



**TUGAS AKHIR - TK 090324**

## **PABRIK FLAT GLASS DARI FLY ASH SISA PEMBAKARAN BATUBARA PENGGANTI PASIR SILIKA**

AMANDA NOFALIA  
NRP. 2311 030 082

TRIFENA WIDYASARI  
NRP. 2311 030 086

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. Suprapto, DEA

PROGRAM STUDI D III TEKNIK KIMIA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014



---

**FINAL PROJECT - TK 090324**

**FLAT GLASS FACTORY FROM FLY ASH OF COAL-BURNING SUBSTITUTE FOR SILICA SAND**

AMANDA NOFALIA  
NRP. 2311 030 082

TRIFENA WIDYASARI CHRISTY  
NRP. 2311 030 086

Guide Lecture  
Prof.Dr.Ir.Suprapto,DEA

CHEMICAL ENGINEERING DIPLOMA III STUDIED PROGRAM  
Faculty of Industry Technology  
Sepuluh Nopember Technological Institute  
Surabaya 2014

# PABRIK FLAT GLASS DARI FLY ASH SISA PEMBAKARAN BATU BARA PENGGANTI PASIR SILIKA

Nama Mahasiswa

: Amanda Nofalia (2311 030 082)

: Trifena Widyasari C (2310 030 086)

Program Studi

: DIII Teknik Kimia FTI-ITS

Dosen Pembimbing

: Prof. Dr. Ir. Suprapto, DEA

## Abstrak

*Flat glass dihasilkan dari campuran silika dioksida dalam bentuk materi bening dan transparan. Pabrik flat glass ini akan didirikan di daerah Cilegon, Banten. Pabrik ini menggunakan bahan baku fly ash yang mengandung silika sebesar 75% dengan proses float.*

*Pembuatan pabrik flat glass dari fly ash dengan proses float melalui 6 tahap. Tahap pertama yaitu persiapan bahan baku. Tahap kedua yaitu proses pencampuran bahan baku. Tahap ketiga yaitu tahap peleburan dimana terjadi perubahan sifat fisik maupun sifat kimia pada temperatur berkisar 1450 °C. Tahap keempat yaitu proses float yang diperoleh dengan cara mengambangkan kaca cair diatas timah cair untuk memperoleh kerataan kaca yang datar. Tahap kelima yaitu proses pendinginan kaca yang dihasilkan dari proses float. Tahap terakhir yaitu proses pemotongan dan pengepakan.*

*Pabrik flat glass bekerja secara kontinyu dan beroperasi selama 330 hari/tahun dengan kapasitas produksi 26.000 ton/tahun. Fly ash yang dibutuhkan yaitu sebesar 25.412 ton/tahun dengan bahan baku pendukung soda ash dan lime stone. Kebutuhan utilitas adalah air umpan boiler, air sanitasi dan air proses masing-masing sebesar 285.214 m<sup>3</sup>/tahun, 7.345 m<sup>3</sup>/tahun dan 1.164,57 m<sup>3</sup>/tahun. Limbah yang dihasilkan dari industri ini yaitu fly ash sisa, cullet atau potongan kaca dan gas hasil pembakaran.*

**Kata Kunci:** Flat glass, Fly ash, Proses Float.

# FLAT GLASS FACTORY FROM FLY ASH OF COAL-BURNING SUBSTITUTE FOR SILICA SAND

Name

: Amanda Nofalia (2311 030 082)

Department

: Trifena Widyasari C (2310 030 086)

Supervisor

: DIII Chemical Engineering FTI-ITS

: Prof. Dr. Ir. Suprapto, DEA

## Abstract

*Flat glass produced from the mixture of silica dioxide in the form of material clear and transparent. Factory flat glass this will established in the Cilegon, Banten. This factory uses raw materials fly ash with silica content of 75% with the process of float.*

*Manufacture of flat glass factory from fly ash with the float through 6 stages. The first stage factory is preparation raw material. The second stage is the process of mixing raw materials. The third stage is the stage of smelting which changes the physical properties and chemical properties at temperatures ranging from 1450 °C. The fourth stage process namely float obtained by means floated molten glass above molten tin lead to acquire flatness flat glass. The fifth stage is the process of cooling the glass out of the process of formation. The last stage is the process of cutting and packing.*

*Flat glass factory work continuously and operates during 330 days/year with a production capacity of 26.000 tons/year. Fly ash is needed of 25.412 tons/year with supporting raw materials of soda ash and lime stone. The needs of utility boiler feed water, process water and sanitation water each of 285.214 m<sup>3</sup>/year, 7.345 m<sup>3</sup>/year dan 1.164,57 m<sup>3</sup>/year. Waste resulting from industry is fly ash left over, cullet or pieces of glass and gas a result of burning.*

**Keywords:** Flat glass, Fly ash, Float Process

# FLAT GLASS FACTORY FROM FLY ASH OF COAL-BURNING SUBSTITUTE FOR SILICA SAND

Name

: Amanda Nofalia (2311 030 082)

Department

: Trifena Widyasari C (2310 030 086)

Supervisor

: DIII Chemical Engineering FTI-ITS

## Abstract

*Flat glass produced from the mixture of silica dioxide in the form of material clear and transparent. Factory flat glass this will established in the Cilegon, Banten. This factory uses raw materials fly ash with silica content of 75% with the process of float.*

*Manufacture of flat glass factory from fly ash with the float through 6 stages. The first stage factory is preparation raw material. The second stage is the process of mixing raw materials. The third stage is the stage of smelting which changes the physical properties and chemical properties at temperatures ranging from 1450 °C. The fourth stage process namely float obtained by means floated molten glass above molten tin lead to acquire flatness flat glass. The fifth stage is the process of cooling the glass out of the process of formation. The last stage is the process of cutting and packing.*

*Flat glass factory work continuously and operates during 330 days/year with a production capacity of 26.000 tons/year. Fly ash is needed of 25.412 tons/year with supporting raw materials of soda ash and lime stone. The needs of utility boiler feed water, process water and sanitation water each of 285.214 m<sup>3</sup>/year, 7.345 m<sup>3</sup>/year dan 1.164,57 m<sup>3</sup>/year. Waste resulting from industry is fly ash left over, cullet or pieces of glass and gas a result of burning.*

**Keywords:** Flat glass, Fly ash, Float Process

**PABRIK FLAT GLASS DARI FLY ASH SISA  
PEMBAKARAN BATUBARA PENGGANTI PASIR  
SILIKA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Ahli Madya  
Pada  
Program Studi D3 Teknik Kimia  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**Disusun oleh :**

Amanda Nofalia  
Trifena Widyasari C

(2311 030 082)  
(2311 030 086)

Telah diperiksa dan disetujui oleh:  
Dosen Pembimbing Tugas Akhir



**Prof. Dr. Ir. Suprapto, DEA**  
**NIP. 19600624 198701 1 001**

**SURABAYA, 3 JULI 2014**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**TUGAS AKHIR  
PABRIK FLAT GLASS DARI FLY ASH SISA  
PEMBAKARAN BATU BARA PENGGANTI PASIR  
SILIKA**

**Disusun oleh :**

**AMANDA NOFALIA  
TRIFENA WIDYASARI CHRISTY**

**(2311 030 082)  
(2311 030 086)**

**Telah diperiksa dan disetujui oleh :  
Dosen Pembimbing**



**Prof. Dr. Ir. Suprapto, DEA  
NIP. 19600624 198701 1 001**

**PROGRAM STUDI D III TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2014**

## LEMBAR PERBAIKAN TUGAS AKHIR

Telah diperiksa dan disetujui sesuai hasil ujian tugas akhir pada  
3 Juli 2014, demgam judul

### PABRIK FLAT GLASS DARI FLY ASH SISA PEMBAKARAN BATUBARA PENGGANTI PASIR SILIKA

Disusun oleh:

Amanda Nofalia

(2311 030 082)

Trifena Widyasari C

(2311 030 086)

Mengetahui / menyetujui

Dosen Pengaji

Ir. Elly Agustiani, M.Eng  
19580819 198503 2 003

Dosen Pengaji

Ir. Imam Syafril, MT  
19570819 198601 1 001

Mengetahui,

Koordinator Tugas Akhir  
D3 Teknik Kimia FTI-ITS

Dr. Ir. Niniek Fajar Puspita, M.Eng  
NIP. 19630805 198903 2 002

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Suprapto, DEA  
NIP. 19600624 198701 1 001

**LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR**

**PABRIK FLAT GLASS DARI FLY ASH SISA  
PEMBAKARAN BATUBARA PENGGANTI PASIR  
SILIKA**

**Disusun oleh:**

Amanda Nofalia  
Trifena Widyasari C

(2311 030 082)  
(2311 030 086)

**Mengetahui / menyetujui**  
**Dosen Pembimbing**



Prof. Dr. Ir. Suprapto, DEA  
NIP. 19600624 198701 1 001

**Ketua Program Studi**  
**D3 Teknik Kimia FTI-ITS**



**Koordinator Tugas Akhir**  
**D3 Teknik Kimia FTI-ITS**

  
**Dr. Ir. Niniek Fajar Puspita, M.Eng**  
NIP. 19630805 198903 2 002

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan YME yang telah memberikan berkat-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Pabrik Flat Glass dari Fly Ash Sisa Pembakaran Batubara Pengganti Pasir Silika.**

Tugas akhir ini merupakan salah satu tugas yang harus diselesaikan sebagai persyaratan kelulusan program studi D III Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri / Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah mahasiswa dapat memahami dan mampu mengenal prinsip-prinsip perhitungan dari peralatan-peralatan industri terutama industri kimia yang telah dipelajari di bangku kuliah serta aplikasinya dalam sebuah perencanaan pabrik.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya atas selesainya proposal Tugas Akhir ini, penulis ingin ucapkan kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penggerjaan tugas akhir ini, antara lain kepada :

1. Kedua orang tua kami yang senantiasa mendoakan dan mendukung setiap langkah kami serta jasa-jasa lain yang terlalu sulit untuk diungkapkan.
2. Bapak Ir. Budi setiawan, MT, selaku Koordinator Program Studi D III Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
3. Ibu Dr. Ir. Niniek Fajar Puspita,M. Eng selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi D III Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. Bapak Prof.Dr.Ir.Suprapto,DEA selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir Program Studi D III Teknik Kimia, Fakultas

Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

5. Segenap Dosen, staf dan karyawan Program Studi D III Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

6. Rekan-rekan angkatan 2011 Program Studi D III Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Akhir kata penulis mengucapkan mohon maaf yang sebesar-besarnya kepada semua pihak jika dalam proses dari awal sampai akhir penulisan penelitian Tugas Akhir ini ada kata-kata atau perilaku yang kurang berkenan. Terima kasih atas perhatiannya dan kerja samanya.

Surabaya, Juli 2014

TTD  
Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK .....	i
DAFTAR ISI .....	ii
DAFTAR TABEL .....	iii
DAFTAR GAMBAR .....	iv
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang .....	I-1
I.2 Dasar Teori .....	I-8
I.3 Kegunaan .....	I-12
I.4 Sifat-sifat Fisika dan Kimia .....	I-13
BAB II MACAM DAN URAIAN PROSES	
II.1 Macam Proses.....	II-1
II.2 Seleksi Proses .....	II-3
II.3 Uraian Proses Terpilih.....	II-4
BAB III NERACA MASSA.....	III-1
BAB IV NERACA PANAS .....	IV-1
BAB V SPESIFIKASI ALAT .....	V-1
BAB VI UTILITAS	
VI.1 Unit Penyediaan Air.....	VI-1
VI.1.1 Unit Penyediaan Air Pendingin .....	VI-5
VI.2 Unit Penyediaan Steam .....	VI-9
VI.3 Unit Penyediaan Listrik .....	VI-10
VI.4 Unit Penyediaan Bahan Bakar .....	VI-11
VI.5 Unit Penyediaan Gas Nitrogen.....	VI-11
BAB VII KESEHATAN DAN KESELAMATAN KERJA	
VII.1 Kesehatan dan Keselamatan Kerja	
Secara Umum.....	VII-1
VII.2 Kesehatan dan Keselamatan Kerja yang	
Ada di Pabrik <i>Flat Glass</i> .....	VII-10
BAB VIII INSTRUMENTASI	
VIII.1 Instrumentasi Secara Umum .....	VIII-1
VIII.2 Instrumentasi Pada Pabrik <i>Flat Glass</i> .....	VIII-6

BAB IX PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI KIMIA .....	IX-1
BAB X KESIMPULAN .....	X-1
DAFTAR NOTASI .....	v
DAFTAR PUSTAKA .....	vi
LAMPIRAN :	
• APPENDIKS A .....	A-1
• APPENDIKS B .....	B-1
• APPENDIKS C .....	C-1
• FLOWSHEET PABRIK	
• FLOWSHEET UTILITAS PABRIK	

## **DAFTAR GAMBAR**

Gambar I.1	Grafik Impor Flat Glass di Indonesia .....	I-3
Gambar I.2	Grafik Ekspor Flat Glass di Indonesia .....	I-3
Gambar II.1	Proses <i>Fourcault</i> .....	II-1
Gambar II.2	Proses <i>Colburn</i> .....	II-1
Gambar II.3	Proses <i>Float</i> .....	II-2
Gambar II.4	Blok diagram Pembuatan <i>Flat Glass</i> dengan Proses <i>Float</i> .....	II-6

## 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	kcal/kg°C
6.	$\Delta H_f$	Enthalpy pembentukan	kcal/mol
8.	H	Enthalpy	kcal
9.	Mp	Massa pendingin	kg
10.	Q	Panas	kcal
11.	$\rho$	Densitas	gr/cm <sup>3</sup>
12.	D	Diameter	in
13.	H	Tinggi	in
14.	P	Tekanan	Atm / psia
15.	R	Jari – jari	in
16.	ts	Tebal tangki	in
17.	C	Faktor korosi	-
18.	E	Effisiensi sambungan	-
19.	th	Tebal tutup atas	in
20.	$\mu$	Viscositas	cp
21.	$\Sigma F$	Total friksi	-
22.	hc	Sudden contraction	ft.lbf/lbm
23.	Ff	Friction loss	ft. lbf/lbm
24.	$h_{ex}$	Sudden ekspansion	ft. lbf/lbm
25.	gc	Gravitasi	lbm.ft/lbf.s <sup>2</sup>

## DAFTAR TABEL

Tabel I.1	Data Impor <i>Flat Glass</i> di Indonesia .....	I-4
Tabel I.2	Data Ekspor <i>Flat Glass</i> di Indonesia .....	I-4
Tabel I.3	Data Produksi <i>Flat Glass</i> di Indonesia .....	I-4
Tabel I.4	Komposisi Kaca Soda Gamping .....	I-10
Tabel I.4	Komposisi <i>Fly Ash</i> .....	I-11
Tabel I.5	Komposisi Pasir Silika.....	I-12
Tabel III.1	Komposisi <i>Fly Ash</i> .....	III-1
Tabel III.2	Komposisi <i>Flat Glass</i> .....	III-1
Tabel III.3	Neraca Massa pada Bin <i>Fly Ash</i> .....	III-2
Tabel III.4	Neraca Massa pada Scale <i>Fly Ash</i>	III-3
Tabel III.5	Neraca Massa pada Bin <i>Soda Ash</i> .....	III-3
Tabel III.6	Neraca Massa pada Scale <i>Soda Ash</i> .....	III-4
Tabel III.7	Neraca Massa pada Bin <i>Lime Stone</i> .....	III-4
Tabel III.8	Neraca Massa pada Crusher <i>Lime Stone</i> ....	III-5
Tabel III.9	Neraca Massa pada Screen <i>Lime Stone</i> .....	III-7
Tabel III.10	Neraca Massa pada Scale <i>Lime Stone</i> .....	III-8
Tabel III.11	Neraca Massa pada Belt Conveyor .....	III-8
Tabel III.12	Neraca Massa pada Bucket Elevator .....	III-9
Tabel III.13	Neraca Massa pada Mixer .....	III-10
Tabel III.14	Neraca Massa pada Bin <i>Mixed Batch</i> .....	III-11
Tabel III.15	Neraca Massa pada Bin <i>Cullet</i> .....	III-12
Tabel III.16	Neraca Massa pada Crusher <i>Cullet</i> .....	III-12
Tabel III.17	Neraca Massa pada Bin <i>Cullet</i> .....	III-13
Tabel III.18	Neraca Massa pada Belt Conveyor.....	III-14
Tabel III.19	Neraca Massa pada Bucket Elevator .....	III-15
Tabel III.20	Neraca Massa pada Furnace .....	III-17
Tabel III.21	Neraca Massa pada Chimney.....	III-18
Tabel III.22	Neraca Massa pada Metal Bath .....	III-19
Tabel III.23	Neraca Massa pada Lehr.....	III-20
Tabel III.24	Neraca Massa pada Cutter .....	III-20
Tabel III.25	Neraca Massa pada Storage Produk .....	III-21
Tabel IV.1	Neraca Panas pada Furnace .....	IV-2
Tabel IV.2	Neraca Panas pada Metal Bath .....	IV-3

Tabel IV.3	Neraca Panas pada Lehr.....	IV-7
Tabel IV.4	Neraca Panas pada Cutter .....	IV-8
Tabel VI.1	Kualitas Air Hasil Olahan.....	VI-3
Tabel VI.2	Spesifikasi Air Demin .....	VI-5
Tabel VI.3	Rekomendasi Batas Air Boiler .....	VI-9
Tabel VI.4	Rekomendasi Batas Air Umpam.....	VI-10
Tabel VIII.1	Sistem Kontrol Pabrik <i>Flat Glass</i> .....	VIII-6

## BAB I

# PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

*Flat Glass* atau kaca adalah bahan material yang sudah dikenal sejak dahulu. *Flat glass* umumnya digunakan untuk pengaplikasian dalam kehidupan sehari-hari, contohnya adalah untuk perabotan rumah tangga, untuk pembuatan cermin, untuk kaca jendela, untuk pembuatan lemari, untuk material bangunan, untuk barang permata, dan untuk perlengkapan ucapan agama Katolik. Bahan baku utama penyusun kaca yaitu pasir silika, dimana Indonesia masih mengimpor bahan baku tersebut untuk mencukupi kebutuhan industri lokal.

*Fly ash* merupakan sisa pembakaran batubara yang biasanya dimanfaatkan untuk industri semen dan campuran pembuatan beton. Di dalam *fly ash* terdapat kandungan silika yang cukup tinggi yakni 75%, oleh karena itu *fly ash* dapat dimanfaatkan dalam industri *flat glass* sebagai pengganti pasir silika. Di samping itu, dengan pendirian pabrik *flat glass* di Indonesia, maka diharapkan dapat menciptakan lapangan kerja baru.

#### I.1.1 Sejarah *Flat Glass*

Riwayat penemuan *flat glass* hingga sekarang belum jelas. Salah satu rujukan yang paling tua mengenai bahan ini dibuat oleh Pliny, yang menceritakan bagaimana pedagang-pedagang phoenisia purba menemukan kaca tatkala memasak makanan. Periuk yang digunakannya secara tidak sengaja diletakkan di atas massa trona di suatu pantai. Sejak tahun 6000 atau 5000 sebelum Masehi, orang Mesir telah membuat permata tiruan dari kaca dengan keterampilan yang halus dan keindahan yang mengesankan. Kaca jendela sudah mulai disebut-sebut sejak tahun 290. Silinder kaca jendela tiup



ditemukan oleh para Pendeta pada abad kedua belas. Dalam abad tengah, Venesia memegang monopoli sebagai pusat industri kaca. Di Jerman dan Inggris, kaca baru mulai dibuat pada abad ke-16. Secara keseluruhan sebelum tahun 1900, industri ini merupakan seni yang dilengkapi oleh rumus-rumus rahasia yang dijaga ketat. Proses pembuatannya-pun bersifat empiris dan hanya berdasarkan pada pengalaman (Rezka 2013).

Pada tahun 1914, di Belgia dikembangkan proses *Fourcault* untuk menarik kaca plat secara kontinu. Selama 50 tahun berikutnya para ilmuwan dan insinyur telah berhasil menciptakan berbagai modifikasi terhadap proses penarikan kaca dengan tujuan untuk memperkecil distorsi optik kaca lembaran (kaca jendela) dan menurunkan biaya pembuatan.

### I.1.2 Alasan Pendirian Pabrik

Batubara sebagai bahan bakar banyak digunakan di PLTU. Hal ini diakibatkan dengan naiknya harga minyak diesel industri, maka banyak perusahaan yang beralih menggunakan batubara sebagai bahan bakar dalam menghasilkan steam (uap). Sisa hasil pembakaran dengan batubara menghasilkan abu yang disebut dengan *fly ash* dan *bottom ash*.

*Fly ash* batubara umumnya dibuang di *ash lagoon* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Penumpukan *fly ash* batubara ini menimbulkan masalah bagi lingkungan. Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan *fly ash* batubara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan. Saat ini *fly ash* batubara digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton. Selain itu, sebenarnya abu terbang batubara memiliki berbagai kegunaan yang amat beragam. Pada intinya *fly ash* mengandung unsur kimia antara lain silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), juga mengandung unsur tambahan lainnya magnesium oksida



(MgO. Dengan kandungan utama silica, *fly ash* dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan *flat glass* (Februarista 2013).

Indonesia saat ini masih mengimpor silica untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Untuk mengurangi ketergantungan tersebut, dan untuk memanfaatkan sumber daya alam yang ada serta mengolah limbah, maka selayaknya dapat didirikan pabrik *flat glass* dari *fly ash* batubara dengan kapasitas yang memadai.

### I.1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Menurut Mahsuri (2011), saat ini penggunaan batubara di kalangan industri semakin meningkat, karena selain harga yang relatif murah juga harga bahan bakar minyak untuk industri cenderung naik. Potensi batubara di Indonesia cukup besar dan tersebar mulai dari pulau Sumatera, Kalimantan Jawa, Sulawesi serta Irian. Dalam rangka diversifikasi sumber energi minyak bumi, pemerintah mencanangkan batubara sebagai salah satu alternatif.

*Fly ash* didapatkan dari sisa pembakaran batubara yang merupakan bahan bakar dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Di Indonesia sendiri, PLTU tersebar di berbagai daerah. Di pulau Jawa sendiri ada 10 PLTU yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar seperti daerah Suralaya, Labuhan, Lontar, Indramayu, Pelabuhan Ratu, Rembang, Cilacap, Pacitan, Paiton, Tuban, dan Jepara (Wikipedia, 2013).

Produksi limbah *fly ash* dan *bottom ash* dari PLTU diperkirakan akan mencapai 2 juta ton pada tahun 2006, dan meningkat hampir 3,3 juta ton pada tahun 2009. Khusus untuk PLTU Suralaya tahun 2000 hingga 2006 diperkirakan ada akumulasi jumlah abu sebanyak 219.000 ton/tahun (Ardha, 2006). Menurut Hamid (2013), PLTU Suralaya menghasilkan *fly ash* sebanyak 400.000 ton/tahun.

---



### I.1.4 Kapasitas dan Lokasi Pabrik

#### I.1.4.1 Perkiraan Kapasitas Produksi

Untuk memilih kapasitas produksi, terdapat beberapa pertimbangan yang harus diperhatikan, antara lain yaitu :

- Jumlah produksi, ekspor, maupun impor kaca di Indonesia
- Kebutuhan kaca di Indonesia.
- Ketersediaan bahan baku

**Tabel I.1** Data Impor *Flat Glass* di Indonesia

(Badan Pusat Statistik, 2012)

Tahun	Impor (Ton)
2007	1.328,695
2008	1.256,378
2009	1.151,742
2010	752,067
2011	135,477

**Tabel I.2** Data Ekspor *Flat Glass* di Indonesia

(Badan Pusat Statistik, 2012)

Tahun	Ekspor (Ton)
2007	44,532
2008	592,571
2009	204,947
2010	92,051
2011	8,544

**Tabel I.3** Data Produksi *Flat Glass* di Indonesia

(Badan Pusat Statistik, 2012)

Tahun	Produksi (Ton)
2007	13.544,890
2008	16.628,342
2009	24.862,398



2010	53.325,378
2011	54.621,445

Menurut Peters & Timmerhaus (1991), kapasitas produksi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$F=F_0(1+i)^n \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

Dimana :

F = Perkiraan kebutuhan kaca pada tahun 2016

$F_0$  = Kebutuhan kaca pada tahun 2011

i = Perkembangan rata-rata

n = Selisih waktu

Maka perkiraan impor pada tahun 2016 adalah :

$$F=F_0(1+i)^n$$

$$F=135,477 (1-0,258)^{(2016-2011)}$$

$$F=0 \text{ ton/tahun}$$

Karena impor mengalami penurunan sehingga impor pada tahun 2016 diperkirakan sangat kecil sehingga kami asumsikan 0.

Maka perkiraan ekspor pada tahun 2016 adalah :

$$F=F_0(1+i)^n$$

$$F=8,544 (1+2,54)^{(2016-2011)}$$

$$F=2218,364 \text{ ton/tahun}$$

Maka perkiraan produksi pada tahun 2016 adalah:

$$F=F_0(1+i)^n$$

$$F=54.621,445 (1+47,25)^{(2016-2011)}$$

$$F=271468,58 \text{ ton/tahun}$$

Maka perkiraan kebutuhan kaca pada tahun 2016

$$= [\text{Impor} + \text{Produksi} - \text{Ekspor}]_{2016}$$

$$= 271468,58 + 0 - 2218,364$$

$$= 269.250,216 \text{ ton/hari}$$

$$\text{Kapasitas flat glass} = 10\% \times 269.250,216 \text{ ton / tahun}$$

$$= 26.925,0216 \text{ ton / tahun}$$

$$= 26.000 \text{ ton / tahun}$$



Kapasitas pabrik 26.000 ton/tahun dengan pertimbangan adanya pabrik lain yang terlebih dahulu berdiri dan disesuaikan dengan ketersediaan bahan baku *fly ash* di Indonesia. Masa kerja dalam satu tahun dianggap 330 hari kerja. Direncanakan untuk membuat pabrik *flat glass* dengan kapasitas 26.000 ton/tahun. Dimana produk nantinya diutamakan untuk memenuhi kebutuhan pasar nasional dan internasional.

#### I.1.4.2 Penentuan Lokasi Pabrik

Lokasi perusahaan merupakan hal yang penting dalam menentukan kelancaran usaha. Kesalahan pemilihan lokasi pabrik dapat menyebabkan biaya produksi menjadi mahal sehingga tidak ekonomis. Hal-hal yang menjadi pertimbangan dalam menentukan lokasi suatu pabrik meliputi biaya operasional, ketersediaan bahan baku dan penunjang, sarana dan prasarana, dampak sosial, dan studi lingkungan. Lokasi yang dipilih untuk pendirian Pabrik *Flat Glass* ini adalah di kota Cilegon, Banten. Alasan pemilihan lokasi ini antara lain:

### 1. Ketersediaan Bahan Baku

Lokasi ini dipilih karena berdekatan dengan sumber bahan baku (*fly ash*) yang diambil dari PLTU Suralaya. Untuk PLTU Suralaya tahun 2000 hingga 2006 diperkirakan ada akumulasi jumlah abu sebanyak 219.000 ton/tahun (Ardha, 2006). Menurut Hamid (2013), PLTU Suralaya menghasilkan *fly ash* sebanyak 400.000 ton/tahun.

Menurut Distantina (2009), Yield dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Yield} = \frac{\text{Hasil}}{\text{Umpaan}} \times 100\% \quad \dots \dots \dots (1)$$

Menurut Pyzdek (2009), ada berbagai macam jenis yield diantaranya adalah yield *overall* ( $Y_{overall}$ ) dan yield *step* ( $Y_{step}$ ). Yield *overall* adalah yield sebuah angka yang menggambarkan unit yang melewati



langkah terakhir di dalam sebuah proses dibandingkan dengan angka unit yang baru masuk sebuah proses. Sedangkan *Yield step* adalah angka yang menggambarkan unit yang telah melewati sebuah *step* dalam proses produksi. Kemudian, di rumuskan dengan formula sebagai berikut:

$$Y_{\text{overall}} = (Y_{\text{step}})^{\text{number of steps}} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

Dari rumus di atas kita dapat menentukan yield *step* dengan mengasumsikan yield *overall*. Asumsi yield *overall* didasarkan pada cacat barang yang mungkin terjadi selama proses, maka:

Asumsi yield *overall* = 82% = 0,82

Jumlah step dalam proses = 6

$$Y_{\text{overall}} = (Y_{\text{step}})^{\text{number of steps}}$$

Dari data ini dan data kapasitas produksi (hasil yang diharapkan) dapat diketahui kebutuhan bahan pabrik per tahun menggunakan persamaan (1).

Kapasitas produksi = 27.000 ton/tahun

Maka, kebutuhan bahan pabrik per tahun:

$$0,82 = \frac{26000}{\text{umpan}}$$

umpang = 31.707 ton/tahun

Kebutuhan bahan pabrik = 31.707 ton/tahun

## 2. Tersedianya listrik

Penyediaan kebutuhan listrik direncanakan akan disuplai secara eksternal dan internal. Untuk penyediaan secara eksternal terdapat total kapasitas pembangkit listrik di provinsi Banten saat ini yaitu sekitar 4.200 MW atau 4,2 GW (3.400 MW PLTU Suralaya, 750 MW PLTGU Cilegon dan 80-100 MW PLTU KDL), sedangkan secara internal dengan cara menggunakan generator listrik yg digerakkan oleh turbin uap.

### 3. Penyediaan Air



Didalam perencanaan pabrik ini, air diperlukan untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan selama berlangsungnya proses produksi. Air tersebut dipergunakan sebagai air proses, air sanitasi dan air umpan boiler. Kebutuhan air diperoleh dari sungai Cidanau.

#### 4. Transportasi

Pengaruh faktor transportasi terhadap lokasi pabrik, maka pabrik akan didirikan di daerah Cilegon, Banten. Sehingga memudahkan pengangkutan bahan baku, bahan bakar, bahan pendukung dan produk yang dihasilkan.

#### 5. Tenaga Kerja

Pada periode Agustus 2013 jumlah pengangguran terbuka di Banten sebanyak 509,3 ribu orang dengan jumlah angkatan kerja di Banten mencapai 5.146,3 ribu orang (*Anonim 2013*). Tenaga kerja sebagian besar akan diambil dari penduduk sekitar. Karena lokasinya cukup dekat dengan pemukiman penduduk, selain dapat memenuhi kebutuhan tenaga kerja juga dapat membantu meningkatkan taraf hidup penduduk sekitarnya.

## I.2 Dasar Teori

### I.2.1. Kaca

Secara umum, kaca komersial dapat dikelompokkan menjadi beberapa golongan:

1. Silika lebur, kaca ini dibuat melalui pirolisis silikon tetraklorida pada suhu tinggi, atau dari peleburan kuarsa atau pasir murni. Kaca ini juga disebut kaca kuarsa (*quartz glass*). Kaca ini mempunyai ciri nilai ekspansi rendah dan titik pelunakan tinggi. Oleh karena itu, kaca ini mempunyai ketahanan termal tinggi dan dapat dipergunakan pada suhu yang lebih

tinggi dari pada kaca lain. Kaca ini juga sangat transparan terhadap radiasi ultraviolet.

