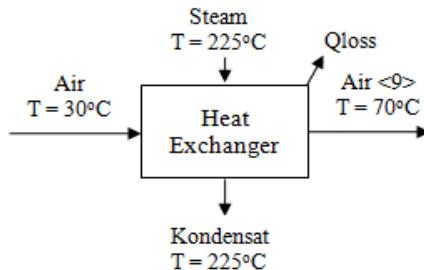


**Tabel IV.7** Neraca Panas pada Reaktor  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$

Masuk		Keluar	
$\text{H}_{17}$	21.582.526,65	$\text{H}_{20}$	23.721.461,87
$\text{H}_{19}$	26.854,16	Qloss	59.587,65
$\Delta H_{\text{reaksi}}$	979.915,71		
Qsupply	1.191.753,01		
<b>Total</b>	<b>23.781.049,52</b>	<b>Total</b>	<b>23.781.049,52</b>

#### IV.2.5 Heat Exchanger III (E-342)

Fungsi : sebagai alat perpindahan panas.

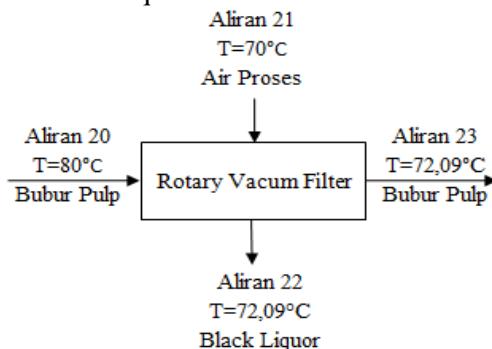


**Tabel IV.8** Neraca Panas pada *Heat Exchanger III*

<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
Hin	8.111.933,04	Hout	73.213.317,85
Qsupply	68.527.773,49	Qloss	3.426.388,67
<b>Total</b>	<b>76.639.706,53</b>	<b>Total</b>	<b>76.639.706,53</b>

#### IV.2.6 *Rotary Vacum Filter III (H-340)*

Fungsi : untuk memisahkan dan mencuci bubur pulp dari black liquor.

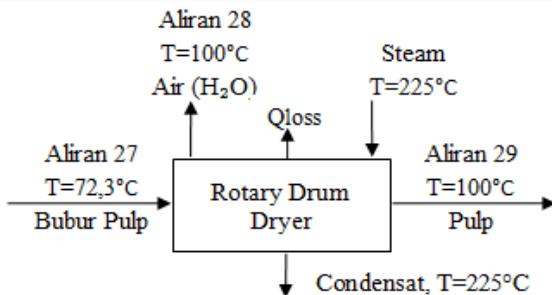
**Tabel IV.9** Neraca Panas pada *Rotary Vacum Filter III*

<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
H <sub>20</sub>	23.721.461,87	H <sub>22</sub>	85.276.322,60
H <sub>21</sub>	73.239.057,92	H <sub>23</sub>	11.684.197,18
<b>Total</b>	<b>96.960.519,78</b>	<b>Total</b>	<b>96.960.519,78</b>

#### IV.3 Tahap Post-Treatment

##### IV.3.1 *Rotary Drum Dryer (B-410)*

Fungsi : mengurangi kadar air menjadi 6% dari berat pulp.



Tabel IV.10 Neraca Panas pada *Rotary Drum Dryer*

Masuk		Keluar	
H <sub>27</sub>	7.267.666,18	H <sub>28</sub>	26.940.482,36
Qsupply	25.882.290,49	H <sub>29</sub>	4.915.359,78
		Qloss	1.294.114,52
<b>Total</b>	<b>33.149.956,66</b>	<b>Total</b>	<b>33.149.956,66</b>



*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## BAB V

### SPESIFIKASI ALAT

#### **1. *Belt Conveyor (J-112)***

Fungsi	: Untuk mengangkut bahan baku dari <i>open yard</i> menuju ke <i>rotary cutter</i>
Type	: <i>Troughed belt on 45<sup>0</sup> idlers with rolls aquals length</i>
Kapasitas	: 23.062,38 kg/jam
Bahan Konstruksi	: Karet
Panjang Belt	: 10 m
Kemiringan	: 10 <sup>0</sup>
Lebar Belt	: 35 cm
Cross Section Area of Load	: 0,01 m <sup>2</sup>
Kecepatan Belt	: 43,96 m/min
Belt Plies	: 3 min, 5 max
Ukuran Lump Maksimal	: 51 mm
Daya Angkut	: 0,803 hp
Daya Pusat	: 0,104 hp
Daya Tambahan untuk Tripper	: 2 hp
Power Motor	: 3 hp
Jumlah	: 1 Unit

#### **2. *Rotary Knife Cutter (C-110)***

Fungsi	: Sebagai tempat pemotongan batang tanaman rami agar panjangnya menjadi ± 6 mm
Rotor Speed	: 3.329,02 rpm
Luas Inlet	: 805,625 ft <sup>2</sup>



Berat Mesin : 1.300 lbs  
Panjang Mesin : 243,019 ft  
Lebar Mesin : 173,109 ft  
Jumlah : 1 Unit

### 3. *Vibrating Screen (H-114)*

Fungsi : Untuk menyaring dan menyeleksi potongan rami yang ukurannya telah memenuhi syarat  
Sieve Opening : 0,25 in  
Nominal Wire Diameter : 0,0717 in  
Luas AreaScreen : 11,7567 ft<sup>2</sup>  
Jumlah : 1 Unit

### 4. *Bucket Elevator (J-115)*

Fungsi : Untuk mengangkut bahan baku dari *vibrating screen* ke pandia digester  
Type : *Bucket elevator for continuous bucket on chain*  
Bahan Konstruksi : *Carbon Steel*  
Ukuran Bucket : 8 x 5 x 5,5 in  
Bucket Spacing : 14 in  
Bucket Speed : 190,2646 ft/min  
Head Shaft : 36,3617 hp  
Power Head Shaft : 1,350 hp  
Power Motor : 1,114 hp  
Jumlah : 1 Unit



## 5. Tangki penyimpanan CH<sub>3</sub>COOH (F-210)

Fungsi : untuk menyimpan larutan CH<sub>3</sub>COOH 90%.

Type : silinder dengan tutup atas conical head dan tutup bawah flat head.

Kapasitas : 92.606,7 cuft

Tinggi : 626,5 in

Diameter

- Inside diameter : 840,0 in
- Outside diameter
  - Course 1 : 841,8 in
  - Course 2 : 841,3 in
  - Course 3 : 841,0 in
  - Course 4 : 840,9 in

Tebal shell

- Course 1 : 14/16 in
- Course 2 : 10/16 in
- Course 3 : 8/16 in
- Course 4 : 7/16 in

Tebal tutup bawah : 20 12/16 in

Tebal tutup atas : 1 4/16 in

Bahan konstruksi : Carbon steel SA-283 grade C

Jumlah : 2 unit

## 6. Tangki pengenceran CH<sub>3</sub>COOH (M-212)

Fungsi : untuk mengencerkan larutan CH<sub>3</sub>COOH 90% menjadi 60%.

Type : silinder dengan tutup atas dan tutup bawah standart dishead dilengkapi pengaduk.

---

**Dimensi Tangki:**

Kapasitas : 1.666,54 cuft  
Tinggi : 423,74 in  
Diameter  
- Inside diameter : 97,16 in  
- Outside diameter : 102 in  
Tebal shell : 4/16 in  
Tebal tutup bawah : 7/16 in  
Tebal tutup atas : 7/16 in  
Bahan konstruksi : Carbon steel SA-283 grade C  
Jumlah : 1 unit

**Dimensi Pengaduk:**

Jenis pengaduk : Propeller  
Diameter pengaduk : 32 in  
Kecepatan putaran : 1 rps  
Power pengaduk : 1 hp  
Jumlah : 1 unit

**7. Pandia Digester (R-230)**

Fungsi : Untuk mengubah potongan rami menjadi bubur pulp dengan proses delignifikasi  
Type : Silinder dengan tutup atas dan tutup bawah *standart dishead* dilengkapi pengaduk dan jaket pemanas

**Diameter Tangki :**

Kapasitas : 285.396,89 cuft  
Tinggi : 1920 in  
Diameter  
- Inside Diameter : 576 in

---



---

- Outside Diameter	: 576,34 in
Tebal Shell	: 3/16 in
Tebal Tutup Atas	: 1 1/8 in
Tebal Tutup Bawah	: 1 1/8 in
Bahan Konstruksi	: Carbon stell SA-283 grade C
Jumlah	: 1 Unit

**Dimensi Pengaduk :**

Jenis Pengaduk	: Propeller
Diameter Pengaduk	: 192 in
Kecepatan Putar	: 1 rps
Power Motor	: 55.5024,477 hp
Jumlah	: 1 Unit

**Dimensi Jaket :**

V steam	: 200.892,436 cuft/jam
Diameter	
- Inside Diameter	: 16,487 ft
- Outside Diameter	: 17,317 ft
Tinggi Jaket	: 161,61 ft
Luas Area Steam	: 22,025 ft <sup>2</sup>
Kecepatan Superficial	: 9121,032 ft/jam

**8. Rotary Vacum Filter (H-230)**

Fungsi	: Mencuci pulp yang keluar dari pandia digester
Type	: <i>Rotary drum filter</i>
Kapasitas	: 199.777,83 kg/jam
Tekanan	: 1 atm
Penurunan Tekanan	: 0,66 atm
Waktu Siklus	: 5 menit
Bagian Filter yang Tercelup	: 45%



Luas Filter	: 8,5602 m <sup>2</sup>
Diameter Filter	: 1,175 m
Tinggi Filter	: 2,3501 m
Waktu Tinggal	: 135 s
Kecepatan Putaran	: 0,09 rpm
Jumlah	: 1 Unit

## 9. Heat Exchanger (E-322)

Fungsi : untuk menaikkan suhu air proses dari

30°C menjadi 70°C

Type : *shell and tube heat exchanger*

Jumlah : 1 unit

Shell Side :

Inside diameter : 10 in

Passes : 1

Tube Side :

Number : 52

OD :  $\frac{3}{4}$  in

BWG : 16 BWG

Pitch : 1 in. Square pitch

Passes : 2

## 10. Pompa (L-211)

Fungsi : memompa CH<sub>3</sub>COOH dari tangki penyimpanan ke tangki pengenceran

Type : *centrifugal pump*

Kapasitas : 6,92 kg/s

Material case : cast iron

Material rotor : carbon steel



Suction pressure : 1 atm  
Discharge pressure : 1 atm  
Beda ketinggian : 3,50 m  
Ukuran pipa : 4,50 in OD, sch 40  
Power pompa : 1 hp  
Jumlah : 1 unit

## 11. Reaktor H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (R-310)

Fungsi : mereaksikan lignin dengan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> untuk

meningkatkan brightness pulp

Type : *Mixed Flow Reaktor*

### Dimensi Tangki:

Kapasitas : 1.321,48 cuft  
Tinggi : 264,66 in  
Diameter  
- Inside diameter : 60,23 in  
- Outside diameter : 66 in  
Tebal shell : 3/16 in  
Tebal tutup bawah : 3/16 in  
Tebal tutup atas : 3/16 in  
Bahan konstruksi : Carbon steel SA-283 grade C  
Jumlah : 1 unit

### Dimensi Pengaduk:

Jenis pengaduk : Propeller  
Diameter pengaduk : 1,67 ft  
Kecepatan putaran : 2 rps  
Power pengaduk : 0,16 hp  
Jumlah : 1 unit

Dimensi Jaket :

V <sub>steam</sub>	: 488,39 lb/jam
Diameter	
- Inside diameter	: 5,05 ft
- Outside diameter	: 5,89 ft
Tinggi jaket	: 264,66 in
Luas area steam	: 7,16 ft <sup>2</sup>
Kecepatan superficial steam:	154,01 ft/jam

**12. Reaktor Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>**

Fungsi : mereaksikan lignin dengan Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub> untuk meningkatkan brightness pulp

Type : *Mixed Flow Reaktor*

Dimensi Tangki:

Kapasitas	: 769,61 cuft
Tinggi	: 218,85 in
Diameter	
- Inside diameter	: 50,27 in
- Outside diameter	: 54 in
Tebal shell	: 3/16 in
Tebal tutup bawah	: 3/16 in
Tebal tutup atas	: 3/16 in
Bahan konstruksi	: Carbon steel SA-283
grade C	
Jumlah	: 1 unit

Dimensi Pengaduk:

Jenis pengaduk	: Propeller
Diameter pengaduk	: 1,40 ft
Kecepatan putaran	: 3 rps



Power pengaduk : 0,30 hp  
Jumlah : 1 unit

Dimensi Jaket :

V<sub>steam</sub> : 249,41 lb/jam  
Diameter  
- Inside diameter : 4,22 ft  
- Outside diameter : 5,06 ft  
Tinggi jaket : 218,85 in  
Luas area steam : 6,07 ft<sup>2</sup>  
Kecepatan superficial steam: 154,01 ft/jam

**13. Headbox(X-411)**

Fungsi : Untuk mendistribusikan pulp secara merata ke atas *wire section*  
Type : *Three-pass baffle headbox*  
Kecepatan Alir Roll : 1,5 ft/s  
Diameter Roll : 16 in  
Jumlah Roll : 3 Rol  
Ketebalan Roll : 0,25 in  
Kecepatan Putar Roll : 30 rpm  
Ketinggian Headbox : 10 m  
Jet Geometry : 45,95 ft/s  
Jumlah : 1 Unit

**14. Wire Section(H-412)**

Fungsi : Untuk membentuk bubur pulp menjadi lembaran kertas  
Type : *Metal Wire*  
Panjang Wire : 35,7 m

---



---

Lebar Wire : 3,9 m  
Jumlah : 1 Unit

### **15. Rotary Drum Dryer(B-410)**

Fungsi	: Mengurangi kadar air menjadi 6% dari berat total pulp
Type Dryer	: Counter-Current Rotary
Volume Rotary Dryer	: 371,4507 ft <sup>3</sup>
Luas Permukaan Dryer	: 20,521 ft <sup>2</sup>
Diameter Dryer	: 4,557 ft
Panjang Dryer	: 22,785 ft
Diameter Nozzel	: 0,0292 ft
Jumlah Putaran	: 14 rpm
Waktu Tinggal	: 6,417 menit



*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## BAB VI

### UTILITAS

Utilitas merupakan sarana penunjang dari proses utama di pabrik dalam memperlancar jalannya proses produksi. Oleh karena itu, segala sarana dan pra-sarananya harus dirancang sedemikian rupa sehingga dapat menjamin kelangsungan operasi suatu pabrik. Sarana utilitas dari pabrik pulp dari tanaman rami (*Boehmeria nivea L. Gaudich*) dengan proses *Acetocell* ini meliputi:

#### 1. Air

Air dalam pabrik pulp ini digunakan sebagai air proses, air umpan boiler, dan air sanitasi.

#### 2. Steam

*Steam* digunakan untuk proses pada alat tangki impregnasi, digester, *heat exchanger*, dan *dryer*.

#### 3. Listrik

Listrik berfungsi sebagai tenaga penggerak dari berbagai peralatan proses dan sumber penerangan.

#### 4. Bahan bakar

Bahan bakar berfungsi untuk bahan bakar boiler dan pembangkit tenaga listrik.

#### VI.1 Air

Air adalah substansi kimia dengan rumus kimia  $H_2O$ , satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom oksigen. Air bersifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau pada kondisi standar, yaitu pada tekanan 100 kPa (1 bar) dan temperatur 273,15 K ( $0^{\circ}C$ ). Zat kimia ini merupakan suatu pelarut yang penting, yang memiliki kemampuan untuk melarutkan banyak zat kimia lainnya, seperti garam-garam, gula, asam, beberapa jenis gas dan banyak macam molekul organik.

Kebutuhan air pabrik direncanakan diambil dari air sungai. Air adalah pelarut yang kuat, melarutkan banyak jenis



zat kimia. Zat-zat yang bercampur dan larut dengan baik dalam air (misalnya garam-garam) disebut sebagai zat-zat hidrofilik. Kelarutan suatu zat dalam air ditentukan oleh dapat tidaknya zat tersebut menandingi kekuatan gaya tarik-menarik listrik (gaya intermolekul dipol-dipol) antara molekul-molekul air. Jika suatu zat tidak mampu menandingi gaya tarik menarik antar molekul air, molekul-molekul zat tersebut tidak larut dan akan mengendap dalam air. Oleh karena itu, air merupakan *solvent* umum dan secara praktis semua zat bisa larut didalamnya, maka sebelum digunakan air perlu diolah terlebih dahulu baik dengan cara penyaringan untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang bersifat mikro maupun yang bersifat makro sebelum masuk ke penampung.

Air di dalam bak penampung kemudian diolah lebih lanjut sesuai keperluan. Adapun kegunaan air adalah sebagai berikut:

1. Air sanitasi
2. Air proses
3. Air pendingin
4. Air umpan boiler

### VI.1.1 Air Sanitasi

Air sanitasi digunakan untuk keperluan mandi, minum, memasak, mencuci dan sebagainya. Pada dasarnya, air sanitasi ini memiliki baku mutu yang sama dengan air bersih. Berikut ini baku mutu air sanitasi sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor: 416/MEN.KES/PER/IX/1990 Tentang Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air:

a. Fisik

- |             |                                      |
|-------------|--------------------------------------|
| • Bau       | : Tidak berbau                       |
| • TDS       | : 1000 mg/L                          |
| • Kekeruhan | : 5 NTU                              |
| • Rasa      | : Tidak berasa                       |
| • Suhu      | : Suhu udara $\pm 3^{\circ}\text{C}$ |
| • Warna     | : 15 TCU                             |
-

**b. Kimia**

- pH berkisar 6,5-8,5.
- Kesadahan ( $\text{CaCO}_3$ ) maksimum sebesar 500 mg/L.
- Tidak mengandung zat terlarut baik organik, anorganik maupun radioaktif.
- Tidak mengandung zat-zat beracun lain.
- Tidak mengandung logam berat seperti Pb, Ag, Cr, dan Hg.

**c. Biologis**

Tidak mengandung kuman atau bakteri terutama bakteri yang bersifat patogen.

Untuk memenuhi persyaratan-persyaratan di atas dapat dilakukan proses penjernihan sebelumnya dan untuk bakteriologis (penghilangan bakteri) perlu ditambahkan kaporit ( $\text{CaOCl}_2$ ) sebagai desinfektan yang fungsinya adalah untuk mencegah berkembang biaknya bakteri pada sistem distribusi air sanitasi.

**VI.1.2 Air Proses**

Air proses adalah air yang digunakan dalam proses pembuatan pulp. Air proses dalam pabrik ini digunakan untuk bahan baku pembuatan *steam* dan proses pencucian pada *rotary vacum filter*.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penyediaan air proses adalah:

- Alkalinitas
- Keasaman (pH)
- Kekeruhan
- Warna
- Air yang digunakan tidak mengandung Fe dan Mn

**VI.1.3 Air Pendingin**

Pada umumnya, ada beberapa faktor yang menyebabkan air digunakan sebagai media pendingin, yaitu:

---



- a. Air merupakan materi yang dapat diperoleh dalam jumlah yang besar.
- b. Mudah dalam pengaturan dan pengolahannya.
- c. Dapat menyerap sejumlah panas per satuan volume yang tinggi
- d. Tidak mudah menyusut secara berarti dalam batasan dengan adanya temperatur pendinginan.

#### VI.1.4 Air Umpam Boiler

Air umpan boiler adalah air yang dilunakkan dari kandungan mineral dalam air tersebut dan merupakan air yang digunakan untuk menghasilkan *steam* pada boiler. Walaupun air sudah keliatan jernih tetapi pada umumnya masih mengandung garam dan asam yang terbawa oleh air sungai yang dapat merusak boiler.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pengolahan air umpan boiler adalah:

1. Zat-zat penyebab korosi

Korosi dalam ketel disebabkan karena tidak sempurnanya pengaturan pH dan penghilangan oksigen, penggunaan kembali air kondensat yang banyak mengandung bahan-bahan pembentuk karat dan korosi terjadi selama ketel tidak dioperasikan.

2. Zat penyebab ‘*scale foaming*’

Pembentukan kerak disebabkan adanya kesadahan dan suhu tinggi yang biasanya berupa garam-garam karbonat dan silika.

3. Zat penyebab *foaming*

Air yang diambil kembali dari proses pemanasan biasanya menyebabkan busa (*foam*) pada boiler karena adanya zat-zat organik, anorganik dan zat tidak terlarut dalam jumlah besar. Efek pembusaan terutama terjadi pada alkalinitas tinggi.

Sebelum air dari unit pengolahan air digunakan sebagai umpan boiler, dilakukan pelunakan air. Adapun tujuannya adalah untuk menghilangkan ion  $Mg^{2+}$  dan  $Ca^{2+}$  yang mudah



sekali membentuk kerak. Kerak akan menghalangi perpindahan panas sehingga akan menyebabkan *overheating* yang memusat dan menyebabkan pecahnya pipa.

## VI.2 Proses Pengolahan Air di Pabrik Pulp

Proses pengolahan air meliputi:

- a. Pengolahan secara fisika, seperti pengendapan *suspended solid* tanpa koagulan (*plain sedimentation*), pemisahan atau penyaringan minyak dan kotoran padat lainnya.
- b. Pengolahan secara kimia atau klarifikasi terutama untuk memisahkan kontaminan yang terlarut.
- c. Pengolahan secara fisika lanjutan, seperti proses penyaringan/filtrasi, terutama untuk menyempurnakan proses kimia.
- d. Pengolahan khusus yang tergantung pada penggunaannya, seperti:
  - Pelunakan dengan kapur
  - Pelunakan dengan menggunakan *kation* dan *anion exchanger*.

### Penyaringan Awal

Air yang diambil dari sungai akan dialirkan menuju bak penampung sementara melewati *bar screen* yang berfungsi untuk menyaring kotoran berukuran besar seperti ranting pohon, plastik, daun, sampah, dll. Air sungai dalam bak penampung dilewatkan *strainer* yang berfungsi untuk menahan kotoran-kotoran yang berukuran kecil, kemudian dipompa menuju bak koagulasi.

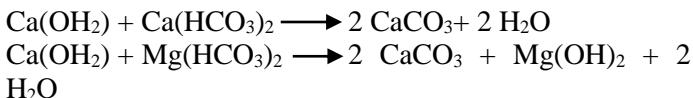
### Penambahan Bahan Kimia

Tahap ini bertujuan untuk mengendapkan suspensi partikel koloid yang tidak tersaring karena ukurannya sangat kecil. Untuk mengatasi masalah tersebut, air dialirkan menuju tangki koagulasi disertai dengan pengadukan cepat dan dilakukan penambahan koagulan berupa tawas  $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O]$ . Pengadukan cepat bertujuan agar larutan tawas dapat tercampur sempurna dengan air yang diolah.

---



Tujuan penambahan tawas adalah untuk memperbesar ukuran partikel padatan yang sukar mengendap sehingga waktu pengendapan menjadi lebih cepat. Setelah terbentuk gumpalan-gumpalan, air dialirkan secara *overflow* ke dalam tangki flokulasi dengan pengadukan lambat yang disertai penambahan flokulasi berupa larutan kapur  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Tujuan pengadukan lambat ini adalah untuk membantu memperbesar flok-flok sehingga menjadi berat. Pengaruh penambahan kapur  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  akan menaikkan pH dan bereaksi dengan bikarbonat membentuk endapan  $\text{CaCO}_3$ . Bila kapur yang ditambahkan cukup banyak sehingga  $\text{pH} = 10,5$  maka akan membentuk endapan  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Berikut reaksi kimia yang terjadi:



Air kemudian dialirkan secara *overflow* ke *clarifier*.

#### Penyaringan

Kemudian air mengalir dengan *flowrate* yang lambat dalam bak sedimentasi atau *clarifier* dengan pulsator untuk mendapatkan flok yang terbentuk pada proses flokulasi pada zona-zona pengendapan di alat tersebut. Di bak sedimentasi ini air diberi kesempatan untuk mengendap sebaik mungkin. Air yang bersih menuju proses filtrasi sedangkan lumpur atau flok-flok yang terbentuk masuk ke dalam bak penampung lumpur. Air jernih dari bagian atas ditampung dalam bak penampung air bersih kemudian dipompa ke *sand filter* yang berfungsi untuk menangkap partikel-partikel kecil yang tidak dapat diendapkan. Penyaring yang digunakan adalah *rapid sand filter* (filter saringan cepat). Sand filter jenis ini berupa bak yang berisi pasir kwarsa yang berfungsi untuk menyaring flok halus dan kotoran lain yang lolos dari klarifier (*clarifier*). Air yang masuk ke filter ini telah dicampur terlebih dahulu dengan klorin dan tawas.

Media penyaring biasanya lebih dari satu lapisan, yaitu pasir kwarsa dan batu dengan mesh tertentu. Air mengalir ke



bawah melalui media tersebut. Zat-zat padat yang tidak larut akan melekat pada media, sedangkan air yang jernih akan terkumpul di bagian dasar dan mengalir keluar melalui suatu pipa menuju reservoir yang akan dilalirkkan menggunakan pompa menuju ke 3 unit yaitu unit air sanitasi, unit air proses/pendingin, dan unit air umpan boiler. Untuk air sanitasi ditambahkan kaporit sebagai pembunuh kuman. Untuk air proses dapat langsung digunakan, sedangkan untuk air umpan boiler dilakukan demineralisasi pada kation *exchanger*.

#### Unit Sanitasi

Pada unit air sanitasi, air akan ditambahkan dengan klorin. Klorin banyak digunakan dalam pengolahan air bersih dan air limbah sebagai oksidator dan desinfektan. Sebagai oksidator, klorin digunakan untuk menghilangkan bau dan rasa pada pengolahan air bersih. Untuk mengoksidasi Fe(II) dan Mn(II) yang banyak terkandung dalam air tanah menjadi Fe(III) dan Mn(III).

Yang dimaksud dengan klorin tidak hanya  $\text{Cl}_2$  saja akan tetapi termasuk pula asam hipoklorit ( $\text{HOCl}$ ) dan ion hipoklorit ( $\text{OCl}^-$ ), juga beberapa jenis kloramin seperti monokloramin ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ) dan dikloramin ( $\text{NHCl}_2$ ) termasuk di dalamnya.

Klorin dapat diperoleh dari gas  $\text{Cl}_2$  atau dari garam-garam  $\text{NaOCl}$  dan  $\text{Ca(OCl)}_2$ . Kloramin terbentuk karena adanya reaksi antara amoniak ( $\text{NH}_3$ ) baik anorganik maupun organik aminoak di dalam air dengan klorin.

Bentuk desinfektan yang ditambahkan akan mempengaruhi kualitas yang didesinfeksi. Penambahan klorin dalam bentuk gas akan menyebabkan turunnya pH air, karena terjadi pembentukan asam kuat. Akan tetapi penambahan klorin dalam bentuk natrium hipoklorit akan menaikkan alkalinitas air tersebut sehingga pH akan lebih besar. Sedangkan kalsium hipoklorit akan menaikkan pH dan kesadahan total air yang didesinfeksi.

#### Unit Air Proses/Pendingin

---



- Tugas unit penyediaan air pendingin adalah :  
Menyediakan air pendingin yang memenuhi syarat - syarat sebagai air pendingin untuk keperluan operasional pada *heat exchanger*. Alat yang digunakan adalah *cooling tower*.
- Proses pada *cooling water* unit adalah :  
Air dari sirkulasi proses dengan suhu  $\pm 40 - 45^{\circ}\text{C}$  masuk ke menara pendingin di bagian atas, lalu jatuh ke dalam basin melalui distributor dan *splashing cup* (cawan pemercik) dalam bentuk butiran hujan. Udara luar masuk melaui sirip-sirip kayu yang terhisap oleh fan yang berada di puncak *cooling tower* dan terkontak langsung dengan air yang turun ke basins, sehingga temperatur air turun sampai  $28 - 30^{\circ}\text{C}$ . Air pendingin dalam basins harus memenuhi syarat bebas korosi, bebas kerak, bebas jamur, dan bebas bakteri. Di dalam air pendingin diberi bahan-bahan kimia sehingga air memenuhi syarat untuk proses. Bahan kimia tersebut adalah:

No.	Chemical	Value	Fungsi
1	$\text{PO}_4$	5,0 – 7,0 ppm	<i>Scale inhibitor</i>
2	Zinc	Min. 0,5 ppm	<i>Corroption inhibitor</i>
3	Kathon	<i>Colonies formin</i> unit/ml	<i>Slime remover</i>
4	$\text{CL}_2$ gas	0,2 – 0,5 ppm as free chlorine	<i>Control microbiological growth</i>

(Sumber : Utilitas PT. Petrokimia Gresik)

- Syarat kualitas *cooling water*

**Tabel VI.1** Syarat Kualitas *Cooling Water*

Parameter	Syarat	Satuan
pH	7,3 – 7,8	
Conductivity	<3000	<i>Micro mhos</i>



<i>Ca Hardness</i>	400 – 600	ppm CaCO <sub>3</sub>
M Alkalinitas	20 – 250	ppm CaCO <sub>3</sub>
Silikat (SiO <sub>2</sub> )	<150	ppm SiO <sub>2</sub>
<i>Phosphate</i>	5,0 – 7,0	ppm PO <sub>4</sub>
<i>Chlorida</i> (Cl <sup>-</sup> )	<423	ppm CaCO <sub>3</sub>
<i>Chlor sisa</i> (Cl <sub>2</sub> )	0,2 – 0,5	ppm Cl <sub>2</sub>
Sulfat (SO <sub>4</sub> )		ppm SO <sub>4</sub>
Besi (Fe)	<2	ppm Fe
Zinc	Min. 0,5	ppm Zinc
Kekeruhan	<25	NTU

(Sumber : Utilitas PT. Petrokimia Gresik)

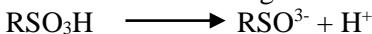
### Unit Demineralisasi

Unit ini berfungsi untuk menghilangkan garam-garam terlarut dalam air sehingga menghasilkan air bebas mineral. Mineral yang dimaksudkan adalah mineral seperti ion positif (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>) dan ion negatif (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> dan lain-lain) yang dapat merusak alat dan mengganggu proses. Air demineralisasi digunakan sebagai boiler *feed water*. Unit air demineralisasi terdiri dari *cation tower* dan *anion tower*. Uraian proses unit air demineralisasi adalah sebagai berikut:

- *Cation Tower*

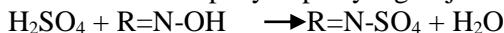
*Cation tower* berisi resin kation yang mampu menyerap ionion positif dalam air. Air kemudian dimasukan dari atas kedalam *cation tower*. Didalam *cation exchanger*, garam-garam Na, Ca, dan Mg diikat oleh resin kation dengan reaksi sebagai berikut:

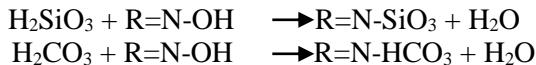
Di dalam air resin kation akan mengalami disosiasi



- *Anion Tower*

*Anion tower* berisi resin anion yang mampu menyerap ionion negatif di dalam air sehingga air yang keluar dari *anion tower* bersifat netral. Resin yang dipakai adalah R=N-OH. Reaksi penyerapan yang terjadi:





**Tabel VI.2** Syarat Kualitas Demineralisasi Water untuk Kebutuhan Air Boiler

Parameter	Syarat	Satuan
pH	9 – 10	
Conductivity	Max. 10	Micro mhos
Ca Hardness	0	ppm CaCO <sub>3</sub>
Alk M		Ppm CaCO <sub>3</sub>
Silikat (SiO <sub>2</sub> )	Max. 0,2	ppm SiO <sub>2</sub>
Phosphate		ppm PO <sub>4</sub>
Chlorida (Cl <sup>-</sup> )		ppm CaCO <sub>3</sub>
Chlor sisa (Cl <sub>2</sub> )		ppm Cl <sub>2</sub>
Sulfat (SO <sub>4</sub> )		ppm SO <sub>4</sub>
Besi (Fe)		ppm Fe
Zinc		ppm Zinc
Kekeruhan		NTU

(Sumber : Utilitas PT. Petrokimia Gresik)

### VI.3 Perhitungan Kebutuhan Air

#### VI.3.1 Air Sanitasi

Untuk keperluan air sanitasi diperlukan air sebanyak 0,2 m<sup>3</sup>/hari untuk tiap karyawan (*Kemmer.N.Frank, hal 351*).

Jumlah karyawan	: 500 orang
Kebutuhan air untuk 500 karyawan	: 100 m <sup>3</sup> /hari
Cadangan air (10%)	: 10 m <sup>3</sup> /hari
<b>Total</b>	<b>: 110 m<sup>3</sup>/hari</b>

Untuk kebutuhan laboratorium, taman, *service water*, dan *hydrant* diperlukan air sebanyak 40% dari kebutuhan air sanitasi karyawan.

Kebutuhan lain-lain : 62 m<sup>3</sup>/hari

**Kebutuhan air sanitasi pabrik : 172 m<sup>3</sup>/hari**



### VI.3.2 Air Proses

Kebutuhan air proses pada pabrik ini meliputi:

**Tabel V1.3 Kebutuhan Air Proses pada Pabrik**

No.	Nama Alat	Kebutuhan Air	
1	Tangki Pengenceran $\text{CH}_3\text{COOH}$	304.423,35	kg/hari
2	<i>Rotary Vacum Filter I</i>	3.424.762,74	kg/hari
3	Tangki Pengenceran $\text{H}_2\text{O}_2$	21.600,66	kg/hari
4	<i>Rotary Vacum Filter II</i>	2.595.679,74	kg/hari
5	Tangki Pengenceran $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	4.992,16	kg/hari
6	<i>Rotary Vacum Filter III</i>	1.620.670,60	kg/hari
<b>Total</b>		7.972.129,26	kg/hari
<b>Total</b>		8.006,72	$\text{m}^3/\text{hari}$

### VI.3.3 Air Umpan Boiler

Air yang dibutuhkan = *steam* yang dibutuhkan

Kebutuhan air pada pabrik ini meliputi:

**Tabel V1.4 Kebutuhan Air Umpan Boiler**

No.	Nama Alat	Kebutuhan Air	
1	Tangki Impregnasi	94.687,90	kg/hari
2	<i>Pandia Digester</i>	68.452,51	kg/hari
3	<i>Heat Exchanger I</i>	329.920,11	kg/hari
4	Reaktor $\text{H}_2\text{O}_2$	19.701,63	kg/hari
5	<i>Heat Exchanger II</i>	250.490,88	kg/hari
6	Reaktor $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	7.392,70	kg/hari
7	<i>Heat Exchanger III</i>	156.125,22	kg/hari
8	<i>Rotary Drum Dryer</i>	59.861,30	kg/hari
<b>Total</b>		986.632,24	kg/hari
<b>Total</b>		999,91	$\text{m}^3/\text{hari}$

Karena digunakan sistem sirkulasi untuk menghemat



air, maka diasumsikan 80% dari kondensat kembali ke air umpan boiler. Jadi:

Air kondensat yang diresirkulasi adalah 80% dari total kondensat

$$= 80\% \times 999,91 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 792,73 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\begin{array}{lcl} \text{Total air yang hilang} & = 999,91 \text{ m}^3/\text{hari} - 792,73 \text{ m}^3/\text{hari} \\ & = 198,18 \text{ m}^3/\text{hari} \end{array}$$

Air sungai yang dibutuhkan yaitu:

1. Air sanitasi	= 172,00 m <sup>3</sup> /hari
-----------------	-------------------------------

2. Air proses	= 8.006,72 m <sup>3</sup> /hari
---------------	---------------------------------

3. Air <i>makeup water</i> boiler	= <u>198,18 m<sup>3</sup>/hari</u>
-----------------------------------	------------------------------------

<b>Total</b>	= 8.376,90 m <sup>3</sup> /hari
--------------	---------------------------------

#### VI.4 Steam

Pada pabrik kertas ini, *steam* mempunyai peranan yang sangat penting. *Steam* yang digunakan adalah *saturated steam*. Kebutuhan *steam* untuk pabrik pulp adalah sebagai berikut:

**Tabel VI.5 Kebutuhan Steam**

No.	Nama Alat	Kebutuhan Air	
1	Tangki Impregnasi	94.687,90	kg/hari
2	<i>Pandia Digester</i>	68.452,51	kg/hari
3	<i>Heat Exchanger I</i>	329.920,11	kg/hari
4	Reaktor H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	19.701,63	kg/hari
5	<i>Heat Exchanger II</i>	250.490,88	kg/hari
6	Reaktor Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	7.392,70	kg/hari
7	<i>Heat Exchanger III</i>	156.125,22	kg/hari
8	<i>Rotary Drum Dryer</i>	59.861,30	kg/hari
<b>Total</b>		986.632,24	kg/hari
		999,91	m <sup>3</sup> /hari

#### VI.5 Listrik

Tenaga listrik untuk pabrik ini disuplai oleh jaringan PLN dan sebagai cadangan dipakai generator set untuk



mengatasi keadaan bila sewaktu-waktu terjadi gangguan PLN. Kebutuhan listrik untuk penerangan pabrik dapat dihitung berdasarkan kuat penerangan untuk masing-masing ruangan atau halaman di sekitar pabrik yang memerlukan penerangan. Tenaga listrik untuk pabrik ini disuplai oleh dua sumber, yaitu:

- a. Perusahaan Listrik Negara (PLN), merupakan sumber utama dari pabrik kertas ini.
- b. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), digunakan untuk cadangan jika listrik dari PLN padam atau apabila daya dari PLN tidak mencukupi.



*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## **BAB VII**

### **KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA**

#### **VII.1 Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Secara Umum**

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) adalah suatu program yang dibuat pemerintah yang harus dipatuhi dan dilaksanakan pengusaha maupun pekerja sebagai upaya mencegah timbulnya kecelakaan akibat kerja dan penyakit akibat kerja dengan cara mengenali hal yang berpotensi menimbulkan kecelakaan dan penyakit akibat kerja serta tindakan antisipatif apabila terjadi kecelakaan dan penyakit akibat kerja.

K3 diatur dalam Undang-Undang Republik Indonesia No. 1/1970 tentang keselamatan kerja yang mendefinisikan tempat kerja sebagai ruangan atau lapangan, tertutup atau terbuka, bergerak atau tetap dimana tenaga kerja bekerja. Termasuk tempat kerja ialah semua ruangan, lapangan, halaman dan sekelilingnya yang merupakan bagian-bagian atau berhubungan dengan tempat kerja tersebut.

