

**PRA RANCANGAN PABRIK SILIKON DIOKSIDA DARI ASAM SULFAT DAN  
SODIUM SILIKAT DENGAN KAPASITAS 23.000 TON/TAHUN**



**SKRIPSI**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan Pendidikan  
Sarjana Terapan (S-1) Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Berkelanjutan  
Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang

Disusun Oleh:

Rida Afrija 431 20 010

Zaiful Dani 431 20 019

**PROGRAM STUDI S-1 TERAPAN TEKNOLOGI REKAYASA KIMIABERKELANJUTAN  
JURUSAN TEKNIK KIMIA  
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG  
MAKASSAR  
2024**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “**Pra Rancangan Pabrik Silikon Dioksida dari Asam Sulfat dan Nodium Silikat dengan Kapasitas 23.000 Ton/Tahun**” Oleh Rida Afrija Nim 43120010 telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Sarjana Terapan pada Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 2 Oktober 2024

Mengesahkan,

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Tri Hartono, LRSC., M.Chem.Eng  
NIP. 19631225 199202 1001



Ir. Hastami Murdiningsih, M.T  
NIP. 19600606 198803 2002

Mengetahui

Koordinator Program Studi

D4 Teknologi Rekayasa Kimia Berkelanjutan



Ir. Yuliani HR, S.T., M.Eng  
NIP. 19730409 200312 2002

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “**Pra Rancangan Pabrik Silikon Dioksida dari Asam Sulfat dan Sodium Silikat dengan Kapasitas 23.000 Ton/Tahun**” Oleh Zaiful Dani Nim 43120019 telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Sarjana Terapan pada Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 2 Oktober 2024

Mengesahkan,

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Tri Hartono, LRSC., M.Chem.Eng

NIP. 19631225 199202 1001



Ir. Hastami Murdiningsih, M.T

NIP. 19600606 198803 2002

Mengetahui

Koordinator Program Studi

D4 Teknologi Rekayasa Kimia Berkelanjutan



Ir. Yuliani HR, S.T., M.Eng

NIP. 19730409 200312 2002

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN .....	2
HALAMAN PENERIMAAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
KATA PENGANTAR .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
DAFTAR ISI.....	4
DAFTAR TABEL .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
DAFTAR GAMBAR .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
RINGKASAN.....	8
SURAT PERNYATAAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB I PENDAHULUAN.....	9
1.1 Latar Belakang .....	9
1.2 Kapasitas Rancangan.....	9
1.3 Penentuan Lokasi Pabrik.....	16
1.4 Tinjauan Pustaka .....	18
BAB II DESKRIPSI PROSES.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2 Konsep Proses .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3 Langkah Proses .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB III NERACA MASSA .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1 Mixer (M-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2 Reaktor (R-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3 Rotary Drum Vacuum Filter (FL-01) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4 Rotary Dryer (RD-01) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5 Cyclone (CY-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.6 Cooling Conveyor (CC-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.7 Bin (B-01) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.8. Hammer Mill (HM-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

3.9 Screen (S-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>BAB IV NERACA PANAS .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1 Mixer (M-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2 Heater (H-01) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3 Reaktor (R-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4 Cooler (CL-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.5 Rotary Drum Vacuum Filter (FL-01) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.6 Rotary Dryer (RD-01) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.7 Cooling Conveyor (CC-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.8 Heater Udara (H-02).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>BAB V SPESIFIKASI ALAT .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.1 Tangki Penyimpanan Asam Sulfat (T-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.2 Pompa 01 Asam Sulfat (P-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.3 <i>Mixer</i> (M-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.4 Pompa 02 Asam Sulfat (P-02).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.5 Tangki Penyimpanan Sodium Silikat (T-02)....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.6 Pompa 03 Sodium Silikat (P-03).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.7 <i>Heater</i> Sodium Silikat (HE-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.8 Reaktor (R-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.9 Pompa 04 Produk Reaktor (P-04) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.11 Rotary Drum Vacuum Filter (FL-01) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.12 Pompa 05 Filtrat RDVF (P-05) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.13 Screw Conveyor (SC-01) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.14 Bucket Elevator (BE-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.15 <i>Rotary Dryer</i> (RD-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.16 Cooling Conveyor (CC-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

5.17 Blower Udara (BL-01) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.18 <i>Heater</i> Udara (HE-02).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.19 Siklon (CY-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.20 Bucket Elevator (BE-02).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.21 <i>Bin</i> (B-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.22 <i>Hammer Mill</i> (HM-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.23 Belt Conveyor (BC-01) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.24 Bucket Elevator (BE-03).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.25 <i>Screen</i> (S-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.26 Belt Conveyor (BE-02) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.27 Bucket Elevator (BE-04).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.28 <i>Hopper</i> (H-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.29 Packaging Unit (P-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.30 Belt Conveyor (BC-03) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.31 Gudang Produk (SL-01).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB VI UTILITAS .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
6.1 Unit Penyediaan Air .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
6.2 Unit Penyedia <i>Steam</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
6.3 Unit Pembangkit Listrik .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
6.4 Unit Penyedia Bahan Bakar .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
6.5 Unit Pengelolaan Limbah.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB VII INSTRUMENTASI DAN KESELAMATAN KERJA.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
7.1 Instrumen.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
7.2 Keselamatan Kerja .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
7.3 Alat Pelindung Diri.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB VIII STRUKTUR ORGANISASI.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

8.1 Bentuk Badan Usaha Perusahaan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
8.2 Manajemen Perusahaan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
8.3 Struktur Organisasi Perusahaan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
8.4 Uraian Tugas, Wewenang dan Tanggung Jawab.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
8.5 Pembagian Jam Kerja Karyawan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
8.6 Status Karyawan dan Sistem Upah .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
8.7 Penggolongan Jabatan, Jumlah dan Gaji Karyawan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
8.8 Tata Tertib.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
8.9 BPJS Ketenagakerjaan dan Fasilitas Tenaga Kerja.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>BAB IX TATA LETAK PABRIK DAN PEMETAAN.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.1 Lokasi Pabrik.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.2 Tata Letak Bangunan dan Peralatan Pabrik.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>BAB X ANALISIS EKONOMI.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
10.1 Penaksiran Harga Peralatan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
10.2 Perhitungan Biaya .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
10.3 Analisa Kelayakan Ekonomi .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
10.4 Hasil Perhitungan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>BAB XI KESIMPULAN .....</b>	<b>24</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>25</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>160</b>

