



TUGAS AKHIR - TK 145501

**PABRIK KERTAS DARI ECENG GONDOK
(*Eichornia crassipes.*)
DENGAN PROSES ACETOCELL**

Arief Riduwan
NRP. 10411 400000096

Moh. Sigit Hardianto
NRP. 10411 400000100

Dosen Pembimbing
Ir. Budi Setiawan, MT.
Nurlaili Humaidah, ST. MT.

JURUSAN TEKNIK KIMIA INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



FINAL PROJECT - TK145501

PAPER MILL FROM WATER HYACINTH (*Eichornia crassipes*) BY ACETOCELL PROCESS

Arief Riduwan
NRP. 10411 400000096

Moh. Sigit Hardianto
NRP. 10411 400000100

Lecturer
Ir. Budi Setiawan, MT.
Nurlaili Humaidah, ST. MT.

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING INDUSTRY
Faculty of Vocational
Institute Technology of Sepuluh Nopember
Surabaya
2018**



TUGAS AKHIR

PABRIK KERTAS DARI ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes.*) DENGAN PROSES ACETOCELL

Arief Riduwan
NRP. 10411400000096

Moh. Sigit Hardianto
NRP. 10411400000100

Dosen Pembimbing
Ir. Budi Setiawan, MT.
Nurlaili Humaidah, ST. MT.

JURUSAN TEKNIK KIMIA
INDUSTRI Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



FINAL PROJECT - TK145501

PAPER MILL FROM WATER HYACINTH (*Eichornia crassipes*) BY ACETOCELL PROCESS

Arief Riduwan
NRP. 10411 400000096

Moh. Sigit Hardianto
NRP. 10411 400000100

Lecturer
Ir. Budi Setiawan, MT.
Nurlaili Humaidah, ST. MT.

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
INDUSTRY Faculty of Vocational
Institute Technology of Sepuluh Nopember
Surabaya
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

PABRIK KERTAS DARI ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes.*) 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

Arief Riduwan
Moh Sigit Hardianto

(NRP 1041140000096)
(NRP 1041140000100)

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing



Ir. Budi Setiawan, MT.
NIP. 19540220 198503 2 001

Co Dosen Pembimbing



Nurlaili Hudaiddah, ST,MT.
NIP. 2300201308001

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Kimia Industri
FV-ITS



LEMBAR REVISI

Telah diperiksa dan disetujui sesuai dengan hasil ujian tugas akhir pada tanggal 12 Desember 2017 untuk tugas akhir dengan judul "**Pabrik Kertas dari Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)**", yang disusun oleh :

Arief Riduwan
Moh. Sigit Hardianto

(NRP 10411400000096)
(NRP 10411400000100)

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir :

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



2. Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT.

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Budi Setiawan, MT.



2. Nurlaili Humaidah, ST, MT.



SURABAYA, 3 JANUARI 2018

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “**PABRIK KERTAS DARI ECENG GONDOK (Eichornia crassipes.) 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 Program Studi DIII Teknik Kimia FV–ITS. Pada kesempatan kali ini atas segala bantuan dalam penggerjaan laporan tugas akhir ini, kami mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Ir. Agung Subaktyo, MS selaku Ketua Departemen Teknik Kimia Industri FV–ITS.
2. Ibu Warlinda Eka Triastuti, S.Si., M.T selaku Ka Sie Tugas Akhir Departemen Teknik Kimia Industri FV–ITS.
3. Ir. Budi Setiawan, MT. Dan ibu Nurlaili Humaiddah, ST. MT.selaku dosen pembimbing kami.
4. Prof. Dr. Ir. Danawati Hari Prajitno, M.Pd. dan Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT. selaku dosen penguji.
5. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Kimia Industri FV–ITS.
6. Kedua orang tua dan keluarga kami yang telah banyak memberikan dukungan moral dan materiil.
7. Rekan–rekan seperjuangan angkatan 2014 serta angkatan 2015 dan angkatan 2016.
8. Teman dan sahabat yang telah memberikan dukungan selama ini.

Surabaya, 19 January 2018

Penyusun

PABRIK KERTAS DARI ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) DENGAN PROSES ACETOCELL

Nama Mahasiswa	:	Arief Riduan	(104114000096)
	:	Moh Sigit Hardianto	(1041140000100)
Jurusan	:	Departemen Teknik Kimia Industri FV-ITS	
Dosen Pembimbing	:	Ir. Budi Setiawan, MT Nurlaili Humaiddah, ST.MT	

ABSTRAK

Industri kertas merupakan salah satu industri di Indonesia yang memiliki prospek yang cerah di masa mendatang serta dapat memberikan kontribusi dalam perekonomian Indonesia. Ketersediaan Eceng gondok belum banyak dimanfaatkan, maka direncanakan pendirian pabrik kertas dengan bahan baku Eceng gondok. Pabrik kertas ini bekerja dengan proses acetocell. Berdasarkan ketersediaan bahan baku, kemudahan transportasi dan sumber air, rencana lokasi pendirian pabrik adalah di daerah Sulawesi Utara.

Pembuatan kertas dari Eceng gondok dibuat dengan proses acetocell melalui 3 tahap. Tahap pertama yaitu pre-treatment yang bertujuan untuk menghilangkan impurities. Tahap kedua yaitu pemasakan dan bleaching, pemasakan dengan larutan CH_3COOH 50% pada temperatur 90°C. Bleaching yang bertujuan untuk mencerahkan warna bubur pulp dengan 2 proses yaitu bleaching menggunakan hidrogen peroksida 1% dan bleaching menggunakan sodium dithionite 1 % dari proses bleaching didapatkan kecerahan 77%. Tahap terakhir yaitu post-treatment yang bertujuan untuk mengurangi kadar air dalam pulp hingga 5% dan pembentukan lembaran kertas.

Pabrik kertas bekerja secara kontinyu dan beroperasi selama 300 hari/tahun dengan kapasitas produksi sebesar 100.000 ton/tahun. Eceng gondok yang dibutuhkan sebesar 1899182,028 kg/hari dengan bahan baku pendukung CH_3COOH , H_2O_2 dan $Na_2S_2O_4$. Kebutuhan utilitasnya adalah air sanitasi, air proses dan air make up yaitu $25152,33421 m^3/hari$. Limbah yang dihasilkan dari industri ini yaitu black liquor, limbah pencucian bubur pulp dan limbah padat.

Kata Kunci: Kertas, Pulp, Eceng gondok, Asam Asetat, Hidrogen Peroksida, Sodium Dithionite

PAPER MILL FROM WATER HYACINTH (*Eichornia crassipes*) BY ACETOCELL PROCESS

Nama Mahasiswa	:	Arief Riduwan	(10411400000096)
Jurusan	:	Moh Sigit Hardianto	(10411400000100)
Dosen Pembimbing	:	Departemen Teknik Kimia Industri FV-ITS	
	:	Ir. Budi Setiawan, MT	
		Nurlaili Humaidah, ST.MT	

ABSTRACT

Paper industry is one industry in Indonesia which has a bright prospect in the future and contribute to the economy of Indonesia. Availability of water hyacinth not yet widely used, the planned establishment of paper mill with raw material water hyacinth. This paper mill worked by process of Acetocell. Based on the supply of raw materials, the availability of water, and the easy of transportation, so the location of establishment of the factory selected in the area of North Sulawesi.

There are 3 steps in water hyacinth paper making with the acetocell process. The first step is the pre treatment with the purpose to eliminate the impurities on raw materials. The second step is cooking and bleaching, cooking with 50% CH_3COOH solution by cooking temperature 90°C. Bleaching using 1% hydrogen peroxide and 1% sodium dithionite, from the process of bleaching obtained brightness 77%. The last stage, as well as finishing the drying stage where the pulp is reduced up to 5% water content and formed sheet.

Paper mill works and operates continuously for 300 day/year with a production capacity of 100.000 ton/year. Water hyacinth that needed is around 1899182,028 kg/day with supporting materials like CH_3COOH , H_2O_2 and $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$. The utility needs are water sanitation, water process and make up water 25152,33421 m³/day. Waste produced from this industry is black liquor, pulp slurry leaching waste and solid waste.

Key Word: Paper, Pulp, Water hyacinth, Acetocell, Acetic Acid, Hydrogen Peroxide, Sodium Dithionite

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERSETUJUAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Dasar Teori	I-6
I.3 Kegunaan	I-14
I.4 Sifat Fisik dan Kimia	I-14
BAB II MACAM DAN URAIAN PROSES	
II.1 Macam Proses	II-1
II.2 Seleksi Proses	II-14
II.3 Uraian Proses Terpilih	II-18
BAB III NERACA MASSA	III-1
BAB IV NERACA ENERGI	IV-1
BAB V SPESIFIKASI ALAT	V-1
BAB VI UTILITAS	
VI.1 Air	VI-1
VI.2 Proses Pengolahan Air	VI-5
VI.3 Perhitungan Kebutuhan Air	VI-7
VI.4 Listrik	VI-9
BAB VII KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA	
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	VIII-1
VIII.2 Sistem Instrumentasi pada Pabrik Keras	VIII-4
BAB IX PENGOLAHAN INDUSTRI KIMIA	
IX.1 Unit Pengolahan Limbah	IX-1
IX.2 Usaha – usaha Menangani dan Memanfaatkan Limbah	IX-4
IX.3 Dampak yang Ditimbulkan dari Limbah	VII-5
BAB X KESIMPULAN	X-1
DAFTAR NOTASI	viii
DAFTAR PUSTAKA	ix
LAMPIRAN	
1. Appendiks A - Neraca Massa	A-1
2. Appendiks B - Neraca Energi	B-1
3. Appendiks C - Spesifikasi Alat	C-1
4. Flowsheet Pabrik Kertas dari Eceng Gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>) dengan Proses Acetocell	

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1	Lokasi Pabrik	I-6
Gambar I.2	Eceng Gondok	I-8
Gambar I.3	Struktur Selulosa	I-10
Gambar I.4	Struktur Lignin	I-13
Gambar I.5	Kertas Cetak.....	I-19
Gambar II.1	Diagram Alir Stone Ground Wood	II-1
Gambar II.2	Diagram Alir Refiner Mechanical Pulping	II-2
Gambar II.3	Diagram Alir Thermo Mechanical Pulping	II-4
Gambar II.4	Diagram Alir Chemi Thermo Mechanical Pulping	II-5
Gambar II.5	Diagram Alir Proses Sulfat	II-7
Gambar II.6	Diagram Alir Proses Sulfit	II-8

DAFTAR TABEL

Tabel I.1	Data Impor, Ekspor, dan Produksi	
	Kertas di Indonesia	I-3
Tabel II.1	Kondisi Operasi dari Berbagai Macam	
	Proses Pembuatan Pulp	II-14
Tabel II.2	Keuntungan dan Kerugian Macam – Macam	
	Proses	II-15
Tabel III.1	Komposisi Eceng Gondok	III-1
Tabel III.2	Neraca Massa Vibrating Screen	III-1
Tabel III.3	Neraca Massa Roll Mill	III-1
Tabel III.4	Neraca Massa Rotary Dryer.....	III-2
Tabel III.5	Neraca Massa Tangki Pengenceran	III-2
Tabel III.6	Komposisi Eceng Gondok	III-2
Tabel III.7	Neraca Massa Reaktor CH ₃ COOH	III-3
Tabel III.8	Neraca Massa Rotary Vacum Filter I.....	III-3
Tabel III.9	Neraca Massa Tangki PengenceranNa ₂ S ₂ O ₄ ..	III-4
Tabel III.10	Neraca Massa Reaktor Na ₂ S ₂ O ₄	III-4
Tabel III.11	Neraca Massa Rotary Vacum Filter II	III-4
Tabel III.12	Neraca Massa Tangki Pengenceran H ₂ O ₂	III-5
Tabel III.13	Neraca Massa Reaktor H ₂ O ₂	III-5
Tabel III.14	Neraca Massa Rotary Vacum Filter III	III-6
Tabel III.15	Neraca Massa Wire Part	III-6
Tabel III.16	Neraca Massa Drum Dryer	III-7
Tabel III.17	Neraca Massa Roll	III-7
Tabel IV.1	Neraca Panas <i>Heat Exchanger</i>	IV-1
Tabel IV.2	Neraca Panas <i>Rotary Dryer</i>	IV-1
Tabel IV.3	Neraca Panas <i>Heat Exchanger</i>	IV-1
Tabel IV.4	Neraca Panas <i>Reaktor CH₃COOH</i>	IV-1
Tabel IV.5	Neraca Panas <i>Heat Exchanger</i>	IV-2
Tabel IV.6	Neraca Panas <i>Rotary Vacum Filter I</i>	IV-2
Tabel IV.7	Neraca Panas <i>Heat Exchanger</i>	IV-2
Tabel IV.8	Neraca Panas <i>Reaktor Na₂S₂O₄</i>	IV-2
Tabel IV.9	Neraca Panas <i>Heat Exchanger</i>	IV-2
Tabel IV.10	Neraca Panas <i>Rotary Vacum Filter II</i>	IV-2

Tabel IV.11	Neraca Panas <i>Heat Exchanger</i>	IV-3
Tabel IV.12	Neraca Panas <i>Reaktor H₂O₂</i>	IV-3
Tabel IV.13	Neraca Panas <i>Heat Exchanger</i>	IV-3
Tabel IV.14	Neraca Panas <i>Rotary Vacum Filter III</i>	IV-3
Tabel IV.15	Neraca Panas <i>Drum Dryer</i>	IV-3
Tabel VI.1	Parameter Air Umpam Boiler	VI-4
Tabel VI.2	Kebutuhan Air Proses pada Pabrik	VI-7
Tabel VI.3	Kebutuhan <i>steam</i> pada Pabrik	VI-8
Tabel VIII.1	Instrumentasi pada Pabrik	VIII-5

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kertas merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari kehidupan manusia yang semakin maju dan berkembang seperti saat ini. Hal ini ditunjukan dari tingkat konsumsinya yang makin meningkat dari tahun ke tahun. Sehingga industri kertas mengalami pertumbuhan yang pesat di Indonesia dan dunia. Menurut data yang diperoleh dari Kementerian Perindustrian kebutuhan kertas dunia mencapai 394 juta ton dan diperkirakan meningkat menjadi 490 juta ton pada 2020. Sehingga perlu dilakukan peningkatan kapasitas produksi untuk pulp dan kertas. Pembuatan *pulp* dan kertas di Indonesia umumnya menggunakan bahan baku yang berasal dari kayu. Peningkatan kapasitas disektor produksi pulp tersebut tentu saja akan berdampak terhadap kebutuhan bahan baku kayu. Pada tahun 2017, kebutuhan bahan baku akan mencapai 45 juta meter kubik (m^3), naik 27,5% dari tahun 2012 yang mencapai 35,3 juta m^3 . Seperti halnya industri pulp, kapasitas produksi kertas pada 2017 juga diprediksi meningkat menjadi 17 juta ton atau naik 22,3% dibanding 2013 yang sebanyak 13,9 juta ton.

Tingginya kebutuhan kertas harus diimbangi dengan ketersedian bahan baku. Rencana pemerintah untuk mengembangkan Hutan Tanaman Industri (HTI) untuk menyediakan bahan baku industri berbasis kayu termasuk industri kertas belum dapat mengatasi kelangkaan bahan baku, sehingga perusahaan industri kertas skala besar yang berupaya memperoleh bahan baku dari pasar gelap (*illegal logging*) yang berasal dari hutan alam, sehingga sangat berpotensi merusak hutan. Menurut Ketua Asosiasi *Pulp* dan Kertas Indonesia



(APKI), pembangunan HTI *pulp* dan kertas masih berjalan lambat. Selama lima tahun terakhir, dari 10 juta hektar lahan cadangan, hanya 3,7 juta hektar HTI yang berhasil dibangun, "Produksi *pulp* nasional baru yang mencapai 6,9 juta ton per tahun dan produksi kertas 11,5 juta ton masih jauh tertinggal dari Brazil yang mampu menghasilkan 174 juta ton kertas di areal HTI seluas 63 juta hektar (Kemenperin, 2012). Lagipula luas lahan yang terbatas dalam pengembangan HTI serta membutuhkan waktu sekitar 6-8 tahun untuk dapat dipergunakan sebagai bahan baku industri *pulp* dan kertas, sering terjadinya masalah lingkungan, sehingga diperlukan alternatif bahan baku non kayu untuk memenuhi kebutuhan industri ini (Matlail Fajri Arintika, 2011).

Salah satu solusi untuk mengatasi masalah ini yaitu dengan mencari alternatif lain untuk bahan baku pembuatan *pulp* dan kertas selain kayu, yaitu dengan memanfaatkan tanaman eceng gondok yang persediaannya melimpah di Indonesia. Minimnya pemanfaatan eceng gondok oleh masyarakat karena eceng gondok hanya dianggap sebagai gulma tanaman, sedangkan kandungan selulosa pada eceng gondok cukup tinggi, yaitu 44,4%. Latar belakang ini yang mendasari kami dalam pemilihan judul:

“Pabrik Kertas dari Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes.*) dengan Proses

Acetocell” I.1.1 Sejarah Kertas

“Paper” berasal dari kata “*papyrus*” sejenis tumbuhan di Mesir yang dikeringkan dan dijadikan alas tulis dan gambar sekitar 300 SM. Penemuan kertas yang sesungguhnya oleh Tsai Lun dari China pada 105 SM. Terbuat dari kulit pohon, kain dan bahan-bahan berserat lainnya yang ditumbuk hingga menjadi pulp/bubur dan direndam air, diberi semacam perekat. Campuran disaring dan diratakan hingga air kering sehingga menjadi



lembar-lembar berserat yang kemudian dipotong-potong sesuai kebutuhan. Penemuan ini sampai ke Arab pada abad ke VIII dan baru masuk Eropa sekitar abad XII (1150, di Sativa, Spanyol & 1260 di Italia (*Fabriano papers*)). Pada 1495 pembuatan kertas secara massal baru dilakukan di Hertfordsire Inggris. Dan baru pada 1690 pabrik kertas di Amerika beroperasi. Hingga abad ke XIX, kertas dibuat full “*handmade*”. Baru pada 1798 Nicholas Louis Robert membuat mesin di Prancis. Teknologipun mengalami perkembangan dari “*handmade*” lembaran kertas ke mesin pembuat kertas yang menghasilkan kertas gulungan atau “*web*”. Hak paten mesin pembuat kertas kemudian diambil alih oleh Henry & Sealy Fourdinier (*Fourdinier brothers*) dan dikembangkan lebih lanjut di Inggris. Sejauh perkembangannya, namun pada dasarnya prinsip tetap sama : menyaring air dari campuran serat – serat untuk membentuk lembaran berserat halus yang bisa menerima/ menyerap tinta.

I.1.2 Kapasitas Pabrik

Dalam pendirian suatu pabrik, analisa pasar untuk penentuan kapasitas pabrik adalah 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 eceng gondok (*Eichhornia crassipes*.).

Berikut adalah beberapa faktor penting dalam perhitungan kapasitas pabrik yaitu:

- Ketersediaan bahan baku
- Jumlah ekspor kertas di Indonesia
- Jumlah impor kertas di Indonesia
- Jumlah kebutuhan / konsumsi kertas di Indonesia

Salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam pendirian pabrik kertas dari eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) adalah



kapasitas pabrik. Pabrik kertas dengan bahan baku eceng gondok ini direncanakan akan mulai beroperasi pada tahun 2021 dengan mengacu pada pemenuhan kebutuhan impor, ekspor dan produksi.

Berikut ini adalah data impor, ekspor dan produksi kertas untuk tahun 2011-2015:

Tabel 1.1 Data Impor, Ekspor dan Produksi Kertas di Indonesia

Tahun	Eksport (ton/tahun)	Impor (ton/tahun)	Produksi (ton/tahun)
2011	7469	231	14297
2012	8976	186	12527
2013	4204	41	18137
2014	1298	239	28001
2015	875	812	30122

(Badan Pusat Statistik Nasional Indonesia, 2015).

Berdasarkan hasil grafik yang diperoleh dari data

Tabel 1.1, maka perkiraan volume kebutuhan impor, ekspor dan produksi kertas (dalam ton) pada tahun 2021 dapat dihitung.

Konversi impor, produksi, dan ekspor kertas pada tahun 2021 adalah:

- Produksi = 523760,4 ton/tahun
- Impor = 1273,5
- Eksport = 0

Maka, dapat dihitung kebutuhan kertas pada tahun 2021 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 [\text{kebutuhan kertas}]_{2021} &= [\text{produksi}]_{2021} + [\text{impor}]_{2021} - \\
 &\quad [\text{ekspor}]_{2021} \\
 &= 523760,4 + 1273,5 - 0 \\
 &= 525033,9 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

Dengan asumsi adanya pabrik kertas lain yang masih beroperasi dan jumlah bahan baku yang tersedia, maka kapasitas pabrik baru yang akan beroperasi adalah 20 % dari total kekurangan ketersediaan kertas di tahun 2021.



Kapasitas pabrik = (20 % x 525033,9 ton/tahun) = 105.006,8 ton/tahun

Kapasitas yang ditentukan = 100.000 ton/tahun

Maka, kapasitas pabrik yang akan dibangun tahun 2021 yaitu 100.000 ton/tahun = 333ton/hari dengan masa kerja 300 hari/tahun.

I.1.3 Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi suatu pabrik merupakan salah satu masalah pokok yang menunjang keberhasilan suatu pabrik dan akan mempengaruhi kelangsungan dan kemajuan pabrik tersebut. Pabrik kertas ini direncakan akan berlokasi di Kabupaten Minahasa, Kecamatan Tondano, Sulawesi Utara dengan pertimbangan didasarkan pada hal-hal berikut ini:

1. 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 Kecamatan Tondano, Sulawesi Utara ketersediaan air sangat memadai karena dekat dengan sungai Tondano dan danau Tondano.

2. Penyediaan bahan baku

Pabrik kertas ini akan didirikan di Kecamatan Tondano, Sulawesi Utara karena daerah tersebut memiliki daerah aliran sungai 19.194 ha dan danau tondano yang memiliki luas 4.800 ha sehingga bahan baku eceng gondok dapat terpenuhi untuk proses produksi.

3. Transportasi

Pendirian pabrik ditempatkan di Kecamatan Tondano, Sulawesi Utara dengan pertimbangan untuk mempermudah sarana transportasi. Karena daerah ini berlokasi dekat dengan pelabuhan Manado sehingga mempermudah kegiatan distribusi dan ekspor-impor.



4. 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.2 Peta lokasi pabrik kertas

I.2 Dasar Teori

I.2.1 Pulp dan Kertas

Kertas merupakan bahan yang tipis dan rata, yang dihasilkan dengan kompresi serat yang berasal dari *pulp*. Serat yang digunakan biasanya adalah alami, dan mengandung selulosa dan hemiselulosa. Kertas merupakan sarana yang tergolong vital dalam kehidupan manusia yang kebutuhannya semakin meningkat dari tahun ke tahun.

I.2.2 Eceng Gondok

Eceng Gondok merupakan tanaman gulma di wilayah perairan yang hidup terapung pada air yang dalam atau mengembangkan perakaran di dalam lumpur pada air yang



dangkal. Eceng gondok berkembangbiak dengan sangat cepat, baik secara vegetatif maupun generatif. Perkembangbiakan dengan cara vegetatif dapat melipat ganda dua kali dalam waktu 7-10 hari. Hasil penelitian Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Sumatera Utara di Danau Toba (2003) melaporkan bahwa satu batang eceng gondok dalam waktu 52 hari mampu berkembang seluas 1 m², atau dalam waktu 1 tahun mampu menutup area seluas 7 m². Heyne (1987) menyatakan bahwa dalam waktu 6 bulan pertumbuhan eceng gondok pada areal 1 ha dapat mencapai bobot basah sebesar 125 ton.

Perkembangbiakannya yang demikian cepat menyebabkan tanaman eceng gondok telah berubah menjadi tanaman gulma di beberapa wilayah perairan di Indonesia. Di kawasan perairan danau, eceng gondok tumbuh pada bibir-bibir pantai sampai sejauh 5-20 m. Perkembangbiakan ini juga dipicu oleh peningkatan kesuburan di wilayah perairan danau (eutrofikasi), sebagai akibat dari erosi dan sedimentasi lahan, berbagai aktivitas masyarakat (mandi, cuci, kakus/MCK), budidaya perikanan (keramba jaring apung), limbah transportasi air, dan limbah pertanian.

Klasifikasi eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) menurut

A. Bhattacharya (2014) adalah sebagai berikut :

Kingdom	: Plantae, Plants
Sub Kingdom	: Tracheobionta Vascular plants
Super Divisi	: Spermatophyta Seed plants
Divisi	: Magnoliophyta Flowering plants
Kelas	: Liliopsida Monocotyledons
Sub Kelas	: Commelinidae [Liliidae]
Super Ordo	: Commelinanae
Ordo	: Pontederiales [Philydrales]
Family	: Pontederiaceae
Genus	: Eichhornia
Spesies	: <i>Eichhornia crassipes</i> (water hyacinth)



Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan tumbuhan dari family *Gramineae*. Tumbuhan ini mempunyai daya adaptasi yang tinggi, sehingga mudah tumbuh dimana-mana dan sering menjadi gulma yang merugikan para petani. Gulma eceng gondok dapat bereproduksi secara vegetatif dan generatif atau tumbuh pada jenis tanah yang beragam. Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan tanaman herba, rumput, merayap di bawah tanah, batang tegak membentuk satu perbungaan, padat, pada bukunya berambut jarang. Eceng gondok adalah gulma perennial, dengan sistem rhizoid yang meluas serta tinggi batang mencapai 60-100 cm, daun agak tegak, pelepasan daun lembut, tulang daun utama keputihan, daun atas lebih pendek daripada daun sebelah bawah, sedang akar dapat vertikal ke dalam sekitar 60-150 cm, rhizoma berwarna putih, sukulen terasa manis, beruas pendek dengan cabang lateral membentuk jarring-jaring yang kompak dalam tanah terbuka yang belum maupun yang sudah olah (Moenandir, 1988). Tumbuhan eceng gondok dapat ditunjukkan pada gambar berikut ini:

Gambar I.2 Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*)

I.2.3 Selulosa



Selulosa merupakan struktur dasar sel-sel tanaman, oleh karena itu merupakan bahan alam yang paling penting dibuat oleh organisme hidup. Selulosa terdapat pada semua rumput-laut, flagelata dan bakteria. Didalam kayu, selulosa tidak hanya disertai dengan poliosa dan lignin, tetapi juga terikat erat dengannya, dan pemisahannya memerlukan perlakuan kimia yang intensif. Selulosa merupakan bahan dasar dari banyak produk teknologi (kertas, film, serat, aditif dan sebagainya) dan karena dari banyak produk dari kayu dengan proses pembuatan *pulp* dalam skala besar. Dengan menggunakan berbagai bahan kimia dalam pembenturan *pulp*, pada keadaan asam, netral atau alkali, dan tekanan diperoleh *pulp* dengan sifat-sifat yang berbeda. Untuk tujuan *pulp* harus dimurnikan dengan proses tambahan pengelantangan. Selulosa dapat larut dalam asam pekat. Proses pelarutan selulosa dimulai dengan degradasi struktur serat dan fibril dan akan menghasilkan disintegrasi yang sempurna menjadi molekul-molekul individual dengan panjang rantai yang tidak berubah. Degradasi struktur supramolekul terjadi dengan pembengkakan yang kuat dalam ketebalannya pada saat pelarutan serat selulosa dalam kompleks logam, sedangkan dalam pelarut tak berair yang mengandung amina dan pelarut organik polar, proses pelarutan berlangsung perlahan-lahan dimulai pada permukaan serat (D. Fengel dan G. Wegener, 1995).

Selulosa merupakan konstituen utama kayu. kira-kira 40-45% bahan kering dalam kebanyakan spesies kayu adalah selulosa, terutama terdapat dalam dinding sel sekunder. Sifat penting pada selulosa yang perlu dipertimbangkan untuk pembuatan kertas yaitu :

1. Gugus aktif alkohol (dapat mengalami oksidasi)
2. Derajat polimerisasi (serat menjadi panjang). Makin panjang serat, kertas makin kuat dan tahan terhadap degradasi (panas, kimia dan biologi).



Gambar I.3 Struktur Selulosa

(Sixta, 2006).

Selulosa dapat dibedakan menjadi:

a. α selulosa

Selulosa untuk jenis ini tidak dapat larut dalam larutan NaOH dengan kadar 17,5% pada suhu 200 °C dan merupakan bentuk sesungguhnya yang telah dikenal sebagai selulosa.

b. β selulosa

Jenis dari selulosa ini mudah larut dalam larutan NaOH yang mempunyai kadar 17,5% pada suhu 200 °C dan akan mengendap bila larutan tersebut berubah menjadi larutan yang memiliki suasana asam.

c. γ selulosa

Untuk selulosa jenis ini mudah larut dalam larutan NaOH yang mempunyai kadar 17,5% pada suhu 200 °C dan tidak akan terbentuk endapan setelah larutan tersebut dinetralkan. Alpha selulosa sangat menentukan sifat tahanan kertas, semakin banyak kadar alpha selulosanya menunjukkan semakin tahan lama kertas tersebut dan memiliki sifat hidrofilik yang lebih besar pada gamma dan beta selulosa daripada alpha selulosanya (Solechudin dan Wibisono, 2002).

Sifat-sifat selulosa terdiri dari sifat fisika dan sifat kimia. Selulosa dengan rantai panjang mempunyai sifat fisik yang lebih kuat, lebih tahan lama terhadap degradasi yang disebabkan oleh pengaruh panas, bahan kimia maupun pengaruh biologis. Sifat fisika dari selulosa yang penting adalah panjang, lebar dan tebal molekulnya. Sifat fisik lain dari selulosa adalah:

1. Dapat terdegradasi oleh hidrolisa, oksidasi, fotokimia maupun secara mekanis sehingga berat molekulnya menurun.
2. Tidak larut dalam air maupun pelarut organik, tetapi sebagian larut dalam larutan alkali.



-
3. Dalam keadaan kering, selulosa bersifat higroskopis, keras dan rapuh. Bila selulosa cukup banyak mengandung air maka akan bersifat lunak. Jadi fungsi air disini adalah sebagai pelunak.
 4. Selulosa dalam kristal mempunyai kekuatan lebih baik jika dibandingkan dengan bentuk amorfnya.

Proses pembuatan *pulp* adalah contoh perlakuan fisik dan kimia yang mempunyai tujuan untuk memisahkan selulosa dari kandungan impuritisnya. Pemisahan dilakukan pada kondisi yang optimum untuk mencegah terjadinya degradasi terhadap selulosa. Kesulitan yang dihadapi dalam proses pemisahan ini disebabkan oleh:

- Berat molekul tinggi.
- Kesamaan sifat antara komponen impuritis dengan selulosa itu sendiri.
- Kristalinitas yang tinggi.
- Ikatan fisika dan kimia yang kuat

(D. Fengel et al,1995).

I.2.4 Hemiselulosa

Disamping selulosa dalam kayu maupun dalam jaringan tanaman yang lain tedapat sejumlah polisakarida yang disebut dengan poliosa atau hemiselulosa. Poliosa (hemiselulosa) berbeda dengan selulosa karena komposisi berbagai unit gula, karena rantai molekul yang lebih pendek, dan karena percabangan rantai molekul. Unit gula (gula anhidro) yang membentuk poliosa dapat dibagi menjadi kelompok seperti pentosa, heksosa, asam heksronat, dan deoksi-heksos. Rantai utama poliosa dapat terdiri hanya atas satu (homopolimer), misal xilan, atau terdiri atas dua unit atau lebih (heteropolimer), misal glukomannan. Klasifikasi klasik hemiselulosa adalah menjadi heksosa, pentosa dan poliuronida. Bagan klasifikasi yang didasarkan pada sifat-sifat yang dikaitkan dengan pemisahan dari selulosa diusulkan oleh Stewart (1954). Poliosa yang dapat diekstraksi dari holoselulosa disebut glikosan non-selulosa, sesanya disebut glikosan selulosa,



dan dibagi menjadi selulosa dan glikosan selulosa, dan dibagi menjadi selulosa dan glikosan selulosa non-glukosa. Klasifikasi menurut komponen utama masing-masing poliosa telah terbukti berguna selama bertahun-taun. Dalam sistem ini poliosa diklasifikasikan sebagai xilan, manan, glaktan, dan sebagainya (D. Fengel dan G. Wegener, 1995)

Hemiselulosa tidak larut dalam air tapi larut dalam larutan alkali encer dan lebih mudah dihidrolisa oleh asam daripada selulosa. Sifat hemiselulosa yang hidrofilik banyak mempengaruhi sifat fisik *pulp* dan kertas. Hemiselulosa berfungsi sebagai perekat dan dapat mempercepat terjadinya fibrasi (pembentukan serat). Sifat inilah yang memperkuat kekuatan fisik lembaran *pulp* kertas dan menurunkan waktu serta daya operasi penggilingan (*beating*) (D. Fengel dan G. Wegener, 1995).

Hilangnya hemiselulosa akan mengakibatkan adanya lubang diantara fibril dan kerangka ikatan antar serat, namun kadar hemiselulosanya yang terlalu tinggi akan menyebabkan kertas tembus cahaya, kaku dan rapuh (Solechudin dan Wibisono, 2002).

I.2.4 Lignin

Lignin merupakan komponen kimia dan morfologi yang karakteristik dari jaringan tumbuhan tinggi seperti pteridofita dan spermatofita (*gymnosperm* dan *angiosperm*), dimana ia terdapat jaringan vaskuler yang khusus untuk pengangkutan cairan dan kekuatan mekanik . Jumlah lignin yang tedapat pada tumbuhan berbeda-beda sangat bervariasi. Meskipun spesies kayu kandungan lignin berkisar antara 20-40 %. *Angiosperm* akuatik dan herba maupun banyak monokotil (misal spesies ekor kuda) kurang mengandung lignin. Disamping itu, distribusi lignin didalam dinding sel dan kandungan lignin bagian pohon yang berbeda tidak sama, Sebagai contoh kandungan lignin yang tinggi adalah khas untuk bagian batang yang paling rendah, paling tinggi dan paling dalam, untuk cabang kayu lunka, kulit dan kayu tekan (D. Fengel dan G. Wegener, 1995).



Lignin adalah bagian dari tumbuhan yang terdapat dalam lamelar tengah dan dinding sel berfungsi sebagai perekat antar sel, sehingga lignin tidak dikehendaki dalam proses pembuatan *pulp*. Lignin adalah polimer kompleks dan bersifat amorf karena sifat amorfnya maka lignin sulit diketahui secara pasti sifat fisik dan bentuk molekulnya.

Reaksi dengan senyawa-senyawa tertentu banyak dimanfaatkan dalam proses-proses pembuatan *pulp* dimana lignin yang terbentuk dapat dipisahkan, sedangkan reaksi oksidasi terhadap lignin banyak dipergunakan dalam proses pemutihan. Lignin dapat mengurangi daya pengembangan serat serta ikatan antar serat (D. Fengel dan G. Wegener, 1995).

Pulp dan kertas akan mempunyai sifat fisik atau kekuatan yang baik jika mengandung sedikit lignin karena lignin bersifat menolak air (*hidrophobic*) dan kaku sehingga menyulitkan dalam proses penggilingan. Lignin juga mempunyai gugus pembawa warna (gugus kromofor) yang akan bereaksi dengan larutan pemasak pada digester sehingga menyebabkan warna *pulp* yang dihasilkan akan menjadi gelap. Banyaknya lignin juga berpengaruh pada komsumsi bahan kimia dalam pemasakan dan pemutihan (Solechudin dan Wibisono, 2002).

Gambar 1.4 Struktur Lignin

I.3 Kegunaan



Kertas adalah bahan yang tipis dan rata, yang dihasilkan dengan kompresi serat yang berasal dari pulp. Serat yang digunakan biasanya adalah alami, dan mengandung selulosa dan hemiselulosa. Kertas merupakan sarana yang tergolong vital dalam kehidupan manusia yang kebutuhannya semakin meningkat dari tahun ke tahun. Secara umum, kertas memiliki beberapa kegunaan, seperti:

1. Digunakan sebagai media komunikasi
2. Digunakan sebagai media menulis
3. Digunakan sebagai media melukis
4. Digunakan sebagai kemasan makanan

I.4 Sifat Fisika dan Kimia

I.4.1 Bahan Baku Utama Eceng Gondok

Menurut Saputra (2015), beberapa sifat unsur kimia dan fisika dari penyusun bahan baku eceng gondok adalah sebagai berikut :

- Sifat Fisika

Parameter	Keterangan
Panjang Serat (mm)	2,19
Diameter Serat (μm)	20
Tebal dinding (μm)	5,625

- Sifat Kimia

Kandungan Kimia Eceng gondok	Presentase (%)
Kadar Air	8,34
Ekstraktif	2,38
Lignin	9,95
Holoselulosa	64,12



Alfa Selulosa	44,4
Pentosan / Hemiselulosa	19,72

I.4.2 Bahan Baku Pendukung CH_3COOH (Asam Asetat)

Berdasarkan MSDS, beberapa sifat kimia dan fisika pada asam asetat adalah sebagai berikut :

- Sifat Fisika

Parameter	Keterangan
<i>Auto ignition temperature</i>	463 °C (865,4 °F)
<i>Flash point</i>	<i>Close Cup</i> : 39 °C (102,2 °F) <i>Open Cup</i> : 43 °C (109,4 °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)
Densitas uap	2.07 (Air = 1)

(MSDS, 2013)

- 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 <i>cooper</i> , tidak korosi pada <i>stainless steel</i> (316).

(MSDS, 2013).

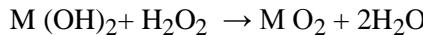
H₂O₂ (Hidrogen Peroksida)

- Sifat Fisika

Parameter	Keterangan
Berat Molekul	34 gr/mol
Bentuk	Cair
Melting Point (°C)	-0,41
Titik Didih (°C)	150
Densitas (25 °C, gr/ml)	1,4425
Viscositas (20 °C, Cp)	1,245
Panas Pembentukan (J/g)	367,52
Kapasitas Panas (25 °C, J/g.K)	2,628
Konstanta Disosiasi (20 °C)	$1,78 \times 10^{-12}$
Konduktivitas Termal (25 °C, $\Omega \text{ cm}^{-1}$)	4×10^{-7}

- Sifat Kimia

- H₂O₂ dapat mereduksi senyawa logam (II) peroksida



- Dapat terdekomposisi membentuk air dan O₂
- H₂O₂ pekat dapat bereaksi dengan hidrasin hidrat membentuk nitogen dan air disertai ledakan
- H₂O₂ dapat mereduksi senyawa oksida
$$AgO + H_2O_2 \rightarrow 2Ag + H_2O + O_2$$
$$2MnO_4^- + 5H_2O_2 + 6H^+ \rightarrow 2Mn^{2+} + 8H_2O + 5O_2$$

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* (HO₂⁻) (Dence and Reeve, 1996).