#### **VII.1.1 Tujuan Keselamatan Kerja**

Keselamatan kerja adalah membuat kondisi kerja yang aman dengan dilengkapi alat-alat pengaman, penerangan yang baik, menjaga lantai dan tangga bebas dari air, minyak, nyamuk dan memelihara fasilitas air yang baik. Keselamatan kerja menunjuk pada perlindungan kesejahteraan fisik dengan tujuan mencegah terjadinya kecelakaan atau cedera terkait dengan pekerjaan (*Paramita, 2012*).

Menurut Paramita (2012), tujuan dari keselamatan kerja adalah:

1. Setiap pegawai dapat jaminan keselamatan dan kesehatan kerja.
2. Agar setiap perlengkapan dan peralatan kerja digunakan sebaik-baiknya.



3. Agar semua hasil produksi dipelihara keamanannya.
4. Agar adanya jaminan atas pemeliharaan dan peningkatan gizi pegawai.
5. Agar meningkat kegairahan, keserasian kerja dan partisipasi kerja.
6. Terhindar dari gangguan kesehatan yang disebabkan lingkungan kerja.
7. Agar pegawai merasa aman dan terlindungi dalam bekerja.

### **VII.1.2 Kecelakaan Kerja**

Keselamatan kerja bertalian dengan kecelakaan kerja, yaitu kecelakaan yang terjadi di tempat kerja atau dikenal dengan istilah kecelakaan industri. Kecelakaan industri ini secara umum dapat diartikan sebagai suatu kejadian yang tidak diduga semula dan tidak dikehendaki yang mengacaukan proses yang telah diatur dari suatu aktivitas.

Menurut Anizar (2009), secara umum penyebab kecelakaan kerja ada 2 yaitu:

1. *Unsafe action* (faktor manusia)

*Unsafe action* dapat disebabkan oleh hal sebagai berikut:

- Ketidakseimbangan fisik tenaga kerja
- Tingkat pendidikan. Semakin tinggi tingkat pendidikan seseorang, maka mereka cenderung untuk menghindari potensi bahaya yang dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan.
- Menjalankan pekerjaan tanpa mempunyai kewenangan.
- Menjalankan pekerjaan yang tidak sesuai dengan keahliannya.
- Pemakaian alat pelindung diri (APD) hanya berpura-pura.
- Mengangkut beban yang berlebihan.
- Bekerja berlebihan atau melebihi jam kerja.

2. *Unsafe condition* (faktor lingkungan)

*Unsafe condition* disebabkan oleh berbagai hal berikut:



- Terpapar bising. Sesuai dengan Keputusan Menteri Tenaga Kerja Nomor: KEP-51/MEN/1999 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika di Tempat Kerja, Intensitas kebisingan yang dianjurkan adalah 85 dB untuk 8 jam kerja.
- Terpapar radiasi.
- Pencahayaan dan ventilasi yang kurang atau berlebihan.
- Kondisi suhu yang membahayakan.
- Sistem peringatan yang berlebihan.
- Sifat pekerja yang mengandung potensi bahaya.
- Peralatan yang sudah tidak layak pakai.
- Ada api di tempat bahaya.
- Pengaman gedung yang kurang standar.

Dalam studi ini Suma'mur (1989), menyatakan bahwa bahaya-bahaya yang mungkin dapat menimpa para pekerja adalah sebagai berikut:

### **1. Bahaya Fisik**

- Kebisingan diatas 95 dB
- Suhu tinggi/rendah
- Penerangan
- Ventilasi
- Tata ruang yang tidak teratur

### **2. Bahaya Mekanik**

- Benda-benda bergerak atau berputar
- Sistem pengamanan tidak bekerja atau tidak terpasang

### **3. Bahaya Kimia**

Bahan-bahan kimia yang dapat membahayakan keselamatan dan kesehatan pekerja adalah bahan-bahan bersifat racun dan dapat merusak kulit bila tersentuh.

### **4. Bahaya Kebocoran**

Kebocoran aliran *steam* pada proses pembuatan kertas ini merupakan bahaya laten yang harus diwaspadai. Maka dari itu pada perpipaan yang akan dilalui *steam* hendaknya dilakukan penanganan dan pengawasan khusus

---



karena kebocoran pada sistem perpipaan ini akan menimbulkan bahaya yang berakibat fatal, mengingat *steam* yang digunakan dalam pabrik ini adalah *steam* pada semua sambungan pipa, tangki-tangki penampung reaktor dan *heat exchanger*. Maka sebaiknya untuk pipa diletakkan diatas permukaan tanah dan bila terpaksa dipasang di bawah tanah, serta dilengkapi dengan *fire stop* dan *drainage* (pengeluaran) pada jarak tertentu untuk mencegah terjadinya kontaminasi.

## 5. Bahaya Kebakaran dan Ledakan

Dapat terjadi pada hampir semua alat yang dapat disebabkan karena adanya loncatan bunga api, aliran listrik, serta tekanan yang terlalu tinggi.

### VII.1.3 Alat Pelindung Diri

Di tempat kerja, pengendalian bahaya secara teknis seringkali tidak bisa dilakukan secara sempurna. Pada keadaan ini pekerja harus bekerja bersama-sama dengan kehadiran bahaya itu sendiri. Dalam situasi seperti ini maka Alat Pelindung Diri (APD) atau *Personal Protective Equipment* (PPE) memegang peranan yang sangat penting. APD mutlak diperlukan apabila:

1. Lingkungan tempat bekerja menunjukkan atau akan menunjukkan keberadaan potensi bahaya (*hazard*) yang dapat mengakibatkan cidera pada badan atau anggota tubuh yang lain.
  2. Proses kerja yang dilakukan menunjukkan atau akan menunjukkan keberadaan potensi bahaya (*hazard*) yang dapat mengakibatkan cidera pada badan atau anggota tubuh yang lain.
  3. Selama bekerja, pekerja mempunyai kemungkinan terkena bahan kimia bahaya (*hazardous chemicals*), fisika, radiasi maupun iritasi mekanik.
  4. Potensi bahaya yang timbul tidak dapat dieliminasi dengan pengendalian teknik dan pengendalian administrasi.
-



### VII.1.4 Fungsi dan Alat Pelindung Diri

Menurut Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia Nomor Per.08/Men/VII/2010, fungsi dan jenis dari alat pelindung diri yaitu:

#### 1. Alat Pelindung Kepala

- **Fungsi**

Alat pelindung kepala adalah alat pelindung yang berfungsi untuk melindungi kepala dari benturan, terantuk, kejatuhan atau terpukul benda tajam atau benda keras yang melayang atau meluncur di udara, terpapar oleh radiasi panas, api, percikan bahan-bahan kimia, jasad renik (mikroorganisme) dan suhu yang ekstrim.

- **Jenis**

Jenis alat pelindung kepala terdiri dari helm pengaman (*safety helmet*), topi atau tudung kepala, penutup atau pengaman rambut, dan lain-lain.

#### 2. Alat Pelindung Mata Dan Muka

- **Fungsi**

Alat pelindung mata dan muka adalah alat pelindung yang berfungsi untuk melindungi mata dan muka dari paparan bahan kimia berbahaya, paparan partikel-partikel yang melayang di udara dan di badan air, percikan benda-benda kecil, panas, atau uap panas, radiasi gelombang elektromagnetik yang mengion maupun yang tidak mengion, pancaran cahaya, benturan atau pukulan benda keras atau benda tajam.

- **Jenis**

Jenis alat pelindung mata dan muka terdiri dari kacamata pengaman (*spectacles*), *goggles*, tameng muka (*face shield*), masker selam, tameng muka dan kacamata pengaman dalam kesatuan (*full face masker*).



### 3. Alat Pelindung Telinga

- Fungsi

Alat pelindung telinga adalah alat pelindung yang berfungsi untuk melindungi alat pendengaran terhadap kebisingan atau tekanan.

- Jenis

Jenis alat pelindung telinga terdiri dari sumbat telinga (*ear plug*) dan penutup telinga (*ear muff*).

*Ear muff* : Melindungi telinga dari suara bising di atas 95 dB. Digunakan disekitar boiler, reaktor digester, dan reaktor *bleaching*.

*Ear plug* : Melindungi telinga dari suara bising kurang dari 95 dB. Digunakan di area pompa dan *dryer*.

### 4. Alat Pelindung Pernafasan Beserta Perlengkapannya

- Fungsi

Alat pelindung pernapasan beserta perlengkapannya adalah alat pelindung yang berfungsi untuk melindungi organ pernapasan dengan cara menyalurkan udara bersih dan sehat dan/atau menyaring cemaran bahan kimia, mikroorganisme, partikel yang berupa debu, kabut (aerosol), uap, asap, gas/ fume, dan sebagainya.

- Jenis

Jenis alat pelindung pernapasan dan perlengkapannya terdiri dari masker, respirator, kattrit, kanister, *Re-breather*, *Airline respirator*, *Continues Air Supply Machine=Air Hose Mask Respirator*, tangki selam dan *Self-Contained Underwater Breathing Apparatus (SCUBA)*, *Self-Contained Breathing Apparatus (SCBA)*, dan *emergency breathing apparatus*.

### 5. Alat Pelindung Tangan

- Fungsi

Pelindung tangan (sarung tangan) adalah alat



pelindung yang berfungsi untuk melindungi tangan dan jari-jari tangan dari pajanan api, suhu panas, suhu dingin, radiasi elektromagnetik, radiasi mengion, arus listrik, bahan kimia, benturan, pukulan dan tergores, terinfeksi zat patogen (virus, bakteri) dan jasad renik.

- Jenis

Jenis pelindung tangan terdiri dari sarung tangan yang terbuat dari logam, kulit, kain kanvas, kain atau kain berpelapis, karet, dan sarung tangan yang tahan bahan kimia.

## 6. Alat Pelindung Kaki

- Fungsi

Alat pelindung kaki berfungsi untuk melindungi kaki dari tertimpa atau berbenturan dengan benda-benda berat, tertusuk benda tajam, terkena cairan panas atau dingin, uap panas, terpajan suhu yang ekstrim, terkena bahan kimia berbahaya dan jasad renik, tergelincir.

- Jenis

Jenis pelindung kaki berupa sepatu keselamatan pada pekerjaan peleburan, pengecoran logam, industri, kontruksi bangunan, pekerjaan yang berpotensi bahaya peledakan, bahaya listrik, tempat kerja yang basah atau licin, bahan kimia dan jasad renik, dan/atau bahaya binatang dan lain-lain.

## 7. Pakaian Pelindung

- Fungsi

Pakaian pelindung berfungsi untuk melindungi badan sebagian atau seluruh bagian badan dari bahaya temperatur panas atau dingin yang ekstrim, pajanan api dan benda-benda panas, percikan bahan-bahan kimia, cairan dan logam panas, uap panas, benturan (*impact*) dengan mesin, peralatan dan bahan, tergores, radiasi, binatang, mikroorganisme patogen dari manusia, binatang, tumbuhan dan lingkungan seperti virus, bakteri dan jamur.



- Jenis

Jenis pakaian pelindung terdiri dari rompi (*vests*), celemek (*apron/coveralls*), *jacket*, dan pakaian pelindung yang menutupi sebagian atau seluruh bagian badan

## 8. Alat Pelindung Jatuh Perorangan

- Fungsi

Alat pelindung jatuh perorangan berfungsi membatasi gerak pekerja agar tidak masuk ke tempat yang mempunyai potensi jatuh atau menjaga pekerja berada pada posisi kerja yang diinginkan dalam keadaan miring maupun tergantung dan menahan serta membatasi pekerja jatuh sehingga tidak membentur lantai dasar.

- Jenis

Jenis alat pelindung jatuh perorangan terdiri dari sabuk pengaman tubuh (*harness*), karabiner, tali koneksi (*lanyard*), tali pengaman (*safety rope*), alat penjepit tali (*rope clamp*), alat penurun (*descender*), alat penahan jatuh bergerak (*mobile fall arrester*), dan lain-lain.

## 9. Pelampung

- Fungsi

Pelampung berfungsi melindungi pengguna yang bekerja di atas air atau diperlukan air agar terhindar dari bahaya tenggelam dan atau mengatur keterapungan (*buoyancy*) pengguna agar dapat berada pada posisi tenggelam (*negative buoyant*) atau melayang (*neutral buoyant*) di dalam air.

- Jenis

Jenis pelampung terdiri dari jaket keselamatan (*life jacket*), rompi keselamatan (*life vest*), rompi pengatur keterapungan (*bouyancy control device*).



## VII.2 Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3) Secara Khusus

### VII.2.1 Usaha-Usaha Keselamatan Kerja Di Pabrik Pulp

Menurut *P.K.Sumar (1989)*, untuk menghindari bahaya-bahaya tersebut maka dilakukan usaha-usaha pencegahan dan pengamanan yang sesuai dengan kebutuhan masing-masing unit di pabrik pulp yaitu :

#### 1. Bangunan Fisik.

Yang meliputi bangunan pabrik. Hal-hal yang perlu diperhatikan :

- Konstruksi bahan bangunan yang digunakan.
- Bangunan yang satu dengan yang lainnya dipisahkan dengan jalan yang cukup lebar dan tidak ada jalan buntu.
- Terdapat dua jalan keluar dari bangunan.
- Adanya peralatan penunjang untuk pengamanan dari bahaya alamiah seperti petir dan angin.

#### 2. Peralatan yang Menggunakan Sistem Perpindahan Panas

Peralatan yang memakai sistem perpindahan panas harus diberi isolator, misalnya : boiler, kondensor, *heater* dan sebagainya. Disamping itu di dalam perancangan faktor keselamatan (*safety factor*) harus diutamakan, antara lain dalam hal pengelasan (pemilihan sambungan las), faktor korosi, tekanan (*stress*). Hal ini memegang peranan penting dalam mencegah terjadinya kecelakaan kerja, efisiensi dan produktivitas operasional, terutama untuk mencegah kehilangan panas pada alat-alat tersebut. Selain itu harus diupayakan agar suhu ruangan tidak terlalu tinggi dengan jalan memberi ruang (*space*) yang cukup untuk peralatan, mencegah kebocoran *steam* yang terlalu besar, serta pemasangan alat-alat kontrol yang sesuai.



### **3. Perpipaan**

Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

- Perpipaan diletakkan diatas permukaan tanah agar mudah penanganannya apabila terjadi kebocoran.
- Dipasang *safety valve* untuk mengatasi apabila terjadi kebocoran.
- Dilakukan tes hidrostatis sebelum pipa-pipa dipasang agar tidak terjadi *stress* yang berlebihan pada bagian-bagian tertentu.

### **4. Isolasi**

Dimaksudkan untuk mencegah terjadinya kebakaran pada instalasi listrik dan sebagai *safety* pada alat-alat yang menimbulkan panas selama proses berlangsung, juga pada kabel-kabel instrumentasi dan kawat-kawat listrik di area yang memungkinkan terjadinya kebakaran dan ledakan.

### **5. Ventilasi**

Fungsi dari ventilasi adalah untuk sirkulasi udara baik didalam ruangan maupun pada bangunan lainnya sehingga keadaan dalam ruangan tidak terlalu panas. Ruang kerja harus cukup luas, tidak membatasi atau membahayakan gerak pekerja, serta dilengkapi dengan sistem ventilasi yang baik sesuai dengan kondisi tempat kerjanya. Hal ini dapat menciptakan kenyamanan kerja serta dapat memperkecil bahaya keracunan akibat adanya gas-gas yang keluar akibat kebocoran, sehingga pekerja dapat bekerja leluasa, aman, nyaman, karena selalu mendapatkan udara yang bersih.

### **6. Sistem Alarm Pabrik**

Sistem alarm pabrik digunakan untuk mendeteksi asap jika terjadi kebakaran atau tanda bahaya sehingga bila terjadi bahaya sewaktu-waktu pada karyawan dapat segera diketahui.

### **7. Alat-alat Bergerak**

Alat-alat berputar atau bergerak seperti motor pada pompa ataupun kipas dalam *blower*, motor pada pengaduk

---



harus selalu berada dalam keadaan tertutup, minimal diberi penutup pada bagian yang bergerak, serta harus diberi jarak yang cukup dengan peralatan yang lainnya, sehingga bila terjadi kerusakan bisa diperbaiki dengan mudah.

## **8. Sistem Kelistrikan**

Penerangan di dalam ruangan harus cukup baik dan tidak menyilaukan agar para pekerja dapat bekerja dengan baik dan nyaman. Setiap peralatan yang dioperasikan secara elektris harus dilengkapi dengan pemutusan arus (sekering) otomatis serta dihubungkan dengan tanah (*ground*) dalam bentuk arde.

## **9. Karyawan**

Pada karyawan diberi bimbingan dan pengarahan agar karyawan melaksanakan tugasnya dengan baik dan tidak membahayakan keselamatan jiwanya maupun orang lain, serta berlangsungnya proses produksi. Bimbingan berupa kursus-kursus *safety* dan juga pendisiplinan dalam pemakaian alat pelindung diri, serta memberikan suatu penghargaan tehadap karyawan teladan.

## **10. Instalasi Pemadam Kebakaran**

Instalasi semacam ini mutlak untuk setiap pabrik karena bahaya kebakaran mungkin terjadi dimanapun, terutama di tempat-tempat yang mempunyai instalasi pelistrikian. Kebakaran dapat disebabkan karena adanya api kecil, kemudian secara tidak terkontrol dapat menjadi kebakaran besar. Untuk meminimalkan kerugian material akibat bahaya kebakaran ini setiap pabrik harus memiliki dua macam instalasi pemadam kebakaran, yaitu :

- Instalasi tetap : *hydran, sprinkler, dry chemical power*
- Instalasi tidak tetap : *fire extinguisher*

Untuk instalasi pemadam tetap perangkatnya tidak dapat dibawa-bawa, diletakkan ditempat – tempat tertentu yang rawan bahaya kebakaran, misalnya: dekat reaktor, boiler, diruang operasi (Operasi Unit), atau *power station*. Sedangkan instalasi pemadam kebakaran tidak tetap



perangkatnya dapat dibawa dengan mudah ke tempat dimana saja. Upaya pencegahan dan penanggulangan kebakaran di pabrik ini adalah :

- Peralatan seperti boiler atau peralatan lain yang mudah terbakar (meledak) diletakkan dibagian bawah serta dijauhkan dari peralatan lain
- Antara unit satu dengan unit yang lainnya diberi jarak yang cukup, tidak terlalu berdekatan untuk menghambat laju api dan memberi ruang yang cukup bagi usaha pemadaman bila sewaktu-waktu terjadi kebakaran.
- Bangunan–bangunan seperti : *workshop* (bengkel perbaikan), *laboratorium quality control*, serta kantor administrasi diletakkan terpisah dari *operating unit* dan *power station*
- Memberlakukan larangan merokok di lokasi pabrik.
- Menempatkan instalasi pemadam kebakaran tetap berupa *hydrant*, *dry chemical* dan *foam extinguisher* di tempat – tempat yang rawan bahaya kebakaran serta memiliki satu unit kendaraan pemadam kebakaran beserta anggota yang terlatih dan terampil
- Menyediakan tabung–tabung pemadam api disetiap ruangan

### **VII.3 Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada Alat**

Penerapan kesehatan dan keselamatan kerja (K3) pada alat dibagi menjadi 2 yaitu pada alat-alat utama dan alat-alat pembantu. Berikut adalah penjelasan dari masing masing bagian serta alat pelindung diri yang perlu digunakan.

#### **VII.3.1 Alat-Alat Utama**

Alat utama pada pabrik pulp yaitu digester dan tangki *bleaching*, *rotary vacum filter*, dan *dryer*. Penjelasannya adalah sebagai berikut:



## 1. Digester dan Tangki *Bleaching*

- Setiap satu tahun sekali dilakukan *shut down* untuk membersihkan kerak pada alat maupun pipa-pipa.
- Setiap orang tidak boleh terlalu dekat dengan digester diberikan radius minimal bagi operator serta diberi pagar pembatas dan isolator pada alat.
- Alat pelindung diri yang digunakan: *safety helmet*, kacamata pengaman dalam kesatuan (*full face masker*), masker asam, *safety shoes*, sarung tangan.

## 2. Washer

- Selain itu setiap satu tahun sekali dilakukan *shut down* untuk membersihkan kerak pada alat maupun pipa-pipa.
- Untuk para operator diwajibkan menggunakan alat pelindung tangan dan alat pelindung kaki.
- Alat pelindung diri yang digunakan: *safety helmet*, masker, *safety shoes*, sarung tangan, *welding glasses*, *earmuff*.

## 3. Dryer

- Proses utama pada *dryer* adalah pengurangan kadar air dari lembaran pulp, selain itu juga banyak *steam* yang disuplai. Sedangkan kandungan air maupun kondensat yang dihasilkan dapat menyebabkan korosi dan kerak pada alat, maka pencegahannya antara lain dengan melakukan pembersihan alat dari kerak dan korosi yang dilakukan setiap tahun sekali disaat pabrik *shut down*.
- Selain itu pengendalian korosi dapat dilakukan dengan mengolah air kondensat yang akan dimanfaatkan lagi dengan mengontrol kualitas air dari segi kesadahan, pH, alkalinitas, maupun besarnya *T hardness*, sehingga tidak mengganggu kerja dari *dryer* sendiri.
- Untuk operator diwajibkan menggunakan alat pelindung kepala, alat pelindung tangan, alat pelindung kaki, dan alat pelindung badan, karena suhu disekitar *dryer* tinggi.



- Alat pelindung diri yang digunakan: *safety helmet*, masker, *safety shoes*, sarung tangan *heat resistant*, jaket tahan panas, *welding glasses*, *earmuff*.

### VII.3.2 Alat-Alat Pembantu

Alat-alat pembantu pada pabrik pulp yaitu tangki penampung, pompa, perpipaan, *heat exchanger*, boiler. Penjelasannya adalah sebagai berikut:

#### 1. Tangki Penampung

- Karena bahan yang ditampung berupa *slurry* yaitu bubur pulp, maka harus dilengkapi dengan sistem pengamanan berupa pemberian label dan spesifikasi bahan.
- Setiap satu tahun sekali dilakukan *shut down* untuk membersihkan kerak serta pengecekan secara berkala oleh petugas K-3.
- Untuk para operator diwajibkan menggunakan alat pelindung tangan, dan alat pelindung kaki.
- Alat pelindung diri yang digunakan: *safety helmet*, masker, *safety shoes*, sarung tangan.

#### 2. Pompa

- Pompa harus dilengkapi dengan penutup pompa dan karakteristik pompa disesuaikan dengan bahan yang akan dialirkan.
- Dilakukan *shut down* untuk pengecekan secara berkala oleh petugas K-3.
- Alat pelindung diri yang digunakan: *safety helmet*, masker, *safety shoes*, sarung tangan.

#### 3. Perpipaan

- Dilakukan pengecatan secara bertahap pada tiap aliran fluida, misalnya fluida panas digunakan pipa bercat merah sedangkan aliran fluida dingin digunakan pipa bercat biru.



- Dilakukan *shut down* untuk pengecekan secara berkala oleh petugas K-3.
- Penempatan perpipaan harus aman atau tidak mengganggu jalannya proses serta kegiatan dari para pekerja dan karyawan.
- Alat pelindung diri yang digunakan: *safety helmet*, masker, *safety shoes*, sarung tangan.

#### **4. Heat Exchanger**

- Pada area *heat exchanger* harus dilengkapi dengan isolator untuk menghindari radiasi panas tinggi.
- Untuk para operator diwajibkan menggunakan alat pelindung badan, karena suhu disekitar *heat exchanger* sangat tinggi.
- Dilakukan *shut down* untuk pengecekan secara berkala oleh petugas K-3.
- Alat pelindung diri yang digunakan: *safety helmet*, masker, *safety shoes*, sarung tangan *heat resistant*, jaket tahan panas.

#### **5. Boiler**

- Pada boiler mempunyai level suara sampai batas 85 dB maksimal.
- Untuk para operator diwajibkan menggunakan alat pelindung kepala, alat pelindung tangan, alat pelindung kaki, dan alat pelindung badan.
- Dilakukan *shut down* untuk pengecekan secara berkala oleh petugas K-3.
- Alat pelindung diri yang digunakan: *safety helmet*, masker, *safety shoes*, sarung tangan *heat resistant*, jaket tahan panas.

#### **VII.3.3 Area Pabrik**

- Dilarang merokok di area pabrik terutama pada unit proses dan menyediakan ruangan khusus untuk merokok



- Menyediakan jalan diantara *plant* satu dengan yang lainnya untuk kelancaran transportasi bahan baku, produk, dan para pekerja serta memudahkan pengendalian pada saat keadaan darurat (misalnya kebakaran).
- Menyediakan *hydrant* disetiap *plant* untuk menanggulangi dan pencegahan awal jika terjadi kebakaran/peledakan.
- Memasang alarm disetiap *plant* sebagai tanda peringatan adanya keadaan darurat.
- Menyediakan pintu dan tangga darurat yang dapat digunakan sewaktu-waktu pada saat terjadi keadaan darurat.



*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## **BAB VIII**

### **ALAT UKUR DAN INSTRUMENTASI**

#### **VIII.1 Instrumentasi Secara Umum Di Industri**

Instrumentasi merupakan sistem dan susunan yang dipakai di dalam suatu proses kontrol untuk mengatur jalannya proses agar diperoleh hasil sesuai dengan yang diharapkan. Di dalam suatu pabrik kimia, pemakaian instrumen merupakan suatu hal yang penting karena dengan adanya rangkaian instrumen tersebut maka operasi semua peralatan yang ada di dalam pabrik dapat dimonitor dan dikontrol dengan cermat, mudah dan efisien. Dengan demikian, kondisi operasi selalu berada dalam kondisi yang diharapkan (*Ulrich, 1984*).

Tujuan dari pemasangan alat instrumentasi bagi perencanaan suatu pabrik adalah sebagai berikut:

1. Untuk menjaga suatu proses instrumentasi agar tetap aman, yaitu dengan cara :
  - a. Mendeteksi adanya kondisi yang berbahaya sedini mungkin, dan membuat tanda-tanda bahaya secara interlock otomatis jika kondisi kritis muncul.
  - b. Menjaga variabel-variabel proses berada pada batas kondisi yang aman.
2. Menjaga jalannya suatu proses produksi agar sesuai dengan yang dikehendaki.
3. Menekan biaya produksi serendah mungkin dengan tetap memperhatikan faktor-faktor yang lainnya utau effisiensi kerja.
4. Menjaga kualitas agar tetap berada dalam stamdart yang telah ditetapkan.
5. Memperoleh hasil kerja yang efisien.
6. Membantu dalam keselamatan kerja bagi pekerja dan karyawan pabrik.

Setiap sistem kendali/kontrol harus stabil. Suatu sistem dikatakan stabil jika keluarannya tetap pada nilai tertentu dalam jangka waktu yang ditetapkan setelah diberi masukan.



Disamping kestabilan mutlak, suatu sistem kendali harus mempunyai kestabilan relatif yang layak. Jadi, kecepatan respon harus cukup cepat dan menunjukkan peredaman yang layak. Suatu sistem kontrol juga mampu memperkecil kesalahan sampai nol atau sampai pada suatu nilai yang dapat ditoleransi. Oleh karena itu dalam mendesain sistem kontrol/kendali, kita perlu melakukan kompromi yang paling efektif diantara dua persyaratan ini.

Secara garis besar, alat-alat kontrol dapat diklasifikasikan atas:

a. Penunjuk (*indicator*)

*Indicator* adalah suatu alat yang (biasanya terletak pada tempat dimana pengukuran untuk proses tersebut dilakukan) memberikan harga dari besaran (variabel) yang diukur. Besaran ini merupakan besaran sesaat.

b. Pengirim (*Transmitter*)

*Transmitter* adalah alat yang mengukur harga suatu besaran seperti suhu, tinggi permukaan dan mengirim sinyal yang diperolehnya keperalatan lain misal *recorder*, *indicator* atau alarm.

c. Pencatat (*Recorder*)

*Recorder* (terletak jauh dari tempat dimana besaran proses diukur), untuk mencatat harga dari pengukuran secara kontinyu atau periodik. Biasanya hasil pencatatan *recorder* ini terlukis dalam bentuk kurva diatas kertas.

d. Pengatur (*Controller*)

*Controller* adalah suatu alat yang membandingkan harga besaran yang diukur dengan harga sebenarnya yang diinginkan bagi besaran itu dan memberikan sinyal untuk pengoreksian kesalahan, jika terjadi perbedaan antara harga besaran yang diukur dengan sebenarnya.

e. Katup pengatur (*Control valves*)

Sinyal koreksi yang dihasilkan oleh *controller* berfungsi untuk mengoperasikan *control valve* untuk memperbaiki atau meniadakan kesalahan tersebut.



Biasanya *controller* di tempatkan jauh dari tempat pengukuran. *Controller* juga digunakan untuk dapat mencatat atau mengukur.

Faktor-faktor yang diperlukan dalam pemilihan instrumentasi adalah:

- *Sensitivity*
- *Readability*.
- *Accuracy*
- *Precision*
- Bahan konstruksi serta pengaruh pemasangan peralatan instrumentasi pada kondisi proses.
- Faktor – faktor ekonomi

Alat-alat kontrol yang banyak digunakan dalam bidang industri adalah :

### 1. Pengatur suhu :

- a. *Temperatur Indicator (TI)*

Berfungsi untuk mengetahui temperatur operasi pada alat dengan pembacaan langsung pada alat ukur tersebut. Jenis temperatur indikator antara lain termometer dan termokopel

- b. *Temperatur Controller (TC)*

Berfungsi mengendalikan atau mengatur temperatur operasi sesuai dengan kondisi yang diminta.

- c. *Temperture Indicator Controller (TIC)*

Berfungsi mencatat dan mengendalikan temperatur operasi

### 2. Pengaturan Tekanan (*Pressure*) :

- a. *Pressure Indicator (PI)*

Berfungsi untuk mengetahui tekanan operasi pada alat dengan pembacaan langsung pada alat ukur tersebut. Jenis *pressure indicator* antara lain : *pressure gauge*

- b. *Pressure Controlller (PC)*

Berfungsi mengendalikan atau mengatur tekanan operasi sesuai dengan kondisi yang diminta.

---



c. *Pressure Indicator Controller (PIC)*

Berfungsi mencatat dan mengatur tekanan dalam alat secara terus-menerus sesuai dengan yang diminta.

**3. Pengatur aliran (*flow*) :**

a. *Flow Indicator Controller (FIC)*

Berfungsi menunjukkan dan mengalirkan laju aliran dalam suatu peralatan secara kontinyu

b. *Flow Indicator (FI)*

Berfungsi menunjukkan laju suatu aliran dalam suatu peralatan

c. *Flow Controller (FC)*

Berfungsi mengendalikan laju aliran dalam peralatan

d. *Flow Recorder (FR)*

Berfungsi mencatat debit aliran dalam alat secara terus menerus

e. *Flow Recorder Control (FRC)*

Berfungsi untuk mencatat dan mengatur debit aliran cairan secara terus-menerus

**4. Pengaturan tinggi permukaan (*level*) :**

a. *Level indicator (LI)*

Berfungsi menunjukkan tinggi permukaan fluida pada suatu vessel.

b. *Level Indicator Control (LIC)*

Berfungsi sebagai alat penunjuk untuk mengetahui ketinggian fluida dan untuk mengendalikan atau mengatur level fluida agar sesuai dengan kondisi yang diinginkan.

c. *Level Recorder Controller (LRC )*

Berfungsi untuk mencatat dan mengatur, serta mengendalikan tinggi cairan dalam suatu alat.



## VIII.2 Instrumentasi pada Pabrik Pulp

Instrumentasi-instrumentasi yang digunakan pada pabrik pulp dengan proses *Acetocell* adalah sebagai berikut:

**Tabel VIII.1** Instrumentasi pada Pabrik Pulp

No.	Nama alat	Kode alat	Instrumentasi
1.	Pandia Digester	R-220	<i>Temperature Indicator [TI]</i> <i>Pressure Indicator [PI]</i> <i>Flowrate Controller [FC]</i>
2.	Reaktor H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	R-310	<i>Temperature Indicator [TI]</i> <i>Pressure Indicator [PI]</i> <i>Flowrate Controller [FC]</i>
3.	Reaktor Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	R-330	<i>Temperature Indicator [TI]</i> <i>Pressure Indicator [PI]</i> <i>Flowrate Controller [FC]</i>
4.	RVF I	H-240	<i>Flowrate Controller [FC]</i>
5.	RVF II	H-320	<i>Flowrate Controller [FC]</i>
6.	RVF III	H-340	<i>Flowrate Controller [FC]</i>
7.	<i>Heat Exchanger I</i>	E-242	<i>Temperature Controller [TC]</i>
8.	<i>Heat Exchanger II</i>	E-322	<i>Temperature Controller [TC]</i>
9.	<i>Heat Exchanger III</i>	E-342	<i>Temperature Controller [TC]</i>
10.	Tangki Harian CH <sub>3</sub> COOH	F-210	<i>Level Controller [LC]</i>
11.	Tangki Pengenceran CH <sub>3</sub> COOH	M-212	<i>Flowrate Controller [FC]</i>
12.	Tangki	M-311	<i>Flowrate Controller [FC]</i>

---



	Pengenceran H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		
13.	Tangki Pengenceran Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	M-331	<i>Level Controller [LC]</i> <i>Flowrate Controller [FC]</i>
14.	Tangki penampung sementara pulp	F-222	<i>Temperature Indicator [TI]</i> <i>Flowrate Controller [FC]</i>
15.	Headbox	X-411	<i>Level indicator [LI]</i>
17.	<i>Rotary Vacum Dryer</i>	B-410	<i>Pressure controller [PC]</i>

## **BAB IX**

### **PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI KIMIA**

#### **IX.1 Pengolahan Limbah Industri Secara Umum**

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup, limbah adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan. Limbah cair adalah limbah berupa cairan yang berasal dari hasil buangan bahan-bahan yang telah terpakai dari suatu proses produksi industri, domestik (rumah tangga), pertanian serta laboratorium yang tercampur (tersuspensi) dan terlarut di dalam air. Sedangkan pengelolaan limbah merupakan rangkaian kegiatan yang mencakup penyimpanan, pengumpulan, pengangkutan, pemanfaatan, pengolahan limbah termasuk penimbunan hasil pengolahan tersebut. Kewajiban untuk melakukan pengelolaan dimaksud merupakan upaya untuk mengurangi terjadinya kemungkinan risiko terhadap lingkungan hidup berupa terjadinya pencemaran atau perusakan lingkungan hidup, mengingat bahan berbahaya dan beracun mempunyai potensi yang cukup besar untuk menimbulkan efek negatif. Pada umumnya limbah ini harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke media lingkungan hidup sehingga tidak menimbulkan pencemaran dan/atau perusakan lingkungan hidup.

Apabila air limbah yang mengandung bahan kimia organik tidak diolah dan dibiarkan terakumulasi, maka kandungan bahan kimia organiknya akan terdekomposisi dan menghasilkan bau yang kurang sedap dan dapat mengandung berbagai jenis mikroorganisme patogenik atau penyebab penyakit.

Metode-metode pengolahan air limbah dikelompokkan menjadi pengolahan-pengolahan primer, sekunder dan tersier (lanjut). Pengolahan primer, misalnya secara fisika seperti penyaringan (*screening*) dan pengendapan (*sedimentation*) digunakan untuk memisahkan zat padat terapung/terendapkan



yang terdapat dalam air limbah. Pada pengolahan sekunder, proses-proses dengan dasar reaksi biologi dan kimia digunakan untuk menghilangkan zat-zat organik, zat-zat kimia berbahaya lainnya. Sedangkan pada pengolahan lanjut, kombinasi antara reaksi biologi/kimia dengan operasi secara fisika digunakan untuk menghilangkan zat-zat kimia seperti nitrogen dan fospor yang tidak dapat hilang dengan sempurna pada pengolahan sekunder.

## IX.2 Pengolahan Limbah Cair

Pengolahan limbah bertujuan untuk menetralkan air dari bahan-bahan tersuspensi dan terapung, menguraikan bahan *organic biodegradable*, meminimalkan bakteri patogen, serta memperhatikan estetika dan lingkungan. Pengolahan air limbah dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu :

### 1. Secara Alami

Pengolahan air limbah secara alamiah dapat dilakukan dengan pembuatan kolam stabilisasi. Dalam kolam stabilisasi, air limbah diolah secara alamiah untuk menetralisasi zat-zat pencemar sebelum air limbah dialirkan ke sungai. Kolam stabilisasi yang umum digunakan adalah kolam anaerobik, kolam fakultatif (pengolahan air limbah yang tercemar bahan organik pekat), dan kolam maturasi (pemusnahan mikroorganisme patogen). Karena biaya yang dibutuhkan murah, cara ini direkomendasikan untuk daerah tropis dan sedang berkembang.

### 2. Secara Buatan

Pengolahan air limbah dilakukan pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dengan melalui tiga tahapan, yaitu *primary treatment* (pengolahan pertama), *secondary treatment* (pengolahan kedua), dan *tertiary treatment* (pengolahan lanjutan).

- *Primary treatment* merupakan pengolahan pertama yang bertujuan untuk memisahkan zat padat dan zat cair



dengan menggunakan filter (saringan) dan bak sedimentasi. Beberapa alat yang digunakan adalah saringan pasir lambat, saringan pasir cepat, saringan multimedia, *percoal filter*, dan *vacum filter*.

- *Secondary treatment* bertujuan untuk mengkoagulasikan, menghilangkan koloid, dan menstabilisasikan zat organik dalam limbah. Penguraian bahan organik ini dilakukan oleh makhluk hidup secara aerobik (menggunakan oksigen) dan anaerobik (tanpa oksigen)
- *Tertiary treatment* merupakan lanjutan dari pengolahan kedua, yaitu penghilangan nutrisi atau unsur hara, khususnya nitrat dan fosfat, serta penambahan klor untuk memusnahkan mikroorganisme patogen.

