

LAPORAN SKRIPSI

**PRARANCANGAN PABRIK KIMIA ASAM FOSFAT DARI BATUAN
FOSFAT DAN ASAM SULFAT
KAPASITAS 200.000 TON/TAHUN**



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

Oleh :

Yoga Nurhadi Setiawan

21150273D

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SETIA BUDI

SURAKARTA

2020

**LEMBAR PERSETUJUAN
LAPORAN SKRIPSI**

**PRARANCANGAN PABRIK KIMIA ASAM FOSFAT DARI BATUAN
FOSFAT DAN ASAM SULFAT**

KAPASITAS 200.000 TON/TAHUN

Oleh :

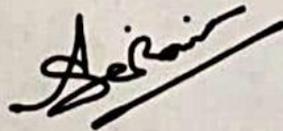
Yoga Nurhadi Setiawan

21150273D

Telah Disetujui Oleh Pembimbing

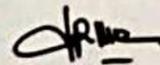
Pada Tanggal 20 Agustus 2020

Pembimbing I



Ir. Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng
NIS.01199601032053

Pembimbing II



Ir. Argoto Mahayana S.T., M.T
NIS.01199906201069

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Kimia



Gregorius Prima Indra Budianto, S.T., M.Eng
NIS.01201407261183

**LEMBAR PENGESAHAN
LAPORAN SKRIPSI**

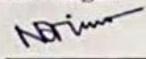
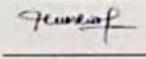
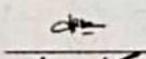
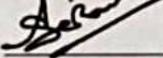
**PRARANCANGAN PABRIK KIMIA ASAM FOSFAT DARI BATUAN
FOSFAT DAN ASAM SULFAT
KAPASITAS 200.000 TON/TAHUN**

Oleh :

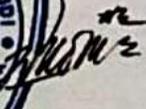
Yoga Nurhadi Setiawan

21150273D

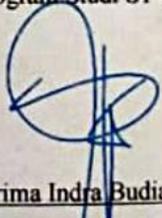
Telah Dipertahankan Oleh Tim Penguji
Pada Tanggal 20 Agustus 2020

Nama	Tanda Tangan
Penguji I : Narimo ST., MM	
Penguji II : Ir. Sumardiyono, MT	
Penguji III : Ir. Argoto Mahayana, S.T., M.T.	
Penguji IV : Ir. Dewi Astuti Herawati, S.T., MEng	

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik


Dr. Suseno, M.Si
NIS.01199408011044

Ketua Program Studi S1 Teknik Kemia

Gregorius Prima Indra Budianto, S.T., M.Eng.
NIS.01201407261183

MOTTO

- ✚ **Sepiro Gedhening Sengsoro Yen Tinompo Amung Dadi Cobo
(Seberapun Besarnya Kesengsaraan Jika Diterima Hanya Jadi Cobaan)**
- ✚ **Eling Lan Waspodo (Ingat dan Waspada)**
- ✚ **Kesempatan bukanlah hal yang kebetulan, kamu harus menciptakannya !**
- ✚ **Berpegang Teguh Kepada Prinsip Diri Sendiri, Lakukan, Jangan Mengeluh dan Nikmati Hasil Yang Telah Didapatkan**
- ✚ **Hidup ini Cuma sekali, bukan seperti Game yang bisa Diulang-ulang Kembali, Maka Disetiap Perjalanan Hidup ini Harus Memiliki Cerita dan Arti**

PERSEMBAHAN

- Sujud syukur ku persembahkan pada ALLAH yang maha kuasa, atas berkat dan rahmatNya detak jantung, denyut nadi, nafas dan putaran roda kehidupan yang telah diberikan-Nya hingga saat ini.
- Bapak dan ibu yang telah memberikan segalanya untuk putrinya dan tak pernah lelah membesarkannya dengan penuh kasih sayang, serta memberi dukungan, perjuangan, motivasi dan pengorbanan dalam hidup ini.
- Dosen-dosen Fakultas Teknik yang telah memberikan banyak pelajaran, ilmu, pengalaman, dan kesediaan waktu untuk membimbing saya hingga lulus.
- Saudara-saudara dan keluarga besar yang telah memberikan dukungan dan doa sehingga TA ini dapat terselesaikan sesuai dengan keinginan.
- Terimakasih kepada Yolanda Kharisma Setia, S.Tr Kes yang selalu Menemani dari awal hingga saat ini
- Teman saya khususnya Dwi Rahmawati, S.T, Joshua O.S, S.T, Amalina Nur Fildzah, S.T dan Teman seperjuangan Teknik Kimia 2015 yang selalu memberikan semangat sehingga TA dapat terselesaikan sesuai harapan.
- Terimakasih kepada Dede Eka Putra, S.M selaku Teman kos
- Bapak dan Ibu Kos Maju Jaya yang mau menampung saya selama di solo
- Almamaterku.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat hidayah dan petunjuknya-Nya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir prarancangan pabrik kimia ini dengan baik.

Judul Tugas Akhir ini adalah **Prarancangan Pabrik Asam fosfat dari Batuan Fosfat dan Asam Sulfat kapasitas 200.000 Ton/Tahun**. Tugas Prarancangan Pabrik Kimia merupakan tugas akhir yang harus diselesaikan oleh setiap mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi Surakarta sebagai prasyarat untuk menyelesaikan jenjang studi sarjana. Dengan tugas ini diharapkan kemampuan penalaran dan penerapan teori-teori yang telah diperoleh selama kuliah dapat berkembang dan dapat dipahami dengan baik.