Na₂S₂O₄ (Sodium Dithionite)

Berdasarkan MSDS, beberapa sifat unsur kimia dan fisika dari penyusun bahan baku eceng gondok adalah sebagai berikut :

- Sifat Fisika

Parameter	Keterangan
<i>Auto ignition temperature</i>	>80 °C (>176 °F)
Warna	Putih
Sifat fisik dan penampilan	Padat (Crystalline Powder)
Kelarutan dalam air	25 gr/100 ml (20 °C)
Titik leleh	55°C (131 °F)



Berat Molekul	174.1g/mol
Densitas	1.4

- Sifat Kimia

Parameter	Keterangan
Kestabilan	Stabil di bawah suhu normal dan tekanan
Kondisi yang dihindari	Sumber api, paparan udara, kelembaban, kelebihan panas
Penguraian produk	Karbon monoksida, oksida belerang, karbon dioksida

I.4.3. Produk

I.4.3.1 Produk Utama (Kertas)

Adapun beberapa sifat kertas menurut SNI, yaitu:



Gambar I.5 Kertas cetak

I.4.3.2. Produk Samping (*Black Liquor*)

Secara Umum komposisi bahan kimia yang terkandung dalam *Black Liquor* adalah NaOH, Na₂S, Na₂CO₃, Na₂SO₃, Na₂SO₄, dan Na₂S₂O₃ (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 (Na₂SO₄) agar kekurangan SO₄²⁻ pada digester dapat dipenuhi pada *green liquor* mengalami proses caustisasi menjadi lindi putih.

BAB II

MACAM DAN URAIAN PROSES

II.1. Macam Proses

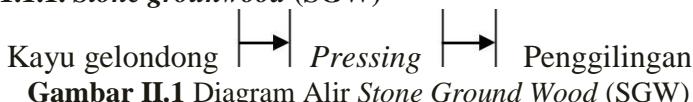
Pembuatan *pulp* bertujuan untuk memisahkan bahan serat dengan bahan lain seperti lignin yang tidak diinginkan dalam proses pembuatan kertas. *Pulp* dapat dihasilkan dari serabut *cellulose* dan digunakan dalam industri kertas dan *cellulose* lain juga derivat-derivatnya, misalnya: rayon *viscos*, *cellulose* nitrat, *cellulose* asetat dan *carboxymethyl cellulose*. Proses pembuatan *pulp* ada tiga macam, yaitu : proses mekanis, semi kimia dan kimia (Casey, 1980).

II.1.1. Proses Mekanis

Proses mekanik yang diproduksi dengan menggunakan hanya gesekan mekanik untuk lignoselulosa bubur bahan; tidak ada bahan kimia (selain air atau steam) yang digunakan. Berwarna terang, non-resin kayu lunak dan beberapa kayu keras sering serat sumber. Hasil total adalah sekitar 90-98%. Lignin dipertahankan dalam pulp; hasil karena itu, tinggi bubur diperoleh dari kayu. pulp mekanis ditandai dengan hasil tinggi, curah tinggi, kekakuan, dan biaya rendah. Mereka memiliki kekuatan rendah karena lignin mengganggu ikatan hidrogen antara serat saat kertas dibuat. Lignin juga menyebabkan pulp menjadi kuning dengan paparan untuk udara dan cahaya. (Bierman, 1996).

Beberapa cara pembuatan *pulp* secara mekanis adalah:

II.1.1.1. *Stone grounwood (SGW)*



Proses ini menggunakan batu gerinda untuk menguraikan bahan baku. Kayu gelondongan yang tidak berkulit (panjang 60-120 cm, terutama kayu lunak, namun tidak keras) ditekan pada sisi yang panjang sejajar dengan batu asah yang berputar,



sedangkan air disemprotkan pada bagian yang mengasah. Gesekan dapat menaikkan suhu dalam daerah pengasahan hingga $150\text{-}190^{\circ}\text{C}$ dan dapat melenturkan komponen lignin kayu. Serat-serat yang tersobek dari permukaan kayu dan diangkut ke arah rongga-rongga pengasahan. Teori yang pasti apa yang terjadi dalam pengasahan belum diketahui, tetapi umumnya diterima bahwa prosedur meliputi pelepasan serat permukaan kayu oleh kekasaran batu asah dan sekaligus menggiling serat-serat menjadi unit-unit kecil rendemen yang diperoleh antara 93-98 %. Kekuatan dan derajat putih *pulp* yang dihasilkan rendah. Energi dan air yang diperlukan cukup banyak (Casey, 1980).

II.1.1.2. Refiner Mechanical Pulping (RMP)

Kayu gelondong

Digiling

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

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 (Casey, 1980).

Ada dua jenis tipe dasar refiner yang digunakan untuk proses ini, yaitu *single-disc refiner* dan *double-disc* refiner. Pengaturan posisi cakram refiner, pola cakram, konsistensi *inlet pulp* dan energi spesifik yang diberikan pada serpih, merupakan faktor-faktor yang penting yang berpengaruh terhadap kualitas *pulp* yang dihasilkan. Proses ini juga menggunakan serbuk gergaji (*saw dust*) atau kayu-kayu berkualitas rendah (Casey, 1980).

II.1.1.3. *Termo Mechanical Pulping* (TMP)

Proses ini mirip dengan proses *Refiner Mechanical Pulping*, yaitu menggunakan penggilingan cakram untuk menghasilkan bahan baku. Namun ada perbedaan utama yang membedakan kedua proses tersebut, yaitu pada proses *Termo Mechanical Pulping (TMP)*, serpih mendapat perlakuan suhu dan tekanan tinggi sebelum masuk ke dalam penggilingan cakram. Proses dasar meliputi *impregnasi* dan langkah pemanasan pendahuluan terhadap serpih kayu yang dicuci dengan uap jenuh dibawah tekanan. Kemudian serpih-serpih yang diperlakukan awal ini dimasukkan ke dalam penggilingan cakram untuk pelepasan serat pada suhu dan tekanan yang kira-kira sama seperti dalam tahap pemanasan pendahuluan. Tahap penggilingan kedua biasanya dilakukan pada tekanan atmosfer. Oleh karena itu bahan yang telah dilepas seratnya telah terekspansi ke dalam suatu siklon dimana uap dihilangkan dan digiling dalam satu atau dua tahap untuk memperoleh derajat giling yang diinginkan. Bahan-bahan yang tidak lolos dari penggilingan dan penyaringan disatukan dan didaur ulang dengan langkah penggilingan atau digiling secara terpisah.

Pemberian suhu tinggi mengakibatkan pelunakan komponen lignin dan penghilangan komponen yang mudah larut dalam air dan komponen yang mudah menguap. Rendemen yang diperoleh pada proses ini lebih rendah dibandingkan dengan



proses mekanis biasa, namun memiliki sifat fisik yang lebih kuat (Biermann, 1996).

Gambar II.3 Diagram Alir *TermoMechanical pulping*

II.1.1.4. *Chemi Mechanical Pulping* (CMP)

Proses pembuatan pulp kimia-mekanis terdiri dari dua tahap dengan hasil 85-95%. terutama perawatan kimia ringan diikuti oleh tindakan mekanik drastis, tapi tidak sedrastis tanpa pretreatment kimia. Lignin asli struktur dan konten yang diawetkan, tapi ekstraktif dan sejumlah kecil hemiselulosa hilang. Ketika suhu yang lebih tinggi digunakan dalam berbagai langkah, bubur gelap biasanya diperoleh. Satu dari beberapa pretreatments kimia dapat diterapkan sebelum SGW, PGW, RMP, atau TMP. Yang paling Proses kimia-mekanis umum sekarang CTMP. pretreatments adalah sulfit panas atau soda dingin dan terutama berlaku untuk kayu keras yang lain tidak memberikan pulp mekanis berkualitas tinggi. Beberapa pabrik juga telah mulai menggunakan basa peroksidida Chip pretreatment. (Biermann, 1996).



II.1.1.5. Chemi Thermo Mechanical Pulping (CTMP)

Alkali peroksidnaOH/H₂O₂) H₂O₂

Dihancurkan Digiling

Gambar II.4 Diagram Alir *Chemi Thermo Mechanical Pulping*

Dalam suatu proses kimia-mekanika yang digambarkan belum lama ini digunakan serpih-serpih yang dihancurkan untuk menaikkan efisiensi impregnasi. Cairan impregnasi alkali peroksida (NaOH atau H_2O_2) diberikan pada suhu $40-60^\circ\text{C}$ pada tekanan atmosfer selama 1,5-2 jam sebelum penggilingan konsistensi rendah (5 %). *Pulp-pulp* cerah (derajat putih 70 %) rendeman tinggi (86-93 %) dihasilkan dari campuran kayu keras perancis yang mengandung 50 % kayu *oak*, 25 % *beech* dan 25 % *birch*. Perlakuan dengan hidrogen peroksida juga dilakukan dalam tahap penggilingan sedang delignifikasi oleh asam parasetat digunakan dalam perlakuan akhir setelah penggilingan. Dalam proses ini komersial variasi perlakuan pendahuluan sulfit dan bisulfit dilakukan terutama terhadap kayu lunak dan perlakuan pendahuluan natrium hidroksida atau natrium sulfit terhadap kayu keras. Natrium bisulfit (pada pH 4-6) merupakan bahan kimia yang cocok sebagai perlakuan pendahuluan, yang menyebabkan sulfonasi lignin. Proses ini merupakan perkembangan dari proses *Termo Mechanical Pulping*. Pada proses ini selain digunakan panas untuk melunakkan lignin, juga diberikan sedikit bahan kimia agar komponen lignin akan lebih mudah dihilangkan (Biermann, 1996).

II.1.2. Proses Semi Kimia (NSSC)

Proses Neutral Sulfite Semicchemical (NSSC) paling sering digunakan (Dan merupakan metode yang paling umum) untuk produksi dari Corrugating menengah. Proses ini dikembangkan di awal 1940-an oleh Hasil Hutan AS



Laboratorium di Madison sebagai sarana menggunakan kayu dalam industri kertas, terutama kastanye wilayah appalachian, yang hancur oleh hawar kastanye. Di dalam Proses, hasil bubur tinggi diperoleh (75-85%). NSSC minuman keras memasak berisi Na₂SO₃ ditambah Na₂CO₃ (10-15% dari biaya bahan kimia untuk bertindak sebagai buffer); pH minuman keras adalah 7-10. waktu memasak adalah 0,5-2 jam pada 160-185 ° C (320-365 ° F). Sisa lignin (15-20%) membuat kertas dari bubur ini sangat kaku, properti penting bagi Corrugating menengah. Kayu biasanya merupakan sumber serat, dan pulp kayu keras NSSC sekitar sekutu sebagai NSSC bubur kayu lunak dan bahkan lebih kuat dari pulp kayu keras kraft. Penghapusan lignin rendah membuat pemulihan kimia sulit. Antrakuinon aditif dapat digunakan untuk memperbaiki sifat bubur atau menghasilkan, terutama dari kayu lunak. Itu tingkat memasak dikendalikan oleh suhu, konsentrasi kimia, dan tempat tinggal waktu di digester. energi penyulingan berikutnya pulp adalah 200-400 kWh / ton (10-20 hpday /ton). Ara. 3-2 mencakup mikrograf elektron dari kertas yang dibuat dengan 50% NSSC kayu pulp dan 50% serat daur ulang dari lama bergelombang kontainer (Biermann, 1996).

II.1.3. Proses Kimia

Tujuan pembuatan *pulp* dengan proses kimia adalah untuk merusak dan melarutkan zat pengikat serat yang terdiri dari lignin, pentosa dan lain-lain. Proses pemasakan bahan baku dengan larutan kimia dilakukan di dalam *digester*. Selama pemasakan lignin bereaksi dengan larutan kimia pemasak dan membentuk senyawa-senyawa terlarut yang mudah dicuci dan sebagian dari selulosa ikut bereaksi juga. Hal ini akan menurunkan rendemen *pulp* yang dihasilkan (Sherve's, 1986).

Berdasarkan bahan kimia yang digunakan untuk pemasakan, pembuatan *pulp* dengan bahan kimia dapat dibedakan menjadi tiga macam proses, yaitu:



II.1.3.1. Proses Sulfat

Proses sulfat mempunyai kandungan rendemen yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan proses soda (D. Fengel dan G. Wegener, 1985). Pada proses sulfat larutan pemasak yang digunakan adalah sodium hidroksida dan sodium sulfit, dimana sodium hidroksida dihasilkan dari reduksi sulfat selama proses insenerasi dan sodium hidroksida dihasilkan dari hidrolisa sodium sulfit didalam air dengan serat yang dihasilkan sangat baik akan tetapi warnanya jelek, sehingga proses ini digunakan untuk membuat kertas berkekuatan tinggi seperti kantong semen dan kertas bungkus (Sherve's, 1986). Proses pemasakan biasanya dilakukan pada suhu antara 160 °C hingga 180 °C pada tekanan antara 7 dan 11 bar. Proses pembuatan *pulp* cepat yang sinambung menggunakan suhu 190-200 °C, hanya membutuhkan waktu pemasakan 15-30 menit (Nolan1957 ; Kleinert 1965 dalam D. Fengel dan G. Wegener,1985).

Gambar II.5 Diagram Alir Proses Sulfat

II.1.3.2. Proses Sulfit

Dari segi kimia lindi pemasak *pulp* sulfit berbeda-beda tergantung dari bentuk-bentuk yang mungkin dari belerang dioksida dalam larutan berair dan macam basa yang ditambahkan pada sistem ini. Reaksi belerang dioksida dengan air pada dasarnya menghasilkan SO₃ yang terlarut atau asam sulfit (H₂SO₃), Bisulfit (hidrogen sulfit) (HSO₃⁻), Monosulfit (SO₃²⁻) (D. Fengel dan G. Wegener, 1985).



Tingkat pH lindi tergantung dari asam sulfit, monosulfat dan bisulfit. Kisaran pH pada proses sulfit adalah pH (1,5-9), harga pH tergantung pemasak yang digunakan. Mengenai bahan baku kayu tidak dapat digunakan spesies dengan kandungan resin yang tinggi (misalnya pinus dan bahan kayu keras) atau serpih dengan jumlah kulit yang banyak (D. Fengel dan G. Wegener, 1985).

Proses sulfit menggunakan bahan kimia aktif, yaitu asam sulfit, kalsium bisulfit, sulfur dioksida yang dinyatakan dalam larutan $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$ dengan H_2SO_3 berlebih. Bahan baku yang biasa digunakan biasanya kayu lunak dan larutan pemasaknya yaitu SO_2 dan $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ banyak (D. Fengel dan G. Wegener, 1985).

Kandungan sisa lignin dapat bervariasi antara 10-15 % dalam *pulp* sulfit rendemen tinggi yang tidak dikelantang, tetapi umumnya dalam hal *pulp* kayu lunak berkisar antara 3-5 % dan 1-3 % dalam *pulp* kayu keras banyak (D. Fengel dan G. Wegener, 1985).

Gambar II.6 Diagram Alir Proses Sulfit

II.1.3.3. Proses Soda / Alkali

Proses ini digunakan untuk bahan baku non kayu seperti *bagasse*, jerami, damen, dan jenis rumput-rumputan yang lain.



Larutan pemasak yang digunakan adalah NaOH dan selama proses pemasakan, larutan NaOH berfungsi sebagai pereaksi lignin, Pelarut senyawa lignin dan karbohidrat, pereaksi asam organik dan resin yang ada dalam bahan baku, adsorben serat dalam jumlah kecil. Proses soda ada dua macam, yaitu:

1. *Fractinating cooking*

Fractinating cooking terdiri dari dua tahap. Tahap pertama soda dimasukkan kurang lebih 10 % dari jumlah soda total yang dibutuhkan dan dipanaskan dengan *steam* sampai 130 °C dengan waktu pemasakan kurang lebih 30 menit. Kemudian sebagian *black liquor* dibuang. Pada tahap kedua, soda ditambahkan semua sampai jumlah yang dibutuhkan.

Pemasakan dilakukan sampai suhu 170 °C dengan tekanan 7-11 bar. Keuntungan dari proses ini adalah menambah kekuatan *pulp* serta proses pencuciannya mudah.

2. *Tanpa frictiaonating cooking*

Pada proses ini soda dimasukkan sekaligus tanpa dilakukan pembuangan sesuai dengan yang dibutuhkan. Larutan NaOH yang digunakan pada proses soda sekitar 18-35 % berat bahan baku kering. Larutan ini mempunyai pengaruh degradasi yang lebih kecil daripada larutan pemasak asam. Degradasi selulosa oleh larutan NaOH pekat dapat terjadi pada suhu diatas 100 °C. Semakin tinggi temperatur pemasakan maka jumlah selulosa yang hilang akan lebih banyak daripada lignin.

Penambahan unsur sulfur dalam jumlah kecil ke dalam larutan pemasak akan meningkatkan kemampuan pemucatan, kekuatan, dan rendemen *pulp*. Na₂S dalam larutan pemasak akan mempercepat proses penetrasi, menghasilkan pemasakan yang homogen dan kekuatan *pulp* yang tinggi, namun warna kurang baik. Tahapan proses soda meliputi pengolahan bahan baku, pemasakan, pencucian, penyaringan dan pemucatan. Hal – hal yang berpengaruh pada proses soda adalah:

1. Waktu dan temperatur pemasakan.

Bila waktu pemasakan terlalu lama maka bahan baku akan larut dalam jumlah besar. Jika temperatur terlalu tinggi, jumlah



karbohidrat yang terdegradasi akan lebih besar daripada lignin yang terlarut sehingga akan menurunkan rendemen dan kekentalan *pulp*.

2. Perbandingan cairan pemasak terhadap bahan baku yang digunakan.

Kekurangan bahan kimia atau larutan pemasak menyebabkan *pulp* berwarna gelap dan sukar diputihkan pada tahap *bleaching*. Bila kelebihan bahan pemasak, akan menurunkan rendemen, serat-serta selulosa terdegradasi dan mempercepat proses delignifikasi.

Setelah pemasakan, *pulp* yang dihasilkan dicuci dengan air hangat untuk melarutkan natrium lignat, sehingga warna coklat pada *pulp* akan hilang. Selanjutnya *pulp* disaring untuk mendapatkan serat yang halus lalu dipekatkan dalam *thickener* dan mengalami proses pemucatan (Solechudin dan Wibisono, 2002).

Terdapat persamaan antara proses *kraft* dan soda. Proses *kraft* merupakan bagian dari proses *alkali*. Sistem pemasakan *alkali* bertekanan pada suhu tinggi dapat dilakukan melakukan penambahan natrium hidroksida (NaOH) dan natrium sulfida yang dinamakan lindi putih, proses ini dilakukan sebagai bahan pemasak dan lindi bekas yang dihasilkan dipekatkan dengan cara diuapkan dan dibakar. Leburan yang terdiri atas natrium karbonat diubah kembali menjadi natrium hidroksida dengan kalsium hidroksida karena natrium karbonat digunakan untuk imbuhan maka proses pemasakan disebut sebagai proses soda.

II.1.3.4. Proses Organosolv

Proses organosolv memberikan beberapa keuntungan, yaitu rendemen pulp yang dihasilkan tinggi, daur ulang lindi hitam dapat dilakukan dengan mudah, tidak menggunakan unsur sulfur sehingga lebih aman terhadap lingkungan, dapat menghasilkan by-products (hasil sampingan) berupa lignin dan hemiselulosa dengan tingkat kemurnian tinggi. Ini secara ekonomis dapat mengurangi biaya produksi, dan dapat



dioperasikan secara ekonomis pada kapasitas terpasang yang relatif kecil yaitu sekitar 200 ton pulp per hari (Wibisono, 2011).

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 (Enny K. Artati 2005).

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses pembuatan *pulp* dengan proses *organosolv*, yaitu :

1. Konsentrasi *Pulp*

Semakin tinggi konsentrasi larutan alkali, akan semakin banyak selulosa yang larut. Larutan NaOH dapat berpengaruh dalam pemisahan dan penguraian serat selulosa dan nonselulosa.

2. Perbandingan Cairan Pemasak terhadap Bahan Baku

Perbandingan cairan pemasak terhadap bahan baku harus memadai agar pecahan-pecahan lignin sempurna dalam proses degradasi dan dapat larut sempurna dalam cairan pemasak. Perbandingan yang terlalu kecil dapat menyebabkan terjadinya redeposisi lignin sehingga dapat meningkatkan bilangan kappa (kualitas *pulp* menurun). Perbandingan yang dianjurkan lebih dari 8 : 1. Dengan konsentrasi larutan pemasak yang makin besar, maka jumlah larutan pemasak yang bereaksi dengan lignin semakin banyak. Akan tetapi, pemakaian larutan pemasak yang berlebihan tidak terlalu baik karena akan menyebabkan selulosa terdegradasi. Asam asetat bisa digunakan sebagai larutan pemasak sampai dengan konsentrasi 100 % (Bowyer,2007 dalam Rahmadi 2014).

3. Kecepatan Pengadukan Temperatur Pemasakan

Pengadukan berfungsi untuk memperbesar tumbukan antara zat-zat yang bereaksi sehingga reaksi dapat berlangsung dengan baik (Wibisono 2011).

4. Temperatur Pemasakan

Temperatur pemasakan berhubungan dengan laju reaksi. Temperatur yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya



pemecahan makromolekul yang semakin banyak, sehingga produk yang larut pun akan semakin banyak. Dengan meningkatnya suhu, maka akan meningkatkan laju delignifikasi (penghilangan lignin). Namun, jika suhu di atas 160 °C menyebabkan terjadinya degradasi selulosa (Wibisono 2011).

5. Lama pemasakan

Dengan semakin lamanya waktu pemasakan akan menyebabkan reaksi hidrolisis lignin makin meningkat. Namun, waktu pemasakan yang terlalu lama akan menyebabkan selulosa terhidrolisis, sehingga hal ini akan menurunkan kualitas *pulp*. Lama pemasakan yang optimum pada proses delignifikasi adalah sekitar 60-120 menit dengan kandungan lignin konstan setelah rentang waktu tersebut. Semakin lama waktu pemasakan, maka kandungan lignin di dalam *pulp* tinggi. Untuk waktu pemasakan di atas 5 jam selulosa akan terdegradasi (Shere B. Noris, 1959 dalam Dewi, 2009).

6. Ukuran bahan baku

Ukuran bahan baku yang berbeda menyebabkan luas kontak antar bahan baku dengan larutan pemasak berbeda. Semakin kecil ukuran bahan baku akan menyebabkan luas kontak antara bahan baku dengan larutan pemasak semakin luas, sehingga reaksi lebih baik (Wibisono 2011).

Ada berbagai macam jenis metode dalam proses *organosolv*, yaitu:

1. Proses Acetocell

Penggunaan asam asetat sebagai pelarut organik disebut dengan proses *acetocell*. Kekuatan tarik *pulp acetocell* setara dengan kekuatan tarik *pulp kraft*. Proses *acetocell* dalam pengolahan *pulp* memiliki beberapa keunggulan, antara lain: bebas senyawa sulfur, daur ulang limbah dapat dilakukan hanya dengan metode penguapan dengan tingkat kemurnian yang cukup tinggi, proses pemasakan dapat dilangsungkan pada suhu dan tekanan rendah maupun tinggi, serta dapat diselenggarakan dengan ataupun tanpa bantuan katalis (Sarkanen, 1990; Shukry et



al., 1991; Parajo et al., 1993). Media asam asetat dengan ataupun tanpa katalis dapat memisahkan dengan selektif selulosa, hemiselulosa dan lignin dari berbagai biomasaa, baik kayu maupun non-kayu (Shukry et al., 1991; Vazquez et al., 1995; Zulfansyah et al., 2002; Sahin dan Young, 2008). Beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas *pulp* pada proses *acetocell* adalah konsentrasi asam asetat, suhu, nisbah cairan terhadap padatan dan waktu pemasakan (Amraini, 2010).

2. Proses *Alcell* (*Alkohol cellulose*)

Proses *alcell* telah memasuki tahap pabrik percontohan di beberapa negara misalnya di Kanada dan Amerika Serikat, sedangkan proses *acetocell* mulai diterapkan dalam beberapa pabrik di Jerman pada tahun 1990-an. Proses *alcell* yang telah beroperasi dalam skala pabrik di New Brunswick (Kanada) terbukti mampu menghasilkan *pulp* dengan kekuatan setara *pulp kraft*, rendemen tinggi, dan sifat pendauran bahan kimia yang sangat baik (Astari, 2009). Penggunaan etanol memungkinkan waktu pemasakan yang lebih singkat. Kekuatan *pulp* yang dihasilkan sedikit lebih rendah dari *pulp kraft*, tetapi *brightness* yang dihasilkan lebih tinggi dari *pulp kraft* (Dewi ,2009).

3. Proses *Formacell*

Proses *formacell* adalah satu teknologi yang masih dikembangkan dan ramah lingkungan adalah proses pembuatan *pulp* dengan menggunakan campuran pelarut asam asetat dan asam formiat sebagai bahan pemasaknya yang disebut dengan proses *formacell* (Nimz dan Schone, 1993).



II.2. Seleksi 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					
• SGW (<i>Stone Ground Wood</i>)	95-97	160 140	- -	Tidak diketahui	800-1500
• RMP (<i>Refiner Mechanical Pulping</i>)	96-97	130	-	Tidak diketahui	1200-2200
• TMP (<i>Termo Mechanical Pulping</i>)	92-94	30	4-6	2-3 menit	1400-1900
• CMP (<i>Chemi Mechanical Pulping</i>)	> 90	70	4-6	1,5-2 jam	2000-2500
• CTMP (<i>Chemi Termo Mechanical Pulping</i>)	85-95			1-2 jam	2000-2500
2. Semikimia	75-85	160-80	7-10	15-60 menit	2600-3000



2. Kimia					
• Sulfit	43-	125-	1-2	3-7 jam	2600-
• Sulfat	48	43	13-	1-2 jam	3000
• Alkali/Soda	45-	165-	14	0,5-3 jam	2600-
• Acetocell	55	75	13-	3,5-6 jam	3000
	50-	155-	14		2600-
	70	75	-		3000
	75-	70-			2600-
	85	100			3000

(Ullmann's, 2003 ; Amraini, 2010).

**Tabel II.2 Keuntungan dan kerugian macam – macam proses
N Proses Keuntungan Kerugian o**

1. Mekanis	1. Daya cetak kertas baik ^[1] 2. Ramah lingkungan ^[1] 3. Didapatkan serat yang banyak ^[1]	1. Kekuatan pulp rendah ^[1]
2. Semi Kimia	1. Rendemen tinggi ^[2] 2. Persyaratan mengenai kualitas dan spesies kayu rendah ^[2] 3. Penggunaan bahan kimia relatif rendah ^[2]	1. Tidak cocok untuk nonwood ^[2]
3. Kimia a). Sulfat/Kraft	1. Dapat digunakan untuk semua jenis kayu dan kualitas kayu ^[2]	1. Rendemen yang lebih rendah daripada pembuatan pulp sulfit(45-



		50%) ^[2]
	2. Waktu pemasakan Pendek ^[2] 3. Sifat kekuatan <i>pulp</i> baik ^[2]	2. Warna gelap jika tidak dikelantang ^[2] 3. Persoalan bau ^[2]
b). Sulfit	1. Rendemen yang lebih tinggi pada bilangan kappa tertentu yang mengakibatkan kebutuhan kayu lebih rendah ^[1] 2. Derajat <i>pulp</i> yang tidak dikelantang lebih tinggi daripada proses sulfat ^[1] 3. Biaya instalasi lebih rendah ^[1] 4. Tidak ada persoalan bau ^[1]	1. Harga kekuatan dari <i>pulp</i> lebih rendah dari pada proses sulfat ^[1] 2. Keterbatasan sistem pemulihan bahan kimia ^[1] 3. Persoalan kerak ^[1] 4. Proses pemasakan lama ^[1] 5. Persoalan pencemaran lingkungan ^[1]
c). Alkali/ Soda	1. Proses sedehana ^[1] 2. Mengolah bahan baku non kayu ^[1] 3. Sedikit bahan kimia ^[1]	1. Proses delignifikasi kurang sempurna ^[1] 2. Biaya produksi tinggi ^[1] 3. Rendemen pemasakan



		yang rendah ^[1]
		4. Kurang ramah lingkungan ^[1]
d). <i>Organosolv</i>	1. Ramah lingkungan ^[3] 2. Daur ulang lindi hitam mudah dilakukan karena tanpa unsur sulfur ^[3] 3. Bahan mudah didegradasi ^[3] 4. H_2O_2 Rendemen <i>pulp</i> ^[3] yang dihasilkan tinggi ^[3] 5. Tidak menyebabkan timbulnya pencemaran gas berbau ^[3]	1. Pencucian <i>pulp</i> tidak dapat menggunakan air ^[3] 2. Bahan kimia yang bersifat menguap sehingga mudah terbakar jika digester mengalami kebocoran ^[3] 3. Tidak cocok untuk proses <i>pulping</i> dengan campuran dari beberapa jenis kayu ^[3]



-
6. Proses dapat dilakukan pada temperatur dan tekanan rendah^[3]
7. Biaya operasi murah^[3]
- (^[1]Casey,1980 ; ^[2]D. Fengel dan G. Wegener,1985 ; ^[3]Nugroho, 2009)

II.3. Uraian Proses Terpilih

Proses pembuatan kertas dari Eceng gondok (*Eichhornia Crassipes*) ini dilakukan dengan proses *acetocell* karena proses ini ramah lingkungan, daur ulang lindi hitam mudah dilakukan karena tanpa unsur sulfur, serta meningkatkan rendemen dan kualitas *pulp*. Pada proses ini dilakukan dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu:

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

II.3.1. Deskripsi Proses Terpilih

II.3.1.1. Proses *Pre-treatment*

Alang-alang ditampung pada area *open yard*, kemudian alang-alang tersebut diangkut menggunakan *belt conveyor* (J-112), selanjutnya dipressing menggunakan roll (C113) untuk menghilangkan kadar air pada eceng gondok dan menggunakan *rotary cutter* (C-110). Dari *rotary cutter* (C-110), alang-alang masuk ke alat *vibrating screen* (H-211), kemudian alang-alang diangkut menggunakan *bucket elevator* (J-213) menuju proses pemasakan.

II.3.1.2. Proses Pemasakan

Bahan baku dari proses persiapan dibawa menuju *digester* (R-210) dengan *bucket elevator* (J-213). Bahan baku dimasak dengan larutan pemasak asetat 85% yang berasal



dari tangki harian asam asetat (F-214) dengan nisbah padatan-cairan 1:12, proses pemasakan terjadi pada suhu pemasakan 170 °C dengan waktu pemasakan 5 jam dan tekanan sebesar 8 bar.

Setelah pemasakan selesai, *pulp* yang dihasilkan dialirkan menggunakan pompa (L-221) ke dalam *blow tank* (F-222). Kemudian *pulp* dialirkan menggunakan pompa (L-223) menuju ke *rotary vacuum filter* (H-220). Setelah keluar dari RVF (H-220), bubur *pulp* dialirkan menuju proses *bleaching*.

II.3.1.3. Proses *Bleaching*

Bubur *pulp* dari proses pemasakan dialirkan menuju menuju reaktor H₂O₂ (R-230), kemudian ditambahkan air proses untuk menjaga konsistensi *pulp* sebesar 10% dan kemudian ditambahkan larutan H₂O₂ sebanyak 3% yang berasal dari tangki harian H₂O₂, temperatur pada proses *bleaching* menggunakan H₂O₂ sebesar 90 °C selama 5 jam dengan tekanan 5 bar dan rentang pH 10,5-11. Setelah dari reaktor H₂O₂ (R-230) *pulp* dipompa dengan pompa (L-243) menuju proses pencucian dengan menggunakan alat RVF (H-240). Setelah proses pencucian, *pulp* dialirkan menuju reaktor Na₂S₂O₄ (R-250), kemudian ditambahkan air proses untuk menjaga konsistensi *pulp* sebesar 15% dan kemudian ditambahkan larutan Na₂S₂O₄ sebanyak 1% yang berasal dari tangki harian Na₂S₂O₄, temperatur pada proses *bleaching* menggunakan Na₂S₂O₄ sebesar 80 °C selama 5 jam dengan tekanan 5 bar dan rentang pH 7-8. Setelah dari reaktor Na₂S₂O₄ (R-250) *pulp* dipompa dengan pompa (L-263) menuju proses pencucian dengan menggunakan alat RVF (H-260). Selanjutnya bubur *pulp* masuk kedalam tangki pengenceran (M-311). Dari proses *bleaching* menghasilkan kecerahan sebesar 80 % (Casey, 1980).

II.3.1.4. Proses *Post treatment*

Bubur *pulp* dipompa dengan pompa (L-312) menuju ke *head box* (X-313). Dari *head box* (X-313) menuju ke *wire part* (X-314) untuk membentuk lembaran kertas, setelah itu menuju ke *rotary drum dryer* (B-310) untuk dilakukan pengeringan hingga



BAB II Macam dan Uraian Proses

lembaran kertas memiliki kadar air 5 %. Kemudian lembaran kertas, menuju *roll* (X-315) dan dihasilkan gulungan paper.