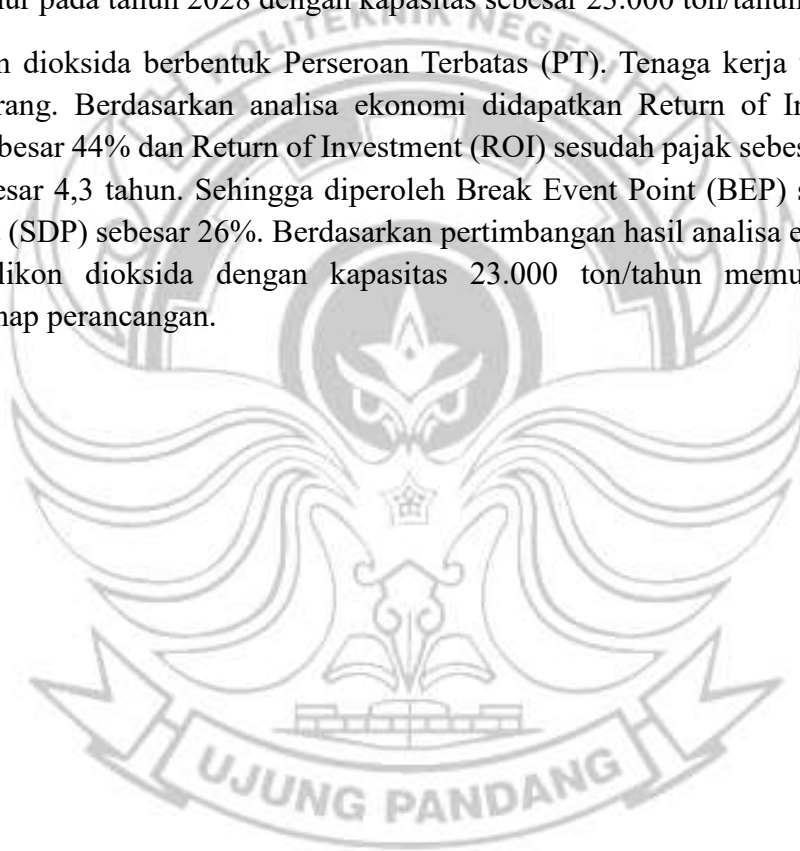
# **PRA RANCANGAN PABRIK SILIKON DIOKSIDA DARI ASAM SULFAT DAN SODIUM SILIKAT DENGAN KAPASITAS 23.000 TON/TAHUN**

## **RINGKASAN**

Silikon dioksida merupakan bentuk amorf dari silika sintetis dengan rumus molekul  $\text{SiO}_2$ . Silikon dioksida bisa digunakan sebagai bahan penguat pada produk elastis seperti karet, ban dan sol sepatu; sebagai bahan adiktif dan tambahan pada industri pasta gigi dan farmasi.

Setiap tahun kebutuhan silikon dioksida mengalami peningkatan sehingga dalam memenuhi kebutuhan dilakukan impor dari berbagai negara. Pabrik ini akan didirikan di Kawasan Industri Gresik, Jawa Timur pada tahun 2028 dengan kapasitas sebesar 23.000 ton/tahun.

Pabrik silikon dioksida berbentuk Perseroan Terbatas (PT). Tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 155 orang. Berdasarkan analisa ekonomi didapatkan Return of Investment (ROI) sebelum pajak sebesar 44% dan Return of Investment (ROI) sesudah pajak sebesar 31%. Pay Out Time (POT) sebesar 4,3 tahun. Sehingga diperoleh Break Event Point (BEP) sebesar 48% dan Shut Down Point (SDP) sebesar 26%. Berdasarkan pertimbangan hasil analisa ekonomi tersebut, maka pabrik silikon dioksida dengan kapasitas 23.000 ton/tahun memungkinkan untuk dilanjutkan ke tahap perancangan.



## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Salah satu perkembangan dalam industri kimia adalah pengolahan silikon dioksida yang digunakan sebagai bahan baku dalam berbagai sektor, termasuk industri karet, pestisida, makanan dan minuman, serta keramik dan penyaring air. Silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) adalah senyawa non-logam berbentuk serbuk padat, berwarna putih, tidak berbau, dan tidak larut dalam air. Silikon dioksida memiliki beberapa struktur kristal, mirip dengan karbon yang bisa berbentuk grafit atau intan, dan memiliki komposisi yang sama dengan pasir dan kaca, tetapi dengan bentuk molekul kubus. Produk silikon dioksida terbuat dari bahan baku asam sulfat dan natrium silikat (Natrium silikat) dengan proses asidifikasi.

Proses asidifikasi menghasilkan silikon dioksida yang melibatkan reaksi asam sulfat dan natrium silikat dengan kemurnian yang tinggi dan ukuran partikel yang dapat dikontrol, dalam proses ini natrium silikat digunakan sebagai bahan utama silika, sedangkan asam sulfat berfungsi sebagai agen pengasam yang menginduksi presipitasi silikon dioksida dari larutan natrium silikat.

Kebutuhan impor di Indonesia untuk silikon dioksida sebanyak 58.755 ton di tahun 2021 (BPS. 2024). Pabrik silikon dioksida di Indonesia yang sudah ada seperti PT. Sibelco Lautan Minerals dengan kapasitas produksi 10.000 ton/tahun, PT. Sanmas Dwika Abadi dan PT. Silicaindo Makmur Sentosa dengan masing-masing kapasitas produksi 6.000 ton/tahun dan 50.000 ton/tahun (Kemenperin. 2024). Industri Silikon dioksida yang sudah ada di Indonesia sebanyak 199 ton/tahun. Sehingga kebutuhan silikon dioksida di Indonesia sudah memenuhi.

Berdasarkan uraian tersebut, pabrik silikon dioksida yang akan dibangun di Indonesia pada tahun 2028 dapat memberikan dampak positif yaitu memenuhi kebutuhan industri-industri yang menggunakan silikon dioksida sebagai bahan baku, mengurangi ketergantungan impor sehingga dapat menghemat devisa negara, menarik investor untuk datang ke Indonesia untuk menanamkan modalnya, dan membuka lapangan kerja baru dalam rangka mengurangi pengangguran.