Dalam pengolahan air limbah yang dilakukan secara alami atau secara buatan, perlu dilakukan berbagai cara pengendalian antara lain menggunakan teknologi pengolahan limbah cair, teknologi peroses produksi, daur ulang, *reuse*, *recovery* dan juga penghematan bahan baku dan energi. Pengendalian dalam proses produksi bertujuan untuk meminimalkan volume limbah yang ditimbulkan, juga konsentrasi dan toksitas kontaminannya. Sedangkan pengendalian setelah proses produksi dimaksudkan untuk menurunkan kadar bahan pencemar sehingga pada akhirnya air tersebut memenuhi baku mutu yang sudah ditetapkan. Menurut Keputusan menteri lingkungan hidup No. KEP-51/MENLH/10/1995, parameter batasan untuk air limbah industri adalah sebagai berikut:

**Tabel IX.1** Batasan Air Limbah Industri

Parameter	Konsentrasi (mg/L)
COD	100-300
BOD	50-150
Minyak Nabati	5-10
Minyak Mineral	10-50
Zat Padat Tersuspensi (TSS)	200-400
pH	6,0-9,0
Temperatur	38-40(°C)
Ammonia Bebas ( $\text{NH}_3$ )	1,0-5,0
Nitrat ( $\text{NO}_3\text{-N}$ )	20-30
Senyawa Aktif Biru Metilen	5,0-10
Sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ )	0,05-0,1
Fenol	0,5-1,0
Sianida (CN)	0,05-0,5

### IX.3 Unit Pengolahan Limbah

Semua kegiatan industri mempunyai potensi untuk menimbulkan dampak terhadap lingkungannya. Seperti halnya pabrik pulp yang dalam proses produksinya menghasilkan limbah cair, padat maupun gas. Apabila limbah tersebut tidak diolah terlebih dahulu akan mengakibatkan pencemaran sehingga menurunkan kualitas sungai dan merugikan ekosistem yang ada disekitarnya.

Unit pengolahan limbah di pabrik pulp ini mempunyai tujuan untuk :

1. Mengurangi kadar polutan dalam air limbah sehingga tidak menimbulkan pencemaran.
2. Mengurangi pencemaran udara yang ditimbulkan oleh gas buang.
3. Melindungi ekosistem air dari dampak kekurangan oksigen akibat tertutupnya permukaan air oleh limbah.
4. Menghindari timbulnya penyakit atau gangguan kesehatan.
5. Mencegah timbulnya bau yang tidak enak.



Sistem pengolahan limbah di pabrik pulp ini meliputi perlakuan fisik, kimia dan biologi yang terdiri atas 3 tahap yaitu :

### **1. Tahap Pertama (*Primary Treatment*)**

Pada unit ini terjadi pemisahan pencemar dengan cara penyaringan dan pengendapan biasa. Limbah dari *plant-plant* dialirkan ke *effluent* melalui penyaringan (*screening*) kasar yang terdiri dari 2 tingkat. Selanjutnya limbah dimasukkan kedalam pembersih pasir (*sand removal*) dengan diberi gelembung-gelembung udara agar pasir dapat meluap keatas. Limbah yang tidak mengandung pasir tersebut dinetralisasi agar tidak terlalu asam atau basa. Selanjutnya limbah dipompa dengan *effluent pumping pit* untuk diendapkan dalam *primary setting tank* secara gravitasi. *Overflow* nya mengalami *secondary treatment*, sedangkan peralatannya dikeruk dan dialirkan ke proses *dewatering* untuk dijadikan limbah padat.

### **2. Tahap Kedua (*Secondary Treatment*)**

Pada tahap yang kedua dilakukan perlakuan biologi dimana tangki-tangki dialiri dengan lumpur yang mengandung mikroorganisme (bakteri) yang akan menguraikan zat-zat organik dalam limbah. Pada unit ini terdapat tangki aerasi dimana di atas tangki terdapat baling-baling yang berputar dan berfungsi untuk mengalirkan oksigen ke dalam tangki yang bermanfaat bagi mikroorganisme aerob. Serta diberi *nutrient* sebagai nutrisi mikroorganisme untuk berkembang. Setelah proses *secondary treatment*, limbah diendapkan dalam *secondary clarifier* untuk mengendapkan *suspended solid* yang ada. Air *overflow* yang keluar dari *secondary clarifier* langsung dibuang ke sungai karena sudah merupakan air bersih, sedangkan endapannya dialirkan ke tangki aerasi sebanyak



40% dan sisanya dijadikan satu dengan endapan dari *primary settling tank* untuk mengalami *dewatering*.

### 3. Dewatering

Pada tahap *dewatering* terjadi proses yaitu limbah dari bentuk endapan dijadikan bentuk padatan. Proses ini menggunakan alat *bed filter press* yang terdiri dari dua buah *wire* dimana endapan dilewatkan diantaranya. Alat dari endapan tersebut diserap secara vakum dan filtratnya dialirkan kembali ke *primary settling tank*. Limbah yang keluar dari *bed filter press* sudah dalam bentuk padatan dan dibuang ke penimbunan akhir. Limbah ini dapat digunakan untuk kesuburan tanah karena banyak mengandung N, P, K, dan C yang sangat baik untuk kesuburan tanah.

Bahan kimia yang ditambahkan untuk proses pengolahan limbah yaitu :

1. Alum  
Berfungsi untuk memisahkan partikel yang terlarut sehingga terbentuk flok kecil/halus yang mudah berikatan.
2. Polimer  
Berfungsi untuk mengikat flok halus dan membentuk flok yang lebih besar sehingga mudah untuk diendapkan. Hal ini dikarenakan berat jenisnya yang lebih besar dari berat jenis air.
3. NaOH dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  
Berfungsi sebagai penstabil pH. Larutan ini hanya ditambahkan apabila air limbah terlalu asam pada pH kurang dari 6 dan basa pada pH lebih dari 8.
4. Urea dan TSP  
Berfungsi sebagai nutrient bakteri.

### IX.4 Usaha Menangani dan Memanfaatkan Limbah

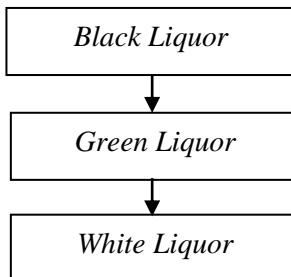
Dalam kasus ini, industri pulp dengan proses *acetocell* umumnya menghasilkan limbah berupa :

1. Limbah Cair



- *Black liquor*

Cairan *black liquor* masih banyak mengandung cairan pemasak asam asetat dan sedikit padatan yang terikut. Untuk memanfaatkan kembali cairan pemasak yang terkandung didalamnya maka didirikan *unit recovery* dengan menggunakan alat destilasi untuk mengolah cairan *black liquor* agar dapat dimanfaatkan kembali sebagai cairan pemasak di digester.



*Black liquor* yang dihasilkan biasanya memiliki kisaran konsentrasi 15-20%. Sebelum diolah pada *recovery boiler*, *black liquor* harus dipekatkan terlebih dahulu hingga mencapai konsentrasi 65-85%. Proses pemekatan ini dikenal sebagai proses evaporasi. Tempat terjadinya proses evaporasi ini disebut evaporator. Evaporasi *black liquor* biasanya menggunakan *multi effect evaporator*. Sesudah proses evaporasi, barulah *black liquor* pekat dimasukkan dalam *recovery boiler*. *Recovery boiler* pada proses pengolahan limbah *black liquor*, memiliki dua fungsi yaitu sebagai penghasil uap (*steam*) dan sebagai reaktor kimia. Uap (*steam*) yang dihasilkan pada *recovery boiler* akan digunakan untuk menggerakan turbin pada pembangkit listrik tenaga uap. Sebagai reaktor kimia, *recovery boiler* berfungsi untuk mengubah kembali *black liquor* menjadi larutan pemasak yang digunakan pada proses pulping sebelumnya.

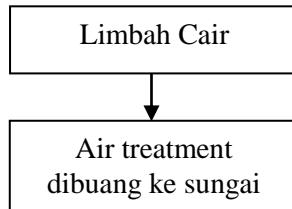


Proses pengolahan limbah *black liquor* dengan *recovery boiler* menempuh beberapa tahapan. Pertama, *black liquor* yang telah dievaporasi akan disemprotkan masuk ke recovery unit. Di dalam recovery unit, *black liquor* akan terpapar oleh gas panas sehingga mengalami beberapa kejadian. Kejadian itu antara lain, pengeringan (*drying*), pirolisis (*pyrolysis*), dan *char conversion*.

Jadi, mula-mula partikel *black liquor* mengalami pengeringan yang cepat hingga melepas uap air. Kemudian partikel *black liquor* masuk ke tahapan pirolisis dimana terjadi degradasi senyawa organik volatil hingga melepas gas-gas tertentu. Hasil dari proses pirolisis ini berupa partikel char yang mengandung 25% senyawa *organic non-volatile* dan 75% garam anorganik. Tahapan yang terakhir adalah *char conversion* yang bertujuan untuk mengubah seluruh senyawa organik yang tersisa menjadi gas karbondioksida ataupun karbon monoksida. Seluruh proses di atas terjadi dalam waktu yang cepat dalam *recovery boiler*. Sisa garam anorganik (*smelt*) yang mengendap di bagian bawah *recovery boiler* akan diubah kembali menjadi larutan pemasak yang digunakan pada proses *pulping*. Caranya adalah dengan mencampur *smelt* dalam air, kemudian dikaustisasikan hingga menjadi larutan pemasak kembali (*white liquor*).

- Hasil pencucian bubur pulp

Setelah proses pencucian pulp di tahap *bleaching* juga menghasilkan limbah cair yang selanjutnya akan di *treatment* di unit TPL dan dibuang ke aliran sungai terdekat.



## 2. Limbah Padat

Sumber-sumber limbah padat dari pabrik pulp ini berasal dari pemisahan *pith* dari serat-serat rami. *Waste* ini bisa dimanfaatkan untuk bahan bakar pada boiler.

### IX.5 Dampak yang Ditimbulkan Limbah

Dari sekian banyak permasalahan yang timbul, yang paling penting dan perlu diperhatikan adalah:

- Penyumbatan
  - Penyumbatan di pipa, *shower*, *nozzle wire*, dan *felt* biasanya terjadi akibat meningkatnya sistem daur ulang dari air bekas. Biasanya masalah ini dapat dihindari dengan menghilangkan kandungan air yang akan didaur ulang. Selanjutnya seluruh peralatan yang ada dipakai, direncanakan sesuai penggunaannya. Penggunaan *felt* sintetis memungkinkan untuk dapat dilakukan pembersihan secara efektif sehingga masalah mengenai penyumbatan dapat dikurangi. Penyumbatan umumnya dapat disebabkan oleh adanya serat-serat panjang dalam air yang ukurannya 0,3 min.
- Kerak/Deposit
  - Kerak/deposit terbentuk dari hasil kristalisasi/koagulan bahan-bahan non resin. Kerak merupakan hasil gabungan dari anion karbonat dan sulfat dengan kation Ca, Mg, Fe, dan Ba. Sebagian kerak umumnya hasil dari deposit  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{MgCO}_3$ . Salah satu cara untuk mengontrol kerak adalah lewat kontrol batas kesadahan air dalam sistem dengan cara membatasi kadar



kation. Air yang mengandung senyawa besi dengan mangan dapat menolong pertumbuhan bakteri besi dan mangan sebagai kontribusi terbentuknya deposit.

- Lendir dan bau

Kombinasi antara *mikrobicide* dan *dispersing agent* sebagian besar lebih efektif dan ekonomis untuk mengontrol lendir dan bau.

- Korosi

Korosi adalah kerusakan logam karena peristiwa elektrokimia atau aktivitas bakteri. Laju korosi dipengaruhi oleh interaksi kompleks dari banyaknya padatan terlarut seperti klorida dan sulfat, kesadahan, alkalinitas, keasaman, suhu, dan batas konsentrasi. Banyak faktor yang mempengaruhi korosi membuat permasalahan menjadi sulit dan kompleks untuk mengontrolnya. Sebagian besar pabrik mengatasi masalah korosi ini dengan menggunakan bahan *stainless steel* atau *fiber glass*. Dalam keadaan aerobik, korosi elektrolisa akan menjadi mudah terjadi, begitupula sebaliknya. Kontrol terhadap bakteri dapat dilakukan dengan pemakaian *microciocide* secara efektif.

## **BAB X**

### **KESIMPULAN**

Dari hasil perhitungan dan perencanaan “Pabrik *Pulp* dari Serat Rami (*Boechmeria nivea L. Gaudich*) dengan Proses *Acetocell*” dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

#### 1. Rencana Operasi

Pabrik *pulp* ini direncanakan beroperasi secara kontinyu selama 300 hari/tahun, 24 jam/hari

#### 2. Kapasitas Produksi

Kapasitas produksi pabrik *pulp* ini sebesar 92.500 ton/tahun = 308,333 kg/hari

#### 3. Bahan Baku dan Bahan Pendukung

##### • Bahan Baku

- Bahan baku utama produk ini adalah serat rami (*Boechmeria nivea L. Gaudich*)
- Bahan baku utama yang diperlukan sebesar 456,635 kg/hari

##### • Bahan Baku Pendukung

- Asam Asetat
- H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>
- Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

#### 4. Produk

Produk yang dihasilkan pabrik ini adalah *pulp* serat rami dengan kadar air 6%

#### 5. Utilitas

- Air sanitasi = 172 m<sup>3</sup>/hari
- Air umpan boiler = 999 m<sup>3</sup>/hari
- Air *make up* = 199,80 m<sup>3</sup>/hari
- Air proses = 8.006,72 m<sup>3</sup>/hari

#### 6. Pengolahan Limbah

- Limbah Cair : *black liquor*, limbah pencucian bubur *pulp*
- Limbah Padat : *pith*



*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## DAFTAR NOTASI

No.	Simbol	Satuan	Keterangan
1	m	kg	Massa
2	BM	kg/mol	Berat Molekul
3	N	N	Normalitas
4	T	°C	Suhu
5	t	s	Waktu
6	F	-	Fraksi
7	Q	kkal/hari	Kalor yang
8	Cp	kkal/kg°C	Dibutuhkan
9	H <sub>L</sub>	kkal/kg	Heat Capacity
10	H <sub>V</sub>	kkal/kg	<i>Entalphy Liquid</i>
11	Nre	-	<i>Entalphy Vapor</i>
12	λ	kkal/kg	<i>Reynold Number</i>
13	V	lt	Panas Laten
14	ρ	kg/lt	Volume
15	μ	Pa.s	Densitas
16	D	m	Viskositas
17	A	m <sup>2</sup>	Diameter
18	v	m/s	Luas
19	S	psia	Kecepatan
20	P	atm	<i>Allowable Stress</i>
21	Z	m	Tekanan
22	Tc	°C	Ketinggian
23	Δt	°C	<i>Temperaure Caloric</i> Perubahan Suhu

## DAFTAR PUSTAKA

- Ayunda, V., & dkk. (2013). Pembuatan dan Karakterisasi Kertas Dari Daun Nanas dan Enceng Gondok. 2.
- Bachri, S. (2015). *Pembuatan Pulp dari Batang Pisang*. Lhokseumawe: Universitas Malikussaleh, 36-50.
- Dewi, T. K., & dkk. (2010). Pengaruh Konsentrasi NaOH, temperatur Pemasakan, dan Lama Pemasakan pada Pembuatan Pulp dari batang Rami dengan Proses Soda. *Jurnal Teknik Kimia*, No. 2, Vol 17, 68.
- Efendi, A. (2010). *Pengaruh Konsentrasi Larutan Pemasak Pada Proses Delignifikasi Eceng Gondok Dengan Proses Organosolv*. Surakarta: Fakultas Teknik UNS.
- Geankoplis, C. J. (2003). *Transport Processes and Separation Process Principles*. New York: Pearson Prentice Hall.
- Henriksson, G. (2009). *Pulp And Paper Chemistry And Technology*. Germany: Royal Institute of Technology.
- Hidayati, S., & dkk. (2009). Proses Pembuatan Pulp Berbasis Ampas Tebu: Batang Pisang dengan Metode Acetosolve. *Jurnal Teknologi Industri dan Hasil Pertanian Volume 14*, 90.
- Kern, D. Q. (1950). *Process Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill.
- Lembaran Data Keselamatan Bahan Menurut Peraturan (UE) No. 1907/2006 Versi 5.10*
- Market Brief. (2015). *Indonesian Trade Promotion Center (ITPC)*. Mexico City.
- Material Safety Data Sheet Acetic Acid MSDS*
- Material Safety Data Sheet Hydrogen Peroxide MSDS*
- Muurinen, E. (2000). *Organosolv Pulping*. OULU: OULU University Library.

- Novarini, E., & dkk. (2015). Potensi Serat Rami (Boehmeria Nivea L. Gaud) sebagai Bahan Baku Industri Tekstil dan Produk Tekstil dan Tekstil Teknik. *Arena Tekstil*, Vol. 30, No. 2, 115.
- Parjanto, S., & Osep Hijuzaman, M. (2010). *Analisa Proses Produksi Kertas Core Untuk Mengurangi Sheet Break/Kertas Putus Dengan Menggunakan Pendekatan Metode Six Sigma Di Pt. Papertech Indonesia*. Subang: Program Studi Teknik Industri STT Wastukancana, 4.
- Perry, R. H. (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Purwati, R. D. (2010). Strategi Pengembangan Rami (Boehmeria nivea Gaud.). *Perspektif* Vol. 9 No.2, 106.
- Saleh, A. (2009). *Pengaruh Konsentrasi Pelarut, Temperatur Dan Waktu Pemasakan Pada Pembuatan Pulp Dari Sabut Kelapa Muda*. Sumatera Selatan: Universitas Sriwijaya.
- Ulrich, G. D. (1984). *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Wibisono, I., & dkk. (2011). Pembuatan Pulp dari Alang-Alang. *Widya Teknik* Vol. 10, 11.
- Wirawan, S. K., & dkk. (2010). Pupl Rami Putih sebagai Bahan Baku Kertas. *Berita Selulosa*, No. 45, Vol. 2, 57-58.

## APPENDIKS A

### NERACA MASSA

Kapasitas	:	92.500 ton/tahun = 308.333 kg/hari
Operasi	:	300 hari/tahun, 24 jam/hari
Satuan massa	:	kg
Basis waktu	:	1 hari

Untuk kapasitas 308.333 kg/hari, dibutuhkan bahan baku batang tanaman rami sebanyak 461.248 kg tanaman rami/hari atau 461,248 ton tanaman rami/hari dengan komposisi tanaman rami adalah sebagai berikut :

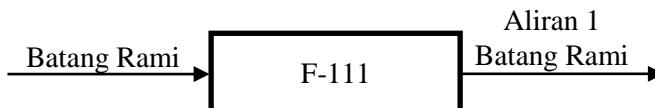
**Tabel III.1 Komposisi Tanaman Rami**

Komposisi	Persentase	Massa
Selulosa	75,10%	342.932,91
Hemiselulosa	14,10%	65.035,90
Pektin	1,90%	8.763,70
Lignin	0,60%	2.767,49
Wax	0,30%	1.383,74
Air pada serat	8%	36.899,80
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>461.247,51</b>

### III.1 Tahap *Pre-Treatment*

#### III.1.1 *Open Yard (F-111)*

Fungsi : sebagai tempat penyimpanan awal dari tanaman rami.

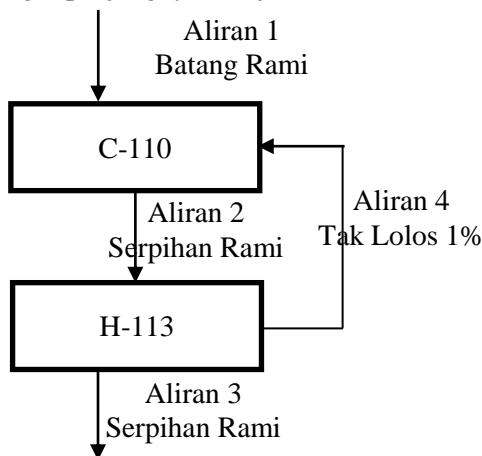


**Tabel III.2** Neraca Massa pada *Open Yard*

<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>
<u>Batang Rami</u>		<u>Aliran 1</u>	
Selulosa	346.396,88	Selulosa	346.396,88
Hemiselulosa	65.035,90	Hemiselulosa	65.035,90
Pektin	8.763,70	Pektin	8.763,70
Lignin	2.767,49	Lignin	2.767,49
Wax	1.383,74	Wax	1.383,74
Air pada serat	36.899,80	Air pada serat	36.899,80
<b>Total</b>	<b>461.247,51</b>	<b>Total</b>	<b>461.247,51</b>

**III.1.2 Rotary Knife Cutter (C-110)**

Fungsi : sebagai tempat pemotongan batang tanaman rami agar panjangnya menjadi  $\pm 6$  mm.



**Tabel III.3** Neraca Massa pada *Rotary Knife Cutter*

<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>
<u>Aliran 1</u>		<u>Aliran 2</u>	
Selulosa	346.396,88	Selulosa	346.396,88
Hemiselulosa	65.035,90	Hemiselulosa	65.035,90
Pektin	8.763,70	Pektin	8.763,70
Lignin	2.767,49	Lignin	2.767,49
Wax	1.383,74	Wax	1.383,74
Air pada serat	36.899,80	Air pada serat	36.899,80
<b>Total</b>	<b>461.247,51</b>	<b>Total</b>	<b>461.247,51</b>

**III.1.3 Vibrating Screen (H-114)**

Fungsi : untuk menyeleksi potongan rami yang ukurannya telah memenuhi syarat.

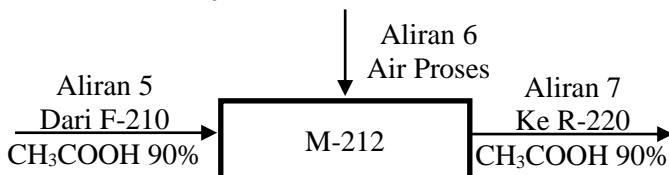
**Tabel III.4** Neraca Massa pada *Vibrating Screen*

<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>
<u>Aliran 2</u>		<u>Aliran 3</u>	
Selulosa	346.396,88	Selulosa	342.932,91
Hemiselulosa	65.035,90	Hemiselulosa	64.385,54
Pektin	8.763,70	Pektin	8.676,07
Lignin	2.767,49	Lignin	2.739,81
Wax	1.383,74	Wax	1.369,91
Air pada serat	36.899,80	Air pada serat	<u>36.530,80</u>
			456.635,03
		<u>Aliran 4</u> <u>(Batang rami)</u>	
		Tidak lolos	4.612,48
<b>Total</b>	<b>461.247,51</b>	<b>Total</b>	<b>461.247,51</b>

### III.2 Tahap Pemasakan

#### III.2.1 Tangki Pengenceran CH<sub>3</sub>COOH (M-212)

Fungsi : untuk mengencerkan larutan CH<sub>3</sub>COOH 90% menjadi larutan CH<sub>3</sub>COOH 60% berat.



Konsentrasi CH<sub>3</sub>COOH 60%

Perbandingan bahan baku dengan larutan CH<sub>3</sub>COOH adalah 1:2

$$\begin{aligned} \text{Total larutan CH}_3\text{COOH} &= 2 \times 456.635 \\ &= 913.270 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat CH}_3\text{COOH 60\%} &= \text{total larutan CH}_3\text{COOH} \times 60\% \\ &= 913.270 \times 60\% \\ &= 547.962 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat air 40\%} &= \text{total larutan CH}_3\text{COOH} \times 40\% \\ &= 913.270 \times 40\% \\ &= 365.308 \text{ kg} \end{aligned}$$

CH<sub>3</sub>COOH yang ada di pasaran 90%, maka

$$\begin{aligned} \text{Berat CH}_3\text{COOH 90\%} &= 547.962 \text{ kg} \\ \text{Berat air 10\%} &= \frac{10\% \times 547.962}{90\%} \\ &= 60.884,67 \text{ kg} \end{aligned}$$

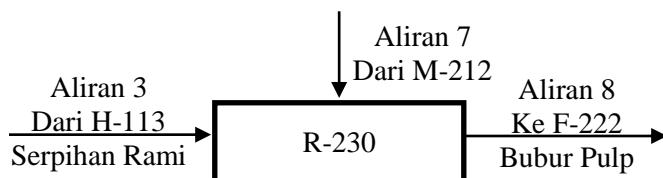
$$\begin{aligned} \text{Air proses yang ditambahkan} &= 365.308 - 60.884,67 \\ &= 304.423,35 \text{ kg} \end{aligned}$$

**Tabel III.5** Neraca Massa pada Tangki pengenceran CH<sub>3</sub>COOH

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa	Komponen	Massa
<u>Aliran 5</u> CH <sub>3</sub> COOH Air	547.962,04 60.884,67 <hr/> 608.846,71	<u>Aliran 7</u> CH <sub>3</sub> COOH Air	547.962,04 365.308,03
<u>Aliran 6</u> Air Proses	304.423,35		
<b>Total</b>	<b>913.270,06</b>	<b>Total</b>	<b>913.270,06</b>

### III.2.2 Pandia Digester (R-230)

Fungsi : untuk mengubah potongan rami menjadi bubur pulp dan terjadi proses delignifikasi pada suhu T = 170°C.



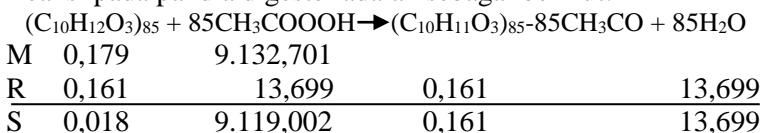
Data yang diperoleh untuk perhitungan neraca massa pada tahap ini adalah sebagai berikut:

1. Bmlignin yaitu ±15.300 kg/mol dengan derajat polimerasi 85
2. Lignin yang bereaksi adalah 90% (*Muurinen, 2010*)
3. Pektin dan lilin yang terlarut masing-masing sebesar 50%

$$\begin{aligned}
 \text{Lignin yang bereaksi} &= 90\% \times 2.739,81 \\
 &= 2.465,83 \text{ kg} \\
 \text{Lignin sisa} &= 2.739,81 - 2.465,83 \\
 &= 273,98 \text{ kg} \\
 \text{Pektin yang larut} &= 50\% \times 8.676,07 \\
 &= 4.338,03 \text{ kg} \\
 \text{Wax yang larut} &= 50\% \times 1.369,91 \\
 &= 684,95 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{kmol lignin mula-mula} &= \frac{\text{Berat lignin mula-mula}}{\text{BM lignin}} \\
 &= \frac{2.739,81}{15300} = 0,179 \text{ kmol} \\
 \text{kmol lignin bereaksi} &= \frac{\text{Berat lignin bereaksi}}{\text{BM lignin}} \\
 &= \frac{2.465,83}{15300} = 0,161 \text{ kmol} \\
 \text{kmol lignin sisa} &= 0,179 - 0,161 \\
 &= 0,018 \text{ kmol} \\
 \text{kmol CH}_3\text{COOH awal} &= \frac{\text{Berat CH}_3\text{COOH mula-mula}}{\text{BM CH}_3\text{COOH}} \\
 &= \frac{547.962}{60} = 9.132,70 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

Reaksi pada pandia digester adalah sebagai berikut:



$$\begin{aligned}
 \text{Berat CH}_3\text{COOH yang bereaksi} &= \text{kmol CH}_3\text{COOH reaksi} \times \text{BM} \\
 &= 13,699 \times 60 \\
 &= 821,943 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat CH}_3\text{COOH sisa} &= \text{kmol CH}_3\text{COOH sisa} \times \text{BM} \\
 &= 9.119,002 \times 60 \\
 &= 547.140 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Aseto Ligninat} &= \text{kmol aseto ligninat} \times \text{BM} \\
 &= 0,161 \times 18.870 \\
 &= 3.041 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Tabel A.5 Stoikiometri Reaksi pada Pandia Digester

<b>Komposisi</b>	<b>BM</b>	<b>Berat</b>	<b>kmol</b>
Lignin (M)	15.300	2.739,81	0,18
CH <sub>3</sub> COOH (M)	60	547.140,09	9.132,70
Lignin (R)	15.300	2.465,83	0,16

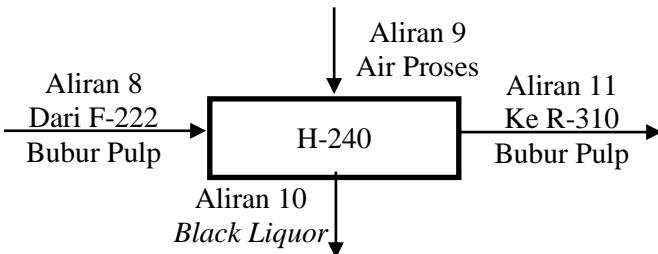
CH <sub>3</sub> COOH (R)	60	821,94	13,70
Aseto Ligninat (R)	18.870	3.041,19	0,16
Aseto Ligninat (S)	18.870	3.041,19	0,16
CH <sub>3</sub> COOH (S)	60	547.140,09	9.119
Ligin (S)	15.300	273,98	0,02
H <sub>2</sub> O serat	18	246,58	13,70

**Tabel III.6** Neraca Massa pada Pandia Digester

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa	Komponen	Massa
<u>Aliran 3</u>		<u>Aliran 8</u>	
Selulosa	342.932,91	Serat:	
Hemiselulosa	64.385,54	Selulosa	342.932,91
Pektin	8.676,07	Hemiselulosa	64.385,54
Ligin	2.739,81	Pektin	4.338,03
Wax	1.369,91	Ligin sisa	273,98
Air pada serat	36.530,80	Wax	684,95
	456.635,03	Air pada serat	246,58
			412.862,00
<u>Aliran 7</u>		Cairan:	
CH <sub>3</sub> COOH	547.962,04	CH <sub>3</sub> COOH	547.140,09
Air	365.308,03	sisa	
	913.270,06	Pektin larut	4.339,03
		Aseto ligninat	3.041,19
		Wax larut	684,95
		Air sisa	401.838,83
			957.043,10
<b>Total</b>	<b>1.369.905,10</b>	<b>Total</b>	<b>1.369.905,10</b>

**III.2.3 Rotary Vacum Filter I (H-240)**

Fungsi : untuk memisahkan dan mencuci bubur pulp dari *black liquor*.



Data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Perbandingan bahan baku dengan air proses pencucian adalah 1:2,5 (*Othmer, 1978*)
2. Konsistensi washer 15%

$$\text{Air yang diperlukan washer} = 2,5 \times 1.369.905,10 \\ = 3.424,763 \text{ kg}$$

$$\text{Selulosa terbawa black liquor} \\ = 15\% \times 342.932,91 \\ = 51.440 \text{ kg}$$

$$\text{Selulosa pada pulp} \\ = 85\% \times 342.932,91 \\ = 291.493,00 \text{ kg}$$

$$\text{Lignin terbawa black liquor} \\ = 15\% \times 273,98 \\ = 41 \text{ kg}$$

$$\text{Lignin pada pulp} \\ = 85\% \times 273,98 \\ = 232,9 \text{ kg}$$

$$\text{Hemiselulosa terbawa black liquor} \\ = 15\% \times 64.385,54 \\ = 9.658 \text{ kg}$$

$$\text{Hemiselulosa pada pulp} \\ = 85\% \times 64.385,54 \\ = 54.727,7 \text{ kg}$$

$$\text{Pektin terbawa black liquor} \\ = 15\% \times 4.338,03 \\ = 651 \text{ kg}$$

$$\text{Pektin pada pulp} \\ = 85\% \times 4.338,03 \\ = 3.687,3 \text{ kg}$$

$$\text{Wax terbawa black liquor} \\ = 15\% \times 684,95 \\ = 103 \text{ kg}$$

$$\text{Wax pada pulp} \\ = 85\% \times 684,95 \\ = 582,2 \text{ kg}$$

$$\text{Cairan terbawa black liquor} \\ = 85\% \times 4.382.052,42$$

$$\begin{aligned}
 &= 3.724.745 \text{ kg} \\
 \text{Cairan pada pulp} &= 15\% \times 4.382.052,42 \\
 &= 657.307,9 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

**Tabel III.7** Neraca Massa pada *Rotary Vacum Filter I*

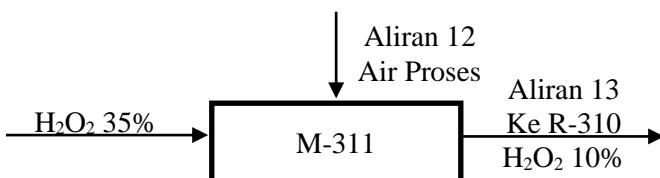
<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>
<u>Aliran 8</u>		<u>Aliran 10</u>	
Serat:		Serat:	
Selulosa	342.932,91	Selulosa	51.439,94
Hemiselulosa	64.385,54	Hemiselulosa	9.657,83
Pektin	4.338,03	Pektin	650,70
Lignin sisa	273,98	Lignin sisa	41,10
Wax	684,95	Wax	102,74
Air pada serat	<u>246,58</u>		<u>61.892,31</u>
	412.862,00		
Cairan:		Cairan:	
CH <sub>3</sub> COOH	547.140,09	CH <sub>3</sub> COOH	465.069,08
sisa		sisa	
Pektin larut	4.339,03	Pektin larut	3.687,33
Aseto ligninat	3.041,19	Aseto ligninat	2.585,01
Wax larut	684,95	Wax larut	582,21
Air sisa	<u>401.838,83</u>	Air sisa	<u>3.252.820,93</u>
	957.043,10		2.724.722,56
<u>Aliran 9</u>		<u>Aliran 11</u>	
Air Proses	3.424.763,74	Serat:	291.492,97
		Selulosa	54.727,71
		Hemiselulosa	3.687,33
		Pektin	232,88
		Lignin sisa	582,21
		Wax	<u>36,99</u>
		Air pada serat	350.760,09
		Cairan:	82.071,01
		CH <sub>3</sub> COOH	

		sisa Pektin larut Aseto ligninat Wax larut Air sisa	650,70 456,18 102,74 <u>573.990,23</u> 657.270,88
<b>Total</b>	<b>1.369.905,10</b>	<b>Total</b>	<b>1.369.905,10</b>

### III.3 Tahap *Bleaching*

#### III.3.1 Tangki Pengenceran H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (M-311)

Fungsi : untuk mengencerkan larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 35% menjadi larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10% berat.



Data yang diperoleh :

1. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang ditambahkan adalah 3% dari berat pulp
2. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang ditambahkan adalah 10%
3. Konsentrasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang ada di pasaran 35%

$$\begin{aligned} \text{Total H}_2\text{O}_2 &= 3\% \times 1.008.030,97 \\ &= 30.240,93 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah H}_2\text{O}_2 10\% \text{ pada larutan} &= 10\% \times 30.240,93 \\ &= 3.024,09 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Air pada H}_2\text{O}_2 10\% &= 30.240,93 - 3.024,09 \\ &= 27.216,84 \text{ kg} \end{aligned}$$

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang ada di pasaran 35%

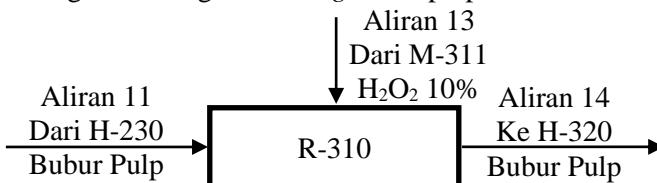
$$\text{Berat H}_2\text{O}_2 35\% = 3.024,09 \text{ kg}$$

$$\text{Air 65\%} = \frac{65\% \times 3.024,09}{35\%} = 5.616,17 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Air proses yang ditambahkan} &= 27.216,84 - 5.616,17 \\ &= 21.600,66 \text{ kg} \end{aligned}$$

**Tabel III.8** Neraca Massa pada Tangki Pengenceran H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa	Komponen	Massa
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35%		Aliran 13	
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3.024,09	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3.024,09
Air	5.616,17	Air	27.216,84
	8.640,27		
Aliran 12			
Air Proses	21.600,66		
<b>Total</b>	<b>30.240,93</b>	<b>Total</b>	<b>30.240,93</b>

**III.3.2 Reaktor H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (R-310)**Fungsi : meningkatkan *brightness* pulp.

Data yang diperoleh :

1. Lignin yang bereaksi 40% (*Casey, 1984*)
2. Pektin dan wax yang terlarut masing-masing adalah 60% (*Casey, 1984*)

$$\text{Lignin yang bereaksi} = 40\% \times 232,88$$

$$= 93,15355 \text{ kg}$$

$$\text{Lignin sisa} = 232,88 - 93,15355$$

$$= 139,73 \text{ kg}$$

$$\text{Pektin yang terlarut} = 60\% \times 3.687,33$$

$$= 2.212,40 \text{ kg}$$

$$\text{Pektin sisa} = 3.687,33 - 2.212,40$$

$$= 1.474,93 \text{ kg}$$

$$\text{Wax yang terlarut} = 60\% \times 582,21$$

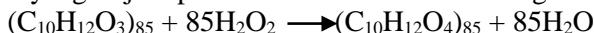
$$= 349,3258 \text{ kg}$$

$$\text{Wax sisa} = 582,21 - 349,3258$$

$$= 232,88 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 \text{kmol lignin mula-mula} &= \frac{\text{berat lignin mula-mula}}{\text{BM lignin}} \\
 &= \frac{232,88}{15.300} = 0,015 \text{ kmol} \\
 \text{kmol lignin bereaksi} &= \frac{\text{berat lignin bereaksi}}{\text{BM lignin}} \\
 &= \frac{93,15}{15.300} = 0,006 \text{ kmol} \\
 \text{kmol lignin sisa} &= 0,015 - 0,006 \\
 &= 0,009 \text{ kmol} \\
 \text{kmol H}_2\text{O}_2 \text{ mula-mula} &= \frac{\text{berat H}_2\text{O}_2 \text{ mula-mula}}{\text{BM H}_2\text{O}_2} \\
 &= \frac{3.024,09}{34} = 88,944 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

Reaksi yang terjadi pada reaktor  $\text{H}_2\text{O}_2$  adalah sebagai berikut:



M	0,015	88,944	
R	0,006	0,518	0,006
S	0,009	88,426	0,006

**Tabel A.11** Stoikiometri Reaksi pada Proses *Bleaching*  $\text{H}_2\text{O}_2$

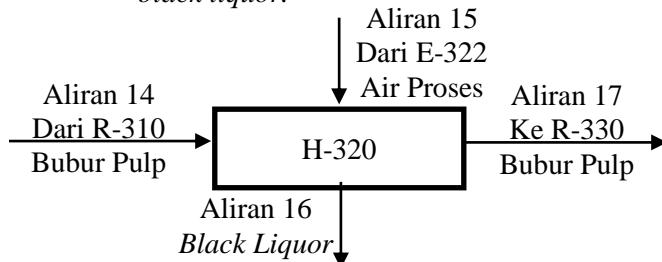
Komposisi	BM	Berat	kmol
Lignin (M)	15300	232,88	0,015
$\text{H}_2\text{O}_2$ (M)	34	3.024,09	88,944
Lignin (R)	15300	93,15	0,006
$\text{H}_2\text{O}_2$ (R)	34	17,60	0,518
$\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_4$ (R)	16660	101,43	0,006
$\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_4$ (S)	16660	101,43	0,006
$\text{H}_2\text{O}_2$ (S)	34	3.006,50	88,426
Lignin (S)	15300	139,73	0,009
$\text{H}_2\text{O}$ (S)	18	9,32	0,518

**Tabel III.9** Neraca Massa pada Reaktor H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>
<u>Aliran 11</u>		<u>Aliran 14</u>	
Serat:		Serat:	
Selulosa	291.492,97	Selulosa	291.492,97
Hemiselulosa	54.727,71	Hemiselulosa	54.727,71
Pektin	3.687,33	Pektin	1.474,93
Lignin sisa	232,88	Lignin sisa	139,73
Wax	582,21	Wax	232,88
Air pada serat	36,99	Air pada serat	9,32
	<u>350.760,09</u>		<u>348.077,54</u>
Cairan:		Cairan:	
CH <sub>3</sub> COOH	82.071,01	CH <sub>3</sub> COOH	82.071,01
sisa		sisa	
Pektin larut	650,70	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3.006,50
Aseto ligninat	456,18	Pektin larut	2.863,10
Wax larut	102,74	Aseto ligninat	456,18
Air sisa	<u>573.990,23</u>	Wax larut	452,07
	<u>657.270,88</u>	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	101,43
<u>Aliran 13</u>		Air sisa	<u>601.244,06</u>
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3.024,09		<u>690.194,35</u>
Air	<u>27.216,84</u>		
	<u>30.240,93</u>		
<b>Total</b>	<b>1.038.271,89</b>	<b>Total</b>	<b>1.038.271,89</b>

**III.3.3 Rotary Vacum Filter II (H-320)**

Fungsi : untuk memisahkan dan mencuci bubur pulp dari *black liquor*.