Penyusunan laporan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Melalui laporan ini penyusun ingin mengucapkan 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 Teknik kimia, Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi Surakarta.
4. Ir. Dewi Astuti H, ST., M.Eng., selaku pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan dan nasehat hingga selesainya tugas akhir ini.
5. Ir. Argoto Mahayana, S.T.,M.T., selaku pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan nasehat hingga selesainya tugas akhir ini.
6. Ir. Sumardiyono, M.T., dan Narimo ,S.T , MM selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk menguji hasil laporan tugas akhir ini.
7. Bapak dan Ibu dosen jurusan teknik kimia atas ilmu dan bimbingannya selama kuliah.
8. Serta semua yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini, untuk itu saran dan kritik yang membangun dari pembaca sangat penulis harapkan. Dan semoga laporan ini bermanfaat bagi semua pihak.

Surakarta, 31 Juli 2020

Penulis

INTISARI

Prarancangan pabrik Asam Fosfat dari Batuan Fosfat dan Asam Sulfat memberikan prospek yang sangat cerah dalam dunia perindustrian. Pabrik tersebut direncanakan beroperasi selama 330 hari/tahun yang akan didirikan pada tahun 2024, lokasi pabrik berada di Gresik, yang berdekatan dengan PT. Petrokimia Gresik sebagai penyedia bahan baku dan sebagai wilayah industri. Pabrik ini beroperasi dengan kapasitas 200.000 ton/tahun, dengan pertimbangan dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri.

Pembuatan Asam Fosfat menggunakan proses Nissan yang berlangsung pada fase cair padat dengan menggunakan reaktor *batch* dengan kondisi tekanan 1 atm, suhu 90°C. Reaksi berlangsung secara *eksotermis* dan searah. Produk berupa Asam Fosfat sebesar 25252,525 kg/jam. Untuk menunjang proses produksi, maka didirikan unit pendukung yaitu unit penyediaan air *start up* sebesar 67465,72059 kg/jam dan *make up* sebesar 6746,572 kg/jam yang diambil dari PT. Krakatau Tirta. Kapasitas kebutuhan listrik *generator set* sebesar 1000 kW, bahan bakar solar total sebanyak 0,1244 m³/jam dan udara tekan sebesar 50 m³/jam.

Dari analisa ekonomi yang dilakukan terhadap pabrik ini dengan modal tetap (FCI) Rp 365.231.130.122,51 dan modal kerja Rp 607.415.275.261,67 Keuntungan sebelum pajak Rp 250.949.524.155,64 pertahun setelah dipotong pajak sebesar 30% keuntungan mencapai Rp 75.284.857.246,69 pertahun. *Return On Investment (ROI)* sebelum pajak 68,710 % dan setelah pajak 48,097 %, *Pay Out Time (POT)* sebelum pajak adalah 1,2705 tahun dan setelah pajak 1,721 tahun. *Break Even Point (BEP)* sebesar 49,148%, *Shut Down Point (SDP)* sebesar 26,560% dan *Discounted Cash Flow (DCF)* sebesar 7,875%. Dari data analisis kelayakan diatas dapat disimpulkan bahwa pabrik ini menguntungkan dan layak didirikan

Kata kunci : Asam Fosfat, Proses Nissan, Reaktor *batch*

DAFTAR ISI

COVER	
LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
MOTTO	iv
PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
INTISARI.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik	1
1.2 Kapasitas Rancangan	2
1.3 Lokasi Pabrik	5
1.4 Macam-macam Pembuatan Asam Fosfat.....	8
1.5 Manfaat Aasam Fosfat	12
1.6 Tinjauan Pustaka	13
1.7 Tinjauan Proses yang Dipilih.....	17
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	23
2.1 Spesifikasi Bahan Baku.....	23
2.2 Spesifikasi Bahan Pembantu	23
2.3 Spesifikasi Produk.....	24
BAB III METODE PENELITIAN.....	25

3.1 Langkah Proses.....	25
3.2 Diagram Air Proses	27
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Neraca Massa	28
4.2 Neraca Panas	32
BAB V PENUTUP.....	37
5.1 Silo Penyimpanan Batuan Fosfat	37
5.2 Tangki Penyimpanan Asam Sulfat.....	37
5.3 Mixer	38
5.4 Heater-01	39
5.5 Heater-02	39
5.6 Heater-03	40
5.7 Reaktor	40
5.8 Filter.....	41
5.9 Evaporator	41
5.10 Tangki Penyimpanan Asam Fosfat.....	42
5.11 Rotary Dryer.....	42
5.12 Ballmill-01	43
5.13 Ballmill-02.....	43
5.14 Scrubber	44
5.15 Screening-01	44
5.16 Screening-02.....	44
5.17 Screw Conveyor 1.....	45
5.18 Screw Conveyor 2.....	45
5.19 Bucket elevator 1	45
5.20 Bucket elevator 2	46
5.21 Bucket elevator 3	46
5.22 Belt conveyor 1	47
5.23 Belt conveyor 2.....	47

5.24 Belt conveyor 3	48
5.25 Pompa 1	49
5.26 Pompa 2	49
5.27 Pompa 3	50
5.28 Pompa 4	50
5.29 Pompa 5	51
5.30 Pompa 6	51
5.31 Pompa 7	52
5.32. Silo penyimpanan produk samping	52
BAB VI Unit Pendukung Proses (Utilitas)	54
6.1 Unit Pendukung Proses (Utilitas)	54
6.2 Unit Pengadaan Listrik	61
6.3 Unit Pengadaan Bahan Bakar	65
6.4 Unit Penyediaan Udara Terbuka	65
6.5 Unit Pengelolaan Limbah	65
6.6 Laboratorium	66
6.7 Kesehatan dan Keselamatan Kerja	68
6.8 Alat-Alat Utilitas	69
BAB VII Organisasi dan Tata Letak Pabrik	80
7.1 Bentuk Perusahaan	80
7.2 Struktur Organisasi	81
7.3 Sistem Kepegawaian dan Sistem Gaji	85
7.4 Kesejahteraan Karyawan	93
7.5 Manajemen Produksi	97
7.6 Tata Letak <i>Layout</i> Pabrik	99
7.7 Tata Letak Peralatan	103
BAB VIII Evaluasi Ekonomi	106