### 1.2 Kapasitas Rancangan

Kapasitas produksi merupakan jumlah produk yang dihasilkan dalam waktu satu tahun (jam kerja). Penentuan kapasitas pabrik harus disesuaikan dengan kebutuhan pasar dalam negeri. Pertimbangan yang harus diperhatikan dalam penentuan kapasitas suatu pabrik yang akan

dibangun dapat ditentukan dengan mempertimbangkan beberapa hal seperti ketersediaan bahan baku, kapasitas pabrik yang sudah ada, jumlah impor dan ekspor produk serta proyeksi kebutuhan silikon dioksida.

Penentuan kapasitas menggunakan *discounted methode* merupakan penentuan kapasitas dengan perhitungan rata-rata presentasi kenaikan pertumbuhan setiap tahunnya. Berikut persamaan peluang kapasitas produksi pabrik dengan menggunakan metode *discounted*.

$$i = \frac{\sum \%P}{n} \dots\dots\dots(1.1)$$

$$m = P (1+i)^n \dots\dots\dots (1.2)$$

$$m_3 = (m_4+m_5) - (m_1+m_2) \dots\dots\dots(1.3)$$

Keterangan :

i = Pertumbuhan rata-rata pertahun

%p = Persen pertumbuhan pertahun

n = Selisih tahun

m = Prediksi data tahun yang dicari

p = Data tahun terakhir

m<sub>3</sub> = Peluang kapasitas

m<sub>1</sub> = Prediksi data produksi

m<sub>2</sub> = Prediksi data impor

m<sub>4</sub> = Prediksi data konsumsi

m<sub>5</sub> = Prediksi data ekspor

### 1.2.1 Ketersediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku harus diperhatikan secara serius untuk menjamin ketersediaan jumlah yang cukup demi kontinuitas produk pabrik. Produksi silikon dioksida memerlukan bahan baku utama yaitu asam sulfat dan sodium silikat. ketersediaan bahan baku silikon dioksida dapat dilihat pada tabel 1.1 dan 1.2

Tabel 1. 1 Data Ketersediaan Bahan Baku Asam Sulfat

No	Nama Pabrik	Lokasi Pabrik	Produksi (ton/tahun)
1.	PT Mahkota Indonesia	Jakarta Utara	49.500
2.	PT Indonesia Acid Industri	Jakarta Timur	33.000
3.	PT South Pasific Viscous	Purwakarta	224.000
4.	PT Timur Raya Tunggal	Tangerang	72.000
5.	PT Petrokimia Gresik	Gresik	1.170.000
6.	PT Liku Telaga	Gresik	33.000
7.	PT Dunia Kimia Utama	Palembang	11.550
8.	PT Aktif Indonesia Indah	Surabaya	15.000
Total			1.608.050 ton/tahun

(Sumber;

<https://tkdn.kemenperin.go.id/kapasitas, 2024>)

Tabel 1. 2 Data Ketersediaan Bahan Baku Sodium Silikat

No	Nama Pabrik	Lokasi Pabrik	Produksi (ton/tahun)
1.	PT Mahkota Indonesia	Jakarta Utara	16.788
2.	PT Ajidharmamas Tritunggal Sakti	Bogor	57.000
3.	PT Liku Telaga	Gresik	5.475
Total			49.263 ton/tahun

(Sumber;

<https://tkdn.kemenperin.go.id/kapasitas, 2024>)

### 1.2.2 Kapasitas Pabrik Silikon Dioksida di Indonesia

Pada penentuan kapasitas pabrik suatu produk yang akan didirikan perlu mengetahui data kapasitas pabrik yang telah berdiri. Hal ini dapat memberikan kita gambaran tentang kapasitas pabrik yang layak didirikan atau menguntungkan bagi pabrik yang akan di bangun. Data kapasitas pabrik yang sudah ada di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.3:

Tabel 1. 3 Data Kapasitas Pabrik Silikon Dioksida di Indonesia

Nama Pabrik	Produksi (ton/tahun)
PT. Jasa Silika	40.000

PT. Silicaindo Makmur Sentosa	50.000
PT. PQ Silicas Indonesia	26.000
PT. Sibelco Lautan Minerals	10.000
PT. Sanmas Dwika Abadi	6.000
PT. Sibelco Lautan Minerals	60.000
PT. Darisa Intimitra	7.000
<b>Total</b>	<b>199.000</b>

(Sumber;

<https://tkdn.kemenperin.go.id/kapasitas, 2024>)

Kapasitas pabrik yang sudah ada di Indonesia dengan kapasitas minimum pabrik silikon dioksida adalah 6.000 ton/tahun, sedangkan kapasitas maksimum adalah 60.000 ton/tahun.

### 1.2.3 Proyeksi kebutuhan silikon dioksida di Indonesia

Data kebutuhan silikon dioksida yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik dapat dilikat pada tabel 1.4. Dimana data kebutuhan ini semakin meningkat setiap tahunnya. Data ini digunakan untuk menentukan nilai kapasitas produksi yang akan dibangun.

Tabel 1.4 Data Konsumsi Silikon Dioksida

No	Tahun	Konsumsi (Ton/Tahun)	%P
1	2018	83.894	0%
2	2019	84.392	1%
3	2020	71.885	-15%
4	2021	92.940	29%
5	2022	88.952	-4%
<b>Total</b>		<b>422.063</b>	<b>11%</b>

Rata-rata	3%	(Sumber: Badan Pusat Statistik,2024)
-----------	----	--------------------------------------

Nilai prediksi data konsumsi pada tahun 2028 dapat menggunakan persamaan (1.2).

$$\begin{aligned}
 m_4 &= P (1 + i)^n \\
 &= 88.952 (1 + 3\%)^6 \\
 &= 104.328,55 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

#### 1.2.4 Jumlah Impor dan Ekspor Silikon Dioksida di Indonesia

Data impor dan ekspor silikon dioksida di Indonesia dapat dilihat pada tabel 1.5.