Data yang diperoleh :

1. Perbandingan bahan baku dengan air proses pencucian adalah 1:2,5 (*Othmer, 1978*)

2. Konsistensi *washer* 10%

$$\text{Air yang diperlukan } \textit{washer} = 2,5 \times 1.038.271,89 \\ = 2.595.680 \text{ kg}$$

$$\text{Selulosa terbawa } \textit{black liquor} = 10\% \times 291.492,97 \\ = 29.149 \text{ kg}$$

$$\text{Selulosa pada pulp} = 90\% \times 291.492,97 \\ = 262.343,7 \text{ kg}$$

$$\text{Lignin terbawa } \textit{black liquor} = 10\% \times 139,73 \\ = 14 \text{ kg}$$

$$\text{Lignin pada pulp} = 90\% \times 139,73 \\ = 125,8 \text{ kg}$$

$$\text{Hemiselulosa terbawa } \textit{black liquor} = 10\% \times 54.727,71 \\ = 5.473 \text{ kg}$$

$$\text{Hemiselulosa pada pulp} = 90\% \times 54.727,71 \\ = 49.254,9 \text{ kg}$$

$$\text{Pektin terbawa } \textit{black liquor} = 10\% \times 1.474,93 \\ = 147 \text{ kg}$$

$$\text{Pektin pada pulp} = 90\% \times 1.474,93 \\ = 1.327,4 \text{ kg}$$

$$\text{Wax terbawa } \textit{black liquor} = 10\% \times 232,88 \\ = 23 \text{ kg}$$

$$\text{Wax pada pulp} = 90\% \times 232,88 \\ = 209,6 \text{ kg}$$

$$\text{Cairan terbawa } \textit{black liquor} = 90\% \times 3.285.883,40 \\ = 2.957.295 \text{ kg}$$

$$\text{Cairan pada pulp} = 10\% \times 3.285.883,40 \\ = 328.588,3 \text{ kg}$$

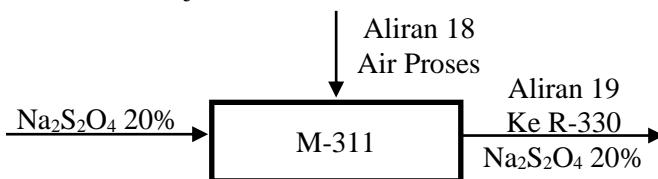
**Tabel III.10** Neraca Massa pada *Rotary Vacum Filter II*

<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>
<u>Aliran 14</u>		<u>Aliran 16</u>	
Serat:		Serat:	
Selulosa	291.492,97	Selulosa	29.149,30
Hemiselulosa	54.727,71	Hemiselulosa	5.472,77
Pektin	1.474,93	Pektin	2.724,28
Lignin sisa	139,73	Lignin sisa	13,97
Wax	232,88	Wax	<u>430,15</u>
Air pada serat	<u>9,32</u>		37.790,48
	348.077,54	Cairan:	
Cairan:		CH <sub>3</sub> COOH	73.863,91
CH <sub>3</sub> COOH	82.071,01	sisa	
sisa		H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2.705,85
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3.006,50	Aseto ligninat	410,56
Pektin larut	2.863,10	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	91,29
Aseto ligninat	456,18	Air sisa	<u>2.877.239,80</u>
Wax larut	452,07		2.954.311,41
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	101,43	<u>Aliran 17</u>	
Air sisa	<u>601.244,06</u>	Serat:	
	690.194,35	Selulosa	262.343,68
<u>Aliran 15</u>		Hemiselulosa	49.254,94
Air Proses	2.595.679,74	Pektin	1.327,44
		Lignin sisa	125,76
		Wax	209,60
		Air pada serat	0,93
			313.262,34
		Cairan:	
		CH <sub>3</sub> COOH	8.207,10
		sisa	
		H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	300,65
		Pektin larut	286,31
		Aseto ligninat	45,62
		Wax larut	45,21

		C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub> Air sisa	10,14 <u>319.692,38</u> 328.587,41
<b>Total</b>	<b>3.633.951,63</b>	<b>Total</b>	<b>3.633.951,63</b>

### III.3.4 Tangki Pengenceran Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (M-331)

Fungsi : untuk mengencerkan larutan Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 90% menjadi 20% berat.



Data yang diperoleh :

1. Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub> yang ditambahkan adalah 1% dari berat pulp
2. Konsentrasi Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub> yang ditambahkan adalah 20%
3. Konsentrasi Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub> yang ada di pasaran 90%

$$\begin{aligned} \text{Total Na}_2\text{S}_2\text{O}_4 &= 1\% \times 641.849,74 \\ &= 6.418,50 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Na}_2\text{S}_2\text{O}_4 20\% \text{ pada larutan} &= 20\% \times 6.418,50 \\ &= 1.283,70 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Air pada Na}_2\text{S}_2\text{O}_4 20\% &= 6.418,50 - 1.283,70 \\ &= 5.134,80 \text{ kg} \end{aligned}$$

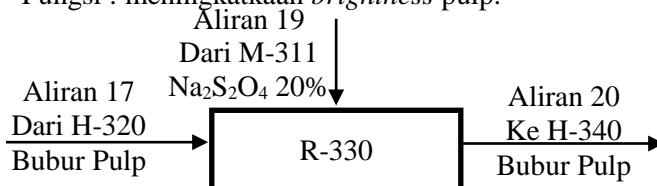
$$\text{Berat Na}_2\text{S}_2\text{O}_4 90\% = 1.283,70 \text{ kg}$$

$$\text{Air 10\%} = \frac{10\% \times 1.283,70}{90\%} = 142,63 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Air proses yang ditambahkan} &= 5.134,80 - 142,63 \\ &= 4.992,16 \text{ kg} \end{aligned}$$

**Tabel III.11** Neraca Massa pada Tangki Pengenceran Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa	Komponen	Massa
<u>Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 90%</u>		<u>Aliran 19</u>	
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.283,70	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.283,70
Air	142,63	Air	5.134,80
	1.426,33		
<u>Aliran 18</u>			
Air Proses	4.992,16		
<b>Total</b>	<b>6.418,50</b>	<b>Total</b>	<b>6.418,50</b>

**III.3.5 Reaktor Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (R-330)**Fungsi : meningkatkan *brightness* pulp.

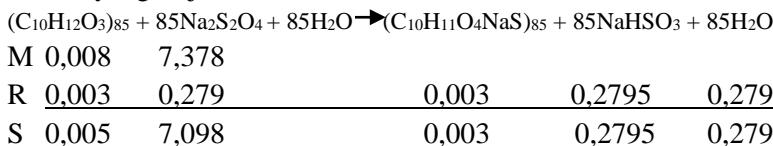
Data yang diperoleh :

1. Lignin yang bereaksi 40% (*Casey, 1984*)
2. Pektin dan wax yang terlarut masing-masing adalah 60% (*Casey, 1984*)

Lignin yang bereaksi	= 40% x 125,76
	= 50,3029 kg
Lignin sisa	= 125,76 – 50,3029
	= 75,45 kg
Pektin yang terlarut	= 60% x 1.327,44
	= 796,46 kg
Pektin sisa	= 1.327,44 - 796,46
	= 530,98 kg
Wax yang terlarut	= 60% x 209,60
	= 125,75 kg
Wax sisa	= 209,60 - 125,757
	= 83,84 kg

$$\begin{aligned}
 \text{kmol lignin mula-mula} &= \frac{\text{berat lignin mula-mula}}{\text{BM lignin}} \\
 &= \frac{125,76}{15.300} = 0,008 \text{ kmol} \\
 \text{kmol lignin bereaksi} &= \frac{\text{berat lignin bereaksi}}{\text{BM lignin}} \\
 &= \frac{50,30}{15.300} = 0,003 \text{ kmol} \\
 \text{kmol lignin sisa} &= 0,008 - 0,003 \\
 &= 0,005 \text{ kmol} \\
 \text{kmol Na}_2\text{S}_2\text{O}_4 \text{ mula-mula} &= \frac{\text{berat Na}_2\text{S}_2\text{O}_4 \text{ mula-mula}}{\text{BM Na}_2\text{S}_2\text{O}_4} \\
 &= \frac{1.283,70}{174} = 7,377 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

Reaksi yang terjadi :



**Tabel A.15** Stoikiometri Reaksi pada Proses *Bleaching* dengan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$

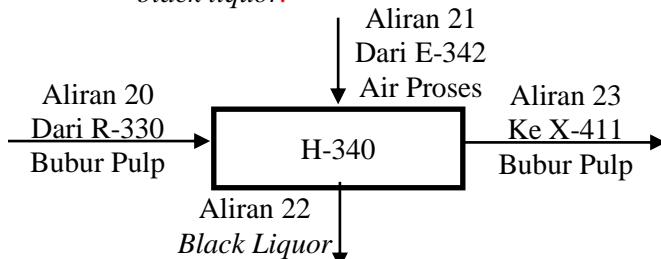
Komposisi	BM	Berat	kmol
Lignin (M)	15300	125,76	0,008
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ (M)	174	1.283,70	7,378
Lignin (S)	15300	75,45	0,005
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ (S)	174	1.235,07	7,098
$\text{C}_{10}\text{H}_{11}\text{O}_4\text{NaS}$ (R)	21250	69,87	0,003
$\text{C}_{10}\text{H}_{11}\text{O}_4\text{NaS}$ (S)	21250	69,87	0,003
$\text{NaHSO}_3$ (R)	104	29,06	0,279
$\text{NaHSO}_3$ (S)	104	29,06	0,279
$\text{H}_2\text{O}$ (S)	18	324.823,08	18.045,73
$\text{H}_2\text{O}$ serat (S)	18	5,03	0,279

**Tabel III.12** Neraca Massa pada Reaktor Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>
<u>Aliran 17</u>		<u>Aliran 20</u>	
Serat:		Serat:	
Selulosa	262.343,68	Selulosa	262.343,68
Hemiselulosa	49.254,94	Hemiselulosa	49.254,94
Pektin	1.327,44	Pektin	530,98
Lignin sisa	125,76	Lignin sisa	75,45
Wax	209,60	Wax	83,84
Air pada serat	0,93	Air pada serat	5,03
	313.262,34		312.293,91
Cairan:		Cairan:	
CH <sub>3</sub> COOH sisa	8.207,10	CH <sub>3</sub> COOH sisa	8.207,10
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	300,65	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.235,07
Pektin larut	286,31	Pektin larut	1.082,77
Aseto ligninat	45,62	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	300,65
Wax larut	45,21	Wax larut	170,96
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	10,14	C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	69,87
Air sisa	319.692,38	Aseto ligninat	45,62
	328.587,41	NaHSO <sub>3</sub>	29,06
<u>Aliran 19</u>		C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	10,14
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.283,70	Air	324.823,08
Air	5.134,80		335.974,33
	6.418,50		
<b>Total</b>	<b>648.268,24</b>	<b>Total</b>	<b>648.268,24</b>

**III.3.6 Rotary Vacum Filter III (H-340)**

Fungsi : untuk memisahkan dan mencuci bubur pulp dari *black liquor*.



Data yang diperoleh :

1. Perbandingan bahan baku dengan air proses pencucian adalah 1:2,5 (*Othmer, 1978*)
2. Konsistensi *washer* 8%

Air yang diperlukan *washer* =  $2,5 \times 648.268,24$

$$= 1.620.671 \text{ kg}$$

Selulosa terbawa *black liquor*  
= 8% x 262.343,68  
= 20.987 kg

Selulosa pada pulp  
= 92% x 262.343,68  
= 241.356,2 kg

Lignin terbawa *black liquor*  
= 8% x 75,45  
= 6 kg

Lignin pada pulp  
= 92% x 75,45  
= 69,4 kg

Hemiselulosa terbawa *black liquor*  
= 8% x 49.254,94  
= 3.940 kg

Hemiselulosa pada pulp  
= 92% x 49.254,94  
= 45.314,5 kg

Pektin terbawa *black liquor*  
= 8% x 530,98  
= 42 kg

Pektin pada pulp  
= 92% x 530,98  
= 488,5 kg

Wax terbawa *black liquor*  
= 8% x 83,84  
= 7 kg

Wax pada pulp  
= 92% x 83,84  
= 77,1 kg

Cairan terbawa *black liquor*  
= 92% x 1.956.649,96  
= 1.800.118 kg

Cairan pada pulp  
= 8% x 1.956.649,96  
= 156.532 kg

**Tabel III.13** Neraca Massa pada *Rotary Vacum Filter III*

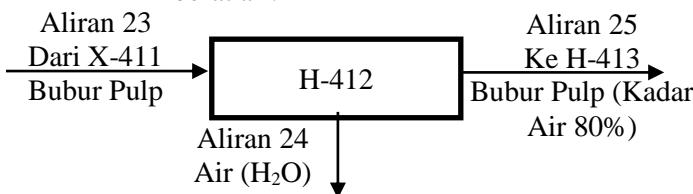
<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>
<u>Aliran 20</u>		<u>Aliran 22</u>	
Serat:		Serat:	
Selulosa	262.343,68	Selulosa	20.987,49
Hemiselulosa	49.254,94	Hemiselulosa	3.940,40
Pektin	530,98	Pektin	42,48
Lignin sisa	75,45	Lignin sisa	6,04
Wax	83,84	Wax	6,71
Air pada serat	5,03		
	312.293,91		24.983,11
Cairan:		Cairan:	
CH <sub>3</sub> COOH	8.207,10	CH <sub>3</sub> COOH	7.550,53
sisa		sisa	
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.235,07	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.136,27
Pektin larut	1.082,77	Pektin larut	996,15
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	300,65	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	276,60
Wax larut	170,96	Wax larut	157,29
C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	69,87	C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	64,24
Aseto ligninat	45,62	Aseto ligninat	41,97
NaHSO <sub>3</sub>	29,06	NaHSO <sub>3</sub>	26,74
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	10,14	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	9,33
Air	324.823,08	Air	1.789.858,82
	335.974,33		1.800.117,97
<u>Aliran 21</u>		<u>Aliran 23</u>	
Air Proses	1.620.671	Serat:	
		Selulosa	241.256,18
		Hemiselulosa	45.314,54
		Pektin	488,50
		Lignin sisa	69,42
		Wax	77,13
		Air pada serat	0,40
		Cairan:	287.306,17

		CH <sub>3</sub> COOH	656,57
		sisa	98,81
		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	86,62
		Pektin larut	24,04
		H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	13,68
		Wax larut	5,59
		C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	3,65
		Aseto ligninat	2,33
		NaHSO <sub>3</sub>	0,81
		C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	<u>155.639,49</u>
		Air	<u>156.531,59</u>
<b>Total</b>	<b>2.268.935,85</b>	<b>Total</b>	<b>2.268.935,85</b>

### III.4 Tahap Post-Treatment

#### III.4.1 Wire Section (H-412)

Fungsi : untuk mengurangi kadar air menjadi 80% berat air.



Kadar air sisa 80%

$$\begin{aligned} \text{Air sisa} &= 80\% \times 155.639,90 \\ &= 124.511,92 \text{ kg} \end{aligned}$$

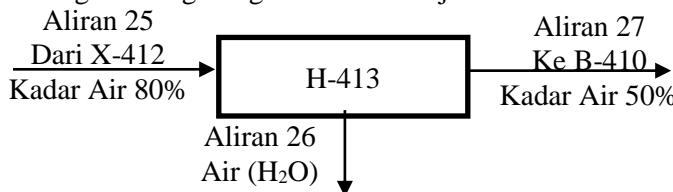
$$\begin{aligned} \text{Air berkurang} &= 155.639,90 - 124.511,92 \\ &= 31.127,98 \text{ kg} \end{aligned}$$

**Tabel III.14** Neraca Massa pada *Wire Section*

<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>
<u>Aliran 23</u>		<u>Aliran 24</u>	
Serat:		Air	31.127,98
Selulosa	241.256,18	<u>Aliran 25</u>	
Hemiselulosa	45.314,54	Serat:	
Pektin	488,50	Selulosa	241.256,18
Lignin sisa	69,42	Hemiselulosa	45.314,54
Wax	77,13	Pektin	488,50
Air pada serat	0,40	Lignin sisa	69,42
	287.306,17	Wax	77,13
			287.305,77
Cairan:		Cairan:	
CH <sub>3</sub> COOH	656,57	CH <sub>3</sub> COOH	656,57
sisa		sisa	
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	98,81	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	98,81
Pektin larut	86,62	Pektin larut	86,62
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	24,04	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	24,04
Wax larut	13,68	Wax larut	13,68
C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	5,59	C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	5,59
Aseto ligninat	3,65	Aseto ligninat	3,65
NaHSO <sub>3</sub>	2,33	NaHSO <sub>3</sub>	2,33
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	0,81	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	0,81
Air	155.639,49	Air	124.511,92
	156.531,59		125.404,02
<b>Total</b>	<b>443.837,77</b>	<b>Total</b>	<b>443.837,77</b>

**III.4.2 Press Part Roll (H-413)**

Fungsi : mengurangi kadar air menjadi 50% berat air.



Kadar air sisa 50%

$$\begin{aligned}\text{Air sisa} &= 50\% \times 124.511,92 \\ &= 62.255,96 \text{ kg}\end{aligned}$$

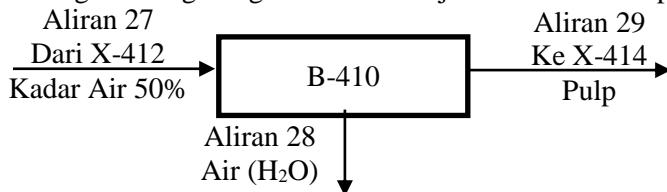
$$\begin{aligned}\text{Air berkurang} &= 124.511,92 - 62.255,96 \\ &= 62.255,96 \text{ kg}\end{aligned}$$

**Tabel III.15** Neraca Massa pada *Press Part Roll*

<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>
<u>Aliran 25</u>		<u>Aliran 26</u>	
Serat:		Air	62.255,96
Selulosa	241.256,18	<u>Aliran 27</u>	
Hemiselulosa	45.314,54	Serat:	
Pektin	488,50	Selulosa	241.256,18
Lignin sisa	69,42	Hemiselulosa	45.314,54
Wax	77,13	Pektin	488,50
Air pada serat	0,40	Lignin sisa	69,42
	287.306,17	Wax	77,13
Cairan:			287.305,77
CH <sub>3</sub> COOH	656,57	Cairan:	
sisa		CH <sub>3</sub> COOH	656,57
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	98,81	sisa	
Pektin larut	86,62	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	98,81
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	24,04	Pektin larut	86,62
Wax larut	13,68	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	24,04
C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	5,59	Wax larut	13,68
Aseto ligninat	3,65	C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	5,59
NaHSO <sub>3</sub>	2,33	Aseto ligninat	3,65
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	0,81	NaHSO <sub>3</sub>	2,33
Air	124.511,92	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	0,81
	125.404,02	Air	62.255,96
<b>Total</b>	<b>412.709,79</b>	<b>Total</b>	<b>412.709,79</b>

### III.4.3 Rotary Drum Dryer (B-410)

Fungsi : mengurangi kadar air menjadi 6% dari berat pulp.



Kadar air sisa 6%

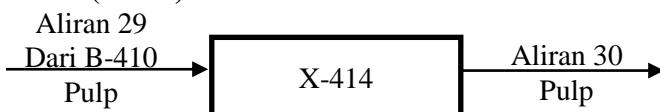
$$\begin{aligned} \text{Jumlah air pada pulp} &= 6\% \times 350.453,83 \\ &= 21.027,23 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Air yang diuapkan} &= 62.255,96 - 21.027,23 \\ &= 41.228,73 \text{ kg} \end{aligned}$$

**Tabel III.16** Neraca Massa pada *Rotary Drum Dryer*

<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>
<u>Aliran 27</u>		<u>Aliran 28</u>	
Serat:		CH <sub>3</sub> COOH	656,57
Selulosa	241.256,18	sisa	
Hemiselulosa	45.314,54	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	98,81
Pektin	488,50	Pektin larut	86,62
Lignin sisa	69,42	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	24,04
Wax	77,13	Wax larut	13,68
Air pada serat	0,40	C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	5,59
	287.306,17	Aseto ligninat	3,65
Cairan:		NaHSO <sub>3</sub>	2,33
CH <sub>3</sub> COOH	656,57	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	0,81
sisa		Air	41.228,73
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	98,81		42.120,83
Pektin larut	86,62	<u>Aliran 29</u>	
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	24,04	Serat:	
Wax larut	13,68	Selulosa	241.256,18
C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	5,59	Hemiselulosa	45.314,54
Aseto ligninat	3,65	Pektin	488,50

NaHSO <sub>3</sub>	2,33	Lignin sisa	69,42
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	0,81	Wax	77,13
Air	<u>62.255,96</u>	Air	<u>21.027,23</u>
	63.148,06		
<b>Total</b>	<b>350.453,83</b>	<b>Total</b>	<b>350.453,83</b>

**III.4.4 Roll (X-414)****Tabel III.17** Neraca Massa pada *Roll*

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa	Komponen	Massa
<u>Aliran 29</u>		<u>Aliran 30</u>	
Serat:		Serat:	
Selulosa	241.256,18	Selulosa	241.256,18
Hemiselulosa	45.314,54	Hemiselulosa	45.314,54
Pektin	488,50	Pektin	488,50
Lignin sisa	69,42	Lignin sisa	69,42
Wax	77,13	Wax	77,13
Air	<u>21.027,23</u>	Air	<u>21.027,23</u>
	308.333,00		308.333,00
<b>Total</b>	<b>308.333,00</b>	<b>Total</b>	<b>308.333,00</b>

**APPENDIKS B**  
**NERACA PANAS**

Kapasitas Produksi = 92500 ton/tahun = 308 ton/hari = 308.333 kg/hari

Waktu Operasi = 300 hari/tahun, 24 jam/hari

Satuan Panas = kg

Basis Waktu = 1 hari

Suhu referensi = 25°C

**Tabel B.1** Data Komponen Zat Berdasarkan Hukum Kopp's Rule

No.	Unsur	$\Delta E$ (kJ/kmol.K)
1	C	10,89
2	H	7,56
3	O	13,42
4	Na	26,19
5	S	12,36

**Tabel B.2** Data Berat Molekul dari Masing-Masing Unsur

No.	Unsur	BM
1	C	12
2	H	1
3	O	16
4	Na	23
5	S	32

Berikut adalah data Cp menggunakan metode modifikasi hukum kopp's rule:

1. Lignin  $(C_{10}H_{12}O_3)_n = (C_{10}H_{12}O_3)_{85}$

Derajat polimerisasi lignin 85

1 kJ= 0,239 kkal

BM= 15300 kg/kmol

Unsur	Jumlah	Dp	$\Delta E$	Total	Satuan
C	10	85	10,89	9.256,50	kJ/kmol K
H	12	85	7,56	7.711,20	kJ/kmol K
O	3	85	13,42	3.422,10	kJ/kmol K
TOTAL			20.389,80	kJ/kmol K	
			4.873,16	kkal/kmol K	
			0,319	kkal/kg°C	

2. Selulosa ( $C_6H_{10}O_5$ )

$Cp$  Selulosa = 0,32 kkal/kg $^{\circ}$ C (Hougen, 1947)

3. Hemiselulosa ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> = ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>100</sub>

Derajat polimerisasinya : 100

1 kJ= 0,239 kkal

BM= 16200 kg/kmol

Unsur	Jumlah	Dp	$\Delta E$	Total	Satuan
C	6	100	10,89	6534,00	kJ/kmol K
H	10	100	7,56	7560,00	kJ/kmol K
O	5	100	13,42	6710,00	kJ/kmol K
TOTAL				20804,00	kJ/kmol K
TOTAL				4972,16	kkal/kmol K
TOTAL				0,307	kkal/kg $^{\circ}$ C

4. Pektin ( $C_6H_8O_6$ )<sub>n</sub> = ( $C_6H_8O_6$ )<sub>100</sub>

Derajat polimerisasi pektin 100

BM= 17600 kg/kmol

Unsur	Jumlah	Dp	$\Delta E$	Total	Satuan
C	6	100	10,89	6534,00	kJ/kmol K
H	8	100	7,56	6048,00	kJ/kmol K
O	6	100	13,42	8052,00	kJ/kmol K
TOTAL				20634,00	kJ/kmol K
TOTAL				4931,53	kkal/kmol K
TOTAL				0,280	kkal/kg $^{\circ}$ C

## 5. Lilin

BM= 816 kg/kmol

Unsur	Jumlah	$\Delta E$	Total	Satuan
C	56	10,89	609,84	kJ/kmol K
H	112	7,56	846,72	kJ/kmol K
O	2	13,42	26,84	kJ/kmol K
TOTAL			1483,4	kJ/kmol K
TOTAL			354,533	kkal/kmol K
TOTAL			0,434	kkal/kg $^{\circ}$ C

6. Aceto Ligninat  $\{(C_{10}H_{11}O_3)_{85} \cdot 85CH_3CO\}$

Derajat polimerisasinya= 85

1 kJ= 0,239 kkal

BM= 18870 kg/kmol

Unsur	Jumlah	Dp	$\Delta E$	Total	Satuan
C	12	85	10,89	11107,80	kJ/kmol K
H	14	85	7,56	8996,40	kJ/kmol K
O	4	85	13,42	4562,80	kJ/kmol K
TOTAL				24667,00	kJ/kmol K
TOTAL				5895,41	kkal/kmol K
TOTAL				0,312	kkal/kg $^{\circ}$ C

7.  $(C_{10}H_{12}O_4)_{85}$

Derajat polimerisasinya= 85

1 kJ= 0,239 kkal

BM= 16660 kg/kmol

Unsur	Jumlah	Dp	$\Delta E$	Total	Satuan
C	10	85	10,89	9256,50	kJ/kmol K
H	12	85	7,56	7711,20	kJ/kmol K
O	4	85	13,42	4562,80	kJ/kmol K
TOTAL				21530,50	kJ/kmol K
TOTAL				5145,79	kkal/kmol K
TOTAL				0,309	kkal/kg $^{\circ}$ C

8.  $(C_{10}H_{11}O_4NaS)_{85}$

BM= 21250 kg/kmol

Unsur	Jumlah	Dp	$\Delta E$	Total	Satuan
C	10	85	10,89	9256,50	kJ/kmol K
H	11	85	7,56	7068,60	kJ/kmol K
O	4	85	13,42	4562,80	kJ/kmol K
Na	1	85	26,19	2226,15	kJ/kmol K
S	1	85	12,36	1050,60	kJ/kmol K
TOTAL				24164,65	kJ/kmol K
TOTAL				5775,35	kkal/kmol K
TOTAL				0,272	kkal/kg $^{\circ}$ C

9.  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 

$$\text{BM} = 174 \text{ kg/kmol}$$

Unsur	Jumlah	$\Delta E$	Total	Satuan
Na	2	26,19	52,38	kJ/kmol K
S	2	12,36	24,72	kJ/kmol K
O	4	13,42	53,68	kJ/kmol K
			130,78	kJ/kmol K
TOTAL			31,256	kkal/kmol K
			0,180	kkal/kg°C

10.  $\text{NaHSO}_3$ 

$$\text{BM} = 104 \text{ kg/kmol}$$

Unsur	Jumlah	$\Delta E$	Total	Satuan
Na	1	26,19	26,19	kJ/kmol K
H	1	7,56	7,56	kJ/kmol K
S	1	12,36	12,36	kJ/kmol K
O	3	13,42	40,26	kJ/kmol K
			86,37	kkal/kmol K
TOTAL			20,642	kkal/kmol K
			0,198	kkal/kg°C

11.  $\text{H}_2\text{O}_2$ 

$$\text{BM} = 34 \text{ kg/kmol}$$

Unsur	Jumlah	$\Delta E$	Total	Satuan
H	2	7,56	15,12	kJ/kmol K
O	2	13,42	26,84	kkal/kmol K
			41,96	kkal/kmol K
TOTAL			10,028	kkal/kmol K
			0,295	kkal/kg°C

12.  $\text{CH}_3\text{COOH}$ 

$$\text{Cp CH}_3\text{COOH } 60\% = 0,62 \text{ kkal/kg°C} \quad (\text{Table 2-201 Perry, 2008})$$

13. Cp H <sub>2</sub> O pada 30°C	=	1,001	kkal/kg°C (Hougen, 1947)
pada 70°C	=	1,004	kkal/kg°C
pada 75°C	=	1,004	kkal/kg°C
pada 100°C	=	1,006	kkal/kg°C
pada 170°C	=	1,023	kkal/kg°C

Table 2-338 Atomic Group Contribution to Estimate DH<sup>o</sup>f 298 (Perry, 7ed)

No.	Gugus Fungsi	Hf
1	—CH <sub>3</sub>	-76,45
2	—CH <sub>2</sub> —	-26,8
3	 —CH	8,67
4	=CH—	37,97
5	—C— 	79,72
6	—O—	-138,16
7	=C<	83,99
8	—CO—	-33,22
9	—OH	-208,04
10	—COO—	-337,92
11	—COOH	-426,27
12	—Na	0
13	—S	0

Berikut adalah data entalpi pembentukan ( $\Delta H^o_f$ ) :

1. Lignin (C<sub>10</sub>H<sub>12</sub>O<sub>3</sub>)<sub>n</sub> = (C<sub>10</sub>H<sub>12</sub>O<sub>3</sub>)<sub>85</sub>

**Tabel B.3** Perhitungan  $\Delta H^o_f$  Lignin

Gugus fungsi	n	Dp	Hf (kJ/kmol)	Total Hf kJ/kmol
—OH	3	85	-208,04	-53.050,20
—C— 	6	85	79,72	40.657,20

$-\text{CH}_2-$	2	85	-26,8	-4.556,00
$\parallel$ $-\text{CH}$	9	85	8,67	6.632,55
$-\text{CH}_3$	2	85	-76,45	-12.996,50
$-\text{CO}-$	2	85	-33,22	-5.647,40
$-\text{O}-$	3	85	-138,16	-35.230,80
TOTAL			kJ/kmol	-64.191,15
			kkal/kmol	-15.341,68

2. Aceto-ligninat  $\{(C_{10}H_{11}O_3)_{85} - 85CH_3CO\}$

**Tabel B.4** Perhitungan  $\Delta H^\circ_f$  Aceto-ligninat

Gugus fungsi	n	Dp	Hf (kJ/kmol)	Total Hf kJ/kmol
$-\text{OH}$	2	85	-208,04	-35.366,80
$=\text{C}<$	5	85	83,99	35.695,75
$-\text{CH}_2-$	2	85	-26,8	-4.556,00
$\parallel$ $-\text{CH}$	39	85	8,67	28.741,05
$-\text{CH}_3$	2	85	-76,45	-12.996,50
$-\text{CO}-$	3	85	-33,22	-8.471,10
$-\text{O}-$	3	85	-138,16	-35.230,80
$-\text{CH}_3$	1	85	-76,45	-6.498,25
$-\text{CO}-$	1	85	-33,22	-2.823,70
kJ/kmol			-41.506,35	
			kkal/kmol	-9.920,02

3.  $(C_{10}H_{12}O_4)_{85}$

**Tabel B.5** Perhitungan  $\Delta H^\circ_f C_{10}H_{12}O_4$

Gugus fungsi	n	Dp	Hf (kJ/kmol)	Total Hf kJ/kmol
$-\text{OH}-$	2	85	-208,04	-35.366,80
$=\text{C}<$	6	85	83,99	42.834,90
$-\text{CH}_2-$	2	85	-26,8	-4.556,00

=CH-	9	85	37,97	29.047,05
-CH <sub>3</sub>	2	85	-76,45	-12.996,50
-CO-	2	85	-33,22	-5.647,40
-O-	4	85	-138,16	-46.974,40
TOTAL			kJ/kmol	-33.659,15
			kkal/kmol	-8.044,54

4. (C<sub>10</sub>H<sub>11</sub>O<sub>4</sub>NaS)<sub>85</sub>**Tabel B.6** Perhitungan ΔH<sup>0</sup>f (C<sub>10</sub>H<sub>11</sub>O<sub>4</sub>NaS)<sub>85</sub>

Gugus fungsi	n	Dp	Hf (kJ/kmol)	Total Hf kJ/kmol
-OH	3	85	-208,04	-53050,20
=C<	6	85	83,99	42834,90
-CH <sub>2</sub> -	1	85	-26,80	-2278,00
=CH-	10	85	37,97	32274,50
-CH <sub>3</sub>	2	85	-76,45	-12996,50
-CO-	2	85	-33,22	-5647,40
-O-	4	85	-138,16	-46974,40
-Na	0	85	0,00	0,00
-S	0	85	0,00	0,00
TOTAL			kJ/kmol	-45837,10
			kkal/kmol	-10955,07

5. H<sub>2</sub>O

$$H_f = -68.317,40 \text{ kkal/kmol} \quad (Himmelblau, 5Ed)$$

6. Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

$$H_f = -141.880,00 \text{ kkal/kmol}$$

7. NaHSO<sub>3</sub>

$$H_f = -183.133,00 \text{ kkal/kmol}$$



$H_f = -116.205 \text{ kkal/kmol}$  (*Himmelblau, 5Ed*)



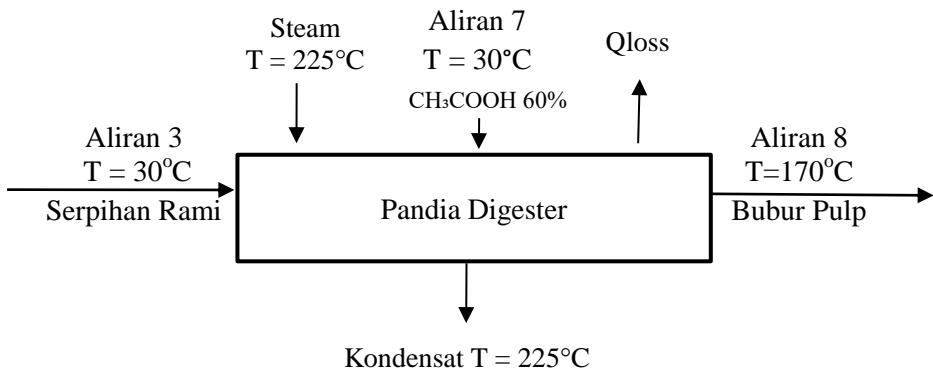
$H_f = -45,80 \text{ kkal/kmol}$  (*Table 2-178, Perry 8Ed*)



$H_f = -1.425,97 \text{ kkal/kmol}$

## 1. Pandia Digester (R-220)

Fungsi : mengubah potongan rami menjadi bubur pulp dan terjadi proses delignifikasi menggunakan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  60% dengan suhu  $T = 170^\circ\text{C}$



Neraca Panas:

$$(m.C_p.\Delta T)_3 + (m.C_p.\Delta T)_7 + Q_{\text{supply}} = (m.C_p.\Delta T)_{17} + Q_{\text{loss}}$$

<b>MASUK</b>				
<u>Aliran 3</u>				
<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b>ΔT</b>	<b>H = m.Cp.ΔT</b>
Selulosa	342.932,91	0,320	5	548.692,65
Hemiselulosa	64.385,54	0,307	5	98.807,08
Pektin	8.676,07	0,280	5	12.155,18
Lignin	2.739,81	0,319	5	4.363,25
Wax	1.369,91	0,434	5	2.975,96
Air pada serat	36.530,80	1,001	5	182.847,41
<b>Jumlah</b>				<b>849.841,53</b>
<u>Aliran 7</u>				
CH <sub>3</sub> COOH	547.962,04	0,620	5	1.698.682,32
Air	365.308,03	1,001	5	1.828.474,11
<b>Jumlah</b>				<b>3.527.156,43</b>
<b>TOTAL</b>				<b>4.376.997,96</b>

Reaksi yang terjadi:



M =	0,18	9.132,70		
R =	0,16	13,70	0,161	13,70
S =	0,02	9.119,00	0,161	13,70

$\Delta H_{25}$

<b>Komponen</b>	<b>Koefisien</b>	<b>mol (kmol)</b>	<b><math>\Delta H_f</math> (kkal/kmol)</b>	<b><math>\Delta H_{25} = n.kmol.\Delta H_f</math> (kkal)</b>
Lignin	1	0,16	-15.341,68	-2.472,55
Air	85	13,70	-116.204,59	-135.310.869,66
(C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>85</sub> -85CH <sub>3</sub> CO	1	0,16	-9.920,02	-1.598,76
H <sub>2</sub> O	85	13,70	-68.317,40	-79.550.101,19
$\Delta H_{25} = \text{produk} - \text{reaktan}$				<b>55.761.642,25</b>