8.1 Perhitungan Biaya	109
BAB IX Kesimpulan	119
DAFTAR PUSTAKA	120
LAMPIRAN	123

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Data Impor Asam Fosfat Tahun 2016-2018	2
Tabel 1.2	Daftar Pabrik Asam Fosfat Luar Negeri	4
Tabel 1.3	Data Kelebihan dan kekurangan tiap proses basah	11
Tabel 4.1	Neraca Massa Disekitar <i>Mixer</i>	29
Tabel 4.2	Neraca Massa Disekitar Reaktor	30
Tabel 4.3	Neraca Massa Disekitar <i>Filter</i>	30
Tabel 4.4	Neraca Massa Disekitar <i>Dryer</i>	31
Tabel 4.5	Neraca Massa Disekitar Evaporator	32
Tabel 4.6	Perhitungan <i>Screening</i>	32
Tabel 4.7	Kapasitas Panas Cairan	33
Tabel 4.8	Neraca Panas Disekitar <i>Mixer</i>	33
Tabel 4.9	Neraca Massa Disekitar <i>Heater</i>	34
Tabel 4.10	Neraca Massa Disekitar Reaktor	34
Tabel 4.11	Neraca Massa Disekitar Evaporator	35
Tabel 4.12	Neraca Massa Disekitar <i>Dryer</i>	35
Tabel 6.1	Kebutuhan Air Proses	56
Tabel 6.2	Kebutuhan Air Pendingin	56
Tabel 6.3	Kebutuhan Air <i>Sanitasi</i>	57
Tabel 6.4	Kebutuhan Air untuk <i>Steam</i>	58
Tabel 6.5	Kebutuhan Air <i>Make Up</i>	59
Tabel 6.6	Konsumsi Listrik untuk Keperluan Proses	61
Tabel 6.7	Konsumsi Listrik untuk Keperluan <i>Utilitas</i>	63
Tabel 7.1	Daftar Gaji Karyawan	87

Tabel 7.2 Luas Bangunan Pabrik.....	101
Tabel 8.1 <i>Cost Index Chemical Plant</i>	107
Tabel 8.2 <i>Total Fixed Capital Investment</i>	111
Tabel 8.3 <i>Working Capital</i>	112
Tabel 8.4 <i>Manufacturing Capital</i>	112
Tabel 8.5 <i>General Expenses</i>	113
Tabel 8.6 <i>Fixed Cost</i>	115
Tabel 8.7 <i>Variabel Cost</i>	115
Tabel 8.8 <i>Regulated Cost</i>	116
Tabel 9.1 Analisis Kelayakan Ekonomi	119

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Kebutuhan Impor di Indonesia.....	3
Gambar 1.2 Peta Administrasi Kab. Gresik Provinsi Jawa Timur.....	6
Gambar 3.1 Diagram Air Proses	27
Gambar 6.1 Pengolahan air dan utilitas	79
Gambar 7.1 Jadwal Karyawan	92
Gambar 7.2 Struktur Organisasi Industri	96
Gambar 7.3 Tata Letak Pabrik	102
Gambar 7.4 Tata Letak Peralatan.....	105
Gambar 8.1 Hubungan Tahun dengan <i>Cost Index</i>	108
Gambar 8.2 Ekonomi	117

DAFTAR LAMPIRAN

Neraca Massa Basic	123
Neraca Massa Aktual	130
Neraca Panas	137
<i>Silo</i> Batuan Fosfat	149
<i>Silo Gypsum</i>	172
<i>Ballmill</i>	194
<i>Scrubber</i>	197
<i>Bucket Elevator</i>	201
<i>Screw Conveyor</i>	202
<i>Belt Conveyor</i>	204
Pompa.....	206
Gudang	211
<i>Utilitas</i>	213
Ekonomi Teknik.....	234



LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai mahasiswa Universitas Setia Budi, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Yoga Nurhadi Setiawan
NIM : 21150273D
Fakultas/Jurusan : TEKNIK / S1 TEKNIK KIMIA
E-mail address : setiawan.yoga884@gmail.com

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan Universitas Setia Budi, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah :

KTI Skripsi Tesis PKPA PKL/KKL

yang berjudul *) :

Prarancangan Pabrik Kimia Asam fosfat dan Batuan fosfat dan asam sulfat Kapasitas 200.000 ton/tahun.

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan Universitas Setia Budi berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain *) :

secara *fulltext*
 hanya sebatas cantuman bibliografi dan abstrak, karena _____

untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Setia Budi, segala bentuk tuntutan yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

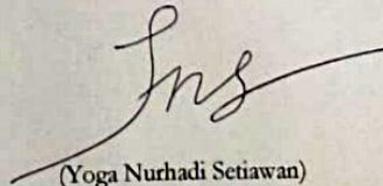
Dibuat di : Kost Yoga (Cang Jolpati, Kampung Jenengan, Magelang)
Pada tanggal : 24 Agustus 2020

Pembimbing I



(Ir. Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng)

Penulis



(Yoga Nurhadi Setiawan)

Dibuat rangkap 2, untuk penulis dan perpustakaan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara agraris dan memiliki sumber daya alam yang sangat melimpah, sehingga titik berat pembangunan Indonesia menuju era globalisasi dititik beratkan pada pembangunan sektor pertanian. Pembangunan sektor pertanian guna memenuhi swasembada pangan dalam negeri. Salah satu usaha intensifikasi pertanian dapat dilakukan dengan cara penyuburan lahan pertanian yang sebagian besar lahan Indonesia merupakan lahan asam, oleh karena itu dibutuhkan pupuk dalam jumlah besar.