Tabel 1. 5 Data Impor Silikon Dioksida

No	Tahun	Impor (Ton/Tahun)	%P	Ekpor (ton/tahun)	%P
1	2018	51.236	0%	4.552	0%
2	2019	49.978	-2%	5.305	17%
3	2020	46.104	-8%	7.530	42%
4	2021	58.755	27%	9.375	25%
5	2022	54.367	-7%	8.721	-7%
Total		260.440	10%	35.483	77%
Rata-rata			2%		19%

(Sumber: Badan Pusat Statistik, 2024) Nilai prediksi data impor dan ekspor

pada tahun 2028 diperkirakan:

$$\begin{aligned}
 m_2 &= P (1 + i)^n \\
 &= 54.367 (1 + 2\%)^6 \\
 &= 62.832,65 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_5 &= P (1 + i)^n \\
 &= 8.721 (1 + 19\%)^6 \\
 &= 24.768,6 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

#### 1.2.5 Data Produksi Silikon Dioksida

Data produksi silikon dioksida di Indonesia dapat dilihat pada tabel 1.6. Tabel ini menunjukkan kenaikan jumlah produksi setiap tahunnya. Data produksi ini juga digunakan dalam menentukan peluang kapasitas pabrik yang akan dibangun.

Tabel 1.6 Data Produksi silikon Dioksida di Indonesia

No	Tahun	Produksi Silikon Dioksida Total (ton/tahun)	%P
1	2018	20.899	0%
2	2019	21.989	5%
3	2020	22.197	1%
4	2021	22.879	3%
5	2022	23.583	3%
Total		111.547	12%
Rata-rata			3%

(Sumber; PT. Citra

Cendekia Indonesia, 2024)

Prediksi data produksi tahun 2028 dapat dihitung menggunakan persamaan (1.2).

$$\begin{aligned}
 m_1 &= P(1+i)^n \\
 &= 23.583(1+3\%)^6 \\
 &= 28.287,1 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

### 1.2.6 Peluang Kapasitas Produksi

Perhitungan di atas menggunakan persamaan (1.2) sehingga diperoleh nilai  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_4$ , dan  $m_5$ . Berdasarkan nilai tersebut maka dapat dihitung nilai  $m_3$  (peluang kapasitas produksi) dengan menggunakan persamaan (1.3)

$$\begin{aligned}
 m_3 &= (m_4 + m_5) - (m_1 + m_2) \\
 &= (104.328,55 + 24.768,6) - (28.287,1 + 62.832,65) \\
 &= 37.977,4 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

$$m_3 = 37.977,4 \text{ ton/tahun} \times 60\% = 22.786,44 = 23.000 \text{ ton/tahun}$$

Peluang kapasitas pabrik silikon dioksida pada tahun 2028 sebesar 37.977,4 ton/tahun. Dengan mempertimbangkan kapasitas maksimum dan minimum pabrik yang sudah ada di Indonesia serta ketersediaan bahan baku maka ditetapkan kapasitas pabrik silikon dioksida yang

akan dibangun pada tahun 2028 adalah 60% dari kebutuhan kapasitas yang harus dicukupi yaitu 23.000 ton/tahun. Adapun kapasitas pabrik silikon dioksida yang ada di dunia antara 11.200 hingga 150.000 ton/tahun yang ditunjukkan pada tabel 1.7

Tabel 1.7 Data Kapasitas Pabrik Silikon Dioksida di Dunia

Pendirian pabrik silikon dioksida di Indonesia diharapkan mampu memenuhi kebutuhan

No	Nama Perusahaan	Lokasi	Jumlah (ton/tahun)	dalam
1.	Shouguang Baote Chemical & Industrial Co., Ltd	Shandong, China	15.000	negeri serta
2.	Tokuyama Chemicals Co., Ltd	Zhejiang, China	11.200	
3.	Madhu Silica Pvt. Ltd	Gujarat, India	95.000	
4.	Fujian Haineng Advanced Material Co., Ltd	Fujian, China	150.000	
5.	Zhuzhou Xinglong Chemical Industry Co., Ltd	Hunan, China	100.000	
6.	Wellink Chemical Industri Co. Ltd	Fujian, China	50.000	
7.	Fujian Zhengsheng Inorganic Material Co., Ltd	Fujian, China	50.000	
8.	Dalian Fuchang Chemical Group Co., Ltd	Liaoning, China	60.000	
9.	Jingbo Chemicals Co., Ltd	Fujian, China	30.000	
Total			561.200	

mendorong Indonesia untuk memproduksi bahan-bahan sendiri tanpa bergantung pada negara lain. Selain itu, pendirian pabrik ini juga diharapkan memberikan dampak positif terhadap sosial dan ekonomi negara Indonesia serta mengurangi tingkat pengangguran yang ada di Indonesia.

#### 1.2.5 Analisis Ekonomi

Pabrik yang sudah berhasil memproduksi silikon dioksida di Indonesia 6.000-60.000 ton/tahun akan memberikan keuntungan pada rentang produksi tersebut. Untuk memprediksi pabrik silikon dioksida yang akan dibangun pada tahun 2028 mendatang akan menguntungkan

atau tidak, sehingga perlu mengetahui dari segi harga bahan baku yang digunakan dan harga produk silikon dioksida. Harga bahan baku dan produk sebagai berikut:

### 1.3 Penentuan Lokasi Pabrik

Penentuan lokasi untuk mendirikan sebuah pabrik yang berlokasi di kawasan industri gresik, Asam Sulfat : Rp 6.000/kg (Indotrading, 2023) sangat diperlukan Sodium Silikat : Rp 4.557/kg (Alibaba, 2024) dengan pertimbangan Silikon Dioksida : Rp 63.964/kg (Alibaba, 2024) beberapa faktor serta keberlangsungan pabrik kedepannya akan dibangun seperti produksi dan distribusi dari pabrik yang akan didirikan. Pemilihan lokasi pada pabrik harus berdasarkan perhitungan biaya produksi dan distribusi yang minimal serta pertimbangan budaya masyarakat di sekitar lokasi pabrik. Ada beberapa faktor yang dipertimbangkan seperti ketersediaan bahan baku, pemasaran, ketersediaan utilitas (listrik dan air), dampak lingkungan, transportasi, tenaga kerja dan pembuangan limbah. Faktor-faktor tersebut dapat dipenuhi tetapi yang sangat penting dan berpengaruh luas yaitu aspek ekonomi, maka dari itu “Pabrik Silikon Dioksida dengan Kapasitas 23.000 ton/tahun” dirancang pada lokasi Kawasan Industri Gresik, Jawa Timur dapat dilihat pada gambar 1.1.