<b>KELUAR</b>				
<u>Aliran 8</u>				
<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b>ΔT</b>	<b>H = m.Cp.ΔT</b>
Serat:				
Selulosa	342.932,91	0,320	145	15.912.086,97
Hemiselulosa	64.385,54	0,307	145	2.865.405,38
Pektin	4.338,03	0,280	145	176.250,15
Lignin Sisa	273,98	0,319	145	12.653,42
Wax	684,95	0,434	145	43.151,36
Air pada serat	246,58	1,023	145	36.559,00
Cairan:				
CH <sub>3</sub> COOH sisa	547.140,09	0,620	145	49.187.894,54
Pektin Terlarut	4.338,03	0,280	145	176.250,15
Aseto Liginat	3.041,19	0,312	145	137.769,73
Wax terlarut	684,95	0,434	145	43.151,36
Air Sisa	401.838,83	1,023	145	59.577.629,22
<b>TOTAL</b>				<b>128.168.801,28</b>

## Steam Table Geancoplis

<b>T Steam (°C)</b>	<b>h<sub>v</sub></b>	<b>h<sub>L</sub></b>	<b>ΔH (kJ/kg)</b>	<b>ΔH (kkal/kg)</b>
225	2803,3	966,78	1836,52	438,93

$$\begin{aligned} Q_{\text{supply}} &= m.\text{steam} \times \lambda \\ &= 438,93 \times m.\text{steam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{loss}} &= 5\% \times Q_{\text{supply}} \\ &= 5\% \times 438,93 \text{ m.steam} \\ &= 22 \text{ m.steam} \end{aligned}$$

Neraca Panas:

$$\begin{aligned} (H_3 + H_7) + Q_{\text{supply}} + \Delta H \text{ reaksi} &= H_8 + Q_{\text{loss}} \\ 4.376.997,96 + 438,93 \text{ m.steam} &= 128.168.801,28 + 22 \text{ m.steam} \\ + 55.761.642,25 & \\ 416,98 \text{ m.steam} &= 68.030.161,06 \\ \text{m.steam} &= 163.148,97 \text{ kg} \end{aligned}$$

maka:

$$Q_{\text{supply}} = 71.610.695,86 \text{ kkal}$$

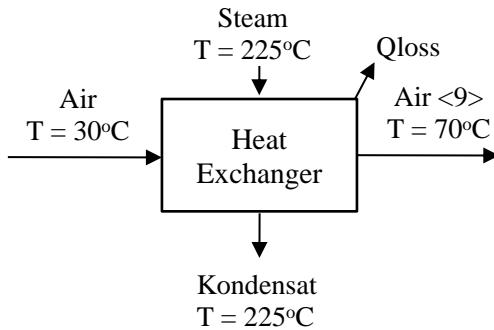
$$Q_{\text{loss}} = 3.580.534,79 \text{ kkal}$$

**Tabel B.7** Neraca Panas pada Pandia Digester

<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
H <sub>3</sub>	849.841,5	H <sub>8</sub>	128.168.801,3
H <sub>7</sub>	3.527.156,4	Q <sub>loss</sub>	3.580.534,8
ΔH reaksi	55.761.642,25		
Q <sub>supply</sub>	71.610.695,9		
<b>TOTAL</b>	<b>131.749.336,1</b>	<b>TOTAL</b>	<b>131.749.336,1</b>

## 2. Heat Exchanger I (E-232)

Fungsi: sebagai alat perpindahan panas



Air Masuk

<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b>ΔT</b>	<b>H = m.Cp.ΔT</b>
Air	3.424.762,7	1,001	5	17.141.944,79
<b>TOTAL</b>				<b>17.141.944,79</b>

Air Keluar

<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b>ΔT</b>	<b>H = m.Cp.ΔT</b>
Air<9>	3.424.762,7	1,004	45	154.712.649,39
<b>TOTAL</b>				<b>154.712.649,39</b>

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{supply}} &= m_{\text{steam}} \times \lambda \\
 &= 438,93 \times m_{\text{steam}} \\
 Q_{\text{loss}} &= 5\% \times Q_{\text{supply}} \\
 &= 5\% \times 438,93 \text{ m.steam} \\
 &= 22 \text{ m.steam}
 \end{aligned}$$

Neraca Panas:

$$\begin{aligned}
 H_{\text{in}} + Q_{\text{supply}} &= H_{\text{out}} + Q_{\text{loss}} \\
 17.141.944,79 + 438,93 \text{ m.steam} &= 154.712.649,39 + 22 \text{ m.steam} \\
 416,98 \text{ m.steam} &= 137.570.704,61 \\
 \text{m.steam} &= 329.920,11 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

maka:

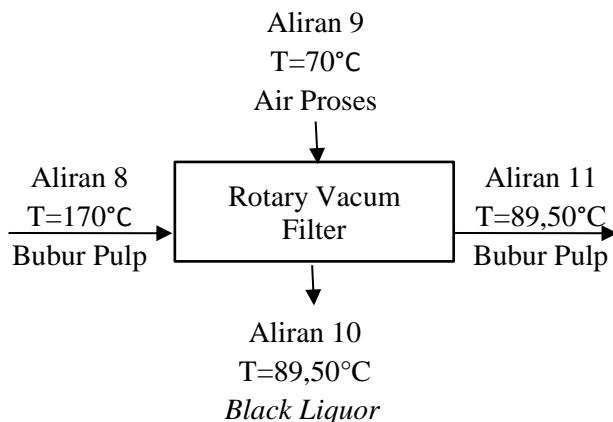
$$\begin{aligned}
 Q_{\text{supply}} &= 144.811.268,01 \text{ kkal} \\
 Q_{\text{loss}} &= 7.240.563,40 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

**Tabel B.8** Neraca Panas pada Heat Exchanger I

<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
$H_{\text{in}}$	17.141.944,79	$H_{\text{out}}$	154.712.649,39
$Q_{\text{supply}}$	144.811.268,01	$Q_{\text{loss}}$	7.240.563,40
<b>TOTAL</b>	<b>161.953.212,79</b>	<b>TOTAL</b>	<b>161.953.212,79</b>

#### 4. Rotary Vacum Filter I (H-230)

Fungsi: memisahkan dan mencuci bubur pulp dari black liquor



Neraca Panas:

$$(m.Cp.\Delta T)_8 + (m.Cp.\Delta T)_9 = (m.Cp.\Delta T)_{10} + (m.Cp.\Delta T)_{11}$$

<b>MASUK</b>				
<b>Aliran 8</b>				
<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b>ΔT</b>	<b>H = m.Cp.ΔT</b>
Serat:				
Selulosa	342.932,91	0,320	145	15.912.086,97
Hemiselulosa	64.385,54	0,307	145	2.865.405,38
Pektin	4.338,03	0,280	145	176.250,15
Lignin Sisa	273,98	0,319	145	12.653,42
Wax	684,95	0,434	145	43.151,36
Air pada serat	246,58	1,023	145	36.559,00
Cairan:				
CH <sub>3</sub> COOH sisa	547.140,09	0,620	145	49.187.894,54
Pektin Terlarut	4.338,03	0,280	145	176.250,15
Aseto Ligninat	3.041,19	0,312	145	137.769,73
Wax terlarut	684,95	0,434	145	43.151,36
Air Sisa	401.838,83	1,023	145	59.577.629,22
<b>Jumlah</b>				<b>128.168.801,28</b>

**Aliran 9**

<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b>ΔT</b>	<b>H = m.Cp.ΔT</b>
Air Proses	3.424.762,74	1,004	45	154.712.649,39
<b>Jumlah</b>				<b>154.712.649,39</b>
<b>TOTAL</b>				<b>282.881.450,67</b>

**KELUAR****Aliran 11**

<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b>ΔT</b>	<b>H= m.Cp.ΔT</b>
Serat:				
Selulosa	291.492,97	0,320	T <sub>2</sub> -25	93.277,75
Hemiselulosa	54.727,71	0,307	T <sub>2</sub> -25	16.797,20
Pektin	3.687,33	0,280	T <sub>2</sub> -25	1.033,19
Lignin Sisa	232,88	0,319	T <sub>2</sub> -25	74,18
Wax	582,21	0,434	T <sub>2</sub> -25	252,96
Air pada serat	36,99	1,004	T <sub>2</sub> -25	37,14
Cairan:				
CH <sub>3</sub> COOH sisa	82.071,01	0,620	T <sub>2</sub> -25	50.884,03
Pektin Terlarut	650,70	0,280	T <sub>2</sub> -25	182,33
Aseto Liginat	456,18	0,312	T <sub>2</sub> -25	142,52
Wax terlarut	102,74	0,434	T <sub>2</sub> -25	44,64
Air Sisa	573.990,23	1,023	T <sub>2</sub> -25	586.905,02
<b>Jumlah</b>				<b>749.630,95</b>

**Aliran 10**

<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b>ΔT</b>	<b>H = m.Cp.ΔT</b>
Serat:				
Selulosa	51.439,94	0,320	T <sub>2</sub> -25	16.460,78
Hemiselulosa	9.657,83	0,307	T <sub>2</sub> -25	2.964,21
Pektin	650,70	0,280	T <sub>2</sub> -25	182,33
Lignin Sisa	41,10	0,319	T <sub>2</sub> -25	13,09
Wax	102,74	0,434	T <sub>2</sub> -25	44,64
CH <sub>3</sub> COOH sisa	465.069,08	0,620	T <sub>2</sub> -25	288.342,83
Pektin Terlarut	3.687,33	0,280	T <sub>2</sub> -25	1.033,19
Aseto Liginat	2.585,01	0,312	T <sub>2</sub> -25	807,62
Wax terlarut	582,21	0,434	T <sub>2</sub> -25	252,96
Air Sisa	3.252.820,93	1,023	T <sub>2</sub> -25	3.326.009,40
<b>Jumlah</b>				<b>3.636.111,04</b>
<b>Total</b>				<b>4.385.741,99</b>

## Neraca Panas

$$Q_{in} = Q_{out}$$

$$282.881.450,67 = 4.385.741,99 (T_2 - 25)$$

$$= 4.385.741,99 T_2 - 109.643.549,8$$

$$392.525.000,45 = 4.385.741,99 T_2$$

$$T_2 = 89,5^{\circ}\text{C}$$

$$H_{11} = 749.630,95 (T_2 - 25)$$

$$= 48.351.383,14 \text{ kkal}$$

$$H_{10} = 3.636.111,04 (T_2 - 25)$$

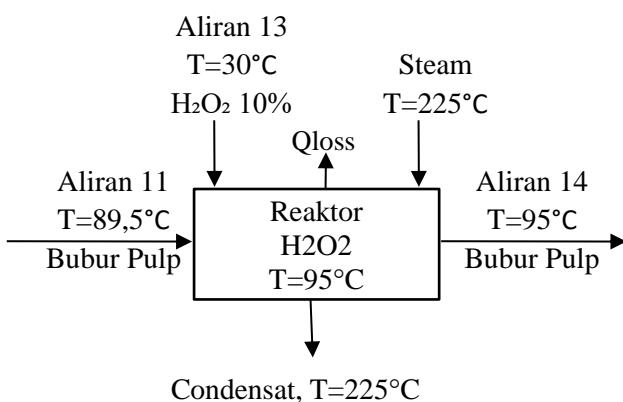
$$= 234.530.067,53 \text{ kkal}$$

**Tabel B.9** Neraca Panas pada Rotary Vacum Filter I

<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
H <sub>8</sub>	128.168.801,28	Q <sub>10</sub>	234.530.067,53
Q <sub>9</sub>	154.712.649,39	Q <sub>11</sub>	48.351.383,14
<b>TOTAL</b>	<b>282.881.450,67</b>	<b>TOTAL</b>	<b>282.881.450,67</b>

**5. Reaktor H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (R-310)**

Fungsi : meningkatkan *brightness* pulp

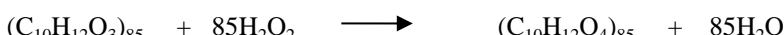


## Neraca Panas:

$$(m.Cp.\Delta T)_{11} + (m.Cp.\Delta T)_{13} + Q_{supply} = (m.Cp.\Delta T)_{14} + Q_{loss}$$

<b>MASUK</b>				
<b>Aliran 11</b>				
<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b>ΔT</b>	<b>H = m.Cp.ΔT</b>
Serat:				
Selulosa	291.493	0,320	65	6.016.438,18
Hemiselulosa	54.728	0,307	65	1.083.423,84
Pektin	3.687	0,280	65	66.641,05
Lignin Sisa	233	0,319	65	4.784,32
Wax	582	0,434	65	16.315,74
Air pada serat	37	1,004	65	2.395,80
Cairan:				
CH <sub>3</sub> COOH sisa	82.071	0,620	65	3.282.032,53
Pektin Terlarut	651	0,280	65	11.760,18
Aseto Liginat	456	0,312	65	9.192,60
Wax terlarut	103	0,434	65	2.879,25
Air Sisa	573.990	1,023	65	37.855.519,64
<b>Jumlah</b>				<b>48.351.383,14</b>
<b>Aliran 13</b>				
<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b>ΔT</b>	<b>H = m.Cp.ΔT</b>
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3.024,09	0,295	5	4.459,84
Air	27.216,84	1,001	5	136.228,27
<b>Jumlah</b>				<b>140.688,11</b>
<b>TOTAL</b>				<b>48.492.071,25</b>

Reaksi yang terjadi:



$$M = 0,015 \quad 88,944$$

$$R = 0,006 \quad 0,518 \quad 0,006 \quad 0,518$$

$$S = 0,009 \quad 88,426 \quad 0,006 \quad 0,518$$

$\Delta H_{25}$ 

Komponen	Koefisien	mol (kmol)	$\Delta H_f$ (kkal/kmol)	$\Delta H_{25} = n \cdot kmol \cdot \Delta H_f$ (kkal)
$(C_{10}H_{12}O_3)_{85}$	1	0,006	-15.341,68	-93,41
$H_2O_2$	85	0,518	-45,80	-2.014,70
$(C_{10}H_{12}O_4)_{85}$	1	0,006	-1.425,97	-8,68
$H_2O$	85	0,518	-68.317,40	-3.005.226,04
$\Delta H_{25} = \text{produk} - \text{reaktan}$				3.007.342,84

**KELUAR****Aliran 14**

Komponen	Massa	Cp	$\Delta T$	$H = m \cdot Cp \cdot \Delta T$
Serat:				
Selulosa	291.492,97	0,320	70	6.529.442,58
Hemiselulosa	54.727,71	0,307	70	1.175.804,28
Pektin	1.474,93	0,280	70	28.929,33
Lignin Sisa	139,73	0,319	70	3.115,36
Wax	232,88	0,434	70	7.082,78
Air pada serat	9,32	1,004	70	654,84
Cairan:				
$CH_3COOH$ sisa	82.071,01	0,620	70	3.561.882,02
$H_2O_2$	3.006,50	0,295	70	62.074,51
Pektin terlarut	2.863,10	0,280	70	56.156,94
Aseto Ligninat	456,18	0,312	70	9.976,43
Wax terlarut	452,07	0,434	70	13.748,92
$C_{10}H_{12}O_4$	101,43	0,309	70	2.193,10
Air Sisa	601.244,06	1,004	70	42.265.335,26
<b>TOTAL</b>				<b>53.716.396,35</b>

$$\begin{aligned} Q_{\text{supply}} &= m \cdot \text{steam} \times \lambda \\ &= 438,93 \times m \cdot \text{steam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{loss}} &= 5\% \times Q_{\text{supply}} \\
 &= 5\% \times 438,93 \text{ m.steam} \\
 &= 22 \text{ m.steam}
 \end{aligned}$$

Neraca Panas:

$$\begin{aligned}
 H_{11} + H_{13} + \Delta H_{\text{reaksi}} + Q_{\text{supply}} &= H_{14} + Q_{\text{loss}} \\
 48.351.383,14 + 140.688,11 &= 53.716.396,347 + 22 \text{ m.steam} \\
 + 3.007.342,84 + 438,93 \text{ m.steam} &= \\
 416,98 \text{ m.steam} &= 2.216.982,26 \\
 \text{m.steam} &= 5.316,74 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

maka:

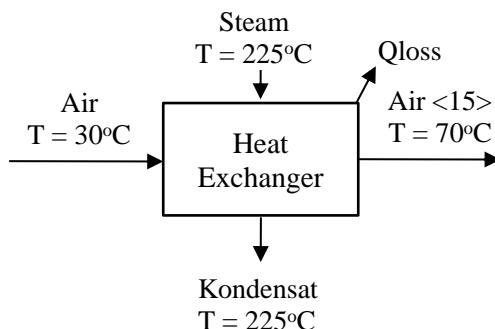
$$\begin{aligned}
 Q_{\text{supply}} &= 2.333.665,53 \text{ kkal} \\
 Q_{\text{loss}} &= 116.683,28 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

**Tabel B.10** Neraca Panas pada Reaktor  $\text{H}_2\text{O}_2$

<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
$H_{11}$	48.351.383,1	$H_{14}$	53.716.396,3
$H_{13}$	140.688,1	$Q_{\text{loss}}$	116.683,3
$\Delta H_{\text{reaksi}}$	3.007.342,84		
$Q_{\text{supply}}$	2.333.665,5		
<b>TOTAL</b>	<b>53.833.079,6</b>	<b>TOTAL</b>	<b>53.833.079,6</b>

## 6. Heat Exchanger II (E-322)

Fungsi: sebagai alat perpindahan panas



Air Masuk

<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b>ΔT</b>	<b>H = m.Cp.ΔT</b>
Air	2.595.679,7	1,001	5	12.992.140,510
<b>TOTAL</b>				<b>12.992.140,510</b>

Air Keluar

<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b>ΔT</b>	<b>H = m.Cp.ΔT</b>
Air<15>	2.595.679,7	1,004	45	117.259.068,606
<b>TOTAL</b>				<b>117.259.068,606</b>

$$\begin{aligned} Q_{\text{supply}} &= m_{\text{steam}} \times \lambda \\ &= 438,93 \times m_{\text{steam}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{loss}} &= 5\% \times Q_{\text{supply}} \\ &= 5\% \times 438,93 \text{ m.steam} \\ &= 22 \text{ m.steam} \end{aligned}$$

Neraca Panas:

$$\begin{aligned} Q_{\text{in}} + Q_{\text{supply}} &= Q_{\text{out}} + Q_{\text{loss}} \\ 12.992.140,51 + 438,93 \text{ m.steam} &= 117.259.068,61 + 22 \text{ m.steam} \\ 416,98 \text{ m.steam} &= 104.266.928,10 \\ \text{m.steam} &= 250.051,47 \end{aligned}$$

maka:

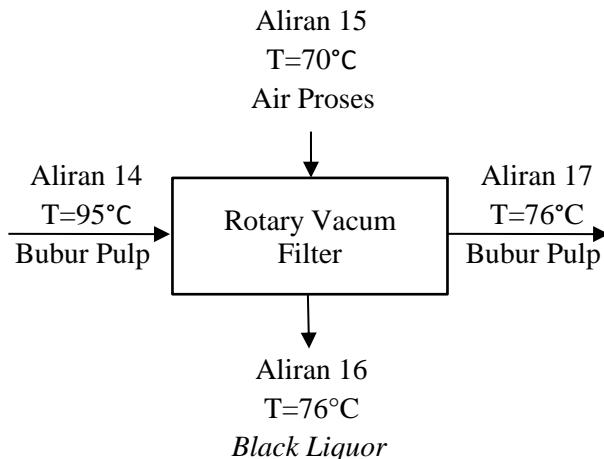
$$\begin{aligned} Q_{\text{supply}} &= 109.754.661,2 \text{ kkal} \\ Q_{\text{loss}} &= 5.487.733,1 \text{ kkal} \end{aligned}$$

Tabel B.11 Neraca Panas pada Heat Exchanger II

<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
H <sub>in</sub>	12.992.140,51	H <sub>out</sub>	117.259.068,61
Q <sub>supply</sub>	109.754.661,15	Q <sub>loss</sub>	5.487.733,06
<b>TOTAL</b>	<b>122.746.801,66</b>	<b>TOTAL</b>	<b>122.746.801,66</b>

## 7. Rotary Vacum Filter II (H-320)

Fungsi: memisahkan dan mencuci bubur pulp dari black liquor



Neraca Panas:

$$(m.Cp.\Delta T)_{14} + (m.Cp.\Delta T)_{15} = (m.Cp.\Delta T)_{16} + (m.Cp.\Delta T)_{17}$$

<b>MASUK</b>				
<b>Aliran 14</b>				
<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b>\Delta T</b>	<b>H = m.Cp.\Delta T</b>
Serat:				
Selulosa	291.492,97	0,320	70	6.529.442,58
Hemiselulosa	54.727,71	0,307	70	1.175.804,28
Pektin	1.474,93	0,280	70	28.929,33
Lignin Sisa	139,73	0,319	70	3.115,36
Wax	232,88	0,434	70	7.082,78
Air pada serat	9,32	1,004	70	654,84
Cairan:				
CH <sub>3</sub> COOH sisa	82.071,01	0,620	70	3.561.882,02
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3.006,50	0,295	70	62.074,51
Pektin terlarut	2.863,10	0,280	70	56.156,94
Aseto Ligninat	456,18	0,312	70	9.976,43
Wax terlarut	452,07	0,434	70	13.748,92
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	101,43	0,309	70	2.193,10
Air Sisa	601.244,06	1,004	70	42.265.335,26
<b>Jumlah</b>				<b>53.716.396,35</b>

<u>Aliran 15</u>				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	H = m.Cp.ΔT
Air proses	2.595.679,74	1,004	45	117.259.068,61
<b>Jumlah</b>				<b>117.259.068,61</b>
<b>TOTAL</b>				<b>170.975.464,95</b>

<b>KELUAR</b>				
<u>Aliran 17</u>	Massa	Cp	ΔT	H = m.Cp.ΔT
Serat:				
Selulosa	262.343,68	0,320	T <sub>2</sub> -25	83.949,98
Hemiselulosa	49.254,94	0,307	T <sub>2</sub> -25	15.117,48
Pektin	1.327,44	0,280	T <sub>2</sub> -25	371,95
Lignin Sisa	125,76	0,319	T <sub>2</sub> -25	40,05
Wax	209,60	0,434	T <sub>2</sub> -25	91,06
Air pada serat	0,93	1,004	T <sub>2</sub> -25	0,94
Cairan:				
CH <sub>3</sub> COOH sisa	8.207,10	0,620	T <sub>2</sub> -25	5.088,40
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	300,65	0,295	T <sub>2</sub> -25	88,68
Pektin terlarut	286,31	0,280	T <sub>2</sub> -25	80,22
Aseto Ligninat	45,62	0,312	T <sub>2</sub> -25	14,25
Wax terlarut	45,21	0,434	T <sub>2</sub> -25	19,64
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	10,14	0,309	T <sub>2</sub> -25	3,13
Air Sisa	319.692,38	1,004	T <sub>2</sub> -25	321.046,37
<b>Jumlah</b>				<b>425.912,16</b>

<b>Aliran 16</b>				
<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b>ΔT</b>	<b>H = m.Cp.ΔT</b>
Serat:				
Selulosa	29.149,30	0,320	T <sub>2</sub> -25	9.327,78
Hemiselulosa	5.472,77	0,307	T <sub>2</sub> -25	1.679,72
Pektin	2.724,28	0,280	T <sub>2</sub> -25	763,35
Lignin Sisa	13,97	0,319	T <sub>2</sub> -25	4,45
Wax	430,15	0,434	T <sub>2</sub> -25	186,89
Cairan:				
CH <sub>3</sub> COOH sisa	73.863,91	0,620	T <sub>2</sub> -25	45.795,63
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2.705,85	0,295	T <sub>2</sub> -25	798,10
Aseto Liginat	410,56	0,312	T <sub>2</sub> -25	128,27
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	91,29	0,309	T <sub>2</sub> -25	28,20
Air Sisa	2.877.239,80	1,004	T <sub>2</sub> -25	2.889.425,75
<b>Jumlah</b>				<b>2.948.138,13</b>
<b>Total</b>				<b>3.374.050,29</b>

Neraca Panas

$$Q_{in} = Q_{out}$$

$$\begin{aligned} 170.975.464,95 &= 3.374.050,29 \quad (T_2 - 25) \\ &= 3.374.050,29 \quad T_2 - 84.351.257,3 \\ 255.326.722,28 &= 3.374.050,29 \quad T_2 \\ T_2 &= 76 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

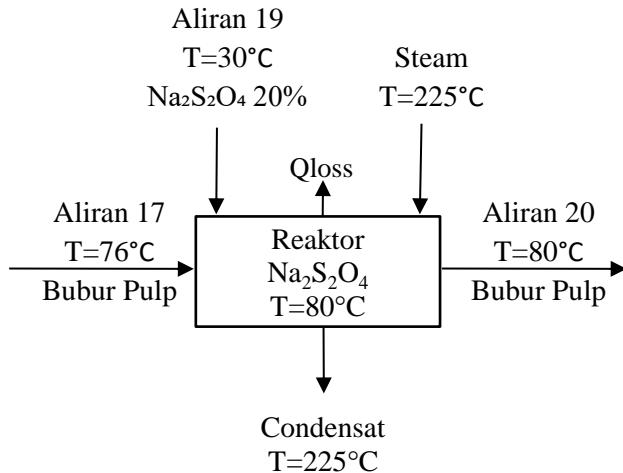
$$\begin{aligned} H_{17} &= 425.912,16 \quad (T_2 - 25) \\ &= 21.582.526,65 \\ H_{16} &= 2.948.138,13 \quad (T_2 - 25) \\ &= 149.392.938,31 \end{aligned}$$

**Tabel B.12** Neraca Panas pada Rotary Vacum Filter II

<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
H <sub>14</sub>	53.716.396,35	H <sub>16</sub>	149.392.938,31
H <sub>15</sub>	117.259.068,61	H <sub>17</sub>	21.582.526,65
<b>TOTAL</b>	<b>170.975.464,95</b>	<b>TOTAL</b>	<b>170.975.464,95</b>

## 8. Reaktor Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (R-330)

Fungsi : meningkatkan *brightness* pulp



Neraca Panas:

$$(m \cdot C_p \cdot \Delta T)_{17} + (m \cdot C_p \cdot \Delta T)_{19} + Q_{\text{supply}} = (m \cdot C_p \cdot \Delta T)_{20} + Q_{\text{loss}}$$

MASUK				
<u>Aliran 17</u>				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	H = m.Cp.ΔT
Serat:				
Selulosa	262.343,68	0,320	51	4.254.052,24
Hemiselulosa	49.254,94	0,307	51	766.058,17
Pektin	1.327,44	0,280	51	18.848,00
Lignin Sisa	125,76	0,319	51	2.029,71
Wax	209,60	0,434	51	4.614,56
Air pada serat	0,93	1,004	51	47,40
Cairan:				
CH <sub>3</sub> COOH sisa	8.207,10	0,620	51	257.847,98
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	300,65	0,295	51	4.493,63
Pektin terlarut	286,31	0,280	51	4.065,25

Aseto Ligninat	45,62	0,312	51	722,20
Wax terlarut	45,21	0,434	51	995,30
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	10,14	0,309	51	158,76
Air Sisa	319.692,38	1,004	51	16.268.593,45
<b>Jumlah</b>				<b>21.582.526,65</b>

**Aliran 19**

Komponen	Massa	Cp	ΔT	H = m.Cp.ΔT
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.283,70	0,180	5	1.152,98
Air	5.134,80	1,001	5	25.701,17
<b>Jumlah</b>				<b>26.854,16</b>
<b>TOTAL</b>				<b>21.609.380,81</b>

Reaksi yang terjadi:



$$\begin{array}{l}
 M = \frac{0,008}{0,003} \quad 7,378 \quad 18,046 \\
 R = \frac{0,003}{0,003} \quad 0,279 \quad 0,279 \quad 0,003 \quad 0,279 \quad 0,279 \\
 S = \frac{0,005}{0,005} \quad 7,098 \quad 18,046 \quad 0,003 \quad 0,279 \quad 0,279
 \end{array}$$

ΔH<sub>25</sub>

Komponen	Koefisien	mol (kmol)	ΔH <sub>f</sub> (kkal/kmol)	ΔH <sub>25</sub> = n.kmol.ΔH <sub>f</sub> (kkal)
(C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>85</sub>	1	0,003	-15.341,68	-50,44
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	85	0,279	-141.880,00	-3.370.239,42
H <sub>2</sub> O	85	0,279	-68.317,40	-1.622.822,06
(C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS) <sub>85</sub>	1	0,003	-10.955,07	-36,02
NaHSO <sub>3</sub>	85	0,279	-183.133,00	-4.350.169,55
H <sub>2</sub> O	85	0,279	-68.317,40	-1.622.822,06
ΔH <sub>25</sub> = produk - reaktan				979.915,71

<b>KELUAR</b>				
<b>Aliran 20</b>				
	<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b>ΔT</b>
Serat:				
Selulosa	262.343,68	0,320	55	4.617.248,68
Hemiselulosa	49.254,94	0,307	55	831.461,60
Pektin	530,98	0,280	55	8.182,87
Lignin Sisa	75,45	0,319	55	1.321,80
Wax	83,84	0,434	55	2.003,41
Air pada serat	5,03	1,004	55	277,84
Cairan:				
CH <sub>3</sub> COOH sisa	8.207,10	0,620	55	279.862,16
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.235,07	0,180	55	12.202,40
Pektin terlarut	1.082,77	0,280	55	16.686,63
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	300,65	0,295	55	4.877,28
Wax terlarut	170,96	0,434	55	4.085,39
C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	69,87	0,272	55	1.044,34
Aseto Liginat	45,62	0,312	55	783,86
NaHSO <sub>3</sub> (S)	29,06	0,198	55	317,28
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	10,14	0,309	55	172,31
Air	324.823,08	1,004	55	17.940.933,99
<b>TOTAL</b>				<b>23.721.461,87</b>

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{supply}} &= m_{\text{steam}} \times \lambda \\
 &= 438,93 \times m_{\text{steam}} \\
 Q_{\text{loss}} &= 5\% \times Q_{\text{supply}} \\
 &= 5\% \times 438,93 \text{ m.steam} \\
 &= 22 \text{ m.steam}
 \end{aligned}$$

Neraca Panas:

$$\begin{aligned}
 H_{17} + H_{19} + \Delta H \text{ reaksi} + Q_{\text{supply}} &= H_{20} + Q_{\text{loss}} \\
 21.582.526,65 + 26.854,16 &= 23.721.461,868 + 22 \text{ m.steam} \\
 + 979.915,71 + 438,93 \text{ m.steam} &= \\
 416,98 \text{ m.steam} &= 1.132.165,356 \\
 \text{m.steam} &= 2.715,14 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

maka:

$$Q_{\text{supply}} = 1.191.753,0 \text{ kkal}$$

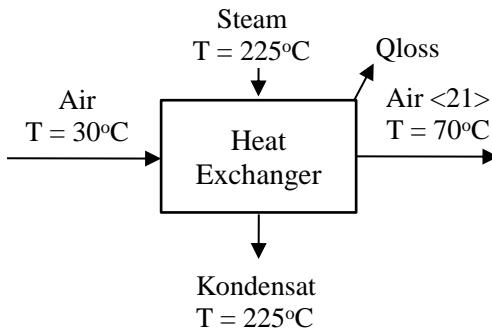
$$Q_{\text{loss}} = 59.587,7 \text{ kkal}$$

**Tabel B.13** Neraca Panas pada Reaktor  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$

<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
$H_{17}$	21.582.526,65	$H_{20}$	23.721.461,87
$H_{19}$	26.854,16	$Q_{\text{loss}}$	59.587,65
$\Delta H$ reaksi	979.915,71		
$Q_{\text{supply}}$	1.191.753,01		
<b>TOTAL</b>	<b>23.781.049,52</b>	<b>TOTAL</b>	<b>23.781.049,52</b>

## 9. Heat Exchanger III (E-342)

Fungsi: sebagai alat perpindahan panas



Air Masuk

<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b><math>\Delta T</math></b>	<b><math>H = m.Cp.\Delta T</math></b>
Air	1.620.670,6	1,001	5	8.111.933,04
<b>TOTAL</b>				<b>8.111.933,04</b>

Air Keluar

<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b><math>\Delta T</math></b>	<b><math>H = m.Cp.\Delta T</math></b>
Air<21>	1.620.670,6	1,004	45	73.213.317,85
<b>TOTAL</b>				<b>73.213.317,85</b>

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{supply}} &= m_{\text{steam}} \times \lambda \\
 &= 438,93 \times m_{\text{steam}} \\
 Q_{\text{loss}} &= 5\% \times Q_{\text{supply}} \\
 &= 5\% \times 438,93 \text{ m.steam} \\
 &= 22 \text{ m.steam}
 \end{aligned}$$

Neraca Panas:

$$\begin{aligned}
 H_{\text{in}} + Q_{\text{supply}} &= H_{\text{out}} + Q_{\text{loss}} \\
 8.111.933,04 + 438,93 \text{ m.steam} &= 73.213.317,85 + 22 \text{ m.steam} \\
 416,98 \text{ m.steam} &= 65.101.384,81 \\
 \text{m.steam} &= 156.125,22 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

maka:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{supply}} &= 68.527.773,5 \text{ kkal} \\
 Q_{\text{loss}} &= 3.426.388,7 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

**Tabel B.14** Neraca Panas pada Heat Exchanger III

<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
Hin	8.111.933,04	Hout	73.213.317,85
Qsupply	68.527.773,49	Qloss	3.426.388,67
<b>TOTAL</b>	<b>76.639.706,53</b>	<b>TOTAL</b>	<b>76.639.706,53</b>

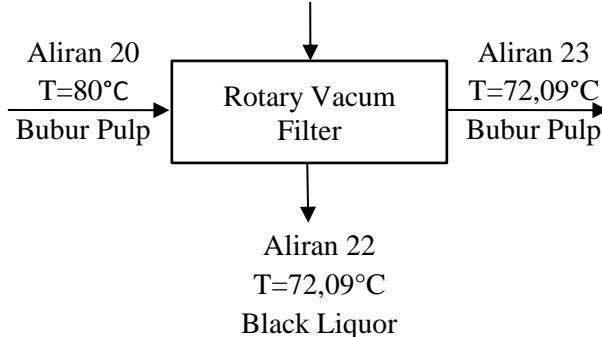
## 10. Rotary Vacum Filter III (H-340)

Fungsi: memisahkan dan mencuci bubur pulp dari black liquor

Aliran 21

T=70°C

Air Proses



Neraca Panas:

$$(m.Cp.\Delta T)_{20} + (m.Cp.\Delta T)_{21} = (m.Cp.\Delta T)_{22} + (m.Cp.\Delta T)_{23}$$

<b>MASUK</b>				
<b>Aliran 20</b>	<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b>ΔT</b>
Serat:				
Selulosa	262.343,68	0,320	55	4.617.248,68
Hemiselulosa	49.254,94	0,307	55	831.461,60
Pektin	530,98	0,280	55	8.182,87
Lignin Sisa	75,45	0,319	55	1.321,80
Wax	83,84	0,434	55	2.003,41
Air pada serat	5,03	1,004	55	277,84
Cairan:				
CH <sub>3</sub> COOH sisa	8.207,10	0,620	55	279.862,16
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.235,07	0,180	55	12.202,40
Pektin terlarut	1.082,77	0,280	55	16.686,63
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	300,65	0,295	55	4.877,28
Wax terlarut	170,96	0,434	55	4.085,39
C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	69,87	0,272	55	1.044,34
Aseto Ligninat	45,62	0,312	55	783,86
NaHSO <sub>3</sub> (S)	29,06	0,198	55	317,28
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	10,14	0,309	55	172,31
Air	324.823,08	1,004	55	17.940.933,99
<b>Jumlah</b>				<b>23.721.461,87</b>

<b>Aliran 47</b>	<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b>ΔT</b>	<b>H= m.Cp.ΔT</b>
Air proses	1.620.671	1,004	45	73.239.057,92	
	<b>Jumlah</b>				<b>73.239.057,92</b>
	<b>TOTAL</b>				<b>96.960.519,78</b>

**KELUAR****Aliran 23**

<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b>ΔT</b>	<b>H = m.Cp.ΔT</b>
Serat:				
Selulosa	241.356,18	0,320	T <sub>2</sub> -25	77.233,98
Hemiselulosa	45.314,54	0,307	T <sub>2</sub> -25	13.908,08
Pektin	488,50	0,280	T <sub>2</sub> -25	136,88
Lignin Sisa	69,42	0,319	T <sub>2</sub> -25	22,11
Wax	77,13	0,434	T <sub>2</sub> -25	33,51
Air pada serat	0,40	1,004	T <sub>2</sub> -25	0,40
Cairan:				
CH <sub>3</sub> COOH sisa	656,57	0,620	T <sub>2</sub> -25	407,07
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	98,81	0,180	T <sub>2</sub> -25	17,75
Pektin terlarut	86,62	0,280	T <sub>2</sub> -25	24,27
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	24,05	0,295	T <sub>2</sub> -25	7,09
Wax terlarut	13,68	0,434	T <sub>2</sub> -25	5,94
C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	5,59	0,272	T <sub>2</sub> -25	1,52
Aseto Ligninat	3,65	0,312	T <sub>2</sub> -25	1,14
NaHSO <sub>3</sub> (S)	2,33	0,198	T <sub>2</sub> -25	0,46
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	0,81	0,309	T <sub>2</sub> -25	0,25
Air	155.639,49	1,004	T <sub>2</sub> -25	156.298,67
<b>Jumlah</b>				<b>248.099,14</b>

**Aliran 22**

<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b>ΔT</b>	<b>Q = m.Cp.ΔT</b>
Serat:				
Selulosa	20.987,49	0,320	T <sub>2</sub> -25	6.716,00
Hemiselulosa	3.940,40	0,307	T <sub>2</sub> -25	1.209,40
Pektin	42,48	0,280	T <sub>2</sub> -25	11,90
Lignin Sisa	6,04	0,319	T <sub>2</sub> -25	1,92
Wax	6,71	0,434	T <sub>2</sub> -25	2,91
Cairan:				
CH <sub>3</sub> COOH sisa	7.550,53	0,620	T <sub>2</sub> -25	4.681,33

Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.136,27	0,180	T <sub>2</sub> -25	204,11
Pektin terlarut	996,15	0,280	T <sub>2</sub> -25	279,12
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	276,60	0,295	T <sub>2</sub> -25	81,58
Wax terlarut	157,29	0,434	T <sub>2</sub> -25	68,34
C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	64,28	0,272	T <sub>2</sub> -25	17,47
Aseto Liginat	41,97	0,312	T <sub>2</sub> -25	13,11
NaHSO <sub>3</sub> (S)	26,74	0,198	T <sub>2</sub> -25	5,31
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	9,33	0,309	T <sub>2</sub> -25	2,88
Air	1.789.858,82	1,004	T <sub>2</sub> -25	1.797.439,39
<b>Jumlah</b>				<b>1.810.734,79</b>
<b>Total</b>				<b>2.058.833,93</b>

### Neraca Panas

$$Q_{in} = Q_{out}$$

$$\begin{aligned} 96.960.519,78 &= 2.058.833,93 \text{ (T}_2 - 25) \\ &= 2.058.833,93 \text{ T}_2 - 51.470.848,2 \end{aligned}$$

$$148.431.367,96 = 2.058.833,93 \text{ T}_2$$

$$T_2 = 72,09 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$H_{23} = 248.099,14 \text{ (T}_2 - 25)$$

$$= 11.684.197,18 \text{ kkal}$$

$$H_{22} = 1.810.734,79 \text{ (T}_2 - 25)$$

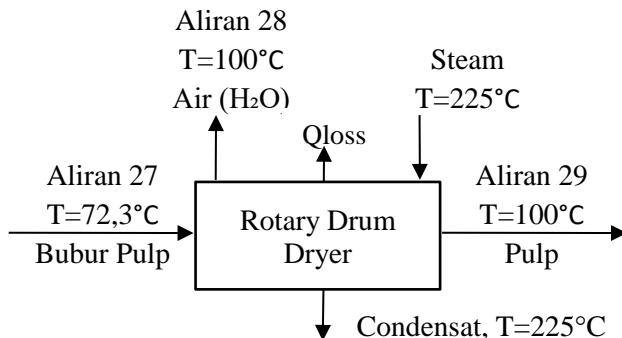
$$= 85.276.322,60 \text{ kkal}$$

**Tabel B.15** Neraca Panas pada Rotary Vacum Filter

<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
H <sub>20</sub>	23.721.461,87	H <sub>22</sub>	85.276.322,60
H <sub>21</sub>	73.239.057,92	H <sub>23</sub>	11.684.197,18
<b>TOTAL</b>	<b>96.960.519,78</b>	<b>TOTAL</b>	<b>96.960.519,78</b>

### 11. Rotary Drum Dryer (B-410)

Fungsi: mengurangi kadar air pulp hingga kadar air menjadi 6% dari berat pulp.



