

SKRIPSI

**PRARANCANGAN PABRIK SILIKON DIOKSIDA DARI
ASAM SULFAT DAN SODIUM SILIKAT KAPASITAS
95.000 TON/TAHUN**



**Disusun Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Menyelesaikan
Pendidikan Strata Satu Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik
Universitas Setia Budi Surakarta**

Oleh :

Fira Aryu Kartika Kirana 23170318D

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SETIA BUDI
SURAKARTA
2022**

HALAMAN PERSETUJUAN

**SKRIPSI
PRARANCANGAN PABRIK SILIKON DIOKSIDA DARI
ASAM SULFAT DAN SODIUM SILIKAT KAPASITAS
95.000 TON/TAHUN**

**Oleh :
FIRA ARYU KARTIKA KIRANA
23170318D**

Telah Disetujui Oleh Pembimbing
Pada Tanggal 10 Oktober 2022

Pembimbing I



Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng.
NIDN. 0619126801


Pembimbing II



Gregorius Prima Indra Budianto, ST., M.Eng.
NIDN. 0603098703

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1 Teknik Kimia



G. Prima Indra Budianto, S.T., M.Eng.
NIDN. 0603098703

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI PRARANCANGAN PABRIK SILIKON DIOKSIDA DARI ASAM SULFAT DAN SODIUM SILIKAT KAPASITAS 95.000 TON/TAHUN

Oleh :
FIRA ARYU KARTIKA KIRANA
23170318D

Telah Dipertahankan dalam Ujian Pendaran

Pada Tanggal 26 Oktober 2022

Penguji I Dr. Narimo, S.T., M.M.

Penguji II Ir Sumardiyono, M.T.

Penguji III G. Prima Indra Budianto, S.T., M.Eng.

Penguji IV Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng.



Four handwritten signatures are shown, each on a horizontal line. From top to bottom, they correspond to the examiners listed on the left: Dr. Narimo, Ir Sumardiyono, G. Prima Indra Budianto, and Dewi Astuti Herawati.

Mengetahui,



Dekan Fakultas Teknik
Dr. Suseno, M.Si.
NIDN. 0631056701

Ketua Program Studi S1 Teknik Kimia

G. Prima Indra Budianto, S.T., M.Eng.
NIDN. 0603098703

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

- ☞ *“But perhaps you hate a thing and it is good for you; and perhaps you love a thing and it is bad for you. And Allah Knows, while you know not” – Quran 2:216*
- ☞ *“Good. Better. Best. Never let it rest. ‘Til your good is better and your better is best” – St. Jerome.*
- ☞ *The sun will surely rise up again and you will have another chance to be better than yesterday.*

Terima kasih kepada...

Allah SWT atas segala berkat dan rahmat-Nya yang telah memberikan kesehatan, kekuatan, petunjuk, kemudahan, dan kesabaran serta membekali ilmu pengetahuan yang bermanfaat.

Ayah dan Ibu tercinta yang selalu menjadi “*number one supporter*” untuk anak semata wayangnya. Terima kasih banyak atas pengorbanan, kasih sayang, doa, dan dukungan baik moril maupun materiil yang selalu tcurahkan setiap harinya. Motivasi, saran, dan nasihat kalian sangat berharga dalam hidup ini.

Mbah Kung, Mbah Ti, Pakdhe, Budhe, Mas, Mbak, dan Seluruh Saudara – Saudara atas seluruh doa, dukungan, dan penghiburan yang tak pernah terlewatkan seharipun.

Seluruh Dosen Program Studi S1 Teknik Kimia atas ilmu dan pengajaran yang diberikan sedari masih berstatus sebagai mahasiswa baru hingga lulus menjadi sarjana.

Teman – teman seperjuangan Teknik Kimia 2017 yang telah menemani selama menimba ilmu di tanah rantau.

Diriku sendiri yang telah mampu berjuang melawan rasa takut dan berusaha dengan sekuat tenaga menyelesaikan apa yang telah dimulai hingga sampai di titik ini.

Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih atas bantuannya.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karuniaNya sehingga penyusunan Tugas Akhir Prarancangan Pabrik Kimia yang berjudul **“Prarancangan Pabrik Silikon Dioksida dari Asam Sulfat dan Natrium Silikat Kapasitas 95.000 Ton / Tahun”** ini dapat terselesaikan dengan baik. Tugas Akhir Prarancangan Pabrik Kimia adalah prasyarat untuk menyelesaikan Program Sarjana Strata Satu di Program Studi S1 Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta. Dengan tulisan ini, diharapkan kemampuan penalaran dan penerapan teori – teori yang telah diperoleh dapat dipahami dengan baik.

Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari dukungan, nasihat, dan bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Melalui tugas akhir ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Dr. Djoni Tarigan, MBA., selaku Rektor Universitas Setia Budi Surakarta.
2. Dr. Suseno, M.Si., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta.
3. Gregorius Prima Indra Budianto, S.T., M.Eng., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta.
4. Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, nasihat, saran, dan motivasi sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
5. Gregorius Prima Indra Budianto, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, masukan, saran, dan motivasi hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
6. Dr. Narimo, S.T., M.M. dan Ir. Sumardiyono, M.T., selaku Dosen Penguji atas masukan dan saran terbaik yang diberikan demi kesempurnaan tugas akhir ini.
7. Seluruh Dosen Fakultas Teknik terkhusus Program Studi S1 Teknik Kimia Universitas Setia Budi Surakarta atas ilmu dan pengajarannya selama penulis menempuh perkuliahan.
8. Ayah dan Ibu atas kasih sayang, doa, dan dukungan yang diberikan tanpa henti.

9. Seluruh keluarga yang selalu mendukung dengan doa dan motivasi.
10. Serta seluruh pihak atas bantuannya yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangat penulis harapkan. Dan semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi berbagai pihak.

Surakarta, Oktober 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GRAFIK	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
INTISARI.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Kapasitas Rancangan.....	2
1.2.1. Data Impor Silikon Dioksida di Indonesia	2
1.2.2. Kapasitas Produksi Pabrik Komersial Yang Sudah Ada.....	3
1.2.3. Ketersediaan Bahan Baku	5
1.3. Penentuan Lokasi Pabrik	7
1.4. Tinjauan Pustaka.....	10
1.4.1. Macam – Macam Proses.....	10
1.4.2. Kegunaan Produk.....	12
1.5. Sifat – Sifat Fisis dan Kimia.....	12
1.6. Tinjauan Proses.....	15
1.6.1. Dasar Reaksi	15
1.6.2. Kondisi Operasi	16
1.6.3. Sifat Reaksi	16
1.6.4. Mekanisme Reaksi.....	16
1.6.5. Tinjauan Termodinamika.....	17
1.6.6. Tinjauan Kinetika	19
BAB II SPESIFIKASI BAHAN DAN PRODUK	20
2.1. Spesifikasi Bahan Baku	20
2.2. Spesifikasi Produk	20
BAB III DESKRIPSI PROSES.....	21
3.1. Tahapan Proses.....	21