Peningkatan kebutuhan pupuk tersebut akan meningkatkan kebutuhan asam fosfat yang merupakan salah satu bahan baku pembuatan pupuk. Peranan fosfat yang terpenting bagi tanaman adalah memacu pertumbuhan akar dan pembentukan sistem perakaran serta memacu pertumbuhan generatif tanaman. Pemenuhan kebutuhan pupuk dapat dilakukan dengan cara pendirian pabrik pupuk. Salah satu pupuk yang banyak digunakan Indonesia adalah pupuk Fosfat seperti TSP, SP-36, NPK, DSP, dan pupuk fosfat lainnya. Selain digunakan untuk industri pupuk, asam fosfat juga digunakan dalam industri tekstil, industri gelas, dan industri ester organik. Meningkatnya kebutuhan pupuk Fosfat mengakibatkan peningkatan kebutuhan asam Fosfat yang merupakan bahan dasar pupuk Fosfat.

Asam fosfat yang dibutuhkan Indonesia saat ini dipenuhi dari PT. Petrokimia Gresik yang memiliki kapasitas produksi 288.000 ton / tahun (Annual Report 2017). Kapasitas tersebut belum dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri yang mecapai 600.000 ton / tahun sehingga guna memenuhi kebutuhan tersebut dibutuhkan impor dari Yordania sebanyak 400.000 ton / tahun. (Badan Pusat Statitik)

Angka impor asam fosfat yang besar mengakibatkan anggaran APBN besar, hal tersebut dapat meganggu stabilitas ekonomi dalam negeri. Guna mengatasi hal tersebut, maka perlu didirikan pabrik asam fosfat di Indonesia. Pendirian

pabrik asam fosfat diharapkan menjadi solusi pemenuhan kebutuhan asam fosfat yang besar sehingga tidak diperlukan mengimpor.

1.2 Kapasitas Rancangan

Kapasitas pabrik asam fosfat yang akan didirikan dapat ditentukan dengan berbagai pertimbangan sebagai berikut :

1.2.1 Kebutuhan Asam Fosfat di ASEAN

Kebutuhan asam fosfat dalam negeri selama ini dipenuhi dari PT. Petrokimia Gresik dan luar negeri yaitu Yordania. Kebutuhan asam fosfat selama ini banyak dipenuhi dari impor dengan kapasitas impor kebutuhan asam fosfat dalam negeri dan ASEAN dapat di lihat pada tabel berikut :

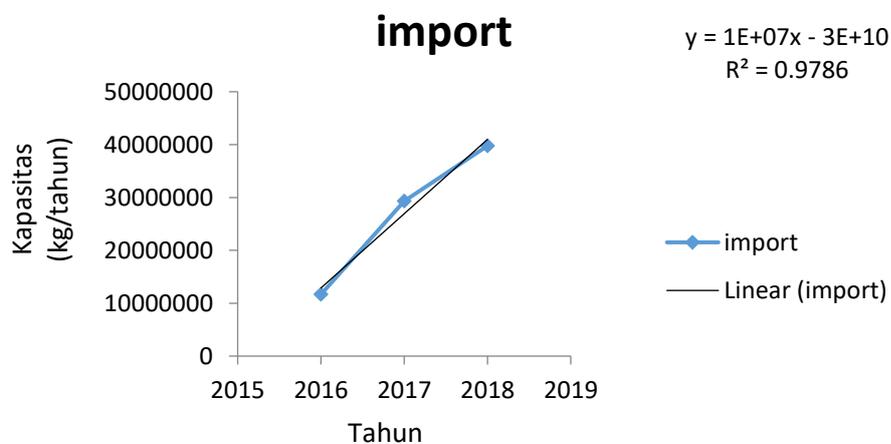
Tabel 1 Data impor asam fosfat tahun 2016-2018

No.	Negara	Tahun	Impor (ton/tahun)
1	Brunei Darussalam	2016	67,674
		2017	67,144
2	Filipina	2016	11.334,411
		2017	25.537,934
		2018	63.288,192
3	Indonesia	2016	11.679,273
		2017	29.321,813
		2018	39.771,424
4	Malaysia	2016	16.630,756
		2017	17.047,554
5	Myanmar	2016	1.563,848
		2017	458,769

6	Singapore	2016	9.514,266
		2017	11.804,278
7	Thailand	2016	96.137,757
8	Vietnam	2016	9.386,760
		2017	10.261,631

(Badan Pusat Statistik, 2018)

Dari Tabel 1.1 terlihat kebutuhan asam fosfat setiap tahunnya mengalami kenaikan. Maka dari itu, kebutuhan impor asam fosfat di Indonesia pada tahun 2023 dapat dinyatakan pada gambar dibawah ini dengan cara regresi linier dari data di atas. Regresi linier untuk data impor ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Grafik kebutuhan impor di Indonesia

Dari Gambar 1. dapat diperoleh persamaan $y = 1E+07x - 3E+10$, sehingga untuk tahun 2023 diperkirakan kebutuhan asam fosfat 111.200.623 kg/tahun atau 111.200,623 ton/tahun

1.2.2 Ketersediaan Bahan Baku

Beberapa industri di Indonesia yang memproduksi asam sulfat antara lain :

- a. PT Petrokimia Gresik, kapasitas produksi : 1.200.000 ton/tahun.
- b. PT Indonesi Acids, kapasitas produksi : 82.500 ton/tahun
- c. PT Mahkota Indonesia, kapasitas produksi : 45.000 ton/tahun.