<b>MASUK</b>				
<b>Aliran 27</b>	<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b>ΔT</b>
Serat:				
Selulosa	241.356,18	0,320	47	3.637.324,29
Hemiselulosa	45.314,54	0,307	47	654.999,47
Pektin	488,50	0,280	47	6.446,21
Lignin Sisa	69,42	0,319	47	1.041,27
Wax	77,13	0,434	47	1.578,23
Cairan:				
CH <sub>3</sub> COOH sisa	656,57	0,620	47	19.171,01
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	98,81	0,180	47	835,88
Pektin terlarut	86,62	0,280	47	1.143,06
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	24,05	0,295	47	334,10
Wax terlarut	13,68	0,434	47	279,86
C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	5,59	0,272	47	71,54
Aseto Liginat	3,65	0,312	47	53,70
NaHSO <sub>3</sub> (S)	2,33	0,198	47	21,73
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	0,81	0,309	47	11,80
Air	62.255,96	1,004	47	2.944.354,01
<b>TOTAL</b>				<b>7.267.666,18</b>

<b>KELUAR</b>				
<b>Aliran 29</b>				
<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Cp</b>	<b>ΔT</b>	<b>H = m.Cp.ΔT</b>
Serat:				
Selulosa	241.356,18	0,320	47	3.637.324,29
Hemiselulosa	45.314,54	0,307	47	654.999,47
Pektin	488,50	0,280	47	6.446,21
Lignin Sisa	69,42	0,319	47	1.041,27
Wax	77,13	0,434	47	1.578,23
Air	21.027,23	0,620	47	613.970,31
<b>Jumlah</b>				<b>4.915.359,78</b>
<b>Aliran 28</b>				
<b>Komponen</b>	<b>Massa</b>	<b>Hvap</b>	<b>H = m.Hvap</b>	
CH <sub>3</sub> COOH sisa	656,57	639,60	419.940,97	
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	98,81	639,60	63.196,23	
Pektin terlarut	86,62	639,60	55.403,33	
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	24,05	639,60	15.383,65	
Wax terlarut	13,68	639,60	8.747,89	
C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS	5,59	639,60	3.574,86	
Aseto Ligninat	3,65	639,60	2.334,17	
NaHSO <sub>3</sub> (S)	2,33	639,60	1.487,14	
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	0,81	639,60	519,02	
Air yang diuapkan	41.228,73	639,60	26.369.895,10	
<b>Jumlah</b>				<b>26.940.482,36</b>
<b>TOTAL</b>				<b>31.855.842,14</b>

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{supply}} &= m.\text{steam} \times \lambda \\
 &= 438,93 \times m.\text{steam} \\
 Q_{\text{loss}} &= 5\% \times Q_{\text{supply}} \\
 &= 5\% \times 438,93 \text{ m.steam} \\
 &= 22 \text{ m.steam}
 \end{aligned}$$

Neraca Panas:

$$H_{27} + Q_{\text{supply}} = H_{28} + H_{29} + Q_{\text{loss}}$$

$$\begin{aligned}
 7.267.666,18 + 438,93 \text{ m.steam} &= 26.940.482,358 + 4.915.359,78 \\
 &+ 22 \text{ m.steam} \\
 416,98 \text{ m.steam} &= 24.588.175,96 \\
 \text{m.steam} &= 58.967,02 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

maka:

$$Q_{\text{supply}} = 25.882.290,49 \text{ kkal}$$

$$Q_{\text{loss}} = 1.294.114,52 \text{ kkal}$$

**Tabel B.16** Neraca Panas pada Rotary Drum Dryer

<b>Masuk</b>		<b>Keluar</b>	
H <sub>27</sub>	7.267.666,18	H <sub>28</sub>	26.940.482,36
Q <sub>supply</sub>	25.882.290,49	H <sub>29</sub>	4.915.359,78
		Q <sub>loss</sub>	1.294.114,52
<b>TOTAL</b>	<b>33.149.956,66</b>	<b>TOTAL</b>	<b>33.149.956,66</b>

## APPENDIKS C

### SPESIFIKASI ALAT

#### **1. Belt Conveyor**

Fungsi	:	Mengangkut bahan baku dari open yard menuju rotary Cutter
Tipe	:	Troughed belt on 45° idlers with rolls aquals length
Kodisi Operasi	:	Tekanan = 1 atm Temperatur = 30 °C Rate mass = 19.218,65 kg/jam

Dasar Perancangan :

untuk belt conveyor dengan kapasitas 32 ton/jam (32000 kg/jam),  
memiliki spesifikasi (Table 21-7 Perrys, 1997) :

Lebar Belt	=	35 cm
Cross Section Area of Load	=	0,01 m <sup>2</sup>
Kecepatan Belt	=	61 m/min
Belt Plies	=	3 min, 5 max
Ukuran Lump Maksimal	=	51 mm
Daya Angkut	=	0,34 hp/ 3,05 m
Daya Pusat	=	0,44 hp/ 30,48 m
Daya Tambahan u/ Tripper	=	2 hp

Perhitungan :

Untuk faktor keamanan 20%, maka :

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas} &= 1,2 \times \text{Rate mass} \\ &= 1,2 \times 19.218,65 \\ &= 23.062,38 \text{ kg/jam} \\ &= 23,06238 \text{ ton/jam}\end{aligned}$$

Dengan kapasitas 23,062 ton/jam, maka :

$$\begin{aligned}\text{kecepatan Belt} &= (23,062/32) \times 61 \\ &= 43,96 \text{ m/min}\end{aligned}$$

Daya Angkut	=	$(23,062/32) \times (0,34 \text{ hp} / 3,05) \times 10 \text{ m}$
	=	0,8034 hp
Daya Pusat	=	$(23,062/32) \times (0,44 \text{ hp} / 30,48) \times 10 \text{ m}$
	=	0,104 hp
Daya Tambahan	=	2 hp
Daya Total	=	Daya Angkut + Daya Pusat + Daya Tambahan
	=	$0,223 + 0,029 + 2$
	=	2,907 hp

Efisiensi Motor 80%, maka :

Power Motor	=	0,8 x Daya Total
	=	0,8 x 2,907
	=	2,3259 hp = 3 hp

Spesifikasi Alat :

Fungsi : Mengangkut bahan baku dari open yard menuju rotary Cutter

Tipe	:	Troughed belt on 45° idlers with rolls aquals length
Kapasitas	:	23.062,38 kg/jam
Bahan Konstruksi	:	Karet
Panjang Belt	:	10 m
Kemiringan	:	10
Lebar Belt	:	35 cm
Cross Section Area of Load	:	0,01 m <sup>2</sup>
Kecepatan Belt	:	43,96 m/min
Belt Plies	:	3 min, 5 max
Ukuran Lump Maksimal	:	51 mm
Daya Angkut	:	0,803 hp
Daya Pusat	:	0,104 hp
Daya Tambahan u/ Tripper	:	2 hp
Power Motor	:	3 hp

## **2. Rotary Knife Cutter**

Fungsi : sebagai tempat pemotongan batang tanaman rami agar panjangnya menjadi ± 6 mm

Kondisi Operasi : Tekanan = 1 atm  
Temperatur = 30 °C  
Rate mass = 19.218,65 kg/jam  
= 42.369,44 lb/jam

Dasar Perancangan :

Berdasarkan S. HOWES Rotary Knife Cutter, untuk kapasitas 7.000 lb/jam memiliki spesifikasi :

Rotor Speed = 500 rpm  
Berat Mesin = 1.300 lbs  
Panjang Mesin = 36,5 ft  
Lebar Mesin = 26 ft  
Luas Inlet = 121 ft<sup>2</sup>

Dasar Perhitungan:

Untuk Faktor keamanan 10%, maka :

Kapasitas = 1,1 x Rate mass  
= 1,1 x 42.369,44  
= 46.606,38 lb/jam

Dengan kapasitas 610,3062 lb/jam, maka :

Rotor Speed = (46.606,38/7.000) x 500  
= 3329,0271 rpm  
Panjang Mesin = (46.606,38/7.000) x 36,5  
= 243,019 ft  
Lebar Mesin = (46.606,38/7.000) x 26  
= 173,109 ft  
Luas Inlet = (46.606,38/7.000) x 26  
= 805,625 ft<sup>2</sup>

Spesifikasi Alat :

Fungsi	:	sebagai tempat pemotongan batang tanaman rami agar panjangnya menjadi ± 6 mm
Rotor Speed	:	3.329,03 rpm
Berat Mesin	:	1.300 lbs
Panjang Mesin	:	243,019 ft
Lebar Mesin	:	173,109 ft
Luas Inlet	:	805,625 ft <sup>2</sup>

### 3. Vibrating Screen

Fungsi	:	untuk menyaring dan menyeleksi potongan rami yang ukurannya telah memenuhi syarat
Kondisi Operasi	:	Tekanan = 1 atm Temperatur = 30 °C Rate mass = 19.218,65 kg/jam

Dasar Perancangan :

$$\begin{aligned}\text{Bulk Density} &= 10 \text{ lb/ft}^3 && (\text{Table 21-4 Perry's}) \\ &= 160,18 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Rate Volumetrik} &= \frac{\text{Rate mass}}{\text{Bulk Density}} = \frac{19.218,65}{160,18} \\ &= 119,9816 \text{ m}^3/\text{jam}\end{aligned}$$

Dasar Perancangan :

Untuk screener dengan ukuran 6.36 mm, memiliki spesifikasi (Table 19-6 Perrys, 1997) :

$$\begin{aligned}\text{Sieve opening} &= 6,35 \text{ mm} \\ &= 0,25 \text{ in} \\ \text{Nominal wire diameter} &= 1,82 \text{ mm} \\ &= 0,0717 \text{ in}\end{aligned}$$

Dasar Perhitungan :

Menentukan luas area screen :

$$A = \frac{0.4 \times Ct}{Cu \times Foa \times Fs} \quad (\text{Pers. 19-7, Perry's})$$

dimana :

A = screen area

Ct = throughput rate (ton/jam)

Cu = unit capacity (ton/jam.ft<sup>2</sup>)

Foa = open-area factor (ft<sup>2</sup>)

Fs = slotted-area factor (ft<sup>2</sup>)

Menentukan nilai masing-masing :

Ct = 19.026,46 kg/jam

= 19,0265 ton/jam

C $\mu$  = 0,2 ton/(h.ft<sup>2</sup>) (fig. 19-21)

Fs = 2 (Table 19-7)

$$\begin{aligned} Foa &= 100 \frac{a^2}{a + d} = 100 \frac{0,0625}{0,25 + 0,0717} \\ &= 19,4280 \text{ in} \\ &= 1,6184 \text{ ft} \end{aligned}$$

Sehingga luas area screen :

$$\begin{aligned} A &= \frac{0.4 \times Ct}{Cu \times Foa \times Fs} = \frac{0,4 \times 19,0265}{0,2 \times 1,6184 \times 2} \\ &= 11,7567 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Spesifikasi Alat :

Fungsi : untuk menyaring dan menyeleksi potongan rami yang ukurannya telah memenuhi syarat

Sieve Opening : 0,25 in

Nominal Wire Diameter : 0,0717 in

Luas Area Screen : 11,7567 ft<sup>2</sup>

Jumlah : 1 unit

#### **4. Bucket Elevator**

Fungsi : Untuk mengangkut bahan baku dari vibrating screen ke pandia digester

Tipe : bucket elevator for continuous buckt on chains

Kondisi Operasi : Tekanan = 1 atm

Temperatur = 30 °C

Rate mass = 19.026,46 kg/jam

Dasar Perancangan :

Untuk bucket elevator kapasitas 27 ton/jam (27.000 kg/jam), memiliki spesifikasi (Table 21-8 Perry's,1997) :

Ukuran Bucket =  $8 \times 5 \times 5.5$  in

Elevator Center = 25 ft

Bucket Speed = 225 ft/min

Bucket Spacing = 14 in

Head Shaft = 43 rpm

Power Head Shaft = 1,6 hp

Power Tambahan = 0,04 hp

Perhitungan :

Untuk Faktor keamanan 20%, maka :

Kapasitas = 1 x Rate mass

$$= 1,2 \times 19.026,46$$

$$= 22.831,75 \text{ kg/jam}$$

$$= 22,83175 \text{ ton/jam}$$

Dengan kapasitas 22,83175 ton/jam, maka :

Bucked Speed =  $(22,83175/27) \times 225$

$$= 190,26 \text{ ft/min}$$

Head Shaft =  $(22,83175/27) \times 43$

$$= 36,362 \text{ hp}$$

Power Head Shaft =  $22,83175/27) \times 1.6$

$$= 1,353 \text{ hp}$$

Power Tambahan = 0,04 hp

$$\begin{aligned}\text{Power Total} &= 1,353 + 0,04 \\ &= 1,393 \text{ hp}\end{aligned}$$

Efisiensi Motor 80%, maka :

$$\begin{aligned}\text{Power Motor} &= \text{Efisiensi} \times \text{power total} \\ &= 80\% \times 1 \\ &= 1,1144 \text{ hp}\end{aligned}$$

Spesifikasi Alat :

Fungsi	:	Untuk mengangkut bahan baku dari vibrating screen ke pandia digester
Tipe	:	<i>Bucket elevator for continuous bucket on chain</i>
Bahan Konstruksi	:	Carbon Steel
Ukuran Bucket	:	8 x 5 x 5.5 in
Bucket Spacing	:	14 in
Bucked Speed	:	190,2646 ft/min
Head Shaft	:	36,3617 hp
Power Head Shaft	:	1,3530 hp
Power Motor	:	1,1144 hp
Jumlah	:	1 unit

## 5 . Tangki Penyimpanan CH<sub>3</sub>COOH (F-210)

- Fungsi : Untuk menyimpan larutan CH<sub>3</sub>COOH 90%.
- Type : Silinder dengan tutup atas *conical head* dan tutup bawah *flat head*.
- Kondisi Operasi : Suhu = 30 °C

### Perhitungan

Bahan masuk:

Komponen	Massa	Fraksi berat	ρ (kg/m <sup>3</sup> )
CH <sub>3</sub> COOH	22.831,75	0,9	1018,38
H <sub>2</sub> O	2.536,86	0,1	992,61
	25.368,61	1	

$$\begin{aligned}\rho_{\text{campuran}} &= \frac{1}{\sum(\text{fraksi berat}/\rho_{\text{bahan}})} \\ &= \frac{1}{0,0009 + 0,0001} \\ &= 1.015,74 \text{ kg/m}^3 \\ (1 \text{ kg/m}^3) &= 0,06243 \text{ lb/cuft} \\ &= 1.015,74 \text{ kg/m}^3 \\ &= 63,41 \text{ lb/cuft}\end{aligned}$$

$$\mu_{\text{campuran}} = 1,84 \text{ cp} = 0,00184 \text{ kg/ms}$$

$$\begin{aligned}\text{Rate massa} &= 25.368,61 \text{ kg/jam} \\ &= 55.928,15 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rate volumetrik} &= \frac{\text{rate massa}}{\rho_{\text{campuran}}} \\ &= \frac{55.928,15}{63,41} \\ &= 881,97 \text{ cuft/jam}\end{aligned}$$

Asumsi: waktu tinggal = 7 hari = 168 jam  
volume larutan = 80%

$$\begin{aligned}\text{Volume larutan} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= 882,0 \text{ cuft/jam} \times 168 \text{ jam} \\ &= 148.170,8 \text{ cuft}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume tangki} &= \frac{\text{volume larutan}}{80\%} \\ &= \frac{148.170,8}{80\%} \\ &= 185.213,5 \text{ cuft}\end{aligned}$$

Karena kapasitas tangki terlalu besar, maka digunakan 2 buah tangki penyimpanan.

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas 1 tangki} &= 92.606,7 \text{ cuft} \\ &= 21.992,0 \text{ bbl}\end{aligned}$$

### Menentukan ukuran tangki dan tinggi fluida:

Dari Brownell and Young ( Appendix E, hal 348) dengan

Volume tangki = 21.992,0 bbl, didapatkan :

$$D = 70 \text{ ft} = 840 \text{ in} = 21,34 \text{ m}$$

$$H = 32 \text{ ft} = 384 \text{ in} = 9,75 \text{ m}$$

$$\text{Course} = 4$$

H liquida = Tinggi liquida dalam tangki

$$V_{\text{liquida}} = \frac{\pi \times D^2 \times H_{\text{liq}}}{4}$$

$$92.606,7 = \frac{\pi \times 4900 \times H_{\text{liq}}}{4}$$

$$H_{\text{liquida}} = 24,08 \text{ ft} = 288,91 \text{ in}$$

### Menentukan tebal minimum shell:

$$t_{\min} = \frac{P_{\text{des}} \times D}{2 \times f \times E} + C \quad (\text{Prajitno, pers II-8 hal 35})$$

Dipilih : Jenis material SA 283 grade C  $\rightarrow f = 12.650$   
(Prajitno, tabel I-3 hal 18)

Jenis las *double welded butt joint*  $\rightarrow E = 0,8$

(Prajitno, tabel I-4 hal 23)

c ( faktor korosi ) = 0,125

$$P_{\text{des}} = 1-1,2 P_{\text{op}}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{op}} &= \frac{\rho \times H}{144} \\ &= \frac{63,4 \times H}{144} \\ &= 0,440 H \text{ psi} \end{aligned}$$

P desain diambil 20% lebih besar dari P operasi untuk faktor keamanan.

$$\begin{aligned} P_{\text{des}} &= 1,2 \times 0,440 H \\ &= 0,528 H \text{ psi} \end{aligned}$$

maka tebal minimum shell:

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{0,528 H \times 840}{2 \times 12.650 \times 0,8} + 0,125 \\ &= 0,02193 H + 0,125 \text{ in} \end{aligned}$$

### Perhitungan tebal shell pada tiap course:

$$\begin{aligned} \text{Course 1} \quad t_1 &= 0,02193 H + 0,125 \\ &= 0,827 \text{ in} \end{aligned}$$

Dipilih tebal standart = 7/8 in

$$\begin{aligned} OD_1 &= ID + 2t_{\min} \\ &= 840 + 2 \cdot 7/8 \\ &= 841,8 \text{ in} \end{aligned}$$

Apabila digunakan 4 plat sambungan, maka:

$$\begin{aligned}L_1 &= \text{panjang masing-masing plat pada course 1} \\&= \frac{(\pi d - \text{panjang alas})}{12 \times n} \\&= \frac{\pi (70 \times 12 + 0,88) - 0,6}{12 \times 4} \\&= 54,99 \text{ ft}\end{aligned}$$

**Course 2**       $t_2 = 0,02193 H + 0,125$   
                        = 0,651 in

Dipilih tebal standart = 10/16 in

$$\begin{aligned}OD_2 &= ID + 2t_{\min} \\&= 840 + 2 \cdot 10/16 \\&= 841,3 \text{ in}\end{aligned}$$

Apabila digunakan 4 plat sambungan, maka:

$$\begin{aligned}L_2 &= \text{panjang masing-masing plat pada course 2} \\&= \frac{(\pi d - \text{panjang alas})}{12 \times n} \\&= \frac{\pi (70 \times 12 + 0,651) - 0,6}{12 \times 4} \\&= 54,98 \text{ ft}\end{aligned}$$

**Course 3**       $t_3 = 0,02193 H + 0,125$   
                        = 0,48 in

Dipilih tebal standart = 1/2 in

$$\begin{aligned}OD_3 &= ID + 2t_{\min} \\&= 840 + 2 \cdot 1/2 \\&= 841,0 \text{ in}\end{aligned}$$

Apabila digunakan 4 plat sambungan, maka:

$$\begin{aligned}L_3 &= \text{panjang masing-masing plat pada course 3} \\&= \frac{(\pi d - \text{panjang alas})}{12 \times n}\end{aligned}$$

$$= \frac{\pi ( 70 \times 12 + 0,50 ) - 0,6}{12 \times 4}$$

$$= 54,97 \text{ ft}$$

**Course 4**       $t_4 = 0,02193 H + 0,125$   
 $= 0,432 \text{ in}$

Dipilih tebal standart = 7/16 in

$$\text{OD}_4 = \text{ID} + 2t_{\min}$$

$$= 840 + 2 \cdot 7/16$$

$$= 840,9 \text{ in}$$

Apabila digunakan 4 plat sambungan, maka:

$$L_4 = \text{panjang masing-masing plat pada course 4}$$

$$= \frac{(\pi d - \text{panjang alas})}{12 \times n}$$

$$= \frac{\pi ( 70 \times 12 + 0,43 ) - 0,6}{12 \times 4}$$

$$= 54,97 \text{ ft}$$

### Menentukan tebal tutup (head):

#### Tebal tutup bagian bawah (menggunakan flat head):

$C = 0,45$  (*Flanged flat head dengan butt welded terhadap shell*)  
*(Prajitno, hal 77)*

$D_e = D_i = 840 \text{ in}$

$$t = D \cdot (C \cdot P / f)^{0,5} + c$$

$$= 840 \times (0,45 \times 16,91 : 12,650)^{0,5} + 0,125$$

$$= 20,73 \text{ in} \quad (\text{distanstandartkan menurut ASME} = 20 \frac{12}{16} \text{ in})$$

#### Tebal tutup bagian atas (menggunakan conical head):

Asumsi 1/2 sudut puncak  $30^\circ \rightarrow Z = 1,35$   
*(Prajitno, hal 85)*

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{p \cdot d}{2 \cos \alpha (f \cdot E - 0,6 p)} + c \\
 &= \frac{4,2275 \times 840}{2 \times 0,154 + (12,650 \times 0,8 - 0,6 \times 4,2275)} + 0,13 \\
 &= 1,263 \text{ in} \quad (\text{distanstandartkan menurut ASME} = 1 \frac{4}{16} \text{ in})
 \end{aligned}$$

Tinggi tutup atas  $\frac{D \times \operatorname{tg}(\alpha/2)}{2}$   
 $= 242,49 \text{ in} = 6,16 \text{ m}$

Tinggi tangki =  $H + \text{tinggi tutup atas}$   
 $= 384 + 242,49$   
 $= 626 \text{ in} = 15,9 \text{ m}$

### Spesifikasi:

Fungsi	:	Untuk menyimpan larutan CH <sub>3</sub> COOH 90%.
Type	:	Silinder dengan tutup atas conical head dan tutup bawah flat head.
Kapasitas	:	92.606,7 cuft
Tinggi	:	626,5 in
Diameter		
- inside diameter	:	840,0 in
- outside diameter		
- Course 1	:	841,8 in
- Course 2	:	841,3 in
- Course 3	:	841,0 in
- Course 4	:	840,9 in
Tebal shell	:	
- Course 1	:	14/16 in
- Course 2	:	10/16 in
- Course 3	:	8/16 in
- Course 4	:	7/16 in
Tebal tutup bawah	:	20 12/16 in

Tebal tutup atas : 1 4/16 in  
 Bahan konstruksi : Carbon steel SA-283 grade C  
 Jumlah : 2 unit

### 6 . Tangki Pengenceran CH<sub>3</sub>COOH (M-212)

Fungsi : Untuk mengencerkan larutan CH<sub>3</sub>COOH menjadi 60% dengan tekanan 1 atm=14,7 psi.  
 Type : Silinder dengan tutup atas dan tutup bawah standar dishead dilengkapi pengaduk  
 Kondisi Operasi : Tekanan = 1 atm  
                   Suhu = 30 °C

#### **Dasar perhitungan:**

Bahan masuk:

Komponen	Berat (kg)	Fraksi Berat	$\rho$ (kg/m <sub>3</sub> )
CH <sub>3</sub> COOH	22.831,75	0,60	1.018,38
Air	2.536,86	0,07	992,61
Air Proses	12.684,31	0,33	992,61
<b>TOTAL</b>	<b>38.052,92</b>	<b>1,00</b>	

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{campuran}} &= \frac{1}{\sum(\text{fraksi berat}/\rho \text{ bahan})} \\
 &= \frac{1}{0,00059 + 0,00007 + 0,00034} \\
 &= 1.007,91 \text{ kg/m}^3 \\
 &\quad (1 \text{ kg/m}^3 = 0,06243 \text{ lb/cuft}) \\
 &= 1.007,91 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 62,92 \text{ lb/cuft} \\
 \mu_{\text{campuran}} &= 14,99 \text{ cp} = 0,01499 \text{ kg/ms}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rate massa} &= 38.052,9 \text{ kg/jam} \\ &= 83.892,2 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rate volumetrik} &= \frac{\text{rate massa}}{\rho \text{ campuran}} \\ &= \frac{83.892,2}{62,92} \\ &= 1.333,23 \text{ cuft/jam}\end{aligned}$$

Asumsi: waktu tinggal = 1 jam  
volume larutan = 80%

$$\begin{aligned}\text{Volume larutan} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= 1.333,2 \text{ cuft/jam} \times 1 \text{ jam} \\ &= 1.333,2 \text{ cuft}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume tangki} &= \frac{\text{volume larutan}}{80\%} \\ &= \frac{1.333,2}{80\%} \\ &= 1.666,5 \text{ cuft}\end{aligned}$$

### Menentukan ukuran tangki dan ketebalannya:

Asumsi dimensi rasio: H/D = 4 (*Ulrich, tabel 4-27*)

$$\text{Volume}_t = \frac{1}{4}\pi(D^2)H$$

$$1.667 = \frac{1}{4}\pi(D^2)4D$$

$$D = 8,1 \text{ ft}$$

$$D \approx 8,1 \text{ ft} = 97 \text{ in}$$

$$H = 32 \text{ ft} = 389 \text{ in}$$

H liquida = Tinggi liquida dalam tangki

$$V_{\text{liquida}} = \frac{\pi \times D^2 \times H_{\text{liq}}}{4}$$

$$1.666,5 = \frac{\pi \times 65,553 \times H_{\text{liq}}}{4}$$

H liquida      = 32,39 ft

### **Menentukan tebal minimum shell:**

Berdasarkan persamaan 13.1 pg. 254 Brownel (1959), tebal dinding tangki silinder ditentukan oleh persamaan berikut:

$$t_s = \frac{P \cdot r_i}{f \cdot E - 0,6 \cdot P} + c$$

Dimana:

$t_s$  = tebal shell (in)                         $f$  = tekanan maks. yang diijinkan (psia)

$P$  = tekanan internal (psi)                   $E$  = efisiensi pengelasan

$r_i$  = jari – jari dalam (in)                   $c$  = faktor korosi

### **Menentukan tebal dinding**

Joint efficiency,  $E$  = 0,8

Allowable stress = 12.650 psia

$P_{\text{desain}}$  = 1,2 x 14,696 = 17,635 psi

$$r_i = 0,5 \times D_s$$

$$= 0,5 \times 8,1$$

$$= 4,05 \text{ ft} = 48,58 \text{ in}$$

$$C = 0,125 \text{ in}$$

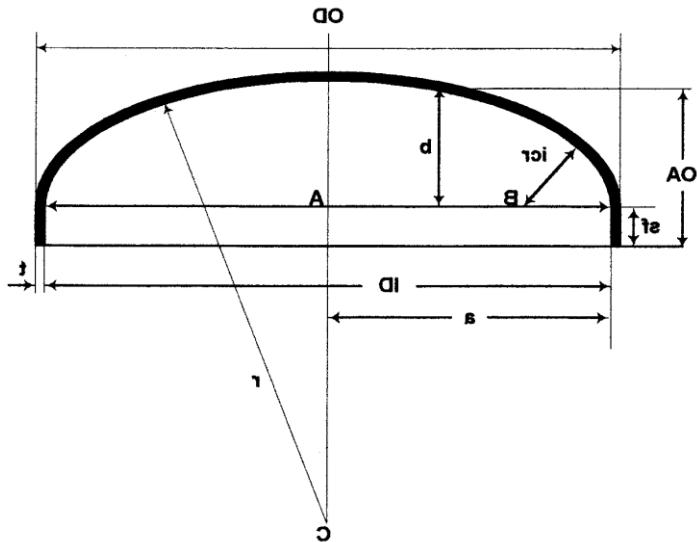
maka tebal minimum shell:

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{P \cdot r_i}{f \cdot E - 0,6 \cdot P} + c \\ &= \frac{17,635 \times 48,58}{(12,650 \times 0,8) - (0,6 \times 17,635)} + 0,125 \\ &= 0,210 \text{ in} \\ &= 1/4 \text{ in (tebal standar shell menurut ASME)} \end{aligned}$$

Menentukan diameter luar tangki

$$\begin{aligned}(\text{OD})_s &= (\text{ID})_s + 2.ts \\&= 97,2 + 2 \cdot 0,25 \\&= 97,66 \text{ in}\end{aligned}$$

Distanstandartkan menurut ASME, OD = 102 in



### Menentukan tebal tutup (head):

jenis *head* yang digunakan untuk bagian atas dan bawah adalah sama yaitu *standart diskhead*.

$$t = \frac{p \times r_c \times W}{2 \times f \times E - 0,2p} + c \quad \text{dimana, } W = \frac{1}{4} (3 \times (r_c/r_t)^{0,5})$$

tebal tutup bagian atas = tebal tutup bagian bawah.

$$\begin{aligned}t &= 1/4 \text{ in} \\ \text{OD} &= 102 \text{ in}\end{aligned}$$

$$r_c = r = 96 \text{ in}$$

$$r_t = icr = 6 \frac{1}{8} \text{ in} = 0,75 \text{ in}$$

$$W = \frac{1}{4} \times (3 + (96 : 0,75)^{0,5}) \\ = 3,578$$

$$t = \frac{17,635 \times 96 \times 3,578}{(2 \times 12,650 \times 0,8) - (0,2 \times 17,635)} + 0,125 \\ = 0,4244 \text{ in} \quad (\text{dipakai tebal standart : } 7/16 \text{ in})$$

Berdasarkan penentuan dimensi *dished head* pg. 87 Brownell (1959) diperoleh harga:

$$a = \frac{ID}{2} = \frac{97}{2} = 49 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = 96 - 0,75 = 95,25 \text{ in}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr \\ = 49 - 0,75 = 47,83 \text{ in}$$

$$AC = (BC^2 - AB^2)^{0,5} \\ = 82,37 \text{ in}$$

$$b = r - AC \\ = 13,63 \text{ in}$$

Dari tabel 5.6 pg. 88 Brownell (1959), untuk tebal head 7/16 in diperoleh harga sf = 1 ½ - 3 ½. Dipilih 3,5 maka:

$$OA = th + b + sf \\ = 7/16 + 13,63 + 3,5 \\ = 17,55 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tangki} &= H + 2OA \\ &= 388,6301 + 35,11 \\ &= 423,74 \text{ in} \end{aligned}$$

### **Perhitungan Sistem Pengaduk:**

Jenis pengaduk yang dipakai yaitu : Propeller

Geometri pengaduk standart (*Geancoplis, tabel 3-4.1*) :

$$\frac{Da}{Dt} = \frac{1}{3} ; \quad \frac{W}{Da} = \frac{1}{5} ; \quad \frac{H}{Dt} = 1$$

$$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4} ; \quad \frac{C}{Dt} = \frac{1}{3} ; \quad \frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}$$

Dimana :

Da = diameter pengaduk (ft)

Dt = diameter tangki (ft)

W = lebar pengaduk (ft)

H = tinggi larutan (ft)

L = tinggi pengaduk (ft)

C = tinggi pengaduk dari dasar tangki (ft)

J = lebar baffle (ft)

Maka diperoleh :

$$Da = \frac{1}{3} \times Dt = \frac{1}{3} \times 8 = 2,7 \text{ ft}$$

$$W = \frac{1}{5} \times Da = \frac{1}{5} \times 3 = 0,5 \text{ ft}$$

$$H = Dt = 8 \text{ ft}$$

$$L = \frac{1}{4} \times Da = \frac{1}{4} \times 3 = 0,7 \text{ ft}$$

$$C = \frac{1}{3} \times Dt = \frac{1}{3} \times 8 = 2,7 \text{ ft}$$

$$J = \frac{1}{12} \times Dt = \frac{1}{12} \times 3 = 0,2 \text{ ft}$$

**Kebutuhan power pengaduk :**

$$\text{Diameter pengaduk (Da)} = 2,7 \text{ ft} = 32 \text{ in} = 0,823 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan putaran (N)} = 2 \text{ Hz} = 1 \text{ rps} = 60 \text{ rpm}$$

$$\begin{aligned} N_{re} &= \frac{\rho N Da^2}{\mu} \\ &= \frac{1.007,9 \times 1 \times 0,68}{0,01499} \\ &= 45.546,82 \end{aligned}$$

$N_{re} > 10.000$ , maka aliran tersebut turbulen.

menggunakan curve 5 pada figure 3.4-5, Geancoplis halaman 159 untuk menentukan power pengaduk:

$$N_p = 0,38$$

$$\begin{aligned} \text{Power pengaduk} &= N_p \times \rho \times N^3 \times Da^5 \\ &= 0,38 \times 1.008 \times 1 \times 0,378 \\ &= 145 \text{ W} \\ &= 0,14 \text{ kW} \\ &= 0,19 \text{ hp} \end{aligned}$$

$$\text{Asumsi efisiensi motor} = 85\%$$

$$\begin{aligned} \text{Power actual} &= \frac{0,19}{85\%} \\ &= 0,23 \approx 1 \text{ hp} \end{aligned}$$

**Spesifikasi :**

Fungsi : untuk mengencerkan larutan CH<sub>3</sub>COOH 90% menjadi 60%

Type : silinder dengan tutup atas dan tutup bawah standart dishead dilengkapi pengaduk

**Dimensi Tangki:**

Kapasitas : 1.666,54 cuft

Tinggi : 423,74 in

Diameter

- inside diameter : 97,16 in  
- outside diameter : 102 in

Tebal shell : 4/16 in

tebal tutup atas : 7/16 in

tebal tutup bawah : 7/16 in

bahan konstruksi : carbon stell SA-283 grade C

Jumlah : 1 unit

**Dimensi Pengaduk:**

Jenis pengaduk : Propeller

Diameter pengaduk : 32 in

Kecepatan putaran : 1 rps

Power motor : 1 hp

Jumlah : 1 unit

## 7. Pandia Digester

Fungsi : Mengubah potongan rami menjadi bubur pupl dengan proses delignifikasi

Tipe : Vertikal

Kondisi Operasi : Tekanan = 8 bar

Temperatur = 170 C

Waktu = 4 jam

Dasar Perhitungan :

Bahan Masuk	Berat (Kg/jam)	Fraksi	$\rho$ (kg/l)	Fraksi/ $\rho$
Selulosa	14288,87125	0,2503	1,5	0,1669
Hemiselulosa	2682,730833	0,047	1,45	0,0324
Lignin	114,15875	0,002	1,5	0,0013
Pektin	361,5029167	0,0063	1,5	0,0042
Wax	57,07958333	0,001	1,5	0,0007
Air pada Serat	1522,116667	0,0267	0,977	0,0273
CH <sub>3</sub> COOH	22831,75167	0,4	1,05	0,3810
Air	15221,16792	0,2667	0,977	0,2729
Total	57079,37958	1	10,454	0,8867

$$\begin{aligned}\rho \text{ campuran} &= \frac{1}{\sum(\text{fraksi berat/densitas})} \\ &= \frac{1}{0,8867} = 1,1278 \text{ kg/l} \\ &= 1127,8 \text{ kg/m}^3 \\ &= 70,4036 \text{ lb/f}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rate mass} &= 456635,04 \text{ kg/jam} \\ &= 1006697,6 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

Perhitungan Dimensi Reaktor :

Asumsi volume larutan = 80% volume reaktor

$$\text{Volume Larutan} = \text{Bahan masuk} \times \text{Waktu}$$

$$= 57079,38 \times 4 = 228317,52 \text{ cuft}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume Reaktor} &= \frac{\text{Volume Larutan}}{80\%} = \frac{228317,52}{80\%} \\ &= 285396,9 \text{ cuft}\end{aligned}$$