3.2.	Diagram Alir Kualitatif	23
3.3.	Diagram Alir Kuantitatif	24
BAB IV	NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	25
4.1.	Neraca Massa.....	25
4.2.	Neraca Panas.....	28
BAB V	SPESIFIKASI ALAT.....	33
5.1.	Tangki Penyimpanan Natrium Silikat	33
5.2.	Tangki Penyimpanan Asam Sulfat	33
5.3.	Silo Penyimpanan Silikon Dioksida.....	34
5.4.	Reaktor.....	34
5.5.	<i>Rotary Drum Vacuum Filter</i>	35
5.6.	<i>Rotary Dryer</i>	36
5.7.	<i>Cyclon</i>	37
5.8.	<i>Ball Mill</i>	37
5.9.	<i>Vibrating Screen</i>	38
5.10.	<i>Blower</i>	38
5.11.	<i>Heater 1</i>	38
5.12.	<i>Heater 2</i>	39
5.13.	<i>Air Heater</i>	40
5.14.	<i>Screw Conveyor</i>	41
5.15.	<i>Cooling Conveyor</i>	41
5.16.	<i>Belt Conveyor</i>	42
5.17.	<i>Bucket Elevator</i>	42
5.18.	Pompa 1	43
5.19.	Pompa 2	43
5.20.	Pompa 3	44
5.21.	Pompa 4	44
5.22.	Pompa 5	45
5.23.	Pompa 6	45
5.24.	Pompa 7	46
BAB VI	UTILITAS.....	47
6.1.	Unit Pendukung Proses.....	47
6.1.1.	Unit Pengadaan dan Pengolahan Air	48
6.1.2.	Unit Pengadaan Listrik	51
6.1.3.	Unit Pengadaan Bahan Bakar	53

6.1.4. Unit Laboratorium	54
6.1.5. Unit Pengadaan Udara Tekan	55
6.1.6. Unit Pengolahan Air Limbah	56
6.1.7. Kesehatan dan Keselamatan Kerja	56
6.1.8. Alat – Alat Utilitas	57
6.2. Pengolahan Air dan Utilitas	64
BAB VII ORGANISASI DAN TATA LETAK PABRIK	65
7.1. Bentuk Perusahaan	65
7.2. Struktur Organisasi	66
7.2.1. Pemilik Saham	67
7.2.2. Dewan Komisaris	67
7.2.3. Direktur	67
7.2.4. Staff Ahli	68
7.2.5. Kepala Bagian	68
7.2.6. Kepala Seksi	69
7.2.7. Karyawan	71
7.3. Sistem Kepegawaian dan Sistem Gaji	72
7.3.1. Sistem Kepegawaian	72
7.3.2. Sistem Gaji	72
7.3.3. Pembagian Jam Kerja Karyawan	74
7.4. Kesejahteraan Karyawan	75
7.5. Manajemen Produksi	78
7.5.1. Manajemen Produksi	78
7.5.2. Pengendalian Proses	79
7.6. Tata Letak (<i>Lay Out</i>) Pabrik	79
7.7. Tata Letak Peralatan	81
BAB VIII EVALUASI EKONOMI	85
8.1. Perhitungan Biaya	87
8.2. Total <i>Fixed Capital Investment</i>	90
8.3. Modal Kerja (<i>Working Capital</i>)	90
8.4. <i>Manufacturing Cost</i>	90
8.5. <i>General Expenses</i>	91
8.6. Analisis Ekonomi	91
8.6.1. <i>Percent Return On Investment (ROI)</i>	91
8.6.2. <i>Pay Out Time (POT)</i>	92

8.6.3. <i>Break Even Point (BEP)</i>	92
8.6.4. <i>Shut Down Point (SDP)</i>	93
8.6.5. <i>Interest Rate of Return (IRR)</i>	95
BAB IX KESIMPULAN	96
<i>PROCESS FLOW DIAGRAM (PFD)</i>	97
LAMPIRAN A	98
LAMPIRAN B.....	173
LAMPIRAN C.....	190
DAFTAR PUSTAKA.....	203

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Impor Silikon Dioksida di Indonesia	2
Tabel 1.2 Produsen Silikon Dioksida di Dunia	4
Tabel 1.3 Kebutuhan Negara Tujuan Ekspor	5
Tabel 1.4 Produsen Asam Sulfat di Indonesia.....	6
Tabel 1.5 Data Ekspor Asam Sulfat di Indonesia.....	6
Tabel 1.6 Produsen Natrium Silikat di Indonesia.....	6
Tabel 1.7 Data Ekspor Natrium Silikat di Indonesia.....	7
Tabel 1.8 Perbandingan Proses Pembuatan Silikon Dioksida	11
Tabel 1.9 Data Entalpi dan Energi Gibbs Komponen	17
Tabel 4.10 Neraca Massa disekitar Reaktor (R-01)	26
Tabel 4.11 Neraca Massa disekitar Rotary Drum Vacuum Filter (RDVF-01).....	26
Tabel 4.12 Neraca Massa disekitar Rotary Dryer (RD-01)	26
Tabel 4.13 Neraca Massa disekitar Cyclon (CY-01).....	27
Tabel 4.14 Neraca Massa disekitar Cooling Conveyor (CC-01).....	27
Tabel 4.15 Neraca Massa disekitar Ball Mill (BM-01)	27
Tabel 4.16 Neraca Massa disekitar Vibrating Screen (VS-01)	28
Tabel 4.17 Cp Gas Masing – Masing Komponen	28
Tabel 4.18 Cp Cairan Masing – Masing Komponen	29
Tabel 4.19 Cp Padatan Komponen	29
Tabel 4.20 Neraca Panas disekitar Heater 1 (H-01)	29
Tabel 4.21 Neraca Panas disekitar Heater 2 (H-02)	30
Tabel 4.22 Neraca Panas disekitar Reaktor (R-01)	30
Tabel 4.23 Neraca Panas disekitar Rotary Drum Vacuum Filter (RDVF-01).....	30
Tabel 4.24 Neraca Panas disekitar Rotary Dryer (RD-01)	31
Tabel 4.25 Neraca Panas disekitar Air Heater (AH-01).....	31
Tabel 4.26 Neraca Panas disekitar Cyclon (CY-01).....	31
Tabel 4.27 Neraca Panas disekitar Cooling Conveyor (CC-01).....	32
Tabel 4.28 Neraca Panas disekitar Ball Mill (BM-01).....	32
Tabel 4.29 Neraca Panas disekitar Vibrating Screen (VS-01)	32
Tabel 6.30 Kebutuhan Air Pendingin	48
Tabel 6.31 Kebutuhan Air Sanitasi dan Konsumsi.....	49
Tabel 6.32 Kebutuhan Air untuk <i>Steam</i>	50

Tabel 6.33 Kebutuhan Air Keseluruhan	50
Tabel 6.34 Konsumsi Listrik untuk Keperluan Proses	52
Tabel 6.35 Konsumsi Listrik untuk Keperluan Utilitas.....	52
Tabel 6.36 Konsumsi Listrik untuk Keperluan Lainnya	53
Tabel 6.37 Konsumsi Listrik Keseluruhan	53
Tabel 7.38 Daftar Gaji Karyawan.....	72
Tabel 7.39 Pembagian <i>shift</i> Karyawan	75
Tabel 7.40 Luas Bangunan Pabrik.....	80
Tabel 8.41 Data <i>Cost Index Chemical Plant</i>	86
Tabel 8.42 Total <i>Fixed Capital Investment</i>	90
Tabel 8.43 <i>Working Capital</i>	90
Tabel 8.44 <i>Manufacturing Cost</i>	90
Tabel 8.45 <i>General Expenses</i>	91
Tabel 8.46 <i>Fixed Cost</i>	93
Tabel 8.47 <i>Variable Cost</i>	93
Tabel 8.48 <i>Regulated Cost</i>	93
Tabel 9.49 Analisis Kelayakan Ekonomi	96