Sedangkan untuk batuan fosfat diperoleh dari DIVINE MINERALS & CHEMICALS India, keputusan ini berdasarkan alasan sebagai berikut :

- a. Dapat menekan biaya transportasi bahan ke dalam pabrik, karena lokasi batuan fosfat yang dekat yaitu di India,
- b. Batuan fosfat lokal tersebut mengandung kadar P_2O_5 sebesar 33% sedangkan batuan fosfat yang layak digunakan minimal mengandung 32-38%

1.2.3 Kapasitas Komersial

Untuk mencukupi kebutuhan asam fosfat dalam negeri, maka Indonesia melakukan impor dari negara luar yaitu, Amerika dan Yordania. Kapasitas produksi asam fosfat di dalam dan diluar negeri sebagai berikut :

Tabel 2 Daftar Pabrik asam fosfat didalam dan diluar negeri

Negara	Pabrik	Kapasitas (kg/thn)
Indonesia	PT. Petrokimia	288.000
Amerika	PT. Lousiana	100.00
Amerika	Albightand Wilson	155.00
Yordania	Yordania, Ltd	410.00

(Badan Pusat Statistik, 2017)

Berdasarkan Tabel 2, data pabrik yang telah ada dan data impor dari Badan Pusat Statistik, maka Kapasitas Prarancangan Pabrik Kimia Asam Fosfat dari Batuan Fosfat dan Asam Sulfat adalah 200.000 ton/tahun dan akan didirikan pada tahun 2023, diharapkan pembangunan pabrik ini dapat mengurangi impor asam fosfat

1.3 Penentuan lokasi pabrik

Pemilihan lokasi pabrik menjadi hal yang sangat penting, dikarenakan hal ini berkaitan langsung dengan nilai ekonomis penjualan produk dan pemasukan bahan baku serta dalam segi operasional. Pabrik Asam Fosfat dari batuan fosfat dan asam sulfat ini direncanakan akan didirikan didaerah Gresik, Jawa Timur. Pemilihan lokasi tersebut berdasarkan faktor-faktor berikut :



Gambar 2 Peta Wilayah Gresik, Jawa Timur

1.3.1 Faktor Primer

a. Penyediaan Bahan Baku.

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan Asam Fosfat adalah batuan Fosfat dan Asam Sulfat, untuk bahan baku Asam Sulfat dapat diperoleh dari PT Petrokimia Gresik dan batuan Fosfat diperoleh dari DIVINE MINERALS & CHEMICALS, India

b. Pemasaran Produk.

Gresik merupakan kawasan industri yang sebagian besar membutuhkan Asam Fosfat salah satunya PT Petrokimia Gresik yang memproduksi pupuk Fosfat dalam jumlah besar.

c. Sarana Transportasi

Sarana dan prasarana transportasi sangat diperlukan dalam penyediaan bahan baku dan pemasaran produk. Gresik merupakan daerah yang strategis memiliki jalur darat yang baik serta dekat dengan pelabuhan sehingga mempermudah dalam pemasaran produk ke luar Jawa.

d. Tenaga Kerja

Tenaga kerja yang terampil di bidangnya mutlak diperlukan guna kelangsungan kehidupan pabrik. Tenaga kerja dapat di peroleh dari daerah Jawa Timur dan sekitarnya.

e. Penyediaan Utilitas.

Ketersediaan sarana pendukung seperti air dan listrik guna proses industri harus diperhatikan. Kebutuhan air dapat diperoleh dari sungai Berantas yang memiliki debit air besar dengan fluktuasi antara musim kemarau dan musim hujan yang kecil. Listrik dapat diperoleh dari PLN dan generator sebagai cadangan bila PLN ada gangguan.

1.3.2 Faktor Sekunder

a. Kawasan Industri.

Gresik merupakan kawasan industri sehingga akomodasi keperluan kelangsungan proses produksi telah tersedia dengan baik, seperti: lingkungan, energi, sarana transportasi, dan sosial.

b. Karakteristik Lokasi.

Gresik memiliki karakter iklim yang baik, merupakan daerah non rawan banjir, serta memiliki kondisi sosial masyarakat yang baik.

c. Kebijakan Pemerintah.

Pendirian pabrik perlu mempertimbangkan beberapa faktor kepentingan yang terkait meliputi: kebijaksanaan pengembangan industri

dengan pemerataan kesempatan kerja, kesejahteraan, dan hasil-hasil pembangunan. Selain itu pabrik yang didirikan harus berwawasan lingkungan yang artinya keberadaan pabrik tersebut tidak mengganggu atau merusak lingkungan sekitarnya. Berdasarkan pertimbangan faktor – faktor di atas, maka lokasi pendirian pabrik Asam Fosfat ditempatkan di Gresik, Jawa Timur.

1.4 Tinjauan Pustaka

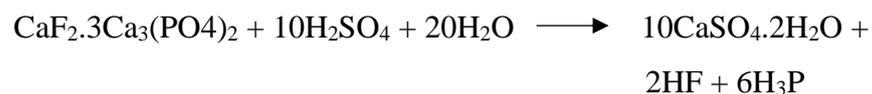
1.4.1 Macam-macam proses pembuatan asam fosfat

a. Metode basah

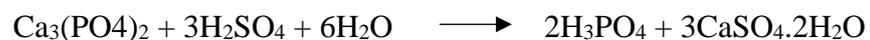
Proses basah banyak digunakan karena meningkatnya permintaan terhadap pupuk tripel superphospat yang berkadar fosfat tinggi, ammonium, dan dikalsium fosfat. Jauh sebelum itu, kebanyakan asam orthophospat dibuat dengan reaksi asam sulfat encer, dengan sumber fosfat berupa serbuk batuan fosfat atau tulang (Austin, 1996).