### **Menentukan ukuran tangki dan ketebalan :**

Asumsi dimensi rasio H/D = 4 (Table 4-27 Ulrich)

$$\text{Volume} = \frac{1}{4} \pi (D^2) H$$

$$285396,9 = \frac{1}{4} \pi (D^2) 4D$$

$$D = 44,961 \text{ ft}$$

$$D = 48 \text{ ft} = 576 \text{ in}$$

$$H = 157,8 \text{ ft}$$

$$= 160 \text{ ft} \text{ (plat yang ada di pasar @8ft)}$$

$$= 1920 \text{ in}$$

### **Menentukan tebal minimum shell**

$$ts = \frac{P \times ri}{f \times E \times 0.6P} + C \quad (\text{Brownell, pers. 13-1})$$

dimana :

ts = tebal shell minimum; in

P = tekanan desain; psi

ri = jari-jari tangki; in

f = stress allowable

E = faktor pengelasan

C = faktor korosi; in

Digunakan jenis pengelasan double welded butt joint, maka dari tak

$$E = 0,8 \quad C = 0,125$$

Bahan konstruksi Carbon Steel SA-283 grade C, maka :

$$f = 12650 \text{ psi}$$

$$P_{\text{operasi}} = 8 \text{ bar} = 116,02 \text{ psi}$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = \frac{\rho \times H}{144} = \frac{70,4036 \times 160}{144} = 78,2262 \text{ psi}$$

P desain diambil 10% lebih besar dari P total untuk keamanan

$$P_{\text{total}} = P_{\text{operasi}} + P_{\text{hidrostatik}}$$

$$= 116,0224 + 78,2262$$

$$= 194,2486 \text{ psi}$$

$$P_{\text{desain}} = 1,1 \times P_{\text{total}}$$

$$= 1,1 \times 194,2486 \\ = 213,67348 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned} r &= 0,5 \times D \\ &= 0,5 \times 48 \\ &= 24 \text{ ft} = 288 \text{ in} \\ ts &= \frac{P \times ri}{f \times E \times 0.6P} + C \\ &= \frac{213,67348 \times 288}{12650 \times 0,8 \times 0,6 \times 213,67348} + 0,125 \\ &= 0,1724308 \text{ in} \\ &= 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

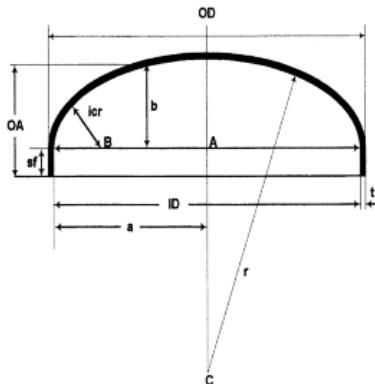
#### Menentukan diameter luar tangki :

$$\begin{aligned} OD &= ID + 2.ts \\ &= 48 + 2 \cdot 0,1724308 \\ &= 48,344862 \text{ in} \end{aligned}$$

Distanckarkan menurut ASME, OD = 54 ft

#### Menentukan tebal tutup (Head)

Jenis head yang digunakan untuk bagian atas dan bawah adalah sama yaitu standar dished head



$$t = \frac{0,855 \times P \times r}{f \times E - 0,1P} + C \quad (\text{Pers 13.12 Brownell-Young})$$

Karena  $t_1 = t_2$  dan  $OD_1 = OD_2$ , maka tebal tutup bagian atas = tebal tutup bagian bawah

$$ts = 3/16 \text{ in}$$

$$OD = 54 \text{ in}$$

$$rc = r = 54 \text{ in} \quad (\text{Tabel 5.7 Brownell-Young})$$

$$rt = icr = 3 \frac{1}{4} \text{ in} \quad (\text{Tabel 5.7 Brownell-Young})$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} t &= \frac{0,855 \times P \times r}{f \times E - 0,1P} + C \\ &= \frac{0,855}{12650} \times \frac{213,67}{0,8} \times \frac{54}{21,367} + 0,125 \\ &= 1,1019 \text{ in} \\ &= 1 \frac{1}{8} \text{ in} \end{aligned}$$

$$OD = 54 \text{ in} = 4,482 \text{ ft}$$

$$ID = OD - 2t$$

$$= 54 - 0,942$$

$$= 53,058 \text{ in}$$

$$a = \frac{ID}{2} = \frac{53,058}{2} = 26,529 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = 54 - 3 \frac{1}{4} = 50,75 \text{ in}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr = \frac{53,058}{2} - 3 \frac{1}{4} = 23,279 \text{ in}$$

$$AC = \sqrt{BC^2 - AB^2} = \sqrt{50,75^2 - 23,279^2} = 45,096 \text{ in}$$

$$b = r - AC = 54 - 45,096 = 8,904 \text{ in}$$

Dari Table 5.6 Brownell-Young, untuk tebal head  $1 \frac{1}{8}$  in diperoleh harga sf =  $1 \frac{1}{2}$  -  $4 \frac{1}{2}$ . Dipilih sf =  $4 \frac{1}{2}$ , maka

$$\begin{aligned} OA &= th + b + sf = 1 \frac{1}{8} + 8,904 + 3 \frac{1}{2} \\ &= 13,529 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tangki} &= H + 2OA = 1920 + 27,058 \\ &= 1947,1 \text{ in} \end{aligned}$$

## **Perhitungan sistem pengaduk**

Dipakai jenis pengaduk tipe propeller dengan 4 baffles, dimana geometri pengaduk standar (Geankoplis, Tabel 3-4.1)

$$\frac{Da}{Dt} = \frac{1}{3} \quad \frac{L}{Da} = \frac{1}{4} \quad \frac{H}{Dt} = 1$$

$$\frac{W}{Da} = \frac{1}{5} \quad \frac{C}{Dt} = \frac{1}{3} \quad \frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}$$

Dimana :

Da = diameter pengaduk

Dt = diameter tangki

W = lebar pengaduk

H = tinggi larutan

L = tinggi pengaduk

C = tinggi pengaduk dari dasar tangki

J = lebar baffles

Maka diperoleh :

$$Da = \frac{1}{3} \times Dt = \frac{1}{3} \times 48 = 16,00 \text{ ft}$$

$$W = \frac{1}{5} \times Da = \frac{1}{5} \times 16,00 = 3,20 \text{ ft}$$

$$H = Dt = 48 \text{ ft}$$

$$L = \frac{1}{4} \times Da = \frac{1}{4} \times 16,00 = 4,00 \text{ ft}$$

$$C = \frac{1}{3} \times Dt = \frac{1}{3} \times 48 = 16,00 \text{ ft}$$

$$J = \frac{1}{12} \times Dt = \frac{1}{12} \times 48 = 4 \text{ ft}$$

## **Kebutuhan Power Pengaduk**

Diameter Pengaduk = 16,00 ft

(Da) = 4,8768 m  
= 192 in

Kecepatan Putar (N) = 1 hz

$$\begin{aligned}
 &= 60 \text{ rpm} \\
 &= 1 \text{ rps} \\
 \mu \text{ campuran} &= 0,001925 \text{ kg/m.s} \\
 Nre &= \frac{\rho \cdot N \cdot Da2}{\mu} = \frac{1127,8 \times 1 \times 4,8768^2}{0,0019249} \\
 &= 13934373
 \end{aligned}$$

Nre > 10000, sehingga aliran termasuk jenis turbulen

Menggunakan curve 5 pada fig. 3.4-5, Geankoplis untuk menentukan power pengaduk :

$$Np = 0,35$$

$$\begin{aligned}
 \text{Power Pengaduk} &= Np \times \rho \times N^3 \times Da5 \\
 &= 413888499 \text{ W} \\
 &= 413888,5 \text{ kW} = 555024,48 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

### Menghitung Jaket Pemanas

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah steam (175C)} &= 2852,1878 \text{ kg/jam} \\
 &= 6287,9333 \text{ lb/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{steam}} &= \frac{F_{\text{steam}}}{\rho_{\text{steam}}} = \frac{6287,9333}{0,0313} \text{ lb/jam} \\
 &= 200892,44 \text{ cuft/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter inside jaket (D1)} &= \text{Diameter dalam} + (2 \times \text{tebal shell}) \\
 &= 576 \times 0,3449 \\
 &= 198,64 \text{ in} \\
 &= 16,487 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi Jaket} &= \text{Tinggi Reaktor} \\
 &= 1947,1 \text{ in} \\
 &= 161,61 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Asumsi jarak jaket} &= 5 \text{ in} \\
 &= 0,415 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter outside jaket (D2)} &= D1 + (2 \times \text{jarak jaket}) \\
 &= 198,64 + 10 \\
 &= 208,64 \text{ in} \\
 &= 17,317 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Luas area steam, A :

$$A = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) = \frac{\pi}{4} (5,3179^2 - 4,4879^2) \\ = 22,025 \text{ ft}^2$$

Kecepatan superficial steam, v :

$$v = \frac{V_{\text{steam}}}{A} = \frac{200892,44}{22,03} = 9121,0321 \text{ ft/jam}$$

## 8. Rotary Vacum Filter

Tekanan	=	1	atm
Temperatur	=	90,57	°C
Berat Slurry	=	199.777,8	kg/jam
Berat filtrat keluar	=	157.776,5	kg/jam
Berat cake yang dihasilkan	=	42.001,3	kg/jam
Densitas cake	=	1.500	kg/m <sup>3</sup>
Densitas filtrat	=	994,94	kg/m <sup>3</sup>
Viskositas filtrat	=	0,000836	kg/m.s
Volume Filtrat	=	158,6	m <sup>3</sup> /jam
Massa dry cake	=	14.615	kg/jam
Kandungan air pada cake	=	15%	
Penurunan tekanan	=	0,66	atm
	=	66.874,5	pa
Waktu siklus (tc)	=	5	min = 300 s
Bagian filter yg tercelup (f)	=	45%	

### Perhitungan :

Menghitung Luas Filter

$$\frac{V}{A \cdot tc} = \left[ \frac{2f \cdot (-\Delta P)}{tc \cdot \mu \cdot Cs} \right]^{1/2}$$

$$m = \frac{\text{massa wet cake}}{\text{massa dry cake}} = \frac{42.001,3}{14.615} = 2,87384738$$

$$Cx = \frac{\text{massa dry cake}}{\text{massa slurry}} = \frac{14.615}{199.777,8} = 0,07315629$$

$$Cs = \frac{\rho \cdot Cx}{1 - m \cdot Cx} = \frac{994,94 \times 0,073}{1 - 2,8738 \times 0,0732} = 92,162 \text{ kg/m}^3 \text{ slurry}$$

$$\frac{V}{tc} = m \text{ slurry (Cx)}/(Cs)$$

$$= 42001 \frac{0,0732}{92,162} = 33,34$$

$$\alpha = (4,37 \times 10^9)(\Delta P)^{0,3}$$

$$\alpha = (4,37 \times 10^9)(66874,5)^{0,3}$$

$$\alpha = 1,225E+11 \text{ m/kg}$$

$$\frac{V}{A \cdot tc} = \left[ \frac{2f \cdot (-\Delta P)}{tc \cdot \mu \cdot Cs} \right]^{1/2}$$
$$\frac{V}{A \cdot tc} = \left[ \frac{2 \cdot (0,3) \cdot (66874,5)}{(300) \cdot (0,000836) \cdot (125,6)} \right]^{1/2}$$
$$\frac{30,977}{A} = 3,6187068$$

$$A = 8,5602 \text{ m}^2$$

#### Menghitung Diameter Filter :

$$A = \pi \cdot D \cdot H$$

Diasumsikan bahwa  $H = 2 \cdot D$

Sehingga,

$$A = 2 \cdot \pi \cdot D \cdot 2$$

$$8,5602 = 2 \cdot \pi \cdot D \cdot 2$$

$$D = 1,175 \text{ m}$$

$$r = 0,5875 \text{ m}$$

$$H = 2,3501 \text{ m}$$

#### Menghitung Waktu Tinggal :

$$\begin{aligned} t &= f \times tc \\ &= 45\% \times 300 \\ &= 135 \text{ s} \end{aligned}$$

#### Menghitung Kecepatan Putar :

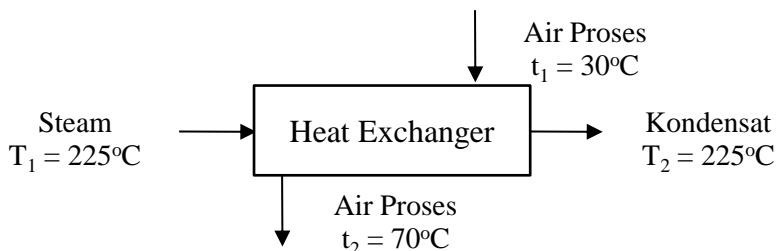
$$N = \frac{f}{tc} = \frac{45\%}{5} = 0,09 \text{ rpm}$$

## 9. Heat Exchanger II (E-322)

Fungsi : untuk menaikkan suhu air proses dari 30°C menjadi 70°C

Type : *Shell and Tube Heat Exchanger*

Bahan : Carbon Steel SA 212 Grade A



### 1. Heat Balance :

#### - Air proses

$$\begin{aligned} Q &= m \times C_p \times \Delta t \\ &= 238.478,1 \times 1.001 \times (158 - 86) \\ &= 17.188.601,9 \text{ btu/hr} \end{aligned}$$

#### - Steam

$$\begin{aligned} Q &= m \times \lambda \\ &= 22.969 \times 788,08 \\ &= 18.101.654,8 \text{ btu/hr} \end{aligned}$$

### 2. LMTD

Hot fluid	Cold fluid	Diff.	
437	Higher temp.	158	279
437	Lower temp.	86	351
0	Differences	72	72

$$\begin{aligned} \text{LMTD} &= \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{2,3 \log \Delta t_2 / \Delta t_1} \\ &= 314,0^{\circ}\text{F} \end{aligned}$$

### 3. Caloric Temperature

$$T_{av} = 437 \text{ } ^\circ\text{F} \quad c = 0,475 \text{ (Fig. 3, Kern)}$$

$$t_{av} = 122 \text{ } ^\circ\text{F} \quad c = 1,01 \text{ (Fig. 2, Kern)}$$

### *Trial*

- a. Untuk *Heat Exchanger : Steam - water* nilai  $U$

Asumsi  $UD = 340$  (Kern, table 8)

$$A_s = \frac{Q}{U_D \Delta t} = 161,0 \text{ ft}^2$$

$a'' = 0,1963$  (Kern, table 10)

*Number of tubes*,  $N_t = 51,265$

- b. Direncanakan 2 passes, maka tube counts = 52 tubes  
 (Kern, table 9) dan didapatkan 3/4 OD on 1-in square pitch dengan  
 $N_t = 52$  tubes  
 ID shell = 10 in  
 Tube passes = 2

Shell side	Tube side
ID = 10 in	L = 16 ft
Passes = 1 in	OD = 3/4 in
	Nt = 52
	BWG = 16
	n = 2
	pitch = 1 in square

### **Hot Fluid: Tube Side, Steam**

#### **4. Flow area**

$$a't = 0,302 \text{ in}^2 \quad (\text{tabel 10, Kern})$$

$$at = N_t a't / 144n$$

$$= 0,0545 \text{ ft}^2$$

#### **5. Gt ( hanya untuk pressure drop)**

$$\begin{aligned}
 G_t &= W/at \\
 &= 22.969,3 / 0,054528 \\
 &= 421.241 \text{ lb/hr ft}^2
 \end{aligned}$$

### 6. Pada $\Delta T_{av} = 437 \text{ } ^\circ\text{F}$

$$\begin{aligned}
 \mu_{\text{steam}} &= 0,0168 \times 2,42 \\
 &= 0,0407 \text{ lb/ft hr} \quad (\text{Fig.15, Kern}) \\
 D &= 0,62 / 12 = 0,0517 \text{ ft} \quad (\text{Tabel 10, Kern}) \\
 Re_t &= DGt/\mu \\
 &= 535.323
 \end{aligned}$$

### 9. Kondensasi Steam

$$h_{io} = 1500 \text{ btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} \quad (\text{Kern, halaman 164})$$

### 10. $t_w^*$

$$\begin{aligned}
 t_w &= t_{av} + \frac{h_{io}}{h_{io} + h_o} ( T_{av} - t_{av} ) \\
 &= 122 + \frac{1500}{1500 + 697,2} ( 437 - 122 ) \\
 &= 337 \text{ } ^\circ\text{F}
 \end{aligned}$$

### Cold Fluid : Shell Side, Water

#### 1. Flow area'

$$\begin{aligned}
 a_s &= (\text{area of shell}) - (\text{area of tube}) \\
 &= 1/144 (\pi ID^2/4) - (Nt \times \pi \times OD^2/4) \\
 &= 1/144 (\pi \times 12^2 : 4) - (52 \times \pi \times 0,75^2 : 4) \\
 &= 0,39 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

#### 2. $G_s$

$$\begin{aligned}
 G_s &= w/a_s \\
 &= 618.322 \text{ lb/hr ft}^2
 \end{aligned}$$

#### 3. Pada $t_{av} = 122 \text{ } ^\circ\text{F}$

$$\mu_{wtr} = 0,6 \times 2,42 \quad (\text{Kern, Fig. 14})$$

$$= 1,45 \text{ lb/ft hr}$$

$$De = 4a_s : (Nt \times \pi \times OD / 12)$$

$$= 4 \times 0,39 : (52 \times \pi \times 3/4 / 12)$$

$$= 0,1512 \text{ ft}$$

$$Re_s = De Gs / \mu$$

$$= 64.377$$

**4.  $jH$**

$$jH = 180 \quad (\text{Kern, Fig. 24})$$

**5. Pada tav : 122 °F**

$$k = 0,37 \text{ btu/hr ft}^2 \text{ (°F/ft)} \quad (\text{Kern, Tabel 4})$$

$$c = 1,01 \text{ btu/lb °F}$$

$$(c\mu/k)^{1/3} = 1,583$$

**6.  $ho$**

$$ho = jH \times \frac{k}{De} \left( \frac{c\mu}{k} \right)^{1/3} \times \phi_s$$

$$\frac{ho}{\phi_s} = 180 \times 2,4 \times 1,583$$

$$= 697,2$$

**8. Pada  $t_w = 337,0$  °F**

$$\mu_w = 0,11 \times 2,42 \quad (\text{Kern, Fig. 14})$$

$$= 0,27 \text{ lb/ft hr}$$

$$\phi_s = (\mu/\mu_w)^{0,14}$$

$$= 1,268$$

**9. Corrected coefficient,  $ho$**

$$ho = \frac{ho \phi_s}{\phi_s}$$

$$= 884,1 \text{ btu/hr ft}^2 \text{ °F}$$

**10. Koefisien Keseluruhan,  $U_c$  :**

$$U_c = \frac{h_{io} h_o}{h_{io} + h_o}$$

$$= \frac{1500 \times 884,1}{1500 + 884,1}$$

$$= 556,2 \text{ btu/hr ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

**11. Koefisien design keseluruhan,  $U_D$  :**

$$a'' = 0,1963 \text{ ft}^2/\text{lin ft}$$

$$A = 52 \times 16 \times 0,1963$$

$$= 163,3 \text{ ft}^2$$

$$U_D = \frac{Q}{A \Delta t}$$

$$= \frac{17.188.601,9}{163,3 \times 314,0}$$

$$= 335 \text{ btu/hr ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

**12. Dirt factor,  $R_d$  :**

$$R_d = \frac{U_c - U_D}{U_c U_D}$$

$$= \frac{556,2 - 335}{556,2 \times 335}$$

$$= 0,0012 \text{ hr ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F/Btu}$$

### Pressure Drop Tube

**1. Specific volume**

Pada  $\Delta T_{av} = 437 \text{ }^{\circ}\text{F}$

$$v = 1,3136 \text{ ft}^2 / \text{lb} \quad (\text{Kern, Tabel 7})$$

$$s = \frac{1/v}{62,5}$$

$$= 0,0122$$

$$Ret = 535.323, f = 0,0001 \text{ ft}^2/\text{in}^2 \quad (\text{Kern, Fig. 26})$$

$$\begin{aligned}
 \Delta P_t &= \frac{1}{2} \times \frac{f G t^2 L n}{5,22 \times 10^{10} D s \phi_t} \\
 &= \frac{1}{2} \times \frac{0,0001 \times 421.981^2 \times 16 \times 2}{5,22 \times 10^{10} \times 0,0517 \times 0,0122 \times 1} \\
 &= 8,64 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

### Pressure Drop Shell

**1'. S**

$$s = 1 \text{ btu/lb } ^\circ\text{F} \quad (\text{Kern, tabel 6})$$

**1'. De' = 4 x flow area / friction wetted perimeter**

$$\begin{aligned}
 &= 4 \times a_s / (N_t \times 3,14 \times OD / 12 + 3,14 \times ID / 12) \\
 &= 0,1512 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Re' &= De' G_s / \mu \\
 &= 64.376,72
 \end{aligned}$$

$$f = 0,0002 \quad (\text{Kern, Fig. 26})$$

$$\begin{aligned}
 2'. \Delta P_s &= \frac{f G s^2 L n}{5,22 \times 10^{10} De' s \phi_t} \\
 &= \frac{0,0002 \times 618.332^2 \times 16 \times 1}{5,22 \times 10^{10} \times 0,1512 \times 1 \times 1,268} \\
 &= 0,12 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

### Spesifikasi :

Fungsi : untuk menaikkan suhu air proses dari 30°C menjadi 70°C

Type : *shell and tube heat exchanger*

Jumlah : 1 unit

### Shell side :

Inside Diameter : 10 in

Passes : 1

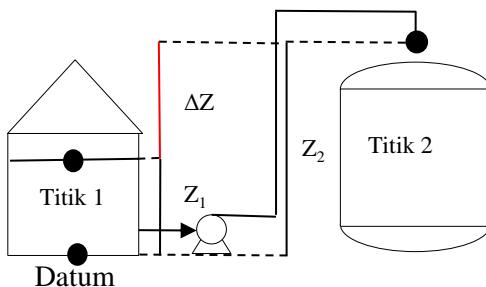
### Tube side:

Number : 52

OD : 3/4 in  
 BWG : 16 BWG  
 Pitch : 1 in. Square pitch  
 Passes : 2

## 10. Pompa (L-211)

Fungsi : memompa CH<sub>3</sub>COOH dari tangki penyimpanan ke tangki pengenceran.  
 Type : *Centrifugal pump*  
 Tujuan : Menghitung power pompa



### Perhitungan:

Bahan masuk

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat
CH <sub>3</sub> COOH	22.831,75	0,9000
Air	2.536,86	0,1000
<b>Jumlah</b>	<b>25.368,61</b>	<b>1,0000</b>

$$\rho \text{ campuran} = 1.015,74 \text{ kg/m}^3 \\ = 63,41 \text{ lb/cuft}$$

$$\mu \text{ campuran} = 0,00184 \text{ kg/ms} = 0,00011 \text{ lb/ft.s}$$

$$\text{Rate massa} = 25.368,61 \text{ kg/jam} \\ = 55.928,15 \text{ lb/jam}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik} &= \frac{\text{rate massa}}{\rho \text{ campuran}} \\
 &= \frac{55.928,2}{63,41} \\
 &= 881,97 \text{ cuft/jam} = 0,245 \text{ cuft/s}
 \end{aligned}$$

### Perencanaan Pompa

Asumsi : aliran turbulen ( $Nre > 2100$ )

$$\begin{aligned}
 D_i \text{ optimum} &= 3,9 \times Q_{\text{fluida}}^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Timmerhaus, pers. 15 halaman 496}) \\
 &= 3,9 \times (0,245)^{0,45} \times (63,41)^{0,13} \\
 &= 3,552 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Dari  $D_i$  optimum, ditetapkan tipe pompa:

sch : 40

OD : 4,5 in = 0,1143 m = 0,375 ft

ID : 4,026 in = 0,1023 m = 0,336 ft

Nominal pipe : 4 in

$A$  :  $0,0884 \text{ ft}^2 = 0,0082 \text{ m}^2$

(Geankoplis, appendix A.5-1 halaman 997)

$$\begin{aligned}
 \text{Kecepatan linear aliran, } v &= \frac{\text{Rate volumetrik}}{A} \\
 &= \frac{0,245}{0,0884} \\
 &= 2,77 \text{ ft/s} = 0,84 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Nre &= \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \quad (\text{Geankoplis, pers. 2.5-1 halaman 52}) \\
 &= \frac{1.015,7 \times 0,84 \times 0,102}{0,0018} \\
 &= 47.808
 \end{aligned}$$

(Karena  $Nre$  yang di dapat = 47.808 > 2100, maka asumsi aliran turbulen dapat diterima)

## Perhitungan Friksi

### 1. Sudden Contraction Looses

Friksi yang terjadi karena adanya perpindahan dari luas penampang besar ke luas penampang kecil

Untuk aliran turbulen,  $\alpha = 1$  (*Geankoplis, hal 98*)

$$h_c = K_c \cdot \frac{v_2^2}{2\alpha} \quad (\text{Geankoplis, pers. 2.10-16 halaman 98})$$

$$K_c = 0,55 \quad \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right)$$

Karena  $A_2$  jauh lebih kecil dari  $A_1$ , maka  $A_2/A_1$

dianggap 0, sehingga, harga  $K_c = 0,55$

$$= 0,55 \times \frac{0,71}{2 \times 1}$$

$$= 0,196 \text{ J/kg}$$

### 2. Sudden Enlargement Looses

Friksi yang terjadi karena adanya perpindahan dari luas penampang kecil ke luas penampang besar

Untuk aliran turbulen,  $\alpha = 1$  (*Geankoplis, hal 98*)

Karena  $A_2$  jauh lebih kecil dari  $A_1$ , maka  $A_2/A_1$  dianggap 0, sehingga  $K_{ex} = 1$

$$h_{ex} = K_{ex} \times \frac{v_2^2}{2\alpha} \quad (\text{Geankoplis, pers. 2.10-15 halaman 98})$$

$$= 1 \times \frac{0,71}{2 \times 1}$$

$$= 0,357 \text{ J/kg}$$

### 3. Looses in Fitting and Valve

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} \quad (\text{Geankoplis, pers. 2.10-17 halaman 98})$$

Digunakan:

- 2 buah elbow 90°
- 1 buah globe valve
- 1 buah gate valve

maka:

- **Friksi pada 2 buah elbow 90°**

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Geankoplis, table 2.10-1, halaman 99})$$

$$\begin{aligned} h_{f1} &= K_f \times \frac{v^2}{2} \times 2 \\ &= 0,75 \times \frac{0,714}{2} \times 2 \\ &= 0,54 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

- **Friksi pada 1 buah globe valve (wide open)**

$$K_f = 6 \quad (\text{Geankoplis, table 2.10-1, halaman 99})$$

$$\begin{aligned} h_{f2} &= K_f \times \frac{v^2}{2} \\ &= 6 \times \frac{0,71}{2} \\ &= 2,141 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

- **Friksi pada 1 buah gate valve (wide open)**

$$K_f = 0,17 \quad (\text{Geankoplis, table 2.10-1, halaman 99})$$

$$\begin{aligned} h_{f3} &= K_f \times \frac{v^2}{2} \\ &= 0,2 \times \frac{0,71}{2} \\ &= 0,061 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

$$h_f \text{ total} = h_{f1} + h_{f2} + h_{f3}$$

$$\begin{aligned} &= 0,54 + 2,141 + 0,061 \\ &= 2,74 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

**4. Friksi pada pipa lurus**

Asumsi : panjang total dari pipa lurus  $\Delta L = 55 \text{ ft} = 16,8 \text{ m}$   
untuk commercial steel :

$$\varepsilon = 0,000046 \text{ m}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000046}{0,1023}$$

$$= 0,00045 \text{ m}$$

$$N_{re} = 47.808$$

Dari Fig. 2-10-3 Geankoplis didapatkan :

$$f = 0,0052$$

$$F_f = 4f x \Delta L / D_{in} x v^2 / 2 \quad (\text{Geankoplis, pers. 2.10-6})$$

$$= 4 x 0,0052 x \frac{16,8}{0,102} x \frac{0,71}{2}$$

$$= 1,2 \text{ J/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi friksi total, } \Sigma F &= h_c + h_{ex} + h_f \text{ total} + F_f \\ &= 0,196 + 0,3568 + 2,74 + 1,22 \\ &= 4,506 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

### Menentukan Kerja Pompa:

Persamaan Bernoulli

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

(Geankoplis, pers. 2.7-28)

Dimana :

$$v_1 = 0 \text{ m/s}$$

$$v_2 = v = 0,84 \text{ m/s}$$

$$z_2 - z_1 = \Delta z = 3,50 \text{ m}$$

$P_1$  = tekanan suction

$$= 1 \text{ atm} = 101.325 \text{ Pa}$$

$P_2$  = tekanan pada discharge

$$= 1 \text{ atm} = 101.325 \text{ Pa}$$

$$P_2 - P_1 = 0 \text{ Pa}$$

maka:

$$\begin{aligned} -W_s &= \frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F \\ &= \frac{1}{2 \cdot 1} 0,7 + 9,8 \cdot 3,50 + \frac{0}{1.016} + 4,506 \\ &= 39,16 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

$$W_s = -39,2 \text{ J/kg}$$

$$\text{Rate volume} = 0,245 \text{ cuft/s} = 6,925 \text{ kg/s}$$

$$\begin{aligned} W_p &= (W_s / \eta) \quad (\text{Geankoplis, hal 104}) \\ &= \frac{-39,2}{-0,8} \\ &= 48,95 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= \frac{m \times W_p}{1000} \quad (\text{Geankoplis, hal 104}) \\ &= \frac{6,92 \times 48,95}{1000} \\ &= 0,34 \text{ kW} = 0,45 \text{ hp} \end{aligned}$$

dari Fig. 13-38 Peters & Timmerhaus halaman 551 didapatkan:

$$\text{Effisiensi motor} = 81 \%$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi power actual} &= \text{BHP}/\text{effisiensi motor} \\ &= \frac{0,45}{0,81} \\ &= 0,6 \text{ hp} \\ &= 1 \text{ hp} \end{aligned}$$

### Spesifikasi :

Fungsi	: memompa CH <sub>3</sub> COOH dari tangki penyimpanan ke tangki pengenceran.
Type	: Centrifugal pump
Kapasitas	: 6,92 kg/s

Material case	:	Cast iron
Material rotor	:	Carbon steel
Suction pressure	:	1 atm
Discharge pressure	:	1 atm
Beda ketinggian ( $\Delta z$ )	:	3,50 m
Ukuran pipa	:	4,50 in OD, sch 40
Power pompa	:	1 hp
Jumlah	:	1 unit

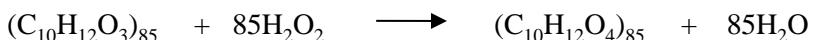
## 11. Reaktor H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (R-310)

Fungsi : mereaksikan lignin dengan hidrogen peroksida untuk meningkatkan *brightness* pulp.

Type : Mixed Flow Reaktor

Proses : Kontinyu

Reaksi yang terjadi pada proses *bleaching* :



Bahan masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat
Serat:		
Selulosa	12.145,54	0,28075
Hemiselulosa	2.280,32	0,05271
Pektin	153,64	0,00355
Lignin Sisa	9,70	0,00022
Wax	24,26	0,00056
Air pada serat	1,54	0,00004
Cairan:		
CH <sub>3</sub> COOH sisa	3.419,63	0,07905
Pektin Terlarut	27,11	0,00063

Aseto Liginat	19,01	0,00044
Wax terlarut	4,28	0,00010
Air Sisa	23.916,26	0,55283
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	126,00	0,00291
Air	1.134,03	0,02621
<b>Total</b>	<b>43.261,33</b>	<b>1,00000</b>

$$\begin{aligned}\rho \text{ campuran} &= 1.156,06 \text{ kg/m}^3 \\ &= 72,17 \text{ lb/cuft}\end{aligned}$$

$$\mu \text{ campuran} = 2,4792 \text{ cp} = 0,0025 \text{ kg/ms}$$

$$\begin{aligned}\text{Rate massa} &= 43.261,33 \text{ kg/jam} \\ &= 95.374,79 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rate volumetrik} &= \frac{\text{rate massa}}{\rho \text{ campuran}} \\ &= \frac{95.374,79}{72,17} \\ &= 1.321 \text{ cuft/jam} = 0,3671 \text{ cuft/s}\end{aligned}$$

### Kondisi Operasi :

Temperatur : 95 °C

Tekanan operasi : 1 bar

Laju alir massa : 95.375 lb/jam

Waktu : 0,25 jam

Perhitungan dimensi reaktor:

$$t = \frac{V \cdot C_{Ao}}{F_{Ao}}$$

$$V = \frac{t \cdot F_{Ao}}{C_{Ao}}$$

dimana :

t : waktu (jam)

$V$  : Volume larutan (cuft)  
 $C_{Ao}$  : konsentrasi feed masuk (lbmol/cuft)  
 $F_{Ao}$  : laju alir molar (lbmol/jam)  
 $C_{Ao} = \frac{\text{mol masuk}}{\text{volume feed}}$   
 $= \frac{3.078,85}{1.321,48}$   
 $= 2,33 \text{ lbmol/cuft}$   
 $V = \frac{t \cdot F_{Ao}}{C_{Ao}}$   
 $= \frac{0,3 \times 3078,8}{2,33}$   
 $= 330,4 \text{ cuft}$   
 Volume Reaktor ( $V_R$ ) = 330,37 cuft

Untuk perancangan, diberikan faktor kelonggaran 20% maka:

$$\begin{aligned} \text{Volume Reaktor } (V_R) &= 1,2 \times 330,37 \\ &= 396,4 \text{ cuft} \end{aligned}$$

## Perencanaan

### A. Menghitung Dimensi Tangki Menentukan ukuran tangki dan ketebalannya

Asumsi dimensi rasio:  $H/D = 4$  (*Ulrich, tabel 4-27*)

$$\begin{aligned} \text{Volume}_t &= 1/4\pi(D^2)H \\ 396,4 &= 1/4\pi(D^2)4D \\ D &= 5 \text{ ft} \\ D &\approx 5,0 \text{ ft} = 60 \text{ in} \\ H &= 20,1 \text{ ft} = 241 \text{ in} \end{aligned}$$

### **Menentukan tebal minimum shell:**

Berdasarkan persamaan 13.1 pg. 254 Brownel (1959), tebal dinding tangki silinder ditentukan oleh persamaan berikut:

$$t_s = \frac{P \cdot r_i}{f \cdot E - 0,6 \cdot P} + c$$

Dimana:

$t_s$  = tebal shell (in)       $f$  = tekanan maks. yang diijinkan (psia)

$P$  = tekanan internal (psi)       $E$  = efisiensi pengelasan

$r_i$  = jari – jari dalam (in)       $c$  = faktor korosi

Menentukan tebal dinding

Joint efficiency,  $E = 0,8$

Allowable stress = 12.650 psia

$P$  operasi = 1 bar = 14,5 psi

$P$  hidrostatis =  $\frac{\rho \times H}{144}$  = 10,1 psi

$P$  total =  $P$  operasi +  $P$  hidrostatis

$$= 14,5 + 10,1$$

$$= 24,6 \text{ psi}$$

$P$  design diambil 20% lebih besar daripada  $P$  total untuk faktor keamanan.

$$\begin{aligned} P_{\text{desain}} &= 1,2 \times P \text{ total} \\ &= 1,2 \times 24,56 = 29,47 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$r_i = 0,5 \times D_s$$

$$= 0,5 \times 5$$

$$= 2,51 \text{ ft} = 30,10 \text{ in}$$

$$C = 0,125 \text{ in}$$

maka tebal minimum shell:

$$t_s = \frac{P \cdot r_i}{f \cdot E - 0,6 \cdot P} + c$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{29,47 \times 30}{(12,650 \times 0,8) - (0,6 \times 29,47)} + 0,125 \\
 &= 0,213 \text{ in} \\
 &= 3/16 \text{ in} \quad (\text{tebal standar shell berdasarkan ASME})
 \end{aligned}$$

Menentukan diameter luar tangki

$$\begin{aligned}
 (\text{OD})s &= (\text{ID})s + 2.ts \\
 &= 60,2 + 2 \cdot 0,21 \\
 &= 61 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Distandardkan menurut ASME 66 in

**Menentukan tebal tutup (head):**

jenis *head* yang digunakan untuk bagian atas dan bawah adalah sama yaitu *standart diskhead*.

$$t = \frac{p \times r_c \times W}{2 \times f \times E - 0,2p} \quad \text{dimana, } W = 1/4 (3 \times (r_c/r_t)^{0,5})$$

tebal tutup bagian atas = tebal tutup bagian bawah.

$$t = 3/16 \text{ in}$$

$$\text{OD} = 66 \text{ in}$$

$$r_c = r = 66 \text{ in}$$

$$r_t = icr = 4,00 \text{ in} = 4 \text{ in}$$

$$\begin{aligned}
 W &= 1/4 \times (3 + (66 : 4,00)^{0,5}) \\
 &= 1,77
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{29,47 \times 66 \times 1,77}{(2 \times 12,650 \times 0,8) - (0,2 \times 29,47)} \\
 &= 0,170 \text{ in} \quad (\text{dipakai tebal standart yaitu: } 3/16 \text{ in })
 \end{aligned}$$

Berdasarkan penentuan dimensi *dished head* pg. 87 Brownell (1959) diperoleh harga:

$$a = \frac{\text{ID}}{2} = \frac{60}{2} = 30 \text{ in}$$

$$\begin{aligned}
 BC &= r - icr = 66 - 4 = 62 \text{ in} \\
 AB &= \frac{ID}{2} - icr \\
 &= 30 - 4 = 26,1 \text{ in} \\
 AC &= (BC^2 - AB^2)^{0,5} \\
 &= 56,24 \text{ in} \\
 b &= r - AC \\
 &= 9,76 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Dari tabel 5.6 pg. 88 Brownell (1959), tebal head 3/16 in diperoleh harga sf = 1 ½ - 2. Dipilih sf = 2 maka:

$$\begin{aligned}
 OA &= th + b + sf \\
 &= 0,17 + 9,8 + 2 \\
 &= 11,93 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi tangki} &= H + 2OA \\
 &= 240,80 + 23,86 \\
 &= 264,66 \text{ in}
 \end{aligned}$$

## B. Perhitungan Sistem Pengaduk:

Jenis pengaduk yang dipakai yaitu : Propeller

Geometri pengaduk standart (*Geancoplis, tabel 3-4.1*) :

$$\begin{aligned}
 \frac{Da}{Dt} &= \frac{1}{3} ; \quad \frac{W}{Da} = \frac{1}{5} ; \quad \frac{H}{Dt} = 1 \\
 \frac{L}{Da} &= \frac{1}{4} ; \quad \frac{C}{Dt} = \frac{1}{3} ; \quad \frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}
 \end{aligned}$$

Dimana :

- Da = diameter pengaduk (ft)
- Dt = diameter tangki (ft)
- W = lebar pengaduk (ft)
- H = tinggi larutan (ft)
- L = tinggi pengaduk (ft)

$$\begin{aligned} C &= \text{tinggi pengaduk dari dasar tangki} \quad (\text{ft}) \\ J &= \text{lebar baffle} \quad (\text{ft}) \end{aligned}$$

Maka diperoleh :

$$Da = \frac{1}{3} \times Dt = \frac{1}{3} \times 5 = 1,67 \text{ ft}$$

$$W = \frac{1}{5} \times Da = \frac{1}{5} \times 1,67 = 0,33 \text{ ft}$$

$$H = Dt = 5 \text{ ft}$$

$$L = \frac{1}{4} \times Da = \frac{1}{4} \times 1,67 = 0,417 \text{ ft}$$

$$C = \frac{1}{3} \times Dt = \frac{1}{3} \times 5 = 1,67 \text{ ft}$$

$$J = \frac{1}{12} \times Dt = \frac{1}{12} \times 5 = 0,417 \text{ ft}$$

### Kebutuhan power pengaduk :

$$\text{Diameter pengaduk (Da)} = 2 \text{ ft} = 20 \text{ in} = 0,51 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan putaran (N)} = 1 \text{ Hz} = 2 \text{ rps} = 120 \text{ rpm}$$

$$\begin{aligned} N_{re} &= \frac{\rho N Da^2}{\mu} \\ &= \frac{1.156,06 \times 2 \times 0,260}{0,0025} \\ &= 242.602,4 \end{aligned}$$

$N_{re} > 10.000$ , maka aliran tersebut turbulen.

menggunakan curve 5 pada figure 3.4-5, Geancoplis halaman 159 untuk menentukan power pengaduk:

$$N_p = 0,38$$

$$\begin{aligned} \text{Power pengaduk} &= N_p \times \rho \times N^3 \times Da^5 \\ &= 0,38 \times 1.156,06 \times 8 \times 0,03 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 121,3 \text{ W} \\
 &= 0,1 \text{ kW} \\
 &= 0,2 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

Asumsi effisiensi motor = 85%

$$\begin{aligned}
 \text{Power actual} &= \frac{0,2}{85\%} \\
 &= 0,2 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

### C. Menghitung Jaket Pemanas

Jumlah steam (225°C) = 221,5 kg/jam = 488,4 lb/jam

$$\begin{aligned}
 V_{\text{steam}} &= \frac{m_{\text{steam}}}{\rho_{\text{steam}}} \\
 &= \frac{488,4}{0,4432} \\
 &= 1101,965 \text{ cuft/jam}
 \end{aligned}$$

Diameter inside jaket ( $D_1$ ) = Diameter dalam + (2 x tebal shell)  
 = 60,6 in = 5,05 ft

Tinggi jaket = Tinggi tangki  
 = 264,66 in

Asumsi jarak jaket = 5 in = 0,42 ft

Diameter outside jaket ( $D_2$ ) =  $D_1 + (2 \times \text{jarak jaket})$   
 = 60,6 + 10  
 = 70,6 in = 5,9 ft

$$\begin{aligned}
 \text{Luas area steam (A)} &= \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) \\
 &= 7,16 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

Kecepatan steam, v :

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{V_{\text{steam}}}{A} \\
 &= 154,012 \text{ ft/jam}
 \end{aligned}$$

**Spesifikasi :**

Fungsi : Mereaksikan lignin dengan hidrogen peroksida untuk meningkatkan brightness pulp  
Type : Mixed Flow Reaktor  
Jumlah : 1 unit

**Dimensi Tangki :**

Kapasitas : 1.321,48 cuft/jam  
Tinggi : 264,66 in  
Diameter :  
- Inside diameter : 60,20 in  
- Outside diameter : 66,00 in  
Tebal Shell : 3/16 in  
Tebal tutup atas : 3/16 in  
Tebal tutup bawah : 3/16 in  
Bahan konstruksi : Carbon steel SA-2833 grade C

**Dimensi Pengaduk :**

Jenis pengaduk : Propeller  
Diameter pengaduk : 1,67 ft  
Kecepatan putaran : 2,00 rps  
Power motor : 0,16 hp

**Dimensi Jaket :**

$V_{steam}$  : 488,39 lb/jam  
Diameter :  
- Inside diameter : 5,05 ft  
- Outside diameter : 5,89 ft  
Tinggi jaket : 264,66 in  
Luas area steam : 7,16  $ft^2$   
Kecepatan superficial steam : 154,01 ft/jam

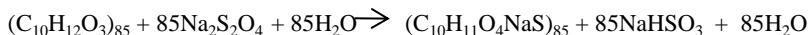
## 12 . Reaktor Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (R-330)

Fungsi : mereaksikan lignin dengan sodium dithionite untuk meningkatkan *brightness* pulp.