DAFTAR GRAFIK

Grafik 1.1 Jumlah Impor Silikon Dioksida (Ton) dan Waktu (Tahun) ..	3
Grafik 8.2 Jumlah Cost Index dan Waktu (Tahun)	86
Grafik 8.3 Penentuan BEP dan SDP	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Lokasi Pabrik	10
Gambar 3.2 Diagram Kualitatif	23
Gambar 3.3 Diagram Kuantitatif	24
Gambar 6.4 Pengolahan Air dan Utilitas	64
Gambar 7.5 Struktur Organisasi Industri	77
Gambar 7.6 Tata Letak Pabrik	81
Gambar 7.7 Tata Letak Peralatan Pabrik	84

INTISARI

Prarancangan pabrik silikon dioksida dari asam sulfat dan natrium silikat dinilai mampu menghasilkan prospek yang baik dalam dunia perindustrian khususnya industri kimia. Untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, pabrik silikon dioksida direncanakan akan beroperasi selama 330 hari / tahun dengan kapasitas 95.000 ton / tahun dan kelebihan dapat dilakukan ekspor ke negara yang membutuhkan. Dengan memperhatikan beberapa faktor, maka dipilih lokasi pabrik yang cukup strategis yaitu Kawasan Industri Surya Cipta Karawang Jawa Barat.

Kondisi operasi pembuatan silikon dioksida berlangsung pada fase cair – cair, suhu 80 °C, tekanan 1 atm, dan menggunakan Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) dengan konversi akhir yang diperoleh sebesar 99,4 %. Reaksi berlangsung secara eksotermis, sehingga diperlukan koil pendingin dengan media pendingin air. Kebutuhan bahan baku asam sulfat sebesar 32.866,4183 kg / jam dan bahan baku natrium sulfat sebesar 18.381,3073 kg / jam. Produk atau silikon dioksida yang dihasilkan sebesar 11.994,9495 kg / jam. Utilitas sebagai unit pendukung proses produksi terdiri dari unit penyediaan dan pengolahan air untuk kebutuhan pendingin sebesar 787.156,4222 kg / jam dengan *make up water* sebesar 36.876,8418 kg / jam, kebutuhan pembangkit *steam* sebesar 66.994,2074 dengan *make up water* sebesar 6.699,4207, dan kebutuhan sanitasi sebesar 1.569 kg / jam. Kebutuhan listrik disuplai oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan *generator set* sebesar 127,1374 kW sebagai cadangan. Bahan bakar solar yang digunakan sebanyak 186,5376 L / jam dan udara tekan sebesar 60 m³ / jam.

Hasil analisa ekonomi terhadap pabrik ini diperoleh modal tetap sebesar Rp. 537.458.503.529,0250 dan modal kerja sebesar Rp. 233.457.272.504,6060. Keuntungan sebelum pajak sebesar Rp. 177.760.134.714,5460 pertahun dan keuntungan yang dicapai sebesar Rp 124.432.094.300,1820 pertahun setelah dipotong pajak sebesar 30 %. *Return On Investment* (ROI) sebelum pajak sebesar 33,0742 % dan sesudah pajak sebesar 23,1519%., *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak adalah 2,3216 tahun dan sesudah pajak adalah 3,0164 tahun. *Break Even Point* (BEP) sebesar 41,0769 %, *Shut Down Point* sebesar 18,1563 %, dan *Discounted Cash Flow* (DCF) sebesar 7,8750 %. Berdasarkan data analisa kelayakan ekonomi dapat disimpulkan bahwa pendirian pabrik silikon dioksida dengan kapasitas 95.000 ton / tahun layak dipertimbangkan untuk direalisasikan pembangunannya.

Kata Kunci : Silikon Dioksida, *Precipitated Silica*, Natrium Silikat

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan industri di Indonesia yang meningkat setiap tahunnya baik secara kualitas maupun kuantitas khususnya industri kimia selaras dengan bertambahnya kebutuhan akan bahan – bahan kimia. Peningkatan kebutuhan tersebut dapat diatasi dan dipenuhi dengan pembangunan industri kimia baru.

Silikon dioksida dengan rumus kimia SiO_2 adalah bahan kimia dengan bentuk amorphous. Silikon dioksida berupa padatan berwarna putih yang tidak berbau dan tidak larut dalam air (kecuali pada asam *fluoride*). Proses pembuatan silikon dioksida adalah dengan mereaksikan asam sulfat dengan natrium silikat yang dapat disebut sebagai proses asidifikasi larutan alkali silikat. Berdasarkan bahan baku yang digunakan, asam sulfat dan natrium silikat produk yang dihasilkan bukan merupakan bahan beracun dan berbahaya. Secara umum silikon dioksida digunakan sebagai bahan penguat pada produk – produk elastis seperti sol sepatu, karet, komponen - komponen kawat dan kabel serta sebagai *cleaning agent* pada pasta gigi (Ullmann 2007).

Pembangunan pabrik silikon dioksida di Indonesia dapat menaikkan peluang devisa yang cukup baik untuk negara. Berdasarkan Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia, diperoleh data impor silikon dioksida pada tahun 2018 yang mencapai 51.236,653 ton. Selama ini, permintaan akan kebutuhan silikon dioksida dalam negeri belum mampu dipenuhi oleh produsen silikon dioksida di Indonesia sehingga ketergantungan terhadap kegiatan impor dari negara lain masih dilakukan. Pabrik silikon dioksida yang sudah ada di Indonesia, antara lain, yaitu PT. Darisa Intimira dengan kapasitas produksi 20.000 ton/tahun, PT. Sanmas Dwika Abadi 15.000 ton/tahun, dan PT. Silicaindo Makmur Sentosa 5.000 ton/tahun (Hartati 2018).

Apabila pabrik silikon dioksida ini didirikan akan memperoleh banyak keuntungan, yaitu :

1. Menambah devisa negara.
2. Membuka lapangan pekerjaan bagi penduduk Indonesia.
3. Kebutuhan silikon dioksida dalam negeri terpenuhi dan diharapkan menembus pasar ekspor.

4. Mendorong berdirinya pabrik yang berbahan baku silikon dioksida.

1.2. Kapasitas Rancangan

Dalam menentukan kapasitas rancangan pabrik silikon dioksida yang didirikan perlu dipertimbangkan beberapa faktor, diantaranya data impor silikon dioksida dan ketersediaan bahan baku.