**Gambar 1. 1** Lokasi Pendirian Pabrik Silikon Dioksida Tahun 2028

Pemilihan lokasi ini harus melalui beberapa pertimbangan seperti dibawah ini;

#### 1. Penyediaan Bahan Baku

Bahan baku merupakan elemen vital bagi kelangsungan operasional sebuah pabrik, sehingga pengadaan bahan baku menjadi sangat penting. Pemilihan lokasi pabrik yang dekat dengan sumber bahan baku dapat mengurangi biaya transportasi dan meminimalkan risiko kerusakan bahan baku, memastikan kelancaran proses produksi. Dalam pembuatan silikon dioksida, bahan

baku utama adalah asam sulfat dan sodium silikat. Asam sulfat diperoleh dari PT Petrokimia Gresik yang memiliki kapasitas produksi 1.170.000 ton per tahun, sementara sodium silikat didapatkan dari PT Ajidharmamas Tritunggal Sakti dengan kapasitas produksi 57.000 ton per tahun di Bogor, Jawa Barat. Kawasan Industri Gresik terletak di dekat PT Petrokimia Gresik, Pelabuhan Tanjung Perak, dan Bandara Juanda Surabaya, sehingga pengiriman asam sulfat dan sodium silikat dapat dilakukan dengan biaya minimal. Rancangan awal pabrik silikon dioksida dengan kapasitas 23.000 ton per tahun diperkirakan dapat terpenuhi dengan pasokan bahan baku yang ada. Dengan demikian, proses pengiriman bahan baku ke pabrik silikon dioksida diharapkan berjalan lancar, memastikan kelancaran produksi silikon dioksida.

## 2. Utilitas

Dalam pendirian sebuah pabrik, tenaga listrik dan bahan baku adalah faktor penunjang yang paling penting. Tenaga listrik diperoleh dari PLN Jawa Bali yang telah terintegrasi dengan jaringan listrik di Kawasan Industri Gresik sebesar 71.8 Kva. Air yang digunakan di pabrik diperoleh dari sungai bengawan solo, dengan aliran sungai seluas kurang lebih 16.100 km. Karena kebutuhan air di pabrik tidak terlalu besar, baik untuk air proses, air pendingin, maupun air sanitasi.

## 3. Transportasi

Pada pembelian bahan baku serta penjualan produk yang di hasilkan oleh pabrik silikon dioksida dapat dilakukan melalui jalur laut, udara maupun darat. Kawasan Industri Gresik memiliki jalan yang luas dan merupakan daerah yang dekat dengan pelabuhan dan jalan tol serta dekat dengan kawasan industri lainnya yang membutuhkan silikon dioksida sebagai bahan baku sehingga memudahkan pabrik dalam pemasaran produk.

## 4. Pemasaran

Produk silikon dioksida yang direncanakan akan dibangun disekitara Kawasan Industri Gresik, Jawa Timur mempunyai cakupan pasar yang luas di berbagai bidang industri. Kawasan Industri Gresik merupakan kawasan yang strategis di karenakan dikelilingi berbagai industri dan konsumen yang membutuhkan silikon dioksida sebagai bahan baku pembuatan produk diantaranya:

- a. Industri Cat; PT. Nipsea Paint and Chemical Co, Ltd., PT. Avian., PT. Atlantik Ocean Paint
  - b. Industri Kertas; PT.Chia Sin Indonesia., PT.Boas Excelindo Paper., PT. Gaya Baru Paperindo
  - c. Industri Farmasi; PT. Meiji, PT. Bernofarm Jaya., PT. Coronet Crown
  - d. Industri Karet dan Sol; PT. Sumber Rubberindo Jaya., PT. Mega Rubber Factory., PT. Cita Harapan Semesta
  - e. Industri Pasta Gigi; PT. Rita Sinar Indah., PT. Unilever
5. Tenaga Kerja

Kawasan Industri Gresik ini adalah salah satu daerah tujuan para pencari pekerjaan. Tenaga kerja ini merupakan tenaga kerja yang produktif dari berbagai tingkatan baik yang terdidik maupun terlatih. Badan Pusat Statistik (BPS) menyatakan tingkat Populasi masyarakat di kawasan industri gresik pada tahun 2022 sebanyak 1.291.518 jiwa, dan masih ada 88.081 jiwa di kawasan industri gresik yang statusnya masih pengangguran pada tahun 2023 sehingga masih ada 6,82 % yang belum mendapatkan pekerjaan sehingga di kawasan ini masuk dalam kategori kota industri yang masih banyak penganggur (Ahmad Hilmi, 2023).

#### 6. Kondisi Geografis

Kabupaten Gresik, yang terletak di barat laut Kota Surabaya, ibu kota Provinsi Jawa Timur, memiliki luas wilayah 1.191,25 km<sup>2</sup>. Secara administratif, Kabupaten Gresik terbagi menjadi 18 kecamatan yang terdiri dari 330 desa dan 26 kelurahan. Secara geografis, wilayah ini berada di antara 112° hingga 113° Bujur Timur dan 8° Lintang Selatan, berupa dataran rendah dengan ketinggian 2-12 meter di atas permukaan laut. Kondisi geografis ini menjadikan kawasan industri di Gresik cocok untuk pendirian pabrik.

### 1.4 Tinjauan Pustaka

#### 1.4.1 Sodium silikat

Sodium silikat memiliki rumus molekul  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3,3\text{SiO}_2$ . Larutan sodium silikat biasanya tersedia dalam bentuk larutan viskos yang sedikit lengket dan tidak berwarna dan bersifat sangat basa. Sodium silikat merupakan larutan penyangga basa, memiliki kemampuan sebagai perekat, pengikat, dan pembentuk film, tidak beracun, tidak mudah terbakar dan ramah lingkungan, mampu membentuk sistem hibrida dengan anorganik (misalnya polimer) dan anorganik lainnya (fosfat, borat). Sodium silikat yang digunakan dalam industri dibagi menjadi dua, yaitu silikat yang berbentuk larutan atau biasa disebut waterglass dan yang berbentuk padatan (bubuk).