Type : Mixed Flow Reaktor

Proses : Kontinyu

Reaksi yang terjadi pada proses *bleaching* :



Bahan masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat
Serat:		
Selulosa	10.930,99	0,404684
Hemiselulosa	2.052,29	0,075979
Pektin	55,31	0,002048
Lignin Sisa	5,24	0,000194
Wax	8,73	0,000323
Air pada serat	0,04	0,000001
Cairan:		
CH <sub>3</sub> COOH sisa	341,96	0,012660
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	12,53	0,000464
Pektin terlarut	11,93	0,000442
Aseto Ligninat	1,90	0,000070
Wax terlarut	1,88	0,000070
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	0,42	0,000016
Air Sisa	13.320,52	0,493148
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	53,49	0,001980
Air	213,95	0,007921
<b>Total</b>	<b>27.011,18</b>	<b>1,000000</b>

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ campuran} &= 1.239,40 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 77,38 \text{ lb/cuft} \\
 \mu \text{ campuran} &= 29,456 \text{ cp} = 0,0295 \text{ kg/ms} \\
 \text{Rate massa} &= 27.011,2 \text{ kg/jam} \\
 &= 59.549,4 \text{ lb/jam} \\
 \text{Rate volumetrik} &= \frac{\text{rate massa}}{\rho \text{ campuran}} \\
 &= \frac{59.549,4}{77,38} \\
 &= 770 \text{ cuft/jam} = 0,2138 \text{ cuft/s}
 \end{aligned}$$

### Kondisi Operasi :

$$\begin{aligned}
 \text{Temperatur} &: 80,00 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \text{Tekanan operasi} &: 1,00 \text{ bar} \\
 \text{Laju alir massa} &: 59.549,4 \text{ lb/jam} \\
 \text{Waktu tinggal pada reaktor} &: 0,25 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Perhitungan dimensi reaktor:

$$t = \frac{V \cdot C_{Ao}}{F_{Ao}}$$

$$V = \frac{t \cdot F_{Ao}}{C_{Ao}}$$

dimana :

- t : waktu (jam)
- V : Volume larutan (cuft)
- $C_{Ao}$  : konsentrasi feed masuk (lkmol/cuft)
- $F_{Ao}$  : laju alir molar (lkmol/jam)

$$\begin{aligned}
 C_{Ao} &= \frac{\text{mol masuk}}{\text{volume feed}} \\
 &= \frac{1.673,8}{769,6}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,17 \text{ lbmol/cuft} \\
 V &= \frac{t \cdot F_{Ao}}{C_{Ao}} \\
 &= \frac{0,3 \times 1673,8}{2,17} \\
 &= 192,40 \text{ cuft} \\
 \text{Volume Reaktor } (V_R) &= 192,40 \text{ cuft}
 \end{aligned}$$

Untuk perancangan, diberikan faktor kelonggaran 20% maka:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Reaktor } (V_R) &= 1,2 \times 192,40 \\
 &= 230,9 \text{ cuft}
 \end{aligned}$$

## Perencanaan

### A. Menghitung Dimensi Tangki

#### Menentukan ukuran tangki dan ketebalannya

Asumsi dimensi rasio:  $H/D = 4$  (*Ulrich, tabel 4-27*)

$$\text{Volume}_t = 1/4\pi(D^2)H$$

$$230,9 = 1/4\pi(D^2)4D$$

$$D = 4,2 \text{ ft}$$

$$D \approx 4,2 \text{ ft} = 50 \text{ in}$$

$$H = 17 \text{ ft} = 201 \text{ in}$$

#### Menentukan tebal minimum shell:

Berdasarkan persamaan 13.1 pg. 254 Brownel (1959), tebal dinding tangki silinder ditentukan oleh persamaan berikut:

$$t_s = \frac{P \cdot r_i}{f \cdot E - 0,6 P} + c$$

Dimana:

$t_s$  = tebal shell (in)  $f$  = tekanan maks. yang diijinkan (psia)

$P$  = tekanan internal (psi)  $E$  = efisiensi pengelasan

$r_i$  = jari – jari dalam (in)       $c$  = faktor korosi

Menentukan tebal dinding

Joint efficiency,  $E = 0,8$

Allowable stress = 12.650 psia

$P_{operasi} = 1 \text{ bar} = 14,5 \text{ psi}$

$$P_{hidrostatis} = \frac{\rho \times H}{144} = 9,0 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned} P_{total} &= P_{operasi} + P_{hidrostatis} \\ &= 14,5 + 9,0 \\ &= 23,5 \text{ psi} \end{aligned}$$

P design diambil 20% lebih besar daripada  $P_{total}$  untuk faktor keamanan.

$$\begin{aligned} P_{desain} &= 1,2 \times P_{total} \\ &= 1,2 \times 23,51 = 28,21 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_i &= 0,5 \times D_s \\ &= 0,5 \times 4,2 \\ &= 2,095 \text{ ft} = 25,14 \text{ in} \end{aligned}$$

$$C = 0,125 \text{ in}$$

maka tebal minimum shell:

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{P \cdot r_i}{f \cdot E - 0,6 \cdot P} + c \\ &= \frac{28,21 \times 25}{(12.650 \times 0,8) - (0,6 \times 28,21)} + 0,125 \\ &= 0,195 \text{ in} \\ &= 3/16 \text{ in} \quad (\text{tebal standar shell berdasarkan ASME}) \end{aligned}$$

Menentukan diameter luar tangki

$$(OD)s = (ID)s + 2 \cdot ts$$

$$= 50,27 + 2 \cdot 0,20$$

$$= 51 \text{ in}$$

Distandartkan menurut ASME 54 in

### Menentukan tebal tutup (head):

jenis *head* yang digunakan untuk bagian atas dan bawah adalah sama yaitu *standart diskhead*.

$$t = \frac{p \times r_c \times W}{2 \times f \times E - 0,2p} \quad \text{dimana, } W = 1/4 (3 \times (r_c/r_t)^{0,5})$$

$$t = 3/16 \text{ in}$$

$$OD = 54 \text{ in}$$

$$r_c = r = 54 \text{ in}$$

$$r_t = icr = 3 1/4 \text{ in} = 0,75 \text{ in}$$

$$W : 1/4 \times (3 + (54 : 0,75)^{0,5}) \\ = 2,871$$

$$t = \frac{28,210 \times 54 \times 2,871}{(2 \times 12.650 \times 0,8) - (0,2 \times 28,2)} \\ = 0,216 \text{ in} \quad (\text{dipakai tebal standart yaitu} : 3/16 \text{ in})$$

Berdasarkan penentuan dimensi *dished head* pg. 87 Brownell (1959) diperoleh harga:

$$a = \frac{ID}{2} = \frac{50}{2} = 25 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = 54 - 0,75 = 53 \text{ in}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr$$

$$= 25 - 0,75 = 24,39 \text{ in}$$

$$AC = (BC^2 - AB^2)^{0,5}$$

$$= 47,34 \text{ in}$$

$$b = r - AC$$

$$= 6,66 \text{ in}$$

Dari tabel 5.6 pg. 88 Brownell (1959), tebal head 3/16 in diperoleh

harga sf = 1 ½ - 2. Dipilih sf = 2 maka:

$$\begin{aligned} OA &= th + b + sf \\ &= 0,22 + 6,7 + 2 \\ &= 8,88 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tangki} &= H + 2OA \\ &= 201,09 + 17,76 \\ &= 218,85 \text{ in} \end{aligned}$$

### B. Perhitungan Sistem Pengaduk:

Jenis pengaduk yang dipakai yaitu : Propeller

Geometri pengaduk standart (*Geancoplis, tabel 3-4.1*) :

$$\frac{Da}{Dt} = \frac{1}{3} ; \quad \frac{W}{Da} = \frac{1}{5} ; \quad \frac{H}{Dt} = 1$$

$$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4} ; \quad \frac{C}{Dt} = \frac{1}{3} ; \quad \frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}$$

Dimana :

Da = diameter pengaduk (ft)

Dt = diameter tangki (ft)

W = lebar pengaduk (ft)

H = tinggi larutan (ft)

L = tinggi pengaduk (ft)

C = tinggi pengaduk dari dt (ft)

J = lebar baffle (ft)

Maka diperoleh :

$$Da = \frac{1}{3} \times Dt = \frac{1}{3} \times 4 = 1,4 \text{ ft}$$

$$W = \frac{1}{5} \times Da = \frac{1}{5} \times 1 = 0,3 \text{ ft}$$

$$H = Dt = 4 \text{ ft}$$

$$L = \frac{1}{4} \times Da = \frac{1}{4} \times 1 = 0,3 \text{ ft}$$

$$C = \frac{1}{3} \times Dt = \frac{1}{3} \times 4 = 1,4 \text{ ft}$$

$$J = \frac{1}{12} \times Dt = \frac{1}{12} \times 1 = 0,1 \text{ ft}$$

### Kebutuhan power pengaduk :

Diameter pengaduk (Da) = 1 ft = 17 in = 0,43 m

Kecepatan putaran (N) = 3 Hz = 3 rps = 180 rpm

$$\begin{aligned} Nre &= \frac{\rho N Da^2}{\mu} \\ &= \frac{1.239,40 \times 3 \times 0,181}{0,0295} \\ &= 22.899,49 \end{aligned}$$

Nre > 10.000, maka aliran tersebut turbulen.

menggunakan curve 5 pada figure 3.4-5, Geancoplis halaman 159 untuk menentukan power pengaduk:

$$N_p = 0,4$$

$$\begin{aligned} \text{Power pengaduk} &= N_p \times \rho \times N^3 \times Da^5 \\ &= 0,4 \times 1.239,4 \times 27 \times 0,014 \\ &= 187,6 \text{ W} \\ &= 0,19 \text{ kW} \\ &= 0,25 \text{ hp} \end{aligned}$$

Asumsi effisiensi motor = 85%

$$\begin{aligned} \text{Power actual} &= \frac{0,3}{85\%} \\ &= 0,30 \text{ hp} \end{aligned}$$

### C. Menghitung Jaket Pemanas

Jumlah steam ( $225^{\circ}\text{C}$ ) = 113,13 kg/jam = 249,41 lb/jam

$$\begin{aligned} V_{\text{steam}} &= \frac{m_{\text{steam}}}{\rho_{\text{steam}}} \\ &= \frac{249,411}{0,443} \\ &= 562,75 \text{ cuft/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Diameter inside jaket } (D_1) &= \text{Diameter dalam} + (2 \times \text{tebal shell}) \\ &= 50,7 \text{ in} = 4,22 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi jaket} &= \text{Tinggi tangki} \\ &= 218,8 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\text{Asumsi jarak jaket} = 5 \text{ in} = 0,42 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \text{Diameter outside jaket } (D_2) &= D_1 + (2 \times \text{jarak jaket}) \\ &= 50,7 + 10 \\ &= 60,7 \text{ in} = 5,1 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas area steam } (A) &= \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) \\ &= 6,07 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Kecepatan steam, v :

$$\begin{aligned} v &= \frac{V_{\text{steam}}}{A} \\ &= 92,73 \text{ ft/jam} \end{aligned}$$

**Spesifikasi :**

Fungsi : Mereaksikan lignin dengan sodium dithionite untuk meningkatkan brightness pulp

Type : Mixed Flow Reaktor

Jumlah : 1 unit

**Dimensi Tangki :**

Kapasitas : 769,61 cuft/jam

Tinggi : 218,85 in

Diameter	:	
- Inside diameter	:	50,27 in
- Outside diameter	:	54,00 in
Tebal Shell	:	3/16 in
Tebal tutup atas	:	3/16 in
Tebal tutup bawah	:	3/16 in
Bahan konstruksi	:	Carbon steel SA-2833 grade C

#### **Dimensi Pengaduk :**

Jenis pengaduk	:	Propeller
Diameter pengaduk	:	1,40 ft
Kecepatan putaran	:	3,00 rps
Power motor	:	0,30 hp

#### **Dimensi Jaket :**

$V_{steam}$	:	249,41 lb/jam
Diameter	:	
- Inside diameter	:	4,22 ft
- Outside diameter	:	5,06 ft
Tinggi jaket	:	218,85 in
Luas area steam	:	6,07 $ft^2$
Kecepatan superficial steam	:	92,73 ft/jam

### **13. Headbox**

- Fungsi : Untuk mendistribusikan pulp secara merata ke atas wire section
- Tipe : Three-Pass Baffle Headbox
- kondisi Operasi : Tekanan = 1 atm  
Temperatur = 30,35 °C  
Rate mass = 18.493,24 kg/jam

Spesifikasi headbox (Britt, 1970) :

- Kecepatan Alir Roll : 1,5 ft/s
- Diameter Roll : 16 in
- Jumlah Roll : 3 roll
- Ketebalan Roll : 0,25 in
- Kecepatan Putar Roll : 30 rpm
- Ketinggian Headbox : 10 m

Perhitungan :

$$\text{Jet geometry (v)} = \frac{1}{2} m.v^2 = m.g.h$$
$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Dimana :

- v = Jet geometry ft/s
- g = gravity ft/s<sup>2</sup>
- h = height of fluida dari open slice it ft

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$
$$= \sqrt{2 \times 32.17 \times 32.81}$$
$$= 45,95 \text{ ft/s}$$

**Spesifikasi Alat :**

- fungsii : Untuk mendistribusikan pulp secara merata ke atas wire section
- Tipe : Three-Pass Baffle Headbox
- Kecepatan Alir Roll : 1,5
- Diameter Roll : 16 in

Jumlah Roll : 3 roll  
Ketebalan Roll : 0,25 in  
Kecepatan Putar Roll : 30 rpm  
Ketinggian Headbox : 10 m  
Jet Geometry : 45,95 ft/s  
Jumlah : 1 unit

#### 14. Wire Section

Fungsi : Untuk membentuk bubur pulp menjadi lembaran kertas  
Kondisi Operasi : Tekanan = 1 atm  
Temperatur = 30,35 °C  
Rate mass = 18.493,24 kg/jam  
Tipe : Metal Wire

Spesifikasi wire part :

Panjang wire : 35,7 m (PT. ADIPRIMA)  
Lebar wire : 3,9 m (SURPARINTA)

#### Spesifikasi Alat :

Fungsi : Untuk membentuk bubur pulp menjadi lembaran kertas  
Tipe : Metal Wire  
Panjang wire : 35,7 m  
Lebar wire : 3,9 m  
Jumlah : 1 unit

#### 15. Rotary Drum Dryer

Fungsi : Mengurangi kadar air menjadi 6% dari berat total pulp  
Kondisi Operasi : Tekanan = 1 atm  
Temperatur = 100 °C  
Rate mass = 14.602,24 kg/jam  
Jenis : Counter-current Rotary Dryer

Kodisi Operasi :

Temperatur steam masuk	=	225	$^{\circ}\text{C}$
Temperatur bahan masuk	=	72,3	$^{\circ}\text{C}$
Temperatur bahan keluar	=	100	$^{\circ}\text{C}$
Rate mass produk	=	14602,243	kg/jam
	=	32192,397	lb/jam
kebutuhan steam	=	2456,9592	kg/jam
	=	5416,6613	lb/jam
Q supply	=	1078428,8	kJ/jam
	=	1022350,5	BTU/jam
Densitas steam	=	0,44	$\text{kg/m}^3$
	=	0,027456	$\text{lb/ft}^3$
Densitas campuran	=	1500	$\text{kg/m}^3$
	=	93,6	$\text{lb/ft}^3$
Volume campuran umpan	=	343,93586	$\text{ft}^3$

### Perhitungan volume rotary drum dryer

$$\text{faktor kelonggaran} = 8\%$$

$$\begin{aligned}\text{Volume rotary dryer} &= \text{volume campuran umpan} \times 1,08 \\ &= 343,93586 \times 1,08 \\ &= 371,45073 \text{ ft}^3\end{aligned}$$

### Perhitungan luas permukaan rotary dryer :

$$\text{Temperatur steam} = 225 \text{ } ^{\circ}\text{C} = 437 \text{ F}$$

$$\text{Temperatur bahan masuk} = 72,3 \text{ } ^{\circ}\text{C} = 162,14 \text{ F}$$

$$\text{Temperatur bahan keluar} = 100 \text{ } ^{\circ}\text{C} = 212 \text{ F}$$

$$\text{Ud (Kern, Table 8)} = 200 \text{ BTU/jam.F.ft}^2$$

$$\text{LMTD} = \frac{\frac{(437-212)-(437-162,14)}{\ln \frac{(437-212)}{(437-162,14)}}}{= 249,1 \text{ F}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas permukaan dryer, } A &= \frac{Q}{U_d \times LMTD} \\
 &= \frac{1022350,474}{200 \times 249,1} \\
 &= 20,521 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

### Desain Rotary Dryer :

$$Q = \frac{10,98 \cdot K_f \cdot V^{2/3} \Delta t}{D_m^2} D_s \sqrt{\frac{\rho_t}{\rho_s}} \quad (\text{Perry's, 1999})$$

Dimana :

$Q$  = Laju perpindahan panas (BTU/jam)

$K_f$  = Konduktivitas panas (BTU/(h.ft)(F.ft))

$V$  = Volume dryer ( $\text{ft}^3$ )

$\Delta t$  = Selisih suhu (F)

$D_m$  = Diameter medium (ft)

$D_s$  = Diameter nozzel (ft)

$W_s$  = Laju alir umpan masuk (lb/h)

$\rho_s$  = Densitas steam ( $\text{lbm}/\text{ft}^3$ )

$\rho_t$  = Densitas bahan ( $\text{lbm}/\text{ft}^3$ )

### Volume Dryer

$$V_m = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \cdot L \quad \text{Asumsi } D : L = 1 : 5$$

$$= \frac{5}{4} \pi \cdot D^3$$

$$371,45 = \frac{5}{4} \times \pi \cdot D_m^3$$

$$D_m = 4,5571 \text{ ft}$$

$$L = 5 \times 4,5571$$

$$= 22,785 \text{ ft}$$

Dari persamaan diatas dapat diperoleh harga  $D_s$  :

$$D_s = \frac{Q \cdot D m^2}{10,98 \cdot Kf \cdot v^{2/3} \cdot \Delta t \cdot \sqrt{\frac{\rho_t}{\rho_s}}}$$

$$D_s = \frac{1022350,47 \times 4,5571^2}{10,98 \times 88 \times (371,4507)^{2/3} \times 249,1 \times \sqrt{\frac{93,6}{0,027}}}$$

$$\begin{aligned} D_s &= 0,0292 \text{ ft} \\ &= 0,9005 \text{ cm} \end{aligned}$$

#### Menentukan jumlah putaran :

$$N = \frac{v}{\pi \times D}$$

dimana :

$v$  = kecepatan putaran linier = 150 - 300 ft/menit

$D$  = diameter dryer (ft)

Diambil kecepatan putaran linier,  $v = 200$  ft/menit, sehingga :

$$\begin{aligned} N &= \frac{v}{\pi \times D} = \frac{200}{\pi \times 4,5571} \\ &= 13,977 \text{ rpm} \\ &= 14 \text{ rpm} \end{aligned}$$

#### Perhitungan waktu tinggal (Retention Time), $\theta$ :

$$\theta = \frac{0,23 \times L}{S \times N^{0,9} \times D}$$

Dimana :

$L$  = Panjang rotary dryer (ft)

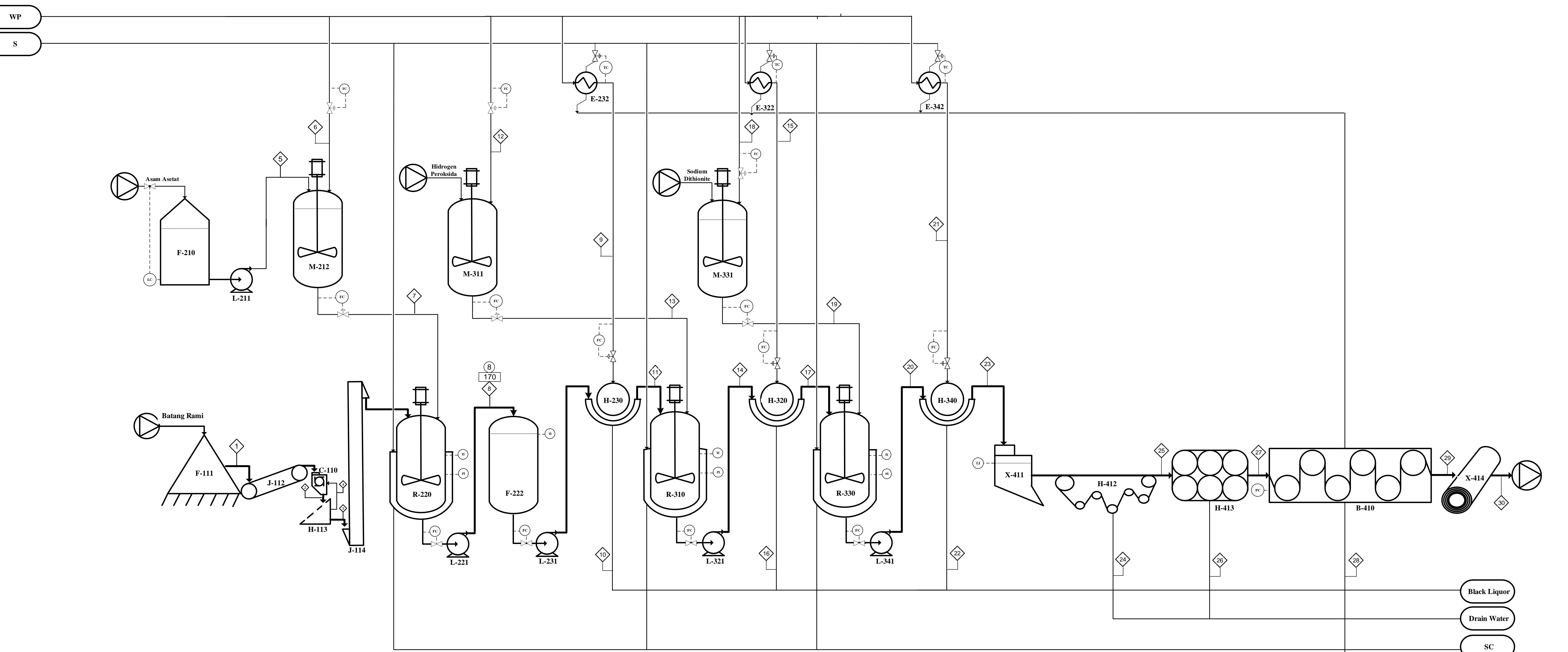
$N$  = Rotasi (rpm)

$S$  = Slope (ft/ft)

$D$  = Diameter rotary dryer (ft)

$$\theta = \frac{0,23 \times 22,785}{1 \times 14^{0,9} \times 4,5571}$$

$$\begin{aligned} \theta &= 0,107 \text{ jam} \\ &= 6,417 \text{ menit} \end{aligned}$$

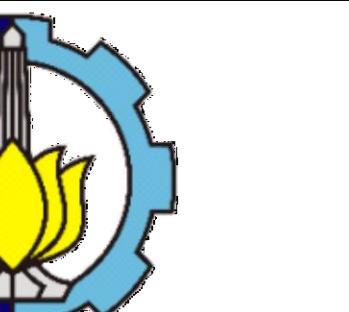


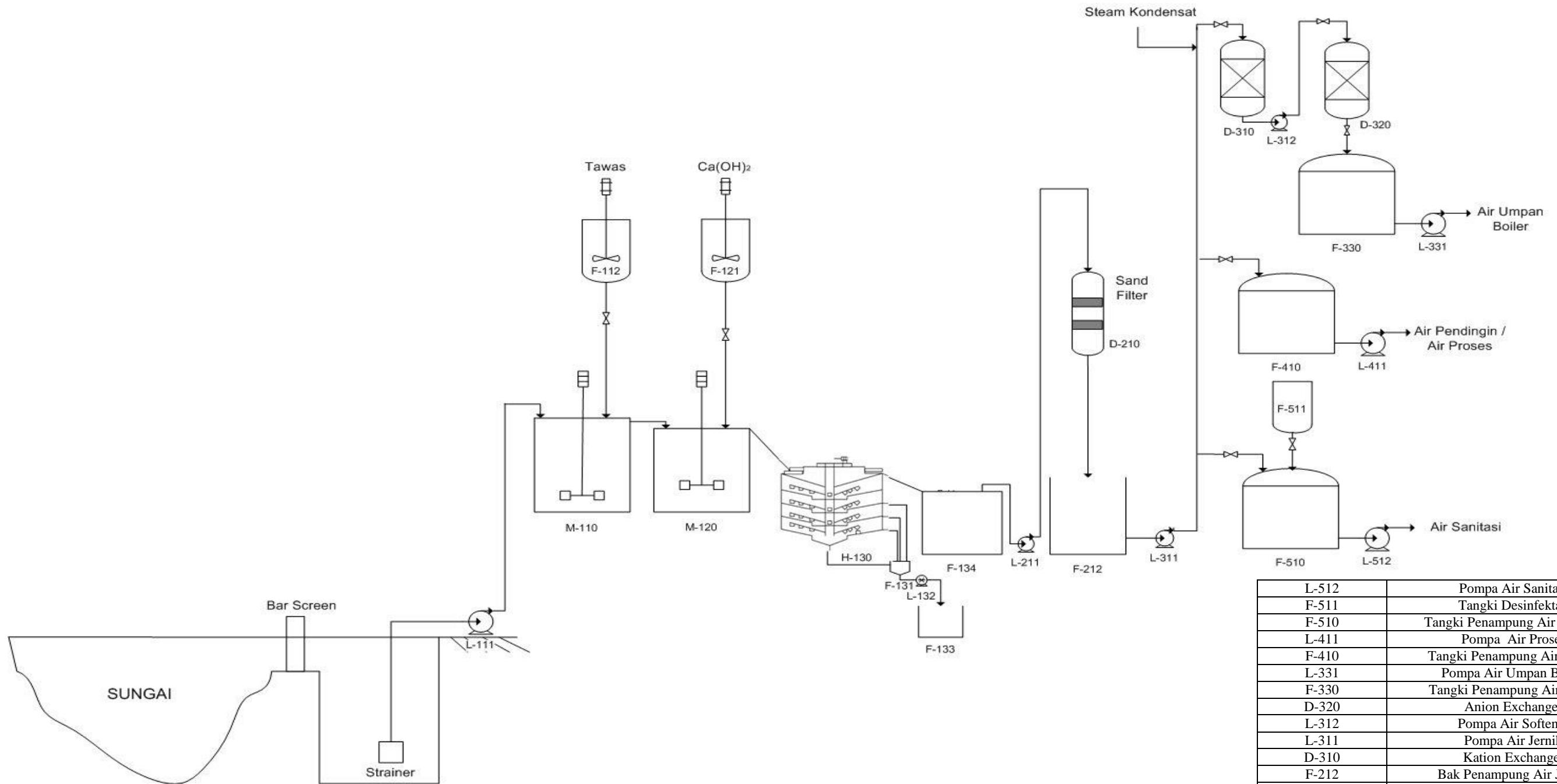
WP	Water Proses (kg/hari)	Black Liquor	Black Liquor (kg/hari)
S	Steam (kg/hari)	Drain Water	Drain Water (kg/hari)
SC	Steam Kondensat (kg/hari)		Tekanan (atm)
	Bahan Baku		Temperatur (°C)
	Produk		Aliran Massa (kg/hari)
Simbol	Keterangan	Simbol	Keterangan

29	X-414	Roll	1
28	B-410	Rotary Drum Dryer	1
27	H-413	Press Part Roll	1
26	H-412	Wire Section	1
25	X-411	Headbox	1
24	E-342	Heat Exchanger	1
23	L-341	Pompa	1
22	H-340	Rotary Vacuum Filter	1
21	M-331	Tangki Pengenceran Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1
20	R-330	Reaktor Bleaching Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1
19	E-322	Heat Exchanger	1
18	L-321	Pompa	1
17	H-320	Rotary Vacuum Filter	1
16	M-311	Tangki Pengenceran H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1
15	R-310	Reaktor Bleaching H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1
14	E-232	Heat Exchanger	1
13	L-231	Pompa	1
12	H-230	Rotary Vacuum Filter	1
11	F-222	Tangki Penampung Sementara	1
10	L-221	Pompa	1
9	R-220	Pandia Digester	1
8	M-212	Tangki Penyimpanan CH <sub>3</sub> COOH	1
7	L-211	Pompa	1
6	F-210	Tangki Penyimpanan CH <sub>3</sub> COOH	1
5	J-114	Bucket Elevator	1
4	H-113	Vibrating Screen	1
3	C-110	Rotary Knife Cutter	1
2	J-112	Belt Conveyor	1
1	F-111	Open Yard	1
No	Kode Alat	Nama Alat	Jumlah

Komponen	Neraca Massa																																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30											
Selulosa	346.396,88	346.396,88	342.932,91	3.463,97						342.932,91																															
Hemiselulosa	65.035,90	65.035,90	64.385,54	650,36						64.385,54																															
Pektin	8.763,70	8.763,70	8.676,06	87,64						4.338,03																															
Lignin	2.767,49	2.767,49	2.739,82	27,67						273,98																															
Wax	1.383,74	1.383,74	1.369,90	13,84						684,95																															
Air pada Serat	36.899,80	36.899,80	36.530,80	369,00						246,58																															
CH <sub>3</sub> COOH										547.962,40																															
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>											547.962,40																														
Pektin Terlarut												4.338,03																													
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>													3687,33																												
Aseto Ligninat														650,70																											
C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> NaS															3.024,09																										
Wax Terlarut																3.006,50																									
NaHSO <sub>3</sub>																	2.705,85																								
C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>																		300,65																							
Air																			300,65																						
Total	461.247,51	461.247,51	456.635,03	4.612,48	608.847,07	304.423,35	365.308,02	401.838,83	3.424,763	325.280,93	573.990,23	21.600,66	27.216,84	601.244,06	2.595.679,74	2.877.239,80	319.692,38	4.992,16	5.134,80	324.823,08	1.620,671	1.789.858,82	155.639,49	31.127,98	124.511,92	62.255,96	62.255,96	41.120,83	21.027,23	21.027,23											

Digambar Oleh:  
Diah Ayu Triningsih 1041150000006  
Ahmad Arif 1041150000007  
Diperiksa Oleh :  
Dr. Ir. Lily Pudjastuti, MT  
NIP. 19580703 198502 2 001  
Flowsheet :  
PABRIK PULP DARI TANAMAN RAMI (BOECHMERIA NIVEA L. GAUDICH)  
DENGAN PROSES ACETOCELL  
PROGRAM STUDI DIII TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018





KODE	NAMA ALAT	JUMLAH
L-512	Pompa Air Sanitasi	1
F-511	Tangki Desinfektan	1
F-510	Tangki Penampung Air Sanitasi	1
L-411	Pompa Air Proses	1
F-410	Tangki Penampung Air Proses	1
L-331	Pompa Air Umpam Boiler	1
F-330	Tangki Penampung Air Boiler	1
D-320	Anion Exchanger	1
L-312	Pompa Air Softener	1
L-311	Pompa Air Jernih	1
D-310	Kation Exchanger	1
F-212	Bak Penampung Air Jernih	1
L-211	Pompa Air Bersih	1
D-210	Sand Filter	1
F-134	Bak Penampung Air Bersih	1
F-133	Bak Penampung Lumpur	1
L-132	Pompa Lumpur	1
F-131	Bak Penampung Lumpur Sementara	1
H-130	Clarifier	1
F-121	Tangki Ca(H) <sub>2</sub>	1
M-120	Tangki Flokulasi	1
F-112	Tangki Tawas	1
L-111	Pompa Air Sungai	1
M-110	Tangki Koagulasi	1

**DIGAMBAR OLEH:**

1. Diah Ayu Triningsih 104115000000006
2. Ahmad Arif 104115000000007

**DIPERIKSA OLEH**

Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT. 19580703 198502 2 001

**FLOWSCHEET**

PABRIK PULP DARI SERAT RAMI (*BOEHMERIA NIVEA L. GAUDICH*) DENGAN PROSES ACETOCELL



PROGRAM STUDI DIII TEKNIK KIMIA  
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA INDUSTRI  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2018

## **BIODATA PENULIS 1**



Penulis dilahirkan di Tulungagung pada tanggal 20 Januari 1997 dengan nama lengkap Diah Ayu Triningsih. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu lulus dari TK Dharma Wanita Jarakan pada tahun 2003, lulus dari SDN I Jarakan pada tahun 2009, lulus dari SMP Negeri I Gondang pada tahun 2012, dan lulus dari SMA Negeri I Gondang pada tahun 2015.

Setelah lulus SMA, penulis diterima di Departemen Teknik Kimia Industri Fakultas Vokasi-ITS dengan nomor registrasi 10411500000006. Selama kuliah penulis berorganisasi sebagai staff Departemen Syiar Lembaga Dakwah Jurusan di Departemen Teknik Kimia Industri (2016-2017) dan sebagai Staff Bidang Kewirausahaan Departemen Teknik Kimia Industri (2016-2017), serta mengikuti beberapa pelatihan dan seminar yang diadakan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Penulis juga pernah melaksanakan kerja praktek di PT. HOLCIM INDONESIA, Tbk. Apabila pembaca ingin berkorespondensi dengan penulis dapat menghubungi melalui email: [dayu11757@gmail.com](mailto:dayu11757@gmail.com).

## **BIODATA PENULIS 2**



Penulis dilahirkan di Jombang pada tanggal 30 Nopember 1996 dengan nama lengkap Ahmad Arif. Penulis telah menempuh pendidikan formal, yaitu SDN Tampingmojo II, SMPN 1 Tembelang, SMAN 3 Jombang. dan melanjutkan kuliah di jurusan DIII Teknik Kimia Industri ITS Surabaya pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 10411500000007.

Selama kuliah penulis berorganisasi sebagai Staff Bidang PSDM Departemen Teknik Kimia Industri (2016-2017), serta mengikuti beberapa pelatihan dan seminar yang diadakan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Penulis juga pernah melaksanakan kerja praktek di PT. Petrokimia Gresik. Apabila pembaca ingin berkorespondensi dengan penulis dapat menghubungi melalui email: [ahmad.arif1145@gmail.com](mailto:ahmad.arif1145@gmail.com).