BAB III **NERACA MASSA**

Kapasitas Produk	333.000,00	kg/hari
Operasi	300,00	hari/tahun
Satuan Massa	kg	
Basis Waktu	1 hari	
Bahan Baku	1.899.182,03	kg

Untuk kapasitas 333.000 kg dibutuhkan bahan baku sebesar 1805423,82 kg dengan data komposisi eceng gondok

Tabel III.1 Komposisi Eceng gondok

Kandungan	Persentase %	Bahan Baku	Jumlah
Serat	20,00	1.899.182,03	379.836,41
Air	80,00	1.899.182,03	1.519.345,62
Total	100,00	Total	1.899.182,03

I Pretreatment

I.1 Vibrating Screen (H-112)

Tabel III.2 Neraca Massa pada Vibrating Screen

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 4 = Eceng Gondok		Aliran 6 = Eceng Gondok	
Serat	379.836,41	Serat	360.844,59
Air pada serat	1.519.345,62	Air pada serat	<u>1.519.345,62</u>
			1.880.190,21
		Aliran 5 = Impuritis	
		Impurities	18.991,82
Total	1.899.182,03	Total	1.899.182,03

I.2 Roll Mill (C-115) III-1

Tabel III.3 Neraca Massa pada Belt Roll mill

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)

**I.2 Roll Mill (C-115)****Tabel III.3** Neraca Massa pada Belt Roll mill

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 6 = Eceng Gondok		Aliran 8 = Eceng Gondok	
Serat	360.844,59	Serat	360.844,59
Air	1.519.345,62	Air	455.803,69
	1.880.190,21		816.648,27
Aliran 7 = Air Terbuang			
		Air terbuang	1.063.541,94
Total	1.880.190,21	Total	1.880.190,21

I.3 Rotary Dryer (Q-116)**Tabel III.4** Neraca Massa pada Rotary Dryer

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 8 = Eceng Gondok		Aliran 11 = Eceng Gondok	
Serat	360.844,59	Serat	360.844,59
Air	455.803,69	Air	151.934,56
	816.648,27		512.779,15
Aliran 9 = Udara		Aliran 10 = Udara Kering	
Udara Kering	3.488.564,99	Udara Kering	3.488.564,99
		Air teruapkan	303.869,12
			3.792.434,11
Total	4.305.213,26	Total	4.305.213,26



II Delignifikasi

II.1 Tangki Pengenceran CH₃COOH (M-214)

Tabel III.5 Neraca Massa pada Tangki pengenceran

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 14 = CH₃COOH		Aliran 16 = Larutan CH₃COOH	
CH ₃ COOH	85.463,19	CH ₃ COOH	85.463,19
Air	94,96	Air	<u>85.463,19</u>
	85.558,15		
Aliran 15 = Air Proses			
Air proses	85.368,23		
Total	170.926,38	Total	170.926,38

II.2 Pandia Digester (R-210)

Tabel III.6 Komposisi Eceng Gondok

Komponen	Presentase	Massa komponen
Selulosa	44,40	227.673,94
Lignin	9,95	51.021,53
Hemiseluosa	19,72	101.120,05
Abu	17,59	90.197,85
AIR	8,34	42.765,78

Tabel III.7 Neraca Massa Reactor CH₃COOH

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 13 = Eceng Gondok		Aliran 17 = Pulp	
Selulosa	227.673,94	Selulosa	227.673,94
Hemiselulosa	101.120,05	Lignin sisa	5.102,15
Lignin	51.021,53	Hemiselulosa	101.120,05
Abu	90.197,85	Air pada serat	4.591,94
Air yang terikut p	42.766		
	512.779,15		338.488,08
Aliran 16 = Larutan CH₃COOH			
CH ₃ COOH	85.463,19	Air	128.228,97
Air	85.463,19	Aseto ligninat si	56.633,89
	170.926,38	CH ₃ COOH sisa	70.156,73
		Abu	90.197,85
			345.217,45
Total	683.705,53	Total	683.705,53



II.3 Rotary Vacum Filter I (H-220)

Tabel III.8 Neraca Massa Rotary Vacum Filter I

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah	Komponen	Jumlah
Aliran 17 = Pulp		Aliran 19 = Pulp	
Selulosa	227.673,94	Selulosa	223.120,46
Lignin sisa	5.102,15	Lignin sisa	5.000,11
Hemiselulosa	101.120,05	Hemiselulosa	99.097,65
Air yang terikut p	4.592	Air	<u>36.841,69</u>
	338.488,08		364.059,91
Aliran 20 = Black Liquor			
black liquor		Hemiselulosa	2.022,40
Air	128.228,97	Aseto Ligninat si	56.633,89
Aseto lignat sisa	56.633,89	CH ₃ COOH sisa	70.156,73
Abu	90.197,85	Air	1.805.243,04
CH ₃ COOH sisa	<u>70.156,73</u>	Selulosa	4.553,48
	345.217,45	abu	90.197,85
		Lignin	<u>102,04</u>
			2.028.909,44
Aliran 18 = Air Proses			
Air proses yang di	1.709.263,82	Total	2.392.969,35
Total	2.392.969,35	Total	2.392.969,35



III Bleaching

III.1 Tangki Pengenceran Na₂S₂O₄ (M-231)

Tabel III.9 Neraca Massa Na₂SO₄

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 17 = Na₂S₂O₄		Aliran 19 = Larutan Na₂S₂O₄	
Sodium dithionite	21.814,55	Sodium dithionit	21.814,55
Air	<u>2.423,84</u>	Air	<u>1.795.580,33</u>
	24.238,39		1.817.394,88
Air proses	1.793.156,49		
Total	1.817.394,88	Total	1.817.394,88

III.2 Reactor Na₂S₂O₄ (R-230)

Tabel III.10 Neraca Massa Reaktor Na₂S₂O₄

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah	Komponen	Jumlah
Aliran 20 = Pulp		Aliran 24 = Pulp	
serat pulp		serat pulp	
Selulosa	223.120,46	Selulosa	223.120,46
Lignin	5.000,11	Lignin	1.500,03
Hemiselulosa	99.097,65	Hemiselulosa	99.097,65
Air	<u>36.841,69</u>	Air	<u>1.828.571,94</u>
	364.059,91		2.152.290,08
Aliran 23 = Larutan Na₂S₂O₄			
Na ₂ S ₂ O ₄	21.814,55	Air (s)	350,01
Air	<u>1.795.580,33</u>	Lignin (s)	3.500,08
	1.817.394,88	NaHSO ₃ (s)	2.022,27
		Na ₂ S ₂ O ₄ (s)	18.431,14
		C ₁₀ H ₁₁ O ₄ NaS	4.861,22
Total	2.181.454,79	Total	2.181.454,79

**III.3 Washer II (H-240)****Tabel III.11 Neraca Massa Washer II**

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah	Komponen	Jumlah
Aliran 24 = Pulp		Aliran 26 = pulp	
Selulosa	223.120,46	Selulosa	218.658,05
Hemiselulosa	99.097,65	Hemiselulosa	97.115,69
Air	1.828.571,94	Air	145.651,18
Lignin sisa	1.500,03	Lignin sisa	1.470,03
			462.894,96
			925.789,92
Black Liquor :		Aliran 27 = Black Liqour	
Air	350,01	Lignin sisa	3.530,08
lignin	3.500,08	Selulosa	4.462,41
NaHSO3	2.022,27	Hemiselulosa	1.981,95
Na2S2O4	18.431,14	Air	7.136.907,76
C10H11O4Nas	4.861	NaHSO3	2.022,27
	2.181.454,79		
Aliran 25 = Air Proses		Na2S2O4	18.431,14
Air proses	5.453.636,98	C10H11O4Nas	4.861,22
			7.172.196,82
Total	7.635.091,78	Total	7.635.091,78

**III.4 Tangki Pengenceran H₂O₂ (M-251)****Tabel III.12 Neraca Massa Pengenceran H₂O₂**

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 28 = H₂O₂		Aliran 30 = Larutan H₂O₂	
Hidrogen peroksi	21.814,55	Hidrogen peroks	21.814,55
Air	2.423,84	Air	1.795.580,33
	24.238,39		
Aliran 29 = Air Proses			
Air Proses	1.793.156,49		
Total	1.817.394,88	Total	1.817.394,88

III.5 Reaktor H₂O₂ (R-250)**Tabel III.13 Neraca Massa Reaktor H₂O₂**

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah	Komponen	Jumlah
Aliran 27 : Pulp		Aliran 31 : Pulp	
Selulosa	218.658,05	selulosa	218.658,05
lignin	1.470,03	lignin	588,01
Hemiselulose	97.115,69	Hemiselulosa	97.115,69
Air	<u>145.651,18</u>	Air	1.941.231,51
	462.894,96		
Aliran 30 : Larutan H₂O₂			
Hidrogen Peroksi	21.814,55	Black Liquor :	
Air	1.795.580,33	Air (s)	88,20
	1.817.394,88	H ₂ O ₂	21.647,94
		C10H12O4 (s)	960,42
Total	2.280.289,84	Total	2.280.289,84

**III.6 Washer III (H-260)****Tabel III.14 Neraca Massa Washer III**

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah	Komponen	Jumlah
Aliran 31 = Pulp		Aliran 33 = Pulp	
Selulosa	218.658,05	Selulosa	214.284,89
Lignin	588,01	Lignin	576,25
Hemiselulosa	97.115,69	Hemiselulosa	95.173,38
Air yang terikut p	1.941.231,51	Air	<u>152.840,89</u>
			462.875,41
Aliran 34 = Black Liquor			
Air	88,20	H2O2	21.647,94
H2O2	21.647,94	Selulosa	4.373,16
C10H12O4	<u>960,42</u>	Lignin	11,76
	2.280.289,84	Hemiselulosa	1.942,31
		Air	7.489.203,42
		C10H12O4	<u>960,42</u>
			7.518.139,02
Aliran 32 = Air Proses			
Air proses yang di	5.700.724,60		
Total	7.981.014,43	Total	7.981.014,43

**IV Post Treatment****IV.1 Wire Part (X-314)****Tabel III.15 Neraca Massa Wire Part**

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 36 = Pulp		Aliran 38 =Pulp	
Selulosa	218.658,05	Selulosa	218.658,05
Hemiselulosa	97.115,69	Hemiselulosa	97.115,69
Lignin	576,25	Lignin	576,25
Air	145.651,18	Air	72.825,59
			389.175,59
		Aliran 37 : Air terbuang	
		Air yang terbuang	72.825,59
Total	462.001,18	Total	462.001,18

IV.2 Drum Dryer (B-310)**Tabel III.16 Neraca Massa Drum Dryer**

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 38 = Pulp		Aliran 39 = Kertas	
Selulosa	218.658,05	Selulosa	218.658,05
Hemiselulosa	97.115,69	Hemiselulosa	97.115,69
Air	145.651,18	Air	16.650,00
Lignin	576,25	Lignin	576,25
			333.000,00
		Uap Air	129.001,18
Total	462.001,18	Total	462.001,18

**IV.3 Roll****Tabel III.17 Neraca Massa Roll**

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 40 = Roll Kertas		Produk	
Selulosa	218.658,05	Selulosa	218.658,05
Hemiselulosa	97.115,69	Hemiselulosa	97.115,69
Air	16.650,00	Air	16.650,00
Lignin	576,25	Lignin	576,25
Total	333.000,00	Total	333.000,00

BAB IV

NERACA PANAS

Kapasitas Produksi	= 333.000,00 kg/hari
Operasi	= 300 hari/tahun; 24 jam/hari
Satuan Panas	= kkal
Basis Waktu	= 1 hari
Tref	= 25°C

I Tahap Pretreatment

J.1 Heat Exchanger (E-131)

Tabel IV.1 Neraca panas pada heat Exchanger

Tabel PVII Netural pada plain heat Exchanger			
MASUK	KELUAR		
H9 = Udara	4.186.277,99	H9 = Udara	79.539.281,73
Qsupply	79.318.951,31	Qloss	3.965.947,57
TOTAL	83.505.229,30	TOTAL	83.505.229,30

J. 2 Rotary Dryer (B-130)

Tabel IV-2 Neraca Panas Pada Rotary Dryer

Tabel IV.2 Neraca Pemasukan dan Rataan Diper			
MASUK		KELUAR	
h9 = Eceng gondok	929.584,53	H10 = Udara	45.293.536,00
H9 = Udara	54.421.613,82	h11 = Eceng gondok	10.057.662,36
TOTAL	55.351.198,35	TOTAL	55.351.198,35

II Tahap pemasakan dan bleaching

II 1 Heat Exchanger (E-214)

Tabel IV-3 Neraca Panas Pada Heat Exchanger

Tabel IV.3 Neraca Panas Pada Heat Exchanger			
MASUK	KELUAR		
h16 = CH ₃ COOH	670.330,54	H15 = CH ₃ COOH	6.032.974,86
Qsupply	5.644.888,76	Qloss	282.244,44
TOTAL	6.315.219,30	TOTAL	6.315.219,30

II-2 Reaktor CH₃COOH (R-210)

Tabel IV-4 Neraca Panas Pada Reaktor CH₃COOH

Tabel IV.4 Neraca Panas Padu Reaktor CH3COOH		
MASUK	KELUAR	
h13 = Eceng gondok	929.584,53	h17 = pulp
h16 = CH3COOH	6.032.974,86	Q Loss
Qsupply	36.009.734,65	H reaksi
TOTAL	42.972.294,05	TOTAL
		42.972.294,05

**II.3 Heat Exchanger (E-222)****Tabel IV.5 Neraca Panas Pada Heat Exchanger**

MASUK	KELUAR
h18 = Air proses	8.535.208,91h18 = Air proses
Qsupply	71.875.443,45Qloss
TOTAL	80.410.652,36TOTAL

II.4 Rotary Vacum Filter I (H-220)**Tabel IV.6 Neraca Panas Pada Rotary Vacum Filter I**

MASUK	KELUAR
H17 = pulp	21.573.269,19h20 Pulp
h18 = Air proses	76.816.880,19h19 Black liquor
TOTAL	98.390.149,38TOTAL

II.5 Heat Exchanger (E-232)**Tabel IV.7 Neraca Panas Pada Heat Exchanger**

MASUK	KELUAR
h23 = Na ₂ S ₂ O ₄	9.000.599,53h23 = Na ₂ S ₂ O ₄
Qsupply	75.794.522,37Qloss
TOTAL	84.795.121,90TOTAL

II.6 Reaktor Na₂S₂O₄ (R-230)**Tabel IV.8 Neraca Panas Pada Reactor Na₂S₂O₄**

MASUK	KELUAR
h20 = Pulp	7.346.647,45h24 = pulp
H23 = Larutan Na ₂ S ₂ O ₄	81.005.395,78Q Loss
	H reaksi
Qsupply	41.763.695,27
TOTAL	130.115.738,51TOTAL

II.7 Heat Exchanger (E-242)**Tabel IV.9 Neraca Panas Pada Heat Exchanger**

MASUK	KELUAR
h25 = Air proses	27.232.736,28h25 = air proses
Qsupply	229.328.305,51Qloss
TOTAL	256.561.041,79TOTAL

II.8 Rotary vacum filter II (H-240)**Tabel IV.10 Neraca Panas Pada Rotary Vacum filter II**

MASUK	KELUAR
H24 = Pulp	125.785.218,18h27 = Pulp
h25 = Air proses	245.094.626,52h26 = Black Liquor
TOTAL	370.879.844,70TOTAL

**II.9 Heat Exchanger (E -252)**

Tabel IV.11 Neraca Panas Pada Heat Exchanger

MASUK		KELUAR	
h30 = Air proses	9.032.323,00	h30 = Air proses	81.290.906,97
Qsupply	76.061.667,34	Qloss	3.803.083,37
TOTAL	85.093.990,33	TOTAL	85.093.990,33

II.10 Reaktor H₂O₂ (R-250)Tabel IV.12 Neraca Panas Pada Reaktor H₂O₂

MASUK		KELUAR	
h27 = Pulp	12.492.951,51	h31 = Pulp	134.055.296,11
H30 = H ₂ O ₂	81.215.478,68	Q Loss	2.108.329,24
		H reaksi	-288.610,41
Qsupply	42.166.584,75		
TOTAL	135.875.014,94	TOTAL	135.875.014,94

II.11 Heat Exchanger (E-262)

Tabel Neraca Panas IV.13 Pada Heat Exchanger

MASUK		KELUAR	
h32 = Air proses	28.540.677,69	h32 = Air proses	256.866.099,18
Qsupply	240.342.548,94	Qloss	12.017.127,45
TOTAL	268.883.226,63	TOTAL	268.883.226,63

I.12 Rotary Vacum Filter III (H-260)

Tabel Neraca Panas IV.14 Pada Rotary Vacum Filter III

MASUK		KELUAR	
H31 = Pulp	134.053.746,20	H33 = Pulp	12.837.551,63
h32 = Air proses	256.866.099,18	h34 = Black liquor	378.082.293,75
TOTAL	390.919.845,38	TOTAL	390.919.845,38

III Tahap Post Treatment**III.1 Drum dryer (B-230)**

Tabel IV.14 Neraca Panas Pada Drum dryer

MASUK		KELUAR	
h38 = Pulp	12.469.499,16	h39 = Kertas	18.704.248,73
Qsupply	93.415.076,61	Qloss	4.670.753,83
			82.509.573,20
TOTAL	105.884.575,76	TOTAL	105.884.575,76

BAB V

SPESIFIKASI ALAT

1. Open Yard (F-111)

Fungsi : Untuk menyimpan bahan baku Eceng Gondok
Waktu tinggal : 1 minggu
Kondisi Operasi : Tekanan = 1 atm
Temperatur = 30 °C
Rate Mass = 42896870,0264 kg/hari

Spesifikasi :

Height or length = 50 m
Diameter of width = 120 m (Ulrich, 1984)
Jumlah = 1 unit

2. Belt Conveyor (J-112)

Fungsi : Untuk mengangkut Eceng Gondok dari open yard menuju rotary cutter
Type : Troughed belt on 45° idlers with rolls equal length
Kondisi Operasi : Tekanan = 1 atm
Temperatur = 30 °C
Rate Mass = 1787369,6 kg/jam

Spesifikasi :

Ukuran Lump Max. : 114 mm
Kapasitas : 2144,84 ton/jam
Bahan Konstruksi : Karet
Panjang : 10,00 m
Cross Sectional Area : 0,03 m²
Lebar Belt : 40 cm
Kecepatan Belt : 902,313473 m/min
Power Motor : 56,80137272 hp
Jumlah : 1 unit



3. Rotary Cutter (C-110)

Fungsi : Untuk memotong Eceng Gondok

Kondisi Operasi : Tekanan = 1 atm

Temperatur = 30°C

Spesifikasi :

Rate Mass	:	1787369,58	kg/jam
Rate Volumetrik	:	11158,16	m ³ /jam
Diameter feed max.	:	0,5	m
Diameter cacahan	:	25	mm
Power	:	1,00	hp
Jumlah	:	1	unit

4. Vibrating Screen (H-121)

Fungsi : Untuk menyaring zat *impurities* dari potongan eceng gondok

Kondisi Operasi : Tekanan = 1 atm
Temperatur = 30 °C

Spesifikasi :

Fungsi	:	Untuk menyaring zat impurities dari potongan eceng gondok
Kapasitas	:	1787369,584kg/jam
Rate Volumetrik	:	11158,15828m ³ /jam
Panjang Vibrating	:	5 m
Lebar Vibrating	:	1,5 m
Luas Vibrating	:	7,5 m ²
Power	:	4 Hp
Jumlah	:	1 unit

5. Roll Mill (C120)

Fungsi : Memeras eceng gondok untuk menghilangkan kadar air hingga 70%



Kondisi Operasi

: Tekanan = 1 atm
Temperatur = 30 °C

Spesifikasi :

Type : Fulton crusher followed by mill
Jumlah Roller : 5
Kadar air yang dihilangkan : 70 - 83%

6. Bucket Elevator (J-212)

Fungsi : Untuk mengangkut eceng gondok dari vibrating screen ke tahap delignifikasi
Type : *Bucket elevator for continuous buckets on chain*
Kondisi Operasi : Tekanan : 1 atm
Temperatur : 30,00 °C

Spesifikasi :

Kapasitas	:	76,73051246 ton	
Bahan	:	Carbon Steel	
Ukuran Bucket	:	12 x 7 x 7 1/4 in	
Bucket Spacing	:	18 in	
Tinggi Elevator	:	75 ft	
Power Motor	:	6	hp
Jumlah	:	1	unit

7. Rotary Vacum Filter (H-220)

Fungsi : Untuk mencuci pulp yang keluar dari *blowtank*
Type : *Rotary Vacum Drum Filter*

BAB V Spesifikasi Alat

Spesifikasi :

Kapasitas	:	329037,7437
Tekanan	:	1 atm
Temperatur	:	90,57 °C
Berat filtrat yang keluar	:	309821,5684
Berat cake yang dihasilkan	:	19216,1753
Densitas cake	:	1075,54
Densitas filtrat	:	994,94
Viskositas filtrat	:	0,005065
Volume filtrat	:	311,40
Massa dry cake	:	12918,74
Kandungan air pada cake	:	32,77151892
Penurunan tekanan	:	0,66 atm 67 kPa
Waktu siklus (t)	:	5 menit 300 detik
Bagian filter yang tercelup (f)	:	30 %
Luas permukaan	:	6046,41
Jumlah	:	1 unit

8. Tangki Pengenceran CH₃COOH (M-214)

Fungsi : Mengencerkan konsentrasi asam asetat menjadi 50%

Type : Tangki silinder conical head

Spesifikasi :

Diameter	:	14,38 m
Tinggi	:	14,38 m
Jumlah course	:	6
Tebal course 1	:	15 ft 0,9 in
Tebal course 2	:	15 ft 0,87 in
Tebal course 3	:	15 ft 0,85 in
Tebal course 4	:	15 ft 0,82 in
Tebal course 5	:	15 ft 0,8 in



Tebal course 6	: 15 ft 0,77 in
Volume silinder	: 347258,88 ft3
Tinggi tutup atas	: 16,16 ft

9. Heat Exchanger (E-222)

Fungsi : Untuk menaikkan suhu air proses dari 30°C menjadi 70°C

Type : Shell and Tube Heat Exchanger
Jumlah ; 1 Unit

Spesifikasi

Shell Side :

Inside Diameter : 12 in
Passes : 1,00

Tube Side :

Number : 1068
Outside Diameter : 0,75 in
BWG : 16,0 BWG
Pitch : 15/16 in triangular pitch
Passes : 2

10. Pompa (L-221)

Fungsi : Memompa pulp dari blow tank menuju washer 1
Tipe : *Rotary pump*

Spesifikasi :

Kapasitas	: 97,6934089	Gpm
Material case	: Cast Iron	
Material rotor	: Carbon steel	
Suction pressure	: 14,70	Psi



BAB V Spesifikasi Alat

<i>Discharge pressure</i>	:	14,7	psi
Beda ketinggian	:	20,00	ft
<i>Ukuran pipa</i>	:	3 in sch 40	
Power pompa	:	1,00	hp
Jumlah	:	1,00	unit

11. Wire Part

Fungsi	:	Untuk membentuk bubur pulp menjadi lembaran kertas
<i>Kondisi Operasi</i>	:	Tekanan = 1 atm Temperatur = 30 °C Rate Mass = 1979166,7 kg/jam
Type	:	Metal Wire

Spesifikasi

Panjang bottom wire	:	36 m
Lebar bottom wire	:	3,9 m
Panjang top wire	:	17 m
Lebar top wire	:	4 m
Jumlah	:	1

Rotary Dryer

Fungsi : Mengeringkan eceng gondok hingga kadar air 8%

Type : Counter current rotary dryer

Spesifikasi :

Rate mass : 816648,27 kg/jam

Fraksi air eceng gondok masuk : 0,24 kg total moisture/dry solid

Fraksi air eceng gondok keluar : 0,08 kg total moisture/dry solid

Humidity udara : 0,01 kg H₂O/kg solid

Suhu eceng gondok masuk : 30 C

Suhu eceng gondok keluar : 78 C

Suhu udara panas keluar : 78 C

Jumlah : 1 Unit

BAB VI

UTILITAS

Utilitas merupakan sarana penunjang dari proses utama di pabrik. Oleh karena itu, utilitas memegang peranan penting dalam pelaksanaan operasi dan proses. Sarana utilitas pada pabrik kertas dari eceng gondok dengan proses *acetocell* ini meliputi:

1. *Air*

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

2. *Steam*

Steam digunakan pada proses di *digester*, reaktor H_2O_2 , reaktor $Na_2S_2O_4$, *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

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 (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 (CaOCl_2) sebagai desinfektan yang fungsinya adalah untuk mencegah berkembang biaknya bakteri pada sistem distribusi air sanitasi.

Diagram alir pengolahan Air sanitasi :

VI.1.2 Air Proses

Air proses adalah air yang digunakan dalam proses pembuatan kertas. Air proses dalam pabrik kertas ini digunakan untuk proses pencucian pada *rotary vacuum filter*, pengenceran CH_3COOH , H_2O_2 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$, dan *pulp*.



Hal yang perlu diperhatikan dalam penyediaan air adalah:

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

Diagram alir pengolahan Air Proses:

VI.1.4 Air Umpam Boiler

Air umpan boiler adalah air yang disuplai ke boiler untuk diubah menjadi *steam*. 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:

- 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.
- Zat penyebab ‘*scale foaming*’
 - Pembentukan kerak disebabkan adanya kesadahan dan suhu tinggi yang biasanya berupa garam-garam karbonat dan silika.
- 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.

Air umpan (*feed water*) boiler harus memenuhi prasyarat tertentu seperti yang diuraikan dalam tabel di bawah ini:

Tabel VI.1 Parameter Air Umpam Boiler

Parameter	Satuan	Pengendalian Batas
pH	unit	10,5-11,5
Konduktivitas	$\mu\text{hos}/\text{cm}$	Max. 5000
TDS	ppm	Max. 3.500
<i>Silica</i>	ppm	Max. 150
Besi	ppm	Max. 2
<i>Phosphate Residual</i>	ppm	20-50
<i>Sulfite Residual</i>	ppm	20-50
pH <i>condensate</i>	unit	8,0-9,0

Diagram alir pengolahan Air Boiler :



VL2 Proses Pengolahan Air

Proses pengolahan air meliputi:

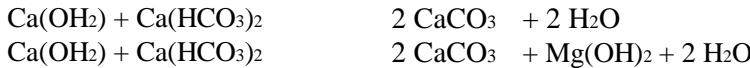
- a. Pengendapan Kotoran
- b. Penambahan Bahan Kimia
- c. Penyaringan.
- d. Pengolahan khusus yang tergantung pada penggunaannya, seperti:
 - Pelunakan dengan kapur
 - Pelunakan dengan menggunakan kation

Pengendapan Kotoran

Air yang diambil dari sungai sebelum masuk bak penampung dilewatkan saringan (*strainer*) untuk mengurangi kotoran seperti sampah dan lain-lain. Setelah itu, air dilewatkan ke tangki penampung untuk menanampung dan lumpur akan mengendap, sedangkan air secara *overflow* dari bak penampung dialirkan ke pengolahan berikutnya.

Penambahan Bahan Kimia

Pada bak flokulator dengan pengadukan cepat disertai penambahan dengan tawas $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O]$ 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 ke bak berpengaduk dengan kecepatan lambat (5-8 rpm) yang disertai penambahan larutan kapur $[Ca(OH)_2]$. Tujuan pengadukan lambat ini adalah untuk membantu memperbesar flok-flok sehingga menjadi berat. Sedangkan penambahan larutan kapur bertujuan untuk mengikat kesadahan karbonat. Melalui reaksi berikut:





Air kemudian dialirkan secara *overflow* ke bak pengolahan berikutnya.

Penyaringan

Kemudian air mengalir dengan *flowrate* yang lambat dalam bak sedimentasi atau *clarifier* agar flok-flok yang sudah terbentuk tidak rusak. Di bak sedimentasi ini air diberi kesempatan untuk mengendap sebaik mungkin. Air jernih dari bagian atas ditampung dalam bak penampung sementara kemudian dipompa ke *sand filter* yang berfungsi untuk menangkap partikel-partikel kecil yang tidak dapat diendapkan. Partikel-partikel tersebut akan tertahan oleh butiran pasir dan kerikil. Air yang lolos merupakan air yang jernih dan bersih yang kemudian ditampung dalam bak penampung air bersih. Untuk air sanitasi ditambahkan kaporit sebagai pembunuh kuman. Untuk air proses dapat langsung digunakan, sedangkan untuk air umpan boiler dilakukan demineralisasi pada kation *exchanger*.

Pengolahan Pelunakan

Ion *exchanger* terdiri dari kation dan anion *exchanger*. Pada kation *exchanger*, ion positif seperti Mg^{2+} dan Ca^{2+} diganti dengan ion Na^{2+} dari resin kation (RNa_2), sedangkan pada anion *exchanger*, ion negatif seperti Cl^- diikat oleh resin basa kuat (ROH). Reaksi yang terjadi pada reaksi demineralisasi yaitu:

- **Kation *exchanger***

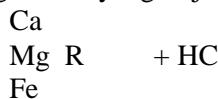


Fe_{2+} Cl_2 Cl_2 Fe Resin akan jenuh setelah bekerja selama 36 jam yang

ditunjukkan dengan kenaikan konduktivitas anion, penurunan FMA (*free mineral acid*), kenaikan pH, *total hardness* lebih besar dari 0.



Untuk efektivitas operasi, unit ini juga dilengkapi dengan fasilitas regenerasi untuk mengembalikan kemampuan resin, yaitu dengan menambahkan larutan HCl ke dalam kation *exchanger*. Regenerasi yang terjadi, yaitu:



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

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

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

Kebutuhan lain-lain	:	62	m^3 /hari
Kebutuhan air sanitasi pabrik :		172	m^3 /hari

VI.3.2 Air Proses

Tabel VI.2 Kebutuhan Air Proses pada Pabrik

No.	Nama Alat	Kebutuhan Air (kg/hari)
1	<i>Rotary Vacuum Filter 1</i>	1.709.263,82
2	<i>Rotary Vacuum Filter 2</i>	5.453.636,98
3	<i>Rotary Vacuum Filter 3</i>	5.700.724,59
4	Tangki Pengenceran Asam Asetat	85.368,23
	Tangki Pengenceran Na ₂ S ₂ O ₄	1.793.156,49
	Tangki Pengenceran H ₂ O ₂	1.793.156,49
TOTAL		16.535.306,61

Air proses yang dibutuhkan:

$$\text{Air proses} = \frac{\text{rate massa air}}{\rho}$$

$$= \frac{16.535.306,61}{995,68} = 16607,05 \text{ m}^3/\text{hari}$$

VI.3.3 Air Umpam BoilerAir yang dibutuhkan = *steam* yang dibutuhkan**Tabel VI.3** Kebutuhan *Steam* pada Pabrik

No.	Nama Alat	Kebutuhan <i>Steam</i> (kg/hari)
1	Heat Exchanger Rotary Dryer	162.892,72
2	Heat Exchanger Tangki Harian CH_3COOH (E-215)	250.544,85
3	Digester (R-210)	73.951,1
4	Heat Exchanger Washer 1 (E-224)	147.606,42
5	Heat Exchanger Tangki Harian H_2O_2 (E-232)	156.203,43
6	Reaktor H_2O_2 (R-230)	89.281,09
7	Heat Exchanger Washer 2 (E-242)	936.051,84
8	Heat Exchanger Tangki Harian $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ (E-252)	155.654,81
9	Reaktor $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ (R-250)	85.767,67
10	Heat Exchanger Washer 3 (E-262)	517.317,02
11	Rotary Drum Dryer (B-310)	155.710,24
TOTAL		2.730.981,24



Air umpan

$$= \frac{\text{rate massa air}}{\rho} = \frac{2.730.981,24}{995,68} = 2.742,83 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Karena digunakan sistem sirkulasi untuk menghemat air, maka diasumsikan 80% dari kondensat kembali ke air umpan boiler. Jadi:

Jadi:

Air kondensat yang diresirkulasi adalah 80% dari total kondensat

$$= 80\% \ 2.742,83 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 2194.26 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Jadi, make up water boiler} = (2742,83 - 2194,26) \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 548,57 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Air sungai yang dibutuhkan adalah:

1. Air sanitasi	=	172 m ³ /hari
2. Air proses	=	16.607,05 m ³ /hari
3. Make up water boiler	=	<u>548,57 m³/hari</u>
+ Total	=	17.327,62 m ³ /hari

VL5 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.

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. Tujuannya adalah untuk menciptakan tempat kerja yang nyaman, dan sehat sehingga dapat menekan serendah mungkin resiko kecelakaan dan penyakit akibat kerja (*Ilfani & Nugrahaeni, 2013*)

VII.1.1 Usaha-usaha Keselamatan Kerja

Keselamatan kerja berarti proses merencanakan dan mengendalikan situasi yang berpotensi menimbulkan kecelakaan kerja melalui persiapan prosedur operasi standar yang menjadi acuan dalam bekerja. 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 (*Kusuma & Darmastuti, 2010*)

Menurut Suma'mur (1981), tujuan keselamatan kerja adalah:

1. Para pegawai mendapat jaminan keselamatan dan kesehatan kerja.
2. Agar setiap perlengkapan dan peralatan kerja dapat digunakan sebaik-baiknya.
3. Agar semua hasil produksi terpelihara keamanannya.
4. Agar adanya jaminan atas pemeliharaan dan peningkatan gizi pegawai.
5. Agar dapat meningkatkan kegairahan, keserasian, dan



- partisipasi kerja.
6. Terhindar dari gangguan kesehatan yang disebabkan oleh lingkungan kerja.
 7. Agar pegawai merasa aman dan terlindungi dalam bekerja,

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. Kecelakaan kerja merupakan kecelakaan seseorang atau kelompok dalam rangka melaksanakan kerja di lingkungan perusahaan yang terjadi secara tiba-tiba, tidak diduga sebelumnya, tidak diharapkan terjadi, menimbulkan kerugian ringan sampai yang paling berat dan bisa menghentikan kegiatan pabrik secara total. Penyebab kecelakaan kerja dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu:

1. Kecelakaan yang disebabkan oleh tindakan manusia yang tidak melakukan tindakan penyelamatan. Contohnya pakaian kerja, penggunaan peralatan pelindung diri, falsafah perusahaan, dan lain-lain.
2. Kecelakaan yang disebabkan oleh keadaan lingkungan kerja yang tidak aman. Contohnya penerangan, sirkulasi udara, temperatur, kebisingan, getaran, penggunaan indikator warna, tanda peringatan, sistem upah, jadwal kerja, dan lain-lain (*Kusuma & Darmastuti, 2010*).

VII.1.2 Sebab-sebab Terjadinya Kecelakaan Kerja

Menurut Suma'mur (1996), kecelakaan akibat kerja adalah kecelakaan berhubung dengan hubungan kerja pada perusahaan. Hubungan kerja dapat berarti bahwa kecelakaan itu terjadi karena pekerjaan atau pada waktu melaksanakan pekerjaan. Kadang-kadang kecelakaan akibat kerja diperluas ruang lingkupnya, sehingga meliputi juga kecelakaan-kecelakaan tenaga kerja yang terjadi pada saat perjalanan atau transport ke



dan dari tempat kerja. Pada pabrik kertas ini, keselamatan dan kesehatan kerja adalah bagian yang mendapatkan perhatian khusus, oleh karena itu pengabaian keselamatan kerja dapat mengakibatkan kecelakaan kerja. Maka dari itu, dilakukan usaha-usaha pencegahan yang bertujuan untuk melindungi tenaga kerja atas hak keselamatannya dalam melakukan pekerjaan, menjamin keselamatan setiap orang yang berada di tempat kerja dan memelihara serta menggunakan sumber produksi secara aman dan efisien.

Berikut ini merupakan teori tiga faktor utama tentang penyebab kecelakaan:

1. Faktor manusia

Faktor manusia ini meliputi:

- Umur : Umur harus mendapat perhatian karena akan mempengaruhi kondisi fisik, mental, kemampuan kerja, dan tanggung jawab seseorang.
- Jenis Kelamin : Secara anatomic, fisiologis dan psikologis tubuh wanita dan pria memiliki perbedaan sehingga dibutuhkan penyesuaian-penesuaian dalam beban dan kebijakan kerja, diantaranya yaitu hamil dan haid.
- Masa kerja.
- Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) : Penggunaan seperangkat alat yang digunakan tenaga kerja untuk melindungi sebagian atau seluruh tubuhnya dari adanya potensi bahaya atau kecelakaan kerja.
- Tingkat Pendidikan : Semakin tinggi tingkat pendidikan seseorang, maka mereka cenderung untuk menghindari potensi bahaya yang dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan.
- Perilaku pekerja.
- Pelatihan Keselamatan dan Kesehatan Kerja.
- Peraturan K3 : Sebaiknya peraturan dibuat dan dilaksanakan dengan sebaik-baiknya untuk mencegah dan mengurangi terjadinya kecelakaan.



2. Faktor Lingkungan

Faktor lingkungan ini meliputi:

- Kebisingan : 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.
- Suhu Udara : Produktivitas kerja manusia akan mencapai tingkat yang paling tinggi pada temperatur sekitar 24°C-27°C.
- Penerangan.
- Lantai licin : Lantai dalam tempat kerja harus terbuat dari bahan yang keras, tahan air dan bahan kimia yang merusak.

3. Faktor Peralatan

Faktor peralatan ini meliputi:

- Kondisi mesin : Apabila keadaan mesin rusak dan tidak segera diantisipasi dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan kerja.
- Ketersediaan alat pengaman mesin
- Letak mesin

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 hamper semua alat yang dapat disebabkan karena adanya loncatan bunga api, aliran listrik, serta tekanan yang terlalu tinggi.

VII.1.3 Alat-alat Pelindung Diri

Menurut Undang-undang Keselamatan kerja No.1 tahun 1970 dalam buku *P.K.Sumarsono (1989)*, untuk mengurangi kecelakaan akibat kerja, maka perusahaan harus menyediakan alat pelindung diri yang sesuai dengan jenis perusahaannya masing-masing. Alat pelindung diri yang diperlukan pada pabrik pulp antara lain :

1. Pelindung Kepala



Alat pelindung kepala berfungsi untuk melindungi kepala dari jatuhnya alat-alat industri serta benturan-benturan benda keras. Alat yang biasa digunakan adalah :

Safety Helmet : Melindungi kepala dari benturan. Digunakan pada semua unit, kecuali di laboratorium atau di dalam ruangan.

2. Pelindung Mata

Alat pelindung mata dapat melindungi mata dari percikan bahan-bahan korosif, gas atau steam yang dapat menyebabkan iritasi pada mata. Secara umum bentuknya dapat dibedakan atas :

Googles : kaca mata pengaman terhadap debu. Digunakan pada unit *pre-treatment* dan diruang terbuka.

3. Pelindung Telinga

Alat pelindung telinga bekerja sebagai penghalang antar sumber bunyi dan telinga bagian dalam. Selain berfungsi untuk melindungi telinga karena kebisingan yang dapat menyebabkan kehilangan pendengaran sementara maupun permanen, alat pelindung telinga juga dapat melindungi telinga dari percikan api atau semburan gas tekanan tinggi.

- *Ear muff* : Melindungi telinga dari suara bising di atas 95dB. 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. Pelindung Tangan

Berfungsi untuk melindungi tangan dari bahan-bahan panas, iritasi, korosif, dan arus listrik. Alat yang biasa digunakan adalah:

- Sarung tangan karet : Melindungi tangan dari bahan kimia
- Sarung tangan asbes : Melindungi tangan dari panas. Digunakan disekitar digester, tangki penyimpanan bahan kimia, dan tangki *bleaching*.

5. Pelindung Kaki



Alat ini berfungsi untuk melindungi kaki dari jatuhnya benda-benda keras, terpercik aliran panas dan bahan kimia yang bersifat korosif akibat dari kebocoran pompa/pipa. Alat pelindung kaki ini berupa sepatu yang terbuat dari bahan semi karet. Alat ini digunakan disemua area pabrik.

6. Pelindung Pernafasan

Terdapat dua jenis alat pelindung pernafasan :

- *Full face masker* : Pelindung muka dan pernafasan dari gas-gas kimia. Digunakan disekitar area pemasakan pulp (digester), tangki *bleaching*, dan tangki penyimpanan bahan kimia.
- *Half Masker* : Melindungi muka dari debu kurang dari 10 mikron dan gas tertentu. Digunakan disekitar area *pre-treatment, post treatment*, dan pengolahan limbah.

7. Pelindung Badan

Cattle pack berfungsi sebagai pelindung badan dari radiasi panas pada sistem perpompaan yang mempunyai suhu lebih besar dari 100°C selain itu melindungi badan dari percikan bahan yang korosif dan aliran panas dari kebocoran pompa.

8. Safety Belt

Digunakan untuk pekerja yang bekerja di tempat tinggi dan melindungi diri dari bahaya jatuh. Selain itu pabrik pulp ini dilengkapi dengan fasilitas pemadam kebakaran. Fasilitas pemadam kebakaran antara lain :

- a. Tangki penampung air 1-3, kapasitasnya 300 m^3
- b. Satu *fire jockey pump* bertekanan 3 kg/cm^2
- c. *Dua hydrant pump* bertekanan 7 kg/cm^2
- d. Sebuah *foam tank* bertekanan $1,8 \text{ m}^3$
- e. Empat *foam hydrant*
- f. Empat *water hydrant*



VII.2. Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Secara Khusus VII.2.1 Usaha-Usaha Keselamatan Kerja

Menurut *P.K.Sumamur (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.

3. Perpipaan

- 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 lat 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 pelistrik. 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 : *hydrant, sprinkler, dry chemical power*
- Instalasi tidak tetap : *fire extinguisher*

Untuk instalasi pemadam tetap perangkatnya tidak dapat dibawa-bawa, diletakkan di tempat – 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 *hydran*, *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

❖ **Digester dan Tangki Bleaching**

- Memberikan isolator pada alat.
- Untuk para operator diwajibkan menggunakan alat pelindung diri sebagai berikut :
 - . Alat pelindung tangan berupa sarung tangan asbes.
 - Alat pelindung kaki berupa *safety shoes*.
 - Alat pelindung kepala berupa *safety helmet*.

❖ **Rotary Vacum Filter**

- Memberikan penghalang pada alat dan motor.



- Untuk para operator diwajibkan menggunakan alat pelindung diri sebagai berikut :
 - Alat pelindung tangan berupa sarung tangan asbes.
 - Alat pelindung kaki berupa *safety shoes*.
 - Alat pelindung kepala berupa *safety helmet*.

❖ **Dryer**

- Memberikan radius jarak aman 2 meter dan memasang pagar pembatas disekeliling dryer.
- Untuk operator diwajibkan menggunakan alat pelindung diri sebagai berikut :
 - Alat pelindung tangan berupa sarung tangan asbes.
 - Alat pelindung kaki berupa *safety shoes*.
 - Alat pelindung kepala berupa *safety helmet*.
 - Alat pelindung badan berupa *cattle pack*.

❖ **Pompa**

- Memberikan penghalang pada pompa.
- Untuk para operator diwajibkan menggunakan alat pelindung diri sebagai berikut :
 - Alat pelindung tangan berupa sarung tangan asbes.
 - Alat pelindung kaki berupa *safety shoes*.
 - Alat pelindung kepala berupa *safety helmet*.

❖ **Perpipaan**

- Perpipaan diletakkan diatas permukaan tanah agar mudah penanganannya apabila terjadi kebocoran.



-
- Dipasang *safety valve* untuk mengatasi apabila terjadi kebocoran.



Heat Exchanger

- Memberikan radius jarak aman 2 meter dan memasang pagar pembatas disekeliling Heat Exchanger.
- Pada area Heat Exchanger harus dilengkapi dengan isolator untuk menghindari radiasi panas tinggi.
- Untuk para operator diwajibkan menggunakan alat pelindung diri sebagai berikut :
 - Alat pelindung tangan berupa sarung tangan asbes.
 - Alat pelindung kaki berupa *safety shoes*.
 - Alat pelindung kepala berupa *safety helmet*.
 - Alat pelindung badan berupa *cattle pack*.

BAB VIII

ALAT UKUR DAN INSTRUMENTASI

VIII.1 Alat Ukur secara Umum

Instrumentasi merupakan bagian terpenting dalam setiap proses industri kimia. Instrumentasi berfungsi untuk mengawasi /mengontrol kualitas dan kuantitas proses produksi. Instrumentasi ini dapat merupakan suatu petunjuk/indikator, perekam dan dapat pula berupa pengontrol/controller. Komponen utama Instrumen terdiri dari sensor dan tranduser. Bagian sensor menghasilkan sinyal respon variabel fisik, pemakaian jenis pemrosesan sinyal tergantung innformasi yang dibutuhkan. Pabrik dilengkapi dengan instrumen yang digunakan untuk mengukur mencatat maupun untuk membetulkan penyimpangan yang terjadi pada variabel proses yang optimal yaitu suhu, aliran fluida, konsentrasi gas dan liquida.