Sodium silikat juga digunakan sebagai bahan penting dalam industri kosmetik dan perawatan misalnya pada skincare, pewarna cat rambut, krim cukur, peralatan mandi, makeup, krim penghilang keriput pada wajah dan produk kebersihan lainnya.

#### 1.4.2 Asam Sulfat

Asam sulfat adalah salah satu komponen kimia yang menyebabkan hujan asam. Meskipun sulit dibayangkan, bahan kimia yang sangat reaktif seperti asam sulfat adalah produk yang banyak digunakan dan sangat penting. Asam sulfat digunakan untuk produksi garam sulfat dan dalam proses sulfonasi, serta sering digunakan karena merupakan asam anorganik yang kuat dan relatif murah (Selfi & Rahadian, 2019).

#### 1.4.3 Silikon Dioksida

Silikon dioksida atau lebih dikenal secara umum sebagai silika, merupakan senyawa kimia dengan rumus kimia  $\text{SiO}_2$ . Silika paling banyak ditemukan di alam sebagai kuarsa. Dimana silika merupakan penyusun utama pasir. Silikon dioksida dapat diproduksi secara artifisial, seperti fused quartz, fumed silica, silica gel, dan aerogel (Setiawan, 2022).

**Tabel 1. 4** Kegunaan Silikon Dioksida

Industri Pemakai	Fungsi	
Karet dan Plastik	Sebagai bahan penguat	Silikon dioksida adalah senyawa oksida non-logam yang berbentuk bubuk
Cat dan Tinta	Sebagai bahan pematat, pengental dan peningkat adsorpsi	
Pasta Gigi dan Farmasi	Sebagai bahan aktif tambahan dan agent abrasi	
Kosmetik	Sebagai pematat, anti <i>cracking</i>	
Kertas	Sebagai pengisi pori-pori kertas, pembalut dan pemutih	

padat, berwarna putih, tidak berbau, dan larut dalam air. Silika memiliki beberapa struktur kristal seperti karbon, yang dapat berbentuk granit atau intan, dan memiliki komposisi yang sama dengan pasir dan kaca, tetapi bentuk molekulnya kubik, sedangkan kaca memiliki struktur tetrahedral (Zulfian dan Firhan, 2022). Silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) banyak digunakan sebagai bahan baku dalam industri yang memproduksi karet, insektisida, serta sebagai bahan tambahan dalam industri makanan dan minuman, keramik, dan filter air. Kegunaan bubuk silikon dioksida pada industri-

industri tersebut sangat dibutuhkan. Kegunaan silikon dioksida pada industri dapat dilihat pada Tabel 1.8 dibawah ini.

#### 1.4.4 Sodium Sulfat

Sodium sulfat memiliki rumus molekul  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Sodium sulfat di alam sebagai garam rangkap atau berupa hidratnya. Untuk garam tunggalnya yaitu  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhidrat dikenal sebagai thenardite.

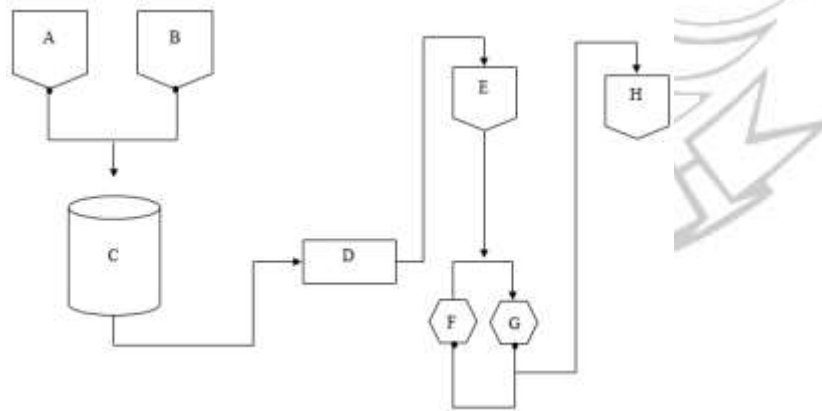
Sodium sulfat diperoleh dari hasil samping berbagai proses pembuatan di industri, diantaranya dari produksi sodium dikromat ( $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) melalui reaksi antara  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , produksi asam borat melalui reaksi antara boraks ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan air, produksi silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) melalui reaksi antara sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3,3\text{SiO}_2$ ) dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

#### 1.4.5 Macam-macam Proses Pembuatan Silikon Dioksida

Bahan baku untuk memproduksi silika dioksida yaitu asam sulfat dan sodium silika. Pada pembuatan silikon dioksida dapat dilakukan dengan dua proses yaitu poses basah dan proses kering.

##### 1. Proses Basah

##### *Asidifikasi Larutan Alkali Silikat*



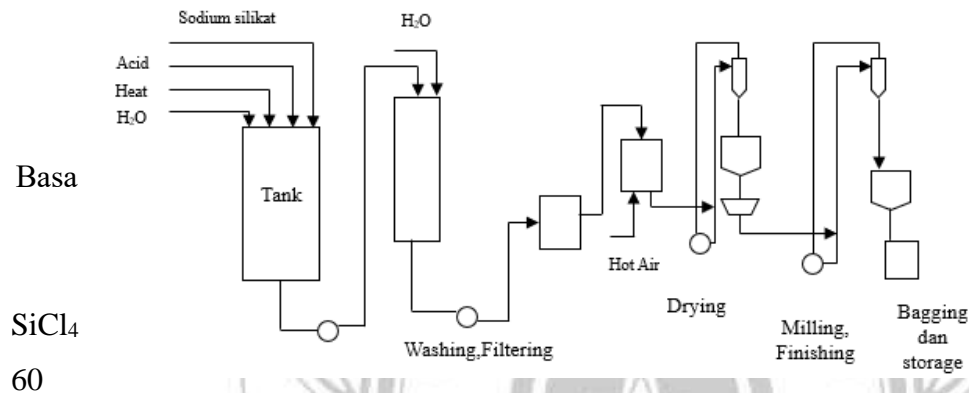
**Gambar 1. 2** Flow Diagram Proses Basah Asidifikasi