2. Alkali silikat, adalah satu-satunya kaca dua komponen yang secara komersial penting. Untuk membuatnya pasir dan soda dilebur bersama-sama dan menghasilkan natrium silikat, yang mempunyai komposisi  $\text{Na}_2\text{OSiO}_2$  sampai  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 4\text{SiO}_2$ . Dengan pengetahuan mengenai hubungan keseimbangan dua fase, para ahli teknologi kaca telah dapat memahami perilaku sistem-sistem yang lebih rumit.
3. Kaca soda gamping, kaca soda gamping (*soda-lime glass*) merupakan 95% persen dari semua kaca yang dihasilkan. Kaca ini digunakan untuk membuat segala macam bejana, kaca lembaran, jendela mobil, gelas, dan barang pecah belah. Kualitas fisika kaca lembaran dewasa ini banyak meningkat, misalnya kaca sekarang lebih jadi rata dan tidak bergelombang.
4. Kaca timbal, dengan menggunakan oksidasi timbal sebagai pengganti kalsium oksida dalam campuran kaca cair, didapatlah kaca timbal. Kaca ini sangat penting dalam bidang optik, karena mempunyai indeks refraksi dan dispersi tinggi. Kandungan timbalnya mencapai 82%. Kaca ini digunakan dalam jumlah besar untuk membuat bola lampu, lampu reklame neon, radiotron, terutama karena kaca ini memiliki tahanan (*resistance*) listrik tinggi. Kaca ini juga cocok untuk dipakai sebagai perisai radiasi nuklir.
5. Kaca borosilikat, kaca ini biasanya mengandung 10 sampai 20%  $\text{B}_2\text{O}_3$ , 80% sampai 87% silika, dan kurang dari 10%  $\text{Na}_2\text{O}$ . Kaca jenis ini mempunyai koefisien ekspansi rendah, mempunyai stabilitas kimia tinggi dan tahanan listrik tinggi.



- 
6. Kaca khusus adalah kaca berwarna, kaca keselamatan, kaca optik, dan kaca keramik. Komposisinya berbeda-beda tergantung pada produk akhir yang diinginkan.
  7. Serat kaca dibuat dari komposisi kaca khusus, yang tahan terhadap kondisi cuaca. Kaca ini biasanya mempunyai kandungan silika rendah sekitar 55% dan alkali rendah.

Dari beberapa jenis kaca diatas, pabrik yang kami dirikan adalah pabrik kaca dengan jenis kaca soda gamping. kaca soda gamping ini memiliki komposisi sebagai berikut:

**Tabel I.4** Komposisi Kaca Soda Gamping (Achmadi, 2003)

Komposisi Kimia	Jumlah (%)
SiO <sub>2</sub>	73
Na <sub>2</sub> O	17
CaO	5
MgO	4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1

### I.2.2. Abu Batubara

Abu batubara adalah bagian dari sisa pembakaran batubara yang berbentuk partikel halus *amorf* dan abu tersebut merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan bahan mineral (*mineral matter*) karena proses pembakaran. Dari proses pembakaran batubara pada unit pembangkit uap (*boiler*) akan terbentuk dua jenis abu yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Komposisi abu batubara yang dihasilkan terdiri dari 10-20 % abu dasar, sedang sisanya sekitar 80 - 90 % berupa abu terbang. Abu terbang ditangkap dengan *electric precipitator* sebelum dibuang ke udara melalui cerobong (Mahsuri, 2011).



### I.2.3. Fly Ash

Menurut Jauhary (2013), *fly ash* merupakan residu mineral dalam butiran halus yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang dihaluskan pada suatu pusat pembangkit listrik. *Fly ash* terdiri dari bahan inorganik yang terdapat di dalam batu bara yang telah mengalami fusi selama pembakarannya. Bahan ini memadat selama berada di dalam gas-gas buangan dan dikumpulkan menggunakan presipitator elektrostatik. Karena partikel-partikel ini memadat selama tersuspensi di dalam gas-gas buangan, partikel-partikel *fly ash* umumnya berbentuk bulat.

**Tabel I.5 Komposisi Fly Ash (Ngurah dkk,2006)**

Komposisi Kimia	Jumlah (%)
SiO <sub>2</sub>	75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,3
CaO	4
Na <sub>2</sub> O	15,5
MgO	4,2
Total	100

Dari data di atas, jelas sekali terlihat bahwa senyawa kimia yang dominan adalah SiO<sub>2</sub> (silika) sebesar 75%. Komposisi tersebut menguntungkan *fly ash* bila bahan ini akan digunakan sebagai bahan baku *flat glass*.

### I.2.4. Pasir Silika

Pasir silika yang juga dikenal dengan nama pasir putih merupakan hasil pelapukan batuan yang mengandung mineral utama, seperti kuarsa dan *feldspar*. Hasil pelapukan kemudian tercuci dan terbawa oleh air atau angin yang diendapkan di tepi-tepi sungai, danau atau laut. Silika tidak reaktif terhadap hidrogen, khlor, brom, kebanyakan asam dan senyawa-senyawa besi pada temperatur kamar. Silika direduksi oleh karbon dan sejumlah logam yang bereaksi dengan oksida



dasar, karbonat dan sebagainya pada temperatur tinggi untuk menghasilkan silika (*Fairus, 2009*).

Pasir silika adalah bahan galian yang terdiri atas kristal-kristal silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan mengandung senyawa pengotor yang terbawa selama proses pengendapan. Pada umumnya, senyawa pengotor tersebut terdiri atas oksida besi, oksida kalsium, oksida alkali, oksida magnesium, lempung dan zat organik hasil pelupukan sisa-sisa hewan serta tumbuhan.

Menurut Fairus (2009) secara umum, pasir silika Indonesia mempunyai komposisi kimia sebagai berikut :

**Tabel I.6 Komposisi Pasir Silika**

Komposisi Kimia	Jumlah (%)
$\text{SiO}_2$	55,3-99,87
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,01-18
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,01-9,14
$\text{CaO}$	0,01-3,24
$\text{MgO}$	0,01-0,26
$\text{TiO}_2$	0,01-0,49
$\text{K}_2\text{O}$	0,01-17

### I.3 Kegunaan

Kaca umumnya digunakan untuk pengaplikasian dalam kehidupan sehari-hari, contohnya adalah untuk perabotan rumah tangga, untuk pembuatan cermin, untuk kaca jendela, untuk pembuatan lemari, untuk material bangunan, untuk barang permata, dan untuk perlengkapan ucapan agama Katolik. Kaca kemudian mengalami perkembangan yang pesat terutama untuk satu dekade ini dalam industri pembuatan kaca. Pada perkembangan selanjutnya, industri kaca berkembang dengan mengembangkan kaca pada sifat thermal, sifat optik, sifat mekanik, perlindungan dan sifat elektrik dari material kaca. Penggunaan kaca pada beberapa aplikasi membutuhkan pembersihan dari air yang lengket pada kaca tersebut.



Contohnya adalah kaca jendela dan kaca mobil.

## I.4. Sifat-sifat fisika dan kimia

### I.4.1 Bahan Baku Utama

#### I.4.1.1 Fly Ash

Komposisi Fly Ash :

$\text{SiO}_2$  : 75%

$\text{Al}_2\text{O}_3$  : 1,3%

$\text{CaO}$  : 4%

$\text{MgO}$  : 4,2%

$\text{Na}_2\text{O}$  : 15,5%

Sifat Fisika :

- Berbentuk padatan serbuk dan berwarna abu-abu bercampur coklat.
- Densitas :  $2,15\text{-}2,8 \text{ g/cm}^3$

Sifat Kimia :

- Tidak mudah larut dalam air

### I.4.2 Bahan Penunjang

#### I.4.2.1 Soda Ash ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )

Sifat Fisika :

- Warna : putih
- Bentuk : Kristal
- Berat molekul : 106 g/mol
- Densitas,  $20^\circ\text{C}$  : 2,533 g/ml

Sifat Kimia :

- Titik lebur  $0^\circ\text{C}$  : 7,1 g/100 g  $\text{H}_2\text{O}$
- Kapasitas panas,  $85^\circ\text{C}$  : 26,41 cal/gmol $^\circ\text{C}$



### **I.4.2.2 Lime Stone ( $\text{CaCO}_3$ )**

Sifat Fisika dan Sifat Kimia :

- Densitas :  $2,6\text{-}2,8 \text{ g/cm}^3$
- Bentuk : kristal kalsit

### **I.4.3 Produk**

#### **I.4.3.1 Produk Utama**

##### **Kaca**

Sifat Fisika:

Densitas :  $2,49 \text{ g/cm}^3$

Viskositas :  $4,5 \times 10^7 \text{ poise}$

Indeks Bias :  $\pm 1,52$

#### **I.4.3.2 Produk Samping**

##### **Cullet (Pecahan Kaca)**

Sifat Fisika:

Densitas :  $2,49 \text{ g/cm}^3$

Viskositas :  $4,5 \times 10^7 \text{ poise}$

Indeks Bias :  $\pm 1,52$

## BAB X

### KESIMPULAN

Pabrik *Flat Glass* dari *fly ash* sisa pembakaran batubara pengganti pasir silika dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pabrik *Flat Glass* ini direncanakan beroperasi secara batch-kontinyu selama 330 hari operasi/tahun dan 24 jam/hari.
2. Kapasitas pabrik ini sebesar 26.000 ton/tahun.
3. Bahan baku yang utama diperlukan ialah sebesar 77.005,25 kg/hari *fly ash*.
4. Bahan pembantu pada pabrik *Flat Glass* ini terdiri dari :
  - Soda Ash = 1.974,78 kg/hari
  - Lime Stone = 1.461,84 kg/hari
5. Kebutuhan utilitas pada pabrik *Flat Glass* ini sebagian besar berasal dari air (*water treatment*) yang digunakan untuk :
  - Air sanitasi = 22,27 m<sup>3</sup>/hari
  - Air umpan boiler = 864,285 m<sup>3</sup>/hari
  - Air proses = 3,53 m<sup>3</sup>/hari

---

= 890,085 m<sup>3</sup>/hari



Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB II

### MACAM DAN URAIAN PROSES

#### II.1 Macam Proses

##### II.1.1 Proses Pembuatan *Flat Glass*

Di dalam proses pembuatan *flat glass* terdiri dari 6 tahap sebagai berikut:

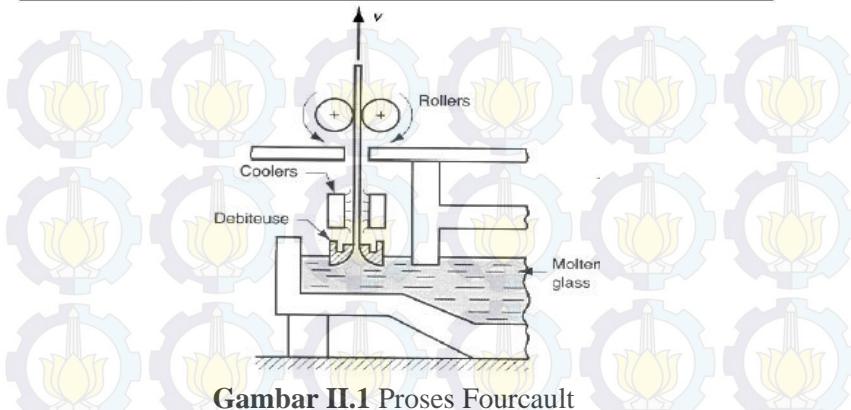
1. Proses pengadaan bahan baku.
2. Proses pencampuran bahan baku.
3. Proses peleburan (*melting*),
4. Proses pembentukan,
5. Proses pendinginan.
6. Proses pemotongan dan pengemasan.

Perbedaan terdapat pada proses pembentukan. Proses pembentukan *flat glass* terdiri dari tiga proses yaitu:

1. Proses Fourcault
2. Proses Colburn (*Libbey-Owens*)
3. Proses Pilkington (*Float Process*)

##### II.1.2.1 Proses Fourcault

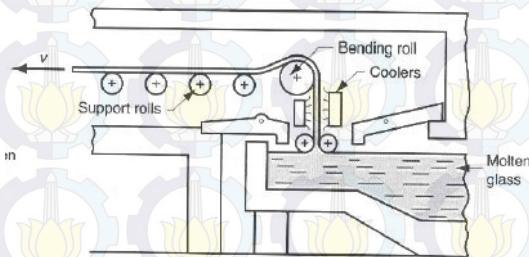
Bahan cair dialirkan secara vertikal ke atas melalui sebuah bagian yang dinamakan "debiteuse". Bagian ini terapung di permukaan kaca cair dengan celah sesuai dengan ketebalan kaca yang diinginkan. Di atas *debiteuse* terdapat bagian sirkulasi air pendingin yang akan mendinginkan kaca hingga 650 – 670°C. Pada suhu tersebut kaca berubah menjadi pelat padat dan akan bergerak dengan didukung oleh roda pemutar (*roller*) yang menarik kaca tersebut ke atas (Marbun, 2011).



Gambar II.1 Proses Fourcault

### II.1.2.2 Proses Colburn (Libbey-Owens)

Jika proses Fourcault, gerakan kaca berlangsung secara vertikal, maka pada proses Colburn kaca akan bergerak secara vertikal kemudian diikuti gerakan horizontal setelah melewati roda-roda penjepit yang membentuk leburan gelas menjadi lembaran-lembaran (*Marbun, 2011*).

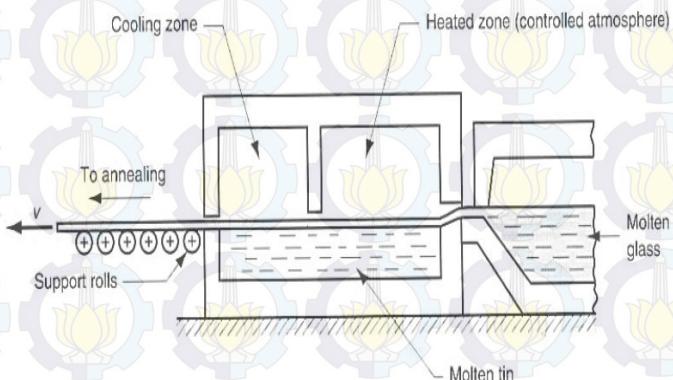


Gambar II.2 Proses Colburn

### II.1.2.3 Proses Pilkington (*Float Process*)

Bahan cair dialirkan ke dalam sebuah kolam berisi cairan timah (Sn) panas. Kecepatan aliran bahan cair ini merupakan pengatur tebal tipisnya kaca lembaran yang akan

diproses. Kaca akan mengapung di atas cairan timah karena perbedaan densitas di antara keduanya. Kaca ini tetap berupa cairan dengan pasokan panas yang berasal dari pembakar di bagian atas kolam. Pengendalian temperatur di dalam kolam dilakukan agar kaca tetap rata di kedua sisinya serta pararel. Bahan yang biasanya digunakan untuk keperluan ini adalah gas nitrogen murni. Selanjutnya, aliran kaca melewati daerah pendinginan (masih di dalam kolam) dan keluar dalam bentuk kaca lembaran bersuhu  $\pm 600^\circ\text{C}$  (Marbun, 2011).



**Gambar II.3 Proses Float**

## II.2 Seleksi Proses

### 1. Proses Fourcault

Keuntungan:

- Pembuatannya murah karena tidak memerlukan timah sebagai media tambahan.

Kerugian:

- Tidak efisien karena saat proses pembentukan, kaca ditarik ke atas sehingga mempersulit proses pemotongan.
- Debituse harus diganti tiga sampai empat bulan karena semakin menipis (erosi) dan



korosi.

- Ketebalan kaca ditentukan oleh viskositas kaca cair, jika viskositas tidak homogen dapat mempengaruhi ketebalan kaca.
2. Proses Colburn (Libbey Owens)

Keuntungan:

- Pembuatannya murah karena tidak memerlukan timah sebagai media tambahan.

Kerugian:

- Debituse harus diganti tiga sampai empat bulan karena semakin menipis (erosi) dan korosi.
- Ketebalan kaca ditentukan oleh viskositas kaca cair, jika viskositas tidak homogen dapat mempengaruhi ketebalan kaca.

### 3. Proses Pilkington (*Float Process*)

Keuntungan:

- Tidak menempel pada kaca karena menggunakan timah sebagai media pengambang.
- Timah lebih berat daripada kaca sehingga kaca akan mengapung diatas timah.

Kerugian:

- Lebih mahal karena menggunakan timah sebagai media tambahan.

Dari kelebihan dan kekurangan di atas diketahui bahwa produk yang dihasilkan dari proses float lebih baik daripada yang lain.

## II.3 Uraian Proses Terpilih

Menurut Novanda (2013), adapun langkah-langkah proses yang digunakan untuk pembuatan kaca adalah sebagai berikut :

1. Proses pengadaan bahan baku.



- 
- 2. Proses pencampuran bahan baku.
  - 3. Proses peleburan (*melting*),
  - 4. Proses pembentukan,
  - 5. Proses pendinginan.
  - 6. Proses pemotongan dan pengepakan.

### II.3.1 Proses Pengadaan Bahan Baku

Bahan baku yang diterima harus dikontrol dengan baik mulai dari komposisi, ukuran partikel, hingga kandungan air dalam bahan baku. Penyimpanan bahan baku juga harus sesuai dengan sifat fisik dan kimia bahan. Pada tahap ini dilakukan penggilingan, pengayakan bahan baku serta pemisahan dari pengotor-pengotornya. Serbuk bahan baku ditimbang sesuai komposisi (Novanda, 2013).

### II.3.2 Proses Pencampuran Bahan Baku

Menurut Novanda (2013), tujuan pencampuran adalah untuk mendapatkan campuran antara material yang satu dengan material yang lain homogen, karena ke homogenan sangat berpengaruh terhadap proses peleburan dan kualitas produk yang dihasilkan.

Proses mixing terbagi menjadi 2 tahap yaitu:

- a. Proses pencampuran antara material menjadi mixed batch.

Material antara lain *fly ash*, *soda ash* dan *lime stone* dicampur dengan menggunakan *mixer* (M-210). Proses mixing dibagi menjadi 2 tahap antara lain: mixing basah dan mixing kering. Proses pertama yaitu mixing kering yang kemudian dilanjutkan mixing basah dengan penambahan air sebanyak 4% dari bahan baku, penambahan ini bertujuan untuk memperoleh *moisture* sesuai dengan yang diharapkan.



b. Proses antara *mixed batch* dan *cullet*

Setelah campuran *batch* keluar dari mixer, *batch* tersebut diangkut dengan *belt conveyor* (J-311) dan dibawa dengan *bucket elevator* (J-312) masuk ke dalam *melter* atau *furnace* (Q-310).

### II.3.3 Proses Peleburan (*Melting*)

Menurut Novanda (2013), proses selanjutnya adalah proses peleburan atau *melting* yang terjadi pada tungku peleburan (*melter* Q-310). *Mixed batch* hasil pencampuran pada proses mixing dimasukkan bersama dengan *cullet* ke dalam *melter*, yang mana prinsip kerjanya hampir sama dengan tungku.

Temperatur atmosfer pada *melter* 1450 °C. Pada temperatur ini, terjadi peleburan *cullet* kemudian diikuti oleh peleburan *mixed batch*. Selama *mixed batch* dan *cullet* berada pada *furnace* (Q-310), terjadi beberapa proses yaitu :

1. Reaksi Peng-kaca-an (*Vitrification*)

Selama bahan-bahan dipanaskan, terjadi reaksi perubahan sifat fisik maupun sifat kimia dari bahan sehingga terjadi proses peng-kaca-an.

2. Peleburan

Waktu peleburan adalah saat rentang waktu ketika peleburan dimulai sampai semua bahan melebur seutuhnya

Dalam proses *melting*, *molten glass* mengalir mengalami sirkulasi karena adanya perbedaan temperatur. Ada tiga *stage* pada proses *melting*, yang akan dijelaskan sebagai berikut :

1. *Primary Melting Stage*

Pada tahap ini, material mulai dipanasi dan melebur. Pada tahap ini konsumsi energi di *melting furnace* sangat tinggi, karena untuk merubah bentuk



*raw material* menjadi *molten glass* butuh energi yang besar. Di fase ini terjadi reaksi inti.

## 2. *Stirring* dan *Skimming*

Pada tahap ini *molten glass* harus melewati sebuah celah sampai yang disebut sebagai *neck* (leher) dimana pada area ini terdapat proses yang sangat berpengaruh, yaitu :

- a. *Stirring* (pengadukan)  
Tujuannya yaitu untuk mencampur *molten glass* yang berat dan ringan, sehingga berat jenisnya homogen. *Molten glass* yang ringan banyak dikontribusi dari *fresh molten glass* dan *melter*, karena temperaturnya tinggi, sedangkan *molten glass* yang ringan dikontribusi dari *molten glass return* dari *refiner*, yang temperaturnya lebih dingin dan berada diposisi *bottom neck*.
- b. *Skimming* (Pemisahan/Penyaringan)  
*Skimming* adalah pemisahan sebuah substansi yang sejenis dan sefase, berdasarkan perbedaan berat jenis atau densitasnya. Pada proses ini, kaca dibendung dengan rangkaian pipa, yang tujuanya memblokir kaca yang temperatur dan berat jenisnya dapat memasuki area *refiner*. Pipa ini disebut “*Neck Skim Bar*”. Ketika berhadapan dengan *skim bar* hanya kaca yang memiliki berat jenis ringan saja yang dapat melewati bagian atas dan disekitar *skim bar*, artinya hanya kaca yang sangat panas yang dapat melewati *skim bar*. Kaca yang dingin akan semakin dingin dan menjadi berat, akhirnya tidak dapat melewati *skim bar*. Kemudian kaca ini akan turun ke bawah dan



kembali bersama “*return current*” dari refiner atau dimix kembali ke area *stirrer*.

### 3. Refining

Pada tahap ini adalah tahap akhir dari proses di *furnace*. Pada tahap ini kaca dijaga agar temperaturnya tidak terlalu drop dan cukup untuk masuk ke dalam *metal bath* (X-410). Secara prinsip, jika temperatur kaca terlalu dingin, maka pada refiner akan rawan terbentuk lapisan kaca yang dingin dan berat yang akan diam di *bottom refiner*. Ini disebut sebagai “*Dead Glass*”. Temperatur yang ideal untuk kaca masuk kedalam *metal bath* adalah sekitar 1050°C.

Menurut Achmadi (2003), reaksi utama pembentukan kaca :



#### II.3.4 Proses Pembentukan

Menurut Novanda (2013), proses pembentukan bertujuan untuk mengubah cairan kaca berbentuk kaca lembaran dengan ukuran lebar dan tebal yang dinginkan.

Proses ini berlangsung pada suatu *metal bath* (X-410) yang terbuat dari logam tahan panas. *Metal bath* (X-410) berupa bejana mengambang (*float proses*) berisi leburan timah yang berat jenisnya lebih besar dari berat jenis leburan kaca. Proses float adalah proses pengambangan kaca diatas timah cair, untuk memperoleh kerataan kaca yang datar, sehingga kaca memiliki kemampuan transisi optik yang baik (tanpa distorsi).

Timah dipilih sebagai media pengambang karena sifat timah :

- Tidak menempel di kaca.

- Lebih berat daripada kaca, sehingga kaca akan mengambang diatas timah. Kaca cair secara alamiah akan mengalami pelebaran saat turun ke *tin bath*, kemudian akan mengecil seiring dengan pengaruh tarikan *lehr speed*.

Di dalam metal bath juga terjadi proses pendinginan. Media pendingin yang digunakan adalah gas nitrogen. Gas nitrogen digunakan untuk menghindari terjadinya reaksi antara oksigen dan timah.



$\text{SnO}_2$  berupa serbuk yang biasanya menempel di langit-langit metal bath. Serbuk ini kalau didiamkan dalam jangka waktu yang lama akan menumpuk dan jatuh ke permukaan kaca, sehingga mengakibatkan cacat pada permukaannya. Untuk mengatasi hal ini, maka diadakan roof cleaning secara periodic.

### II.3.5 Proses Pendinginan

Menurut Novanda (2013), setelah kaca keluar dari *metal bath* (X-410), pasti kaca membutuhkan pendinginan. Pendinginan dalam suatu ruangan yang disebut *lehr* (E-510). Pendinginan ini tidak semata-mata sekedar didinginkan saja, karena proses ini mempengaruhi fisik kaca secara luas. Pada *lehr* ini terjadi 3 proses, yaitu :

#### 1. Proses Annealing

Dalam proses *annealing* ini lembaran kaca mengalami proses penurunan suhu secara perlahan-lahan dan seimbang dengan waktu yang relatif panjang. Diharapkan akan mendapatkan kaca dengan *strain* yang baik. Sebelum memasuki *annealing*, Lembaran kaca kemudian melalui tahap *annealing* dimana temperatur kaca mengalami penurunan dari 650°C sampai 530°C.



## 2. Proses *Cooling*

Proses *cooling* merupakan rangkaian/kelanjutan proses *annealing* dimana temperatur lembaran kaca diturunkan lebih cepat dalam waktu yang relatif pendek yang berkisar dari temperatur sesudah proses *annealing* sampai temperatur 310°C.

## 3. Proses *Force Cooling*

*Force cooling* adalah pendinginan langsung ke seluruh bagian permukaan kaca, terjadi *open lehr*. Udara langsung disemprotkan ke permukaan kaca sehingga temperatur turun sampai 80°C.

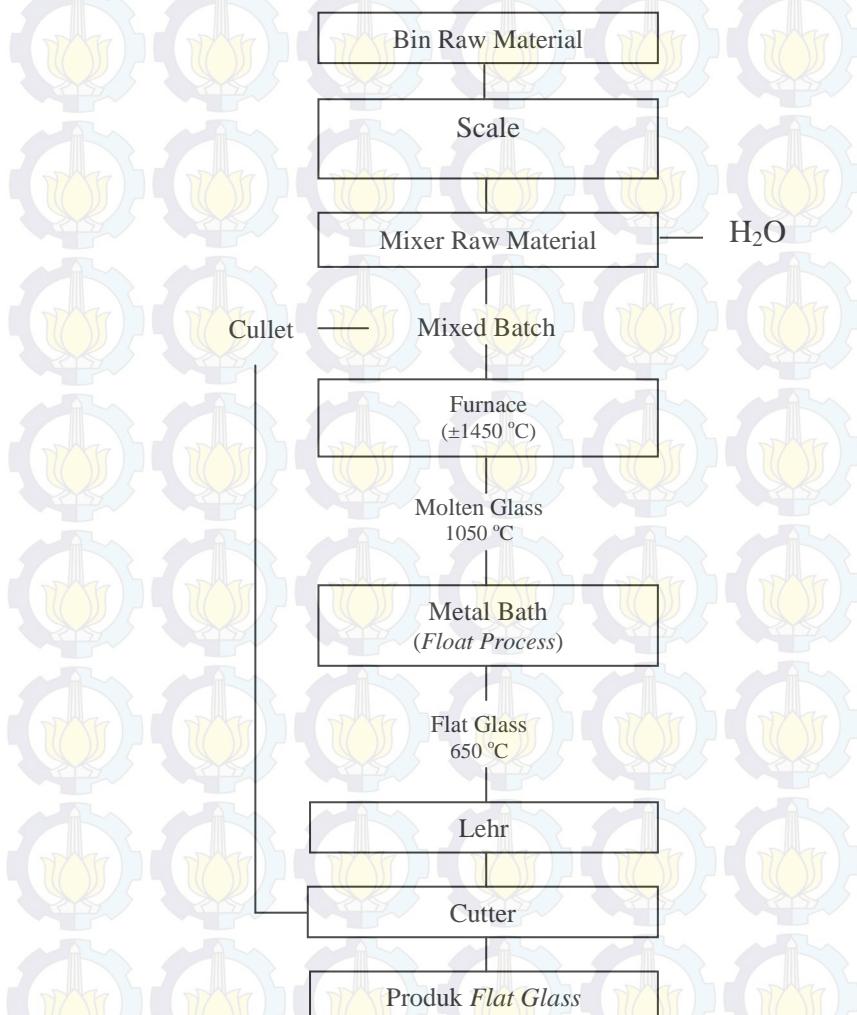
### II.3.6 Proses Pemotongan dan Pengepakan

Setelah kaca keluar dari area *open lehr*, kaca bergerak kebagian pemotongan. Kemudian kaca masuk kedalam *washing machine* untuk dicuci dan dibilas. Tujuannya adalah untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang melekat pada permukaan kaca maupun pada bawah kaca. Pada proses ini dibantu dengan *hot water* yang dihasilkan dari *steam* dengan temperatur berkisar 80-100°C, karena temperatur kaca setelah dari *lehr* masih berkisar 80°C. Sehingga jika ada perbedaan suhu yang terlalu tinggi yang dapat mengakibatkan *thermal shock* (kaca pecah) bisa diminimalisir.

Proses pengepakan bertujuan untuk pengemasan produk kaca kedalam *box* atau *pallet* dan menjaga kualitas produk sampai ketujuan pengiriman. Kaca-kaca yang telah dipotong sesuai dengan ukuran yang dikehendaki langsung dikemas (*Novanda, 2013*).



## II.4 Diagram Blok Proses Terpilih



**Gambar II.4** Blok Diagram Pembuatan *Flat Glass* dengan Proses *Float*



**Halaman ini Sengaja Dikosongkan**



### BAB III

## NERACA MASSA

Kapasitas produksi <i>flat glass</i>	: 26.000 ton/tahun 78964,97 kg/hari
Operasional pabrik	: 330 hari
Satuan massa	: kg
Basis	: 1 hari
Basis bahan baku	: 96256,682 kg
Perbandingan Bahan baku dengan cullet : 80 : 20 ( <i>Setyorini dkk, 2012</i> )	Untuk kapasitas 78964,97kg <i>flat glass</i> dibutuhkan bahan baku sebesar 96256,682 kg (yield 82 %) dengan data komposisi <i>fly ash</i> sebagai berikut :

**Tabel III.1 Komposisi Fly Ash (*Ngurah dkk, 2006*)**

Komposisi Kimia	Jumlah (%)	Massa (kg)
SiO <sub>2</sub>	75	57754,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,3	1001,07
CaO	4	3080,21
Na <sub>2</sub> O	15,5	11935,83
MgO	4,2	3234,22
Total	100	770535



## Perhitungan Neraca Massa

### 1. BinFly Ash(F-111)

Fungsi : Menampung bahan baku *fly ash*.



**Tabel III.3** Neraca Massa pada Bin Fly Ash

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 1		Aliran 2	
SiO <sub>2</sub>	57754,01	SiO <sub>2</sub>	57754,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07
CaO	3080,21	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3080,21
Na <sub>2</sub> O	11935,83	Na <sub>2</sub> O	11935,83
MgO	3234,22	MgO	3234,22
Total	<b>77005,35</b>	Total	<b>77005,35</b>

### 2. Scale Fly Ash (W-116)

Fungsi : Untuk menimbang bahan baku *fly ash* yang keluar dari *fly ash*.

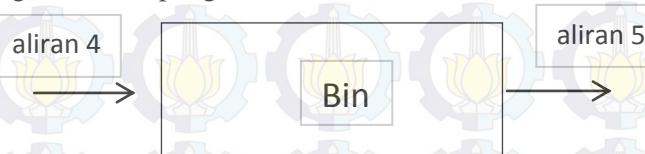


**Tabel III.4** Neraca Massa pada Scale Fly Ash

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 2		Aliran 3	
SiO <sub>2</sub>	57754,01	SiO <sub>2</sub>	57754,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07
CaO	3080,21	CaO	3080,21
Na <sub>2</sub> O	11935,83	Na <sub>2</sub> O	11935,83
MgO	3234,22	MgO	3234,22
Total	<b>77005,35</b>	Total	<b>77005,35</b>

### 3. Bin Soda Ash (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) (F-112)

Fungsi : Menampung bahan baku soda ash (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).