1.2.1. Data Impor Silikon Dioksida di Indonesia

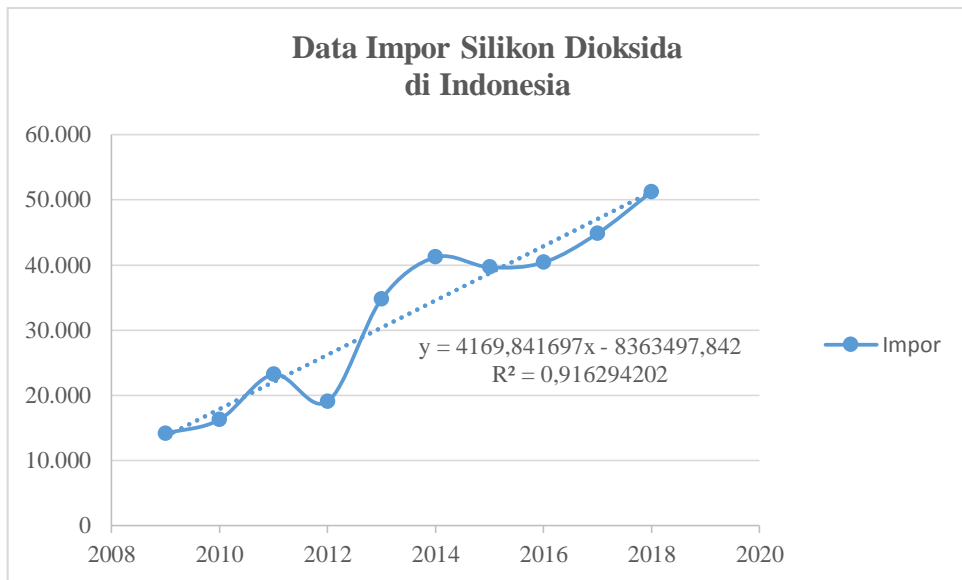
Data impor silikon dioksida di Indonesia dari tahun 2009 – 2018 dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Data Impor Silikon Dioksida di Indonesia

Tahun	Impor (Ton)
2009	14.158,001
2010	16.270,713
2011	23.203,442
2012	19.037,635
2013	34.777,420
2014	41.200,114
2015	39.645,447
2016	40.400,503
2017	44.854,224
2018	51.236,653

(Badan Pusat Statistik tahun 2021)

Pada Tabel 1.1 menunjukkan impor silikon dioksida di Indonesia dalam beberapa tahun terakhir cenderung mengalami peningkatan. Untuk menentukan kapasitas produksi pada tahun 2026 dipergunakan grafik hubungan jumlah impor silikon dioksida dan tahun. Grafik ditentukan dari plot tahun impor (x) dan jumlah impor silikon dioksida (y). Dari beberapa percobaan persamaan, diperoleh persamaan linier yang memiliki nilai R yang mendekati angka 1. Grafik tersebut ditunjukkan pada Grafik 1.1.



Grafik 1.1 Jumlah Impor Silikon Dioksida (Ton) dan Waktu (Tahun)

Berdasarkan Grafik 1.1 dengan menggunakan metode persamaan linier diperoleh persamaan $y = 4169,841697x - 8363497,842$ dimana y merupakan perkiraan kapasitas rancangan dalam satuan ton dan x merupakan jumlah tahun yang akan diproyeksikan. Apabila pabrik didirikan pada tahun 2026, maka impor silikon dioksida pada tahun tersebut adalah sebagai berikut :

$$y = 4169,841697x - 8363497,842$$

$$y = 4169,841697(2026) - 8363497,842$$

$$y = 84.601,43612 \text{ ton}$$

1.2.2. Kapasitas Produksi Pabrik Komersial Yang Sudah Ada

Penentuan kapasitas pabrik silikon dioksida yang akan didirikan dipengaruhi oleh kapasitas pabrik sejenis yang sudah beroperasi sebelumnya. Pabrik – pabrik yang memproduksi silikon dioksida beserta kapasitasnya tertera pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Produsen Silikon Dioksida di Dunia

Lokasi	Nama Pabrik	Kapasitas (Ton/Tahun)
Tangerang, Indonesia	PT. Darisa Intimitra	20.000
Gresik, Indonesia	PT. Sanmas Dwika Abadi	15.000
Banten, Indonesia	PT. Silicaindo Makmur	5.000
	Sentosa	
China	Shouguang Baote Chemical & Industrial Co., Ltd.	150.000
Brazil	Rhodia	36.000
Jepang	Tosoh Silica Corporation	40.000
Vietnam	Hop Tien Vinh Construction and Trading Joint Stock Company	130.000

(Hartati 2018; Sari 2018; Suciati 2020)

Mengacu pada pabrik – pabrik yang telah beroperasi, dengan demikian kapasitas pabrik ≥ 5.000 ton / tahun merupakan kapasitas komersil atau masih menguntungkan. Mempertimbangkan prediksi pada tahun 2026 dengan kebutuhan silikon dioksida di Indonesia sebesar 84.601,43612 ton, maka dapat disimpulkan untuk membuat pabrik silikon dioksida dengan kapasitas 95.000 ton/tahun dengan pertimbangan sebagai berikut :

- Dapat memenuhi kebutuhan silikon dioksida dalam negeri dengan hasil produksi industri lokal.
- Sebagian produk dapat diekspor ke negara – negara yang membutuhkan sehingga menambah devisa negara.
- Dapat memberikan keuntungan karena kapasitas rancangan telah melebihi kapasitas maksimal.
- Dapat mendorong berdirinya pabrik – pabrik lainnya yang menggunakan silikon dioksida sebagai bahan baku.
- Membuka lapangan kerja bagi penduduk di sekitar wilayah berdirinya pabrik.

Silikon dioksida yang akan diproduksi diharapkan dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri dan sisanya dapat diekspor ke negara – negara yang membutuhkan. Untuk itu, perlu diketahui spesifikasi silikon dioksida yang ada di luar negeri sehingga saat hasil produksi silikon dioksida diekspor akan dapat bersaing dengan industri – industri silikon dioksida luar negeri yang telah berdiri sebelumnya. Spesifikasi silikon dioksida dari salah satu industri luar negeri (Shouguang Baote

Chemical and Industrial Co., Ltd kapasitas 150.000 ton / tahun) adalah sebagai berikut :

Rumus kimia	: SiO ₂
Warna	: Tidak berwarna
Wujud	: <i>Amorphous powder</i>
Bau	: Tidak berbau
pH	: 6,5 – 7,5
Kemurnian	: 99,9 %
Kelarutan dalam air	: Tidak larut
<i>Average size particle</i>	: 4 – 5 μm
<i>Surface area</i>	: 260 – 280 m ² /gram
Aplikasi	: Digunakan pada industri cat

Silikon dioksida yang telah di produksi selain untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri kelebihanannya dapat diekspor ke negara – negara di sekitar wilayah Indonesia ataupun Asia yang masih membutuhkan. Perlu diketahui sasaran lokasi ekspor yang dituju, sehingga kelebihan produk yang dijual dapat memberikan keuntungan salah satunya dalam penambahan devisa negara. Selain itu dapat memudahkan dalam melakukan kerjasama dan pendistribusian produk. Negara – negara di sekitar wilayah Indonesia dan/atau Asia yang masih melakukan impor silikon dioksida pada tahun 2020 tertera pada Tabel 1.3.

Tabel 1.3 Kebutuhan Negara Tujuan Ekspor

Lokasi	Kebutuhan (Ton)
Thailand	966,7
Vietnam	361,1
Malaysia	108,89
Korea Selatan	289,6
Jepang	1.250,46
China	2.816,85

(Badan Pusat Statistik tahun 2021)

1.2.3. Ketersediaan Bahan Baku

a. Asam Sulfat

Asam sulfat merupakan salah satu bahan penunjang yang sangat penting dan banyak dibutuhkan industri kimia, salah satunya industri silikon dioksida. Kegunaan utama dari asam sulfat (60 % dari total produksi di seluruh dunia) adalah dalam produksi asam

fosfat, farmasi, kertas dan pulp (Novitasari 2012). Produsen asam sulfat di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.4.