Proses utama yang digunakan untuk pembuatan asam fosfat proses basah adalah dengan menggunakan asam sulfat.

Reaksi pokok adalah :



atau secara sederhana



Pada proses basah ini, asam sulfat yang digunakan berkadar 98% dan suhu reaksi tidak boleh terlalu tinggi agar zat yang terendapkan adalah *gypsum*, dan bukan anhidritnya. Jika anhidrit terbentuk ia akan terhidrasi kemudian dapat menyebabkan timbulnya kerak yang akan mengganggu jalanya proses reaksi (Austin, 1996).

Proses basah telah dikembangkan menjadi beberapa macam diantaranya sebagai berikut (MC.ketta, 1983):

a) Proses *Prayon Dihidrat*

Proses pembuatan asam fosfat dengan metode ini dilakukan dari proses dihidrat yang dikembangkan oleh *Prayon* dari Belgia. Perkembangan teknologi proses selanjutnya diutamakan pada agitasi dan pola aliran *slurry* yang saat ini digunakan *filter vacum tilting pan* yang dikembangkan oleh *Prayon* dan *America Bird Machine Co.* Filtrasi yang baik dicapai melalui semakin banyak kristal yang hilang. Proses dapat operasikan pada semua jenis batuan fosfat.

b) Proses *Jacob Dorr Dihidrat* .

Proses ini banyak digunakan di Amerika Serikat dengan produksi asam fosfat lebih dari 3 juta ton per tahun. Proses ini menggunakan reaktor yang terdiri atas dua reaktor berbentuk silinder dengan pendingin *vacum*. Menggunakan batuan basah yang telah dihancurkan dan asam sulfat 98% proses ini dapat menggunakan beberapa macam *vacum filter*. Asam fosfat yang dihasilkan memiliki kadar 29-31% P_2O_5 .

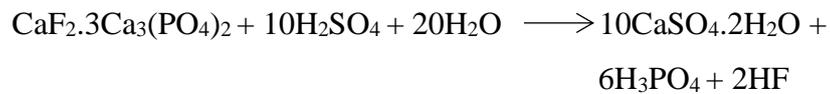
c) Proses *Central Prayon Dihidrat* .

Proses *Central-Prayon* merupakan gabungan antara proses *prayon* dengan proses *central glass*. Dengan proses ini dihasilkan asam fosfat berkapasitas 750.000 ton per tahun. Proses ini dioperasikan berdasarkan kondisi dimana kristal dihidrat yang dihasilkan setelah proses filtrasi yang kemudian dikristalkan kembali. Proses rekristalisasi dijalankan pada kondisi 85 °C. Pemanasan dipenuhi dengan adanya *steam* dan juga panas reaksi dengan asam sulfat dengan kadar 10-15%.

d) Proses *nissan*

Proses pembuatan asam fosfat dilakukan dengan mencampurkan batuan fosfat dan asam sulfat. Batuan fosfat terlebih dahulu dicampur dengan air didalam mixer kemudian dialirkan ke dalam reaktor bersama dengan asam sulfat dari tangki yang berbeda.

Proses reaksi dan kristalisasi *hemihydrat* dijaga pada kondisi 85-105°C. Slurry yang terbentuk kemudian di pisahkan di filter pada temperatur 70°C untuk menghasilkan kristal dihidrat dan konversi P₂O₅ sebanyak 98%. Adanya proses rekristalisasi menjadi dihidrat dimaksudkan untuk menjaga kualitas *gypsum* yang dihasilkan. Biasanya berkapasitas sedang, dan juga merupakan proses yang paling banyak digunakan.



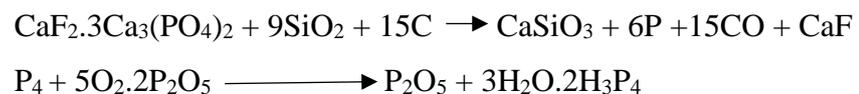
Tabel 3. Data Kelebihan dan kekurangan tiap proses basah

Proses	Keuntungan	Kekurangan
<i>Prayon dihidrat</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Proses sederhana • Biaya awal rendah 	<ul style="list-style-type: none"> • Konsentrasi asam rendah (28-32)% • Konversi P₂O₅ (95-96)%
<i>Jacob dorr Dihidrat</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Konsentrasi asam Tinggi • Konversi P₂O₅ (98-98,5)% • <i>Gypsum</i> berkualitas tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya awal pabrik tinggi • Tidak fleksibel terhadap jenis batuan umpan. • Masalah pada unit filtrasi.
<i>Central prayon dihidrat</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Konversi P₂O₅ (98-99)% • <i>Gypsum</i> berkualitas tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> • Perlu proses pemurnian asam. • Perlu unit pengiling batuan fosfat • Tidak fleksibel terhadap batuan umpan.
<i>Nissan</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Proses telah banyak digunakan. • Slurry <i>gypsum</i> mudah difiltrasi. • Konversi P₂O₅ 98% 	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya investasi dan operasi bertambah. • Adanya unit pengilingan batuan dan pemekatan asam fosfat (30-32)%

e) Proses Tanur listrik

Pada Proses tanur listrik, asam fosfat pertama kali diproduksi dalam skala komersial kecil-kecilan melalui pengolahan tulang kalsinasi dengan asam sulfat, kemudian menyaring asam phospat yang terjadi dan menguapkannya sehingga berat jenisnya 1,45. Zat itu lalu dicampur dengan arang atau kokas, lalu dipanaskan lagi dan air nya diuapkan, kemudian dikalsinasi pada suhu tinggi di dalam reactor. Oleh karena itu, phospat akan terdestilasi keluar kemudian dikumpulkan dibawah air dan dimurnikan dengan mendestilasikan kembali (Austin,1996).