**Tabel III.5** Neraca Massa pada Bin Soda Ash (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 4		Aliran 5	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78
Total	<b>1974,78</b>	Total	<b>1974,78</b>



#### 4. Scale Soda Ash ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) (W-117)

Fungsi : Untuk menimbang bahan baku *soda ash* ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) yang keluar dari Bin *soda ash* ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )



**Tabel III.6** Neraca Massa pada Scale *Soda Ash* ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 5		Aliran 6	
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	1974,78	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	1974,78
Total	<b>1974,78</b>	Total	<b>1974,78</b>

#### 5. Bin Lime Stone(F-113)

Fungsi : Menampung bahan baku *lime stone*



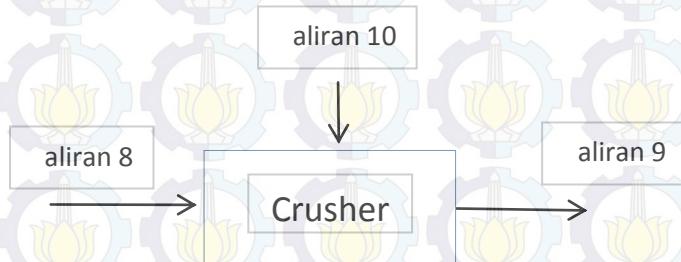
**Tabel III.7** Neraca Massa pada Bin *Lime Stone*

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 7		Aliran 8	
$\text{CaCO}_3$	1388,75	$\text{CaCO}_3$	1388,75
$\text{MgCO}_3$	73,09	$\text{MgCO}_3$	73,09
Total	<b>1461,84</b>	Total	<b>1461,84</b>



## 6. Crusher Lime Stone (C-114)

Fungsi : Memperkecil ukuran bahan baku lime stone yang keluar dari Bin lime stone.



Aliran 8:

Komposisi	Jumlah (%)	massa (kg)
CaCO <sub>3</sub>	95	1388,75
MgCO <sub>3</sub>	5	73,09
Total	100	<b>1461,84</b>

$$\text{Aliran 8} = \text{Aliran 11} = 1461,84 = 80\% \text{ aliran 10} =$$

Aliran 9 = konfersi 80% dari aliran 8

$$= \frac{100}{80} \times 1461,84 = 1827,3$$

Aliran 10

Komposisi	Jumlah (%)	Massa (kg)
CaCO <sub>3</sub>	95	277,75
MgCO <sub>3</sub>	5	14,62
Total	100	<b>292,37</b>

Aliran 9	Aliran 10	-Aliran 11	
CaCO <sub>3</sub>	1388,75	-1111	= 277,75



MgCO <sub>3</sub>	73,09	-58,472	= 14,62
	<b>1461,84</b>	<b>1169,47</b>	<b>292,37</b>

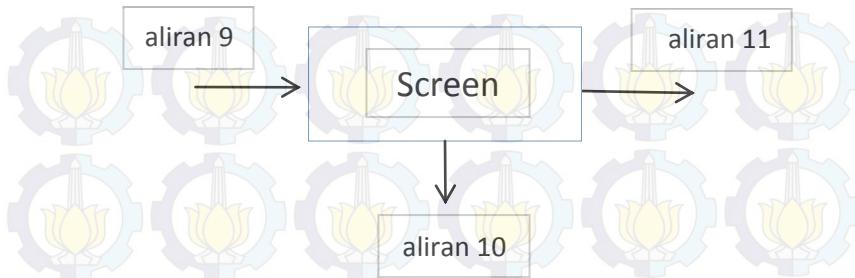
Aliran 9	Aliran 8	+ Aliran 10	
CaCO <sub>3</sub>	1388,75	+ 277,75	= 1666,5
MgCO <sub>3</sub>	73,09	+ 14,62	= 87,71
	<b>1461,84</b>	<b>292,37</b>	<b>1754,21</b>

Tabel III.8 Neraca Massa pada Crusher Lime stone

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 8		Aliran 9	
CaCO <sub>3</sub>	1388,75	CaCO <sub>3</sub>	1666,5
MgCO <sub>3</sub>	73,09	MgCO <sub>3</sub>	87,71
	<b>1461,84</b>		
Aliran 10			
CaCO <sub>3</sub>	277,75		
MgCO <sub>3</sub>	14,62		
	<b>292,37</b>		
Total	<b>1754,21</b>	Total	<b>1754,21</b>

## 7. Screen Lime Stone (S-115)

Fungsi : Mengayak Lime Stone setelah dihancurkan dari crusher.



Diasumsikan efisiensi 80%.

Tabel III.9 Neraca Massa pada Screen *Lime Stone*

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 9		Aliran 11	
CaCO <sub>3</sub>	1666,5	CaCO <sub>3</sub>	1388,75
MgCO <sub>3</sub>	87,71	MgCO <sub>3</sub>	73,09
			<b>1461,84</b>
		Aliran 10	
CaCO <sub>3</sub>	277,75	CaCO <sub>3</sub>	277,75
MgCO <sub>3</sub>	14,62	MgCO <sub>3</sub>	14,62
			<b>292,37</b>
Total	<b>1754,21</b>	Total	<b>1754,21</b>

### 8. Scale *Lime Stone* (W-118)

Fungsi : Untuk menimbang bahan baku *Lime Stone* yang telah keluar dari *screen*.



**Tabel III.10** Neraca Massa pada Scale Lime Stone

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 11		Aliran 12	
CaCO <sub>3</sub>	1388,75	CaCO <sub>3</sub>	1388,75
MgCO <sub>3</sub>	73,09	MgCO <sub>3</sub>	73,09
Total	<b>1461,84</b>	Total	<b>1461,84</b>

### 9. Belt Conveyor (J-211)

Fungsi : Memindahkan bahan baku *fly ash*, *lime stone*, *soda ash* menuju ke bucket elevator.

**Tabel III.11** Neraca Massa pada Belt Conveyor

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 3		Aliran 13	
SiO <sub>2</sub>	57754,01	SiO <sub>2</sub>	57754,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07
CaO	3080,21	CaO	3080,21
Na <sub>2</sub> O	11935,83	Na <sub>2</sub> O	11935,83
MgO	3234,22	MgO	3234,22
	<b>77005,35</b>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78



Aliran 5		CaCO <sub>3</sub>	1388,75
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78	MgCO <sub>3</sub>	73,09
	<b>1974,78</b>		
Aliran 7			
CaCO <sub>3</sub>	1388,75		
MgCO <sub>3</sub>	73,09		
	<b>1461,84</b>		
Total	<b>80441,97</b>	Total	<b>80441,97</b>

### 10. Bucket Elevator (J-212)

Fungsi : Memindahkan fly ash, lime stone dan soda ash dari belt conveyor menuju ke mixer.



Tabel III.12 Neraca Massa pada Bucket Elevator

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 13		Aliran 14	
SiO <sub>2</sub>	57754,01	SiO <sub>2</sub>	57754,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07
CaO	3080,21	CaO	3080,21
Na <sub>2</sub> O	11935,83	Na <sub>2</sub> O	11935,83
MgO	3234,22	MgO	3234,22
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78



CaCO <sub>3</sub>	1388,75	CaCO <sub>3</sub>	1388,75
MgCO <sub>3</sub>	73,09	MgCO <sub>3</sub>	73,09
Total	<b>80441,97</b>	Total	<b>80441,97</b>

### 11. Mixer (M-210)

Fungsi : Mencampur *fly ash*, *soda ash*, *lime stone* agar homogen.



**Tabel III.13** Neraca Massa pada Mixer

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<b>Aliran 14</b>		<b>Aliran 16</b>	
SiO <sub>2</sub>	57754,01	SiO <sub>2</sub>	57754,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07
CaO	3080,21	CaO	3080,21
Na <sub>2</sub> O	11935,83	Na <sub>2</sub> O	11935,83
MgO	3234,22	MgO	3234,22
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78
CaCO <sub>3</sub>	1388,75	CaCO <sub>3</sub>	1388,75
MgCO <sub>3</sub>	73,09	MgCO <sub>3</sub>	73,09
	<b>80441,97</b>	H <sub>2</sub> O	3217,68



Aliran 15			
H <sub>2</sub> O	3217,68		
	<b>3217,68</b>		
Total	<b>83659,65</b>	Total	<b>83659,65</b>

## 12. Bin Mixed Batch (F-215)

Fungsi : Menampung bahan baku yang keluar dari mixer.



Tabel III.14 Neraca Massa pada Bin Mixed Batch

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 14		Aliran 16	
SiO <sub>2</sub>	57754,01	SiO <sub>2</sub>	57754,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07
CaO	3080,21	CaO	3080,21
Na <sub>2</sub> O	11935,83	Na <sub>2</sub> O	11935,83
MgO	3234,22	MgO	3234,22
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78
CaCO <sub>3</sub>	1388,75	CaCO <sub>3</sub>	1388,75
MgCO <sub>3</sub>	73,09	MgCO <sub>3</sub>	73,09
H <sub>2</sub> O	3217,68	H <sub>2</sub> O	3217,68
Total	<b>83659,65</b>	Total	<b>83659,65</b>



### 13. BinCullet (F-614)

Fungsi : Penampungan bahan baku Cullet.



**Tabel III.15** Neraca Massa pada Bin Cullet

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 17		Aliran 18	
SiO <sub>2</sub>	2158,77	SiO <sub>2</sub>	2158,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26
MgO	690,25	MgO	690,25
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8692,35	Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8692,35
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7506,7	Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7506,7
Total	<b>19251,34</b>	Total	<b>19251,34</b>

### 14. CrusherCullet (C-615)

Fungsi : Untuk memperkecil ukuran cullet yang keluar dari Bin cullet.



**Tabel III.16** Neraca Massa pada Crusher Cullet

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



Aliran 17		Aliran 18	
SiO <sub>2</sub>	2158,77	SiO <sub>2</sub>	2158,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26
MgO	690,25	MgO	690,25
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8692,35	Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8692,35
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7506,7	Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7506,7
Total	<b>19251,34</b>	Total	<b>19251,34</b>

### 15. BinCullet (F-216)

Fungsi : Untuk menampung cullet yang keluar dari crusher



Tabel III.17 Neraca Massa pada Cullet

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 19		Aliran 20	
SiO <sub>2</sub>	2158,77	SiO <sub>2</sub>	2158,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26
MgO	690,25	MgO	690,25
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8692,35	Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8692,35
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7506,7	Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7506,7
Total	<b>19251,34</b>	Total	<b>19251,34</b>



## 16. Belt Conveyor (J-311)

Fungsi : Memindahkan mixed batch dan cullet yang keluar dari bin mixed batch dan bin cullet ke bucket elevator



**Tabel III.18** Neraca Massa pada Belt Conveyor

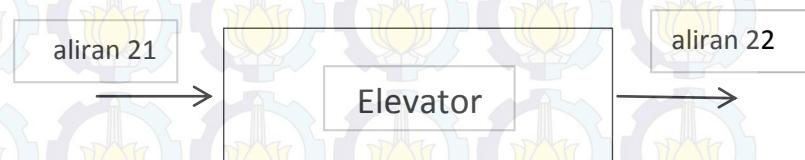
Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<b>Aliran 17</b>		<b>Aliran 21</b>	
SiO <sub>2</sub>	57754,01	SiO <sub>2</sub>	57754,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07
CaO	3080,21	CaO	3080,21
Na <sub>2</sub> O	11935,83	Na <sub>2</sub> O	11935,83
MgO	3234,22	MgO	3234,22
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78
CaCO <sub>3</sub>	1388,75	CaCO <sub>3</sub>	1388,75
MgCO <sub>3</sub>	73,09	MgCO <sub>3</sub>	73,09
H <sub>2</sub> O	3217,68	H <sub>2</sub> O	3217,68
	<b>83659,65</b>		<b>83659,65</b>
<b>Aliran 20</b>		Cullet	
SiO <sub>2</sub>	2158,77	SiO <sub>2</sub>	2158,77



$\text{Al}_2\text{O}_3$	203,26	$\text{Al}_2\text{O}_3$	203,26
$\text{MgO}$	690,25	$\text{MgO}$	690,25
$\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_3$	8692,35	$\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_3$	8692,35
$\text{Na}_2\text{OCaO}(\text{SiO}_2)_3$	7506,7	$\text{Na}_2\text{OCaO}(\text{SiO}_2)_3$	7506,7
	<b>19251,34</b>		<b>19251,34</b>
Total	<b>102910,99</b>	Total	<b>102910,99</b>

### 17. Bucket Elevator (J-312)

Fungsi : Memindahkan mixed batch dan cullet dari belt conveyor ke furnace



Tabel III.19 Neraca Massa pada Bucket Elevator

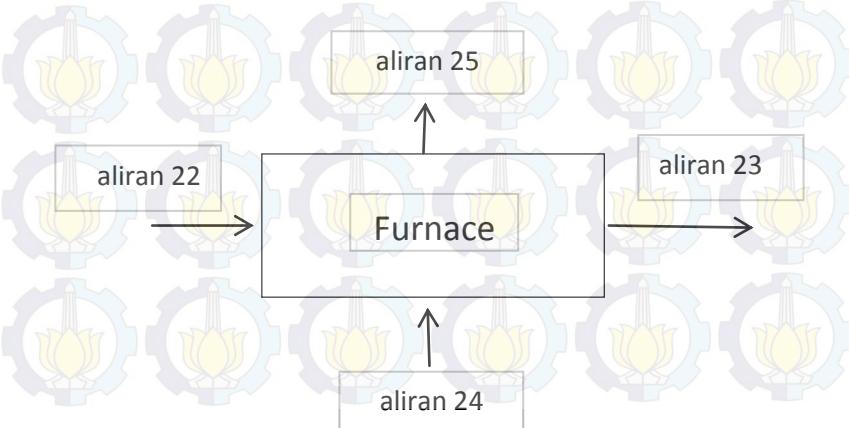
Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 21		Aliran 22	
$\text{SiO}_2$	57754,01	$\text{SiO}_2$	57754,01
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1001,07	$\text{Al}_2\text{O}_3$	1001,07
$\text{CaO}$	3080,21	$\text{CaO}$	3080,21
$\text{Na}_2\text{O}$	11935,83	$\text{Na}_2\text{O}$	11935,83
$\text{MgO}$	3234,22	$\text{MgO}$	3234,22
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	1974,78	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	1974,78



CaCO <sub>3</sub>	1388,75	CaCO <sub>3</sub>	1388,75
MgCO <sub>3</sub>	73,09	MgCO <sub>3</sub>	73,09
H <sub>2</sub> O	3217,68	H <sub>2</sub> O	3217,68
	<b>83659,65</b>		<b>83659,65</b>
Cullet		Cullet	
SiO <sub>2</sub>	2158,77	SiO <sub>2</sub>	2158,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26
MgO	690,25	MgO	690,25
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8692,35	Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8692,35
Na <sub>2</sub> O CaO (SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7506,7	Na <sub>2</sub> O CaO (SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7506,7
	<b>19251,34</b>		<b>19251,34</b>
Total	<b>102910,99</b>	Total	<b>102910,99</b>

### 18. Furnace (Q-310)

Fungsi : Untuk meleburkan bahan baku dan cullet serta tempat terjadinya rekasi pengkacaan.



**Tabel III.20** Neraca Massa pada Furnace

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 22		Aliran 23	
SiO <sub>2</sub>	57754,01	SiO <sub>2</sub>	21907,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1204,33
CaO	3080,21	MgO	3959,27
Na <sub>2</sub> O	11935,83	Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43150,73
MgO	3234,22	Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27994,2
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78		<b>98216,3</b>
CaCO <sub>3</sub>	1388,75		
MgCO <sub>3</sub>	73,09		
H <sub>2</sub> O	3217,68		
	<b>83659,65</b>		
Cullet		Aliran 25	
SiO <sub>2</sub>	2158,77	CO <sub>2</sub>	34778,48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26	H <sub>2</sub> O	15887,7
MgO	690,25	SO <sub>2</sub>	649,6
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8692,35	O <sub>2</sub>	8961,12
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7506,7	N <sub>2</sub>	372,2
	<b>19251,34</b>		<b>60649,1</b>
Aliran 24			
Udara	45125,27		
Fuel oil	10829,143		
	<b>158865,4</b>		



Total	<b>158865,4</b>	Total	<b>158865,4</b>
-------	-----------------	-------	-----------------

**19. Chimney (H-313)**

Fungsi: Cerobong tempat keluarnya gas hasil pembakaran.

**Tabel III.21** Neraca Massa pada Chimney

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 25		Aliran 26	
CO <sub>2</sub>	34778,48	CO <sub>2</sub>	34778,48
H <sub>2</sub> O	15887,7	H <sub>2</sub> O	15887,7
SO <sub>2</sub>	649,6	SO <sub>2</sub>	649,6
O <sub>2</sub>	8961,12	O <sub>2</sub>	8961,12
N <sub>2</sub>	372,2	N <sub>2</sub>	372,2
Total	<b>60649,1</b>	Total	<b>60649,1</b>

**20. Metal Bath ( X-410)**

Fungsi : Untuk membentuk kaca cair yang keluar dari furnace dengan cara mengambangkan kaca cair diatas timah cair.



**Tabel III.22** Neraca Massa pada Metal Bath

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 23		Aliran 27	
SiO <sub>2</sub>	21907,77	SiO <sub>2</sub>	21907,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1204,33	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1204,33
MgO	3959,27	MgO	3959,27
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43150,73	Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43150,73
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27994,2	Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27994,2
Total	<b>98216,3</b>	Total	<b>98216,3</b>

**21. Lehr (C-510)**

Fungsi : Mendinginkan *flat glass* yang sudah dibentuk di metal bath.

**Tabel III.23** Neraca Massa pada Lehr

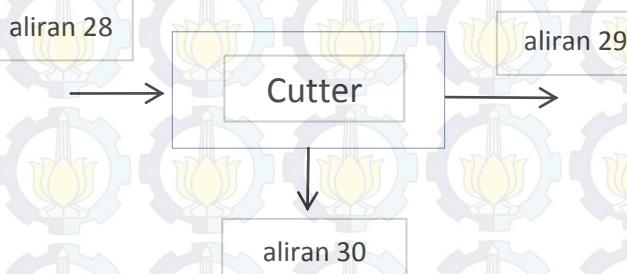
Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 27		Aliran 28	



$\text{SiO}_2$	21907,77	$\text{SiO}_2$	21907,77
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1204,33	$\text{Al}_2\text{O}_3$	1204,33
$\text{MgO}$	3959,27	$\text{MgO}$	3959,27
$\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_3$	43150,73	$\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_3$	43150,73
$\text{Na}_2\text{OCaO}(\text{SiO}_2)_3$	27994,2	$\text{Na}_2\text{OCaO}(\text{SiO}_2)_3$	27994,2
Total	<b>98216,3</b>	Total	<b>98216,3</b>

## 22. Cutter (S-610)

Fungsi : Alat untuk memotong *flat glass*.



**Tabel III.24** Neraca Massa pada cutter

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 28		Aliran 29	
$\text{SiO}_2$	21907,77	$\text{SiO}_2$	19749
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1204,33	$\text{Al}_2\text{O}_3$	1001,07
$\text{MgO}$	3959,27	$\text{MgO}$	3269,02
$\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_3$	43150,73	$\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_3$	34458,38



Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27994,2	Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	20487,5
	<b>98216,3</b>		<b>78964,97</b>
Aliran 30			
SiO <sub>2</sub>	2158,77		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26		
MgO	690,25		
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8692,35		
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7506,7		
	<b>19251,34</b>		
Total	<b>98216,3</b>	Total	<b>98216,3</b>

### 23. Storage Produk (F-611)

Fungsi : Tempat penyimpanan produk flat glass

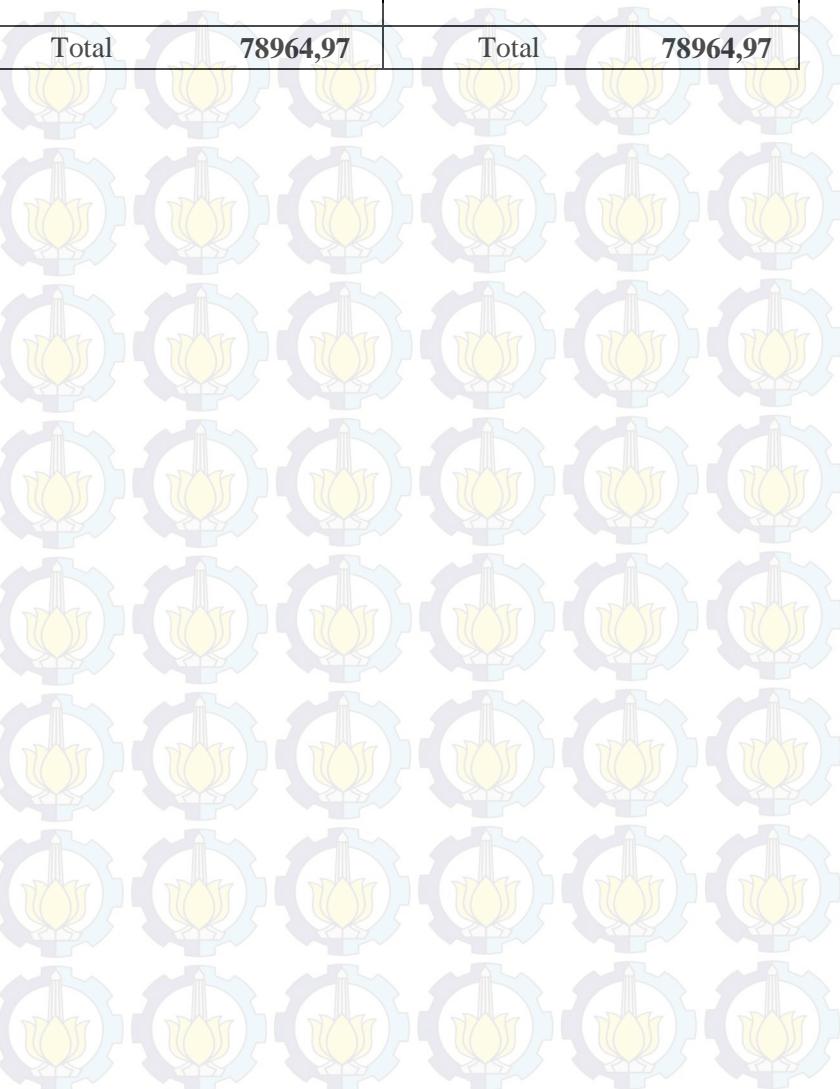


Tabel III.25 Neraca Massa pada storage produk

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 27		Aliran 28	
SiO <sub>2</sub>	19749	SiO <sub>2</sub>	19749
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07
MgO	3269,02	MgO	3269,02
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	34458,38	Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	34458,38
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	20487,5	Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	20487,5



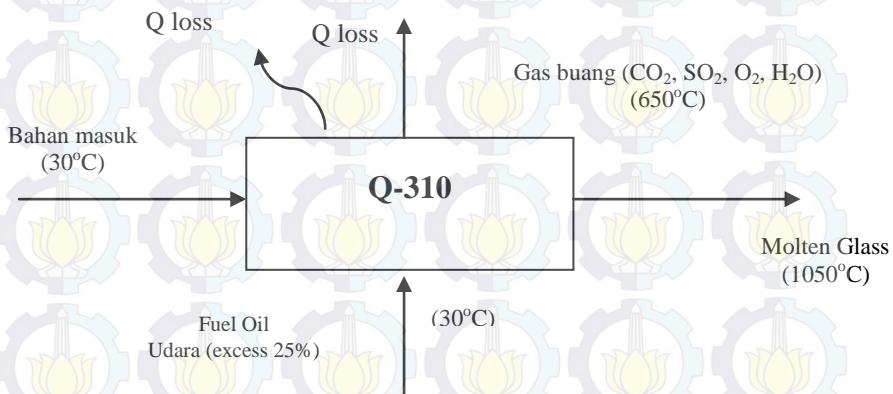
Total	78964,97	Total	78964,97
-------	----------	-------	----------



## BAB IV NERACA PANAS

### 1. Furnace (Q-310)

Fungsi : Untuk melebur campuran antara fly ash, soda ash, soda lime dan cullet sampai terjadi reaksi pengkacaan.



**Tabel IV.1** Neraca Panas pada Furnace

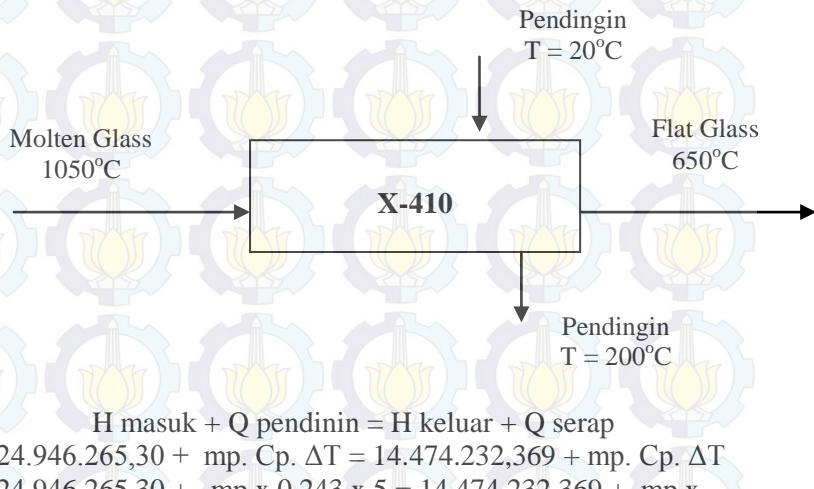
Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
H 1	113.564,462	H 6	9.520.780,125
H 2	22.199,743	H 7	54.444.136,220
H 3	108.433.075,19		24.946.265,30
H 4	43.013,376	H 8	-227,505
H 5	10.753,344	H 9	7.262.496,821
			241.060,541
		Q loss	12.208.094,618
Total	<b>108.622.606,116</b>	Total	<b>108.622.606,116</b>



$$\begin{aligned}
 Q_{\text{loss}} &= H_{\text{masuk}} - H_{\text{keluar}} \\
 &= 108.622.606,116 - 96.414.511,497 \\
 &= 12.208.094,618 \\
 &= \frac{12.208.094,618}{108.622.606,116} \times 100 \% \\
 &= 11,239 \%
 \end{aligned}$$

## 2. Metal Bath (X-410)

Fungsi : Untuk membentuk kaca cair yang keluar dari furnace dengan cara mengambangkan kaca cair diatas timah cair.



$$H_{\text{masuk}} + Q_{\text{pendinin}} = H_{\text{keluar}} + Q_{\text{serap}}$$

$$\begin{aligned}
 24.946.265,30 + mp. Cp. \Delta T &= 14.474.232,369 + mp. Cp. \Delta T \\
 24.946.265,30 + mp \times 0,243 \times 5 &= 14.474.232,369 + mp \times \\
 &\quad 0,249 \times 175
 \end{aligned}$$

$$42,368 \times mp = 10.472.032,926$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa pendingin} &= \frac{10.472.032,926}{42,368} \\
 &= 247.167,201 \text{ kg}
 \end{aligned}$$



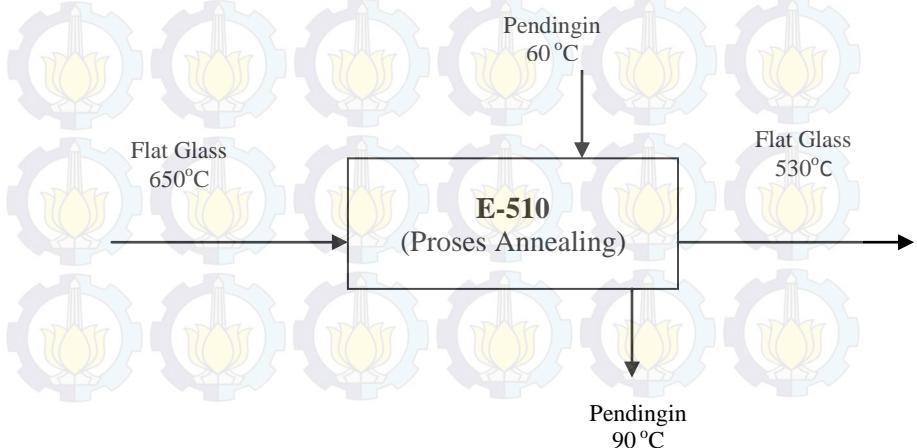
$$\begin{aligned}Q \text{ pendingin} &= mp \times 0,243 \times 5 \\&= 247.167,201 \times 1,213 \\&= 299.822,642 \text{ kkal} \\Q \text{ serap} &= mp \times 0,249 \times 175 \\&= 247.167,201 \times 43,581 \\&= 10.771.855,568 \text{ kkal}\end{aligned}$$

Tabel IV.2 Neraca Panas pada Metal Bath

Masuk (kkal)	Keluar (kkal)
H masuk	24.946.265,30
Q pendingin	<b>299.822,642</b>
Total	<b>25.246.087,937</b>
	Total
	<b>25.246.087,937</b>

### 3. Lehr (E-510)

Fungsi : Mendinginkan *flat glass* yang sudah dibentuk pada metal bath dalam lehr ini terdapat 3 proses pendinginan yang terdiri dari proses annealing, proses cooling dan proses force cooling.