Tabel 1.4 Produsen Asam Sulfat di Indonesia

Lokasi	Nama Pabrik	Kapasitas (Ton/Tahun)
Purwakarta	PT. Indo Bharat Rayon	71.175
Jakarta Timur	PT. Indonesian Acid	82.500
Gresik	PT. Petrokimia	1.170.000
Gresik	PT. Smelting	92.000
Pulogadung	PT. Mahkota Indonesia	72.500
Karawang	PT. Timuraya Tunggal	69.200
Gresik	PT. Liku Telaga	324.000
Surabaya	PT. Aktif Indo Indah	15.000
Lampung	PT. Budi Acid Jaya	60.000
TOTAL		1.956.375

(Hartati 2018)

Pemenuhan kebutuhan asam sulfat di Indonesia dapat dikatakan telah terpenuhi. Selain kapasitas produksi pabrik – pabrik asam sulfat yang sangat besar, hal tersebut dapat dibuktikan dari data ekspor asam sulfat di Indonesia yang tertera pada Tabel 1.5.

Tabel 1.5 Data Ekspor Asam Sulfat di Indonesia

Tahun	Kapasitas (Ton)
2016	914,08
2017	33
2018	10
2019	18.995,491
2020	31.119,682

(Badan Pusat Statistik tahun 2021)

b. Natrium Silikat

Natrium silikat adalah nama generik untuk senyawa kimia dengan rumus $\text{Na}_{2x} + \text{SiO}_{2-x}$ atau $(\text{Na}_2\text{O})_x\text{SiO}_2$. Natrium silikat banyak digunakan pada pabrik sabun, detergen, keramik dan bahan baku untuk pembuatan silikon dioksida. Selain itu, dapat digunakan sebagai *flocculating agent* pada *water treatment* serta untuk sintesis zeolit (Hartati 2018). Produsen natrium silikat di Indonesia tertera pada Tabel 1.6.

Tabel 1.6 Produsen Natrium Silikat di Indonesia

Lokasi	Nama Pabrik	Kapasitas (Ton)
Pulogadung	PT. Mahkota Indonesia	30.000
Bogor	PT. Ajidharmamas Tritunggal Sakti	82.500
Indramayu	PT. Tirta Bening Mulia	48.000
Banten	PT. Darisa Intimitra	40.000
TOTAL		200.500

(Hartati 2018)

Seperti halnya asam sulfat, pemenuhan kebutuhan natrium silikat di Indonesia juga dapat dikatakan telah terpenuhi. Hal tersebut dapat dibuktikan dari data ekspor natrium silikat di Indonesia yang tertera pada Tabel 1.7.

Tabel 1.7 Data Ekspor Natrium Silikat di Indonesia

Tahun	Kapasitas (Ton)
2016	22.176,482
2017	22.451,755
2018	14.964,082
2019	20.707,503
2020	29.302,472

(Badan Pusat Statistik tahun 2021)

1.3. Penentuan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi didirikannya suatu pabrik berpengaruh besar terhadap lancarnya kegiatan industri. Diperlukan pertimbangan – pertimbangan dalam pemilihan lokasi pabrik agar nantinya dapat memberikan keuntungan yang besar pada perusahaan. Beberapa faktor dapat menjadi alasan dalam menentukan lokasi pabrik, antara lain ketersediaan bahan baku, transportasi, pemasaran produk, utilitas sebagai unit pendukung, dan sumber daya manusia (tenaga kerja). Berdasarkan tinjauan tersebut, rencana pendirian pabrik silikon dioksida dipilih di Kecamatan Ciampel Kabupaten Karawang Provinsi Jawa Barat dengan mempertimbangkan faktor – faktor yang selanjutnya dapat dikategorikan menjadi faktor primer dan faktor sekunder.

1. Faktor Primer

a. Ketersediaan Bahan Baku

Pengadaan bahan baku merupakan suatu hal yang sangat penting bagi keberlangsungan suatu pabrik. Bahan baku harus tersedia dalam jumlah yang cukup untuk kelancaran suatu proses. Lokasi yang dipilih adalah yang dekat dengan sumber bahan baku sehingga dapat meminimalkan biaya transportasi dan penyaluran bahan baku ke pabrik akan lebih mudah. Untuk pembuatan silikon dioksida, bahan baku yang digunakan adalah asam sulfat dan natrium silikat. Asam sulfat dapat diperoleh dari PT. Timuraya Tunggal yang terletak di Karawang dan berjarak 23 km dari Ciampel. Sedangkan

sodium silikat dapat diperoleh dari PT. PT Ajidharmamas Tritunggal Sakti di Bogor yang berjarak 72 km.

b. Transportasi

Sarana dan prasarana transportasi yang memadai diperlukan dalam pembelian bahan baku dan pemasaran produk. Pendirian pabrik di daerah Karawang merupakan pertimbangan yang tepat karena terdapat jalur transportasi darat, laut, dan udara yang memadai. Untuk jalur darat, terdapat tol Jakarta – Cikampek dibagian Pantura dan stasiun kereta api. Di jalur laut terdapat pelabuhan Tanjung Priok yang berjarak 82 km serta jalur udara, yaitu bandara Soekarno – Hatta yang berjarak 102 km dari Ciampel. Dengan ketersediaan sarana dan prasarana transportasi tersebut akan menjamin kelangsungan produksi pabrik.

c. Sumber Daya Manusia (Tenaga Kerja)

Tenaga kerja dapat dengan mudah diperoleh di daerah Karawang, karena setiap tahunnya selalu meningkat. Sebagai kawasan industri, daerah ini menjadi salah satu tujuan para pencari kerja. Menurut Badan Pusat Statistik Kabupaten Karawang, jumlah pencari kerja yang belum ditempatkan pada 2020 untuk tingkat pendidikan sebesar 9.239 orang untuk Diploma dan 13.059 untuk Sarjana (BPSKKA 2021). Selain di daerah Karawang, tenaga kerja diambil dari seluruh wilayah Indonesia.

d. Penyediaan Utilitas

Faktor penunjang yang paling penting dalam pendirian suatu pabrik adalah tenaga listrik, air, dan sarana penunjang lainnya. Daerah Ciampel mempunyai *suplay* air, listrik, dan sarana lain yang memadai karena lokasi berdirinya pabrik terletak di kawasan industri. Untuk tenaga listrik dapat diperoleh dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan generator. Bahan bakar generator dapat diperoleh dari Pertamina. Untuk sumber air, dapat diperoleh dari pihak pengelola kawasan industri yaitu Kawasan Industri Surya Cipta.

e. Pembuangan Limbah

Limbah yang dihasilkan oleh pabrik dapat dilakukan pengolahan terlebih dahulu oleh jasa pengolahan limbah yang terdapat di

Kawasan Industri Surya Cipta sehingga meminimalisir dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan.

f. Pemasaran

Pemasaran di daerah Karawang merupakan pilihan yang tepat, karena daerah ini merupakan konsumen terbesar silikon dioksida. Pabrik – pabrik tersebut meliputi pabrik ban (PT. Sumi Rubber Indonesia di Cikampek dan PT. Bridgestone Tire Indonesia di Karawang), pabrik kosmetik (PT. Cedefindo di Bekasi), pabrik farmasi (PT. Cendo Pharmaceutical Industries di Bandung), serta pabrik karet (PT. Cilatexindo Graha Alam di Bekasi dan PT. Ciluar Baru di Bogor). Pemasaran di sekitar Karawang akan mempermudah jangkauan antara produsen dan konsumen karena tersedianya transportasi yang memadai. Diharapkan pemasaran tidak hanya di dalam negeri tetapi dapat diekspor ke negara – negara yang membutuhkan silikon dioksida.

g. Kondisi Lokasi

Kecamatan Ciampel di Kabupaten Karawang memiliki letak ketinggian ± 15 m dari permukaan laut, dengan suhu maksimum 40° C dan minimum 17° C. Selain itu, daerah Karawang memiliki aspek hidrologi yang cukup bagus karena terdapat sungai Citarum yang dimanfaatkan untuk kebutuhan air pabrik yang diolah langsung oleh pengelola kawasan industri (Hartati 2018).