Tujuan dan pemasangan peralatan instrumentasi adalah;

1. Menjaga keamanan operasi suatu proses dengan cara menjaga variabel proses berada dalam operasi proses yang aman serta mendeteksi situasi bahaya dengan membuat tanda-tanda bahaya dan memutus hubungan secara otomatis.
2. Membantu mempermudah pengoperasian alat
3. Menjaga jalannya proses sehingga berada dalam batas operasi yang aman.
4. Mengetahui dengan cepat adanya gangguan, kerusakan dan kesalahan dalam operasi.
5. Menahan biaya produksi serendah mungkin dengan memperhatikan faktor lain
6. Menjaga kualitas produk yang baik dan sesuai dengan standard yang telah ditetapkan.
7. Mendapatkan rate atau laju alir produksi sesuai dengan yang diinginkan.
8. Menjamin keselamatan dan efisiensi kerja.

Dalam sistem pengendalian ada dua variabel proses, yaitu;



1. Variabel utama

yaitu variabel yang sangat penting berpengaruh dan mudah dikendalikan antara lain; tekanan, suhu, tinggi permukaan, dan laju alir.

2. Variabel lain

yaitu variabel yang diharapkan dapat dikendalikan melalui variabel utama. Variabel tersebut antara lain; konsentrasi, pH, kekentalan, dan rapat massa.

Pengendalian variabel proses tersebut dapat dilakukan secara manual maupun secara otomatis. Secara manual biasanya peralatan yang dikontrol hanya diberi instrumen penunjuk saja. Sedangkan untuk instrumen automatik diperlukan beberapa elemen, yaitu;

- Sensor

sensor adalah suatu alat yang sangat sensitif terhadap perubahan besaran fisik yang terjadi dalam suatu proses. Besaran fisik tersebut oleh sensor dirubah menjadi besaran lain yang setara dengan perubahan proses.

- Elemen penguat

elemen tersebut berfungsi sebagai pengubah besaran fisik dari sensor hingga langsung dapat dibaca dan diamati

- Controller

Control elemen sering sebagai *controller* adalah alat pengukur yang berfungsi mengatur besaran proses supaya berada pada kondisi yang diinginkan dan menjaga peralatan untuk dapat beroperasi secara optimum sehingga kondisi operasi dapat diperlakukan konstan.

- Final Control

Final control berfungsi untuk mewujudkan signal koreksi dari *controller* menjadi aksi yang dapat mengembalikan kondisi variabel proses ke harga yang telah ditetapkan bila terjadi penyimpangan.

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan instrumentasi adalah sensitivity, readability, accuracy, precision,



faktor ekonomi, bahan konstruksi dan pengaruh pemasangan instrumentasi pada kondisi tertentu.

VIII.1.1 Alat – alat Control yang Banyak Digunakan dalam Bidang Industri

- **Pengatur Suhu (Temperatur)**

1. Temperatur controller (TC)
Bergfungsi mengatur temperatur operasi sesuai dengan kondisi yang diminta.
2. Temperatur indikator (TI)
Bergfungsi mengetahui temperatur operasi pada alat dengan pembacaan langsung.
3. Tempertur indikator kontroller (TIC)
Bergfungsi untuk mencatat dan mengendalikan temperatur operasi.

- **Pengatur Tekanan (Pressure)**

1. *Pressure Indicator* (PI)
Bergfungsi tekanan pada alat secara terus – menerus sesuai dengan kondisi yang diminta.
2. *Pressure Controller* (PC)
Bergfungsi mengendalikan tekanan operasi sesuai dengan kondisi yang diminta.
3. *Pressure Indicator Controller* (PIC)
Bergfungsi mencatat dan mengatur tekanan dalam alat secara terus – menerus sesuai dengan yang diminta.

- **Pengatur Aliran (Flow)**

1. *Flow Indicator Controller* (FIC)
Bergfungsi menunjukkan dan mengalirkan laju aliran dalam suatu peralatan secara kontinyu.
2. *Flow Indicator* (FI)



Berfungsi menunjukkan laju suatu aliran dalam suatu peralatan.

3. *Flow Controller* (FC)

Berfungsi mengendalikan laju aliran dalam peralatan.

4. *Flow Recorder* (FR)

Berfungsi mencatat debit aliran dalam alat secara terus menerus.

5. *Flow Recorder Control* (FRC)

Berfungsi untuk mencatat dan mengatur debit aliran cairan secara terus – menerus.

• Pengatur tinggi cairan

1. *Level Indicator* (LI)

Berfungsi mengetahui tinggi cairan dalam suatu alat.

2. *Level Controller* (LC)

Berfungsi untuk mengendalikan tinggi cairan dalam suatu alat sehingga tidak melebihi dari batas yang ditentukan.

3. *Level Indicator Controller* (LIC)

Berfungsi mencatat dan mengatur serta mengendalikan tinggi cairan suatu alat.

Alat – alat kontrol yang berada di pasaran sangat beragam, untuk itu diperlukan kriteria yang akan digunakan pada pabrik kertas dari eceng gondok ini yaitu;

- Mudah dalam perawatan maupun perbaikan jika terjadi kerusakan.
- Suku cadang mudah diperoleh
- Mudah dalam pengoperasiannya
- Harga lebih murah dan kualitas yang cukup memadai

VIII.2 Sistem Instrumentasi pada Pabrik Kertas dari Eceng gondok

Sistem instrumentasi yang dipasang pada pabrik kertas dari eceng gondok dengan proses Acetocell adalah sebagai berikut :



Tabel VIII.1 Instrumentasi pada
Pabrik

No	Nama Alat	Kode alat	Instrumentasi
1	Reaktor CH ₃ COOH	R-210	<i>Temperature controller [TC]</i> <i>Temperature indicator [TI]</i> <i>Level controller [LC]</i> <i>Level indicator [LI]</i>
2	Reaktor Na ₂ S ₂ O ₄	R-230	<i>Temperature controller [TC]</i> <i>Temperature indicator [TI]</i> <i>Level controller [LC]</i> <i>Level indicator [LI]</i>
3	Reaktor H ₂ O ₂	R - 250	<i>Temperature controller [TC]</i> <i>Temperature indicator [TI]</i> <i>Level controller [LC]</i> <i>Level indicator [LI]</i>
4	Rotary Dryer	B - 130	<i>Temperature controller [TC]</i> <i>Temperature indicator [TI]</i> <i>Flow controller [FC]</i> <i>Flow indicator [FI]</i>
5	<i>Rotary vacum filter</i>	H - 220 H - 240 H - 260	<i>Flow controller [FC]</i> <i>Flow indicator [FI]</i>
6	<i>Heat exchanger</i>	E - 131 E - 214 E - 222 E - 232 E - 242	<i>Temperature controller [TC]</i> <i>Temperature indicator [TI]</i>



		E – 252 E – 262	
7	Tangki pengenceran CH_3COOH	M-213	<i>Level controller [LC]</i> <i>Level indicator [LI]</i>
8	Tangki pengenceran $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	M-231	<i>Level controller [LC]</i> <i>Level indicator [LI]</i>
9	Tangki pengenceran H_2O_2	M-251	<i>Level controller [LC]</i> <i>Level indicator [LI]</i>
10	Tangki penyimpanan	F-311	<i>Level indicator [LI]</i>
11	Drum Dryer	B – 310	<i>Temperature controller [TC]</i> <i>Temperature indicator [TI]</i> <i>Flow controller [FC]</i> <i>Flow indicator [FI]</i>

BAB IX

PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI KIMIA

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. Limbah cair disebut juga sebagai pencemar air karena komponen pencemaran air pada umumnya terdiri dari bahan buangan padat, bahan buangan organik dan bahan buangan anorganik.

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 Phosphor yang tidak dapat hilang dengan sempurna pada pengolahan sekunder.

IX.1 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 pembuatan 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 dipabrik kertas 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 (*greatremoval*) 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 *pimary setting tank* secara gravitasi. *Over flow* nya mengalami *secondary treatment*, sedangkan peralatannya dikeruk dandalirkan ke proses *dewatering* untuk dijadikan limbah padat.

2. Tahap Kedua (*Secondary Treatment*)

Pada tahap yang kedua limbah mengalami 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 ketangki aerasi sebanyak 40% dan sisanya dijadikan satu dengan endapan dari *primary settling tank* untuk mengalami *dewatering*.

3. *Dewatering*

Tahap *dewatering* terjadi proses 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,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 H₂SO₄



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.2 Usaha Menangani dan Memanfaatkan Limbah

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

- Limbah Cair

1. *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.

2. 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.

- Limbah Padat

Sumber-sumber limbah padat dari pabrik kertas ini berasal dari pemisahan pith dari serat-serat alang-alang. Waste ini bisa dimanfaatkan untuk bahan bakar pada boiler setelah proses pengeringan dan pengepresan kadar air.

IX.3 Dampak yang Ditimbulkan dari Limbah



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

- Penyumbatan

Penyumbatan dipipa, 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 ang ukurannya 0,3 min.

- Kerak/Deposit

Kerak/deposit terbentuk dari hasilkristalisasi/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 CaCO_3 dan 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 Kertas dari Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes.*) dengan Proses *Acetocell*”. Dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Rencana Operasi
Pabrik kertas ini direncanakan beroperasi secara kontinyu selama 300 hari/tahun, 24 jam/hari.
2. Kapasitas produksi
Kapasitas produksi pabrik kertas ini sebesar 100.000 ton kertas/tahun = 333 ton kertas/hari.
3. Bahan baku dan bahan pendukung Bahan baku:
 - Bahan baku utama pabrik kertas ini adalah eceng gondok. Bahan baku utama yang diperlukan sebesar 1.899.182,028 kg/hari.

Bahan baku pendukung:

- CH₃COOH
- H₂O₂
- Na₂S₂O₄

4. Produk
Produk yang dihasilkan pabrik ini adalah kertas dengan kadar air 5%.
5. Utilitas
 - Air sanitasi = 172 m³/hari
 - Air proses = 16.607,05 m³/hari
 - Make up water boiler = 548,57 m³/hari

+

 - Total = 17.327,62 m³/hari
6. Pengolahan Limbah
 - Limbah Cair= *Black liquor*, limbah pencucian bubur *Pulp*

DAFTAR NOTASI

No.	Notasi	Keterangan	Satuan
1.	m	Massa	kg
2.	n	Mol	mol
3.	BM	Berat molekul	kg/kmol
4.	T	Suhu	°C / °F
5.	Cp	Heat Capacity	kJ/kg °K
6.	ΔH_f	Enthalpy pembentukan	kJ/mol
7.	ΔH_p	Enthalpy product	kJ
8.	H	Enthalpy	kJ
9.	Hv	Enthalpy vapor	kJ/kg
10.	Hl	Enthalpy liquid	kJ/kg
11.	ms	Massa steam	kg
12.	Q	Panas	kJ
13.	ρ	Densitas	gr/cm³
14.	D	Diameter	In
15.	H	Tinggi	In
16.	P	Tekanan	Atm / psia
17.	R	Jari - jari	In
18.	ts	Tebal tangki	In
18.	C	Faktor korosi	-
20.	E	Effisiensi sambungan	-
21.	th	Tebal tutup atas	In
22.	μ	Viscositas	Cp
23.	ΣF	Total friksi	-
24.	hc	Sudden contraction	ft.lbf/lbm
25.	Ff	Friction loss	ft. lbf/lbm
26.	hex	Sudden ekspansion	ft. lbf/lbm
27.	gc	Gravitasi	lbm.ft/lbf.s²

DAFTAR PUSTAKA

- Amraini, d. 2010. "Pembuatan Pulp Sabut Sawit dengan Proses Acetosolv". **Teknik Kimia Riau** , 3-5.
- Bajpai, P. 2012. **Environmentally Benign Approaches for Pulp Bleaching (2nd ed.)**. Amsterdam: Elsevier.
- Biermann, C. J. 1996. **Handbook of Pulping and Papermaking (2nd ed.)**. United Kingdom: Academic Press Limited.
- Casey, J. P. 1979. **Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology (3rd ed.)**. New York: John Wiley and Sons inc.
- E.Brownell, L., & H.Young, E. 1959. **Process Equipment Design (1st ed.)**. New York: John Wiley and Sons inc.
- Fengel, D., & Wenger, G. 1995. **Kayu, Kimia Ultra Struktur Reaksi-reaksi**. Yogyakarta: Gajah Mada University Pers.
- Himmelblau, D. M., & Riggs, J. B. 1989. **Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering (5th ed.)**. New Jersey: PTR Prentice Hall inc.
- Hougen, Watson, & Regat. 1943. **Chemical Process Principle (2nd ed.)**. New York: John Willey and Sons inc.
- ICN. 2011. "INDONESIAN COMMERCIAL NEWSLETTER". Retrieved November 14, 2014, from **PROFIL INDUSTRI PULP DAN KERTAS**: <http://www.datacon.co.id/Pulp2011Industri.html>
- Ivan Wibisono, d. 2011. Pembuatan pulp dari Alang-alang. **Teknik Kimia** , 3-4.
- J.Geankoplis, C. 1997. **Transport Process and Unit Operations (3rd ed.)**. India: Asoke K.Ghosh, Prentice-Hall.
- Junaedi. 2011. Data dan Statistika Pulp di Indonesia. Bangkinang: **Kementerian Kehutanan**.
- Kern. 1965. **Process Heat Transfer**. New York: McGraw Hill
- Levenspiel, O. 1999. **Chemical Reaction Engineering (3rd ed.)**. New York: Jhon Willey and Sons inc.
- Othmer, K. &. 1978. **Encyclopedia of Chemical Technology (3rd ed.)**. New York: John Wiley & Sons, Inc.

- Perry, R. 2008. **Perry's Chemical Engineers Handbook (18ed).** New York: Jhon Willey and Sons inc.
- Raymond. 1998. **Environmentally Friendly Technologies for the Pulp and Paper Industry.** Amerika: John Wiley & Sons, Ins.
- Sinnott, R. 1999. **Coulson and Richardson's Chemical Engineering (3rd ed., Vol. VI).** Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Sixta, H. 2006. **Hanbook of pulp (Vol. I).** Austria: Wiley VCH.
- Ullman, s. 2004. **Encyclopedia of industrial chemistry.** New York: wiley Interscience.
- Ulrich, G. 1999. **A guide Engineering Process and Economics.** New York: John Willey and Sons inc.
- Walas, S. M. 1990. **Chemical Process Equipment.** United State America: Butterworth-Heinemann.

APPENDIKS A NERACA MASSA

Kapasitas Produksi	333.000,0	kg/hari
Operasi	300,00	hari/tahun
Satuan Massa	kg/hari	
Basis Waktu	1 hari	
Satuan	kg	kg/hari
Bahan Baku	1899182,028	kg/hari

Untuk kapasitas 333.000 kg/hari dibutuhkan bahan baku sebesar 1805423,823 kg /hari dengan data komposisi eceng gondok sebagai berikut :

Total Serat Eceng Gondok	=	presentase serat	x	Bahan baku
	=	20%	x	1899182,03
	=	379836,41		

Total Air Eceng Gondok	=	Presentase air	x	Bahan baku
	=	80%	x	1899182,03
	=	1519345,622		

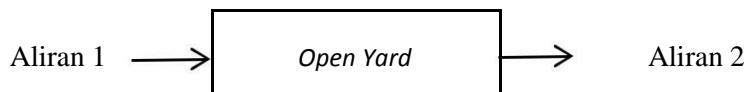
Tabel A.1 Komposisi Eceng gondok

Kandungan	Persentase %	Bahan Baku	Jumlah
Serat	20	1899182,028	379836,4055
Air	80	1899182,028	1519345,622
Jumlah	100	Jumlah	1899182,028

I. Tahap Pre-treatment

I.1 Open Yard (F-111)

Fungsi : Untuk Menampung Eceng Gondok

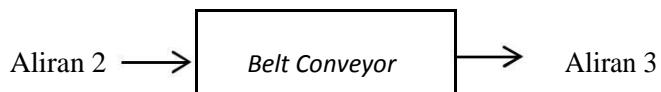


Tabel A.4 Neraca Massa pada Open yard

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Serat	Aliran 1 379836,41	Serat	Aliran 2 379836,41
Air	1519345,62	Air	1519345,622
Jumlah	1899182,028	Jumlah	1899182,028

I.2 Belt Conveyor (J-112)

Fungsi : Untuk mengalirkan eceng gondok ke Roll mill

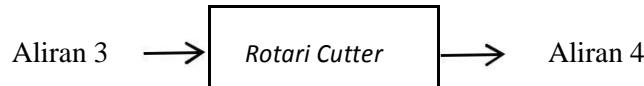


Tabel A.5 Neraca Massa pada Belt Conveyor

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
	Aliran 2		Aliran 3
Serat	379836,41	Serat	379836,41
Air	1519345,62	Air	1519345,622
Jumlah	1899182,028	Jumlah	1899182,028

I.3 Rotary cutter (C-110)

Fungsi : Untuk memperkecil Ukuran Eceng Gondok



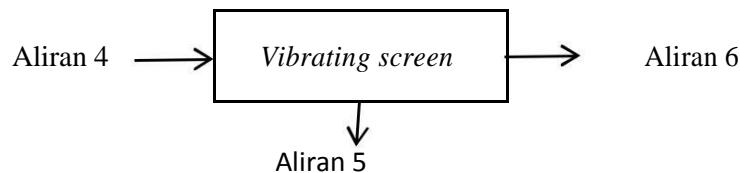
Tabel A.2 Neraca Massa pada Rotary Cutter

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
	Aliran 3		Aliran 4
Serat	379836,4055	Serat	379836,4055
Air	1519345,622	Air	1519345,622
Jumlah	1899182,028	Jumlah	1899182,028

I.4 Vibrating Screen (H-121)

Fungsi : Untuk Memisahkan Eceng Gondok Dengan Pasir Yang Ada Pada Eceng Gondok

Asumsi = 1% impurities



impuritis = 1899182,03 X 0,01
18.991,82

Serat = 379836,41 - 18.991,82
360844,59

Tabel A.3 Neraca Massa pada Vibrating Screen

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
	Aliran 4		Aliran 6
Serat	379836,41	Serat	360844,59
Air pada serat	1519345,62	Air pada serat	1519345,62
			1880190,21
		Aliran 5 (impuritis)	18.991,82
		Impurities	

Jumlah

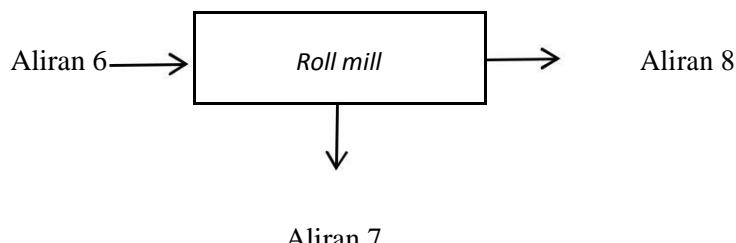
1899182,03

Jumlah

1899182,03

I.5 Roll Mill (C-120)

Fungsi : Untuk mengurangi kadar air pada eceng gondok



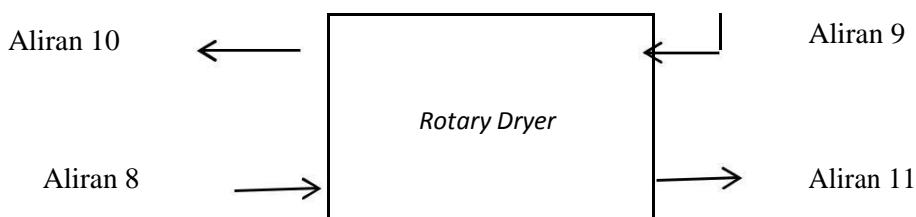
$$\begin{aligned}
 \text{Air yang terbuang} &= \text{Effesiensi roll mill } 70\% \quad \times \quad \text{Air pada eceng gondok} \\
 &= 70\% \quad \times \quad 1519345,62 \\
 &= 1063541,936
 \end{aligned}$$

Tabel A.6 Neraca Massa pada Belt Roll mill

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Serat	Aliran 6 360844,59	Serat	Aliran 8 360844,59
Air	1519345,62	Air	455803,69
	1880190,21		816648,27
		Air terbuang	Aliran 7 1063541,94
Jumlah	1880190,21	Jumlah	1880190,21

I.6 Rotary Dryer (B-130)

Fungsi : Untuk mengurangi kadar air Hingga 8 %



Diket :

Ls	=	816648,27 kg/jam
X1	=	0,24 kg Total moisture/dry solid
X2	=	0,08 kg Total moisture/dry solid
H2	=	0,01 kg H2O/Kg dry solid
Ts1	=	30 C
Ts2	=	78 C

$$\begin{aligned}
 TG1 &= 78^\circ C \\
 TG2 &= 120^\circ C \\
 cp &= 9,25 \text{ KJ/kg}
 \end{aligned}$$

material balance

$$\begin{aligned}
 GH2 &+ LSX1 = GH1 & LsX2 \\
 0,01G &+ 195995,6 = GH1 & + 65331,86 \\
 GH1 &- 0,01G = 130663,72
 \end{aligned}$$

udara kering masuk pada suhu 120 C, menggunakan suhu 0 C sebagai datum

$$= 2501 \text{ KJ/kg} \quad \text{dari table A.2-9} \quad (\text{Geankoplis})$$

$$\begin{aligned}
 H'G2 &= cs(TG2 - T0) + H2 \lambda \text{mda} \\
 &= 1,005 + 0,0188 \times (120 - 0) + 0,01 \times 2501 \\
 &= 1,0238 \times 145,01 \\
 &= 148,46 \text{ KJ/Kg dry air}
 \end{aligned}$$

udara keluar

$$\begin{aligned}
 H'G1 &= cs(TG1 - T0) + H1 \lambda \text{mda} \\
 &= (1,005) + 1,88H1 \times (78 - 0) + 2501 H1 \\
 &= 78,39 + 147H1 + 2501 H1 \\
 &= 78,39 + 2648 H1
 \end{aligned}$$

Eceng gondok masuk

$$\begin{aligned}
 Hs1 &= cps(Ts - T0) + X1 Cpa (Ts1 - T0) \\
 &= 9,25 (30 - 0) + 0,24 \times 4,187 \times (30 - 0) \\
 &= 277,5 + 30,1464 \\
 &= 307,6464
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Hs2 &= cps(Ts2 - T0) + X2 Cpa (Ts2 - T0) \\
 &= 9,25 (75 - 0) + 0,08 \times 4,187 \times (75 - 0) \\
 &= 721,5 + 26,12688 \\
 &= 747,62688
 \end{aligned}$$

memasukan substitusi untuk heat balance diasumsi Q = 0

$$\begin{aligned}
 GH'G2 + LsH's1 &= GH'G1 + LsH's2 \\
 148,46G + 2,51E+08 &= G (75,375 + 2642H1) + 6,11E+08 \\
 148,46G + 2,51E+08 &= 75,375 G + 2642 GH1 + 6,11E+08 \\
 148,46G - 75,375 G - 2642GH1 &= 610548200 - 2,51E+08 \\
 70,07G - 2642GH1 &= 359309299
 \end{aligned}$$

mensubstitusi pers 1 dan 2

$$\begin{aligned}
 GH1 - 0,01G &= 130663,72 & | \times 2642 \\
 -2642GH1 + 73,09G &= 359309299 & | \times 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2576,2 GH1 - 26,42 G &= 345213558 \\
 -2642GH1 + 70,07 G &= 70,07
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{rcl}
 43,65 G & = & 345213628 \\
 G & = & 7908449,9
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
 GH1 & - & 0,01G = 130663,72 \\
 1354,04 H1 & - & 79084,5 = 130663,72 \\
 & 1354,04 H1 & = 209748,22 \\
 & H1 & = 0,026522
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Kadar air ahir} & = & 8\% \text{ dari bahan baku} \\
 & = & 0,08 \times 1899182 \\
 & = & 151934,6
 \end{array}$$

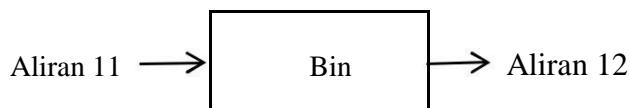
$$\begin{array}{rcl}
 \text{Kadar air teruapkan} & = & \text{Kadar air masuk} - \text{kadar air ahir} \\
 & = & 455803,7 - 151934,56 \\
 & = & 303869,1
 \end{array}$$

Tabel A.7 Neraca Massa pada Rotary Dryer

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
	Aliran 8		Aliran 11
Serat	360844,59	Serat	360844,59
Air	455803,69	Air	151934,56
	816648,27		512779,15
	Aliran 9		Aliran 10
Udara Kering	7908449,87	Udara Kering	7908449,87
		Air teruapkan	303869,12
			8212319,00
Jumlah	8725098,14	Jumlah	8725098,14

I.7 Bin (F-211)

Fungsi : Menyimpan bahan baku ke tempat semntara

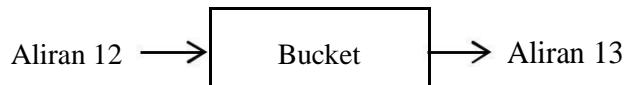


Tabel A.8 Neraca Massa Pada Bin

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
	Aliran 11		Aliran 12
Serat	360844,59	Serat	360844,59
Air	151934,56	Air	151934,56
Jumlah	512779,15	Jumlah	512779,15

I.8 Bucket Elevator (J-212)

Fungsi : Mengalirkan bahan baku ke proses pemasakan



Tabel A.9 Neraca Massa pada Bucket elevator

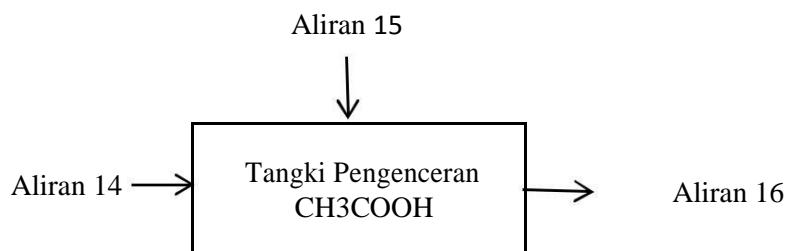
Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 12		Aliran 13	
Serat	360844,59	Serat	360844,59
Air	151934,56	Air	151934,56
Jumlah	512779,15	Jumlah	512779,15

II Tahap Delignifikasi

Fungsi : untuk mengubah cacahan eceng gondok menjadi pulp dengan menggunakan Asam asetat

1. Perbandingan CH₃COOH dengan bahan baku = 1/3: 1 (*Murimen, 2000*).
2. Konsentrasi CH₃COOH = 50% (*Murimen, 2000*).
3. Perbandingan bahan baku dan air pada proses pencucian = 1 : 2,5 (*Kirk & Othmer, 1978*).
4. Effisiensi washer = 98% (*Riegel, 1998*).

II.1 Tangki Pengenceran CH₃COOH (M-213)



Fungsi : Mengencerkan larutan CH₃COOH

perbandingan bahan baku dan CH₃COOH = 1 : "1/3
CH₃COOH yang dibutuhkan 1/3 dari bahan baku 170926,38
dengan komposisi = CH₃COOCH 50%
Air 50%

$$\begin{array}{lcl}
 \text{CH}_3\text{COOH 50\%} & = & \text{berat CH}_3\text{COOH yang dibutuhkan } x \quad 50\% \\
 & = & 170926,4 \quad x \quad 50\% \\
 & = & 85463,19
 \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl}
 \text{Air 50\%} & = & \text{berat air yang dibutuhkan } x \quad 50\% \\
 & = & 170926,4 \quad x \quad 50\% \\
 & = & 85463,19
 \end{array}$$

CH₃COOH Masuk
dengan komposisi = CH₃COOH 90%
Air 10%

CH₃COOH 90\% = 85463,19

$$\text{Air 10\%} = \frac{90}{10} = \frac{85463,191}{x}$$

$$\begin{array}{rcl}
 90 \times & = & 8546,3191 \\
 \times & = & 94,959101
 \end{array}$$

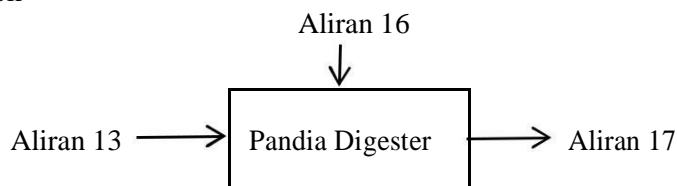
$$\begin{array}{lcl}
 \text{Air yang ditambahkan} & = & \text{Berat air yang dibutuhkan} - \text{Berat air CH}_3\text{COOH yang masuk} \\
 & = & 85463,19 - 94,959101 \\
 & = & 85368,23
 \end{array}$$

Tabel A.10 Neraca Massa pada Tangki pengenceran

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 14		Aliran 15	
CH ₃ COOH	85463,19	CH ₃ COOH	85463,19
Air	94,96	Air	85463,19
	85558,15		
Air proses	85368,23		
Jumlah	170926,38	Jumlah	170926,38

II.2 Reaktor CH₃COOH (R-210)

Fungsi : Proses pembentukan pulp pada bahan baku dan menghilangkan lignin pada eceng gondok



Tabel A.11 Komposisi Eceng Gondok

Komponen	Presentase	Massa komponen
Selulosa	44,40	227673,94
Lignin	9,95	51021,53
Hemiselulosa	19,72	101120,05
Abu	17,59	90197,85
AIR	8,34	42765,78

$$\begin{array}{llll}
 \text{Selulosa} & 44,40/100 \times \text{bahan baku} & \text{lignin} & 9,95/100 \times \text{bahan baku} \\
 & 44,40/100 \times & 512779,15 & 9,95/100 \times & 512779,1475 \\
 & 227673,94 & & & 51021,53
 \end{array}$$

$$\begin{array}{llll}
 \text{Hemiselulosa} & 19,72/100 \times \text{bahan baku} & \text{Abu} & 17,59/100 \times & 512779,1475 \\
 & 19,72/100 \times & 512779,1475 & 15,59/100 \times & 512779,15 \\
 & 101120,05 & & & 90197,85
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 \text{air} & 8,93/100 \times \text{bahan baku} \\
 & 8,93/100 \times & 512779,1 \\
 & & 42765,78
 \end{array}$$

Reaksi di Digester :

	$(C_{10}H_{10}O_2)_n$	CH ₃ COOH	+	H ₂ O	\longrightarrow	$((C_{10}H_{11}O_3)-CH_3CO + H_2O$
	Lignin	Asam Asetat	Air			Aseto Ligninat
mula-mula	283,45		1424,4	2375,88		
reaksi	255,11		255,11	255,11	255,11	255,11
sisa	28,35		1169,3	2120,77	255,11	255,11

$$\begin{aligned} \text{Lignin yang bereaksi 90\%} &= \text{Berat lignin eceng gondok} \times 90\% \\ &= 51021,53 \times 90\% \\ &= 45919,37 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{lignin sisa} &= \text{berat lignin eceng gondok} - \text{lignin yang bereaksi} \\ &= 51021,53 - 45919,37 \\ &= 5102,15 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{KMOL lignin mula - mula} &= \frac{\text{berat lignin mula - mula eceng gondok}}{\text{BM lignin}} \\ &= \frac{51021,53}{180} \\ &= 283,45 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{KMOL lignin reaksi} &= \frac{\text{berat lignin reaksi}}{\text{BM lignin}} \\ &= \frac{45919,37}{180} \\ &= 255,11 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{KMOL lignin reaksi} &= \frac{\text{berat lignin sisa}}{\text{BM lignin}} \\ &= \frac{5102,15}{180} \\ &= 28,35 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{KMOL CH}_3\text{COOH mula - mula} &= \frac{\text{berat CH}_3\text{COOH mula - mula}}{\text{BM CH}_3\text{COOH}} \\ &= \frac{85463,19}{60} \\ &= 1424,39 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat CH}_3\text{COOH yang bereaksi} &= \text{BM} \times \text{KMOL} \\ &= 60 \times 255,11 \\ &= 15306,46 \end{aligned}$$

Berat CH ₃ COOH Sisa	=	CH ₃ COOH mula - mula - CH ₃ COOH bereaksi		
	=	85463,19	-	15306,46
	=	70156,73		
Aseto lignat	=	BM	x	KMOL
	=	222	x	255,11
	=	56633,89		
Kmol H ₂ O (m)	=	<u>berat H₂O mula - mula</u>		
		BM CH ₃ COOH		
	=	<u>42765,78</u>		
		18		
	=	2375,88		

Tabel A.12 Reaksi CH₃COOH Dan Lignin

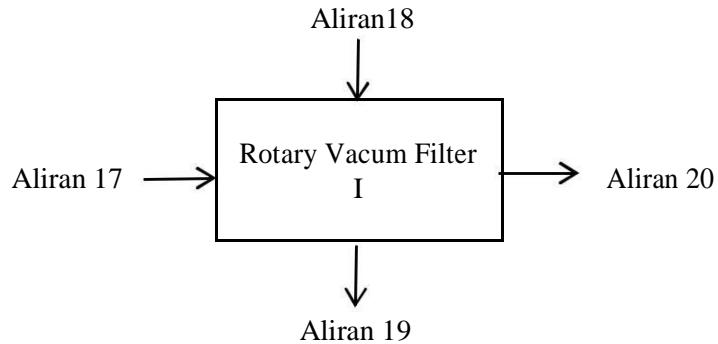
KOMPOSISI	BM	BERAT (KG)	KMOL
Lignin (m)	180	51021,53	283,45
CH ₃ COOH (m)	60	85463,19	1424,39
Lignin (r)	180	45919,37	255,11
CH ₃ COOH (r)	60	15306,46	255,11
Aseto ligninat (r)	222,00	56633,89	255,11
Aseto ligninat (s)	222,00	56633,89	255,11
CH ₃ COOH (s)	60,00	70156,73	1169,28
Lignin (s)	180	5102,15	28,35
H ₂ O (m)	18	42765,78	2375,88
H ₂ O (r)	18	4591,94	255,11
H ₂ O (s)	18	38173,84	2120,77
H ₂ O serat	18	4591,94	255,11

Tabel A.13 Neraca Massa Reactor CH₃COOH

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 13		Aliran 16	
Serat Pulp		Selulosa	227673,94
Selulosa	227673,94	Selulosa	227673,94
Hemiselulosa	101120,05	Lignin sisa	5102,15
Lignin	51021,53	Hemiselulosa	101120,05
Abu	90197,85	Air yang terikut pada sera	4591,94
Air yang terikut pada serat	42765,78		338488,08
	512779,15		
Aliran 15		Black liquor	
CH ₃ COOH	85463,19	Air	128228,97
Air	85463,19	Aseto ligninat sisa	56633,89
	170926,38	CH ₃ COOH sisa	70156,73
		Abu	90197,85
			345217,45
TOTAL	683705,53	TOTAL	683705,53

II.3 Rotary Vacum Filter I (H-220)

Fungsi : Mencuci Pulp dari Black Liquor dengan Menggunakan Air



Perhitungan aliran

Perbandingan Pulp dan air pada washer 1 : 2,5 (Kirk&othmer,1978)

$$\begin{aligned} \text{Air yang ditambahkan pada washer} &= \text{pulp} \quad \times \quad 2,5 \\ &= 1709264 \end{aligned}$$

Perhitungan Aliran

effisiensi washer 98% (casey,1979)

$$\begin{aligned} \text{selulose yang terbawa black liquor} &= 2/100 \times \text{selulosa} \\ &= 4553,4788 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{lignin yang terbawa black liquor} &= 2/100 \times \text{lignin} \\ &= 102,04305 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{hemiselulosa yang terbawa black liquor} &= 2/100 \times \text{Hemiselulosa} \\ &= 2022,401 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Air yang terbawa black liquor} &= 98 \% \times (\text{air proses} + \text{air pulp} + \text{air black liquor}) \\ &= 1805243 \end{aligned}$$

Perhitungan aliran

$$\begin{aligned} \text{Selulosa pada pulp} &= 98/100 \times \text{selulosa} \\ &= 223120,46 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{lignin pada pulp} &= 98/100 \times \text{lignin} \\ &= 5000,11 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hemiselulosa pulp} &= 98/100 \times \text{hemiselulosa} \\ &= 99097,65 \end{aligned}$$

Tabel A.14 Neraca Massa Rotary Vacum Filter I

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah	Komponen	Jumlah
Aliran 16		Aliran 18	
Serat pulp		Serat pulp	
Selulosa	227673,94	Selulosa	223120,46

Lignin sisa	5102,15	Lignin sisa	5000,11
Hemiselulosa	101120,05	Hemiselulosa	99097,65
Air yang terikut pada serat	4591,94	Air	36841,69
	338488,08		364059,91
		Aliran 19	
black liquor		Black liquor	
Air	128228,97	Hemiselulosa	2022,40
Aseto lignat sisa	56633,89	Aseto Ligninat sisa	56633,89
Abu	90197,85	CH ₃ COOH sisa	70156,73
CH ₃ COOH sisa	70156,73	Air	1805243,04
	345217,45	Selulosa	4553,48
		abu	90197,85
		Lignin	102,04
			2028909,44
		Aliran 17	
Air proses yang ditambahk	1709263,82		
TOTAL	2392969,35	TOTAL	2392969,35

III.1 Bleaching

III.1.1 Tangki pengenceran Na₂S₂O₄ (M-231)

Komponen yang ada pada reactor

15 % serat

84 % air

1 % N₂S₂O₄

diketahui

$$15\% \text{ serat} = 327218,22$$

$$84\% \text{ air} = \frac{15}{84} = \frac{327218,22}{x}$$

$$\begin{aligned} 15x &= 27486330 \\ x &= 1832422,03 \end{aligned}$$

$$1 \% \text{ N}_2\text{S}_2\text{O}_4 = \frac{15}{1} = \frac{327218,22}{x}$$

$$\begin{aligned} 15x &= 327218,22 \\ x &= 21814,548 \end{aligned}$$

Pulp masuk pada reactor

serat 327218,22

Air 36841,69

N₂S₂O₄ masuk pada reactor

Air = Air pada reactor - Air pada pulp

$$= 1832422,03 - 36841,69$$

$$= 1795580,33$$

$$\text{N}_2\text{S}_2\text{O}_4 = 21814,55$$

Perhitungan pada tangki pengenceran

komponen yang masuk pada tangki pengenceran

90% N₂S₂O₄

10 % Air

perhitungan

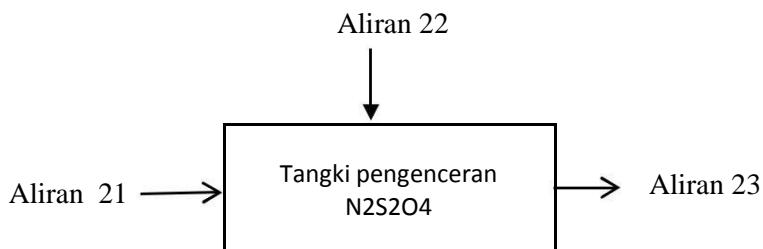
$$90\% \text{ N}_2\text{S}_2\text{O}_4 = 21814,55$$

$$10\% \text{ Air} = \frac{90}{10} = \underline{\underline{21814,548}}_x$$

$$90x = 218145,48 \\ x = 2423,8387$$

Air yang di tambahkan =

$$\begin{aligned} & \text{Air yang masuk reactor Na}_2\text{S}_2\text{O}_4 - \text{Air ang masuk pada tangki pengenceran} \\ = & 1795580,33 - 2423,83866 \\ = & 1793156,49 \end{aligned}$$