Proses basah atau proses asidifikasi silika untuk pembuatan silikon dioksida melibatkan reaksi antara larutan sodium silikat dan asam sulfat. Penambahan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  meningkatkan tingkat keasaman larutan alkali silikat, yang kemudian mengarah pada pembentukan kristal silikon

dioksida. Proses asidifikasi ini dilakukan pada suhu 80-90 °C dan merupakan reaksi netralisasi tanpa adanya reaksi samping. Reaksi ini menghasilkan konversi sebesar 92,0% dengan konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang digunakan adalah 1,5 M (U.S Patent No. 5882617). Reaksi yang terjadi adalah:



*Hidrolisis SiCl<sub>4</sub> dengan Adanya Fluorida*



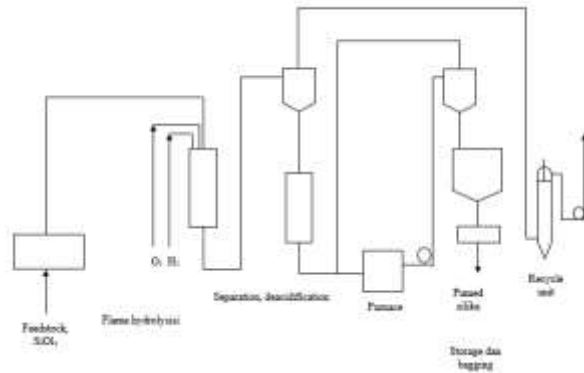
**Gambar 1. 3** Flow Diagram Proses Hidrolisis SiCl<sub>4</sub>

Proses hidrolisis terjadi pada suhu °C. Setelah proses

hidrolisis selesai, produk berupa kristal dihasilkan dan harus dipisahkan dari campuran reaksi, biasanya melalui sentrifugasi atau filtrasi. Produk hidrolisis kemudian biasanya dicuci dengan air. Silikon dioksida kristalin yang dihasilkan dari hidrolisis kemudian dikeringkan. Proses hidrolisis langsung cenderung menghasilkan gel, yang membuat pemisahan produk memerlukan perlakuan khusus. SiCl<sub>4</sub> memiliki tingkat kemurnian yang tinggi, sekitar 99%, sehingga menghasilkan silikon dioksida dengan tingkat kemurnian yang juga tinggi (Patent Genius No. 4738839). Dapat dilihat reaksi yang terjadi pada proses tersebut:



2. Proses Kering



**Gambar 1. 4** Flow Diagram Proses Kering

Prose kering ini dilakukan dengan cara menguapkan SiCl<sub>4</sub> dan dekomposisi dengan hidrogen. Reaksi yang terjadi yaitu:



Metode ini melibatkan silicon tetrachloride (SiCl<sub>4</sub>) yang dicampur dengan udara sebagai sumber oksigen. Selanjutnya, nyala hidrogen di dalam burner pada suhu 1.800-2.000 °C digunakan untuk mengurai SiCl<sub>4</sub> menjadi SiO<sub>2</sub>. Proses ini jarang digunakan karena memerlukan suhu yang sangat tinggi (Kirk Orthmer, 1982). Konversi reaksi dari proses ini mencapai 90% atau lebih, tergantung pada suhu reaksi. Semakin tinggi suhu reaksi, semakin tinggi pula konversinya (Patent Genius No. 3661519).

Berdasarkan uraian kedua proses diatas, sehingga dilakukan pemilihan proses yang terbaik untuk digunakan pada pembuatan silikon dioksida. Pemilihan kedua proses dapat dilakukan dengan membandingkan berbagai parameter yang meliputi teknis, ekonomi dan lingkungan. Adapun perbandingannya dapat dilihat pada Tabel 1.9 berikut ini;

Tabel 1. 5 Perbandingan Proses Basah dan Proses Kering

No	Parameter	Proses Asidifikasi	Proses Hidrolisis	Proses Kering
		Larutan Alkali	SiCl <sub>4</sub> (Patent	(Kirk Orthmer,
		Silikat ( U.S	genius No.	1982)
		Patent N0.	4738839)	
		5882617)		

(Sumber:  
U.S

1.	Teknis			Patent
Bahan Baku	Sodium Silikat dan Asam Sulfat	Silikon Tetraklorida	Silikon Tetraklorida	
Reaktor	RATB	RATB	Gelembung	
Temperatur	80-90 °C	60 °C	1.800-2.000 °C	
Konversi	92,0 %	>90%	>90%	
Tekanan	1 atm	1 atm	1,5 atm	
2.	Ekonomi			
Harga Bahan Baku	Rp.3.198/kg	Rp.7.855/kg	Rp.7.855/kg	
Lingkungan (Limbah yang Dihasilkan)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> dan H <sub>2</sub> O	HCl	HCl	

No.5882617, Patent genius No.4738839, Kirk Orthmer)

Dari penjelasan proses di atas, proses yang dipilih adalah proses basah atau proses asidifikasi larutan alkali silikat yang menurut Ulman memiliki beberapa keunggulan sebagai berikut:

1. Secara teknis, operasi proses basah tidak memerlukan suhu yang terlalu tinggi, sehingga menghemat energi dan menghasilkan produk dengan kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses kering yang membutuhkan suhu yang sangat tinggi.
2. Dari segi ekonomi, bahan baku sodium silikat dan asam sulfat dalam proses basah relatif lebih terjangkau dibandingkan dengan bahan baku silikon tetrachloride pada proses kering yang relatif mahal.
3. Dari segi lingkungan, limbah yang dihasilkan berupa garam, sehingga lebih mudah untuk ditangani.