2. Faktor Sekunder

a. Perluasan Area Pabrik

Rencana perluasan area harus dipertimbangkan saat pendirian pabrik. Dikarenakan saat akan memperluas area pabrik dalam jangka 10 atau 20 tahun ke depan pabrik tidak kesulitan mencari lahan perluasan. Daerah Ciampel merupakan kawasan industri yang luas sehingga masih memungkinkan untuk pengembangan pabrik yang akan datang.

b. Perizinan

Sesuai dengan kebijakan pemerintah dalam pengembangan industri, daerah di Karawang telah banyak dijadikan sebagai lokasi pembangunan industri – industri. Hal tersebut akan memudahkan dalam perizinan pembangunan pabrik karena telah dipertimbangkan

faktor – faktor seperti kondisi lingkungan, masyarakat sosial, serta hukum. Selain itu, pembangunan pabrik perlu memperhatikan keamanan lingkungan dan tidak mengganggu keadaan sekitar.

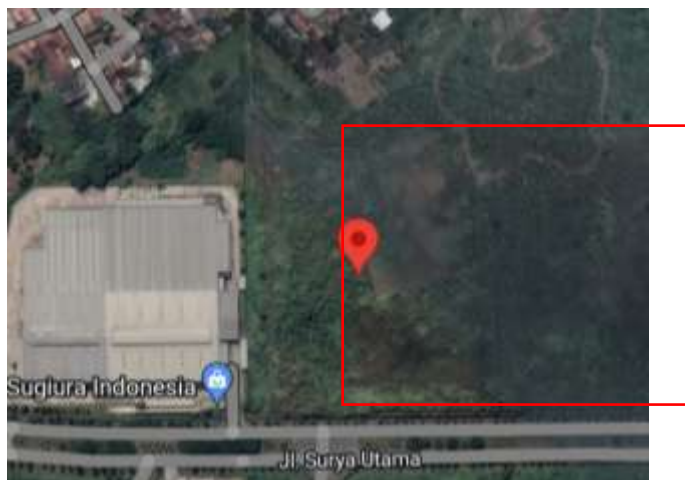
c. Prasarana dan Fasilitas Sosial

Prasarana dan fasilitas sosial yang dimaksud seperti penyediaan jalan dan transportasi, sarana pendidikan, ibadah, hiburan, bank, dan perumahan sehingga dapat meningkatkan kesejahteraan dan taraf hidup masyarakat sekitar area berdirinya pabrik.

d. Lingkungan Masyarakat Sekitar

Pertimbangan yang matang akan dampak dan faktor keselamatan dan keamanan masyarakat sekitar area pabrik akan berdampak pada keterbukaan sikap masyarakat dengan berdirinya pabrik baru. Selain itu, kesejahteraan masyarakat akan meningkat dengan tersedianya lapangan pekerjaan baru setelah pabrik didirikan.

Berikut disajikan pada Gambar peta lokasi rencana pendirian pabrik silikon dioksida di Kecamatan Ciampel Kabupaten Karawang Provinsi Jawa Barat :



Gambar 1.1 Peta Lokasi Pabrik

1.4. Tinjauan Pustaka

1.4.1. Macam – Macam Proses

Bahan baku untuk memproduksi silika dioksida berupa larutan alkali metal silikat dan asam sulfat. Cara pembuatan yang dikenal selama

ini adalah proses asidifikasi larutan alkali silikat dengan reaksi antara sodium silikat dan asam sulfat.

Dalam pembuatan silikon dioksida dapat dilakukan dengan dua proses, yaitu :

a. Proses Kering

Reaksi :

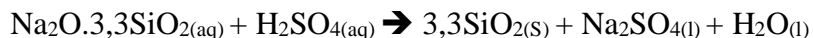


(Kirk and Othmer 1997)

Pada metode ini SiCl_4 (silikon tetraklorida) diuapkan dan didekomposisi dengan nyala hidrogen pada suhu 1800 – 2000 °C dengan konversi 75 - 85 % membentuk *silica acid* bubuk.

b. Proses Basah

Proses pembuatan silikon dioksida dengan netralisasi larutan sodium silikat dengan larutan asam sulfat melalui proses filtrasi, pengeringan, penggilingan, dan granulasi sehingga menghasilkan silikon dioksida yang mempunyai ukuran seragam. Proses ini berlangsung pada suhu 80 °C dengan konversi 99,4 % (US Patent 6169135 B1; US Patent 5034207), berikut reaksinya :



(Ullmann 2007)

Dari uraian macam – macam proses di atas, perbandingan setiap prosesnya dapat dilihat pada Tabel 1.8.

Tabel 1.8 Perbandingan Proses Pembuatan Silikon Dioksida

Parameter yang Ditinjau	Jenis Proses	
	Proses Kering	Proses Basah
Bahan Baku	SiCl_4 dan hidrogen	$\text{Na}_2\text{O} \cdot 3,3\text{SiO}_2$ dan H_2SO_4
Suhu Reaksi (°C)	1.800 – 2000	80
Reaktor	Gelembung	RATB
Tekanan (atm)	1,5	1
Konversi (%)	75 - 85	99,4

Berdasarkan perbandingan macam – macam proses tersebut, prarancangan pabrik silikon dioksida ini menggunakan proses basah, yaitu asidifikasi silikat. Pertimbangan pemilihan proses ini, yaitu :

1. Bahan lebih ekonomis, karena alkali silikat dan asam sulfat pada proses basah relatif lebih murah dibandingkan dengan SiCl_4 pada proses kering.

2. Kondisi operasi dalam proses tersebut lebih mudah dalam pengontrolan, dimana proses dalam fase cair – cair dan pada tekanan yang tidak terlalu tinggi.
3. Dalam proses pembuatan tidak memerlukan panas yang tinggi sehingga dapat menghemat tenaga panas.