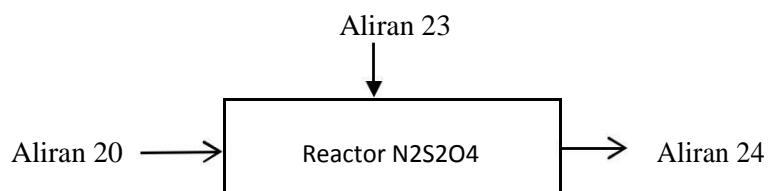


Tabel A.15 Neraca Massa Tangki Pengenceran Na₂S₂O₄

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 20		Aliran 22	
Sodium dithionite	21814,55	Sodium dithionite	21814,55
air	2423,84	Air	1795580,33
	24238,39		1817394,88
Aliran 21			
Air proses	1.793.156,49		
TOTAL	1817394,88	TOTAL	1817394,88

III.1.2 Reactor Na₂S₂O₄ (R-230)

Fungsi : Menghilangkan lignin dengan N₂S₂O₄



Reaksi :	$C_{10}H_{12}O_3 + Na_2S_2O_4 + H_2O \longrightarrow$	$C_{10}H_{11}O_4NaS + NaHSO_3 + H_2O$
m	27,78	125,37
r	19,44	19,44
s	8,33	2027,32

$$\begin{array}{lclclcl} \text{Lignin yang bereaksi 70\%} & = & \text{Berat lignin Pulp} & \times & 70\% \\ & = & 5000,11 & \times & 70\% \\ & = & 3500,08 \end{array}$$

$$\begin{array}{lclcl} \text{lignin sisa} & = & \text{berat lignin eceng gondok} & - & \text{lignin yang bereaksi} \\ & = & 5000,11 & - & 3500,08 \\ & = & 1500,03 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{KMOL lignin mula - mula} = \frac{\text{berat lignin mula - mula pulp}}{\text{BM lignin}} \\ \\ = \frac{5000,11}{180} \\ \\ = 27,78 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{KMOL lignin reaksi} = \frac{\text{berat lignin reaksi}}{\text{BM lignin}} \\ \\ = \frac{3500,08}{180} \\ \\ = 19,44 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{KMOL lignin Sisa} = \frac{\text{berat lignin sisa}}{\text{BM lignin}} \\ \\ = \frac{1500,03}{180} \\ \\ = 8,33 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{KMOL N}_2\text{S}_2\text{O}_4 \text{ mula - mula} = \frac{\text{berat N}_2\text{S}_2\text{O}_4 \text{ mula - mula}}{\text{BM N}_2\text{S}_2\text{O}_4} \\ \\ = \frac{21814,55}{174} \\ \\ = 125,37 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Berat N}_2\text{S}_2\text{O}_4 \text{ yang bereaksi} = \text{BM} \times \text{KMOL} \\ = 174 \times 19,44 \end{array}$$

$$= 3383,407$$

Berat N2S2O4 Yang Sisa = BM x KMOL
 = 174 x 105,93
 = 18431,14

Berat NaSO3 Yang Sisa = BM x KMOL
 = 104 x 19,44
 = 2022,266

Berat C10H11O4NaS Yang Sisa = BM x KMOL
 = 250 x 105,93
 = 26481,52

Berat H2O Yang Sisa = BM x KMOL
 = 18 x 19,44
 = 350,01

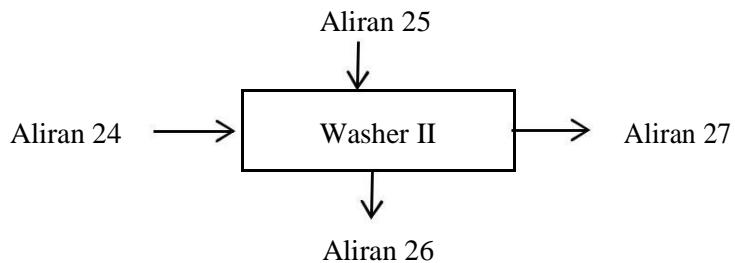
KOMPOSISI	BM	BERAT (KG)	KMOL
Lignin (m)	180	5000,11	27,78
H2O (m)	18	36841,69	2046,76
Na2S2O4 (m)	174	21814,55	125,37
lignin (r)	180	3500,08	19,44
Na2S2O4 (r)	174	3383,41	19,44
H2O (r)	18	350,01	19,44
C10H11O4NaS (s)	250	4861,22	19,44
NaHSO3 (s)	104	2022,27	19,44
lignin (s)	180	1500,03	8,33
Na2S2O4 (s)	174	18431,14	105,93
H2O (s)	18	350,01	19,44

Tabel A.16 Neraca Massa Reaktor Na2S2O4

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah	Komponen	Jumlah
Aliran 18		Aliran 23	
serat pulp		serat pulp	
Selulosa	223120,46	Selulosa	223120,46
Lignin	5000,11	Lignin	1500,03
Hemiselulosa	99097,65	Hemiselulosa	99097,65
Air	36841,69	Air	1828571,94
	364059,91		2152290,08
Aliran 22			
Na2S2O4	21814,55	Black liquor	
Air	1795580,33	Air (s)	350,01
		Lignin (s)	3500,08
		NaHSO3 (s)	2022,27
		Na2S2O4 (s)	18431,14
		C10H11O4NaS (s)	4861,22
TOTAL	2181454,79	TOTAL	2181454,79

III.1.3 Rotary Vacum Filter II (H-240)

Fungsi : Mencuci Pulp
 Jenis : *Rotary Vacuum Filter*



Perhitungan aliran

Perbandingan Pulp dan air pada washer 1 : 2,5 (Kirk&othmer,1978)

$$\begin{aligned} \text{Air yang ditambahkan pada washer} &= \text{pulp} \quad \times \quad 2,5 \\ &= 5453637 \end{aligned}$$

Perhitungan Aliran

effisiensi washer 98% (casey,1979)

$$\begin{aligned} \text{selulose yang terbawa black liquor} &= 2/100 \times \text{selulosa} \\ &= 4462,4093 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{lignin yang terbawa black liquor} &= 2/100 \times \text{lignin} \\ &= 30,000657 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{hemiselulosa yang terbawa black liquor} &= 2/100 \times \text{Hemiselulosa} \\ &= 1981,9529 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Air yang terbawa black liquor} &= 98 \% \times (\text{air proses} + \text{air pulp} + \text{air black liquor}) \\ &= 7136908 \end{aligned}$$

Perhitungan aliran 17

$$\begin{aligned} \text{Selulosa pada pulp} &= 98/100 \times \text{selulosa} \\ &= 218658,05 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{lignin pada pulp} &= 98/100 \times \text{lignin} \\ &= 1470,03 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hemiselulosa pulp} &= 98/100 \times \text{hemiselulosa} \\ &= 97115,69 \end{aligned}$$

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah	Komponen	Jumlah
Aliran 23		Aliran 26	
Selulosa	223120,46	Selulosa	218658,05
Hemiselulosa	99097,65	Hemiselulosa	97115,69
Air	1828571,94	Air	145651,18

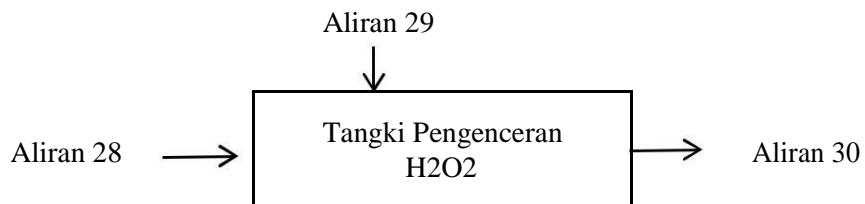
Lignin sisa	1.500,03	Lignin sisa	1470,03
462894,96			
Black Liquor :		Aliran 25	
Air	350,01	Black Liquor :	
lignin	3500,08	Lignin sisa	3530,08
NaHSO3	2022,27	Selulosa	4462,41
Na2S2O4	18431,14	Hemiselulosa	1981,95
C10H11O4Nas	4861,22	Air	7136907,76
	2181454,79	NaHSO3	2022,27
Aliran 24		Na2S2O4	18431,14
Air proses	5.453.636,98	C10H11O4Nas	4861,22
			7172196,82
Total	7635091,78	Total	7635091,78

III.2.1 Tangki Pengenceran H₂O₂ (M-251)

Fungsi : Meningkatkan brightness/derajat keputihan pada pulp.

Data/informasi yang diperoleh untuk perhitungan neraca massa pada proses pemutihan menggunakan *hydrogen peroxide* adalah sebagai berikut :

1. H₂O₂ yang ditambahkan adalah 1% dari bahan baku yang masuk (*Kirk & Othmer, 1978*).
2. Konsentrasi H₂O₂ yang ditambahkan adalah 30% (*Ferrer, 2011*)
3. Lignin yang terlarut adalah 60% (*Casey, 1980*).
4. Konsistensi pada tahap pemutihan adalah 15% (*Casey, 1980*).



Komponen yang ada pada reactor

20 % serat

79 % air

1 % N₂S₂O₄

diketahui

$$20 \% \text{ serat} = 317243,78$$

$$79 \% \text{ air} = \frac{20}{79} = \frac{317243,78}{x}$$

$$\begin{aligned} 20x &= 25062259 \\ x &= 1253112,93 \end{aligned}$$

$$1 \% \text{ N}_2\text{S}_2\text{O}_4 = \frac{20}{1} = \frac{317243,78}{x}$$

$$\begin{array}{rcl} 20 \times & = & 317243,78 \\ x & = & 15862,189 \end{array}$$

Pulp masuk pada reactor

$$\begin{array}{lcl} 96\% \text{ serat} & & 317243,78 \\ 6\% \text{ air} & & 145651,18 \end{array}$$

N₂S₂O₄ masuk pada reactor

$$\begin{array}{rcl} \text{Air} & = & \text{Air pada reactor} & - & \text{Air pada pulp} \\ & = & 1253112,93 & - & 145651,18 \\ & = & 1107461,75 & & \end{array}$$

$$\text{N}_2\text{S}_2\text{O}_4 = 15862,19$$

Perhitungan pada tangki pengenceran

komponen yang masuk pada tangki pengenceran

90% N₂S₂O₄

10 % Air

perhitungan

$$30\% \text{ N}_2\text{S}_2\text{O}_4 = 15862,19$$

$$70 \% \text{ Air} = \frac{30}{70} = \frac{15862,189}{x}$$

$$\begin{array}{rcl} 30 \times & = & 1110353,2 \\ x & = & 37011,774 \end{array}$$

Air yang di tambahkan =

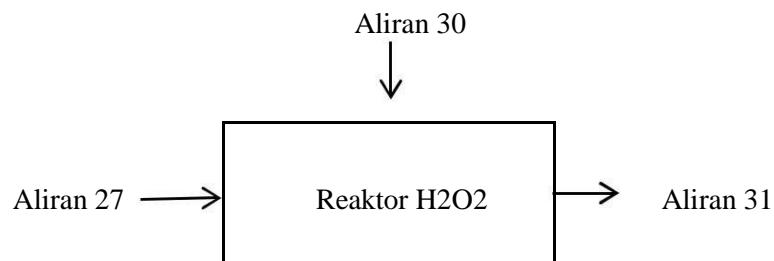
$$\begin{array}{rcl} \text{Air yang masuk pada reactor H}_2\text{O}_2 & - & \text{Air ang masuk pada tangki pengenceran} \\ = & 1107461,75 & - & 37011,77428 \\ = & 1070449,98 & & \end{array}$$

Tabel A.18 Neraca Massa Pengenceran H₂O₂

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 27		Aliran 29	
Hidrogen peroksida	21814,55	Hidrogen peroksida	21814,55
Air	2423,84	Air	1795580,33
	24238,39		
Aliran 28			
Air Proses	1793156,49		
TOTAL	1817394,88	TOTAL	1817394,88

III.2.2 Reaktor H₂O₂ (R-250)

Fungsi : Mereaksikan pulp dengan H₂O₂



$$\begin{aligned}
 \text{Lignin yang bereaksi } 60\% &= \text{Berat lignin Pulp} \times 60\% \\
 &= 1470,03 \times 60\% \\
 &= 882,02
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{lignin sisa} &= \text{berat lignin eceng gondok} - \text{lignin yang bereaksi} \\
 &= 1470,03 - 882,02 \\
 &= 588,01
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{KMOL lignin mula - mula} &= \frac{\text{berat lignin mula - mula pulp}}{\text{BM lignin}} \\
 &= \frac{1470,03}{180} \\
 &= 8,17
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{KMOL lignin reaksi} &= \frac{\text{berat lignin reaksi}}{\text{BM lignin}} \\
 &= \frac{882,02}{180} \\
 &= 4,90
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{KMOL lignin Sisa} &= \frac{\text{berat lignin sisa}}{\text{BM lignin}} \\
 &= \frac{588,01}{180} \\
 &= 3,27
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kmol H}_2\text{O}_2 &= \frac{\text{Berat H}_2\text{O}_2}{\text{BM H}_2\text{O}_2} \\
 &= \frac{21814,55}{34}
 \end{aligned}$$

$$= \quad \quad \quad 641,60$$

Berat H ₂ O ₂ yang bereaksi =	BM	x	KMOL
=	34	x	4,90
=	166,6036		

Berat H ₂ O ₂ Sisa	=	H ₂ O ₂ mula - mula - H ₂ O ₂ bereaksi	
	=	641,60	-
	=	475,00	166,6036

Berat H ₂ O Yang Sisa =	BM	x	KMOL
=	18	x	4,90
=	88,20		

	(C ₁₀ H ₁₂ O ₃) +	H ₂ O ₂ \longrightarrow	(C ₁₀ H ₁₂ O ₄) +	H ₂ O
M	8,17	641,60		
R	4,90	4,90	4,90	4,90
S	3,27	636,70	4,90	4,90

Tabel A.19 Komposisi Reaksi H₂O₂

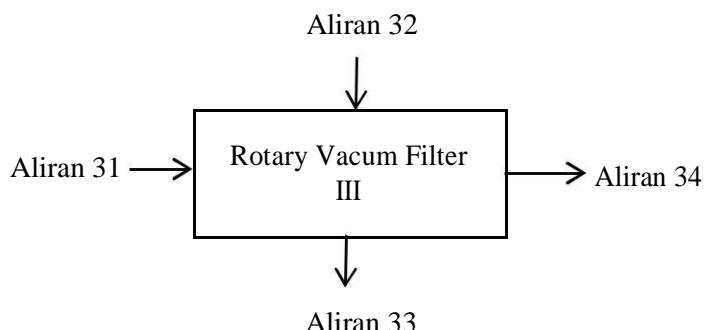
KOMPOSISI	BM	BERAT (KG)	KMOL
Lignin (m)	180	1470,03	8,17
H ₂ O ₂ (m)	34	21814,55	641,60
Lignin (r)	180	882,02	4,90
H ₂ O ₂ (r)	34	166,60	4,90
lignin (s)	180	588,01	3,27
C ₁₀ H ₁₂ O ₄ (s)	196	960,42	4,90
H ₂ O (s)	18	88,20	4,90
H ₂ O ₂ (s)	34	21647,94	636,70

Tabel A.20 Neraca Massa Reaktor H₂O₂

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah	Komponen	Jumlah
Aliran 26		Aliran 30	
Serat pulp		serat pulp	
Selulosa	218658,05	selulosa	218658,05
lignin	1470,03	lignin	588,01
Hemiselulose	97115,69	Hemiselulosa	97115,69
Air	145651,18	Air	1941231,51
	462894,96		
Aliran 29			
Hidrogen Peroksida	21814,55		
Air	1795580,33	Black Liquor :	
	1817394,88	Air (s)	88,20
		H ₂ O ₂	21647,94
		C ₁₀ H ₁₂ O ₄ (s)	960,42
TOTAL	2280289,84	TOTAL	2280289,84

III.2.3 Rotary Vacum Filter III (H-260)

Fungsi : Mencuci Pulp dari Black Liquor dengan Menggunakan Air



Perhitungan aliran

Perbandingan Pulp dan air pada washer 1 : 2,5 (Kirk&othmer,1978)

$$\begin{aligned} \text{Air yang ditambahkan pada washer} &= \text{pulp} \quad \times \quad 2,5 \\ &= 5700725 \end{aligned}$$

Perhitungan Aliran

effisiensi washer 98% (casey,1979)

$$\begin{aligned} \text{selulose yang terbawa black liquor} &= 2/100 \times \text{selulosa} \\ &= 4373,1611 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{lignin yang terbawa black liquor} &= 2/100 \times \text{lignin} \\ &= 11,760257 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{hemiselulosa yang terbawa black liquor} &= 2/100 \times \text{Hemiselulosa} \\ &= 1942,3139 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Air yang terbawa black liquor} &= 98 \% \times (\text{air proses} + \text{air pulp} + \text{air black liquor}) \\ &= 7489203 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Selulosa pada pulp} &= 98/100 \times \text{selulosa} \\ &= 214284,89 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{lignin pada pulp} &= 98/100 \times \text{lignin} \\ &= 576,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hemiselulosa pulp} &= 98/100 \times \text{hemiselulosa} \\ &= 95173,38 \end{aligned}$$

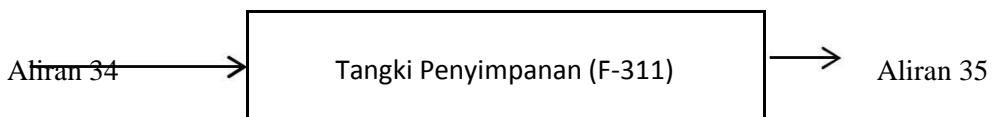
Tabel A.21Neraca Massa Rotary Vacum Filter III

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah	Komponen	Jumlah
Serat pulp	Aliran 30	Serat pulp	Aliran 32

Selulosa	218658,05	Selulosa	214284,89
Lignin	588,01	Lignin	576,25
Hemiselulosa	97115,69	Hemiselulosa	95173,38
Air yang terikut pada serat	1941231,51	Air	152840,89
			462875,41
Aliran 33			
black liquor		Black liquor	
Air	88,20	H ₂ O ₂	21647,94
H ₂ O ₂	21647,94	Selulosa	4373,16
C ₁₀ H ₁₂ O ₄	960,42	Lignin	11,76
	2280289,84	Hemiselulosa	1942,31
		Air	7489203,42
		C ₁₀ H ₁₂ O ₄	960,42
			7518139,02
Aliran 31			
Air proses yang ditambahk	5700724,60		
TOTAL	7981014,43	TOTAL	7981014,43

IV.1 Tangki Penyimpanan (M-311)

Fungsi : Untuk Menyimpan Pulp Sementara

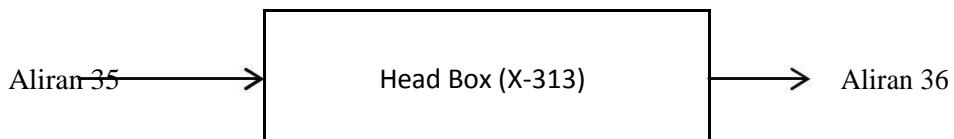


Tabel A.22 Neraca Massa Tangki Penyimpanan

Komponen	Jumlah(kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 33		Aliran 34	
selulosa	218658,05	selulosa	218658,05
Hemiselulosa	97115,69	Hemiselulosa	97115,69
Air	145651,18	Air	145651,18
Lignin	576,25	Lignin	576,25
TOTAL	462001,18	TOTAL	462001,18

IV.2 Head Box (X-313)

Fungsi : Untuk meratakan pulp untuk dibentuk kertas



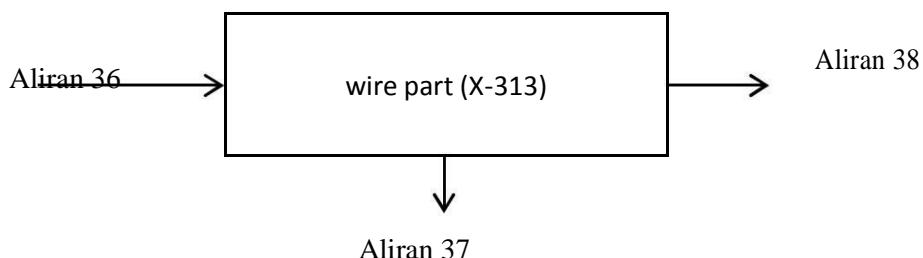
Tabel A.23 Neraca Massa Headbox

MASUK	KELUAR
-------	--------

Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 34		Aliran 35	
Serat pulp :		Serat pulp :	
Selulosa	218658,05	Selulosa	218658,05
Hemiselulosa	97115,69	Hemiselulosa	97115,69
Lignin	576,25	Lignin	576,25
Air	145651,18	Air	145651,18
TOTAL	462001,18	TOTAL	462001,18

IV.3 Wire Part (X-310)

Fungsi : Untuk mengurangi kadar air pada pulp hingga 50%



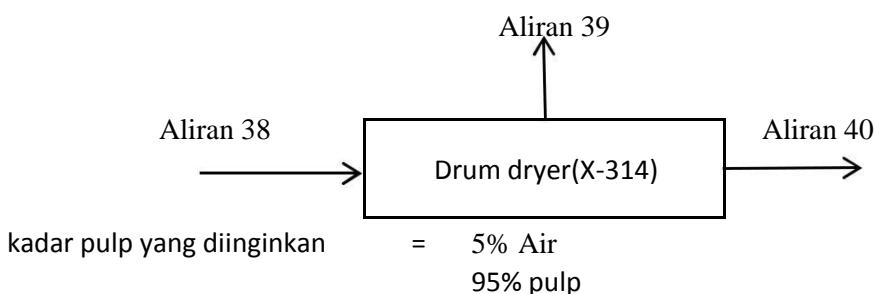
$$\begin{aligned}
 \text{Air yang terbuang} &= \text{Kadar air pulp} \times 0,50 \\
 &= 145651,18 \times 0,50 \\
 &= 72825,59
 \end{aligned}$$

Tabel A.24 Neraca Massa Wire Part

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 35		Aliran 37	
Serat pulp :		Serat pulp :	
Selulosa	218658,05	Selulosa	218658,05
Hemiselulosa	97115,69	Hemiselulosa	97115,69
Lignin	576,25	Lignin	576,25
Air	145651,18	Air	72825,59
			389175,59
		Aliran 36	
		Air yang terbuang	72825,59
TOTAL	462001,18	TOTAL	462001,18

IV.3 Drum Dryer (B-320)

Fungsi : mengeringkan pulp hingga kadar air 5%



$$\text{diketahui kadar pulp 95\%} = 316350,00$$

$$\text{Kadar air 5\%} = \frac{95}{5} \times \frac{316350,00}{x}$$

$$= 95 \times = 1581750 \\ = 16650,00$$

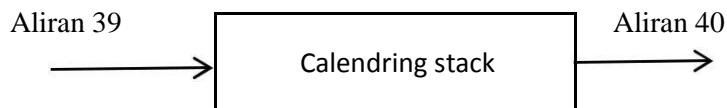
Uap Air	=	kadar air awal	-	Kadar ahir
	=	145651,18	-	16650,00
	=	129001,18		

Tabel A.25 Neraca Massa Drum Dryer

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 39		Aliran 40	
Serat pulp :		Serat pulp :	
Selulosa	218658,05	Selulosa	218658,05
Hemiselulosa	97115,69	Hemiselulosa	97115,69
Air	145651,18	Air	16650,00
Lignin	576,25	Lignin	576,25
			<u>333000,00</u>
		Uap Air	129001,18
TOTAL	462001,18	TOTAL	462001,18

IV.3 Calendering stack (X-321)

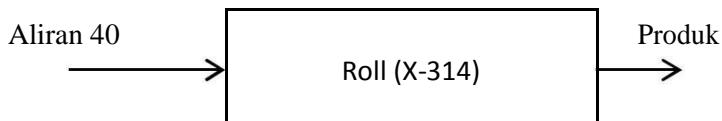
Fungsi : Menghaluskan permukaan dan meratakan ketebalan kertas



Tabel A.26 Neraca Massa Calendering stack

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 40		Aliran 41	
Serat pulp :		Serat pulp :	
Selulosa	218658,05	Selulosa	218658,05
Hemiselulosa	97115,69	Hemiselulosa	97115,69
Air	16650,00	Air	16650,00
Lignin	576,25	Lignin	576,25
TOTAL	333000,000	TOTAL	333000,0000

IV.III Roll (X-322)



Tabel A.27 Neraca Massa Roll

MASUK		KELUAR	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 41		Produk	
Serat pulp :		Serat pulp :	
Selulosa	218658,05	Selulosa	218658,05
Hemiselulosa	97115,69	Hemiselulosa	97115,69
Air	16650,00	Air	16650,00
Lignin	576,25	Lignin	576,25
TOTAL	333000,000	TOTAL	333000,0000

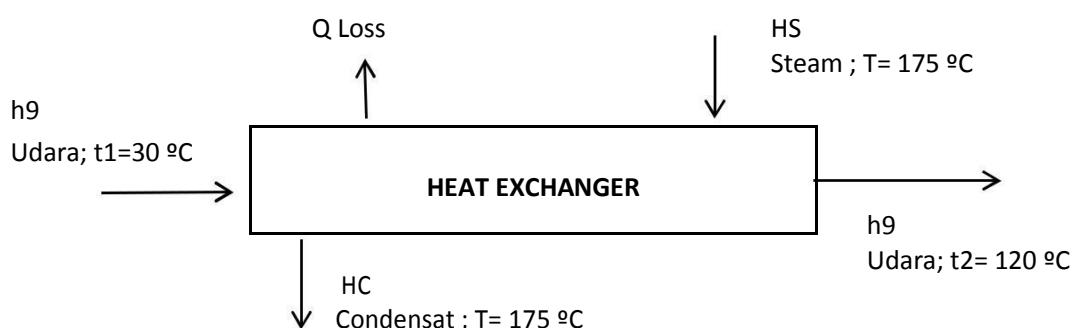
APPENDIKS B
NERACA PANAS

Kapasitas Produksi	= 333.000 Kg/hari
Operasi	= 300 hari/tahun, 24 jam/hari
Satuan Panas	= kkal
Basis Waktu	= 1 hari
Tref	= 25 C

I. Tahap pre Treatment

I.1 Heat Exchanger (E-131)

Fungsi : Memanaskan Udara Untuk mengeringkan Eceng gondok



h9(Udara)

$$\begin{aligned}
 &= m C_p \Delta T \\
 &= m C_p (T_5 - T_{ref}) \\
 &= m C_p (30-25)
 \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	h9 = m.Cp.ΔT (Kcal)
Udara	7.908.449,87	0,24	5,00	9.490.139,85
Total				9.490.139,85

h9 (Udara)

$$\begin{aligned}
 &= m C_p \Delta T \\
 &= m C_p (T_5 - T_{ref}) \\
 &= m C_p (120-25)
 \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	h9 = m.Cp.ΔT (Kcal)
Udara	7.908.449,87	0,24	95,00	180.312.657,08
Total				180.312.657,08

Neraca energi overall

$$\begin{aligned}
 h9 + Hs &= h9 + Hc + Qloss \\
 M9Cp9ΔT + M.Hv &= M9Cp9ΔT + M.Hl \\
 M9Cp9ΔT + M.Hv - M.Hl &= M9Cp9ΔT + Qloss \\
 M9Cp9ΔT + M(Hv - Hl) &= M9Cp9ΔT + Qloss
 \end{aligned}$$

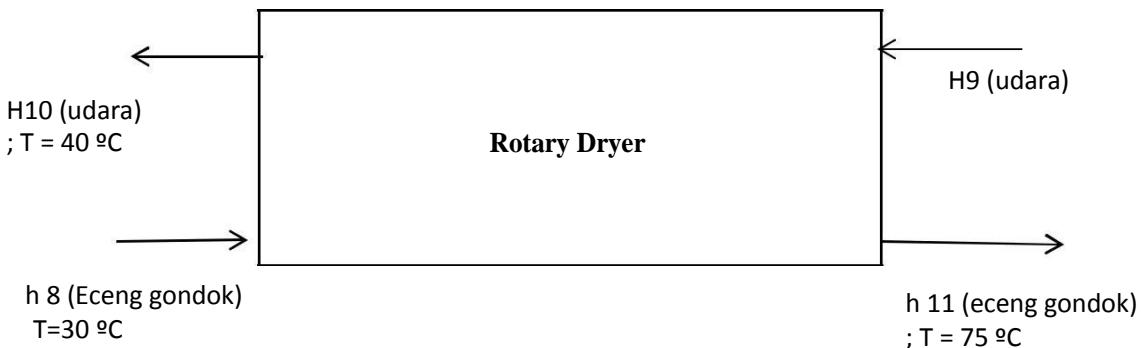
$$\begin{aligned}
 M9Cp9\Delta T + M \times \text{Lamda} &= M9Cp9\Delta T + Q_{loss} \\
 9.490.139,8 + Q_{supply} &= 180.312.657,08 + 0,05 Q_{supply} \\
 0,95 Q_{supply} &= 170.822.517,23 \\
 Q_{Supply} &= 179.813.176,04 \\
 Q_{loss} &= 8.990.658,80 \\
 \\
 Q_{supply} &= M_{steam} \times \lambda \\
 179.813.176,04 &= M_{steam} \times 485,76 \\
 M_{steam} &= 370.168,76
 \end{aligned}$$

Tabel B.1 Neraca Panas Heat Exchanger

Masuk	Keluar
h9 = Udara	9.490.139,85 h9 = Udara
Qsupply	179.813.176,04 Qloss
Total	189.303.315,88 Total

I.2 Rotary Dryer (B-130)

Fungsi : mengeringkan Eceng gondok Hingga 8%



h8 (Eceng Gondok)

$$\begin{aligned}
 &= m C_p \Delta T \\
 &= m C_p (T_5 - T_{ref}) \\
 &= m C_p (30-25)
 \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	H = m.Cp.ΔT (Kcal)
Serat Pulp				
Selulosa	227.673,94	0,32	5,00	364.278,31
Hemiselulosa	101.120,05	0,35	5,00	174.817,16
lignin	51.021,53	0,32	5,00	81.397,87
abu	90.197,85	0,21	5,00	95.540,27
Air yang terikut pada serat	42.765,78	1,00	5,00	213.550,93
Total				929.584,53

h11(Eceng Gondok)

$$= m C_p \Delta T$$

$$= m C_p (T_5 - T_{ref})$$

$$= m C_p (78-25)$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT ($^{\circ}$ C)	$H = m.Cp.\Delta T$ (Kcal)
Serat Pulp				
Selulosa	227.673,94	0,32	59,65	4.345.633,60
Hemiselulosa	101.120,05	0,35	59,65	2.085.469,62
lignin	51.021,53	0,32	59,65	971.030,40
abu	90.197,85	0,21	59,65	1.139.741,21
Air yang terikut pada serat	42.765,78	1,00	59,65	2.547.541,45
Total				11.089.416,29

H9 (udara)

$$= m C_p \Delta T$$

$$= m C_p (T_5 - T_{ref})$$

$$= m C_p (120-25)$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT ($^{\circ}$ C)	$H = m.Cp.\Delta T$ (Kcal)
Udara	7.908.449,87	0,24	65,00	123.371.818,00
Total				123.371.818,00

H10 (udara)

$$= m C_p \Delta T$$

$$= m C_p (T_5 - T_{ref})$$

$$= m C_p (78-25)$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT ($^{\circ}$ C)	$H = m.Cp.\Delta T$ (Kcal)
Udara	7.908.449,87	0,24	59,65	113.211.986,25
Total				113.211.986,25

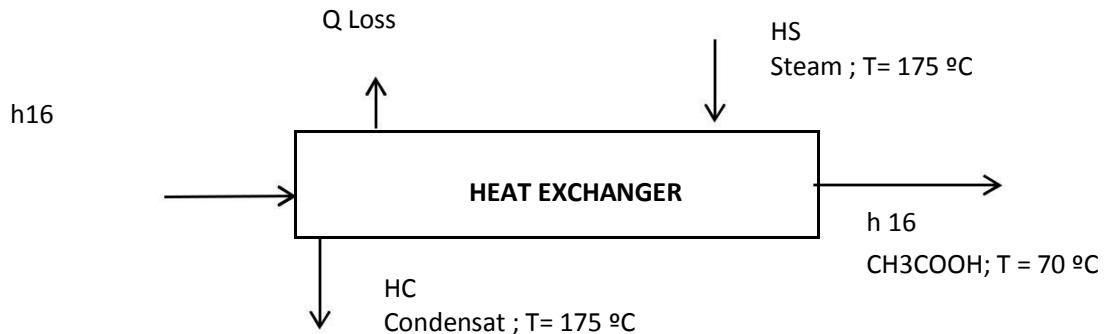
Tabel B2 Neraca Panas Rotary dryer

MASUK		KELUAR	
h8 = Eceng Gondok	929.584,53	H10 = Udara	113.211.986,25
H9 = Udara	123.371.818,00	h11 = Eceng Gondok	11.089.416,29
Total	124.301.402,54	Total	124.301.402,54

II.Delignifikasi

II.1 Heat Exchanger (E-214)

Fungsi : Memanaskan Tangki Harian CH₃COOH



h16 (CH₃COOH)

$$= m C_p \Delta T$$

$$= m C_p (T_5 - T_{ref})$$

$$= m C_p (30-25)$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	H = m.Cp.ΔT (Kcal)
CH ₃ COOH	85.463,19	0,57	5,00	243.570,10
Air	85.463,19	1,00	5,00	426.760,45
Total				670.330,54

h16 (CH₃COOH)

$$= m C_p \Delta T$$

$$= m C_p (T_5 - T_{ref})$$

$$= m C_p (70-25)$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	H = m.Cp.ΔT (Kcal)
CH ₃ COOH	85.463,19	0,57	45,00	2.192.130,86
Air	85.463,19	1,00	45,00	3.840.844,01
Total				6.032.974,86

$$h16 + Hs = h16 + Hc + Qloss$$

$$M16Cp16\Delta T + M.Hv = M16Cp16\Delta T + M.HI + Qloss$$

$$M16Cp16\Delta T + M.Hv - M.HI = M16Cp16\Delta T + Qloss$$

$$M16Cp16\Delta T + M(Hv - HI) = M16Cp16\Delta T + Qloss$$

$$M16Cp16\Delta T + M \times \lambda = M16Cp16\Delta T + Qloss$$

$$M16Cp16\Delta T + Qsupply = M16Cp16\Delta T + 0,05 Qsupply$$

$$0,95 Qsupply = M16Cp16\Delta T - M16Cp16\Delta T$$

$$0,95 Qsupply = 5.362.644,32$$

$$Qsupply = 5.644.888,76$$

$$= 282.244,44$$

$$Qsupply = M steam \times \lambda$$

$$5.644.888,76 = M steam \times 485,76$$

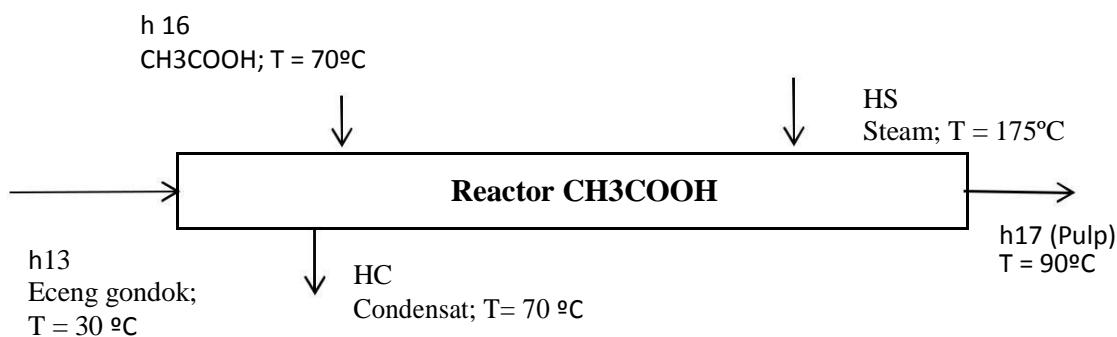
$$M steam = 11.620,74$$

Tabel B3 Neraca Panas Heat Exchanger

Masuk	Keluar
h16 = CH ₃ COOH	670.330,54 h16 = CH ₃ COOH
Qsupply	5.644.888,76 Qloss
Total	6.315.219,30 Total

II.2 Reactor CH₃COOH (210)

Fungsi : Menghilangkan Kadar Lignin dan membentuk pulp



h13 (Eceng gondok)

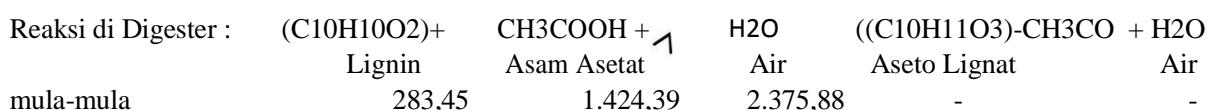
$$\begin{aligned}
 &= m C_p \Delta T \\
 &= m C_p (T_5 - T_{ref}) \\
 &= m C_p (30-25)
 \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	H = m.Cp.ΔT (Kcal)
Serat Pulp				
Selulosa	227.673,94	0,32	5,00	364.278,31
Hemiselulosa	101.120,05	0,35	5,00	174.817,16
lignin	51.021,53	0,32	5,00	81.397,87
abu	90.197,85	0,21	5,00	95.540,27
Air yang terikut pada serat	42.765,78	1,00	5,00	213.550,93
Total				929.584,53

h16 (CH₃COOH)

$$\begin{aligned}
 &= m C_p \Delta T \\
 &= m C_p (T - T_{ref}) \\
 &= m C_p (70-25)
 \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	H = m.Cp.ΔT (Kcal)
CH ₃ COOH	85.463,19	0,57	45,00	2.192.130,86
H ₂ O	85.463,19	1,00	45,00	3.840.844,01
Total				6.032.974,86



reaksi	255,11	255,11	255,11	255,11	255,11
sisa	28,35	1.169,28	2.120,77	255,11	255,11