- Proses Annealing  
Entalpi bahan masuk  
Suhu bahan masuk 650°C

Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	H (kkal)
SiO <sub>2</sub>	21.907,77	0,274	625	3.751.705,613
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.204,33	0,289	625	217.532,106
MgO	3.959,27	0,292	625	722.566,775
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43.150,73	0,220	625	5.933.225,375
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27.994,20	0,220	625	3.849.202,500
			<b>Total</b>	<b>14.474.232,369</b>

Entalpi bahan keluar  
Suhu bahan keluar 530°C

Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	H (kkal)
SiO <sub>2</sub>	21.907,77	0,265	505	2.931.807,320
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.204,33	0,279	505	169.684,075
MgO	3.959,27	0,287	505	573.836,797
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43.150,73	0,220	505	4.794.046,103
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27.994,20	0,220	505	3.110.155,620
				<b>11.579.529,916</b>

$$\begin{aligned}
 H_{\text{masuk}} + Q_{\text{pendingin}} &= H_{\text{keluar}} + Q_{\text{serap}} \\
 14.474.232,369 + mp \cdot Cp \cdot \Delta T &= 11.579.529,916 + \\
 &\quad mp \cdot Cp \cdot \Delta T \\
 14.474.232,369 + mp \times 0,232 \times 25 &= 11.579.529,916 + \\
 &\quad mp \times 0,234 \times 65 \\
 9,386 \times mp &= 2.894.702,453 \\
 \text{Massa pendingin} &= \frac{2.894.702,453}{9,386}
 \end{aligned}$$



$$= 308.411,875 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} Q \text{ pendingin} &= mp \times 0,232 \times 25 \\ &= 308.411,875 \times 9,386 \\ &= 1.791.787,321 \text{ kkal} \\ Q \text{ serap} &= mp \times 0,234 \times 65 \\ &= 308.411,875 \times 15,196 \\ &= 4.686.489,774 \text{ kkal} \end{aligned}$$

Flat Glass  
530°C

Pendingin  
40 °C

Flat Glass  
310°C

**E-510**  
(Proses Cooling)

- Proses Cooling  
Entalpi bahan masuk  
Suhu bahan masuk 530°C

Pendingin  
90 °C

Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	H (kkal)
SiO <sub>2</sub>	21.907,77	0,265	505	2.931.807,320
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.204,33	0,279	505	169.684,075
MgO	3.959,27	0,287	505	573.836,797



Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43.150,73	0,220	505	4.794.046,103
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27.994,20	0,220	505	3.110.155,620
				<b>11.579.529,916</b>

Entalpi bahan keluar  
Suhu bahan keluar 310°C

Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	H (kkal)
SiO <sub>2</sub>	21.907,77	0,242	285	1.510.978,897
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.204,33	0,253	285	86.838,215
MgO	3.959,27	0,274	285	309.179,394
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43.150,73	0,220	285	2.705.550,771
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27.994,20	0,220	285	1.755.236,340
				<b>6.367.783,617</b>

$$H \text{ masuk} + Q \text{ pendingin} = H \text{ keluar} + Q \text{ serap}$$

$$11.579.529,916 + mp \cdot Cp \cdot \Delta T = 6.367.783,617 + mp \cdot Cp \cdot \Delta T$$

$$11.579.529,916 + mp \times 0,232 \times 15 = 6.367.783,617 +$$

$$mp \times 0,234 \times 65$$

$$= 5.211.746,299$$

$$\text{Massa pendingin} = \frac{5.211.746,299}{11,711}$$

$$= 445.015,22 \text{ kg}$$

$$Q \text{ pendingin} = mp \times 0,232 \times 15$$

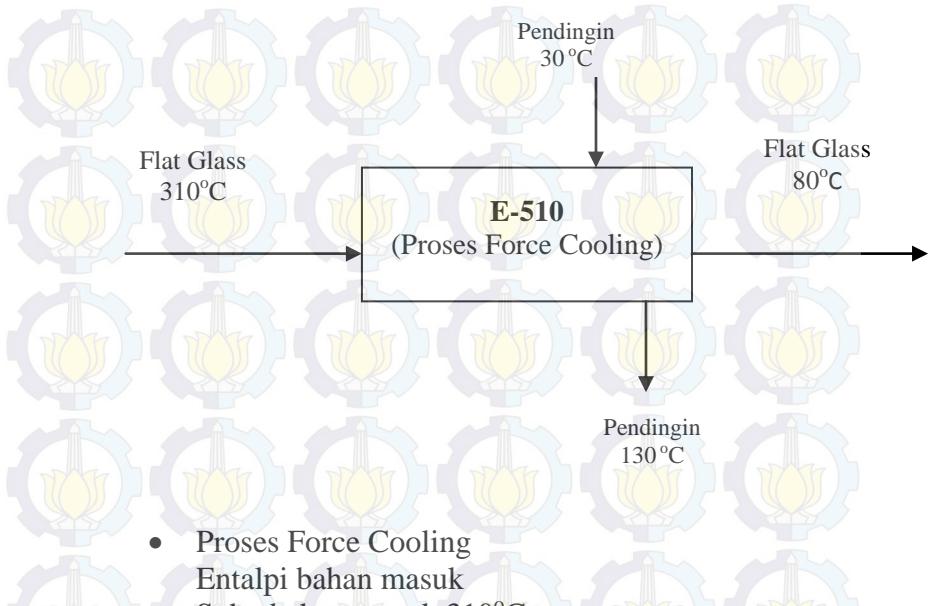
$$= 445.015,22 \times 9,386$$

$$= 1.550.507,195 \text{ kkal}$$

$$Q \text{ serap} = mp \times 0,234 \times 65$$

$$= 445.015,22 \times 15,196$$

$$= 6.762.253,494 \text{ kkal}$$



- Proses Force Cooling  
Entalpi bahan masuk  
Suhu bahan masuk 310°C

Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	H (kkal)
SiO <sub>2</sub>	21.907,77	0,242	285	1.510.978,897
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.204,33	0,253	285	86.838,215
MgO	3.959,27	0,274	285	309.179,394
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43.150,73	0,220	285	2.705.550,771
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27.994,20	0,220	285	1.755.236,340
				<b>6.367.783,617</b>



**Entalpi bahan keluar  
Suhu bahan keluar 80°C**

Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	H (kkal)
SiO <sub>2</sub>	21.907,77	0,199	55	239.780,543
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.204,33	0,206	55	13.645,059
MgO	3.959,27	0,240	55	52.262,364
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43.150,73	0,220	55	522.123,833
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27.994,20	0,220	55	338.729,820
				<b>1.166.541,619</b>

$$\text{H masuk} + \text{Q pendingin} = 6.367.783,617 + \text{mp. Cp. } \Delta T$$

$$6.367.783,617 + \text{mp} \times 0,279 \times 5$$

$$11,869 \times \text{mp}$$

Massa pendingin

$$= \text{H keluar} + \text{Q serap}$$

$$= 1.166.541,619 + \text{mp. Cp. } \Delta T$$

$$= 1.166.541,619 + \text{mp} \times 0,241 \times 55$$

$$= 5.201.241,998$$

$$= \frac{5.201.241,998}{11,869}$$

$$= 438.219,825 \text{ kg}$$

$$\text{Q pendingin} = \text{mp} \times 0,279 \times 5$$

$$= 438.219,825 \times 1,395$$

$$= 611.140,698 \text{ kkal}$$

$$\text{Q serap} = \text{mp} \times 0,214 \times 55$$

$$= 438.219,825 \times 13,264$$

$$= 5.812.382,696 \text{ kkal}$$

**Tabel IV.3 Neraca Panas pada Lehr**

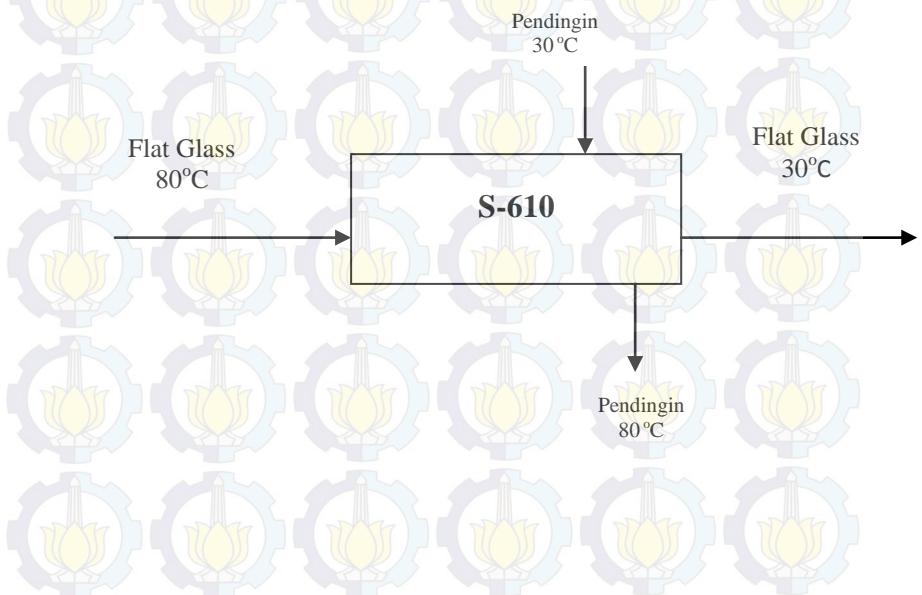
Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
Proses Anneling		Proses Anneling	
H masuk	14.474.232,369	H Keluar	11.579.529,916



Proses Cooling		Proses Cooling	
H masuk	11.579.529,916	H Keluar	6.367.783,617
Proses Force Cooling		Proses Force Cooling	
H masuk	6.367.783,617	H keluar	1.166.541,619
	<b>32.421.545,902</b>		<b>19.113.855,152</b>
Q pendingin	<b>3.953.435,214</b>	Q serap total	<b>17.261.125,964</b>
Total	<b>36.374.981,116</b>	Total	<b>36.374.981,116</b>

#### 4. Cutter (S-610)

Fungsi : Memotong produk *flat glass* yang keluar dari lehr.





**Entalpi bahan masuk  
Suhu bahan masuk 80°C**

Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	H (kkal)
SiO <sub>2</sub>	21.907,77	0,199	55	239.780,543
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.204,33	0,206	55	13.645,059
MgO	3.959,27	0,240	55	52.262,364
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43.150,73	0,220	55	522.123,833
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27.994,20	0,220	55	338.729,820
				<b>1.166.541,619</b>

**Entalpi bahan keluar  
Suhu bahan keluar 30°C**

Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	H (kkal)
SiO <sub>2</sub>	19.749	0,181	5	17.872,845
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.001,07	0,187	5	936
MgO	3.269,,02	0,224	5	3.661,302
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	34.458,38	0,220	5	37.904,218
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	20.487,5	0,220	5	22.536,25
				<b>82.910,616</b>
Cullet				
SiO <sub>2</sub>	2.158,77	0,181	5	1.953,687
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26	0,187	5	190,048
MgO	690,25	0,224	5	773,08
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8.692,35	0,220	5	9.561,585
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7.506,7	0,220	5	8.257,370



				<b>20.735,77</b>
				<b>103.646,386</b>

$$H \text{ masuk} + Q \text{ pendingin} = H \text{ keluar} + Q \text{ serap}$$

$$1.166.541,619 + mp. Cp. \Delta T = 103.646,386 + mp. Cp. \Delta T$$

$$1.166.541,619 + mp \times 0,279 \times 5 = 103.646,386 +$$

$$mp \times 0,241 \times 55$$

$$11,869 \times mp = 1.062.895,233$$

$$\text{Massa pendingin} = \frac{1.062.895,233}{11,869}$$

$$= 89.552,027 \text{ kg}$$

$$Q \text{ pendingin} = mp \times 0,279 \times 5$$

$$= 89.552,027 \times 1,395$$

$$= 124.889,120 \text{ kkal}$$

$$Q \text{ serap} = mp \times 0,214 \times 55$$

$$= 89.552,027 \times 13,264$$

$$= 1.187.784,353 \text{ kkal}$$

**Tabel IV.4** Neraca Panas pada Cutter

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
H masuk	1.166.541,619	H keluar	103.646,386
Q pendingin	124.889,12	Q serap	1.187.784,353
Total	<b>1.291.430,739</b>	Total	<b>1.291.430,739</b>



Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB V

### SPESIFIKASI ALAT

#### 1. Mixer (M-210)

##### Spesifikasi alat :

Bentuk : Silinder vertical dengan tutup dan dasar "flanged & dished head"

Volume tangki : 1738,96 ft<sup>3</sup>

Volume liquid : 1580,84 ft<sup>3</sup>

Diameter tangki : 126 in

Tinggi tangki : 192 in

Tebal tangki : 0,625 in

Tebal tutup atas : 1,04 in

Tebal tutup bawah : 1,04 in

Jenis las : Double welded but joint

Bahan konstruksi : SA 283 grade C

Tipe pengaduk : flat six-blade turbine with disk dengan 4 buah baffel

Jumlah pengaduk : 1

Diameter pengaduk: 63,96 in

Putaran pengaduk : 30 rpm

Power motor : 19 Hp

#### 2. Bin Mixed Batch (F-215)

##### Spesifikasi alat :

Bentuk : Silinder vertical dengan tutup flanged dan dasar conis

Volume tangki : 1157,07ft<sup>3</sup>

Volume liquid : 925,66 ft<sup>3</sup>

Diameter tangki : 120 in



Tinggi tangki	: 192 in
Tebal tangki	: 0,64 in
Tebal tutup bawah	: 8,5 in
Tinggi tutup bawah	: 105 in
Jenis las	: Double welded but joint
Bahan konstruksi	: SA 283 grade C

### 3. Pompa (L-213)

#### Spesifikasi alat:

Fungsi	: Memompa H <sub>2</sub> O ke dalam mixer
Tipe	: Centrifugal pump
Material case	: cast iron
Pipa yang digunakan	: Comercial steel
Suction pressure	: 1 atm
Discharge pressure	: 1 atm
Beda ketinggian	: 35 ft
Ukuran pipa	: 0,84 in OD, sch 40
Power pompa	: 3 hp

## BAB VI

# UTILITAS

Unit pendukung proses sering disebut dengan unit utilitas yang merupakan bagian terpenting untuk menunjang berlangsungnya suatu proses dalam pabrik. Dalam suatu pabrik, peran dari utilitas sebagai unit pendukung operasional suatu proses produksi pada pabrik tersebut sangatlah penting. Semua sarana pendukung operasional suatu proses produksi tersebut disediakan dan disiapkan oleh suatu unit atau pabrik yang secara umum disebut pabrik utilitas. Dengan kata lain, utilitas merupakan suatu pabrik yang menyiapkan sarana pendukung suatu proses produksi pada suatu pabrik. Sarana utilitas pada pabrik *Flat Glass* diantaranya adalah :

1. Air
2. Steam
3. Listrik
4. Bahan Bakar
5. Gas Nitrogen

### VI. 1 Unit Penyediaan Air

Tahapan proses pengolahan air di pabrik *Flat Glass* meliputi :

#### a. Penghisapan

Tahap ini menggunakan penghisapan yang dilengkapi dengan pompa vakum untuk mengalirkan air dari sungai ke stasiun pemompa air. Pemakaian sistem ini disebabkan ketinggian permukaan air tidak tetap. Pada tahap ini diinjeksikan gas chlorine yang berfungsi untuk membunuh bakteri.

#### b. Penyaringan

Tahap ini menggunakan *coarse and fine screen* yang berfungsi untuk menyaring kotoran sungai berukuran besar yang terpompa.



### c. Pengendapan

Pengendapan dilakukan secara gravitasi dengan memakai *settling pit* untuk mengendapkan partikel-partikel yang tersuspensi dalam air. Faktor yang mempengaruhi proses ini antara lain adalah laju alir dan waktu tinggal.

### d. Flokulasi dan Koagulasi

Tahap ini bertujuan untuk mengendapkan suspensi partikel koloid yang tidak terendapkan karena ukurannya sangat kecil dan muatan listrik pada permukaan partikel yang menimbulkan gaya tolak menolak antara partikel koloid. Untuk mengatasi masalah tersebut air dialirkan menuju tangki koagulasi dengan pengadukan cepat dan dilakukan penambahan koagulan berupa larutan kapur yang dapat memecahkan kestabilan yang ditimbulkan oleh muatan listrik tersebut. Kemudian, air dari tangki koagulasi dialirkan secara *over flow* kedalam tangki flokulasi dengan pengadukan lambat dan dilakukan penambahan flokulasi berupa polyelektrolit. Partikel-partikel koloid yang tidak stabil akan saling berkaitan sehingga terbentuk flok dengan ukuran besar dan mudah terendapkan. Setelah itu, air dari tangki flokulasi dialirkan secara overflow kedalam clarifier.

Berikut reaksi kimia di tangki koagulasi :



Kapur mengubah Ca bikarbonat yang larut dalam air menjadi Ca karbonat yang tidak larut dalam air (mengendap).



### e. Clarifier

Tahap ini dilakukan dengan memakai alat pulsator untuk mendapatkan flok yang terbentuk pada proses flokulasi dan koagulasi pada zona-zona pengendapan di alat tersebut. Air yang bersih masuk ke dalam sand filter



sedangkan lumpur atau flok-flok yang terbentuk masuk ke dalam bak penampung lumpur.

#### f. Filtrasi

Tahap ini dilakukan dengan menggunakan saringan pasir silika (*sand filter*) untuk menyaring padatan tersuspensi. Makin banyak partikel padatan tertahan di filter, pressure drop akan semakin besar. Hal ini menyebabkan naiknya level air. Pada batas tertentu filter perlu dibersihkan agar operasi berlangsung normal.

Pembersihan filter dilakukan dengan backwash. Filter ini berisi pasir silika dengan penempatan ukuran yang berbeda-beda tiap lapisannya. Untuk ukuran 0,2-0,6 mesh diposisikan di lapisan atas, kemudian dilanjutkan dengan pasir yang berukuran 2-3 mesh dan lapisan paling bawah menggunakan *gravel* dengan ukuran sekitar 3-5 mesh.

Keluar dari sand filter air tersebut sudah sesuai spesifikasi yaitu soft water. Air dari tahap ini disimpan dalam tangki penampung air bersih yang akan dialirkan menggunakan pompa ke tiga unit, yaitu unit demineralisasi, unit air proses/pendingin, dan unit air sanitasi.

Produk air hasil olahan memiliki kualitas sebagai berikut:

**Tabel VI.1 Kualitas Air Hasil Olahan**

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1.	Jenis	-	Hard water
3.	pH	-	7 – 8
4.	Kekeruhan	NTU	3 max.
5.	Total Hardness	ppm	70

#### g. Demineralizing Plant

- Tugas unit demineralisasi adalah :

Mengolah *soft water* menjadi *demineralizing water* (*demin water*) yaitu air yang bebas mineral penyebab penggerakan dalam boiler. Mineral yang dimaksudkan adalah mineral seperti ion positif ( $\text{Ca}^{2+}$ ,



$Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ) dan ion negatif ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$  dan lain-lain) yang dapat merusak alat dan mengganggu proses.

- Proses pada demineralizing plant :

- **Cation Exchanger :**

Air kemudian dimasukan dari atas kedalam cation exchanger. Didalam cation exchanger, garam-garam  $Na$ ,  $Ca$ ,  $Mg$ ,  $Ba$  diikat oleh resin kation dengan reaksi sebagai berikut:



Kinerja dari kation exchanger berkisar antara 16 jam. Daya tangkap ion tergantung dari kemampuan resin yang digunakan yaitu kemampuan menyerap  $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$ . Pada kondisi tertentu resin cation tersebut jenuh dan perlu diregenerasi dengan larutan  $H_2SO_4$  sebagai berikut :



- **Anion Exchanger :**

- **Degasifier :**

Dari bagian bawah kation exchanger, air kemudian dipompa masuk ke Anion exchanger. Didalam anion exchanger berisi resin anion yang berfungsi mengikat (mengabsorb) sisa asam dengan reaksi sebagai berikut:



Sama halnya dengan cation exchanger, pada kondisi tertentu anion exchanger akan jenuh. Resin akan menjadi jenuh setelah beroperasi  $\pm 40$  jam dengan indikasi adalah kadar silika lebih dari 0,1 ppm, pH air yang keluar turun, serta konduktivitas turun drastis. Anion yang sudah jenuh perlu



diregenerasi dengan larutan Caustic Soda (NaOH) 4% dengan reaksi sebagai berikut :



**Tabel VI.2 Spesifikasi Air Demin**

	pH	Kadar SiO <sub>2</sub>	Conductivity
Demin Plant	6 – 8	0,2 ppm max.	2 Mhos max.

Berikut jenis resin yang digunakan :

- Cation resin: R H<sub>2</sub>

- \* Castel - C – 300
- \* Diaion - SK 1 B
- \* Dowex - HCRS
- \* Lewatit - S 100

- Anion resin : R ( OH )<sub>2</sub>

- \* Castel - A 500 P
- \* Diaion - PA – 312
- SA – 12A
- \* Lewatit - MP 500

### VI.1.1 Unit Penyediaan Air Pendingin (*Cooling Water Unit*)

- Tugas unit penyediaan air pendingin adalah :

Menyediakan air pendingin yang memenuhi syarat-syarat sebagai air pendingin untuk keperluan operasional pada heat exchanger. Alat yang digunakan adalah *cooling tower*.

- Proses pada *cooling water unit* adalah :

Air dari sirkulasi masuk ke bagian atas menara pendingin kemudian jatuh ke basin atas melalui distributor dan slacing up (cawan percik) dalam bentuk butiran hujan. Dari basins, air dingin di pompa



ke *power generation* untuk mendinginkan mesin-mesin di *power generation*.

Setelah keluar dari *power generation* kembali inlet disemprotkan lewat *deck* bagian atas yang mempunyai *nozzle* dan kayu distributor serta didinginkan dengan *fan*, airnya masuk ke basin lagi. Tekanan pada *cooling tower* adalah  $6 \text{ kg/m}^3$  dan suhu masuk  $41^\circ\text{C}$  dan suhu keluar  $31^\circ\text{C}$ .

Di dalam air pendingin diberi bahan-bahan kimia sehingga air memenuhi syarat untuk proses. Bahan kimia tersebut adalah:

1. Kurizet : sebagai *scale inhibitor* dan *initial treatment*
2. Polycyn : sebagai slime cide
3. Sulphuric Acid ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) : untuk mengatur pH
  - Syarat kualitas cooling water :
    - o Tidak menimbulkan kerak
    - o Tidak menimbulkan korosi
    - o Meminimize atau mengendalikan laju pertumbuhan bakteri
  - Syarat cooling water :
 

o pH	:	7.3 – 7.8
o Conductivity	:	< 3000 Mhos/cm
o Ca – H	:	400 – 600
o $\text{SiO}_2$	:	< 150 ppm
o Free Chlorine	:	0.2 – 0.5 ppm
o $\text{PO}_4$	:	5.0 – 7.0 ppm



## Perhitungan Kebutuhan Air

Diketahui :

- Densitas air pada  $30^{\circ}\text{C}$  = **995,68 Kg / m<sup>3</sup>** (*Geankoplis, A.2-3*)

A. Air Sanitasi

- \* Air untuk karyawan

- Menurut standar WHO kebutuhan air untuk tiap orang adalah **120 kg/hari**.

Ditetapkan : jumlah karyawan 110 orang,

Sehingga total air yang dibutuhkan :

$$= (120 \times 110) / 995,68$$

$$= 13,257 \text{ m}^3/\text{hari}$$

- \* Air untuk laboratorium

Direncanakan kebutuhan air untuk laboratorium adalah sebesar 20% dari kebutuhan karyawan, sehingga kebutuhan air untuk laboratorium adalah :

$$= 20\% \times 13,257 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 2,652 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Jadi, total kebutuhan air =  $13,257 + 2,652 = 15,909 \text{ m}^3/\text{hari}$

- \* Air untuk pemadam kebakaran dan cadangan

Air sanitasi untuk pemadam kebakaran dan air cadangan direncanakan sebesar 40% dari kebutuhan air sanitasi, sehingga

$$\text{Total Air Sanitasi} = \frac{140}{100} \times 15,909 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 22,2726 \text{ m}^3/\text{hari}$$



### C. Air Umpan Boiler

Berdasarkan perhitungan dari neraca panas, kebutuhan air umpan boiler untuk menghasilkan steam pada sistem pemrosesan ini berasal dari :

No.	Nama	Kebutuhan air (kg/hari)
1.	Lehr	860.550,820
	<b>Total</b>	<b>860.550,820</b>

$$\begin{aligned} \text{Total kebutuhan air umpan boiler} &= \frac{860.550,820}{(\text{densitas air})} \\ &= \frac{860.550,820}{995,68} \\ &= 864,285 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Karena digunakan sistem sirkulasi untuk menghemat air, maka diasumsikan air umpan boiler yang ditambahkan selama pabrik dalam kondisi steady sebesar 20% dari total kebutuhan air umpan boiler.

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, air yang disirkulasi} &= 20\% \times 864,285 \\ &= 172,857 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

### D. Air Proses

Air yang dibutuhkan untuk proses produksi *flat glass* :

No.	Nama	Kebutuhan air (kg/hari)
1.	Mixer	3.514,59
	<b>Total</b>	<b>3.514,59</b>

$$\begin{aligned} \text{Total kebutuhan air proses} &= \frac{3.514,59}{(\text{densitas air})} \\ &= \frac{3.514,59}{995,68} \\ &= 3,529 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$



## VI.2 Unit Penyediaan Steam

Unit penyediaan uap pada utilitas pabrik *Flat Glass* mempunyai 2 buah boiler dengan kapasitas masing-masing 10 dan 12 ton/jam. Unit penyediaan steam di pabrik *Flat Glass* terdiri dari :

Pembangkit Steam :

1. Boiler
2. WHB

Sarana Perlengkapan Boiler :

- Pompa BFW
- Deaerator
- Demin Water
- Pompa Injeksi Chemical
- Steam Header

Air yang akan diumpulkan kedalam boiler harus memenuhi spesifikasi tertentu. Parameter yang harus diawasi dari analisa air boiler adalah sebagai berikut :

**Tabel VI.3 Rekomendasi Batas Air Boiler**

Faktor	Hingga 20 kg/cm <sup>2</sup>	21-39 kg/cm <sup>2</sup>	40-59 kg/cm <sup>2</sup>
TDS, ppm	3000-3500	1500-2500	500-1500
Total padatan besi terlaut, ppm	500	200	150
Konduktivitas listrik spesifik pada 25° C (mho)	1000	400	300
Residu fosfat, ppm	20-40	20-40	15-25
pH pada 25 ° C	10-10,5	10-10,5	9,8-10,2
Silika (maks.), ppm	25	15	10

**Tabel VI.4** Rekomendasi Batas Air Umpam

Faktor	Hingga 20 kg/cm <sup>2</sup>	21-39 kg/cm <sup>2</sup>	40-59 kg/cm <sup>2</sup>
Total besi (maks.), ppm	0,05	0,02	0,01
Total tembaga (maks.), ppm	0,01	0,01	0,01
Total silika (maks.), ppm	1,0	0,3	0,1
Oksigen (maks.) ppm	0,02	0,02	0,01
Residu hidrasin, ppm	-	-	-0,02-0,04
pH pada 25 ° C	8,8-9,2	8,8-9,2	8,2-9,2
Kesadahan, ppm	1	0,5	-

### VI.3 Unit Penyediaan Listrik

Kebutuhan listrik untuk penerangan pabrik dapat dihitung berdasarkan kuat penerangan untuk masing-masing ruangan atau halaman disekitar pabrik yang memerlukan penerangan. Kebutuhan listrik dalam pabrik sebesar 1.350 kW. Apabila ditetapkan faktor keamanan sebesar 10% maka,

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan listrik total} &= 1.350 \text{ kW} + (10\% \times 1.350) \\ &= 1.485 \text{ kW}. \end{aligned}$$

Direncanakan pemenuhan kebutuhan listrik berasal dari PLN 100% dan unit generator digunakan sebagai emergensi jika *supply* listrik dari PLN mati, sehingga kapasitas generator = 1.485 kW. Apabila effisiensi dianggap sebesar 80%, maka kapasitas total generator,

$$W = \frac{1.485}{0,8} = 1.856,25 \text{ kW}$$



#### VI.4 Unit Penyediaan Bahan Bakar

Menggunakan bahan bakar fuel oil dengan spesifikasi :

° API Fuel Oil : 25-35

Heating Value : 18.000 BTU/lb

Kebutuhan uap air untuk atomisasi fuel oil :  $0,3 \text{ m}^3 \text{ lb uap air/lb fuel oil}$

Kebutuhan udara untuk pembakaran sempurna : 25%

#### VI.5 Unit Penyedia Gas Nitrogen

Gas nitrogen digunakan untuk berbagai macam keperluan antara lain :

1. Gas nitrogen bertekanan tinggi untuk suasana atmosfer di dalam metal bath.
2. Mendinginkan instrument-instrumen seperti thermocouple.



Halaman ini sengaja dikosongkan



## **BAB VII**

### **KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA**

#### **VII.1 Kesehatan dan Keselamatan Kerja Secara Umum**

Keselamatan kerja dalam suatu pabrik merupakan hal yang pokok dan sangat penting untuk diperhatikan dalam menjalankan sebuah proses produksi. Karena keamanan dan keselamatan yang terjamin serta minimnya kecelakaan yang terjadi akan memperlancar proses produksi tersebut sendiri, demikian juga sebaliknya.

Beberapa pelaksanaan Kesehatan dan Keselamatan Kerja di Pabrik memiliki tujuan yaitu:

- 1) Melindungi tenaga kerja atas hak dan keselamatannya ketika melakukan pekerjaan untuk kesejahteraan hidup dan meningkatkan produksi serta produktivitas nasional.
- 2) Menjamin keselamatan tiap orang yang berada di tempat kerja
- 3) Sumber produksi dipelihara dan dipergunakan secara umum dan efisien.
- 4) Memenuhi persyaratan hukum yang telah ditentukan oleh pemerintah Republik Indonesia.

#### **A.Sebab-Sebab Terjadinya Kecelakaan Kerja**

Secara umum, terjadinya kecelakaan disebabkan oleh hal-hal sebagai berikut :

##### **1.Lingkungan Fisik**

Lingkungan fisik meliputi mesin, peralatan, bahan produksi lingkungan kerja, penerangan dan lain-lain. Kecelakaan terjadi akibat dari :

- Kesalahan perencanaan.
- Aus atau rusaknya peralatan.
- Kesalahan pada waktu pembelian.
- Terjadinya ledakan karena kondisi operasi yang tidak terkontrol.



- Penyusunan peralatan dan bahan produksi yang kurang tepat.

### 2. Manusia

Kecelakaan yang disebabkan oleh manusia (karyawan), antara lain:

- Kurangnya pengetahuan dan ketrampilan karyawan.
- Kurangnya motivasi kerja dan kesadaran karyawan akan keselamatan kerja.

### 3. Sistem Manajemen

Kecelakaan yang disebabkan oleh sistem manajemen, antara lain:

- Kurangnya perhatian manajer terhadap keselamatan kerja.
- Kurangnya pengawasan terhadap kegiatan pemeliharaan dan modifikasi.
- Kurangnya sistem penanggulangan terhadap bahaya.
- Kurangnya penerapan prosedur yang baik.
- Tidak adanya inspeksi peralatan.

## **B. Alat Pelindung Diri (APD)**

Alat pelindung diri bukan merupakan alat untuk menghilangkan bahaya di tempat kerja, namun hanya merupakan salah satu usaha untuk mencegah dan mengurangi kontak antara bahaya dan tenaga kerja yang sesuai dengan standar kerja yang diijinkan. Pengertian alat pelindung diri adalah :

- Alat yang mempunyai kemampuan untuk melindungi seseorang dalam melakukan pekerjaan yang fungsinya mengisolasi tubuh seorang tenaga kerja dari bahaya yang mungkin terjadi di tempat kerja.
- Cara terakhir perlindungan bagi tenaga kerja setelah upaya menghilangkan sumber bahaya tidak dapat dihilangkan.



Penyediaan alat pelindung diri ini merupakan kewajiban dan tanggung jawab bagi setiap pengusaha atau pimpinan perusahaan sesuai dengan UU No. 1 tahun 1970.

### **Syarat-syarat Alat Pelindung Diri**

1. Memiliki daya cegah dan memberikan perlindungan yang efektif terhadap jenis bahaya yang dihadapi oleh tenaga kerja.
2. Konstruksi dan kemampuannya harus memenuhi standar yang berlaku.
3. Efisien, ringan, dan nyaman dipakai.
4. Tidak mengganggu gerakan – gerakan yang diperlukan.
5. Tahan lama dan pemeliharannya mudah.

### **Kelemahan-kelemahan Penggunaan Alat Pelindung Diri**

1. Tidak enak dipakai atau kurang nyaman.
2. Sangat sensitif terhadap perubahan waktu.
3. Mempunyai masa kerja tertentu.
4. Dapat menularkan penyakit apabila digunakan secara bergantian

Berdasarkan fungsinya alat pelindung diri dapat dibagi menjadi:

#### **1. Alat pelindung kepala**

Alat pelindung kepala berfungsi untuk melindungi kepala dari jatuhnya alat-alat industri serta benturan-benturan benda yang keras dan juga dari panas radiasi, api dan percikan bahan-bahan kimia korosif. Yaitu *Safety Helmet* yang digunakan untuk melindungi kepala pekerja di unit yang mempunyai resiko tertimpa alat-alat berat sangat besar.

#### **2. Alat pelindung mata**

Alat pelindung mata (goggles dan spectacle) dipakai untuk melindungi mata dari percikan bahan-bahan kimia korosif, serta gas atau asap yang dapat menyebabkan iritasi pada mata.