Proses pembuatan asam fosfat dengan proses tanur listrik dikerjakan dengan menggunakan *silica* dan *coke* (batu bara) dengan perbandingan mol yang sesuai didalam persamaan reaksinya. Reaksi dilaksanakan dalam sebuah *furnace* pada temperatur 1600°C. Pada temperatur ini akan dibebaskan P₂O₅, dimana P₂O₅ ini kemudian direduksi dengan *coke* yang berpijar menjadi phosphor. Reaksi pada proses ini diteruskan dengan oksidasi dan hidrasi. Asam fosfat yang dihasilkan dari proses ini mempunyai kemurnian lebih tinggi.



Gas P₄ dibakar dengan udara dan oksida yang dihasilkan selanjutnya direaksikan dengan air untuk mendapatkan H₃PO₄ dengan metode tungku listrik dapat dihasilkan asam fosfat dengan kadar kemurnian kurang lebih 85%, dimana kandungan P₂O₅ sebanyak 75%. (Austin, 1996).

Melihat keuntungan dan kerugian yang ada pada tabel 3, maka pada perancangan ini digunakan proses *Nissan* dengan alasan sebagai berikut:

1. Lebih ekonomis karena konversi perolehan P_2O_5 tinggi.
2. Hasil samping yang berupa *gypsum* mempunyai nilai komersial yang tinggi.
3. Kondisi operasi pabrik stabil.

1.5 Manfaat Asam fosfat

Asam Fosfat banyak digunakan pada berbagai industri diantaranya (Shreve, 1995):

a. Industri Bahan Makanan.

Penggunaan Asam Fosfat pada industri ini hanya berkisar 5%, asam fosfat digunakan sebagai pengawet makanan dan pemberi rasa pada minuman.

b. Industri Tekstil.

Pada industri ini asam Fosfat digunakan sebagai pemberi warna cerah dan memperbaiki sistem ikatan benang pintal. Industri ini membutuhkan asam Fosfat sebanyak 5%

c. Industri Gelas dan Ester Organik.

Asam Fosfat digunakan sebagai pembuat bening gelas. Sedangkan pada industri Esterorganik digunakan sebagai plasticier.

d. Industri Pupuk.

Asam Fosfat banyak digunakan pada industri ini yaitu sekitar 83%, pada industri ini asam Fosfat digunakan sebagai bahan dasar pupuk Fosfat diantaranya NPK, pupuk trisuperfosfat (SP-36), TSP.

1.6 Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku dan Produk

A. Bahan baku

1. Batuan fosfat

a. Sifat fisis :

Rumus Molekul	: $CaF_2 \cdot 3Ca_3(PO_4)_2$
Warna	: tidak berwarna/merah/putih
BM	: 141940 (g/mol)
Wujud	: padat
Titik didih	: 550 K (277^0C)

Titik leleh : 317,3 K (44,2⁰C)

Densitas : 3,02 gr/cm³

b. Sifat kimia :

Dengan penambahan asam sulfat akan terbentuk asam fosfat dan *gypsum*



(www.indonesia.alibaba.com)

2. Asam sulfat

a. Sifat fisis :

Rumus Molekul : H₂SO₄

Berat molekul : 98,0774 g/gmol

Wujud : Cair

Densitas : 1,837 g/cm³

Titik lebur : 10,36⁰C

Titik didih : 338⁰C

Kemurnian : 98% berat

Impuritas : 2% berat

b. Sifat Kimia

a) Dengan basa membentuk garam dan air.

Reaksi:



b) Dengan alkohol membentuk eter dan air.

Reaksi:



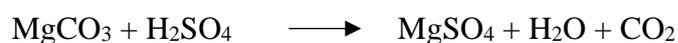
c) Bereaksi dengan NaCl

Reaksi:



d) Bereaksi dengan MgCO₃ membentuk MgSO₄

Reaksi:



e) Korosif terhadap semua logam.

(PT. Petrokimia Gresik, 2017)

3. Air

Rumus Molekul	: H ₂ O	
Berat molekul (g/gmol)	: 18	
Kenampakan	: cair	
Densitas (g/cm ³)	: 1	
Titik didih	: 100°C	(Perry's, 2008)

B. Produk Utama

1. Asam Fosfat

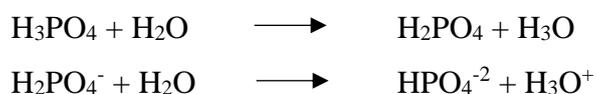
a. Sifat Fisis

Rumus molekul	: H ₃ PO ₄
Berat molekul	: 97,9951 g/gmol
Wujud	: cairan tidak berwarna
Densitas	: 1,685 g/cm ³
Titik leleh	: 42°C
Titik didih	: 213°C
Kemurnian	: 95%

Larut dalam alkohol dan air

b. Sifat Kimia

Merupakan asam tribasa, pelepasan ion hidrogen yang pertama adalah ionisasi yang paling cepat. Ionisasi kedua adalah sedang dan yang ketiga sudah lambat. Hal ini bisa dilihat dari ketetapan penguraian ionisasi:





Asam fosfat lebih kuat daripada asam asetat, asam oksalat dan asam borak, tetapi lebih lemah dibandingkan asam nitrat, asam sulfat dan asam klorida.