ΔH25

Komponen	Koefisien	Kg/mol	ΔHf (kkal/kmol)	H=n.mol.ΔHf	Total
lignin	1,00	255,11	-111.661,09	-28.485.595,54	-57.266.906,2
CH ₃ COOH	1,00	255,11	-44.502,87	-11.353.021,02	
H ₂ O	1,00	255,11	-68.317,40	-17.428.289,62	-40.987.332,5
C ₆ H ₃ C ₄ H ₉ O ₃	1,00	255,11	-116.163,96	-29.634.311,52	
ΣH25= produk- reaktan					16.279.573,64

h17 (pulp)

$$= m C_p \Delta T$$

$$= m C_p (T_5 - T_{ref})$$

$$= m C_p (100-25)$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	H = m.Cp.ΔT (Kcal)
Serat Pulp				
selulosa	227.673,94	0,32	75,00	5.464.174,60
lignin sisa	5.102,15	0,32	75,00	122.096,80
hemiselulosa	101.120,05	0,35	75,00	2.622.257,46
air terikut pada serat	4.591,94	1,00	75,00	343.947,58
Black liquor				
Air sisa	128.228,97	1,00	75,00	9.604.670,59
Aseto lignat sisa	56.633,89	0,54	75,00	2.302.782,27
CH ₃ COOH Sisa	70.156,73	0,57	75,00	2.999.200,37
Abu sisa	90.197,85	0,21	75,00	1.433.104,02
Total				24.892.233,68

Neraca energi overall

$$\begin{aligned}
 h13 + H_s + h16 &= h17 + H_c + Q_{loss} + HRX \\
 M13Cp13\Delta T + M16Cp16\Delta T + M.Hv &= M17Cp17\Delta T + HRX + M.HI + Q_{loss} \\
 M13Cp13\Delta T + M16Cp16\Delta T + M.Hv - M.HI &= M17Cp17\Delta T + HRX + Q_{loss} \\
 M13Cp13\Delta T + M16Cp16\Delta T + M(Hv - HI) &= M17Cp17\Delta T + HRX + Q_{loss} \\
 M13Cp13\Delta T + M16Cp16\Delta T + M \times \lambda &= M17Cp17\Delta T + HRX + Q_{loss} \\
 M13Cp13\Delta T + M16Cp16\Delta T + Q_{supply} &= M17Cp17\Delta T + 0,05 Q_{supply} + HRX \\
 0,95 Q_{supply} &= M17Cp17\Delta T + HRX - M13Cp13\Delta T - M16Cp16\Delta T \\
 0,95 Q_{supply} &= 34.209.247,92 \\
 Q_{supply} &= 36.009.734,65 \\
 Q_{loss} &= 1.800.486,73
 \end{aligned}$$

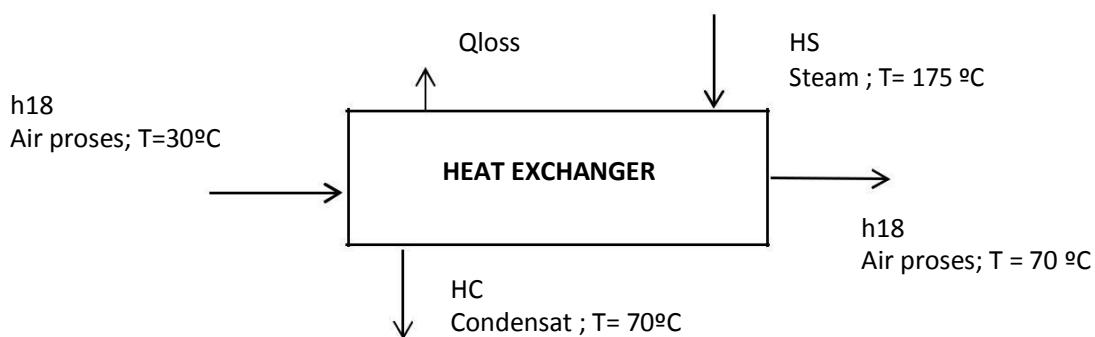
$$\begin{aligned}
 Q_{supply} &= M_{steam} \times \lambda \\
 36.009.734,65 &= M_{steam} \times 485,76 \\
 M_{steam} &= 74.130,71
 \end{aligned}$$

Tabel B.4 Neraca Panas Reactor CH₃COOH

Masuk	Keluar	
h13 = Eceng Gondok	929.584,53	h17 = Pulp
h16 = CH ₃ COOH	6.032.974,86	Q Loss
Qsupply	36.009.734,65	H reaksi
Total	42.972.294,05	Total
		42.972.294,05

II.3 Heat Exchanger (E-222)

Fungsi : Memanaskan Air proses Untuk Mencuci Pulp



h18 (Air proses)

$$\begin{aligned}
 &= m C_p \Delta T \\
 &= m C_p (T - T_{ref}) \\
 &= m C_p (30-25)
 \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	H= m.Cp.ΔT (Kcal)
Air	1.709.263,82	1,00	5,00	8.535.208,91

h18 (Air proses)

$$\begin{aligned}
 &= m C_p \Delta T \\
 &= m C_p (T - T_{ref}) \\
 &= m C_p (70-25)
 \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	H = m.Cp.ΔT (Kcal)
Air	1.709.263,82	1,00	45,00	76.816.880,19

Neraca energi overall

$$\begin{aligned}
 h18 + Hs &= h18 + Hc + Qloss \\
 M18Cp18\Delta T + M.Hv &= M18Cp18\Delta T + M.Hl + Qloss \\
 M18Cp18\Delta T + M.Hv - M.Hl &= M18Cp18\Delta T + Qloss \\
 M18Cp18\Delta T + M(Hv - Hl) &= M18Cp18\Delta T + Qloss \\
 M18Cp18\Delta T + M \times \lambda &= M18Cp18\Delta T + Qloss \\
 M18Cp18\Delta T + Qsupply &= M18Cp18\Delta T + 0,05 Qsupply \\
 0,95 Qsupply &= M18Cp18\Delta T - M18Cp18\Delta T \quad \# \\
 0,95 Qsupply &= 68.281.671,28 \\
 Qsupply &= 71.875.443,45 \\
 Qloss &= 3.593.772,17
 \end{aligned}$$

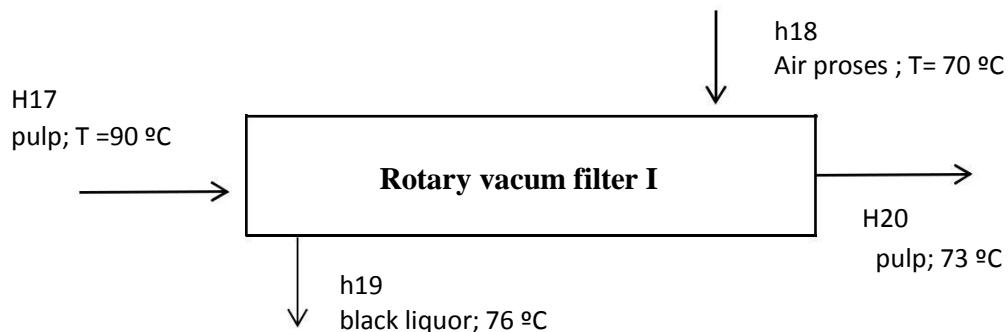
$$\begin{aligned}
 Q_{\text{supply}} &= M_{\text{steam}} \times \lambda \\
 71.875.443,45 &= M_{\text{steam}} \times 485,76 \\
 M_{\text{steam}} &= 147.964,93
 \end{aligned}$$

Tabel B.5 Neraca Panas Heat Exchanger

Masuk		Keluar	
h18 = Air Proses	8.535.208,91	h18 = Air Proses	76.816.880,19
Q _{supply}	71.875.443,45	Q _{loss}	3.593.772,17
Total	80.410.652,36	Total	80.410.652,36

II.4 Rotary vacum filter I (H-220)

Fungsi : Memisahkan Black Liquor Dan Serat



H17 (Pulp)

$$\begin{aligned}
 &= m C_p \Delta T \\
 &= m C_p (T - T_{\text{ref}}) \\
 &= m C_p (90-25)
 \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	H = m.Cp.ΔT (Kcal)
Serat pulp				
Selulosa	227.673,94	0,32	65,00	4.735.617,98
Lignin sisa	5.102,15	0,32	65,00	105.817,23
Hemiselulosa	101.120,05	0,35	65,00	2.272.623,13
Air yang terikut pada serat	4.591,94	1,00	65,00	298.087,90
Black liquor				
Aseto lignat sisa	56.633,89	0,54	65,00	1.995.744,64
CH ₃ COOH sisa	70.156,73	0,57	65,00	2.599.306,98
Air sisa	128.228,97	1,00	65,00	8.324.047,84
Abu	90.197,85	0,21	65,00	1.242.023,48
Total				21.573.269,19

h18 (Air proses)

$$\begin{aligned}
 &= m C_p \Delta T \\
 &= m C_p (T - T_{ref}) \\
 &= m C_p (70-25)
 \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	$\Delta T (^{\circ}C)$	$H = m.Cp.\Delta T$ (Kcal)
Air proses yang ditambahkan	1.709.263,82	1,00	45,00	76.816.880,19
Total				76.816.880,19

H20 (pulp)

$$\begin{aligned}
 &= m C_p \Delta T \\
 &= m C_p (T - T_{ref}) \\
 &= m C_p (76-25)
 \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	$\Delta T (^{\circ}C)$	$H = m.Cp.\Delta T$ (Kcal)
Serat pulp				
Selulosa	223.120,46	0,32	48,26	3.445.378,43
Lignin	5.000,11	0,32	48,26	76.986,87
hemiselulosa	99.097,65	0,35	48,26	1.653.437,15
Air	36.841,69	1,00	48,26	1.775.506,23
Total				6.951.308,68

h19 (Black liquor)

$$\begin{aligned}
 &= m C_p \Delta T \\
 &= m C_p (T - T_{ref}) \\
 &= m C_p (76-25)
 \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	$\Delta T (^{\circ}C)$	$H = m.Cp.\Delta T$ (Kcal)
Black liquor				
hemiselulosa	2.022,40	0,35	48,26	33.743,62
Aseto lignat sisa	56.633,89	0,54	48,26	1.481.627,96
CH ₃ COOH sisa	70.156,73	0,57	48,26	1.929.708,76
Air	1.805.243,04	1,00	48,26	86.999.805,13
Selulosa	4.553,48	0,32	48,26	70.313,85
Abu	90.197,85	0,21	48,26	922.070,23
Lignin	102,04	0,32	48,26	1.571,16
Total				91.438.840,69

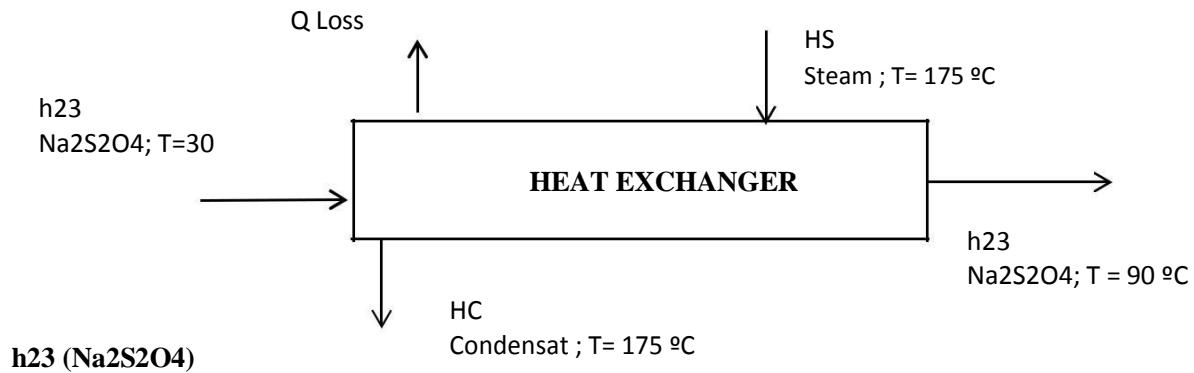
Tabel B.6 Neraca Panas Rotary Vacum Filter I

MASUK	KELUAR	
H17 = Pulp	21.573.269,19	H20 = Pulp
h18 = Air Proses	76.816.880,19	h19 = Black Liquor
Total	98.390.149,38	Total
		98.390.149,38

III.Bleaching

III.1 Heat Exchanger (E-232)

Fungsi : Memanaskan Na₂S₂O₄ Untuk direaksikan dengan lignin pada pulp



Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	H = m.Cp.ΔT (Kcal)
Na ₂ S ₂ O ₄	21.814,55	0,32	5,00	34.369,14
Air	1.795.580,33	1,00	5,00	8.966.230,39
Total				9.000.599,53

h23 (Na₂S₂O₄)

$$\begin{aligned} &= m C_p \Delta T \\ &= m C_p (T - T_{ref}) \\ &= m C_p (70-25) \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	H = m.Cp.ΔT (Kcal)
Na ₂ S ₂ O ₄	21.814,55	0,32	45,00	309.322,29
Air	1.795.580,33	1,00	45,00	80.696.073,49
Total				81.005.395,78

Neraca energi overall

$$\begin{aligned} H_{23} + H_s &= H_{23} + H_c + Q_{loss} \\ M_{23}C_{p23}\Delta T + M_{23}H_v &= M_{23}C_{p23}\Delta T + M_{23}H_l + Q_{loss} \\ M_{23}C_{p23}\Delta T + M_{23}H_v - M_{23}H_l &= M_{23}C_{p23}\Delta T + Q_{loss} \\ M_{23}C_{p23}\Delta T + M(H_v - H_l) &= M_{23}C_{p23}\Delta T + Q_{loss} \\ M_{23}C_{p23}\Delta T + M \times \lambda &= M_{23}C_{p23}\Delta T + Q_{loss} \\ M_{23}C_{p23}\Delta T + Q_{supply} &= M_{23}C_{p23}\Delta T + 0,05 Q_{supply} \\ 0,95 Q_{supply} &= M_{23}C_{p23}\Delta T - M_{23}C_{p23}\Delta T \\ 0,95 Q_{supply} &= 72.004.796,25 \\ Q_{supply} &= 75.794.522,37 \\ Q_{loss} &= 3.789.726,12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{supply} &= M_{steam} \times \lambda \\ 75.794.522,37 &= M_{steam} \times 485,76 \end{aligned}$$

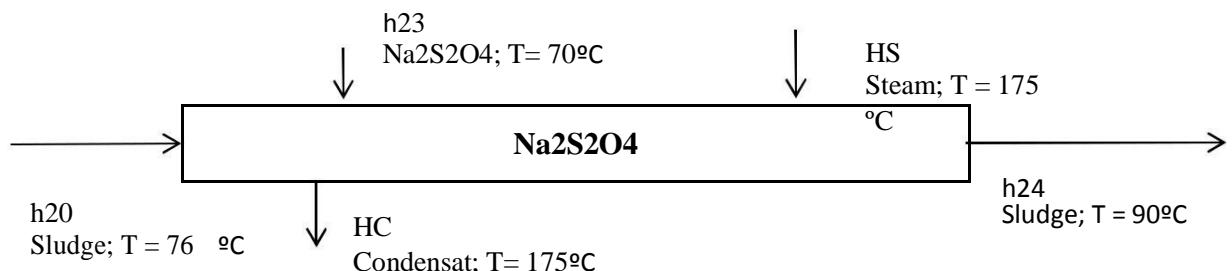
$$M_{\text{steam}} = 156.032,86$$

Tabel B.7 Neraca Panas Heat Exchanger

Masuk	Keluar
h23 = Na ₂ S ₂ O ₄	9.000.599,53 h23 = Na ₂ S ₂ O ₄ 81.005.395,78
Qsupply	75.794.522,37 Qloss 3.789.726,12
Total	84.795.121,90 Total 84.795.121,90

III.2 Reaktor Na₂S₂O₄ (R-230)

Fungsi untuk menghilangkan lignin dan memutihkan pulp



h20 (Pulp)

$$\begin{aligned} &= m C_p \Delta T \\ &= m C_p (T - T_{ref}) \\ &= m C_p (76-25) \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	H = m.Cp.ΔT (Kcal)
Serat pulp				
Selulosa	223.120,46	0,32	51,00	3.641.325,95
Lignin sisa	5.000,11	0,32	51,00	81.365,31
Hemiselulosa	99.097,65	0,35	51,00	1.747.472,37
Air	36.841,69	1,00	51,00	1.876.483,82
Total				7.346.647,45

h23 (Na₂S₂O₄)

$$\begin{aligned} &= m C_p \Delta T \\ &= m C_p (T - T_{ref}) \\ &= m C_p (70-25) \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	H = m.Cp.ΔT (Kcal)
Na ₂ S ₂ O ₄	21.814,55	0,32	45,00	309.322,29
Air	1.795.580,33	1,00	45,00	80.696.073,49
Total				81.005.395,78



mula-mula	27,78	125,37	-	-
reaksi	19,44	19,44	19,44	19,44

	8,33	105,93		19,44	19,44
Komponen	Koefisien	Kgmol	ΔH_f (kkal/kmol)	$H = n \cdot mol \cdot \Delta H_f$	Total
lignin	1,00	19,44	-111.661,09	-2.171.235,39	-4.930.074
Na2S2O4	1,00	19,44	-141.880,00	-2.758.838,18	
C10H12O4	1,00	19,44	-95.064,53	-1.848.517,47	-3.176.940
H2O	1,00	19,44	-68.317,40	-1.328.422,96	
$\Sigma H_{25} = \text{produk-reaktan}$					1.753.133

b24 (Pulp)

$$= m C_p \Delta T$$

$$= m C_p (T_5 - T_{ref})$$

$$= m C_p (90-25)$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	$H = m \cdot Cp \cdot \Delta T$ (Kcal)
Selulosa	223.120,46	0,32	65,00	4.640.905,62
Ligin sisa	1.500,03	0,32	65,00	31.110,27
Hemiselulosa	99.097,65	0,35	65,00	2.227.170,67
Air	1.828.571,94	1,00	65,00	118.702.661,92
Black liquor				
Air (s)	350,01	1,00	65,00	22.720,92
Ligin	3.500,08	0,32	65,00	72.590,62
NaHSO3	2.022,27	0,67	65,00	88.058,16
Na2S2O4	18.431,14	0,32	65,00	377.500,96
C10H11O4NaS	4.861,22	0,35	65,00	111.701,47
Total				126.274.420,61

neraca energi overall

$$\begin{aligned}
 H_2O + H_s + H_23 &= H_{24} + H_c + Q_{loss} + HRX \\
 M20Cp20\Delta T + M23Cp23\Delta T + M.Hv &= M24Cp24\Delta T + HRX + M.HI + Q_{loss} \\
 M20Cp20\Delta T + M23Cp23\Delta T + M.Hv - M.HI &= M24Cp24\Delta T + HRX + Q_{loss} \\
 M20Cp20\Delta T + M23Cp23\Delta T + M(Hv - HI) &= M24Cp24\Delta T + HRX + Q_{loss} \\
 M20Cp20\Delta T + M23Cp23\Delta T + M \times \lambda &= M24Cp24\Delta T + HRX + Q_{loss} \\
 M20Cp20\Delta T + M23Cp23\Delta T + Q_{supply} &= M24Cp24\Delta T + 0,05 Q_{supply} + HRX \\
 0,95 Q_{supply} &= M24Cp24\Delta T + HRX - M20Cp20\Delta T - M23Cp23\Delta T \\
 0,95 Q_{supply} &= 39.675.510,51 \\
 Q_{supply} &= 41.763.695,27 \\
 Q_{loss} &= 2.088.184,76
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{supply} &= M_{steam} \times \lambda \\
 41.763.695,27 &= M_{steam} \times 485,76 \\
 M_{steam} &= 85.975,99
 \end{aligned}$$

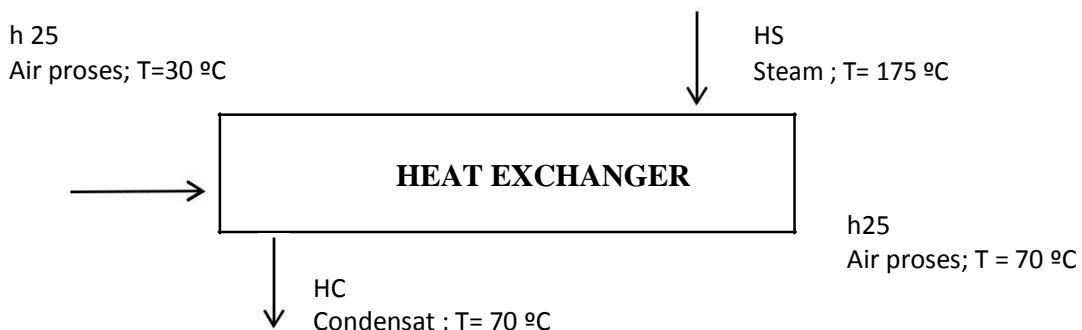
Tabel B.8 Neraca Panas Reactor Na2S2O4

Masuk	Keluar	
H2O = Pulp	7.346.647,45	H24 = Pulp

H23 = Larutan Na2S2O4	81.005.395,78	Q Loss	2.088.184,76
		H reaksi	1.753.133,13
Qsupply	41.763.695,27		
Total	130.115.738,51	Total	130.115.738,51

III.3 Heat Exchanger (E-242)

Fungsi : Memanaskan Air untuk mencuci pulp



h25 (air proses)

$$\begin{aligned} &= m C_p \Delta T \\ &= m C_p (T - T_{ref}) \\ &= m C_p (30-25) \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	H = m.Cp.ΔT (Kcal)
Air	5.453.636,98	1,00	5,00	27.232.736,28
Total				27.232.736,28

h25 (air proses)

$$\begin{aligned} &= m C_p \Delta T \\ &= m C_p (T - T_{ref}) \\ &= m C_p (70-25) \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	H = m.Cp.ΔT (Kcal)
Air	5.453.636,98	1,00	45,00	245.094.626,52
Total				245.094.626,52

Neraca energi overall

$$\begin{aligned} H25 + Hs &= H25 + Hc + Qloss \\ M25Cp25ΔT + M.Hv &= M25Cp25ΔT + M.Hl + Qloss \\ M25Cp25ΔT + M.Hv - M.Hl &= M25Cp25ΔT + Qloss \\ M25Cp25ΔT + M(Hv - Hl) &= M25Cp25ΔT + Qloss \\ M25Cp25ΔT + M \times \lambda &= M25Cp25ΔT + Qloss \\ M25Cp25ΔT + Qsupply &= M25Cp25ΔT + 0,05 Qsupply \\ 0,95 Qsupply &= M25Cp25ΔT - M25Cp25ΔT \\ 0,95 Qsupply &= 217.861.890,24 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{supply}} &= 229.328.305,51 \\ Q_{\text{loss}} &= 11.466.415,28 \end{aligned}$$

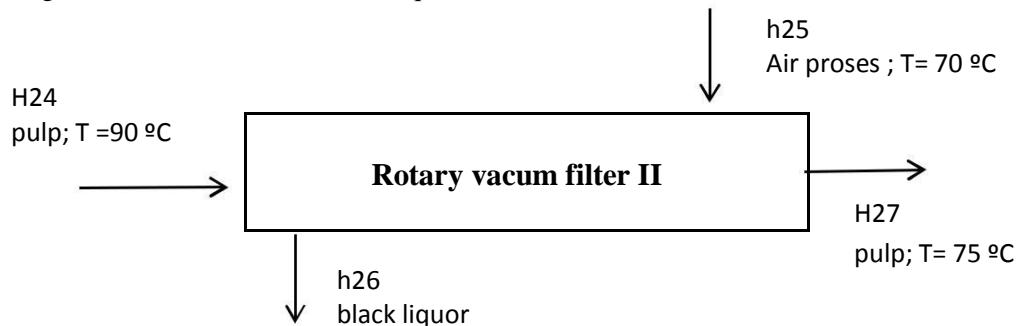
$$\begin{aligned} Q_{\text{supply}} &= M_{\text{steam}} \times \lambda \\ 229.328.305,51 &= M_{\text{steam}} \times 485,76 \\ M_{\text{steam}} &= 472.102,08 \end{aligned}$$

Tabel B.8 Neraca Panas Heat Exchanger

Masuk	Keluar
$h_{25} = \text{Air Proses}$	$h_{25} = \text{Air Proses}$
Q_{supply}	Q_{loss}
Total	Total

III.4 Rotary Vacum filter II (H-240)

Fungsi : Untuk Memisahkan black liquor dan serat



H24 (pulp)

$$\begin{aligned} &= m C_p \Delta T \\ &= m C_p (T_5 - T_{ref}) \\ &= m C_p (90 - 25) \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	$H23 = m.Cp.\Delta T$ (Kcal)
Aliran 28				
Serat pulp :				
Selulosa	223.120,46	0,32	65,00	4.640.905,62
Lignin sisa	1.500,03	0,32	65,00	31.110,27
Hemiselulosa	99.097,65	0,35	65,00	2.227.170,67
Air	1.828.571,94	1,00	65,00	118.702.661,92
Limbah				
Air	350,01	1,00	65,00	22.720,92
Lignin	3.500,08	0,32	65,00	72.590,62
NaHSO ₃	2.022,27	0,67	65,00	88.058,16
Na ₂ S ₂ O ₄	18.431,14	0,32	65,00	377.500,96
C ₁₀ H ₁₁ O ₄ Nas	4.861,22	0,35	65,00	111.701,47
Total				125.785.218,18

h25 (Air Proses)

$$\begin{aligned}
 &= m C_p \Delta T \\
 &= m C_p (T - T_{ref}) \\
 &= m C_p (70-25)
 \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	$H = m.Cp.\Delta T$ (Kcal)
Air proses	5.453.636,98	1,00	45,00	245.094.626,52
Total				245.094.626,52

H27 (Pulp)

$$\begin{aligned}
 &= m C_p \Delta T \\
 &= m C_p (T - T_{ref}) \\
 &= m C_p (75-25)
 \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	$H = m.Cp.\Delta T$ (Kcal)
Serat pulp				
Selulosa	218.658,05	0,32	50,20	3.512.741,39
lignin sisa	1.470,03	0,32	50,20	23.547,63
Hemiselulosa	97.115,69	0,35	50,20	1.685.764,64
Air	145.651,18	1,00	50,20	7.302.638,05
Total				12.524.691,70

h26 (Black liquor)

$$\begin{aligned}
 &= m C_p \Delta T \\
 &= m C_p (T - T_{ref}) \\
 &= m C_p (75-25)
 \end{aligned}$$

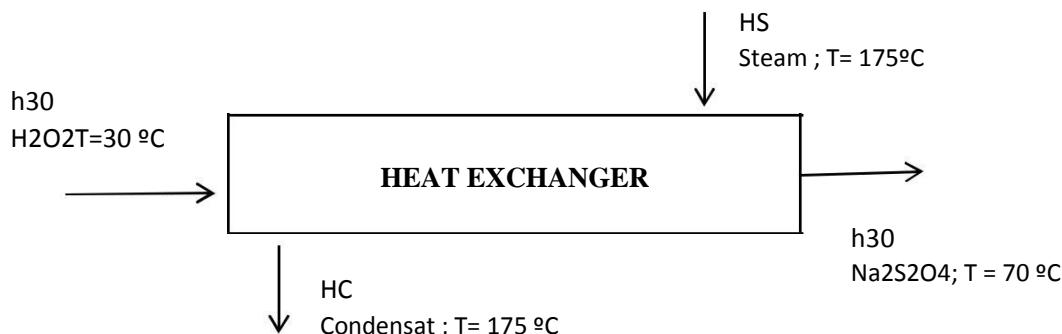
Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	$H = m.Cp.\Delta T$ (Kcal)
Na ₂ S ₂ O ₄	18.431,14	0,32	50,20	295.238,18
Selulosa	4.462,41	0,32	50,20	71.688,60
Lignin sisa	3.530,08	0,32	50,20	56.546,34
Hemiselulosa	1.981,95	0,35	50,20	34.403,36
Air	7.136.907,76	1,00	50,20	357.829.264,29
NaHSO ₃	2.022,27	0,67	50,20	68.012,23
C ₁₀ H ₁₁ O ₄ NaS	4.861,22	0,35	50,20	86.273,27
Total				358.355.153,00

Tabel B.9 Neraca Panas Rotary Vacum Filter II

MASUK		KELUAR	
H24 = Pulp	125.785.218,18	H27 = Pulp	12.524.691,70
h25 = Air Proses	245.094.626,52	h26 = Black Liquor	358.355.153,00
Total	370.879.844,70	Total	370.879.844,70

III.5 Heat Exchanger (E-252)

Fungsi : Memanaskan H₂O₂ yang direaksikan lignin pada pulp



h30 (air proses)

$$= m \cdot C_p \Delta T$$

$$= m \cdot C_p (T_5 - T_{ref})$$

$$= m \cdot C_p (30-25)$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	H = m.Cp.ΔT (Kcal)
H ₂ O ₂	21.814,55	0,61	5,00	66.092,61
Air	1.795.580,33	1,00	5,00	8.966.230,39
Total				9.032.323,00

h30 (air proses)

$$= m C_p \Delta T$$

$$= m C_p (T - T_{ref})$$

$$= m C_p (70-25)$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	H = m.Cp.ΔT (Kcal)
H ₂ O ₂	21.814,55	0,61	45,00	594.833,48
Air	1.795.580,33	1,00	45,00	80.696.073,49
Total				81.290.906,97

Neraca energi overall

$$\begin{aligned}
 H30 + Hs &= H30 + Hc + Qloss \\
 M30Cp30\Delta T + M.Hv &= M30Cp30\Delta T + M.HI + Qloss \\
 M30Cp30\Delta T + M.Hv - M.HI &= M30Cp30\Delta T + Qloss \\
 M30Cp30\Delta T + M(Hv - HI) &= M30Cp30\Delta T + Qloss \\
 M30Cp30\Delta T + M \times \lambda &= M30Cp30\Delta T + Qloss \\
 M30Cp30\Delta T + Qsupply &= M30Cp30\Delta T + 0,05 Qsupply \\
 0,95 Qsupply &= M30Cp30\Delta T - M30Cp30\Delta T \\
 0,95 Qsupply &= 72.258.583,97 \\
 Qsupply &= 76.061.667,34 \\
 Qloss &= 3.803.083,37
 \end{aligned}$$

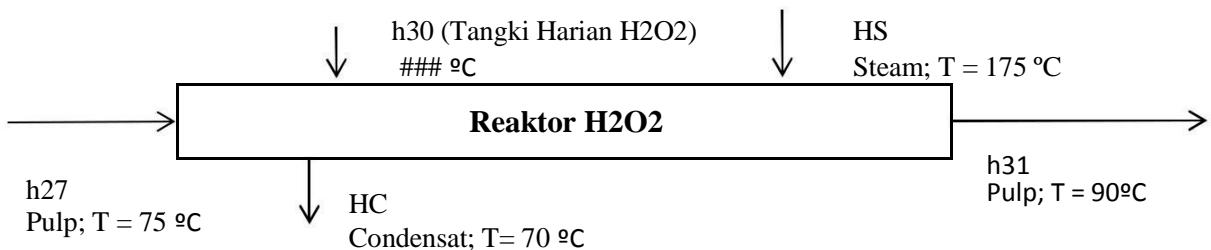
$$\begin{aligned}
 Qsupply &= M \text{ steam} \times \lambda \\
 76.061.667,34 &= M \text{ steam} \times 485,76 \\
 M \text{ steam} &= 156.582,81
 \end{aligned}$$

Tabel B.10 Neraca Panas Heat Exchanger

Masuk		Keluar	
h30 = Air Proses	9.032.323,00	h30 = Air Proses	81.290.906,97
Qsupply	76.061.667,34	Qloss	3.803.083,37
Total	85.093.990,33	Total	85.093.990,33

III.6 Reaktor H₂O₂ (R-250)

Fungsi : untuk menghilangkan lignin dan memutihkan pulp



h27 (Pulp)

$$\begin{aligned}
 &= m C_p \Delta T \\
 &= m C_p (T - T_{ref}) \\
 &= m C_p (75-25)
 \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	H = m.Cp.ΔT (Kcal)
Serat pulp				
Selulosa	218.658,05	0,32	50,00	3.498.528,85
Lignin sisa	1.470,03	0,32	50,00	23.452,35
Hemiselulosa	97.115,69	0,35	50,00	1.678.944,04
Air	145.651,18	1,00	50,00	7.292.026,26
Total				12.492.951,51

h30 (Tangki harian H₂O₂)

$$\begin{aligned}
 &= m C_p \Delta T \\
 &= m C_p (T - T_{ref}) \\
 &= m C_p (70-25)
 \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	H = m.Cp.ΔT (Kcal)
H ₂ O ₂	21.814,55	0,32	45,00	309.322,29
Air	1.795.580,33	1,00	45,00	80.906.156,39
Total				81.215.478,68

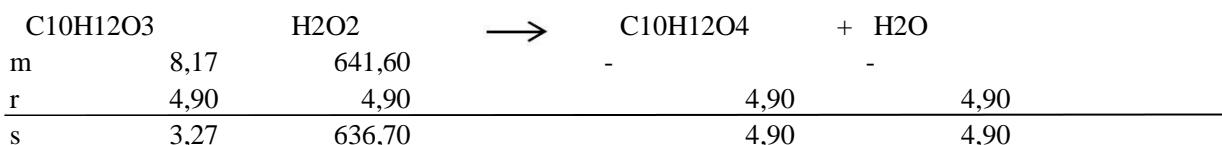
h31 (Pulp)

$$\begin{aligned}
 &= m C_p \Delta T \\
 &= m C_p (T - T_{ref}) \\
 &= m C_p (90-25)
 \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	H = m.Cp.ΔT (Kcal)
Serat pulp				
Selulosa	218.658,05	0,32	65,00	4.548.087,51

Lignin sisa	588,01	0,32	65,00	12.195,22
Hemiselulosa	97.115,69	0,35	65,00	2.182.627,25
Air	1.941.231,51	1,00	65,00	126.344.082,25
Black liquor				
Air	88,20	1,00	65,00	5.740,58
C10H12O4	960,42	0,32	65,00	19.918,87
H2O2	21.647,94	0,67	65,00	942.644,42
Total				134.055.296,11

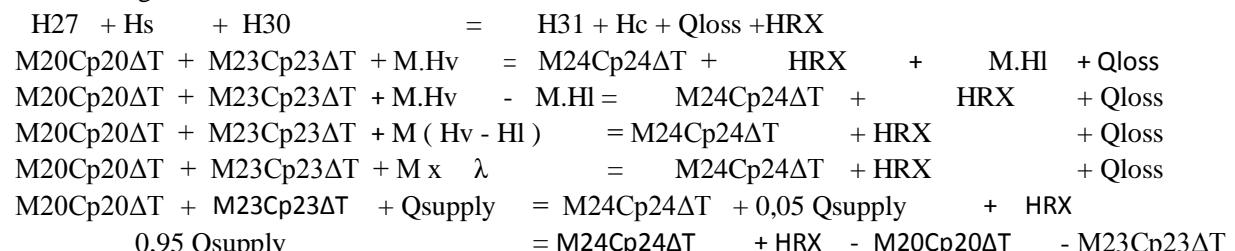
Reaksi



ΔH25

Komponen	Koefisien	Kgmol	ΔHf (kkal/kmol)	H=n.mol.ΔHf	Total
lignin	1,00	4,90	-111.661,09	-547.151,32	
Na2S2O4	1,00	4,90	-141.880,00	-695.227,22	-1.242.378,5
H2O	1,00	0,00	-68.317,40	0,00	
C10H11O4NaS	1,00	4,90	-129.306,88	-633.617,60	
NaHSO3	1,00	4,90	-183.133,00	-897.371,35	-1.530.988,9
H2O	1,00	0,00	-68.317,40	0,00	
ΣH25= produk-reaktan					-288.610,41

neraca energi overall



$$\begin{array}{lll}
 \text{Qsupply} & = & \text{M steam} \times \lambda \\
 42.166.584,75 & = & \text{M steam} \times 485,76 \\
 \text{M steam} & = & 86.805,39
 \end{array}$$

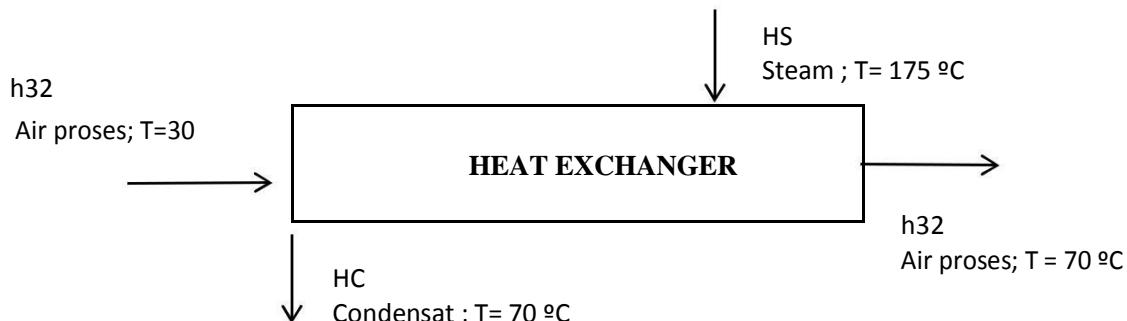
Tabel B.11 Neraca Panas Reactor H2O2

Masuk	Keluar	
h27 = Pulp	12.492.951,51	h31 = Pulp
h30 = H2O2	81.215.478,68	Q Loss
		H reaksi
Qsupply	42.166.584,75	-288.610,41

Total	135.875.014,94	Total	135.875.014,94
-------	----------------	-------	----------------

III.7 Heat Exchanger (E-262)

Fungsi : memanaskan air untuk mencuci pulp



h32 (air proses)

$$\begin{aligned}
 &= m C_p \Delta T \\
 &= m C_p (T_5 - T_{ref}) \\
 &= m C_p (30-25)
 \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	H _A = m.Cp.ΔT (Kcal)
Air	5.700.724,60	1,00	5,00	28.540.677,69
Total				28.540.677,69

h32 (air proses)

$$\begin{aligned}
 &= m C_p \Delta T \\
 &= m C_p (T_5 - T_{ref}) \\
 &= m C_p (70-25)
 \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	H _B = m.Cp.ΔT (Kcal)
Air	5.700.724,60	1,00	45,00	256.866.099,18
Total				256.866.099,18

neraca energi overall

$$\begin{aligned}
 h32 + H_s &= h32 + H_c + Q_{loss} \\
 M32Cp32\Delta T + M.H_v &= M32Cp32\Delta T + M.H_l + Q_{loss} \\
 M32Cp32\Delta T + M.H_v - M.H_l &= M32Cp32\Delta T + Q_{loss} \\
 M32Cp32\Delta T + M(H_v - H_l) &= M32Cp32\Delta T + Q_{loss} \\
 M32Cp32\Delta T + M \times \lambda &= M32Cp32\Delta T + Q_{loss} \\
 M32Cp32\Delta T + Q_{supply} &= M32Cp32\Delta T + 0,05 Q_{supply} \\
 0,95 Q_{supply} &= M32Cp32\Delta T - M32Cp32\Delta T \\
 0,95 Q_{supply} &= 228.325.421,49 \\
 Q_{supply} &= 240.342.548,94 \\
 Q_{loss} &= 12.017.127,45
 \end{aligned}$$