### **3. Alat pelindung telinga**

Alat pelindungi telinga bekerja sebagai penghalang antara sumber bunyi dan telinga bagian dalam. Selain berfungsi untuk melindungi telinga karena kebisingan bisa menyebabkan tuli. Alat pelindung telinga juga dapat melindungi telinga dari percikan api, atau logam logam yang panas.

Alat pelindung telinga dapat dibedakan menjadi:

- Sumbat telinga (*Ear plug*)
- Tutup telinga (*Ear muff*)

### **4. Alat pelindung pernafasan**

Terdapat dua jenis alat pelindung pernafasan (respirator) yaitu:

- a. Air *purifying respirator*
- b. Air *supplying respirator*

Sedangkan alat yang digunakan pada pabrik ini adalah Air purifying respirator yang berfungsi untuk melindungi pemakainya dari debu, gas-gas, uap, dan kabut. Alat ini juga dipakai bila toksinitas zat kimia dan kadarnya dalam udara tempat bekerja rendah. Alat ini bekerja dengan cara filtrasi dan adsorbsi.

### **5. Alat pelindung tangan**

Berfungsi melindungi tangan dari bahan-bahan panas, mudah korosif, dan dari bahaya arus cepat dari listrik. Alat yang biasa digunakan adalah sarung tangan karet, sarung tangan kulit/PVC yang berlapiskan krom. Biasanya alat ini dipakai oleh karyawan operating unit *power station*.

### **6. Alat pelindung kaki**

Alat ini berfungsi untuk melindungi kaki dari jatuhnya benda-benda keras, terperciknya aliran panas atau larutan asam yang korosif, kebakaran. Alat pelindung kaki ini berupa sepatu karet.



## 7. Safety Belt

Digunakan untuk pekerja yang bekerja ditempat tinggi dan melindungi diri dari bahaya jatuh.

### C. Hal-Hal yang Harus Diperhatikan

Untuk meminimalkan terjadinya kecelakaan kerja ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu :

a. Bangunan pabrik

Bangunan gedung beserta alat-alat konstruksinya harus memenuhi persyaratan yang telah direkomendasikan oleh para ahli yang bersangkutan untuk menghindari bahaya-bahaya kebakaran, perusakan akibat cuaca, gempa, petir, banjir dan lain sebagainya. Lingkungan sekitar pabrik harus dapat memberikan rasa aman dan nyaman bagi para pekerja serta penduduk sekitarnya. Jangan sampai kehadiran pabrik tersebut malah menimbulkan pencemaran bagi lingkungan sekitar sehingga mengakibatkan ketidaknyamanan bagi penduduk sekitar.

b. Ventilasi

Ruang kerja harus cukup luas, tidak membatasi atau membahayakan gerak pekerja, serta dilengkapi dengan sistem ventilasi yang baik sesuai dengan kondisi tempat kerjanya, sehingga pekerja dapat bekerja leluasa, aman, nyaman, karena selalu mendapatkan udara yang bersih.

c. 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 akan dapat diperbaiki dengan mudah

- d. Peralatan yang menggunakan sistem perpindahan panas

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

- e. Sistem perpipaan

Pipa-pipa harus dipasang secara efektif supaya mudah mengantarkan fluida proses atau utilitas tanpa adanya kehilangan energi atau massa, dalam waktu yang tepat. Pipa-pipa tersebut juga harus diletakkan di tempat yang terjangkau dan aman sehingga mudah diperbaiki dan dipasang. Untuk pipa yang dilalui fluida panas harus diberi isolasi (berupa sabut atau asbes) dan diberi sambungan yang dapat memberikan fleksibilitas seperti belokan – U (*U-bed*), tee, juga pemilihan valve yang sesuai untuk menghindarkan peledakan yang diakibatkan oleh pemuaian pipa.



#### f. 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, untuk menjaga apabila sewaktu-waktu terjadi hubungan singkat. Pemeriksaan peralatan listrik secara teratur perlu dilakukan.

#### g. Karyawan

Seluruh karyawan dan pekerja, terutama yang menangani unit-unit vital, hendaknya diberi pengetahuan dan pelatihan khusus dalam bidang masing-masing, juga dalam bidang kesehatan dan keselamatan kerja secara umum. Disamping itu pihak pabrik harus gencar memberikan penyuluhan tentang Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K-3), baik secara lisan maupun secara tertulis (berupa tanda-tanda berbahaya / larangan serta peraturan pengoperasian peralatan yang baik dan benar pada tiap-tiap alat terutama yang berisiko tinggi). Dengan demikian diharapkan para karyawan akan mampu menangani kondisi darurat yang dapat terjadi sewaktu-waktu, setidaknya pada tahap awal.

### D. Instalasi Pemadam Kebakaran

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



kebakaran ini setiap pabrik harus memiliki dua macam instalasi pemadam kebakaran, yaitu :

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

Untuk instalasi pemadam tetap perangkatnya tidak dapat dibawa-bawa, diletakkan 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
- Memberlakukan larangan membersihkan peralatan dengan menggunakan bensin atau solar
- 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



## E. Keselamatan Pabrik

### a. Pada Tangki Penampung

Pada tangki penampung minyak, harus dilengkapi dengan sistem keamanan yang berupa:

- Pemberian Label dan spesifikasi bahannya.
- Serta pengecekan secara berkala oleh petugas K3

### b. Pada Pompa

Pada pompa harus dilengkapi dengan penutup pompa serta pengecekan secara berkala oleh petugas K3.

### c. Pada sistem Perpipaan

Pada sistem perpipaan digunakan pengecatan secara berbeda pada tiap aliran fluida, misalnya fluida panas digunakan pipa yang sudah dicat warnah merah, sedangkan aliran fluida dingin digunakan warna biru, serta pengecekan secara berkala oleh petugas K3. Selain itu penempatan perpipaan haruslah aman atau tidak mengganggu jalannya proses serta kegiatan dari para pekerja atau karyawan.

### d. Pada Heat Exchanger

Pada area Heat Exchanger khususnya Heater dilengkapi dengan isolator untuk mencegah terjadinya radiasi panas yang tinggi, sedangkan pada Boiler mempunyai level suara sampai batas 85 dB, serta pengecekan secara berkala oleh petugas K3.

### e. Pada area pabrik secara umum/ keseluruhan

- Disediakan jalan diantara plant-plant yang berguna untuk kelancaran transportasi para pekerja serta memudahkan pengendalian pada saat keadaan darurat (misal: kebakaran)

- Disediakan hydrant disetiap plant (unit) untuk menanggulangi/ pencegahan awal pada saat terjadi kebakaran/ peledakan.



- Memasang alarm disetiap plant (unit) sebagai tanda peringatan awal adanya keadaan darurat.
- Disediakan pintu dan tangga darurat yang dapat digunakan sewaktu-waktu pada saat terjadi keadaan darurat.

## **VII.2 Kesehatan dan Keselamatan Kerja yang ada di Pabrik Flat Glass**

### **1. Alat-Alat Utama**

#### a. Mixer

- Pada daerah di sekitar mixer dipasang rambu peringatan tentang daerah bahaya.
- Pemasangan tangga dan ada pegangannya untuk mempermudah dalam pengontrolan.
- Melakukan pengontrolan secara rutin pada pipa air untuk mensuplai air ke mixer, agar tidak terjadi sumbatan dan proses berjalan dengan lancar.
- Tiap-tiap operator diwajibkan memakai alat pelindung kepala (helm), telinga, tangan, kaki dan pernafasan.

#### b. Furnace

- Pada daerah di sekitar furnace dipasang rambu peringatan tentang daerah bahaya, karena furnace ini bekerja pada suhu yang sangat tinggi.
- Melakukan pengontrolan secara rutin pada cerobong asap (chimney) agar gas-gas berbahaya tidak sampai bocor ke lingkungan sekitar.
- Tiap-tiap operator diwajibkan memakai alat pelindung, pakaian khusus berbahan reflektif atau pakaian pendingin dapat melindungi pekerja dari panas yang berlebihan, memakai alat pelindung kepala (helm), tangan, kaki dan pernafasan.



### c. Metal bath

- Pada daerah di sekitar Metal bath dipasang rambu peringatan tentang daerah bahaya.
- Tiap-tiap operator diwajibkan memakai alat pelindung, memakai alat pelindung kepala (helm), tangan, kaki dan pernafasan.

### d. Lehr

- Pada daerah di sekitar lehr dipasang rambu peringatan tentang daerah bahaya.
- Tiap-tiap operator diwajibkan memakai alat pelindung, memakai alat pelindung kepala (helm), tangan, kaki dan pernafasan.

### e. Cutter

- Pada daerah di sekitar cutter dipasang rambu peringatan tentang daerah bahaya.
- Tiap-tiap operator diwajibkan memakai alat pelindung, memakai alat pelindung kepala (helm), tangan, kaki dan pernafasan.

## 2. Alat-Alat Pembantu

### a. Bin

- Pada daerah di sekitar bin dipasang rambu peringatan tentang daerah bahaya.
- Pemasangan tangga dan ada pegangannya untuk mempermudah dalam pengontrolan..
- Tiap-tiap operator diwajibkan memakai alat pelindung kepala (helm), telinga, tangan, kaki dan pernafasan.

### b. Pompa

- Pompa harus dilengkapi dengan penutup pompa dan karakteristik pompa disesuaikan dengan bahan yang akan dialirkan.
- Bagian “propeller” dilengkapi dengan “casting”
- Harus cek valve secara berkala untuk mencegah timbulnya aliran balik.



- Dilakukan shut down untuk pengecekan secara berkala oleh petugas K-3.
- Bagian kopling (yang menghubungkan “propeller” dan motor) harus selalu tertutup dan dilengkapi dengan strainer (saringan atau filter) yang digunakan untuk menyaring kotoran agar tidak masuk pompa.
- Diletakkan pada lantai dasar untuk keselamatan dan untuk kemudahan operator

c. Belt Conveyor

- Untuk operator diwajibkan menggunakan alat pelindung tangan dan alat pelindung kaki.
- Dilakukan pengecekan secara bertahap karena bahan-bahan dapat menyumbat dan dapat mengurangi kinerja dari belt conveyor.
- Harus dilakukan pengecekan secara berkala oleh petugas K-3.
- Dilengkapi dengan penutup agar tidak ada debu dan kotoran (impuritis) yang masuk.

d. Bucket Elevator

- Untuk operator diwajibkan menggunakan alat pelindung tangan dan alat pelindung kaki.
- Dilakukan pengecekan secara bertahap karena bahan-bahan dapat menyumbat dan dapat mengurangi kinerja dari bucket elevator.
- Harus dilakukan pengecekan secara berkala oleh petugas K-3.
- Dilengkapi dengan penutup agar tidak ada debu dan kotoran (impuritis) yang masuk.

e. Sistem perpipaan

- Susunan valve dan perpipaan diatur dengan baik sehingga sangat membantu safety dan diatur sedemikian rupa supaya transportasi tidak terganggu. Pada perpipaan diberi warna yang berbeda, fluida panas pipa



berwarna merah, sedangkan untuk fluida dingin menggunakan pipa berwarna biru.

- Untuk mempermudah identifikasi kebocoran pipa, maka perpipaan diletakkan di atas tanah.
- Dipasang isolasi yang baik untuk pipa steam dan pipa air panas agar tidak ada bahaya kebakaran kulit apabila tersentuh oleh karyawan atau petugas dan juga untuk mencegah panas yang hilang.
- Pipa steam dilosped dan dipasang block valve sehingga steam bisa didatangkan dari berbagai arah seandainya terjadi kerusakan pada pipa steam.
- Dipasang *fire stop* pada semua system pengeluaran untuk mencegah penyebaran kebakaran.
- Sambungan dipasang dan dikontrol dengan baik.
- Dilakukan shut down untuk pengecekan secara berkala oleh petugas K-3.

f. Instalasi listrik

- Dilengkapi dengan alat pengaman listrik otomatis
- Instalasi listrik dihubungkan ke tanah
- Peralatan yang sangat penting seperti *switcher* dan *transformator* sebaiknya diletakkan di tempat yang aman atau tersendiri
- Peralatan listrik dibawah tanah sebaiknya diberi tanda-tanda tertentu dengan jelas
- Sebaiknya disediakan pembangkit tenaga (*power supply*) cadangan
- Semua bagian pabrik harus diberikan penerangan yang cukup
- Distribusi beban harus seimbang antara bagian yang satu dengan bagian yang lain
- Dilengkapi dengan sistem pemadam kebakaran



Halaman ini sengaja dikosongkan



## **BAB VIII**

### **PENGENDALIAN PROSES DAN INSTRUMENTASI**

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

Sistem pengendalian atau sistem kontrol adalah susunan beberapa komponen yang terangkai membentuk aksi pengendalian. Sistem pengendalian yang diterapkan dalam teknologi proses disebut sistem pengendalian proses. Dalam perencanaan suatu pabrik, instrumentasi merupakan bagian yang penting dari peralatan proses suatu industri. Sebab dengan adanya sistem instrumentasi tersebut, maka bagian-bagian yang penting dari pabrik dan memerlukan pengawasan rutin dapat dikontrol dengan baik.

Instrumen ditujukan untuk memonitor variabel proses yang kritis itu dilengkapi dengan alarm yang otomatis, untuk mengingatkan operator akan kondisi yang kritis dan berbahaya. Adapun tujuan utama dari pemasangan alat instrumentasi adalah untuk menjaga suatu proses instrumentasi tetap aman, seperti :

- Menjaga variabel-variabel proses berada dalam batas operasi yang aman.
- Mendeteksi timbulnya kondisi yang berbahaya sedini mungkin dan membuat tanda bahaya serta interlock otomatis jika kondisi ini timbul.
- Menjaga jalannya suatu proses sehingga berada dalam batas operasi yang aman.
- Menjaga kualitas berada dalam standart yang ditetapkan.
- Menekan biaya produksi serendah mungkin dengan tetap memperhatikan faktor-faktor lain.

Peranan pengendalian proses dalam pabrik kimia mencakup tiga kelompok yaitu keamanan (*safety*), kehandalan operasi (*operability*), dan keuntungan ekonomi (*profitability*).



## 1. Keamanan (*safety*)

Dalam kelompok ini, keamanan meliputi: keselamatan manusia, perlindungan peralatan, dan perlindungan lingkungan.

### a. Keselamatan Manusia

Sistem pengendalian bertugas menjaga keselamatan kerja. Beberapa sistem proses di pabrik memiliki kondisi operasi yang berbahaya bagi keselamatan manusia. Kondisi operasi pada suhu dan tekanan tinggi dengan bahan kimia berbahaya sangat berpotensi menimbulkan kecelakaan. Perlengkapan sistem *alarm* dan *safety valve* dapat memperkecil kemungkinan kecelakaan akibat kondisi ekstrem terlampaui.

### b. Perlindungan Peralatan

Sistem pengendalian bertugas mempertahankan batas aman operasi. Peralatan industri biasanya mahal dan sulit diperoleh. Jika terjadi kondisi darurat, sistem dapat melakukan penghentian (*automatic shutdown*) dan penguncian darurat (*automatic emergency interlock*) sehingga kegagalan satu peralatan tidak menjalar ke peralatan lain. Sistem ini selain melindungi peralatan juga melindungi manusia dari kecelakaan.

### c. Perlindungan Lingkungan

Sistem pengendalian bertugas mempertahankan batas aman pencemaran. Proses industri dapat menghasilkan bahan berbahaya bagi lingkungan. Kebocoran gas, cairan, atau padatan beracun dan yang merusak lingkungan perlu dihindari. Gas-gas yang berbahaya dan mudah terbakar disalurkan ke menara pembakar (*flare*). Jika menara pembakar tidak mampu menangani, gas terpaksa dibuang ke atmosfer melalui



*pressure safety valve* untuk menghindari kondisi ekstrem yang membahayakan peralatan dan manusia.

## 2. Kehandalan Operasi (*operability*)

Kehandalan operasi meliputi ketahanan terhadap gangguan produktivitas dan kualitas produk. Sistem pengendalian proses harus mampu menekan pengaruh gangguan sehingga dapat mempertahankan kondisi operasi yang mantap (*steady operation*) dalam batas operasional (*operational constraint*). Dengan perkataan lain, pengendalian proses mampu memperkecil keragaman kualitas dan produktivitas. Kualitas dan produktivitas sesuai spesifikasi dengan tingkat keragaman (*variability*) sekecil mungkin.

## 3. Keuntungan Ekonomi (*profitability*)

Keuntungan ekonomi menjadi tujuan akhir dari proses produksi. Proses yang tidak aman dengan kondisi operasi tidak optimal, akan memperkecil keuntungan. Oleh sebab itu sistem pengendalian bertujuan menghasilkan kondisi operasi optimum. Ini mengandung arti kuantitas dan kualitas produk utama (*yield*) maksimum dengan biaya produksi minimum.

Kuantitas dan kualitas (atau spesifikasi) produk ditetapkan oleh permintaan pasar. Jika terjadi penyimpangan dari spesifikasi akan menurunkan nilai jual produk. Misalnya, spesifikasi produk dengan batas maksimum pengotor, maksimum viskositas, minimum ketebalan, minimum konsentrasi, dsb.

Pengendalian proses bekerja untuk menghasilkan kualitas produk sedekat mungkin dengan batas spesifikasi agar keuntungan maksimum. Pada proses tanpa pengendalian keragaman produk lebih besar. Sehingga rata-rata kualitas produk lebih



jauh dari spesifikasi agar tidak ada produk yang keluar batas. Sebaliknya dengan pengendalian proses yang baik, produk lebih seragam, sehingga rata-rata kualitas produk bisa lebih dekat dengan batas spesifikasi.

Pengendalian variable proses dapat dilakukan secara manual maupun secara otomatis. Pengaturan secara manual, biasanya peralatan yang dikontrol hanya diberi instrument penunjuk atau pencatatan saja, sedangkan untuk pengendalian secara otomatis diperlukan beberapa elemen, yaitu :

1. Sensor

Sensor adalah suatu alat yang sangat sensitive terhadap perubahan besaran fisik yang terjadi dalam suatu proses.

2. Elemen penguat

Elemen penguat berfungsi untuk mengubah perubahan besaran fisik yang dideteksi oleh sensor menjadi signal yang dapat dibaca oleh controller.

3. Controller

Controller merupakan elemen yang berfungsi mengatur besaran proses agar tetap sesuai dengan kondisi yang dikehendaki (sesuai dengan set point yang diinginkan) agar peralatan produksi dapat beroperasi secara optimum.

4. Element pengontrol akhir

Element yang berfungsi untuk mewujudkan signal koreksi dari controller menjadi aksi yang dapat mengembalikan kondisi variable proses ke harga yang telah ditetapkan.

Faktor-faktor yang diperlukan dalam pemilihan instrumentasi adalah:

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



Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemeliharaan instrumentasi adalah :

1. Ketelitian yang dibutuhkan.
2. Mudah pengoperasiannya.
3. Mudah diganti jika rusak.
4. Level instrumentasi.
5. Range yang diperlukan dalam pengukuran.
6. Biaya ekonomis.

Alat-alat kontrol yang banyak digunakan dalam bidang industri :

1. Temperatur Controller ( TC )

Fungsi : untuk mengendalikan atau mengatur temperatur operasi sesuai dengan kondisi yang diminta.

2. Temperatur Indikator ( TI )

Fungsi : untuk mengetahui temperatur operasi pada alat dengan pembacaan langsung pada alat ukur tersebut

3. Temperatur Recorder Controlller ( TRC )

Fungsi : untuk mencatat dan mengendalikan temperatur operasi

4. Pressure Controller ( PC )

Fungsi : untuk mengendalikan tekanan operasi sesuai dengan kondisi yang diminta

5. Pressure Recorder Controller ( PRC )

Fungsi : untuk mencatat dan mengatur tekanan dalam alat secara terus menerus sesuai dengan kondisi yang diminta

6. Flow Recorder Controller ( FRC )

Fungsi : untuk mencatat dan mengatur debit aliran cairan secara terus menerus

7. Level Indikator ( LI )

Fungsi : untuk mengetahui tinggi cairan dalam suatu alat



### 8. Level Controller ( LC )

Fungsi : untuk mengendalikan tinggi cairan dalam suatu alat sehingga tidak melebihi dari batas yang ditentukan

### 9. Level Recorder Controller ( LRC )

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

## VIII.2 Instrumentasi pada Pabrik Flat Glass

Instrumentasi-instrumentasi yang digunakan pada pabrik flat glass adalah sebagai berikut:

**Tabel VIII.1 Sistem Kontrol Pabrik Flat Glass**

No.	Nama Alat	Kode alat	Instrumentasi
1.	Tangki Penampung	F-111 F-112 F-113 F-215 F-216 F-614	Level Control (LC)
2.	Mixer	M-210	Level Control (LC)
3.	Furnace	Q-310	Temperature Control (TC)
4.	Metal Bath	X-410	Temperatur control (TC)
5.	Lehr	C-510	Temperatur control (TC)
6.	Cutter	S-610	Temperature control (TC)

## **BAB IX**

### **PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI KIMIA**

Limbah merupakan bahan buangan yang dihasilkan pada suatu proses produksi. Pada proses produksi kaca tidak semua bahan baku dan bahan pembantu dapat diolah menjadi produk tetapi ada limbah yang dihasilkan. Limbah tersebut mengandung bahan-bahan yang berbahaya maupun tidak berbahaya dan dalam jumlah tertentu dapat mencemari lingkungan serta dapat membahayakan kehidupan manusia dan makhluk hidup yang lain. Oleh karena itu pengolahan limbah yang baik dan benar sangat diperlukan.

Adapun tujuan dari pengolahan limbah antara lain:

1. Mencegah dan mengurangi pencemaran lingkungan yang ditimbulkan akibat pembuangan limbah, misal: masuknya polutan ke dalam tanah yang dapat mengakibatkan tercemarnya air tanah.
2. Mengubah bahan-bahan yang terkandung dalam limbah terutama senyawa organik menjadi bahan yang lebih berguna dan mempunyai nilai ekonomis yang lebih tinggi.
3. Mencegah pertumbuhan bakteri pantogen yang mungkin ada dalam limbah.
4. Mendegreasikan bahan-bahan kimia dalam limbah agar tidak membahayakan manusia dan makhluk hidup lainnya.

Dalam pabrik *Flat Glass* selama proses produksi menghasilkan limbah yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Limbah yang dihasilkan ada 3 macam yaitu :

- a. Limbah gas

Limbah gas berasal dari hasil pembakaran di *furnace*. Untuk menghindari polusi udara setempat, maka limbah gas dialiran melalui cerobong (*chimney*) yang tingginya berkisar 90 meter. Gas hasil pembakaran sebelum meninggalkan *chimney* dialirkan melalui ujung-ujung logam yang tajam



dan bermuatan pada tegangan tinggi (20,000-75,000). Ujung-ujung yang runcing akan mengionisasikan molekul-molekul dalam udara. Ion-ion tersebut akan diadsorbsi oleh partikel asap dan menjadi bermuatan. Selanjutnya, partikel bermuatan itu akan tertarik dan diikat pada elektroda yang lainnya. Pengendap ini digunakan untuk mencegah keluarnya buangan beracun.

b. Limbah padat

Limbah ini berasal dari *batch* yang butirannya terlalu halus sehingga pada saat pencampuran dan transportasi banyak yang hilang karena berterbangan dan juga berasal dari kesalahan campuran *batch*. Penanganan limbah ini dengan cara menguburkan kedalam tanah atau biasa disebut juga dengan sistem pembuangan *landfill*.

c. Limbah cair

Limbah cair berasal dari limbah sanitasi dan limbah proses, limbah proses antara lain adalah limbah air pencucian kaca dan air pendingin peralatan. Limbah cair di uji kualitas kelayakan untuk dibuang ke sungai satu kali setiap bulannya. Limbah cair yang, seperti oli atau minyak pelumas ditampung dalam waste water tank, kemudian dialirkan menuju kolam netralisasi. Penambahan susu kapur atau  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dengan konsentrasi tertentu dalam kolam netralisasi untuk menjaga pH sekitar 6,5–8,5 yang merupakan pH ideal untuk pertumbuhan mikroorganisme dan membantu dalam pengendapan *sludge*. Kemudian air limbah dialirkan menuju kolam aerasi, dilakukan pengadukan dibantu oleh alat deaerator dan ditambahkan nutrisi secara kontinyu pada kolam tersebut. Setelah proses aerasi, air limbah dialirkan menuju *clarifier* untuk memisahkan air jernih dan lumpur yang mengendap. Air limbah dianalisis berdasarkan pH, warna, bau, BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), dan TSS (*Total Suspended Solid*). Sedangkan lumpur dipompa balik ke kolam aerasi.



---

Setelah air limbah yang telah dianalisa tersebut dinyatakan telah memenuhi baku mutu air limbah cair, maka air limbah dialirkan menuju sungai.

---



Halaman ini sengaja dikosongkan

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Anonim. (2013). Retrieved from  
[http://id.wikipedia.org/wiki/Daftar\\_pembangkit\\_listrik\\_di\\_Indonesia](http://id.wikipedia.org/wiki/Daftar_pembangkit_listrik_di_Indonesia)
- Anonim. (2013). *BPS Banten: Angka Pengangguran di Banten Menurun*. Banten: Sentana Online.
- Anonim. (2012). *Data Ekspor*. Surabaya: Badan Pusat Statistik.
- Anonim. (2012). *Data Impor*. Surabaya: Badan Pusat Statistik.
- Anonim. (2012). *Data Produksi*. Surabaya: Badan Pusat Statistik.
- Ardha, N. (2006). Teknologi Mineral dan Batubara.
- Brownell, L.E. and Young, E.H. 1950. Process Equipment Design Handbook. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Fairus, S. (2009). Proses Pembuatan Waterglass Dari Pasir Silika Dengan Pelebur Natrium Hidroksida.
- Febriarista, D. (2013). Pabrik Silika Dari Fly Ash Batubara Dengan Proses Presipitasi.
- Geankoplis, C. 1978. Transport Process and Unit Operations, 4<sup>th</sup> edition. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Hamid, N. (2013, Mei 10). Retrieved from <http://epn.co.id>
- Heriyanto. (2010). *Pengendalian Proses*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- Hougen, O.A., Watson, K.M., and Ragats, R.A. 1934. Chemical Process Principles, 2<sup>nd</sup> edition. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Jauhary, M. F. (2013). Electrostatic Precipiator Pengendalian Polusi Abu (Fly Ash) pada PLTU dan Industri.
- Klara, S., & Baharuddin. (2012). Perencanaan Isolasi Tanki Setling dan Tanki Harian Bahan Bakar Marine Fuel Oil (MFO) PLTD Lopana Sektor Minahasa. *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JTRK)*.
- Marbun, B. T. (2011). Evaluasi Penggunaan Glass Bubble Sheper Pada Sumur X.
- Marzuki, P. F. (n.d.). Potensi Semen Alternatif Dengan Bahan

Dasar Kapur Padalarang dan Fly Ash Suralaya Untuk  
Konstruksi Rumah Sederhana.

- Novanda, C. (2013). *Laporan KP PT Asahimas, Tbk.* Surabaya.
- Peters, M.S., and Timmerhaus, K.D. 1991. Plant Design and Economic for Chemical Engineers, 4<sup>th</sup> edition. Singapore: McGraw-Hill, Inc.
- Perry, R.H., and Cecil, H.C. 1999. Chemical Engineers Handbook, 7<sup>th</sup> edition. San Fransisco: McGraw-Hill International Book Companies, Inc.
- Rezka, D. (2013). Kaca Baru.
- Suhadri, B. (2008). *Perancangan Sistem Kera dan Ergonomi Industri.* Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- Ulrich, G.D. 1959. A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economic. New York: John Wiley & sons, Inc.

## APPENDIKS A NERACA MASSA

Kapasitas produksi *flat glass*

: 26.000 ton/tahun

78964,97 kg/hari

Operasional pabrik

: 330 hari

Satuan massa

: kg

Basis

: 1 hari

Basis bahan baku

: 96256,682 kg

Perbandingan Bahan baku dengan cullet : 80 : 20 (*Setyorini dkk, 2012*)

Untuk kapasitas 78964,97 kg *flat glass* dibutuhkan bahan baku sebesar 96256,682kg (yield 82 %) dengan data komposisi *fly ash* sebagai berikut :

**Tabel A.1 Komposisi Fly Ash (Ngurah dkk, 2006)**

Komposisi Kimia	Jumlah (%)	Massa (kg)
SiO <sub>2</sub>	75	57754,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,3	1001,07
CaO	4	3080,21
Na <sub>2</sub> O	15,5	11935,83
MgO	4,2	3234,22
Total	100	770535

### Perhitungan Neraca Massa

#### 1. Bin *Fly Ash* (F-111)

Fungsi : Menampung bahan baku *fly ash*.



**Tabel A.2** Neraca Massa pada Bin Fly Ash

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 1		Aliran 2	
SiO <sub>2</sub>	57754,01	SiO <sub>2</sub>	57754,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07
CaO	3080,21	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3080,21
Na <sub>2</sub> O	11935,83	Na <sub>2</sub> O	11935,83
MgO	3234,22	MgO	3234,22
Total	<b>77005,35</b>	Total	<b>77005,35</b>

**2. Scale Fly Ash (W-116)**

Fungsi : Untuk menimbang bahan baku fly ash yang keluar dari fly ash.