1.4.2. Kegunaan Produk

Silikon dioksida digunakan sebagai penguat pada produk – produk elastis seperti sol sepatu, karet, kabel, dan komponen – komponen kawat. Pada karet, dapat memperbaiki daya tarik (*tensile strength*), kekerasan, dan daya tahan sobek (*tear strength*). Pada kabel yang utama digunakan pada bagian sarung, melindungi penyobekan dan pergeseran di dalam kabel. Silikon dioksida ini juga digunakan pada industri pasta gigi sebagai bahan pembersih (*cleaning agent*). Selain itu juga mengontrol sifat-sifat *rheological* dari pasta gigi dan juga memungkinkan terproduksinya *gel* transparan. Pada industri kertas silikon dioksida digunakan untuk memproduksi kertas – kertas tertentu dengan jaminan ketajaman warna yang tinggi atau kontras pada jenis kertas cetak. *Silica* disini akan memenuhi pori-pori (lubang – lubang) pada kertas dan memberikan permukaan yang lembut. Kemajuan penggunaan silikon dioksida saat ini sebagai insektisida, menstabilkan bir, dan menganalisis darah (Ullmann 2007; Wahyuningsih 2006).

1.5. Sifat – Sifat Fisis dan Kimia

a. Bahan Baku

1) Asam Sulfat

Sifat Fisis :

Rumus kimia	: H_2SO_4
Warna	: Tidak berwarna
Wujud	: Cair (30 °C, 1 atm)
Bau	: Tidak berbau
Berat molekul	: 98,08 g/mol
<i>Specific gravity</i>	: 1,834
Densitas	: 1,84 g/cm ³ (20 °C)
pH	: 0,3 (25 °C, 49 g/L)
Kemurnian	: 98,2 %
<i>Viscosity</i>	: 26,7 cp (20 °C)

Titik lebur : - 20 °C
 Titik didih : 335 °C
 Kelarutan dalam air : Tercampur penuh (20 °C)
 (PT. Timuraya Tunggal; Sari, 2018)

Sifat Kimia :

- Bersifat higroskopis atau mudah menguap.
- Golongan asam kuat yang mempunyai valensi dua.
- Asam sulfat murni akan terdisosiasi jika diencerkan dengan air. Reaksinya :



- Asam sulfat akan terurai menjadi sulfur trioksida dan uap air pada suhu tinggi. Reaksinya :



2) Natrium Silikat

Sifat Fisis :

Rumus kimia : $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3,3\text{SiO}_2$
 Warna : Tidak berwarna
 Wujud : Cair
 Bau : Tidak berbau
 Berat molekul : 260,29 gram/mol
Specific gravity : 1,63 – 1,67
 Densitas : 2,6 g/cm³
 pH : 11 – 12,5
 Kemurnian : 62 % (38 % air)
Viscosity : 1,5 cp
 Titik didih : 102 °C
 Kelarutan dalam air : Tercampur penuh (20 °C)
 (PT. Ajidharmamas Tritunggal)

Sifat Kimia :

- Bersifat stabil pada suhu ruang dan tekanan atmosferik.
- Dapat bereaksi dengan garam, seperti magnesium sulfat yang membentuk magnesium silikon dioksida.

Reaksinya :



b. Produk (Silikon Dioksida)
Sifat Fisis :

Rumus kimia	: SiO ₂
Warna	: Tidak berwarna
Wujud	: <i>Amorphous powder</i>
Bau	: Tidak berbau
Berat molekul	: 60,084 gram/mol
<i>Specific gravity</i>	: 1,38 – 1,41
Densitas	: 2,3 g/cm ³
pH	: 7 – 7,3
Kemurnian	: 99,4 %
Titik lebur	: 1710 °C
Titik didih	: 2230 °C
Kelarutan dalam air	: Tidak larut
<i>Average size particle</i>	: 1 – 10 μm
<i>Surface area</i>	: 45 – 700 m ² /gram

(US Patent 6169135 B1; US Patent 5034207)

Sifat Kimia :

- Bersifat asam dan dapat bereaksi dengan basa. Reaksinya :

$$\text{SiO}_{2(\text{aq})} + 2\text{NaOH}_{(\text{s})} \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_{3(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$$
- Tidak larut dalam air. Larut pada asam *fluoride* (HF).
 Reaksinya :

$$\text{SiO}_2 + 6\text{HF} \rightarrow \text{H}_2\text{SiF}_6 + \text{H}_2\text{O}$$

$$\text{H}_2\text{SiF}_6 \rightarrow \text{SiF}_4 + 2\text{HF}$$
- Terdiri dari kelompok silanol (-Si-O-H) dan siloxane (Si-O-Si). Kelompok silanol bersifat hidrofilik, stabil dalam air ketika mengadsorpsi air dari udara sekitar, dan akan membentuk hidrogen ketika dipanaskan.

c. Produk Samping (Natrium Sulfat)
Sifat Fisis :

Rumus kimia	: Na ₂ SO ₄
Warna	: Tidak berwarna
Wujud	: Cair
Bau	: Tidak berbau
Berat molekul	: 142,04 gram/mol

<i>Specific gravity</i>	: 1,38 – 1,41
Densitas	: 2,6 g/cm ³
pH	: 9
Kemurnian	: 98 %
Titik lebur	: 884 °C
Titik didih	: 1429 °C
Kelarutan dalam air	: Tercampur penuh (25 °C)

(*Sodium sulfate / Na₂SO₄ - PubChem; Hartati, 2018*)

Sifat Kimia :

- Larut dalam air.
- Tidak dapat terhidrolisis.

d. Bahan Tambahan (Air)

Sifat Fisis :

Rumus kimia	: H ₂ O
Warna	: Tidak berwarna
Wujud	: Cair
Bau	: Tidak berbau
Berat molekul	: 18,015 gram/mol
<i>Specific gravity</i>	: 1
Densitas	: 1 g/cm ³
pH	: 7
Titik lebur	: 0 °C
Titik didih	: 100 °C
Kelarutan	: Tercampur penuh (alkohol)

(*Water / H₂O - PubChem*)

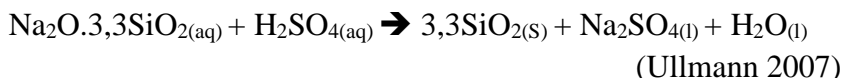
Sifat Kimia :

- Tidak dapat terurai menjadi unsur pembentuknya, yaitu hidrogen dan oksigen di bawah kondisi normal.
- Tidak berwarna, berbau, dan berasa pada kondisi standar, yaitu pada tekanan 1 atm dan suhu 0 °C.

1.6. Tinjauan Proses

1.6.1. Dasar Reaksi

Proses pembuatan silikon dioksida didasarkan pada proses asidifikasi larutan alkali silikat, yaitu mereaksikan larutan sodium silikat dengan asam sulfat. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Hasil reaksi tersebut berupa produk utama, yaitu silikon dioksida serta produk samping natrium sulfat dan air.

1.6.2. Kondisi Operasi

Proses pembuatan silikon dioksida berlangsung pada Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) yang beroperasi pada suhu 80 °C dan tekanan 1 atm. Konversi total yang diperoleh sebesar 99,4 % dengan rasio perbandingan bahan baku 1 : 1,1 (natrium silikat : asam sulfat) (US Patent 6169135 B1; US Patent 5034207).

1.6.3. Sifat Reaksi

Berdasarkan data kelarutan masing – masing komponen dalam air pada suhu kamar, diketahui bahwa silikon dioksida ($3,3\text{SiO}_2$) tidak larut dalam air. Sedangkan natrium silikat ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 3,3\text{SiO}_2$), asam sulfat (H_2SO_4), dan natrium sulfat (Na_2SO_4) larut dalam air. Reaksi pembuatan silikon dioksida berjalan di atas suhu kamar (80 °C), dimana natrium silikat ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 3,3\text{SiO}_2$), asam sulfat (H_2SO_4), dan natrium sulfat (Na_2SO_4) berfasa cair sedangkan silikon dioksida (SiO_2) berfasa padat.