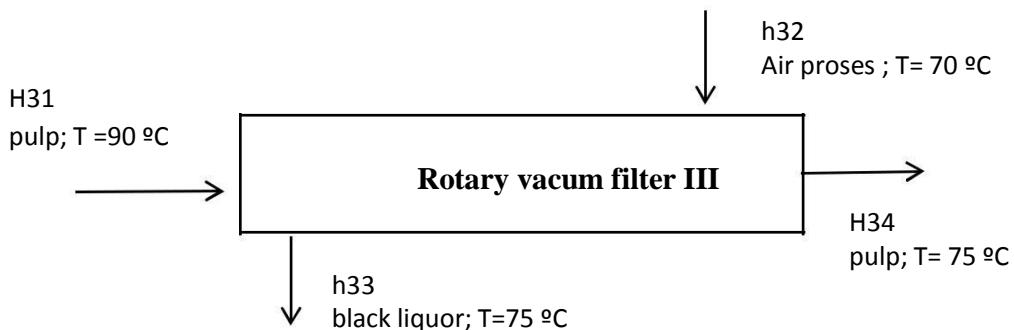
$$\begin{aligned}
 Q_{supply} &= M_{steam} \times \lambda \\
 240.342.548,94 &= M_{steam} \times 485,76 \\
 M_{steam} &= 494.776,33
 \end{aligned}$$

Tabel B.12 Neraca Panas Heat Exchanger

Masuk	Keluar
h32 = Air Proses Qsupply	28.540.677,69 240.342.548,94
Total	268.883.226,63
	Total
	268.883.226,63

III.8 Rotary vacum filter (H-260)

Fungsi : untuk memisahkan black liquor dan serat



H31 (Pulp)

$$\begin{aligned}
 &= m C_p \Delta T \\
 &= m C_p (T - T_{ref}) \\
 &= m C_p (90-25)
 \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	HA = m.Cp.ΔT (Kcal)
Serat pulp				
Selulosa	218.658,05	0,32	65,00	4.548.087,51
lignin sisa	588,01	0,32	65,00	12.195,22
Hemiselulosa	97.115,69	0,35	65,00	2.182.627,25
Air	1.941.231,51	1,00	65,00	126.344.082,25
Black liquor				
Air	88,20	1,00	65,00	5.740,58
C10H12O4	960,42	0,29	65,00	18.368,96
H2O2	21.647,94	0,67	65,00	942.644,42
Total				134.053.746,20

h32 (air proses)

$$\begin{aligned}
 &= m C_p \Delta T \\
 &= m C_p (T - T_{ref}) \\
 &= m C_p (70-25)
 \end{aligned}$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	ΔT (°C)	HD = m.Cp.ΔT (Kcal)
Air proses	5.700.724,60	1,00	45,00	256.866.099,18
Total				256.866.099,18

H34 (Pulp)

$$= m C_p \Delta T$$

$$= m C_p (T - T_{ref})$$

$$= m C_p (70-25)$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	$\Delta T (^{\circ}C)$	$H_B = m.Cp.\Delta T (Kcal)$
Serat pulp				
Selulosa	214.284,89	0,32	50,40	3.456.141,58
Ligin sisa	576,25	0,32	50,40	9.267,28
Hemiselulosa	95.173,38	0,35	50,40	1.658.602,39
Air	152.840,89	1,00	50,40	7.713.540,38
Total				12.837.551,63

h33 (air proses)

$$= m C_p \Delta T$$

$$= m C_p (T - T_{ref})$$

$$= m C_p (70-25)$$

Komponen	Massa (Kg)	Cp (Kcal/Kg C)	$\Delta T (^{\circ}C)$	$H_c = m.Cp.\Delta T (Kcal)$
Selulosa	4.373,16	0,32	50,40	70.533,50
Ligin sisa	11,76	0,32	50,40	189,13
Hemiselulosa	1.942,31	0,35	50,40	33.849,03
Air	7.489.203,42	1,00	50,40	377.963.478,44
C10H12O4	960,42	0,29	50,40	14.243,65
Total				378.082.293,75

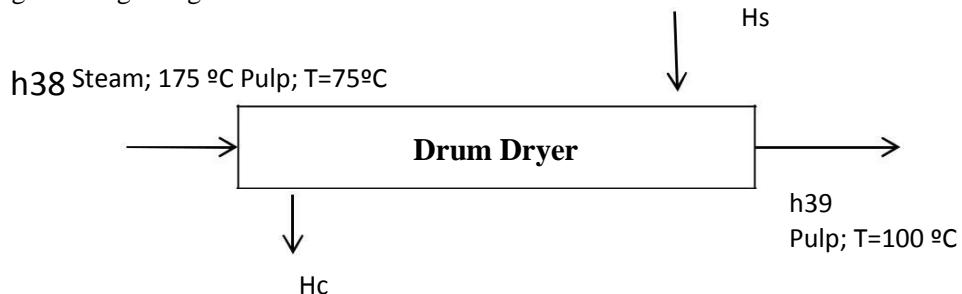
Tabel B.13 Neraca Panas Vacum Filter III

MASUK	KELUAR	
h31 = Pulp	134.053.746,20	h33 = Black liquor
h32 = Air Proses	256.866.099,18	h34 = Pulp
Total	390.919.845,38	Total
		390.919.845,38

IV Tahap Post Treatment

IV.1 Drum dryer (B-320)

Fungsi : Menghilangkan kadar air dan mencetak kertas



h38 (Pulp)

$$\begin{aligned} &= m C_p \Delta T \\ &= m C_p (T - T_{ref}) \\ &= m C_p (70-25) \end{aligned}$$

Komponen	Massa	Cp	ΔT	$H_A = m.Cp.\Delta T$
Selulosa	218.658,05	0,32	50,00	3.498.528,85
Hemiselulosa	97.115,69	0,35	50,00	1.678.944,04
Air	145.651,18	1,00	50,00	7.292.026,26
Lignin	576,25	0,32	50,00	9.193,32
Total				12.469.499,16

h39 (Kertas)

$$\begin{aligned} &= m C_p \Delta T \\ &= m C_p (T - T_{ref}) \\ &= m C_p (100-25) \end{aligned}$$

Komponen	Massa	Cp	ΔT	$H_B = m.Cp.\Delta T$
Selulosa	218.658,05	0,32	75,00	5.247.793,28
Hemiselulosa	97.115,69	0,35	75,00	2.518.416,06
Air	145.651,18	1,00	75,00	10.938.039,4
Lignin	576,25			
Total				18.704.248,7

Komponen	Massa	H _{vap}	$H = m.H_{vap}$
Uap air	129.001,18	639,60	82.509.573,2
Total			82.509.573,2

neraca energi overall

$$\begin{aligned} H_{38} + H_s &= H_{39} + H_c + Q_{loss} \\ M38Cp38\Delta T + M.Hv &= M39Cp39\Delta T + M.HI + Q_{loss} \\ M38Cp38\Delta T + M.Hv - M.HI &= M39Cp39\Delta T + Q_{loss} \\ M38Cp38\Delta T + M(Hv - HI) &= M39Cp39\Delta T + Q_{loss} \\ M38Cp38\Delta T + M \times \lambda &= M39Cp39\Delta T + Q_{loss} \\ M38Cp38\Delta T + Q_{supply} &= M39Cp39\Delta T + 0,05 Q_{supply} \\ 0,95 Q_{supply} &= M39Cp39\Delta T - M38Cp38\Delta T \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0,95 Q_{\text{supply}} &= 88.744.322,78 \\
 Q_{\text{supply}} &= 93.415.076,61 \\
 Q_{\text{loss}} &= 4.670.753,83
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{supply}} &= M_{\text{steam}} \times \lambda \\
 93.415.076,61 &= M_{\text{steam}} \times 485,76 \\
 M_{\text{steam}} &= 192.307,06
 \end{aligned}$$

Tabel B.14 Neraca Panas Drum Dryer

Masuk		Keluar	
h38 = Pulp	12.469.499,16	h39 = Kertas	18.704.248,73
Q _{supply}	93.415.076,61	Q _{loss}	4.670.753,83
		H _{vap}	82.509.573,20
Total	105.884.575,76	Total	105.884.575,76

LAMPIRAN DATA PERHITUNGAN CP DAN HF

Menghitung kapasitas panas

perhitungan Panas Menggunakan hukum kops

Tabel perhitungan kapasitas panas

Table heat Capacities of the element kJ/kmol C		
Element	Solids	Liquid
C	7,50	11,70
H	9,60	18,00
B	11,30	19,70
Si	15,90	24,30
O	16,70	25,10
F	20,90	29,30
P and S	22,60	31,00
All other	26,00	33,50

Komponen yang terdapat dalam abu	
Unsur	ΔE (kJ/kmol K)
K	28,78
Mg	22,69
Ca	28,25

1. Lignin (C₁₀H₁₂O₃)

BM 180,00

Unsur	Banyak Unsur	Cps (KJ/Kmol C)	Cpl (KJ/Kmol C)	Satuan
C	10,00	7,50	75,00	KJ/Kmol C
H	12,00	9,60	115,20	KJ/Kmol C
O	3,00	16,70	50,10	KJ/Kmol C
Total			240,30	KJ/Kmol C
Total			1,34	KJ/Kg C
Total			0,32	Kkal/Kg C

2. Hemiselulosa (C₅H₁₀O₅)

BM #

Unsur	Banyak Unsur	Cps (J/mol C)	Cp (kJ/kmol K)	Satuan
C	5,00	7,50	37,50	KJ/Kmol C
H	10,00	9,60	96,00	KJ/Kmol C
Ca	5,00	16,70	83,50	KJ/Kmol C
Total			217,00	KJ/Kmol C
Total			1,45	KJ/Kg C
Total			0,35	Kkal/Kg C

3. Cp Selulosa 0,32 kkal/Kg C → (Perry, 1999)

4. Cp CH₃COOH 85 % 0,57 kkal/Kg C → (Perry, 1999)

5. Cp Abu

BM 88,00

Unsur	Banyak Unsur	Cps (J/mol C)	Cp (kJ/kmol K)	Satuan
Mg	1,00	26,00	26,00	KJ/Kmol C
K	1,00	26,00	26,00	KJ/Kmol C
O	1,00	26,00	26,00	KJ/Kmol C
			78,00	KJ/Kmol C
Total			0,89	KJ/Kg C
			0,21	Kkal/Kg C

6. C6H3C4H9O3

BM 180,00

Unsur	Banyak Unsur	Cps (J/mol C)	Cp (kJ/kmol K)	Satuan
C	10,00	11,70	117,00	KJ/Kmol C
H	12,00	18,00	216,00	KJ/Kmol C
O	3,00	25,10	75,30	KJ/Kmol C
			408,30	KJ/Kmol C
Total			2,27	KJ/Kg C
			0,54	Kkal/Kg C

7. H2O2

BM 34,00

Unsur	Banyak Unsur	Cps (J/mol C)	Cp (kJ/kmol K)	Satuan
H	2,00	18,00	36,00	KJ/Kmol C
O	2,00	25,10	50,20	KJ/Kmol C
			86,20	KJ/Kmol C
Total			2,54	KJ/Kg C
			0,61	Kkal/Kg C

8. Na2S2O4

BM = 174,00

Unsur	Banyak Unsur	Cps (J/mol C)	Cp (kJ/kmol K)	Satuan
Na	2,00	33,50	67,00	KJ/Kmol C
S	2,00	31,00	62,00	KJ/Kmol C
O	4,00	25,10	100,40	KJ/Kmol C
			229,40	KJ/Kmol C
Total			1,32	KJ/Kg C
			0,32	Kkal/Kg C

9. (C₁₀H₁₂O₄)

BM 196,00

Unsur	Banyak Unsur	Cps (J/mol C)	Cp (kJ/kmol K)	Satuan
C	10,00	7,60	76,00	KJ/Kmol C
H	12,00	9,60	115,20	KJ/Kmol C
O	3,00	16,70	50,10	KJ/Kmol C
			241,30	KJ/Kmol C
Total			1,23	KJ/Kg C
			0,29	Kkal/Kg C

10. C₁₀H₁₁O₄NaS

BM 196,00

Unsur	Banyak Unsur	Cps (J/mol C)	Cp (kJ/kmol K)	Satuan
C	10,00	7,60	76,00	KJ/Kmol C
H	12,00	9,60	115,20	KJ/Kmol C
O	3,00	16,70	50,10	KJ/Kmol C
Na	1,00	26,00	26,00	KJ/Kmol C
S	1,00	22,60	22,60	KJ/Kmol C
			289,90	KJ/Kmol C
Total			1,48	KJ/Kg C
			0,35	Kkal/Kg C

11. NaHSO₃

BM 103,00

Unsur	Banyak Unsur	Cps (J/mol C)	Cp (kJ/kmol K)	Satuan
Na	10,00	7,60	76,00	KJ/Kmol C
H	11,00	9,60	105,60	KJ/Kmol C
S	4,00	22,60	90,40	KJ/Kmol C
O	1,00	16,70	16,70	KJ/Kmol C
			288,70	KJ/Kmol C
Total			2,80	KJ/Kg C
			0,67	Kkal/Kg C

TABLE B2 Atomic Group Contributions to Estimate DH °f 298 (Perry, 1999)

NO	Gugus Fungsi	Hf
1,00	- CH ₃	-76,45
2,00	- CH ₂ -	-20,64
3,00	- CH	8,67
4,00	= CH-	37,97
5,00	- C	79,72
6,00	- Θ-	-138,90

7,00	— C	83,99
8,00	— CO—	-33,22
9,00	— OH	-208,04
####	- COO	-333,92
####	- COOH	-426,72
####	Na	0,00
####	— S	0,00

Data Panas Pembentukan Hf

Data Hf berbagai unsur :

1. Lignin (C ₁₀ H ₁₂ O ₂)	Hf (kj/mol)	Satuan
(-OH)	-624,12	kJ/mol
(-C-)	503,94	kJ/mol
(-CH ₂ -)	-53,60	kJ/mol
(-CH)	341,73	kJ/mol
(-CH ₃)	-152,90	kJ/mol
(-CO-)	-66,44	kJ/mol
(-O-)	-415,80	kJ/mol
	-467,19	kJ/mol
Total	-111.661,09	kkal/kmol
	-620,34	kkal/kg

2. CH ₃ COOH	-186,20	kjoule/gmol
	-44,50	kkal/gmol
	-44.502,87	kkal/kgmol

3. H ₂ O	-285,84	kjoule/gmol
	-68,32	kkal/gmol
	-68.317,40	kkal/kgmol

4. C ₆ H ₃ C ₄ H ₉ O ₃	Hf(kj/mol)	Satuan
(-OH)	-416,08	kJ/mol
(-C-)	419,95	kJ/mol
(-CH ₂ -)	-53,60	kJ/mol
(-CH)	341,73	kJ/mol
(-CH ₃)	-152,90	kJ/mol
(-CO-)	-99,66	kJ/mol

(-O-)	-415,80	kJ/mol
(-CH3)	-76,45	kJ/mol
(-CO-)	-33,22	kJ/mol
	-486,03	kJ/mol
Total	-116.163,96	kkal/kmol
	-466,52	kkal/kg

5. C₁₀H₁₂O₄	Hf(kj/mol)	Satuan
(-OH)	-416,08	kJ/mol
(-C-)	503,94	kJ/mol
(-CH2-)	-53,60	kJ/mol
(-CH)	341,73	kJ/mol
(-CH3)	-152,90	kJ/mol
(-CO-)	-66,44	kJ/mol
(-O-)	-554,40	kJ/mol
	-397,75	kJ/mol
Total	-95.064,53	kkal/kmol
	-485,02	kkal/kg

6. C₁₀H₁₁O₄NaS	Hf(kj/mol)	Satuan
(-OH)	-624,12	kJ/mol
(-C-)	503,94	kJ/mol
(-CH2-)	-26,80	kJ/mol
(-CH)	379,70	kJ/mol
(-CH3)	-152,90	kJ/mol
(-CO-)	-66,44	kJ/mol
(-O-)	-554,40	kJ/mol
(-Na)	0,00	kJ/mol
(-s)	0,00	kJ/mol
	-541,02	kJ/mol
Total	-129.306,88	kkal/kmol
	-519,30	kkal/kg

7.Na₂S₂O₄

Hf -141,88 kcal/mol
 -141.880,00 kcal/kmol

8. NaHSO₃

Hf -183.133,00 kcal/kmol

APPENDIKS C

SPESIFIKASI ALAT

Kapasitas : 100000 ton/tahun = 333 ton/hari
 Operasi : 300 hari/tahun, 24 jam/hari

1. Open Yard (F-111)

Fungsi : Untuk menyimpan bahan baku
 Eceng Gondok
 Kondisi Operasi : Tekanan = 1 atm
 Temperatur = 30 °C
 $Rate\ Mass = 281262,36 \text{ kg/jam}$

Dasar Perancangan :

$Rate\ Mass = 281262,36 \text{ kg/jam}$
 $Bulk\ Density = 10 \text{ lb/cuft (table 21-4 perry)}$
 $= 160,19 \text{ kg/m}^3$
 $Rate\ Volumetrik = \frac{281262,36}{160,19}$
 $= 1755,86 \text{ m}^3/\text{jam}$
 Panjang = 50 m
 Lebar = 120 m (Ulrich, 1984)

Spesifikasi :

Fungsi : Untuk menyimpan bahan baku
 Eceng Gondok
 Kapasitas : 281262,36 kg/jam
 $Rate\ Volumetrik : 1755,86 \text{ m}^3/\text{jam}$
 Panjang : 50 m
 Lebar : 120 m
 Jumlah : 1 unit

2. Belt Conveyor (J-112)

Fungsi : Untuk mengangkut Eceng Gondok
 dari open yard menuju *rotary cutter*
 Type : Troughed belt on 45° idlers
 with rolls equal length
 Kondisi Operasi : Tekanan = 1 atm
 Temperatur = 30 °C
 $Rate\ Mass = 281262,36 \text{ kg/jam}$

Dasar Perancangan :

$Rate\ Mass = 281262,36 \text{ kg/jam}$
 $Bulk\ Density = 10 \text{ lb/cuft (table 21-4 perry)}$
 $= 160,19 \text{ kg/m}^3$
 $Rate\ Volumetrik = \frac{281262,36 \text{ kg/jam}}{160,19 \text{ kg/m}^3}$
 $= 1755,86 \text{ m}^3/\text{jam}$

Untuk belt conveyor kapasitas 290 kg/jam

(290 ton/jam), spesifikasi (perry, 1997)

Lebar Belt	=	60	cm
<i>Cross Sectional Area of Load</i>	=	0,03	m ²
Kecepatan Belt	=	122	m/min
<i>Belt Plies</i>	=	4 min.	; 7 max.
Ukuran Lump Maksimum	=	114	mm
Daya Angkat	=	3,06	hp / 3,1 m
Daya Pusat	=	3,04	hp / 30 m
Daya Tambahan untuk Tripper	=	3,5	hp

$$= 337514,83 \text{ kg/jam}$$

$$= 337,51 \text{ ton/jam Dengan}$$

kapasitas 337,51 ton/jam, maka: Kecepatan Belt(147.13/290) (147.13/290) x 122

$$= 141,99 \text{ m/min}$$

Daya Angkat	=	(20/100) x (1.36hp/3.05) x 10 m
	=	2,01 hp
Daya Pusat	=	(20/100) x (1.68hp/30.48) x 10 m
	=	0,11 hp
Daya Tambahan	=	2,5 hp
untuk Tripper		
Daya Total	=	4,62 hp

Effisiensi motor 80%, maka:

$$\text{Power Motor} = 3,69 \text{ hp} \approx 3 \text{ hp}$$

Spesifikasi :

Fungsi	:	Untuk mengangkut Eceng gondok dari open yard menuju <i>rotary cutter</i>
Type	:	<i>Troughed belt on 45° idlers with rolls equal length</i>
Ukuran Lump Max.	:	114 mm
Kapasitas	:	337,51 ton/jam
Bahan Konstruksi	:	Karet
Panjang	:	10 m
Kemiringan	:	10°
<i>Cross Sectional Area</i>	:	0,03 m ²
Lebar Belt	:	40 cm
Kecepatan Belt	:	141,99 m/min
Power Motor	:	3 hp
Jumlah	:	1 unit

3. *Rotary Cutter (C-110)*

Fungsi	:	Untuk memotong Eceng Gondok menjadi ukuran yang lebih kecil
--------	---	---

Kondisi Operasi : Tekanan	=	1	atm
Temperatur	=	30	°C
Rate Mass	=	281262,36	kg/jam
	=	78,13	kg/s
Rate Mass	=	281262,36	kg/jam
Bulk Density	=	10	lb/cuft
	=	160,19	kg/m³
Rate Volumetrik	=	<u>281262,36</u>	<u>kg/jam</u>
		160,19	kg/m³
	=	1755,86	m³/jam

Perhitungan :

Power (kW)	=	100 rh (kg/s)
	=	1,28 kW
	=	1,72 hp ≈ 6 hp

Spesifikasi :

Fungsi	:	Untuk memotong alang-alang menjadi ukuran yang lebih kecil
Rate Mass	:	281262,36 kg/jam
Rate Volumetrik	:	1755,86 m³/jam
Diameter feed max.	:	0,5 m
Power	:	6,00 hp
Jumlah	:	1 unit

4. Vibrating Screen (H-211)

Fungsi : Untuk menyaring zat *impurities* dari potongan alang-alang

Kondisi Operasi	:	Tekanan	=	1	atm
		Temperatur	=	30	°C
		Rate Mass	=	281262,36	kg/jam
			=	78,13	kg/s

Dasar Perancangan :

Rate Mass	=	281262,36	kg/jam
Bulk Density	=	10	lb/cuft
	=	160,19	kg/m³
Rate Volumetrik	=	<u>281262,36</u>	<u>kg/jam</u>
		160,19	kg/m³
	=	1755,86	m³/jam

Perhitungan :

Power (kW)	=	1600 rh (rh = kg/s)
	=	20,48 kW
	=	27,46 hp ≈ 82 hp

Spesifikasi :

Fungsi	:	Untuk menyaring zat <i>impurities</i> dari potongan alang-alang
Kapasitas	:	281262,36 kg/jam
Rate Volumetrik	:	1755,86 m ³ /jam
Panjang Vibratin	:	5 m
Lebar Vibrating	:	1,5 m
Luas Vibrating	:	7,5 m ²
Power	:	82,00 Hp
Jumlah	:	1 unit

5. Bucket Elevator (J-212)

Fungsi	:	Untuk mengangkut alang-alang dari vibrating screen ke tahap delignifikasi
Type	:	<i>Bucket elevator for continuous</i> buckets on chain
Kondisi Operasi	:	Tekanan : 1 atm Temperatur : 30,00 °C <i>Rate Mass</i> : 281262,36 kg/jam

Dasar Perancangan :

$$\begin{aligned} \text{Rate Mass} &= 281262,36 \text{ kg/jam} \\ \text{Bulk Density} &= 10 \text{ lb/cuft} \\ &= 160,19 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Rate Volumetrik} &= \frac{281262,36 \text{ kg/jam}}{160,19 \text{ kg/m}^3} \\ &= 1755,86 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Untuk bucket elevator kapasitas 100000 kg/jam,
spesifikasi (perry, 1997):

$$\begin{aligned} \text{Ukuran Bucket} &= 12 \times 7 \times 7 \frac{1}{4} \text{ in} \\ \text{Bucket Spacing} &= 18,00 \text{ in} \\ \text{Elevator Center} &= 75,00 \text{ ft} \\ \text{Head Shaft} &= 41 \text{ rpm} \\ \text{Power Head Shaft} &= 7,2 \text{ hp} \\ \text{Power Tambahan} &= 0,07 \text{ hp} \end{aligned}$$

Perhitungan :

Asumsi waktu tinggal selama 5 jam, maka:

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas} &= \text{Rate Massa} \times \text{Waktu Tinggal} \\ &= 93710,10 \times 5 \\ &= 1406311,80 \text{ kg} \end{aligned}$$

Untuk keamanan 20%, maka:

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas} &= 1 \times 1406311,80 \\ &= 1687574,16 \text{ kg} \\ &= 1687,57 \text{ ton} \end{aligned}$$

Dengan kapasitas 562,26 ton, maka:

$$\begin{aligned} \text{Head Shaft} &= (1687,57/130) \times 20 \\ &= 259,63 \text{ rpm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Power Head Shaft &= (562,26/130) \times 20 \\
 &= 259,63 \text{ rpm} \\
 Power Tambahan &= 0,07 \text{ hp} \\
 Powe Total &= 259,63 + 0,07 \\
 &= 259,70 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

Efisiensi motor 80%, maka:

$$\begin{aligned}
 Power Motor &= 324,62 \text{ hp} \\
 &\approx 109 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi:

Fungsi	:	Untuk mengangkut alang-alang dari <i>vibrating screen</i> ke tahap delignifikasi
Kapasitas	:	1687,57 ton
Bahan	:	Carbon Steel
Ukuran Bucket	:	12 x 7 x 7 1/4 in
<i>Bucket Spacing</i>	:	18,00 in
Tinggi Elevator	:	75,00 ft
Power Motor	:	109 hp
Jumlah	:	12,98 uni \approx 5 unit

6. Tangki Harian CH₃COOH (F-213)

Fungsi : Untuk menyimpan larutan

Type : Silinder dengan tutup atas dan
tutup bawah standar dishead

Kondisi Operasi : Tekanan = 1 atm
Suhu = 30 °C

Dasar Perhitungan :

Bahan Masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	ρ (kg/m ³)
CH ₃ COOH	337330,72	1	1058,20
Total	337330,72	1	1058,20

$$\rho = 1058,20 \text{ kg/m}^3 = 66,06 \text{ lb/cuft}$$

$$\mu = 1,7 \text{ cp} = 0,00 \text{ kg/ms}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rate Massa} &= 337330,72 \text{ kg/jam} \\
 &= 743679,30 \text{ lb/jam} \quad (1 \text{ kg} = 2.2046 \text{ lb})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rate Volume} &= \frac{\text{rate massa}}{\text{densitas}} \\
 &= \frac{743679,30}{66,06} \text{ lb/jam} \\
 &= 11257,05 \text{ cuft/jam}
 \end{aligned}$$

$$\text{Asumsi : Waktu 1 batch} = 5 \text{ jam}$$

$$\text{Volume larutan} = 80\% \text{ volume tangki}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Larutan} &= \text{Rate Volumetr} \times \text{waktu 1 batch} \\
 &= 11257,05 \times 5 \\
 &= 56285,25 \text{ cuft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume Tangki} &= \frac{\text{Volume Larutan}}{80\%} \\ &= 70356,56 \text{ cuft}\end{aligned}$$

Menentukan ukuran tangki dan ketebalannya :

Asumsi dimensi rasio : D/H = 4 (ulrich : tabel 4-27)

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= 1/4 \pi (D^2) H \\ 70356,56 &= 1/4 \pi (D^2) 4D \\ D &= 28,19 \text{ ft} \\ D &= 30,00 \text{ ft} = 360 \text{ in} \\ H &= 120 \text{ ft} \\ &= 120 \text{ ft} = 1440 \text{ in}\end{aligned}$$

Menentukan tebal minimum shell :

Tebal shell berdasarkan ASME Code

untuk cylindrical tank :

$$t_{\min} = \frac{P \times r_i}{fE - 0.6P} + C \quad (\text{Brownell, pers. 13-1, hal. 254})$$

dengan :

- t_{\min} = tebal shell minimum; in
- P = tekanan tangki; psi
- r_i = jari-jari tangki; in ($1/2D$)
- C = faktor korosi; in (digunakan $1/8$ in)
- E = faktor pengelasan, digunakan double welded butt joint; $E = 0.8$
- f = stress allowable, bahan konstruksi Carbon steel SA-283 grade C, maka $f = 12650$ psi

$$P_{\text{operasi}} = P_{\text{hidrostatis}}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{hidrostatis}} &= \frac{\rho \times H}{144} \\ &= 0,46 H \text{ psi}\end{aligned}$$

P design diambil 10% lebih besar dari total

untuk faktor keamanan.

$$\begin{aligned}P_{\text{design}} &= 1,1 \times P_{\text{hidrostatis}} \\ &= 0,50 H \text{ psi}\end{aligned}$$

$$r = 1/2 D$$

$$\begin{aligned}r &= 1/2 \times 360 \\ &= 180 \text{ in}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{\min} &= \frac{0,50 H \times 180}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,50 H)} + 0,125 \\ &= \frac{10900,47}{10084} + 0,125 \\ &= 1,21 \text{ in} = 2 \frac{1}{2} \text{ in}\end{aligned}$$

$$L = \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n}$$

$$= \quad 9,47 \quad \text{ft}$$

Course 2

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{0.50 H \times 180}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.50 H)} + 0,125 \\ &= \frac{10173,77}{10086,4} + 0,125 \\ &= 1,13 \text{ in} = 2 \frac{3}{8} \text{ in} \\ L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ &= 9,47 \text{ ft} \end{aligned}$$

Course 3

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{0.50 H \times 180}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.50 H)} + 0,125 \\ &= \frac{9447,07}{10088,8} + 0,125 \\ &= 1,06 \text{ in} = 2 \frac{1}{4} \text{ in} \\ L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ &= 9,47 \text{ ft} \end{aligned}$$

Course 4

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{0.50 H \times 180}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.50 H)} + 0,125 \\ &= \frac{8720,37}{10091,2} + 0,125 \\ &= 0,99 \text{ in} = 2 \frac{1}{5} \text{ in} \\ L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ &= 9,46 \text{ ft} \end{aligned}$$

Course 5

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{0.50 H \times 180}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.55 H)} + 0,125 \\ &= \frac{11627,16}{10081,6} + 0,125 \\ &= 1,28 \text{ in} = 2 \frac{1}{5} \text{ in} \\ L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ &= 9,46 \text{ ft} \end{aligned}$$

Course 6

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{0.50 H \times 180}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.50 H)} + 0,125 \\ &= \frac{7266,98}{10096} + 0,125 \\ &= 0,84 \text{ in} = 2 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ &= 9,46\text{ft} \end{aligned}$$

Course 7

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{0.50 H \times 180}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.50 H)} + 0,125 \\ &= \frac{6540,28}{10098,4} + 0,125 \\ &= 0,77 \text{ in} = 1 \frac{7}{8} \text{ in} \\ L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ &= 9,46\text{ft} \end{aligned}$$

Course 8

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{0.50 H \times 180}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.5 H)} + 0,125 \\ &= \frac{5813,58}{10100,8} + 0,125 \\ &= 0,70 \text{ in} = 1 \frac{3}{4} \text{ in} \\ L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ &= 9,45\text{ft} \end{aligned}$$

Course 9

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{0.50 H \times 180}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.5 H)} + 0,125 \\ &= \frac{5086,88}{10103,2} + 0,125 \\ &= 0,63 \text{ in} = 1 \frac{5}{8} \text{ in} \\ L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ &= 9,45\text{ft} \end{aligned}$$

Course 10

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{0.50 H \times 180}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.5 H)} + 0,125 \\ &= \frac{4360,19}{10105,6} + 0,125 \\ &= 0,56 \text{ in} = 1 \frac{1}{2} \text{ in} \\ L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ &= 9,45\text{ft} \end{aligned}$$

Course 11

$$t_{\min} = \frac{0.50 H \times 180}{12650 \times 0.8} + 0,125$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.5 H)}{10108} + 0,125 \\
 &= 0,48 \text{ in} = 1 \frac{3}{8} \text{ in} \\
 L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\
 &= 9,44 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Course 12

$$\begin{aligned}
 t_{\min} &= \frac{0,50 H \times 180}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.5 H)} + 0,125 \\
 &= \frac{2906,79}{10110,4} + 0,125 \\
 &= 0,41 \text{ in} = 1 \frac{1}{3} \text{ in} \\
 L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\
 &= 9,44 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Course 13

$$\begin{aligned}
 t_{\min} &= \frac{0,50 H \times 180}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.5 H)} + 0,125 \\
 &= \frac{2180,09}{10112,8} + 0,125 \\
 &= 0,34 \text{ in} = \#\# \text{ in} \\
 L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\
 &= 9,44 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Course 14

$$\begin{aligned}
 t_{\min} &= \frac{0,50 H \times 180}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.5 H)} + 0,125 \\
 &= \frac{1453,40}{10115,2} + 0,125 \\
 &= 0,27 \text{ in} = \#\# \text{ in} \\
 L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\
 &= 9,44 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Course 15

$$\begin{aligned}
 t_{\min} &= \frac{0,50 H \times 180}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.5 H)} + 0,125 \\
 &= \frac{726,70}{10117,6} + 0,125 \\
 &= 0,20 \text{ in} = 1 \text{ in} \\
 L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\
 &= 9,43 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$OD = ID + 2t = 362,00 \text{ in}$$

Menurut standar ASME nilai OD terbesar adalah 240 in, sehingga tangki dibuat menjadi 13 buah untuk memenuhi standar nilai OD.