**Tabel A.3** Neraca Massa pada Scale Fly Ash

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 2		Aliran 3	
SiO <sub>2</sub>	57754,01	SiO <sub>2</sub>	57754,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07
CaO	3080,21	CaO	3080,21
Na <sub>2</sub> O	11935,83	Na <sub>2</sub> O	11935,83
MgO	3234,22	MgO	3234,22

Total	<b>77005,35</b>	Total	<b>77005,35</b>
-------	-----------------	-------	-----------------

### 3. Bin Soda Ash ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) (F-112)

Fungsi : Menampung bahan baku *soda ash* ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

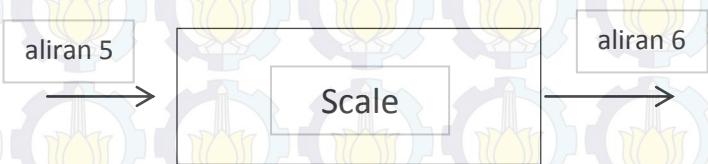


**Tabel A.4** Neraca Massa pada Bin *Soda Ash* ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 4		Aliran 5	
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	1974,78	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	1974,78
Total	<b>1974,78</b>	Total	<b>1974,78</b>

### 4. Scale Soda Ash ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) (W-117)

Fungsi : Untuk menimbang bahan baku *soda ash* ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) yang keluar dari Bin *soda ash* ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )



**Tabel A.5** Neraca Massa pada Scale Soda Ash ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 5		Aliran 6	
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	1974,78	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	1974,78
Total	<b>1974,78</b>	Total	<b>1974,78</b>

### 5. Bin Lime Stone (F-113)

Fungsi : Menampung bahan baku lime stone

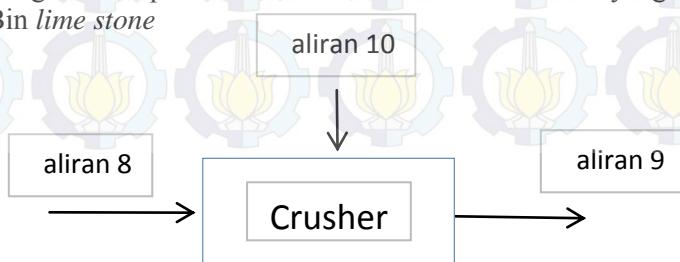


**Tabel A.6** Neraca Massa pada Bin lime stone

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 7		Aliran 8	
$\text{CaCO}_3$	1388,75	$\text{CaCO}_3$	1388,75
$\text{MgCO}_3$	73,09	$\text{MgCO}_3$	73,09
Total	<b>1461,84</b>	Total	<b>1461,84</b>

### 6. Crusher Lime Stone (C-114)

Fungsi : Memperkecil ukuran bahan baku lime stone yang keluar dari Bin lime stone



**Aliran 8:**

Komposisi	Jumlah (%)	massa (kg)
CaCO <sub>3</sub>	95	1388,75
MgCO <sub>3</sub>	5	73,09
Total	100	<b>1461,84</b>

Aliran 8

Aliran 9

$$= \text{Aliran 11} = 1461,84 = 80\% \text{ aliran 10} =$$

= konfersi 80% dari aliran 8

$$= \frac{100}{80} \times 1461,84 = 1827,3$$

**Aliran 10**

Komposisi	Jumlah (%)	Massa (kg)
CaCO <sub>3</sub>	95	277,75
MgCO <sub>3</sub>	5	14,62
Total	100	<b>292,37</b>

Aliran 9	Aliran 10	-Aliran 11	
CaCO <sub>3</sub>	1388,75	-1111	= 277,75
MgCO <sub>3</sub>	73,09	-58,472	= 14,62
	<b>1461,84</b>	<b>1169,47</b>	<b>292,37</b>

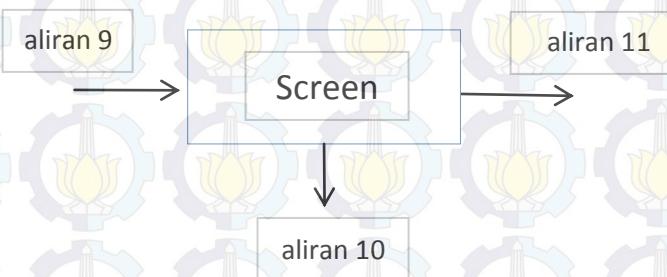
Aliran 9	Aliran 8	+ Aliran 10	
CaCO <sub>3</sub>	1388,75	+ 277,75	= 1666,5
MgCO <sub>3</sub>	73,09	+ 14,62	= 87,71
	<b>1461,84</b>	<b>292,37</b>	<b>1754,21</b>

**Tabel A.7** Neraca Massa pada Crusher *Lime Stone*

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 8		Aliran 9	
CaCO <sub>3</sub>	1388,75	CaCO <sub>3</sub>	1666,5
MgCO <sub>3</sub>	73,09	MgCO <sub>3</sub>	87,71
	<b>1461,84</b>		
Aliran 10			
CaCO <sub>3</sub>	277,75		
MgCO <sub>3</sub>	14,62		
	<b>292,37</b>		
Total	<b>1754,21</b>	Total	<b>1754,21</b>

### 7. Screen *Lime Stone* (S-115)

Fungsi : Mengayak *Lime Stone* setelah dihancurkan dari crusher.



Diasumsikan efisiensi 80%.

**Tabel A.8** Neraca Massa pada Screen *Lime Stone*

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 9		Aliran 11	

$\text{CaCO}_3$	1666,5	$\text{CaCO}_3$	1388,75
$\text{MgCO}_3$	87,71	$\text{MgCO}_3$	73,09
<b>1461,84</b>			
		Aliran 10	
		$\text{CaCO}_3$	277,75
		$\text{MgCO}_3$	14,62
		<b>292,37</b>	
Total	<b>1754,21</b>	Total	<b>1754,21</b>

### 8. Scale Lime Stone (W-118)

Fungsi : Untuk menimbang bahan baku Lime Stone yang telah keluar dari screen.



Tabel A.9 Neraca Massa pada Scale Lime Stone

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 11		Aliran 12	
$\text{CaCO}_3$	1388,75	$\text{CaCO}_3$	1388,75
$\text{MgCO}_3$	73,09	$\text{MgCO}_3$	73,09
Total	<b>1461,84</b>	Total	<b>1461,84</b>

### 9. Belt Conveyor (J-211)

Fungsi : Memindahkan bahan baku fly ash, lime stone, soda ash menuju ke bucket elevator.

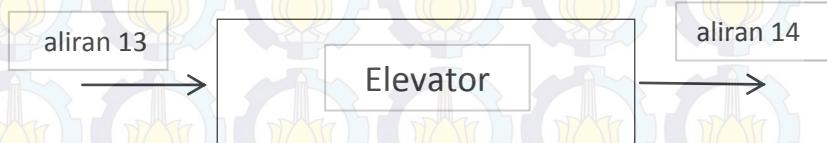


**Tabel A.10** Neraca Massa pada Belt Conveyor

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 3		Aliran 13	
SiO <sub>2</sub>	57754,01	SiO <sub>2</sub>	57754,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07
CaO	3080,21	CaO	3080,21
Na <sub>2</sub> O	11935,83	Na <sub>2</sub> O	11935,83
MgO	3234,22	MgO	3234,22
	<b>77005,35</b>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78
Aliran 5		CaCO <sub>3</sub>	1388,75
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78	MgCO <sub>3</sub>	73,09
	<b>1974,78</b>		
Aliran 7			
CaCO <sub>3</sub>	1388,75		
MgCO <sub>3</sub>	73,09		
	<b>1461,84</b>		
Total	<b>80441,97</b>	Total	<b>80441,97</b>

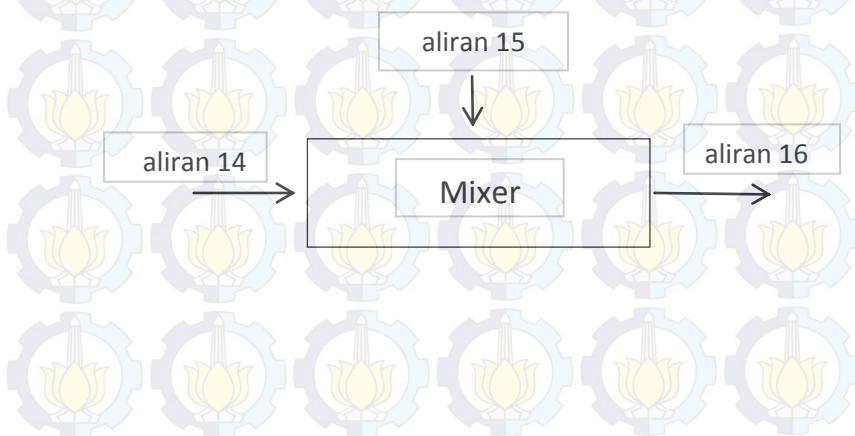
### 10. Bucket Elevator (J-212)

Fungsi : Memindahkan *fly ash*, *lime stone* dan *soda ash* dari belt conveyor menuju ke mixer.



**Tabel A.11** Neraca Massa pada Bucket Elevator

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 13		Aliran 14	
SiO <sub>2</sub>	57754,01	SiO <sub>2</sub>	57754,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07
CaO	3080,21	CaO	3080,21
Na <sub>2</sub> O	11935,83	Na <sub>2</sub> O	11935,83
MgO	3234,22	MgO	3234,22
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78
CaCO <sub>3</sub>	1388,75	CaCO <sub>3</sub>	1388,75
MgCO <sub>3</sub>	73,09	MgCO <sub>3</sub>	73,09
Total	<b>80441,97</b>	Total	<b>80441,97</b>

**11. Mixer (M-210)**Fungsi : Mencampur *fly ash*, *soda ash*, *lime stone* agar homogen.

**Tabel A.12** Neraca Massa pada Mixer

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 14		Aliran 16	
SiO <sub>2</sub>	57754,01	SiO <sub>2</sub>	57754,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07
CaO	3080,21	CaO	3080,21
Na <sub>2</sub> O	11935,83	Na <sub>2</sub> O	11935,83
MgO	3234,22	MgO	3234,22
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78
CaCO <sub>3</sub>	1388,75	CaCO <sub>3</sub>	1388,75
MgCO <sub>3</sub>	73,09	MgCO <sub>3</sub>	73,09
	<b>80441,97</b>	H <sub>2</sub> O	3217,68
Aliran 15			
H <sub>2</sub> O	3217,68		
	<b>3217,68</b>		
Total	<b>83659,65</b>	Total	<b>83659,65</b>

## 12. Bin Mixed Batch (F-215)

Fungsi : Menampung bahan baku yang keluar dari mixer.



**Tabel A.13** Neraca Massa pada Bin *Mixed Batch*

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 14		Aliran 16	
SiO <sub>2</sub>	57754,01	SiO <sub>2</sub>	57754,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07
CaO	3080,21	CaO	3080,21
Na <sub>2</sub> O	11935,83	Na <sub>2</sub> O	11935,83
MgO	3234,22	MgO	3234,22
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78
CaCO <sub>3</sub>	1388,75	CaCO <sub>3</sub>	1388,75
MgCO <sub>3</sub>	73,09	MgCO <sub>3</sub>	73,09
H <sub>2</sub> O	3217,68	H <sub>2</sub> O	3217,68
Total	<b>83659,65</b>	Total	<b>83659,65</b>

**13. Bin Cullet (F-614)**Fungsi : Penampungan bahan baku *Cullet*.

**Tabel A.14** Neraca Massa pada Bin Cullet

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 17		Aliran 18	
SiO <sub>2</sub>	2158,77	SiO <sub>2</sub>	2158,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26
MgO	690,25	MgO	690,25
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8692,35	Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8692,35
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7506,7	Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7506,7
Total	<b>19251,34</b>	Total	<b>19251,34</b>

**14. Crusher Cullet (C-615)**

Fungsi : Untuk memperkecil ukuran *cullet* yang keluar dari Bin *cullet*.

**Tabel A.15** Neraca Massa pada Crusher Cullet

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 17		Aliran 18	
SiO <sub>2</sub>	2158,77	SiO <sub>2</sub>	2158,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26
MgO	690,25	MgO	690,25
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8692,35	Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8692,35
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7506,7	Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7506,7
Total	<b>19251,34</b>	Total	<b>19251,34</b>

### 15. Bin Cullet (F-216)

Fungsi : Untuk menampung cullet yang keluar dari crusher



**Tabel A.16** Neraca Massa pada *Bin Cullet*

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 19		Aliran 20	
SiO <sub>2</sub>	2158,77	SiO <sub>2</sub>	2158,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26
MgO	690,25	MgO	690,25
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8692,35	Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8692,35
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7506,7	Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7506,7
Total	<b>19251,34</b>	Total	<b>19251,34</b>

### 16. Belt Conveyor (J-311)

Fungsi : Memindahkan mixed batch dan cullet yang keluar dari bin mixed batch dan bin cullet ke bucket elevator



**Tabel A.17** Neraca Massa pada Belt Conveyor

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 17		Aliran 21	
SiO <sub>2</sub>	57754,01	SiO <sub>2</sub>	57754,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07
CaO	3080,21	CaO	3080,21
Na <sub>2</sub> O	11935,83	Na <sub>2</sub> O	11935,83
MgO	3234,22	MgO	3234,22
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78
CaCO <sub>3</sub>	1388,75	CaCO <sub>3</sub>	1388,75
MgCO <sub>3</sub>	73,09	MgCO <sub>3</sub>	73,09
H <sub>2</sub> O	3217,68	H <sub>2</sub> O	3217,68
	<b>83659,65</b>		<b>83659,65</b>
Aliran 20		Cullet	
SiO <sub>2</sub>	2158,77	SiO <sub>2</sub>	2158,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26
MgO	690,25	MgO	690,25
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8692,35	Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8692,35
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7506,7	Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7506,7
	<b>19251,34</b>		<b>19251,34</b>
Total	<b>102910,99</b>	Total	<b>102910,99</b>

### 17. Bucket Elevator (J-312)

Fungsi : Memindahkan mixed batch dan cullet dari belt conveyor ke furnace

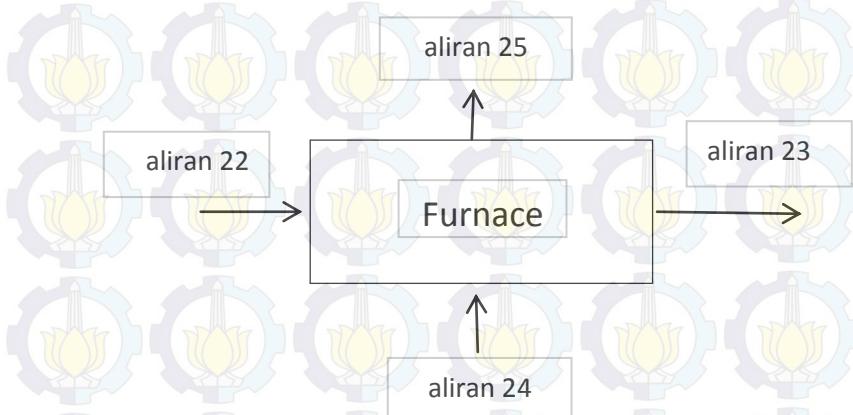
**Tabel A.18** Neraca Massa pada Bucket Elevator

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 21		Aliran 22	
SiO <sub>2</sub>	57754,01	SiO <sub>2</sub>	57754,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07
CaO	3080,21	CaO	3080,21
Na <sub>2</sub> O	11935,83	Na <sub>2</sub> O	11935,83
MgO	3234,22	MgO	3234,22
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78
CaCO <sub>3</sub>	1388,75	CaCO <sub>3</sub>	1388,75
MgCO <sub>3</sub>	73,09	MgCO <sub>3</sub>	73,09
H <sub>2</sub> O	3217,68	H <sub>2</sub> O	3217,68
	<b>83659,65</b>		<b>83659,65</b>
Cullet		Cullet	
SiO <sub>2</sub>	2158,77	SiO <sub>2</sub>	2158,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26
MgO	690,25	MgO	690,25
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8692,35	Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8692,35
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7506,7	Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7506,7
	<b>19251,34</b>		<b>19251,34</b>

Total	<b>102910,99</b>	Total	<b>102910,99</b>
-------	------------------	-------	------------------

**18. Furnace (Q-310)**

Fungsi : Untuk meleburkan bahan baku dan *cullet* serta tempat terjadinya rekasi pengkacaan.



Menghitung jumlah mol dalam furnace

mol SiO<sub>2</sub> mula-mula

$$= \frac{\text{massa}}{\text{BM SiO}_2} = \frac{57754,01}{60} = 962,5668 \text{ kmol}$$

Mol Na<sub>2</sub>O mula-mula

$$= \frac{\text{massa}}{\text{BM Na}_2\text{O}} = \frac{11935,83}{62} = 192,5134 \text{ kmol}$$

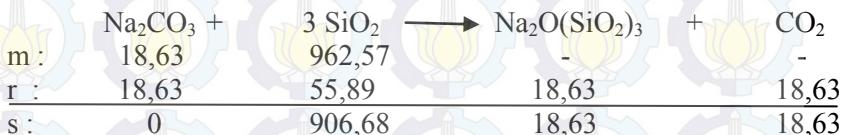
Untuk mencukupi komposisi *flat glass* NaO sebanyak 17% (di dalam fly ash terdapat 15,5%), sehingga untuk mendapatkan 1,5% kekurangan didapatkan dengan cara mereaksikan dengan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sehingga didapatkan berat Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sebesar :

$$\begin{aligned} m &= \frac{\text{BM Na}_2\text{O}}{\text{BM Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_3} \\ 1155,07 &= \frac{62}{242} \\ m &= 4508,46 \\ \text{mol Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_3 &= \frac{4508,46}{242} = 18,63 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\text{massa Na}_2\text{CO}_3 = 18,63 \times \text{BM Na}_2\text{CO}_3 \\ = 1974,78$$

$$\text{mol Na}_2\text{CO}_3 \text{ mula-mula} = \frac{\text{massa}}{\text{BM Na}_2\text{CO}_3} \\ = \frac{1974,78}{106} = 18,63 \text{ kmol}$$

Reaksi I



$$\text{mol total Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_3 \text{ yang terbentuk} : 18,63 + 192,51 = 211,14$$

$$\text{massa total Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_3 \text{ yang terbentuk} : 211,14 \times 242 = 51095,88$$

$$\text{mol CO}_2 \text{ yang terbentuk} : 18,63$$

$$\text{massa CO}_2 \text{ yang terbentuk} : 18,63 \times 44 = 819,72$$

$$\text{mol SiO}_2 \text{ sisa} : 329,15$$

$$\text{massa SiO}_2 \text{ sisa} : 329,15 \times 60 = 19749$$

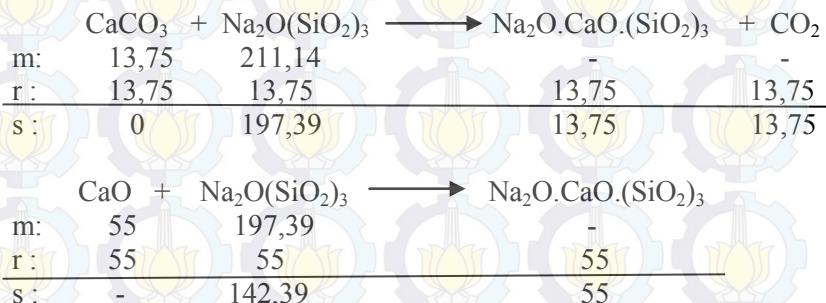
$$\text{Mol CaO mula-mula} = \frac{\text{massa}}{\text{BM CaO}} \\ = \frac{3080,21}{56} = 55$$

Untuk mencukupi komposisi flat glass CaO sebanyak 5% (di dalam fly ash terdapat 4%), sehingga untuk mendapatkan 1% kekurangan didapatkan dengan cara mereaksikan dengan  $\text{CaCO}_3$  sehingga didapatkan berat  $\text{CaCO}_3$  sebesar :

$$m = \frac{\text{BM CaO}}{\text{BM Na}_2\text{O} \text{CaO} (\text{SiO}_2)_3} \\ 770,06 = \frac{56}{298}$$

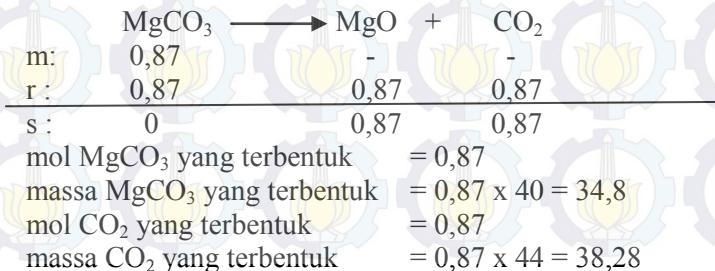
$$\begin{aligned}
 m &= 40975,5 \\
 \text{mol Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_3 &= \frac{40975,5}{298} = 13,75 \\
 \text{massa CaCO}_3 &= 13,75 \times \text{BM CaCO}_3 \\
 &= 1388,75 \\
 \text{mol CaCO}_3 \text{ mula-mula} &= \frac{\text{massa}}{\text{BM CaCO}_3} \\
 &= \frac{1388,75}{101} = 13,75 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

### Reaksi II



$$\begin{aligned}
 \text{mol total Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot (\text{SiO}_2)_3 \text{ yang terbentuk} &= 13,75 + 55 = 68,75 \\
 \text{massa total Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot (\text{SiO}_2)_3 \text{ yang terbentuk} &= 68,75 \times 298 = 20487,5 \\
 \text{mol CO}_2 \text{ yang terbentuk} &= 13,75 \\
 \text{massa CO}_2 \text{ yang terbentuk} &= 13,75 \times 44 = 605 \\
 \text{mol Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_3 \text{ sisa} &= 142,39 \\
 \text{massa Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_3 \text{ sisa} &= 142,39 \times 242 = 34458,38 \\
 \text{massa CO}_2 \text{ total} &= 819,72 + 605 = 1424,72
 \end{aligned}$$

### Reaksi Disosiasi



Bahan Bakar yang digunakan :

Fuel Oil

$$s.g \quad : 0,54$$

$$\text{volume} : 10829,143 / 0,54 = 12682,239 \text{ lt}$$

$$\text{berat} : 10829,143 \text{ kg}$$

Komposisi fuel oil

$$\text{C} \quad : 84\% = 0,84 \times 10829,143 = 9096,48$$

$$\text{H} \quad : 13\% = 0,17 \times 10829,143 = 1407,79$$

$$\text{S} \quad : 3\% = 0,03 \times 10829,143 = 324,87$$

Udara yang digunakan (excess 25%)

$$\text{O}_2 \quad : 21\%$$

$$\text{N}_2 \quad : 79\%$$

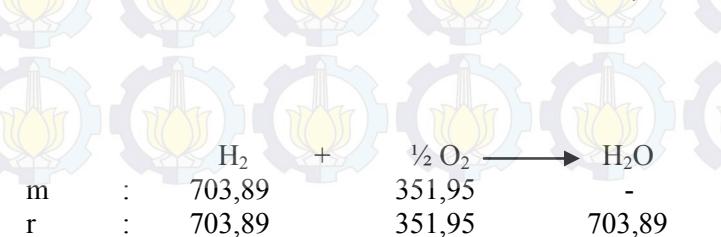
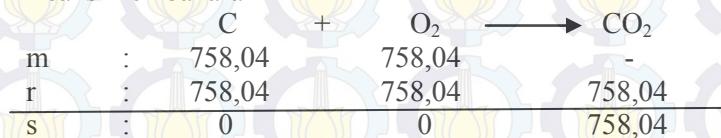
Menghitung jumlah mol dalam furnace

$$\text{mol C mula-mula} = \frac{\text{massa}}{\text{BM C}} = \frac{9096,48}{12} = 758,04 \text{ kmol}$$

$$\text{mol H mula-mula} = \frac{\text{massa}}{\text{BM H}} = \frac{1407,79}{2} = 703,89 \text{ kmol}$$

$$\text{mol S mula-mula} = \frac{\text{massa}}{\text{BM S}} = \frac{324,87}{32} = 10,15 \text{ kmol}$$

Reaksi Pembakaran



s	:	0	0	703,89
---	---	---	---	--------

m	:	10,15	O <sub>2</sub>	$\longrightarrow$	SO <sub>2</sub>
r	:	10,15	10,15	-	10,15
s	:	0	0		10,15
mol CO <sub>2</sub> yang terbentuk	:	758,04			
massa CO <sub>2</sub> yang terbentuk	:	758,04 x 44 = 33353,76			
mol H <sub>2</sub> O yang terbentuk	:	703,89			
massa H <sub>2</sub> O yang terbentuk	:	703,89 x 18 = 12670,02			
mol SO <sub>2</sub> yang terbentuk	:	10,15			
massa SO <sub>2</sub> yang terbentuk	:	10,15 x 64 = 649,6			
mol O <sub>2</sub> teoritis	:	758,04 + 351,95 + 10,15 = 1120,14			
massa O <sub>2</sub> teoritis	:	1120,14 x 32 = 35844,48			
mol O <sub>2</sub> excess	:	0,25 x 1120,14 = 280,04			
massa O <sub>2</sub> excess	:	280,04 x 32 = 8961,12			
mol N <sub>2</sub> yang terbentuk	:	(1120,14+280,04)/(79/21) = 372,2			
massa N <sub>2</sub> yang terbentuk	:	372,2 x 28 = 10421,56			
udara yang dibutuhkan	:	(35844,48+ 8961,12+372,2)= 45177,8			
fuel oil	:	10829,143			

Tabel A.19 Neraca Massa pada Furnace

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 22		Aliran 23	
SiO <sub>2</sub>	57754,01	SiO <sub>2</sub>	21907,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1204,33
CaO	3080,21	MgO	3959,27
Na <sub>2</sub> O	11935,83	Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43150,73
MgO	3234,22	Na <sub>2</sub> O CaO (SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27994,2

			<b>98216,3</b>
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1974,78		
CaCO <sub>3</sub>	1388,75		
MgCO <sub>3</sub>	73,09		
H <sub>2</sub> O	3217,68		
	<b>83659,65</b>		
Cullet			Aliran 25
SiO <sub>2</sub>	2158,77	CO <sub>2</sub>	34778,48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26	H <sub>2</sub> O	15887,7
MgO	690,25	SO <sub>2</sub>	649,6
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8692,35	O <sub>2</sub>	8961,12
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7506,7	N <sub>2</sub>	372,2
	<b>19251,34</b>		<b>60649,1</b>
	Aliran 24		
Udara	45125,27		
Fuel oil	10829,143		
	<b>158865,4</b>		
Total	<b>158865,4</b>	Total	<b>158865,4</b>

### 19. Chimney (H-313)

Fungsi: Cerobong tempat keluarnya gas hasil pembakaran

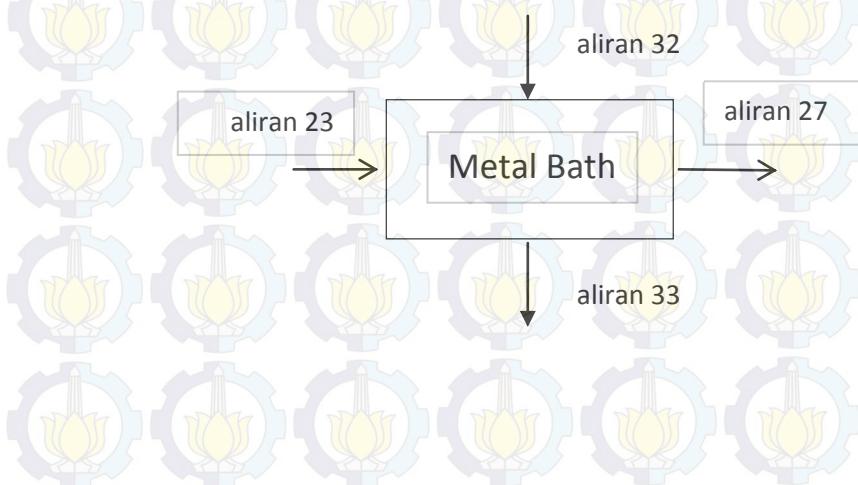


**Tabel A.20** Neraca Massa pada Chimney

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 25		Aliran 26	
CO <sub>2</sub>	34778,48	CO <sub>2</sub>	34778,48
H <sub>2</sub> O	15887,7	H <sub>2</sub> O	15887,7
SO <sub>2</sub>	649,6	SO <sub>2</sub>	649,6
O <sub>2</sub>	8961,12	O <sub>2</sub>	8961,12
N <sub>2</sub>	372,2	N <sub>2</sub>	372,2
Total	<b>60649,1</b>	Total	<b>60649,1</b>

### 20. Metal Bath ( X-410)

Fungsi : Untuk membentuk kaca cair yang keluar dari furnace dengan cara mengambangkan kaca cair diatas timah cair.



**Tabel A.21** Neraca Massa pada Metal Bath

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 23		Aliran 27	
SiO <sub>2</sub>	21907,77	SiO <sub>2</sub>	21907,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1204,33	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1204,33
MgO	3959,27	MgO	3959,27
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43150,73	Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43150,73
Na <sub>2</sub> O CaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27994,2	Na <sub>2</sub> O CaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27994,2
	<b>98216,3</b>		<b>98216,3</b>
Aliran 32		Aliran 33	
N <sub>2</sub>	247167,2	N <sub>2</sub>	247167,2
	<b>247167,2</b>		<b>247167,2</b>
Total	<b>345383,5</b>	Total	<b>345383,5</b>

### 21. Lehr (C-510)

Fungsi : Mendinginkan *flat glass* yang sudah dibentuk di metal bath.

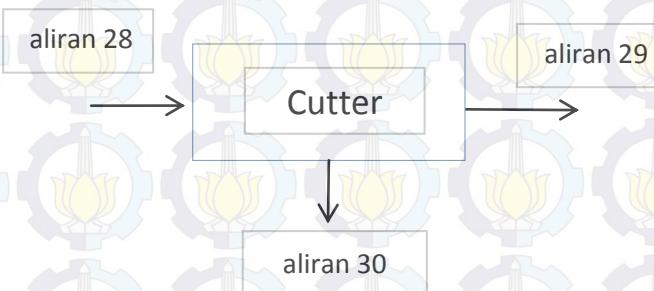


**Tabel A.22** Neraca Massa pada Lehr

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 27		Aliran 28	
SiO <sub>2</sub>	21907,77	SiO <sub>2</sub>	21907,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1204,33	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1204,33
MgO	3959,27	MgO	3959,27
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43150,73	Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43150,73
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27994,2	Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27994,2
Total	98216,3	Total	98216,3

## 22. Cutter (S-610)

Fungsi : Alat untuk memotong *flat glass*.



**Tabel A.23** Neraca Massa pada cutter

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 28		Aliran 29	
SiO <sub>2</sub>	21907,77	SiO <sub>2</sub>	19749

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1204,33	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07
MgO	3959,27	MgO	3269,02
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43150,73	Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	34458,38
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27994,2	Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	20487,5
	<b>98216,3</b>		<b>78964,97</b>
		Aliran 30	
		SiO <sub>2</sub>	2158,77
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26
		MgO	690,25
		Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8692,35
		Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7506,7
			<b>19251,34</b>
Total	<b>98216,3</b>	Total	<b>98216,3</b>

### 23. Storage Produk (F-611)

Fungsi : Tempat penyimpanan produk *flat glass*



Tabel A.24 Neraca Massa pada *storage produk*

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Aliran 27		Aliran 28	
SiO <sub>2</sub>	19749	SiO <sub>2</sub>	19749
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07
MgO	3269,02	MgO	3269,02

$\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_3$	34458,38	$\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_3$	34458,38
$\text{Na}_2\text{OCaO}(\text{SiO}_2)_3$	20487,5	$\text{Na}_2\text{OCaO}(\text{SiO}_2)_3$	20487,5
Total	<b>78964,97</b>	Total	<b>78964,97</b>

$$\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_3 = \frac{34458,38}{242} = 142,39 \text{ kmol}$$

$$\begin{aligned}\text{Na}_2\text{O} &= 142,39 \times 62 = 8828,18 \text{ kg} \\ 3 \text{ SiO}_2 &= 142,39 \times 180 = 25630,2 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\text{Na}_2\text{OCaO}(\text{SiO}_2)_3 = \frac{20487,5}{298} = 68,75 \text{ kmol}$$

$$\begin{aligned}\text{Na}_2\text{O} &= 68,75 \times 62 = 4262,5 \text{ kg} \\ \text{CaO} &= 68,75 \times 56 = 3850 \text{ kg} \\ 3 \text{ SiO}_2 &= 68,75 \times 180 = 12375 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\text{Na}_2\text{O} \text{ total : } 8828,18 + 4262,5 = 13090,68 \text{ kg}$$

$$\text{SiO}_2 \text{ total : } 25630,2 + 12375 + 19749 = 57754,2 \text{ kg}$$

Sehingga :

$$\text{SiO}_2 : \frac{57754,2}{78964,97} \times 100 \% = 73\%$$

$$\text{Na}_2\text{O} : \frac{13090,68}{78964,97} \times 100 \% = 17\%$$

$$\text{CaO} : \frac{3850}{78964,97} \times 100\% = 5\%$$

$$\text{MgO} : \frac{3269,02}{78964,97} \times 100\% = 4\%$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 : \frac{1001,07}{78964,97} \times 100\% = 1\%$$

Jadi, produk flat glass sesuai dengan spesifikasi flat glass yang ada.