1.6.4. Mekanisme Reaksi

Asidifikasi Silikat adalah proses pembuatan silikon dioksida dengan netralisasi larutan natrium silikat dengan larutan asam sulfat. Reaksi pada proses ini bersifat eksotermis atau mengeluarkan panas saat terjadi reaksi. Selain itu, reaksi searah atau selalu menghasilkan produk dan dapat bereaksi tanpa menggunakan katalis. Untuk menghasilkan reaksi yang optimum, maka reaksi dilakukan di reaktor alir tangki berpengaduk pada temperatur 80 °C dan tekanan 1 atm menghasilkan konversi 99,4 % dengan perbandingan mol reaktan $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3,3\text{SiO}_2$ (natrium silikat) : H_2SO_4 (asam sulfat) = 1 : 1,1. Karena reaksi bersifat eksotermis, maka untuk mendapatkan konversi sebesar 99,4 % perlu dilakukan pengaliran air pendingin pada koil reaktor untuk menjaga suhu di dalam reaktor agar tetap konstan dan dapat menyerap panas yang timbul karena reaksi.

1.6.5. Tinjauan Termodinamika

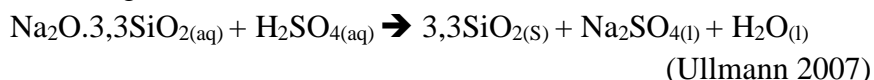
Tinjauan secara termodinamika bertujuan untuk mengetahui sifat reaksi (endotermis atau eksotermis) dan arah reaksi (reversible atau irreversible). Penentuan panas reaksi dapat dihitung dengan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH_f°) dan penentuan arah reaksi dengan energi Gibbs (ΔG°) pada suhu 298 K (25 °C) dan tekanan 1 atm. Data yang dibutuhkan untuk masing – masing komponen tertera pada Tabel 1.9.

Tabel 1.9 Data Entalpi dan Energi Gibbs Komponen

Komponen	ΔH_f° (kkal/mol)	ΔG_f° (kkal/mol)
Sodium silikat ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 3,3\text{SiO}_2$)	-383,91	-768,25
Asam sulfat (H_2SO_4)	-175,031	-155,588
Silikon dioksida ($3,3\text{SiO}_2$)	-216,83	-203,88
Sodium sulfat (Na_2SO_4)	-330,262	-302,428
Air (H_2O)	-57,57	-54,428

(Yaws 1999)

Persamaan reaksi yang terjadi pada proses pembentukan silikon dioksida sebagai berikut :



ΔH_f° pada suhu kamar :

$$\begin{aligned} \Delta H_f^\circ &= \sum \Delta H_f \text{ produk} - \sum \Delta H_f \text{ reaktan} \\ &= (3,3(\Delta H_f^\circ \text{ SiO}_2) + (\Delta H_f^\circ \text{ Na}_2\text{SO}_4) + (\Delta H_f^\circ \text{ H}_2\text{O})) - ((\Delta H_f^\circ \text{ Na}_2\text{O} \cdot 3,3\text{SiO}_2) + (\Delta H_f^\circ \text{ H}_2\text{SO}_4)) \text{ kJ/mol} \\ &= (3,3(-216,83) + (-330,262) + (-57,57)) - ((-383,91) + (-175,031)) \text{ kkal/mol} \\ &= -544,43 \text{ kkal/mol} \\ &= -544430 \text{ kal/mol} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh ΔH_f° pada suhu kamar yang bernilai negatif, maka hal ini dapat membuktikan bahwa reaksi tersebut berjalan secara reaksi eksotermis (melepaskan energi yang berupa panas ke lingkungannya seiring dengan naiknya suhu).

ΔG° pada suhu kamar :

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ &= \Delta G^\circ \text{ produk} - \Delta G^\circ \text{ reaktan} \\ &= (3,3(\Delta G^\circ \text{ SiO}_2) + (\Delta G^\circ \text{ Na}_2\text{SO}_4) + (\Delta G^\circ \text{ H}_2\text{O})) - ((\Delta G^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Na}_2\text{O} \cdot 3,3\text{SiO}_2 + (\Delta G^\circ \text{H}_2\text{SO}_4) \text{ kJ/mol} \\
 & = (3,3(-203,88) + (-302,428) + (-54,428)) - ((-768,25) + (-155,588)) \\
 & \text{ kkal/mol} \\
 & = -105,822 \text{ kkal/mol} \\
 & = -105822 \text{ kal/mol}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut diperoleh ΔG° pada suhu kamar yang bernilai negatif, maka dapat disimpulkan reaksi tersebut merupakan reaksi spontan.

Persamaan hubungan ΔG° dengan konstanta keseimbangan reaksi adalah sebagai berikut :

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K$$

$$\frac{\Delta G^\circ}{RT} = -\ln K$$

$$\frac{-105822 \text{ kal/mol}}{1,987 \frac{\text{kal}}{\text{mol}} \text{K} \times 298 \text{ K}} = -\ln K$$

$$\ln K = 178,715$$

$$K_{298} = 4,12 \times 10^{77}$$

Nilai konstanta keseimbangan reaksi (K) pada suhu 80 °C (353 K) :

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{-\Delta H_r}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

Dimana :

K_1 : Konstanta Kesetimbangan Pada Suhu 298 K

K_2 : Konstanta Kesetimbangan Pada Suhu Operasi

T_1 : Suhu Standar (298 K)

T_2 : Suhu Operasi (353 K)

R : Tetapan Gas Ideal (1,987 kal/mol)

ΔH_r° : Panas Reaksi Standar Pada 298 K

Maka :

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{-\Delta H_r}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln \frac{K_{353}}{4,12 \times 10^{77}} = \frac{-(-544430) \text{ kal/mol}}{1,987 \frac{\text{kal}}{\text{mol}} \text{K}} \left(\frac{1}{353} - \frac{1}{298} \right) \text{K}$$

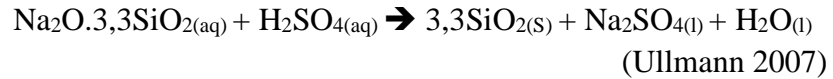
$$\frac{K_{353}}{4,12 \times 10^{77}} = 6,08511 \times 10^{-63}$$

$$K_{353} = 2,507 \times 10^{15}$$

Karena harga K sangat besar, maka reaksi pembentukan silikon dioksida merupakan reaksi searah, yaitu ke kanan atau *irreversible*.

1.6.6. Tinjauan Kinetika

Persamaan reaksi yang terjadi pada proses pembentukan silikon dioksida sebagai berikut :



Ditinjau dari kinetika reaksinya, kecepatan reaksi akan bertambah dengan naiknya suhu. Hal ini ditunjukkan oleh persamaan Arrhenius :

$$k = A e^{-E/RT}$$

Dari US Patent 6169135 dan US Patent 5851502 diperoleh data – data sebagai berikut :

$$\begin{array}{llll} C_{AO} : C_{BO} & = & 1 : 1,1 & \text{Konversi} & = & 99,4 \% \\ k & = & 1,2 \times 10^{13} \times e^{-9087,8482/T} & \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{menit} & & \end{array}$$