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki} &= \frac{70356,56}{4} \\ &= 17589,14 \text{ cuft} \end{aligned}$$

Menentukan ukuran tangki dan ketebalannya :

Asumsi dimensi rasio : $H/D = 4$ (ulrich : tabel 4-27)

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= 1/4 \pi (D^2) H \\ 17589,14 &= 1/4 \pi (D^2) 4D \\ D &= 17,76 \text{ ft} \\ D &\approx 18,00 \text{ ft} = 216 \text{ in} \\ H &= 72 \text{ ft} = 864 \text{ in} \end{aligned}$$

Menentukan tebal minimum shell :

Tebal shell berdasarkan ASME Code

untuk cylindrical tank :

$$t_{\min} = \frac{P \times r_i}{fE - 0.6P} + C \quad (\text{Brownell, pers. 13-1, hal. 254})$$

dengan :

- t_{\min} = tebal shell minimum; in
- P = tekanan tangki; psi
- r_i = jari-jari tangki; in ($1/2D$)
- C = faktor korosi; in (digunakan $1/8$ in)
- E = faktor pengelasan, digunakan double welded butt joint; E = 0.8
- f = stress allowable, bahan konstruksi Carbon steel SA-283 grade C, maka f = 12650 psi

$$P_{\text{operasi}} = P_{\text{hidrostatis}}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{hidrostatis}} &= \frac{\rho \times H}{144} \\ &= 0,46 \text{ H psi} \end{aligned}$$

P design diambil 10% lebih besar dari total untuk faktor keamanan.

$$\begin{aligned} P_{\text{design}} &= 1,1 \times P_{\text{hidrostatis}} \\ &= 0,50 \text{ H psi} \end{aligned}$$

$$r = 1/2 D$$

$$\begin{aligned} r &= 1/2x \\ &= 216 \\ &= 108 \text{ in} \end{aligned}$$

Course 1

$$t_{\min} = \frac{0,50 H \times 108}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,50 H)} + 0,125$$

$$= \frac{981,04}{10114,6} + 0,125 \\ = 0,22 \text{ in} = 5/8 \text{ in}$$

$$L = \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ = 5,66 \text{ ft}$$

Course 2

$$t_{\min} = \frac{0,50 H \times 108}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,50 H)} + 0,125 \\ = \frac{3488,15}{10100,8} + 0,125 \\ = 0,47 \text{ in} = 1/2 \text{ in}$$

$$L = \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ = 5,65 \text{ ft}$$

Course 3

$$t_{\min} = \frac{0,50 H \times 108}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,50 H)} + 0,125 \\ = \frac{3052,13}{10103,2} + 0,125 \\ = 0,43 \text{ in} = 7/16 \text{ in}$$

$$L = \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ = 5,65 \text{ ft}$$

Course 4

$$t_{\min} = \frac{0,50 H \times 108}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,50 H)} + 0,125 \\ = \frac{2616,11}{10105,6} + 0,125 \\ = 0,38 \text{ in} = 7/16 \text{ in}$$

$$L = \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ = 5,65 \text{ ft}$$

Course 5

$$t_{\min} = \frac{0,50 H \times 108}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,50 H)} + 0,125 \\ = \frac{2180,09}{10108} + 0,125 \\ = 0,34 \text{ in} = 3/8 \text{ in}$$

$$L = \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ = 5,65 \text{ ft}$$

Course 6

$$\begin{aligned}
 t_{\min} &= \frac{0.50 H \times 108}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.50 H)} + 0,125 \\
 &= \frac{1744,07}{10110,4} + 0,125 \\
 &= 0,30 \text{ in} = 5/16 \text{ in} \\
 L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\
 &= 5,65 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Course 7

$$\begin{aligned}
 t_{\min} &= \frac{0.50 H \times 108}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.50 H)} + 0,125 \\
 &= \frac{1308,06}{10112,8} + 0,125 \\
 &= 0,25 \text{ in} = 1/4 \text{ in} \\
 L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\
 &= 5,65 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Course 8

$$\begin{aligned}
 t_{\min} &= \frac{0.50 H \times 108}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.50 H)} + 0,125 \\
 &= \frac{872,04}{10115,2} + 0,125 \\
 &= 0,21 \text{ in} = 1/4 \text{ in} \\
 L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\
 &= 5,65 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Course 9

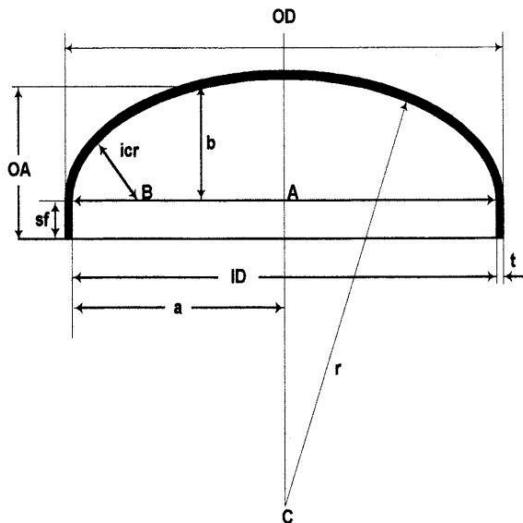
$$\begin{aligned}
 t_{\min} &= \frac{0.50 H \times 108}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.50 H)} + 0,125 \\
 &= \frac{436,02}{10117,6} + 0,125 \\
 &= 0,17 \text{ in} = 3/16 \text{ in} \\
 L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\
 &= 5,64 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$OD = ID + 2t = 216,38 \text{ in}$$

Distandarkan menurut ASME, OD = 228 in

Menentukan tebal Head dan Dishead

Bentuk head = Standard dishead (torispherical dishead head)



Tebal head dihitung dengan persamaan 13.12

Brownell-Young

$$th = \frac{0.855 P r}{f E - 0.1 P} + C$$

Dari tabel 5.7 Brownell-Young :

$$icr = 13 \frac{3}{4}$$

$$r = 180$$

$$\begin{aligned} P \text{ hidrostatis} &= \frac{\rho \times H}{144} \\ &= 0,46 \text{ H psi} \end{aligned}$$

P design diambil 10% lebih besar dari P total

untuk faktor keamanan.

$$\begin{aligned} P \text{ design} &= 1,1 \times P \text{ hidrostatis} \\ &= 0,50 \text{ H psi} \\ &= 4,04 \text{ psi} \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} th &= \frac{0.855 \times 4.04 \times 180}{(12650 \times 0.8) - (0.1 \times 4.04)} + 0,125 \\ &= 0,19 \text{ in (digunakan tebal standar } 1/4 \text{ in)} \end{aligned}$$

$$OD = 228 \text{ in} = 19 \text{ ft}$$

$$ID = OD \text{ tangki} - 2 th$$

$$\text{ tutup} = 227,5 \text{ in}$$

$$a = \frac{ID}{2}$$

$$= 113,75 \text{ in}$$

$$BC = r - icr$$

$$= 166,25 \text{ in}$$

$$\begin{aligned}
 AB &= \frac{ID}{2} - icr \\
 &= 100 \quad \text{in} \\
 AC &= \sqrt{BC^2 - AB^2} \\
 &= 132,81 \text{ in} \\
 b &= r - AC \\
 &= 47,19 \quad \text{in} \\
 OA_1 &= th + b + sf \\
 &= 48,94 \quad \text{in}
 \end{aligned}$$

OA

Dipakai tebal head = 1/4 in (tabel 5.7 Brownell-Young)

$$\frac{icr}{OD} = \frac{13 \frac{3}{4}}{228} = 0,06 = 6\%$$

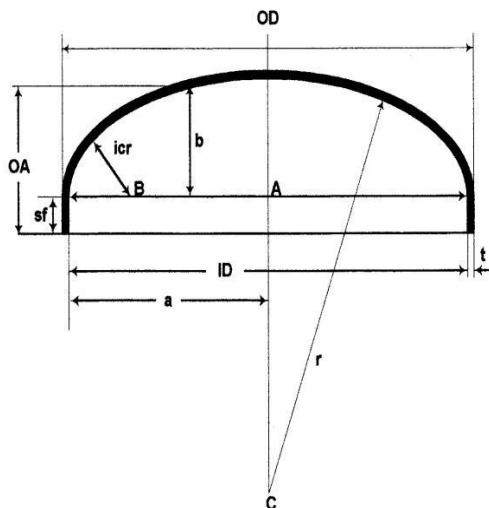
Untuk rasio icr terhadap OD sekitar 6%, dengan persamaan 5.11 Brownell-Young dihitung volume head :

$$V = 0.000049 \times (Di)^3$$

dimana : V = Volume, ft^3
 Di = Diameter, in

$$\begin{aligned}
 V &= 0.000049 \times (Di)^3 \\
 &= 493,81 \quad \text{ft}^3 \\
 &= 13,98 \quad \text{m}^3
 \end{aligned}$$

Bentuk dishead = Standard dishead (torispherical dishead head)



Tebal head dihitung dengan persamaan 13.12

Brownell-Young

$$th = \frac{0.855 P r}{f E - 0.1 P} + C$$

Dari tabel 5.7 Brownell-Young :

$$icr = 13 \frac{3}{4}$$

$$r = 180$$

$$P \text{ hidrostatik} = \underline{\rho \times H}$$

$$\frac{144}{= 0,46 \text{ H psi}}$$

P design diambil 10% lebih besar dari P total untuk faktor keamanan.

$$\begin{aligned} P \text{ design} &= 1,1 \times P \text{ hidrostatis} \\ &= 0,50 \text{ H psi} \\ &= 36,33 \text{ psi} \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} th &= \frac{0,855 \times 36,33 \times 180}{(12650 \times 0,8) - (0,1 \times 36,33)} + 0,125 \\ &= 0,68 \text{ in (digunakan tebal standar } 3/4 \text{ in)} \end{aligned}$$

$$OD = 228 \text{ in} = 19 \text{ ft}$$

$$ID = OD \text{ tangki} - 2 th$$

$$\text{tutup} = 226,5 \text{ in}$$

$$a = \frac{ID}{2}$$

$$= 113,25 \text{ in}$$

$$BC = r - icr$$

$$= 166,25 \text{ in}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr$$

$$= 99,50 \text{ in}$$

$$AC = \sqrt{BC^2 - AB^2}$$

$$= 133,19 \text{ in}$$

$$b = r - AC$$

$$= 46,81 \text{ in}$$

$$OA2 = th + b + sf$$

$$= 49,06 \text{ in}$$

Dipakai tebal head = 3/4 in (tabel 5.7 Brownell-Young)

$$\frac{icr}{OD} = \frac{13 \frac{3}{4}}{228} = 0,06 = 6\%$$

Untuk rasio icr terhadap OD sekitar 6%, dengan persamaan 5.11 Brownell-Young dihitung volume head :

$$V = 0,000049 \times (Di)^3$$

dimana : V = Volume, ft^3

Di = Diameter, in

$$V = 0,000049 \times (Di)^3$$

$$= 493,81 \text{ ft}^3$$

$$= 13,98 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi Tangki} &= H + OA1 + OA2 \\ &= 962,00 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi :

Fungsi	:	Untuk menyimpan larutan	
<small>CH₃COOH 8%</small>			
Type	:	Silinder dengan tutup atas dan tutup bawah standar dishead	
Kapasitas	:	17589,14	cuft
Tinggi	:	962,00	in
Diameter			
- Inside Diameter	:	216	in
- Outside Diameter	:	228	in
Tebal Shell			
- Course 1	:	5/8	in
- Course 2	:	1/2	in
- Course 3	:	7/16	in
- Course 4	:	7/16	in
- Course 5	:	3/8	in
- Course 6	:	5/16	in
- Course 7	:	1/4	in
- Course 8	:	1/4	in
- Course 9	:	3/16	in
Tebal tutup atas	:	1/4	in
Tebal tutup bawah	:	3/4	in
Bahan Konstruksi	:	Carbon steel SA-283 grade C	
Jumlah	:	9	unit

7. Blow Tank (F-222)

Fungsi	:	Untuk menyimpan sementara bubur pulp setelah proses delignifikasi
Type	:	Silinder dengan tutup atas dan tutup bawah standar dishead
Kondisi Operasi	:	Tekanan = 1 atm Suhu = 170 °C

Perhitungan :**Bahan Masuk :**

Komponen	Rate Mass	Fraksi	ρ	$x^*\rho$
Selulosa	11233,11	0,03	1500	46,71
Ligin sisa	279,70	0,00	1260	0,98
Hemiselulosa	2771,73	0,01	1450	11,14
Air pada serat	251,73	0,00	897	0,63
Aseto ligninat sisa	3104,71	0,01	1260	10,84
CH ₃ COOH sisa	285892,00	0,79	1068,8	847,01
Abu	4275,67	0,01	801	9,49
Air sisa	52944,06	0,15	897	131,64
TOTAL	360752,72	1,00		1058,44

$$\begin{aligned}\rho \text{ campuran} &= 1058,44 \text{ kg/m}^3 \\ &= 66,08 \text{ lb/cuft}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mu \text{ campuran} &= 5,065 \text{ cp} \\
 &= 0,005065 \text{ kg/m.s} \\
 Rate Mass &= 360752,72 \text{ kg/jam} \\
 &= 795315,44 \text{ lb/jam} \\
 Rate Volumetrik &= \frac{rate mass}{densitas} \\
 &= \frac{795315,44}{66,08} \text{ lb/jam} \\
 &= 12035,91 \text{ cuft/jam}
 \end{aligned}$$

Asumsi : Waktu tinggal = 5 jam
 Volume larutan = 80%

$$\begin{aligned}
 Volume \text{ larutan} &= Rate Volumetrik \times Waktu \text{ tinggal} \\
 &= 12035,91 \times 5 \\
 &= 60179,55824 \text{ cuft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Volume \text{ Tangki} &= \frac{Volume \text{ larutan}}{80\%} \\
 &= 75224,45 \text{ cuft}
 \end{aligned}$$

Menentukan ukuran tangki dan ketebalannya :

Asumsi dimensi rasio : H/D = 4 (ulrich : tabel 4-27)

$$\begin{aligned}
 Volume &= 1/4 \pi (D^2) H \\
 75224,45 &= 1/4 \pi (D^2) 4D \\
 D &= 28,83 \text{ ft} \\
 D &= 30,00 \text{ ft} = 360 \text{ in} \\
 H &= 120 \text{ ft} = 1440 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Menentukan tebal minimum shell :

Tebal shell berdasarkan ASME Code

untuk cylindrical tank :

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fE - 0.6P} + C \quad (\text{Brownell, pers. 13-1, hal. 254})$$

dengan :

- t_{min} = tebal shell minimum; in
- P = tekanan tangki; psi
- ri = jari-jari tangki; in ($1/2D$)
- C = faktor korosi; in (digunakan 1/8 in)
- E = faktor pengelasan, digunakan double welded butt joint; E = 0.8
- f = stress allowable, bahan konstruksi Carbon steel SA-283 grade C, maka f = 12650 psi

$$P \text{ operasi} = P \text{ hidrostatis}$$

$$\begin{aligned}
 P \text{ hidrostatis} &= \frac{\rho \times H}{144} \\
 &= 0,46 \text{ H psi}
 \end{aligned}$$

P design diambil 10% lebih besar dari total untuk faktor keamanan.

$$\begin{aligned} P_{\text{design}} &= 1,1 \times P_{\text{hidrostatis}} \\ &= 0,50 H \text{ psi} \end{aligned}$$

$$r = 1/2 D$$

$$\begin{aligned} r &= 1/2x \quad 360 \\ &= 180 \text{ in} \end{aligned}$$

Perhitungan tebal shell pada tiap course :

Course 1

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{0,51 H \times 180}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,51 H)} + 0,125 \\ &= \frac{10902,96}{10083,28} + 0,125 \\ &= 1,21 \text{ in} = 2 \frac{1}{2} \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ &= 9,47 \text{ ft} \end{aligned}$$

Course 2

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{0,51 H \times 180}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,51 H)} + 0,125 \\ &= \frac{10176,09}{10085,728} + 0,125 \\ &= 1,13 \text{ in} = 2 \frac{3}{8} \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ &= 9,47 \text{ ft} \end{aligned}$$

Course 3

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{0,51 H \times 180}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,51 H)} + 0,125 \\ &= \frac{9449,23}{10088,176} + 0,125 \\ &= 1,06 \text{ in} = 2 \frac{1}{3} \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ &= 9,47 \text{ ft} \end{aligned}$$

Course 4

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{0,51 H \times 180}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,51 H)} + 0,125 \\ &= \frac{8722,37}{10090,624} + 0,125 \\ &= 0,99 \text{ in} = 2 \frac{1}{5} \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ &= 9,47 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$= \quad 9,46 \quad \text{ft}$$

Course 5

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{0.51 H \times 180}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.51 H)} + 0,125 \\ &= \frac{7995,50}{10093,072} + 0,125 \\ &= 0,92 \text{ in} = \#\#\# \text{ in} \\ L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ &= 9,46 \text{ ft} \end{aligned}$$

Course 6

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{0.51 H \times 180}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.51 H)} + 0,125 \\ &= \frac{7268,64}{10095,52} + 0,125 \\ &= 0,84 \text{ in} = 2 \text{ in} \\ L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ &= 9,46 \text{ ft} \end{aligned}$$

Course 7

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{0.51 H \times 180}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.51 H)} + 0,125 \\ &= \frac{6541,78}{10097,968} + 0,125 \\ &= 0,77 \text{ in} = 1 \frac{7}{8} \text{ in} \\ L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ &= 9,46 \text{ ft} \end{aligned}$$

Course 8

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{0.51 H \times 180}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.51 H)} + 0,125 \\ &= \frac{5814,91}{10100,416} + 0,125 \\ &= 0,70 \text{ in} = 1 \frac{3}{4} \text{ in} \\ L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ &= 9,45 \text{ ft} \end{aligned}$$

Course 9

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{0.51 H \times 264}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.51 H)} + 0,125 \\ &= \frac{5088,05}{10102,864} + 0,125 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,63 \text{ in} = 1 \frac{5}{8} \text{ in} \\
 L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\
 &= 9,45 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Course 10

$$\begin{aligned}
 t_{\min} &= \frac{0,51 H \times 180}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,51 H)} + 0,125 \\
 &= \frac{4361,18}{10105,312} + 0,125 \\
 &= 0,56 \text{ in} = 1 \frac{5}{8} \text{ in} \\
 L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\
 &= 9,45 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Course 11

$$\begin{aligned}
 t_{\min} &= \frac{0,51 H \times 264}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,51 H)} + 0,125 \\
 &= \frac{3634,32}{10107,76} + 0,125 \\
 &= 0,48 \text{ in} = 1 \frac{1}{2} \text{ in} \\
 L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\
 &= 9,45 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Course 12

$$\begin{aligned}
 t_{\min} &= \frac{0,51 H \times 180}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,51 H)} + 0,125 \\
 &= \frac{2907,46}{10110,208} + 0,125 \\
 &= 0,41 \text{ in} = 1 \frac{1}{3} \text{ in} \\
 L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\
 &= 9,44 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Course 13

$$\begin{aligned}
 t_{\min} &= \frac{0,51 H \times 180}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,51 H)} + 0,125 \\
 &= \frac{2180,59}{10112,656} + 0,125 \\
 &= 0,34 \text{ in} = 1 \frac{1}{4} \text{ in} \\
 L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\
 &= 9,44 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Course 14

$$\begin{aligned}
 t_{\min} &= \frac{0.51 H \times 180}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.51 H)} + 0,125 \\
 &= \frac{1453,73}{10115,104} + 0,125 \\
 &= 0,27 \text{ in} = 1 \frac{1}{5} \text{ in} \\
 L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\
 &= 9,44 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Course 15

$$\begin{aligned}
 t_{\min} &= \frac{0.51 H \times 180}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 0.51 H)} + 0,125 \\
 &= \frac{726,86}{10117,552} + 0,125 \\
 &= 0,20 \text{ in} = 1 \text{ in} \\
 L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\
 &= 9,43 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$OD = ID + 2t = 362,00 \text{ in}$$

Menurut standar ASME nilai OD terbesar adalah 240 in, sehingga tangki dibuat menjadi 12 buah untuk memenuhi standar nilai OD.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume tangki} &= \frac{75224,45}{4} \\
 &= 18806,11 \text{ cuft}
 \end{aligned}$$

Menentukan ukuran tangki dan ketebalannya :

Asumsi dimensi rasio : $H/D = 4$ (ulrich : tabel 4-27)

$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= 1/4 \pi (D^2) H \\
 18806,11 &= 1/4 \pi (D^2) 4D \\
 D &= 18,16 \text{ ft} \\
 D &\approx 19,00 \text{ ft} = 228 \text{ in} \\
 H &= 76 \text{ ft} \\
 &\approx 80,00 \text{ ft} = 960 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Menentukan tebal minimum shell :

Tebal shell berdasarkan ASME Code

untuk cylindrical tank :

$$t_{\min} = \frac{P \times r_i}{fE - 0.6P} + C \quad (\text{Brownell, pers. 13-1, hal. 254})$$

dengan :

- t_{\min} = tebal shell minimum; in
- P = tekanan tangki; psi
- r_i = jari-jari tangki; in ($1/2D$)
- C = faktor korosi; in (digunakan $1/8$ in)
- E = faktor pengelasan, digunakan double welded

butt joint; $E = 0.8$

f = stress allowable, bahan konstruksi Carbon steel SA-283 grade C, maka $f = 12650$ psi

$$P_{\text{operasi}} = P_{\text{hidrostatis}}$$

$$P_{\text{hidrostatis}} = \frac{\rho \times H}{144}$$

$$= 0,46 \text{ H psi}$$

P design diambil 10% lebih besar dari total untuk faktor keamanan.

$$P_{\text{design}} = 1,1 \times P_{\text{hidrostatis}}$$

$$= 0,50 \text{ H psi}$$

$$r = 1/2 D$$

$$r = 1/2x \quad 228$$

$$= 114 \text{ in}$$

Course 1

$$t_{\min} = \frac{0,51 H \times 114}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,51 H)} + 0,125$$

$$= \frac{4603,47}{10096} + 0,125$$

$$= 0,58 \text{ in} = 5/8 \text{ in}$$

$$L = \pi \frac{(D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n}$$

$$= 5,97 \text{ ft}$$

Course 2

$$t_{\min} = \frac{0,51 H \times 114}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,51 H)} + 0,125$$

$$= \frac{4143,12}{10098,4} + 0,125$$

$$= 0,54 \text{ in} = 5/8 \text{ in}$$

$$L = \pi \frac{(D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n}$$

$$= 5,97 \text{ ft}$$

Course 3

$$t_{\min} = \frac{0,51 H \times 114}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,51 H)} + 0,125$$

$$= \frac{3682,78}{10100,8} + 0,125$$

$$= 0,49 \text{ in} = 1/2 \text{ in}$$

$$L = \pi \frac{(D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n}$$

$$= 5,97 \text{ ft}$$

Course 4

$$\begin{aligned}
 t_{\min} &= \frac{0,51 H \times 114}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,51 H)} + 0,125 \\
 &= \frac{3222,43}{10100,8} + 0,125 \\
 &= 0,44 \text{ in} = 1/2 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\
 &= 5,97 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Course 5

$$\begin{aligned}
 t_{\min} &= \frac{0,51 H \times 114}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,51 H)} + 0,125 \\
 &= \frac{2762,08}{10103,2} + 0,125 \\
 &= 0,40 \text{ in} = 7/16 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\
 &= 5,96 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Course 6

$$\begin{aligned}
 t_{\min} &= \frac{0,51 H \times 114}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,51 H)} + 0,125 \\
 &= \frac{2301,74}{10108} + 0,125 \\
 &= 0,35 \text{ in} = 3/8 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\
 &= 5,96 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Course 7

$$\begin{aligned}
 t_{\min} &= \frac{0,51 H \times 114}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,51 H)} + 0,125 \\
 &= \frac{1841,39}{10110,4} + 0,125 \\
 &= 0,31 \text{ in} = 5/16 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\
 &= 5,96 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Course 8

$$\begin{aligned}
 t_{\min} &= \frac{0,51 H \times 114}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,51 H)} + 0,125 \\
 &= \frac{1381,04}{10112,8} + 0,125 \\
 &= 0,26 \text{ in} = 5/16 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{12 \times n}{5,96} \text{ ft}$$

Course 9

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{0,51 H \times 114}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,51 H)} + 0,125 \\ &= \frac{920,69}{10115,2} + 0,125 \\ &= 0,22 \text{ in} = 1/4 \text{ in} \\ L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ &= 5,96 \text{ ft} \end{aligned}$$

Course 10

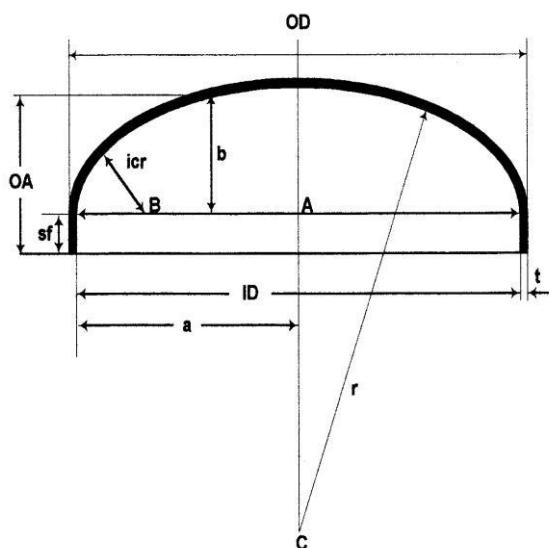
$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{0,51 H \times 114}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 0,51 H)} + 0,125 \\ &= \frac{460,35}{10117,6} + 0,125 \\ &= 0,17 \text{ in} = 3/16 \text{ in} \\ L &= \frac{\pi \times (D + \text{tebal shell}) - \text{panjang las}}{12 \times n} \\ &= 5,96 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$OD = ID + 2t = 228,38 \text{ in}$$

Distanckan menurut ASME, OD=240 in

Menentukan tebal Head dan Dishead

Bentuk head = Standard dishead (torispherical dishead head)



Tebal head dihitung dengan persamaan 13.12

Brownell-Young

$$th = \underline{0,855 P r + C}$$

$$\overline{f E - 0.1 P}$$

Dari tabel 5.7 Brownell-Young :

$$icr = 14 \frac{7}{16}$$

$$r = 180$$

$$P_{\text{hidrostatis}} = \frac{\rho \times H}{144}$$

$$= 0,46 \text{ H psi}$$

P design diambil 10% lebih besar dari P total

untuk faktor keamanan.

$$P_{\text{design}} = 1,1 \times P_{\text{hidrostatis}}$$

$$= 0,50 \text{ H psi}$$

$$= 4,04 \text{ psi}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} th &= \frac{0.855 \times 4.04 \times 180}{(12650 \times 0.8) - (0.1 \times 4.04)} + 0,125 \\ &= 0,19 \text{ in (digunakan tebal standar } 1/4 \text{ in)} \end{aligned}$$

$$OD = 240 \text{ in} = 20 \text{ ft}$$

$$ID = OD \text{ tangki} - 2 th$$

$$\text{tutup} = 239,5 \text{ in}$$

$$a = \frac{ID}{2}$$

$$= 119,75 \text{ in}$$

$$BC = r - icr$$

$$= 165,56 \text{ in}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr$$

$$= 105,31 \text{ in}$$

$$AC = \sqrt{BC^2 - AB^2}$$

$$= 127,75 \text{ in}$$

$$b = r - AC$$

$$= 52,25 \text{ in}$$

$$OA1 = th + b + sf$$

$$= 54,00 \text{ in}$$

Dipakai tebal head = 1/4 in (tabel 5.7 Brownell-Young)

$$\frac{icr}{OD} = \frac{14 \frac{7}{16}}{240} = 0,06 = 6\%$$

Untuk rasio icr terhadap OD sekitar 6%, dengan

persamaan 5.11 Brownell-Young dihitung volume head :

$$V = 0.000049 \times (Di)^3$$

dimana : V = Volume, ft^3

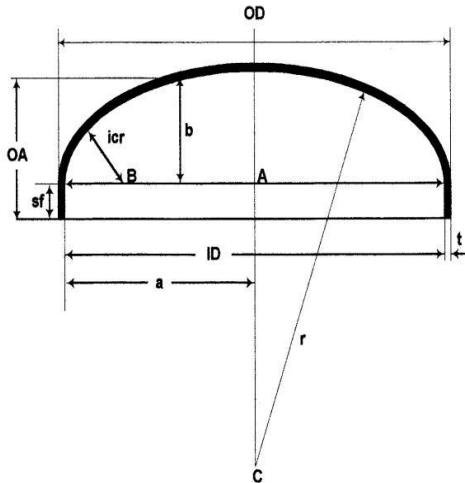
Di = Diameter, in

$$V = 0.000049 \times (Di)^3$$

$$= 580,77 \text{ ft}^3$$

$$= 16,45 \text{ m}^3$$

Bentuk dishead = Standard dishead (torispherical
dishead head)



Tebal head dihitung dengan persamaan 13.12

Brownell-Young

$$\text{th} = \frac{0.855 P r}{f E - 0.1 P} + C$$

Dari tabel 5.7 Brownell-Young :

$$\text{icr} = 14 \frac{7}{16}$$

$$r = 180$$

$$\begin{aligned} \text{P hidrostatis} &= \frac{\rho \times H}{144} \\ &= 0,46 H \text{ psi} \end{aligned}$$

P design diambil 10% lebih besar dari P total

untuk faktor keamanan.

$$\begin{aligned} \text{P design} &= 1,1 \times \text{P hidrostatis} \\ &= 0,50 H \text{ psi} \\ &= 40,38 \text{ psi} \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{th} &= \frac{0.855 \times 40.78 \times 180}{(12650 \times 0.8) - (0.1 \times 40.78)} + 0,125 \\ &= 0,74 \text{ in} \text{ (digunakan tebal standar } 3/4 \text{ in)} \end{aligned}$$

$$\text{OD} = 240 \text{ in} = 20 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = \text{OD tangki} - 2 \text{ th}$$

$$\text{tutup} = 238,5 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{ID}}{2} \\ &= 119,25 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BC} &= r - \text{icr} \\ &= 165,56 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\text{AB} = \underline{\text{ID}} - \text{icr}$$

$$\begin{aligned}
 AC &= \sqrt{\frac{2}{BC - AB}} \\
 &= \sqrt{\frac{2}{240 - 191,16}} \\
 &= 128,16 \text{ in} \\
 b &= r - AC \\
 &= 228 - 128,16 \\
 OA2 &= th + b + sf \\
 &= 54,09 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Dipakai tebal head = 3/4 in (tabel 5.7 Brownell-Young)

$$\frac{icr}{OD} = \frac{14}{240} = \frac{7/16}{240} = 0,06 = 6\%$$

Untuk rasio icr terhadap OD sekitar 6%, dengan persamaan 5.11 Brownell-Young dihitung volume head :

$$V = 0,000049 \times (Di)^3$$

dimana : V = Volume, ft³
 Di = Diameter, in

$$\begin{aligned}
 V &= 0,000049 \times (Di)^3 \\
 &= 580,77 \text{ ft}^3 \\
 &= 16,45 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi Tangki} = H &= \text{OA1} + \text{OA2} \\
 &= 1068,09 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi :

Fungsi : Untuk menyimpan sementara bubur pulp setelah proses delignifikasi

Type : Silinder dengan tutup atas dan tutup bawah standar dishead

Kapasitas : 18806,11 cuft

Tinggi : 1068,09 in

Diameter

- Inside Diameter : 228 in
- Outside Diameter : 240 in

Tebal Shell

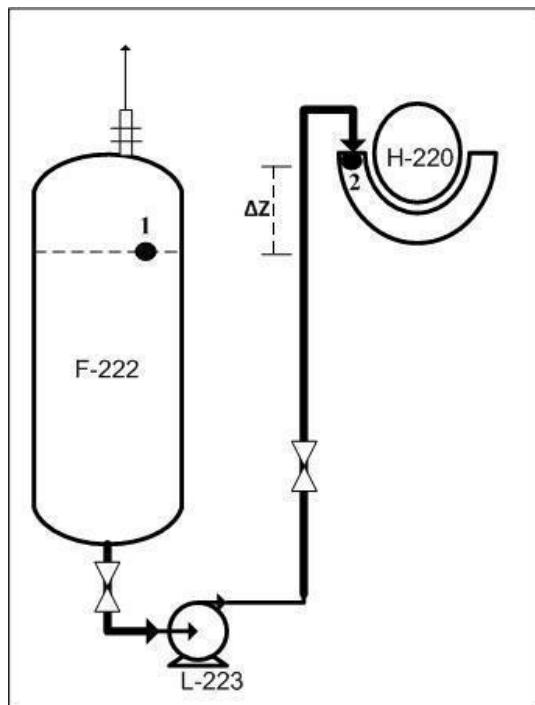
- Course 1 : 5/8 in
- Course 2 : 5/8 in
- Course 3 : 1/2 in
- Course 4 : 1/2 in
- Course 5 : 7/16 in
- Course 6 : 3/8 in
- Course 7 : 5/16 in
- Course 8 : 5/16 in
- Course 9 : 1/4 in
- Course 10 : 3/16 in

Tebal tutup atas : 1/4 in

Tebal tutup bawah : 3/4 in
 Bahan Konstruksi : Carbon Steel SA-283 grade C
 Jumlah : 12 unit

8. Pompa (L-223)

Fungsi : Memompa pulp dari *blow tank* menuju *washer* 1
 Type : *centrifugal pump*
 Tujuan : Menghitung power pompa



Komponen	Rate Mass	Fraksi	ρ	ρ campuran
Selulosa	14427,81	0,01	1500	17,77
Lignin sisa	1122,44	0,00	1260	1,16
Hemiselulosa	6600,49	0,01	1450	7,86
Air pada serat	720,69	0,00	897	0,53
Aseto ligninat sisa	12459,11	0,01	1260	12,89
CH ₃ COOH sisa	1121153,86	0,92	1068,8	983,86
Abu	3619,51	0,00	801	2,38
Air sisa	57837,87	0,05	897	42,60
TOTAL	1217941,78	1,00		1069,05

$$\text{Rate masuk} = 1217941,78 \text{ kg/jam}$$

$$= 2685074,444 \text{ lb/jam}$$

$$\rho \text{ campuran} = 1069,05 \text{ kg/m}^3$$

$$= 66,74 \text{ lb/cuft}$$

$$\begin{aligned}
 \mu &= 0,005065 \text{ kg/m.s} \\
 &= 0,003403523 \text{ lb/ft.s} \\
 &= 5,065 \text{ cp} \\
 \text{Rate Volumetrik} &= 40231,38 \text{ cuft/jam} \\
 (Q) &= 11,18 \text{ cuft/sekon} \\
 &= 5015,86 \text{ gpm} \\
 &= 0,32 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Asumsi aliran turbulen
D₁,

$$\begin{aligned}
 \text{opt} &= 3,9 \times q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Timmerhaus, pers.15}) \\
 &= 19,95 \quad \text{p. 496)
 \end{aligned}$$

Ditetapkan tipe pipa : (perry, table 10-22)

$$\begin{aligned}
 \text{sch} &= 80 \\
 \text{OD} &= 20 \text{ in} = 1,67 \text{ ft} \\
 \text{ID} &= 17,938 \text{ in} = 1,49 \text{ ft} \\
 A &= 1,75 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kecepatan linear aliran, } v &= \text{Rate Volumetrik} / A \\
 &= 11,18 / 1,75 \\
 &= 6,37 \text{ ft/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{re} &= \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \\
 &= \frac{66,74 \times 6,37}{0,003403523} \times 1,49 \\
 &= 186750,88
 \end{aligned}$$

(Asumsi aliran turbulen dapat diterima)

Menentukan kerja pompa :

$$\Delta v^2/(2gc) + \Delta z (g/gc) + \Delta(P/\rho) + \Sigma hf = -Ws$$

(Geankoplis, pers 2.7-28, hlm 103)

dimana :

$$\begin{aligned}
 * \text{ faktor energi kinetik} &\quad \Delta v^2/(2gc) \\
 v_1 &= \frac{Q_1}{A_1} = \frac{11,18}{1,75} = 6,37 \\
 v_2 &= v_1 = 6,37
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta v^2 &= v_2^2 - v_1^2 \\
 &= 40,59 - 40,59 = 0,00
 \end{aligned}$$

$$\Delta v^2/(2gc) = 0,00 \text{ ft/s}$$

$$* \text{ beda tinggi, } \Delta z = 14 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned}
 * \text{ Titik referens } P_1 &= \text{Tekanan blowtank} \\
 &= 14,7 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 14,7 \text{ psi} \\
 \Delta(P/\rho) &= 0
 \end{aligned}$$

Perhitungan Σhf (total liquid friksi) :

Digunakan : 4 buah elbow 90°

1 buah globe valve

1 buah gate valve

* friksi dalam 4 buah elbow 90° :

$$\begin{aligned} h_f &= 4 \times k_f \times v^2 / 2\alpha g c \quad K_f = 0,75 \\ &= \frac{4 \times 0,75 \times 40,59}{\sqrt{\frac{2}{BC} - AB}} \times 32,17 \\ &= \frac{1,89}{\sqrt{\frac{2}{BC} - AB}} \text{ ft lbf/lb} \end{aligned}$$

* friksi dalam 1 buah globe valve (Wide Open) :

$$\begin{aligned} h_f &= k_f \times v^2 / 2\alpha g c \quad K_f = 6 \\ &= \frac{6 \times 40,59}{2 \times 1 \times 32,17} \\ &= 3,79 \text{ ft lbf/lb} \end{aligned}$$

* friksi dalam 1 buah gate valve (Wide Open) :

$$\begin{aligned} h_f &= k_f \times v^2 / 2\alpha g c \quad K_f = 0,17 \\ &= \frac{0,17 \times 40,59}{2 \times 1 \times 32,17} \\ &= 0,11 \text{ ft lbf/lb} \end{aligned}$$

* friksi sepanjang pipa :

$$\begin{aligned} \text{Asumsi panjang pipa total, } \Delta L &= 0 \text{ ft} \\ &= 0,00 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk Commercial Steel :

$$\epsilon = 0,000046$$

Maka:

$$\epsilon/D = 0,000100959$$

Dari fig. 2.10-3 Geankoplis didapatkan :

$$\begin{aligned} f &= 0,0045 \\ f_f &= 4f \times \Delta L/D \times v^2/2g c \quad (\text{Geankoplis, pers. 2.10-5}) \\ &= \frac{4 \times 0,0045 \times 0 \times 40,59}{1,49 \times 2 \times 32} \\ &= 0,00 \text{ ft.lbf/lb} \end{aligned}$$

*kehilangan karena kontraksi :

$$\begin{aligned} K_c &= 0,55 \times \left[1 - \frac{A_2}{A_1} \right] \quad (\text{Geankoplis, pers. 2.10-16, p. 98}) \\ &\qquad\qquad\qquad \frac{A_1}{A_2} = 0 \end{aligned}$$

$$K_c = 0,55$$

$$\begin{aligned} h_c &= k_c \times v^2 / 2\alpha g c \\ &= \frac{0,55 \times 40,59}{2 \times 1 \times 32,17} \\ &= 0,35 \text{ ft.lbf/lb} \end{aligned}$$

*kehilangan karena ekspansi :

$$\begin{aligned} K_e &= 1,00 \times \left[1 - \frac{A_2}{A_1} \right] \quad (\text{Geankoplis, pers. 2.10-15, p. 98}) \\ &\qquad\qquad\qquad \frac{A_1}{A_2} = 0 \end{aligned}$$

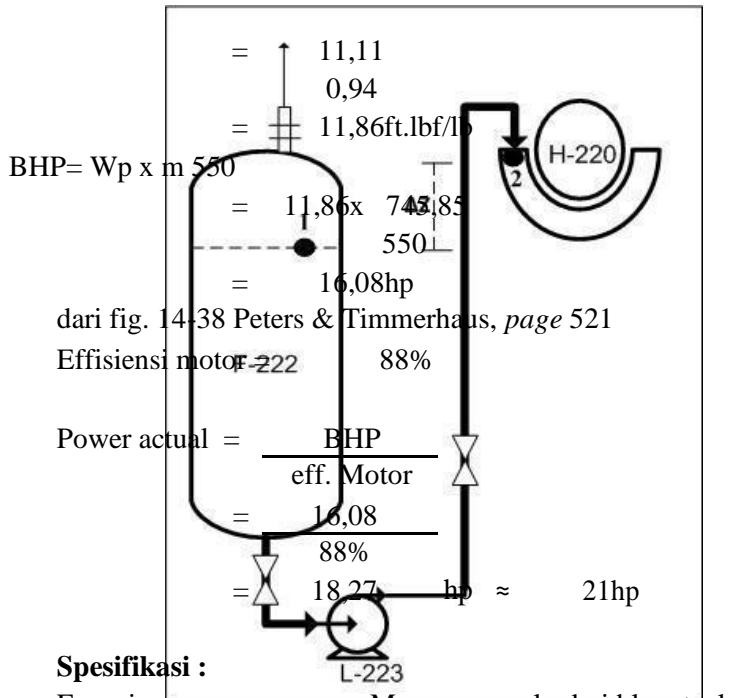
$$K_{ex} = 1,00$$

$$\begin{aligned}
 h_{ex} &= k_{ex} \times v^2 / 2g \times c \\
 &= \frac{1,00}{2} \times 1 \times \frac{40,59}{32,17} \\
 &= 0,63 \text{ ft.lbf/lb} \\
 \Sigma hf &= hf_1 + hf_2 + hf_3 + ff + hc + he \\
 &= 6,76 \text{ ft.lbf/lb}
 \end{aligned}$$

Persamaan Bernoulli menjadi :

$$\begin{aligned}
 -Ws &= \Delta v^2/(2gc) + \Delta z (g/gc) + \Delta(P/\rho) + \Sigma hf \\
 &= 0,00 + 4,35 + 0 + 6,76 \\
 &= 11,11 \text{ ft.lbf/lb}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas} &= 11,18 \text{ cuft/sekon} \\
 \eta &= 1 - 0,12Q^{-0,27} \quad (\text{Ulrich, pers. 4-95a, p. 205}) \\
 &= 0,94 = 94\%
 \end{aligned}$$



Tipe	: Centrifugal Pump
Kapasitas	: 5015,86 gpm
Material case	: Cast Iron
Material rotor	: Carbon steel
Suction pressure	: 14,7 psi
Discharge pressure	: 14,7 psi
Beda ketinggian	: 14 ft
Ukuran pipa	: 20 in OD, sch 80
Power pompa	: 21 hp
Jumlah	: 1 unit

BIODATA PENULIS

PENULIS I



Arief Ridwan, penulis dilahirkan di Gresik pada tanggal 29 Maret 1994. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu lulus dari TK Al-Fatah pada tahun 2002, lulus dari SD Negeri Karangpilang pada tahun 2006, lulus dari SMP Muhammadiyah 6 Surabaya tahun 2009 dan lulus dari SMA Muhammadiyah 4 Surabaya pada tahun 2012. Setelah lulus SMA, penulis diterima di Departemen Teknik Kimia Industri FV-ITS dengan

Nomor Registrasi 2314 030 096. Selama kuliah penulis aktif berorganisasi sebagai Staff Hima Dekkim FTI-ITS (2015-2016), serta mengikuti beberapa pelatihan dan seminar yang diadakan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PG. Watoetoelis.

Email : Arifrdwan14@gmail.com

PENULIS II



Penulis bernama Moh Sigit Hardianto dilahirkan di Lamongan, tanggal 12 Juli 1995, merupakan anak kedua dari 3 bersaudara dari Bapak Moch Jaelan dan Ibu Sri Mulyani. Penulis telah menempuh pendidikan, yaitu: TK Mardi Utomo, SDN Sonoadi, SMPN Karanggeneng 1, SMAN Paciran 1, penulis mengikuti ujian masuk D III FTI-ITS dan diterima di jurusan D III Teknik Kimia pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP 2314 030 100. Semasa kuliah,

penulis yang akrab disapa Sigit ini juga aktif dalam beberapa kegiatan organisasi kampus sebagai staff Departemen Laskar Fuki Al Ikrom D3KKIM VOKASI ITS dan anggota UKM PERISAI DIRI ITS. Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT PETROKIMIA GRESIK.

Email : Shardianto95@gmail.com