Tabel A.25 Komposisi Flat Glass (Achmadi, 2003)

Komposisi Kimia	Jumlah (%)
$\text{SiO}_2$	73
$\text{Na}_2\text{O}$	17

CaO	5
MgO	4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1

## APPENDIKS B NERACA PANAS

Kapasitas produksi <i>flat glass</i>	: 26.000 ton/tahun
	78.964,97 kg/hari
Operasional pabrik	: 330 hari
Satuan massa	: kg
Basis	: 1 hari
T ref	: 25°C

Entalpi (H) adalah jumlah energi yang dimiliki sistem pada tekanan tetap. Entalpi (H) dirumuskan sebagai jumlah energi yang terkandung dalam sistem (E) dan kerja (W).

$$H = E + W$$

dengan:

$$W = P \times V$$

E = energi (joule)

W = kerja sistem (joule)

V = volume (liter)

P = tekanan (atm)

Hukum kekekalan energi menjelaskan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, tetapi hanya dapat diubah dari bentuk energi yang satu menjadi bentuk energi yang lain. Nilai energi suatu materi tidak dapat diukur, yang dapat diukur hanyalah perubahan energi ( $\Delta E$ ).

Demikian juga halnya dengan entalpi, entalpi tidak dapat diukur, kita hanya dapat mengukur perubahan entalpi ( $\Delta H$ ).

$$\Delta H = H_p - H_r$$

dengan:

$\Delta H$  = perubahan entalpi

$H_p$  = entalpi produk

$H_r$  = entalpi reaktan atau pereaksi

a. Bila  $H$  produk >  $H$  reaktan, maka  $\Delta H$  bertanda positif, berarti terjadi penyerapan kalor dari lingkungan ke sistem.

b. Bila  $H$  reaktan >  $H$  produk, maka  $\Delta H$  bertanda negatif, berarti terjadi pelepasan kalor dari sistem ke lingkungan.

Secara matematis, perubahan entalpi ( $\Delta H$ ) dapat diturunkan sebagai berikut.

$$H = E + W \quad (1)$$

Pada tekanan tetap:

$$\Delta H = \Delta E + P\Delta V \quad (2)$$

$$\Delta E = q + W \quad (3)$$

$$W_{\text{sistem}} = -PV \quad (4)$$

Substitusi persamaan (3) dan (4) dalam persamaan (2):

$$H = (q + W) + P\Delta V$$

$$H = (q - P\Delta V) + P\Delta V$$

$$H = q$$

Jadi, pada tekanan tetap, perubahan entalpi ( $\Delta H$ ) sama dengan kalor ( $q$ ) yang diserap atau dilepas (James E. Brady, 1990).

Tabel B.1 Komposisi Fly Ash

Komposisi Kimia	Jumlah (%)	Berat Molekul	Massa (Kg)
SiO <sub>2</sub>	75	60	57.754,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,3	102	1.001,07
CaO	4	56	3.080,21
Na <sub>2</sub> O	15,5	62	11.935,83
MgO	4,2	40	3.234,22
Total	100		77.005,35

Kapasitas panas senyawa organik dan anorganik dicari dengan menggunakan persamaan:

$$C_p = A + BT + C/T^2$$

Dimana :

C<sub>p</sub> = Kapasitas panas (kkal/kmol°C)

A, B, C = Konstanta

T = Suhu (°C)

(Perry, 2008)

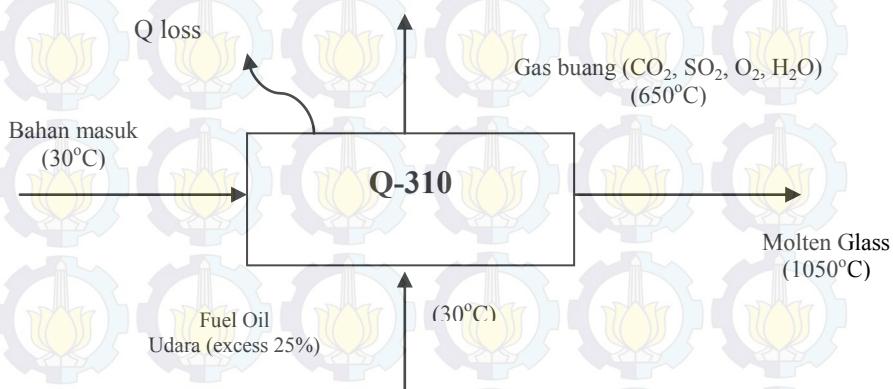
Tabel B.2 Kapasitas Panas (Perry, 2008)

Senyawa	C <sub>p</sub> (kkal/kg °C)	Referensi
SiO <sub>2</sub>	0,321	Tabel 2-151 Perry Edisi 8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,269	Tabel 2-151 Perry Edisi 8
CaO	0,305	Tabel 2-151 Perry Edisi 8

$\text{Na}_2\text{O}$	0,344	Tabel 2-151 Perry Edisi 8
$\text{MgO}$	0,313	Tabel 2-151 Perry Edisi 8
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	0,26	Tabel 2-151 Perry Edisi 8
$\text{CaCO}_3$	0,335	Tabel 2-151 Perry Edisi 8
$\text{MgCO}_3$	0,244	Tabel 2-151 Perry Edisi 8
$\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_3$	0,22	Tabel 2-350 Perry Edisi 8
$\text{Na}_2\text{OCaO}(\text{SiO}_2)_3$	0,22	Tabel 2-350 Perry Edisi 8

## 1. Furnace (Q-310)

Fungsi : Untuk melebur campuran antara fly ash, soda ash, soda lime dan cullet sampai terjadi reaksi pengkacaan.



- Panas Masuk  
H 1 : Panas dari feed

Komponen	Massa (kg)	$C_p$ (kkal/kg °C)	$\Delta T$ (°C)	H (kkal)
$\text{SiO}_2$	57.754,01	0,181	5	52.267,38
$\text{Na}_2\text{O}$	1.001,07	0,269	5	1.346,44
CaO	3.080,21	0,184	5	2.833,79
$\text{Al}_2\text{O}_3$	11.935,83	0,187	5	11.160
MgO	3.234,22	0,224	5	3.622,33
$\text{H}_2\text{O}$	3.514,590	0,9989	5	17.553,620
				<b>88.783,559</b>

Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1.974,78	0,26	5	<b>2.567,21</b>
CaCO <sub>3</sub>	1.388,75	0,20	5	1.388,75
MgCO <sub>3</sub>	73,09	0,24	5	89,17
				<b>1.477,92</b>
Cullet				
SiO <sub>2</sub>	2.158,77	0,181	5	1.953,687
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26	0,187	5	190,048
MgO	690,25	0,224	5	773,08
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8.692,35	0,220	5	9.561,585
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7.506,7	0,220	5	8.257,370
				<b>20.735,77</b>
				<b>113.564,462</b>

Perhitungan massa fuel oil yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned}
 & (m \cdot cp \cdot \Delta T)_{feed} + (m \cdot cp \cdot \Delta T)_{air} + (m \cdot cp \cdot \Delta T)_{fuel oil} + m \cdot HV \\
 & = (m \cdot cp \cdot \Delta T)_{product} + (m \cdot \lambda)_{air} + (m \cdot cp \cdot \Delta T)_{air} + \Delta H_{25} \\
 & 113.564,462 + (3.217,68 \times 0,9989 \times 5) + (m \times 0,41 \times 5) + 10.013,08 m \\
 & = (24.946.265,30) + (3.217,68 \times 2.257,06) + (3.217,68 \times 0,9989 \times 75) + \\
 & 54.444.136,22 \\
 & = 8.663.314 \text{ kg} \\
 & = 10.829.143 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

H 2 : Panas dari fuel oil

Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	H (kkal)
10.829,143	0,41	5	22.199,743

H 3 : Panas dari pembakaran fuel oil

$$\begin{aligned}
 \text{Heating Value} &= 18.000 \text{ BTU/lb} \quad (\text{Klara \& Baharuddin, 2012}) \\
 &= 10.013,08 \text{ kkal/kg}
 \end{aligned}$$

Massa (kg)	HV	H (kkal)
10.829,143	10.013,08	108.433.075,190

H 4 : Panas dari udara primer

Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	H (kkal)
35.844,48	0,240	5	43.013,376

H 5: panas yang dibawa udara primer

Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	H (kkal)
8.961,12	0,240	5	10.753,344

- Panas Keluar

H 6 : Panas dari hasil pembakaran fuel oil

Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	H (kkal)
CO <sub>2</sub>	33.353,76	0,258	625	5.378.293,8
N <sub>2</sub>	372,2	0,26	625	60.482,5
SO <sub>2</sub>	649,6	0,185	625	75.110
H <sub>2</sub> O	12.670,02	0,506	625	4.006.893,825
				<b>9.520.780,125</b>

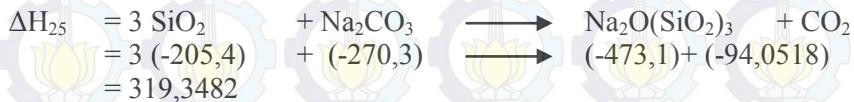
H 7 : Panas yang dibawa molten glass

Tabel B.3 Panas Pembentukan

Komponen	ΔHf	Satuan
SiO <sub>2</sub>	-205,4	Kkal/gmol
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	-270,3	Kkal/gmol
Na <sub>2</sub> O	-99,4	Kkal/gmol
CaCO <sub>3</sub>	-288,45	Kkal/gmol
CaO	-151,9	Kkal/gmol
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	-473,1	Kkal/gmol
Na <sub>2</sub> O CaO (SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	-604,2	Kkal/gmol

CO <sub>2</sub>	-94,0518	Kkal/gmol
-----------------	----------	-----------

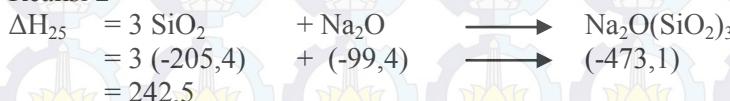
- Reaksi 1



Komponen	Massa (kmol)	Hf (Kkal/gmol)	H (Kcal)
SiO <sub>2</sub>	18,63	-616,2	-11.276.460
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	18,63	-270,3	-5.035.689
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	18,63	-473,1	-8.813.853
CO <sub>2</sub>	18,63	-94,0518	-1.752.185,034

$$\begin{aligned}\Delta H_{25} &= \Delta H_f \text{ produk} - \Delta H_f \text{ reaktan} \\ &= [((-8.813.853) + (-1.752.185,034)) - ((-11.276.460) + (-5.035.689))] \\ &= 5.746.110,97\end{aligned}$$

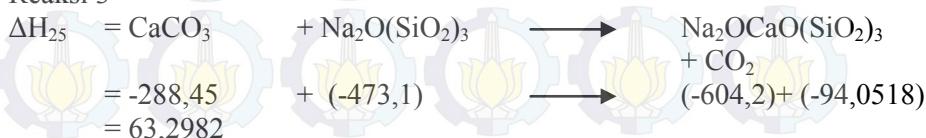
- Reaksi 2



Komponen	Massa (kmol)	Hf (Kkal/gmol)	H (Kcal)
SiO <sub>2</sub>	192,51	-616,2	-118.624.662
Na <sub>2</sub> O	192,51	-99,4	-19.135.494
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	192,51	-473,1	-91.076.481

$$\begin{aligned}\Delta H_{25} &= [(-91.076.481) - ((-118.624.662) + (-19.135.494))] \\ &= 46.683.675\end{aligned}$$

- Reaksi 3

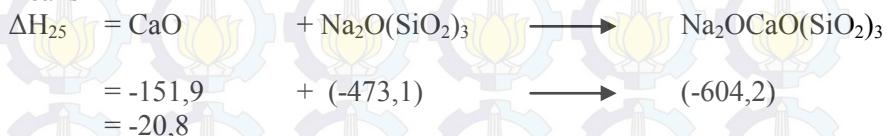


Komponen	Massa (kmol)	Hf (Kkal/gmol)	H (Kcal)
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	13,75	-288,45	-3.966.187,5

$\text{CaCO}_3$	13,75	-473,1	-6.505.125
$\text{Na}_2\text{OCaO}(\text{SiO}_2)_3$	13,75	-604,2	-8.307.750
$\text{CO}_2$	13,75	-94,0518	-1.293.212,25

$$\Delta H_{25} = [((-8.307.750) + (-1.293.212,25)) - ((-3.966.187,5) + (-6.505.125))] \\ = 870.350,25$$

- Reaksi 4



Komponen	Massa (kmol)	Hf (Kkal/gmol)	H (Kcal)
$\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_3$	55	-151,9	-8.354.500
CaO	55	-473,1	-26.020.500
$\text{Na}_2\text{OCaO}(\text{SiO}_2)_3$	55	-604,2	-33.321.000

$$\Delta H_{25} = [(-33.321.000) - ((-8.354.500) + (-26.020.500))] \\ = 1.144.000$$

$$\begin{array}{ll} \Delta H_{25} \text{ total} & = 5.746.110,97 + 46.683.675 + 870.350,25 + 1.144.000 \\ & = 54.444.136,22 \end{array}$$

Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	$\Delta T$ (°C)	H (kkal)
$\text{SiO}_2$	21.907,77	0,321	1.025	7.208.204,02
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1.204,33	0,344	1.025	424.646,76
MgO	3.959,27	0,313	1.025	1.270.232,80
$\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_3$	43.150,73	0,220	1.025	9.730.489,62
$\text{Na}_2\text{OCaO}(\text{SiO}_2)_3$	27.994,20	0,220	1.025	6.312.692,10
			Total	24.946.265,30

H 8 : Panas reduksi  $\text{MgCO}_3$

Massa (kmol)	Hf (kkal/gmol)	H (kkal)
0,87	-261,5	<b>-227,505</b>

H 9 : Panas laten air

Massa	$\Lambda$	H (kkal)
3.217,68	2,257.060	7.262.496,821

Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	$\Delta T$ (°C)	H (kkal)
3.217,68	0.9989	75	241.060,541

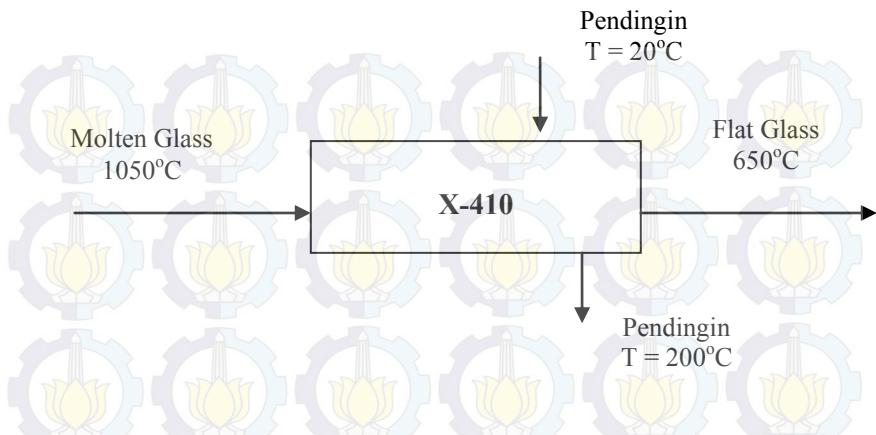
Tabel B.4 Neraca Panas pada Furnace

Masuk (kkal)	Keluar (kkal)		
H 1	113.564,462	H 6	9.520.780,125
H 2	22.199,743	H 7	54.444.136,220
H 3	108.433.075,19		24.946.265,30
H 4	43.013,376	H 8	-227,505
H 5	10.753,344	H 9	7.262.496,821
			241.060,541
		Q loss	12.208.094,618
Total	<b>108.622.606,116</b>	Total	<b>108.622.606,116</b>

$$\begin{aligned}
 Q \text{ loss} &= H \text{ masuk} - H \text{ keluar} \\
 &= 108.622.606,116 - 96.414.511,497 \\
 &= 12.208.094,618 \\
 &= \frac{12.208.094,618}{108.622.606,116} \times 100 \% \\
 &= 11,239 \%
 \end{aligned}$$

## 2. Metal Bath (X-410)

Fungsi : Untuk membentuk kaca cair yang keluar dari furnace dengan cara mengambangkan kaca cair diatas timah cair.



Entalpi bahan masuk  
Suhu bahan masuk 1050°C

Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	H (kkal)
SiO <sub>2</sub>	21.907,77	0,321	1.025	7.208.204,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.204,33	0,344	1.025	424.646,76
MgO	3.959,27	0,313	1.025	1.270.232,80
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43.150,73	0,220	1.025	9.730.489,62
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27.994,20	0,220	1.025	6.312.692,10
			Total	24.946.265,30

Entalpi bahan keluar  
Suhu bahan keluar 650°C

Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	H (kkal)
SiO <sub>2</sub>	21.907,77	0,274	625	3.751.705,613
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.204,33	0,289	625	217.532,106
MgO	3.959,27	0,292	625	722.566,775
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43.150,73	0,220	625	5.933.225,375
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27.994,20	0,220	625	3.849.202,500

			<b>Total</b>	<b>14.474.232,369</b>
--	--	--	--------------	-----------------------

$$\begin{aligned}
 H_{\text{masuk}} + Q_{\text{pendinin}} &= H_{\text{keluar}} + Q_{\text{serap}} \\
 24.946.265,30 + mp. Cp. \Delta T &= 14.474.232,369 + mp. Cp. \Delta T \\
 24.946.265,30 + mp \times 0,243 \times 5 &= 14.474.232,369 + mp \times 0,249 \times 175 \\
 42,368 \times mp &= 10.472.032,926 \\
 \text{Massa pendingin} &= \frac{10.472.032,926}{42,368} \\
 &= 247.167,201 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

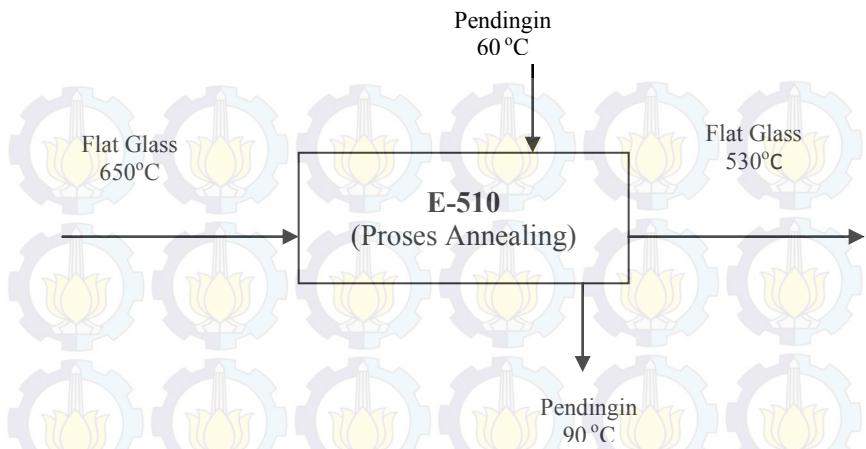
$$\begin{aligned}
 Q_{\text{pendingin}} &= mp \times 0,243 \times 5 \\
 &= 247.167,201 \times 1,213 \\
 &= 299.822,642 \text{ kkal} \\
 Q_{\text{serap}} &= mp \times 0,249 \times 175 \\
 &= 247.167,201 \times 43,581 \\
 &= 10.771.855,568 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

**Tabel B.5** Neraca Panas pada Metal Bath

Masuk (kkal)	Keluar (kkal)		
H masuk	24.946.265,30	H keluar	14.474.232,369
Q pendingin	<b>299.822,642</b>	Q serap	<b>10.771.855,568</b>
Total	<b>25.246.087,937</b>	Total	<b>25.246.087,937</b>

### 3. Lehr (E-510)

Fungsi : Mendinginkan *flat glass* yang sudah dibentuk pada metal bath dalam lehr ini terdapat 3 proses pendinginan yang terdiri dari proses annealing, proses cooling dan proses force cooling.



- Proses Annealing  
Entalpi bahan masuk  
Suhu bahan masuk 650°C

Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	H (kkal)
SiO <sub>2</sub>	21.907,77	0,274	625	3.751.705,613
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.204,33	0,289	625	217.532,106
MgO	3.959,27	0,292	625	722.566,775
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43.150,73	0,220	625	5.933.225,375
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27.994,20	0,220	625	3.849.202,500
			Total	14.474.232,369

Entalpi bahan keluar  
Suhu bahan keluar 530°C

Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	H (kkal)
SiO <sub>2</sub>	21.907,77	0,265	505	2.931.807,320
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.204,33	0,279	505	169.684,075
MgO	3.959,27	0,287	505	573.836,797
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43.150,73	0,220	505	4.794.046,103
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27.994,20	0,220	505	3.110.155,620

11.579.529,916

$$H_{\text{masuk}} + Q_{\text{pendingin}} = H_{\text{keluar}} + Q_{\text{serap}}$$

$$14.474.232,369 + \text{mp. } Cp. \Delta T = 11.579.529,916 + \text{mp. } Cp. \Delta T$$

$$14.474.232,369 + \text{mp} \times 0,232 \times 25 = 11.579.529,916 + \text{mp} \times 0,234 \times 65$$

$$9,386 \times \text{mp} = 2.894.702,453$$

$$\text{Massa pendingin} = \frac{2.894.702,453}{9,386}$$

$$= 308.411,875 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{pendingin}} = \text{mp} \times 0,232 \times 25$$

$$= 308.411,875 \times 9,386$$

$$= 1.791.787,321 \text{ kkal}$$

$$Q_{\text{serap}} = \text{mp} \times 0,234 \times 65$$

$$= 308.411,875 \times 15,196$$

$$= 4.686.489,774 \text{ kkal}$$

Flat Glass  
530°C

Pendingin  
40 °C

Flat Glass  
310°C

**E-510**  
(Proses Cooling)



- Proses Cooling  
Entalpi bahan masuk  
Suhu bahan masuk 530°C

Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	H (kkal)
SiO <sub>2</sub>	21.907,77	0,265	505	2.931.807,320

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.204,33	0,279	505	169.684,075
MgO	3.959,27	0,287	505	573.836,797
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43.150,73	0,220	505	4.794.046,103
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27.994,20	0,220	505	3.110.155,620
				<b>11.579.529,916</b>

Entalpi bahan keluar  
Suhu bahan keluar 310°C

Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	H (kkal)
SiO <sub>2</sub>	21.907,77	0,242	285	1.510.978,897
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.204,33	0,253	285	86.838,215
MgO	3.959,27	0,274	285	309.179,394
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43.150,73	0,220	285	2.705.550,771
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27.994,20	0,220	285	1.755.236,340
				<b>6.367.783,617</b>

$$H \text{ masuk} + Q \text{ pendingin} = H \text{ keluar} + Q \text{ serap}$$

$$11.579.529,916 + mp \cdot Cp \cdot \Delta T = 6.367.783,617 + mp \cdot Cp \cdot \Delta T$$

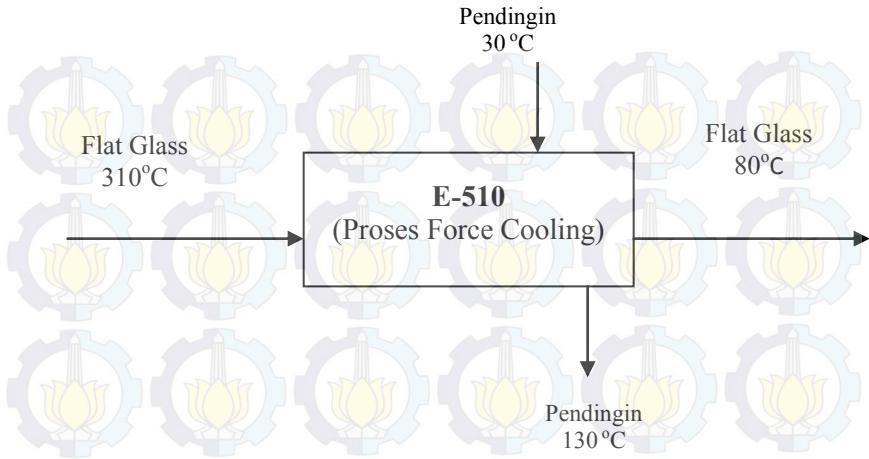
$$11.579.529,916 + mp \times 0,232 \times 15 = 6.367.783,617 + mp \times 0,234 \times 65$$

$$11,711 \times mp = 5.211.746,299$$

$$\begin{aligned} \text{Massa pendingin} &= \frac{5.211.746,299}{11,711} \\ &= 445.015,22 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q \text{ pendingin} &= mp \times 0,232 \times 15 \\ &= 445.015,22 \times 9,386 \\ &= 1.550.507,195 \text{ kkal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q \text{ serap} &= mp \times 0,234 \times 65 \\ &= 445.015,22 \times 15,196 \\ &= 6.762.253,494 \text{ kkal} \end{aligned}$$



- Proses Force Cooling  
Entalpi bahan masuk  
Suhu bahan masuk 310°C

Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	H (kkal)
SiO <sub>2</sub>	21.907,77	0,242	285	1.510.978,897
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.204,33	0,253	285	86.838,215
MgO	3.959,27	0,274	285	309.179,394
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43.150,73	0,220	285	2.705.550,771
Na <sub>2</sub> O Ca O (SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27.994,20	0,220	285	1.755.236,340
				<b>6.367.783,617</b>

Entalpi bahan keluar  
Suhu bahan keluar 80°C

Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	H (kkal)
SiO <sub>2</sub>	21.907,77	0,199	55	239.780,543
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.204,33	0,206	55	13.645,059
MgO	3.959,27	0,240	55	52.262,364
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43.150,73	0,220	55	522.123,833

$\text{Na}_2\text{OCaO}(\text{SiO}_2)_3$	27.994,20	0,220	55	338.729,820
				<b>1.166.541,619</b>

$$\begin{aligned}
 \text{H masuk} + \text{Q pendingin} &= \text{H keluar} + \text{Q serap} \\
 6.367.783,617 + \text{mp. Cp. } \Delta T &= 1.166.541,619 + \text{mp. Cp. } \Delta T \\
 6.367.783,617 + \text{mp} \times 0,279 \times 5 &= 1.166.541,619 + \text{mp} \times 0,241 \times 55 \\
 11.869 \times \text{mp} &= 5.201.241,998 \\
 \text{Massa pendingin} &= \frac{11.869}{5.201.241,998} \\
 &= 438.219,825 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

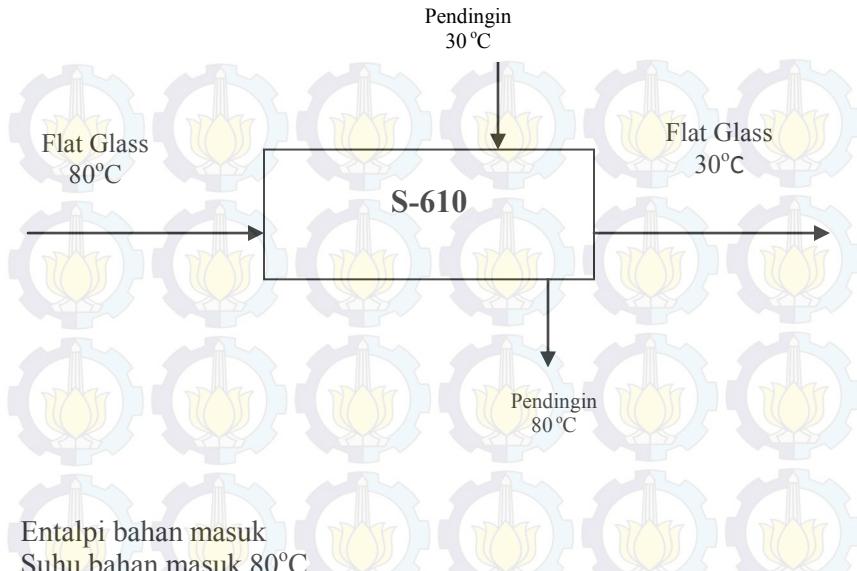
$$\begin{aligned}
 \text{Q pendingin} &= \text{mp} \times 0,279 \times 5 \\
 &= 438.219,825 \times 1,395 \\
 &= 611.140,698 \text{ kkal} \\
 \text{Q serap} &= \text{mp} \times 0,214 \times 55 \\
 &= 438.219,825 \times 13,264 \\
 &= 5.812.382,696 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

Tabel B.6 Neraca Panas pada Lehr

Masuk (kkal)	Keluar (kkal)		
Proses Anneling		Proses Anneling	
H masuk	14.474.232,369	H Keluar	11.579.529,916
Proses Cooling		Proses Cooling	
H masuk	11.579.529,916	H Keluar	6.367.783,617
Proses Force Cooling		Proses Force Cooling	
H masuk	6.367.783,617	H keluar	1.166.541,619
	<b>32.421.545,902</b>		<b>19.113.855,152</b>
Q pendingin	3.953.435,214	Q serap total	17.261.125,964
Total	<b>36.374.981,116</b>	Total	<b>36.374.981,116</b>

#### 4. Cutter (S-610)

Fungsi : Memotong produk flat glass yang keluar dari lehr.