## BAB XI KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan, prarancangan pabrik silikon dioksida dari bahan baku asam sulfat dan sidium silikat maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kapasitas perancangan pabrik adalah 23.000 ton/tahun
2. Bentuk hukum perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT)
3. Bentuk organisasi adalah *line and staff* dengan jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 155 orang
4. Pabrik terletak di Kawasan Industri Gresik, Jawa Timur dengan luas tanah yang dibutuhkan 1.7471 m<sup>2</sup>
5. Silikon Dioksida dengan kemurnian 99% dapat beroperasi menjadi bahan baku pada PT. Chia Sin Indonesia, PT. Coronet Crown, PT. Sumber Rubberindo Jaya, PT. Unilever, PT. Nipsea Paint and Chemical Co, Idt.
6. Analisa ekonomi:
  - ROI (*Return of investment*) sebelum pajak = 44%
  - ROI (*Return of investment*) setelah pajak = 31%
  - POT (*Pay out time*) = 4,3 tahun
  - IRR (*Interest rate of return*) = 25%
  - BEP (*Break even point*) = 48%
  - SDP (*Shut down point*) = 26%

Berdasarkan perhitungan analisa ekonomi diatas, maka prarancangan pabrik silikon dioksida dari asam sulfat dan sodium silikat dengan kapasitas 23.000 ton/tahun memungkinkan untuk dilanjutkan ketahap perancangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, Rilla. 2022. Pra Rancangan Pabrik Silika Dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) dari natrium silika dan asam sulfat dengan proses basah kapasitas 70.000 ton/tahun. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Ahmad Hilmi. 2023. Pengangguran Justru Jadi Penyumbang Tertinggi Angka Kemiskinan Di Gresik.
- Amalia R, Suciati. N. 2020. Pra rancangan pabrik silikon dioksida dari asam sulfat dan sodium silikat dengan kapasitas 22.000 ton/tahun tugas akhir.
- Aries, R. S. dan Newton, R. D. 1955. Chemical Engineering Cost Estimation. McGraw-Hill. New York.
- Aura S.M & Zainul R. 2019. Karakterisasi dan Interaksi Molekular Asam Sulfat. Universitas Negeri Padang.
- Badan Pusat Statistik. 2024. Data Ekspor & Impor Silikon Dioksida di Indonesia. <https://www.bps.go.id/>
- Badger dan Banchemo. 1970. Introducción a la Ingeniería Química. McGraw-Hill. Mexico.
- Brown, G.G., dkk. 1950. Unit Operation. John Wiley & Sons. New York.
- Brownell, L. E. dan Young, E. H. 1959. Process Equipment Design. John Wiley & Sons. New York.
- Coulson dan Richardson. 2005. Chemical Engineering Design 4th edition Vol. 6. Oxford Butterworth Heinemann. New York.
- Dean, J.A. 1999. *Lange's Hand Book of Chemistry 5th Edition*. Mc. Graw-Hill Inc. New York.
- Geankoplis, Christine J. 1993. Transport Processes and Unit Operations, 3rd ed. Prentice-Hall International, Inc. USA.
- Gordon. 1968. The Chemistry of Chlorine Dioxide. John Wiley and Sons Inc. USA.
- Hesse, H.C. and Rushton, J.H. 1981. Process Equipment Design. D. Van Nostrand Co. New Jersey.
- Hugot. 1960. Handbook of Cane Sugar Engineering. Elsevier Publishing Company. New York.
- Jaluputra, E. G & Fitriawan. A. R. 2021. Prarancangan Pabrik Kimia Precipitated Silica Dengan Natrium Silikat Dan Asam Sulfat Kapasitas Produksi 55.000 Ton/Tahun.
- Kemenperin Peindustrian Republik Indonesia. 2024. Data Bahan Baku Sodium Silikat dan Asam Sulfat. <https://tkdn.kemenperin.go.id/kapasitas>,
- Kemenperin Perindustrian Republik Indonesia. 2024. Data Kapasitas Silikon Dioksida. <https://tkdn.kemenperin.go.id/kapasitas>.
- Kern, D.Q. 1965. Process Heat Transfer. Mc-Graw Hill Book Company. New York.
- Kirk, R. E. dan Othmer, D. F. 2004. *Encyclopedia of Chemical Technology*. Wiley Blackwell. New

York

- Matche. 2014. Matches' Process Equipment Cost Estimates. [www.Matche.Com/Equipcost/Default.Html](http://www.Matche.Com/Equipcost/Default.Html). Diakses Tanggal 1 Oktober 2020.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., and Harriott, P. 1993. Unit Operations of Chemical Engineering 5th ed. McGraw-Hill Book Co. Singapore.
- Melati, M. M. & Syaputri. S. E. 2023. Prarancangan pabrik silika (bubuk) dari sekam padi dengan kapasitas 65.000 ton / tahun.
- Patent Genius, 1986. *Process for the Preparation of Precipitated Silica*. <http://www.patentgenius.com>.
- Perry, R. H, and Chilton Cecil, H. 1997. Chemical Engineering Hand Book, 7th Edition, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Perry, R.H., and Green, D.W. 1984. *Perry's Chemical Engineering Handbook, 6 ed. McGraw-Hill Book Company Inc. Singapore*.
- Peter, M. S., & Timmerhaus, K. D. 2002. Plant Design and Economic for Chemical Engineer. Mc-Graw-Hill Book Co. New York.
- Rosalin, A. 2007. Prarancangan Pabrik Silikon Dioksida Dari Asam Sulfat Dan Sodium Silikat Dengan Kapasitas 13.000 Ton/Tahun.
- Santoso, R. 2021. Silikon Dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) Dari Abu Sekam Padi Kapasitas 30.000 Ton / Tahun Perancangan Rotary Dryer ( Rd-301 ).
- Severn, W. H, Degler, H. E, Miles, IC. 1959. Steam, Air, and Gas Power", 5th edition. John Wiley and Sons Company. New York.
- Smith, J. M dan Van Ness, H. C. 2005. Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics 7th ed. McGraw-Hill Companies Inc. New York.
- Ullmann, F. 2005. *Encyclopedia of Industrial Chemistry. John Wiley & Sons. New York*.
- Ulrich, G. D. 1984. A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics. John Willey and Sons. New York
- Walas, S. M. 1988. Chemical Process Equipment: Selection and Design 3rd ed. Butterworth-Heinemann. Washington.
- Wulandari, N., Erfiani, E., Irzaman, I., & Syafitri, U. D. 2022. Rancangan G-Optimal pada Peningkatan Kadar Kemurnian Silikon Dioksida. *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 19(2), 149–155. <https://doi.org/10.31851/sainmatika.v19i2.9492>
- Yaws, C. L. 1999. Chemical Properties Handbook. Mc-Graw Hill Companies Inc. USA
- Zulfian, Firhan, A. (2022). Pra Rencana Pabrik “ Pabrik Silikon Dioksida dari Sodium Silikat dan Asam Sulfat Dengan Proses Basah