Entalpi bahan masuk  
Suhu bahan masuk 80°C

Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	H (kkal)
SiO <sub>2</sub>	21.907,77	0,199	55	239.780,543
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.204,33	0,206	55	13.645,059
MgO	3.959,27	0,240	55	52.262,364
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	43.150,73	0,220	55	522.123,833
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	27.994,20	0,220	55	338.729,820
				<b>1.166.541,619</b>

Entalpi bahan keluar  
Suhu bahan keluar 30°C

Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	H (kkal)
SiO <sub>2</sub>	19.749	0,181	5	17.872,845
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.001,07	0,187	5	936

MgO	3.269.,02	0,224	5	3.661,302
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	34.458,38	0,220	5	37.904,218
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	20.487,5	0,220	5	22.536,25
				<b>82.910,616</b>
Cullet				
SiO <sub>2</sub>	2.158,77	0,181	5	1.953,687
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	203,26	0,187	5	190,048
MgO	690,25	0,224	5	773,08
Na <sub>2</sub> O(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	8.692,35	0,220	5	9.561,585
Na <sub>2</sub> OCaO(SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	7.506,7	0,220	5	8.257,370
				<b>20.735,77</b>
				<b>103.646,386</b>

$$H \text{ masuk} + Q \text{ pendingin} = H \text{ keluar} + Q \text{ serap}$$

$$1.166.541,619 + \text{mp. Cp. } \Delta T = 103.646,386 + \text{mp. Cp. } \Delta T$$

$$1.166.541,619 + \text{mp} \times 0,279 \times 5 = 103.646,386 + \text{mp} \times 0,241 \times 55$$

$$11,869 \times \text{mp} = 1.062.895,233$$

$$\text{Massa pendingin} = \frac{1.062.895,233}{11,869} \\ = 89.552,027 \text{ kg}$$

$$Q \text{ pendingin} = \text{mp} \times 0,279 \times 5$$

$$= 89.552,027 \times 1,395$$

$$= 124.889,120 \text{ kkal}$$

$$Q \text{ serap} = \text{mp} \times 0,214 \times 55$$

$$= 89.552,027 \times 13,264$$

$$= 1.187.784,353 \text{ kkal}$$

Tabel B.7 Neraca Panas pada Cutter

Masuk (kkal)		Keluar (kkal)	
H masuk	1.166.541,619	H keluar	103.646,386
Q pendingin	124.889,12	Q serap	1.187.784,353
Total	<b>1.291.430,739</b>	Total	<b>1.291.430,739</b>

*Appendiks C-Perhitungan Spesifikasi Alat*

## APPENDIKS C

### PERHITUNGAN SPESIFIKASI ALAT

#### 1. MIXER

Fungsi:Sebagai tempat pencampuran antara fly ash,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ , $\text{MgCO}_3$  dan  $\text{H}_2\text{O}$

**Tabel V.1 Perhitungan Kapasitas Tangki**

Komponen	kg/hari	lb/jam	kg/m <sup>3</sup>	lb/ft <sup>3</sup>	volume (m <sup>3</sup> )
$\text{SiO}_2$	57754,01	5305,1871	2648	165,3153	21,8104
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1001,07	91,9566	3980	248,4725	0,2515
$\text{CaO}$	3080,21	282,9430	3340	208,5171	0,9222
$\text{Na}_2\text{O}$	11935,83	1096,4055	2270	141,7167	5,2581
$\text{MgO}$	3234,22	297,0901	3580	223,5004	0,9034
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	7570,13	695,3795	2540	158,5729	2,9804
$\text{CaCO}_3$	3124,9	287,0481	2710	169,1860	1,1531
$\text{MgCO}_3$	164,47	15,1079	2958	184,6687	0,0556
$\text{H}_2\text{O}$	3514,59	322,8444	996,24	62,1955	3,5279
<b>Total</b>	<b>91379,44</b>	<b>8393,9621</b>	<b>25022,24</b>	<b>1562,1451</b>	<b>36,8626</b>

Kapasita Mixer : 91379,44 kg/hari = 8393,965 lb/jam  
 $\rho$  campuran : 2478,9214 kg/m<sup>3</sup> = 154,7597 lb/ft<sup>3</sup>  
Waktu tinggal : 1 jam  
Rate Volumetrik : 1301,7283 ft<sup>3</sup>/jam  
Volume bahan : 1301,7283 ft<sup>3</sup>  
Untuk faktor keamanan maka volume bahan yang masuk ke mixer ditambahkna 10%  
Volume tangki : 1301,7283 x 1,1= 1431,9 ft<sup>3</sup>

#### Menentukan Diameter dan Tinggi Tangki

Direncanakan perbandingan diameter dengan tinggi tangki  
 $H= 1,5 D$

Volume flange dan dished head = 0,000049 D<sup>2</sup> (D dalam in)

(Brownel pers.5.1 p.88)

Volume flange dan dished head =  $0,0847 D^3$  (D dalam ft)

$$\begin{aligned} \text{Volume mixer} &= V \text{ Silinder} + (2 \times V \text{ flange dan dished head}) \\ 1431,9 &= 1,347 D^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D^3 &= \frac{1431,9}{1,347} \\ D &= \sqrt[3]{1063,029} \text{ ft} \\ R &= (D^3)^{1/3} \\ &= (1063,029)^{1/3} \\ &= 10,204 \text{ ft} &= 10,5 \text{ ft} = 126 \text{ in} = 3,2064 \text{ m} \\ H &= \frac{D}{2} \\ &= \frac{10,204}{2} \\ &= 5,103 \text{ ft} &= 5,25 \text{ ft} = 63 \text{ in} = 1,6002 \text{ m} \\ &= 1,5 \times D \\ &= 1,5 \times 10,204 \\ &= 15,3087 \text{ ft} &= 16 \text{ ft} = 192 \text{ in} = 4,877 \text{ m} \end{aligned}$$

Pengecekan diameter dan tinggi mixer untuk pengelasan double welded but joint dengan syarat :

$$D \times H \geq 1720$$

$$10,5 \times 16 \leq 1720$$

$$168 \leq 1720$$

Karena harga  $D \times H$  lebih kecil sama dengan 1720, maka tangki ini merupakan tangki bervolume kecil (Brownel 1959).

$$\begin{aligned} \text{Volume mixer} &= \frac{\pi D^2 H}{4} + 2(0,0847 D^3) \text{ (Brownel p.41)} \\ &= \frac{3,14 \times 10,5 \times 16}{4} + 2(0,0847 \times 10,5^3) \\ &= 1580,842 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki} &= 1,1 \times 1580,842 \\ &= 1738,96 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

### Menentukan Ketinggian Liquid

$$\begin{aligned} \text{Volume mixer} &= V \text{ Silinder} + (2 \times V \text{ flange dan dished head}) \\ 1301,7283 &= 1,374 \times D^3 \end{aligned}$$

$$D^3 = \frac{1301,7283}{1,347}$$

$$= 966,3907 \text{ ft}^3$$

$$= (D^3)^{1/3}$$

$$= (966,3907)^{1/3}$$

$$R = \frac{D}{2} = \frac{9,887}{2} = 4,943 \text{ ft}$$

$$H = 1,5 \times D = 1,5 \times 9,887 = 14,83 \text{ ft}$$

$$= 10 \text{ ft} = 120 \text{ in} = 3,048 \text{ m}$$

$$= 5 \text{ ft} = 60 \text{ in} = 1,524 \text{ m}$$

$$= 15 \text{ ft} = 180 \text{ in} = 4,572 \text{ m}$$

### Menentukan Tekanan Desain

$$P_{\text{operasi}} = P_{\text{luar}} = 14,7 \text{ psi}$$

$$\rho_{\text{campuran}} = 2478,92 \text{ kg/m}^3 = 154,76 \text{ lb/ft}^3$$

$$P_{\text{hidrostatis}} = \frac{\rho \times (HL-1)}{144} \quad (\text{Brownell pers.3.17 p.46})$$

$$= 2478,92 \times (4,572-1)/144$$

$$= 61,491 \text{ psi}$$

$$P_{\text{desain}} = 1,05 \times (P_{\text{operasi}} + P_{\text{hidrostatis}})$$

$$= 1,05 \times (14,7 + 61,491)$$

$$= 80,0005 \text{ psi}$$

### Menentukan Tebal Silinder

$$\text{Jenis pengelasan} = \text{Double welded but joint} \quad (\text{Brownell tabel 13.2 p.254})$$

$$\text{Efisiensi (E)} = 0,8$$

$$\text{Faktor korosi (C)} = 0,125 \text{ in}$$

$$\text{Bahan konstruksi} = \text{Carbon steel SA-283 grade C}$$

(Brownell tabel 13.1 p.251)

$$\text{Allowable stress (f)} = 12650 \text{ psi} \quad (\text{Brownell tabel 13.1 p.251})$$

$$r_i \text{ (radius inside)} = ID/2$$

$$= 126/2$$

$$= 63 \text{ in}$$

### Appendiks C-Perhitungan Spesifikasi Alat

$$ts = \frac{(P_{desain} \times ri)}{(f \times E) - (0,6 \times P_{desain})} + C$$

(Brownell persamaan 13.1 p.254)

$$= \frac{(80,0005 \times 80)}{(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 180,0005)} + 0,125$$

$$= 0,625 \text{ in}$$

Tebal standar

$$\begin{aligned} OD &= ID + 2.ts \\ &= 126 + 2. 0,625 \\ &= 127, 251 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ID &= OD - 2.ts \\ &= 127, 251 - 2.0,625 \\ &= 126 \text{ in} \end{aligned}$$

#### Menentukan tebal "flange dan dished head

Tutup atas dan tutup bawah berbentuk teorispherical dished head

$$\text{Tekanan desain} = 80,0005 \text{ psi}$$

$$OD = 127,251 \text{ in}$$

$$rc = ID = 130 \text{ in}$$

$$ri = 0,06 \times rc$$

$$= 0,006 \times 130$$

$$= 7,8 \text{ in}$$

$$W = \frac{1}{4} (3+rc/ri)^{0,5}$$

$$= \frac{1}{4} (3+130/7,8)^{0,5}$$

$$= 1,771 \text{ in}$$

$$th = \frac{(P_{desain} \times rc \times W)}{(2 \times f \times E) - (0,2 \times P_{desain})} + C$$

(Brownell persamaan 13.10 p.256)

$$= \frac{(80,0005 \times 130 \times 1,771)}{(2 \times 12650 \times 0,8) - (0,2 \times 80,0005)} + 0,125$$

$$= 1,0355 \text{ in}$$

$$OD = ID + 2.th$$

$$= 126 + 2.1,0355$$

$$= 128,0711 \text{ in}$$

### Menentukan desain tutup

Sf = 2,5 in (*Brownell, tabel 5.6 p. 88*)

$$icr = 8 \text{ in}$$

$$r = 130 \text{ in} \quad (\text{Brownell, tabel 5.7 p. 89})$$

$$ID = 126 \text{ in}$$

$$AB = ID/2 - icr$$

$$= 130/2 - 8$$

$$= 55 \text{ in}$$

$$BC = r - icr$$

$$= 130 - 8$$

$$= 122 \text{ in}$$

$$AC = (BC^2 - AB^2)^{0,5} \quad (\text{Brownell, p. 87})$$

$$= ((122)^2 - (55)^2)^{0,5}$$

$$= 108,899 \text{ in}$$

$$b = r - (BC^2 - AB^2)^{0,5} \quad (\text{Brownell, p. 87})$$

$$= 130 - ((122)^2 - (55)^2)^{0,5}$$

$$= 21,1009 \text{ in}$$

$$a = ID/2 \quad (\text{Brownell, p. 87})$$

$$= 126/2$$

$$= 63 \text{ in}$$

$$OA = ts + b + Sf \quad (\text{Brownell, p. 87})$$

$$= 0,625 + 21,1009 + 2,5$$

$$= 24,226 \text{ in}$$

### Menentukan Power Pengaduk

Direncanakan menggunakan pengaduk dengan jenis flat six-blade turbine with disk dengan 4 buah baffel.

Da = diameter impeller

Dt = diameter tangki

H = tinggi liquid

W = tinggi impeller

J = lebar baffle

L = panjang pengaduk

C = jarak pengaduk ke dasar tangki

Da =  $1/3 \cdot Dt \quad (\text{Geankoplis, p.158})$

$$= 1/3 \cdot 10,5$$

$$= 3,5 \text{ ft} = 1,524 \text{ m}$$

$$H = Dt \\ = 15,5 \text{ ft} = 4,7244 \text{ m}$$

$$W = 1/5 \cdot Da \\ = 1/5 \cdot 3,5$$

*(Geankoplis, p.158)*

$$J = 1/12 \cdot Dt \\ = 1/12 \cdot 15,5$$

*(Geankoplis, p.158)*

$$C = 1/3 \cdot Dt \\ = 1/3 \cdot 15,5$$

*(Geankoplis, p.158)*

$$L = 1/4 \cdot Da \\ = 1/4 \cdot 3,5 \\ = 0,875 = 0,2667 \text{ m}$$

*(Geankoplis, p.158)*

### **Penentuan Putaran Pengaduk**

$$\text{Karena } Dt/J = 12$$

$$\text{Dan } Da/W = 5$$

Berdasarkan Geankoplis fig.3.4-5 page 159

Jenis agitator yang digunakan = flat six-blade open turbine with disk

$$N = 30 \text{ rpm} \\ = 0,5 \text{ rps}$$

$$Da = 1,524 \text{ m}$$

$$\text{Densitas campuran} = 2478,92 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Viskositas} = 0,002 \text{ kg/m.s}$$

$$Nre = Da^2 \times N \times \rho / \mu \quad (\text{Geankoplis, p.159}) \\ = (1,524)^2 \times 0,5 \times 2478,92 / 0,002 \\ = 1439370$$

Nre > 10000, maka digunakan baffle (*Geankoplis, p.143*)

Lebar baffle :

$$J = 1/12 \cdot H \\ = 1/12 \cdot 15,5 \\ = 1,2917 \text{ ft} = 0,4053$$

## Power Pengaduk

$$N_p = 5 \quad (\text{Geankoplis, fig. 3.4-5, p.159})$$

$$\rho = 2478,92$$

$$N = 0,5 \text{ rps}$$

$$Da = 1,624 \text{ m}$$

$$P = N_p \times \rho \times N^3 \times Da^5 \quad (\text{Geankoplis, persamaan, 3.4-2, p.158})$$

$$= 5 \times 2478,92 \times (0,5)^3 \times (1,624)^5$$

$$= 17501,39 \text{ J/s}$$

$$= 17,50139 \text{ kW}$$

$$= 23,4697 \text{ Hp}$$

Efisiensi motor = 80% (*Timmerhaus, fig. 14.38, p.521*)

$$\text{Power} = P/\text{efisiensi motor}$$

$$= 23,4697/0,8$$

$$= 18,776 \text{ Hp}$$

$$= 19 \text{ Hp}$$

## Spesifikasi alat :

Bentuk : Silinder vertical dengan tutup dan dasar "flanged & dished head"

Volume tangki : 1738,96 ft<sup>3</sup>

Volume liquid : 1580,84 ft<sup>3</sup>

Diameter tangki : 126 in

Tinggi tangki : 192 in

Tebal tangki : 0,625 in

Tebal tutup atas : 1,04 in

Tebal tutup bawah : 1,04 in

Jenis las : Double welded but joint

Bahan konstruksi : SA 283 grade C

Tipe pengaduk : flat six-blade turbine with disk dengan 4 buah baffel

Jumlah pengaduk : 1

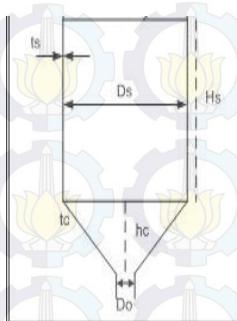
Diameter pengaduk : 63,96 in

Putaran pengaduk : 30 rpm

Power motor : 19 Hp

## 2. BIN FLY ASH

Fungsi:Sebagai tempat penyimpanan bahan baku yang telah mengalami pencampuran di tangki mixer.



**Tabel V.2 Perhitungan Kapasitas Tangki**

Komponen	kg/hari	lb/jam	kg/m <sup>3</sup>	lb/ft <sup>3</sup>	volume (m <sup>3</sup> )
SiO <sub>2</sub>	57754,01	5305,1871	2648	165,3153	21,8104
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1001,07	91,9566	3980	248,4725	0,2515
CaO	3080,21	282,9430	3340	208,5171	0,9222
Na <sub>2</sub> O	11935,83	1096,4055	2270	141,7167	5,2581
MgO	3234,22	297,0901	3580	223,5004	0,9034
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	7570,13	695,3795	2540	158,5729	2,9804
CaCO <sub>3</sub>	3124,9	287,0481	2710	169,1860	1,1531
MgCO <sub>3</sub>	164,47	15,1079	2958	184,6687	0,0556
H <sub>2</sub> O	3514,59	322,8444	996,24	62,1955	3,5279
<b>Total</b>	<b>91379,44</b>	<b>8393,9621</b>	<b>25022,24</b>	<b>1562,1451</b>	<b>36,8626</b>

Kapasitas Bin : 91379,44 kg/hari = 8393,965 lb/jam

$\rho$  campuran : 2478,9214 kg/m<sup>3</sup> = 154,7597 lb/ft<sup>3</sup>

Waktu tinggal : 1 jam

Rate Volumetrik : 54,2398 ft<sup>3</sup>/jam

Kapasitas Tangki : 1301,7283 ft<sup>3</sup>

Untuk faktor keamanan maka volume bahan yang dimasukkan di dalam bin sebanyak 80%

Volume Bin :  $1301,7283 \times 80\% = 1041,44 \text{ ft}^3$

Asumsi :

Tangki berisi 80% feed, volume tangki = 1041,44 ft<sup>3</sup>

H:D = 1,5 D

Sudut = 60 deg

### Menghitung Diameter dan Tinggi Tangki

$$\text{Volume tangki} = (\pi/4 \times \text{Di}^2 \times 1,5 \times \text{Di}) + (\pi/24 \times \text{Di}^3 / \tan(0,5 \times \alpha))$$

$$1301,7283 = (3,14/4 \times \text{Di}^2 \times 1,5 \times \text{Di}) + (3,14/24 \times \text{Di}^3 / \tan(0,5 \times 60))$$

$$1301,7283 = (1,18 \times \text{Di}^3) + (0,2267 \times \text{Di}^3)$$

$$1301,7283 = 1,40 \text{ Di}^3$$

$$\text{Di}^3 = 929,857$$

$$\text{Di} = (\text{Di}^3)^{1/3}$$

$$= (929,857)^{1/3}$$

$$= 9,76 \text{ ft} = 10 \text{ ft} = 120 \text{ in} = 3,048 \text{ m}$$

$$\text{H} = 1,5 \times \text{Di}$$

$$= 1,5 \times 9,76$$

$$= 14,641 \text{ ft} = 16 \text{ ft} = 192 \text{ in} = 4,877 \text{ m}$$

$$\text{Volume tangki} = (\pi/4 \times \text{Di}^2 \times 1,5 \times \text{Di}) + (\pi/24 \times \text{Di}^3) \times (\text{Di})^3$$

$$= (3,14/4 \times (10)^2 \times 1,5 \times 10) + (3,14/24 \times (10)^3) \times (10)^3$$

$$= 1157,074 \text{ ft}^3$$

$$= 80\% \times 1157,074 = 925,6594 \text{ ft}^3$$

### Menghitung Tinggi Fly Ash dalam Tangki

$$\text{Volume} = (\pi/4 \times \text{Di}^2 \times \text{H fly ash}) + (3,14/24 \times \text{Di}^3 / \tan(0,5 \times 60))$$

$$1157,074 = (3,14/4 \times (10)^2 \times \text{H fly ash}) + (3,14/24 \times (10)^3 / \tan(0,5 \times 60))$$

$$1157,074 = (3,14/4 \times (10)^2 \times \text{H fly ash}) + 226,61$$

$$1157,074 - 226,61 = (3,14/4 \times (10)^2 \times \text{H fly ash})$$

$$930,46 = 78,5 \text{ H fly ash}$$

$$\text{H fly ash} = 11,853 \text{ ft}$$

$$= 12 \text{ ft}$$

$$= 144 \text{ in} = 3,6576 \text{ m}$$

### Menghitung Tekanan Desain Tangki

$$P \text{ operasi} = 14,7 \text{ psi}$$

$$\rho \text{ campuran} = 2478,92 \text{ kg/m}^3$$

$$= 154,76 \text{ lb/ft}^3$$

$$\begin{aligned} P \text{ hidrostatis} &= \rho \times (Hl-1)/144 \quad (\text{Brownel pers.3.17 p.46}) \\ &= 154,76x (12-1)/144 \\ &= 189,362 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ desain} &= 1,05 \times (P \text{ operasi} + P \text{ hidrostatis}) \\ &= 1,05 \times (14,7 + 189,362) \\ &= 214,26 \text{ psi} \end{aligned}$$

### Menentukan Tebal Silinder

Jenis pengelasan yang digunakan = double welded but joint  
(Brownell tabel 13.2 p.254)

$$\text{Efisiensi (E)} = 0,8$$

$$\text{Faktor korosi (C)} = 0,125 \text{ in}$$

Bahan konstruksi  
(Brownell tabel 13.1 p.251)

$$\text{Allowable stress (f)} = 12650 \text{ psi (Brownell tabel 13.1 p.251)}$$

$$ri \text{ (radius inside ID)} = 60 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} ts &= \frac{(P \text{ desain} \times ri)}{(2(f \times E) - (0,6 \times P \text{ desain}))} + C \quad (\text{Brownell persamaan 13.1 p.254}) \\ &= \frac{(214,26 \times 60)}{(2(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 214,26))} + 0,125 \\ &= 0,6433 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal standar} \\ \text{Check} \end{aligned} \quad \begin{aligned} OD &= ID + 2.ts \\ &= 120 + 2 \cdot 0,6433 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ID &= OD - 2.ts \\ &= 133,2454 - 2 \cdot 0,6433 \\ &= 120 \text{ in} \end{aligned}$$

### Menghitung Tebal Tutup Bawah

$$\begin{aligned} Thb &= \frac{(P \text{ desain} \times Di)}{(2(f \times E) - (0,6 \times P \text{ desain}) \cos(60/2))} + C \\ &= \frac{(214,26 \times 60)}{(2(12650 \times 0,8) - (0,6 \times 214,26) \cos 30)} + 0,125 \\ &= 8,4665 \text{ in} \end{aligned}$$

= 8,5 in

### Menghitung Tinggi Tutup Bawah

$$\begin{aligned} H_b &= \frac{ID/2}{0,58} \\ &= \frac{121,287 / 2}{0,58} \\ &= 104,5575 \text{ in} \\ &= 105 \text{ in} \end{aligned}$$

### Menghitung Tinggi Total Tangki

$$\begin{aligned} H_{\text{total}} &= H_{\text{silinder}} + H_b \\ &= 192 + 105 \\ &= 297 \end{aligned}$$

### Spesifikasi alat :

Bentuk : Silinder vertical dengan tutup flanged dan dasar conis

Volume tangki : 1157,07ft<sup>3</sup>

Volume liquid : 925,66 ft<sup>3</sup>

Diameter tangki : 120 in

Tinggi tangki : 192 in

Tebal tangki : 0,64 in

Tebal tutup bawah : 8,5 in

Tinggi tutup bawah : 105 in

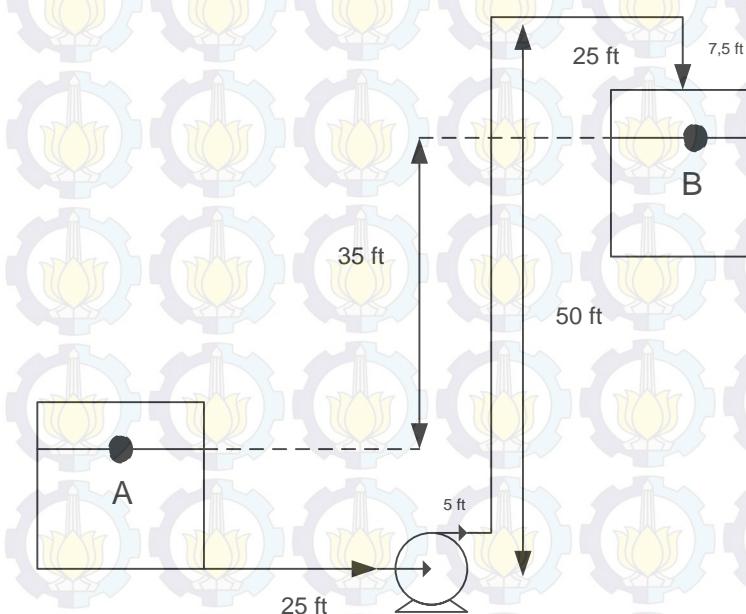
Jenis las : Double welded but joint

Bahan konstruksi : SA 283 grade C

### 3.Pompa Air

Type : Pompa Centrifugal

Yang akan di hitung adalah power pompa



Gambar Skema Pompa

#### Data konversi:

$$1 \text{ lb} = 0,45359 \text{ kg}$$

$$1 \text{ cp} = 0,000672 \text{ lb/ft.s}$$

$$1 \text{ ft}^3 = 7,481 \text{ gal}$$

$$1 \text{ m} = 3,2808 \text{ ft}$$

$$1 \text{ ft} = 12 \text{ in}$$

Friksi pada Pipa Lurus Perhitungan panjang total pipa lurus :

Panjang pipa dari tangki ke pompa = 25 ft

Panjang pipa dari pompa ke elbow 1	= 5 ft
Panjang pipa dari elbow 1 ke elbow 2	= 50 ft
Panjang pipa dari elbow 2 ke elbow 3	= 25 ft
Panjang pipa dari elbow 3 ke mixer	= 7,5 ft
Total panjang pipa lurus	= 112,5 ft = 34,29 m

Komponen	Fraksi mol	kg/jam	BM	Kg.mol/jm
H <sub>2</sub> O	1	3514,59	18	195,255
Total	1	3514,59		195,255

$$\begin{aligned}
 \text{Rate masuk} &= (100/80) \times 3514,59 \text{ kg/jam} \\
 &= 4393,2375 \text{ kg/jam} = 9685,4814 \text{ lb/jam} \\
 \rho_{\text{H}_2\text{O}} &= 57,742 \text{ lb/ft}^3 \\
 \mu_{\text{H}_2\text{O}} &= 0,8937 \text{ cp} = 0,0006005 \text{ lb/ft.s} \\
 \text{Rate fuida, } Q &= \frac{\text{rate masuk}}{\rho} \\
 &= \frac{9685,4814}{996,24} \\
 &= 167,737 \text{ ft}^3/\text{jam} = 0,0466 \text{ ft}^3/\text{s} = 20,914 \text{ gpm} = 4,749 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Diasumsikan aliran turbulen

$$\begin{aligned}
 D_{\text{opt}} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Timmerhouse p. 496}) \\
 &= 3,9 \times (0,0466)^{0,45} \times (57,742)^{0,13} \\
 &= 1,663 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Ditetapkan tipe pompa :

Dari App 5, tabel A.5-, ditentukan :

$$\text{Sch} = 40$$

$$\text{OD} = 1,9 \text{ in} = 0,1583 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 1,61 \text{ in} = 0,1342 \text{ ft}$$

$$A = 0,3038 \text{ in}^2 = 0,00211 \text{ ft}^2$$

Kecepatan linear aliran,  $v = \text{rate volumetrik}/A$

$$= 0,04659/0,00211$$

$$= 22,0823 \text{ ft/s}$$

$$Nre = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \quad (\text{Geankoplis p. 52})$$

$$= \frac{57,742 \times 22,0823 \times 0,1342}{0,0006005}$$

= 284865,098 (asumsi aliran turbulen dapat diterima)

### Menentukan Kerja Pompa

Persamaan Bernoulli :

$$\Delta v^2/(2gc) + \Delta z (g/gc) + \Delta (P/r) + \sum hf = h Wp \quad (\text{Geankoplis p. 71})$$

Dimana :

-Faktor energi kinetik  $\Delta v^2/(2gc) = 0$

( $v_1=v_2$ ,  $\Delta v=0$ )

-Beda tinggi  $\Delta z = 50$  ft

-titik referens,

$P_1$  = tekanan dalam tangki

= 14,7 psi

$P_2$  = Tekanan dalam mixer

= 14,7 psi

$$\Delta(P/\rho) = (14,7-14,7)/57,742$$

= 0

Perhitungan  $\sum hf$  (total liquid friksi) :

Digunakan : 3 buah elbow 90°

1 buah gate valve

1 buah globe valve

Friksi dalam 3 buah elbow 90°

$$hf_1 = 3 \times kf \times v^2 / 2gc \quad (kf=0,75) \quad (\text{Geankoplis Tabel 2.10-1 p. 99})$$

$$= 3 \times 0,75 \times 487,628 / 2.32,174$$

$$= 17,0505 \text{ ft.lbf/lb}$$

Friksi dalam 1 buah globe valve (half open) :

$$hf_2 = kf \times v^2 / 2gc \quad (kf=9,5) \quad (\text{Geankoplis Tabel 2.10-1 p. 99})$$

$$= 9,5 \times 487,628 / 2. 32,174$$

$$= 71,991 \text{ ft.lbf/lb}$$

Friksi dalam 1 buah gate valve (half open) :

$$hf_3 = kf \times v^2 / 2gc \quad (kf=4,5) \quad (\text{Geankoplis Tabel 2.10-1 p. 99})$$

$$= 4,5 \times 487,628 / 2. 32,174$$

$$= 34,1009 \text{ ft.lbf/lb}$$

Friksi sepanjang pipa :

Untuk comercial steel:

$$\epsilon = 0,000046 \text{ (Geankoplis, fig 2.10-3, hal 94)}$$

Maka :

$$\epsilon/D = 0,0011197$$

Dari fig 2.10-3 Geankoplis didapatkan:

$$f = 0,0049$$

Asumsi panjang pipa total  $\Delta L = 50 \text{ ft} = 15,24 \text{ m}$

$$\begin{aligned} f_f &= 4f \times \Delta L/D \times v^2/2gc \text{ (Geankoplis, p 92)} \\ &= (4 \times 0,0049) \times (50/0,1342) \times (1,6381)^2 / 2,32,174 \\ &= 55,352 \text{ ft.lbf/lb} \end{aligned}$$

Kehilangan karena kontraksi:

$$\begin{aligned} hc &= kc v^2 / 2\alpha gc \quad (kc = 0,55) \text{ (Geankoplis Tabel 2.10-1 p. 99)} \\ &= 0,55 \times (1,6381)^2 / 2 \times 0,5 \times 32,174 \\ &= 8,3358 \text{ ft.lbf/lb} \end{aligned}$$

Kehilangan karena expansi :

$$\begin{aligned} he &= ke v^2 / 2\alpha gc \quad (ke = 1) \text{ (Geankoplis Tabel 2.10-1 p. 99)} \\ &= 1 \times (1,6381)^2 / 2 \times 0,5 \times 32,174 \\ &= 15,156 \text{ ft.lbf/lb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum hf &= hf_1 + hf_2 + hf_3 + f_f + hc + he \\ &= 17,0505 + 71,991 + 34,1009 + 55,352 + 8,3358 + 15,156 \\ &= 201,986 \text{ ft.lbf/lb} \end{aligned}$$

Persamaan Bernoulli menjadi :

$$\begin{aligned} \eta W_p &= \Delta v^2/(2gc) + \Delta z (g/gc) + \Delta (P/\rho) + \sum hf \\ &= 0 + 53,5 + 0 + 202 \\ &= 255 \end{aligned}$$

Efisiensi

$$\begin{aligned} \eta &= -0,01(\ln F)^2 + 0,15 \ln(F) + 0,3 \\ &= -0,01 (\ln 4,749)^2 + 0,15 \ln (4,749) + 0,3 \\ &= 0,509 \\ &= 100\% \times 0,509 \\ &= 50,9 \end{aligned}$$

$$W_p = \frac{\eta \cdot W_p}{50,9/100}$$

$$= \frac{255}{50,9}$$

$$= 501,502 \text{ ft.lbf/lb}$$

$$BHP = \frac{W_p \times m}{550}$$

$$= \frac{501,502 \times 2,69}{550}$$

$$= 2,45 \text{ hp} = 3 \text{ hp}$$

Effisiensi motor = 80% (fig. 14-38 Peters & Timmerhaus)

Power actual = BHP / eff.motor = 2,45/80%

$$= 3,0665$$

$$= 3/80\%$$

$$= 3,8$$

### Spesifikasi alat:

Fungsi	= Memompa H <sub>2</sub> O ke dalam mixer
Tipe	= Centrifugal pump
Material case	= cast iron
Pipa yang digunakan	= Comercial steel
Suction pressure	= 1 atm
Discharge pressure	= 1 atm
Beda ketinggian	= 35 ft
Ukuran pipa	= 0,84 in OD, sch 40
Power pompa	= 3 hp

## **BIODATA PENULIS**



Amanda Nofalia dilahirkan di Gresik 5 September 1992, merupakan anak ke-4 dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Bunga Bangsa, MINU Terate Putri Gresik, SMPN 1 Gresik, dan SMA NU 1 Gresik. Setelah lulus dari SMA NU 1 Gresik tahun 2011, Penulis mengikuti Seleksi Ujian Masuk D3 ITS dan diterima di Program Studi D3 Teknik Kimia FTI-ITS pada tahun 2011 dan

terdaftar dengan NRP. 2311 030 082.

Alamat email: [anofalia@yahoo.com](mailto:anofalia@yahoo.com)



Trifena Widyasari Christy dilahirkan di Surabaya 4 Mei 1993, merupakan anak ke-3 dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TKK St. Don Bosco, SDK St. Vincentius Surabaya, SMPN 2 Surabaya, dan SMAN 7 Surabaya. Setelah lulus dari SMAN 7 Surabaya tahun 2011, Penulis mengikuti Seleksi Ujian Masuk D3 ITS dan diterima di

Program Studi D3 Teknik Kimia FTI-ITS pada tahun 2011 dan terdaftar dengan NRP. 2311 030 086.

Alamat email: [fenachristy@gmail.com](mailto:fenachristy@gmail.com)