(PT. Petrokimia Gresik, 2017)

C. Produk Samping

1. Gypsum

a. Sifat Fisis :

Rumus molekul	: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Berat molekul	: 172,1722 g/gmol
Wujud	: serbuk putih
Titik lebur	: 1450°C
Titik didih	: 2850°C
<i>Specific gravity</i>	: 2,32-2,96

b. Sifat Kimia :

Pada temperatur 170°C akan terbentuk anhidrit.

Reaksi:



(PT. Petrokimia Gresik, 2017)

1.7 Tinjauan proses secara umum

a) Dasar reaksi, konversi

Reaksi antara batuan fosfat (*fluorapatite*) dengan asam sulfat sebagai berikut :



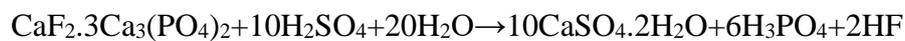
Batuan fosfat adalah senyawa kompleks, yang mengandung kalsium, fosfat, flouride dan elemen atau grup yang lain dan terikat bersama-sama di dalam latice kristal. Jika batuan direaksikan dengan asam mineral yang kuat, maka latice kristal dipecah dan kandungan fosfat akan terlarut sebagai asam fosfat

b) Kondisi operasi

Dalam pembuatan asam fosfat ini digunakan proses sintesis dengan bahan baku batuan fosfat dan asam sulfat yang direaksikan dalam Reaktor Tangki Berpengaduk (RTB) pada kondisi operasi yang optimal dengan suhu 90°C, tekanan 1 atm. Konsentrasi asam sulfat 98% dan waktu tinggal 90 menit menghasilkan konversi 95%.

c) Mekanisme reaksi

Reaksi utama yang terjadi pada reaktor, yaitu :



a. Tinjauan Thermodinamika

Mekanisme reaksi yang terjadi pada reaktor adalah :



Harga ΔH_f pada suhu 298K (25°C) sebagai berikut :

Komponen	ΔH_f (KJ/mol), 298K
$\text{CaF}_2 \cdot 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	-640.152
H_2SO_4	-735.13
H_2O	-241.80
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	-2005.52
H_3PO_4	-1288
HF	-273.30

(Perry dan Yaws 1999)

$$\begin{aligned} \Delta H_f^{\circ} 298 \text{ K} &= \Delta H_f^{\circ} \text{ produk} - \Delta H_f^{\circ} \text{ reaktan} \\ &= (\Delta H_f^{\circ} \text{ batuan fosfat} + \Delta H_f^{\circ} \text{ asam sulfat} + \Delta H_f^{\circ} \text{ air}) - (\Delta H_f^{\circ} \text{ gypsum} + \Delta H_f^{\circ} \text{ asam fosfat} + \Delta H_f^{\circ} \text{ hidrogen flourida}) \\ &= ((-2005.52) + (-1288) + (-273.30)) - ((-640.152) + (-735.13) + (-241.80)) \end{aligned}$$

$$= (-3566.82) - (-1617.082)$$

$$= -1949.738 \text{ kJ/mol}$$

Menghitung ΔH_f° pada $T=363,15\text{K}$ (90°C) adalah sebagai berikut:

Komponen	C_p (J/mol.K)
$\text{CaF}_2 \cdot 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	23.320
H_2SO_4	220.4
H_2O	75.55
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	195.94
H_3PO_4	164.63
HF	29.13

(Perry dan Yaws, 1999)

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{reaktan } 363.15} &= \sum C_p \cdot \Delta T \\ &= (23.320 \times (363.15-298)) + (220.4 \times (363.15-298)) + \\ &\quad (75.55 \times (363.15-298)) \\ &= 20800.44 \text{ J/mol} \\ &= 20.8 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{produk } 363.15} &= \sum C_p \cdot \Delta T \\ &= (195.94 \times (363.15-298)) + (164.63 \times (363.15-298)) \\ &\quad + (29.13 \times (363.15-298)) \\ &= 25388.95 \text{ J/mol} \\ &= 25.388 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{r363.15} &= \Delta H_{\text{produk } 363.15} + \Delta H_f^\circ_{298 \text{ K}} - \Delta H_{\text{reaktan } 363.15} \\ &= (25.388 + (-1949.738)) - 20.8 \text{ kJ/mol} \\ &= -1945.15 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan $\Delta H_{r363,15\text{K}}$ maka dapat disimpulkan bahwa reaksi berjalan secara eksotermis (menghasilkan panas) karena harga $\Delta H_{r363,15 \text{ K}}$ yang diperoleh negatif.

Harga ΔG_f^0 untuk masing-masing komponen (suhu 298 K) sebagai berikut

Komponen	ΔG_f^0 (kJ/mol.K)
$\text{CaF}_2 \cdot 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	-12.5
H_2SO_4	-653.47
H_2O	-228.60
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	-1780.16
H_3PO_4	-1123.6
HF	-270.40

(Yaws, 1999)

$$\begin{aligned}
 \Delta G_r &= \sum \Delta G_{\text{produk}} - \sum \Delta G_{\text{reaktan}} \\
 &= (\Delta G_f^0 \text{ Gypsum} + \Delta G_f^0 \text{ HF} + \Delta G_f^0 \text{ asam fosfat}) - (\Delta G_f^0 \text{ batuan fosfat} + \\
 &\quad \Delta G_f^0 \text{ asam sulfat} + \Delta G_f^0 \text{ air}) \\
 &= (-1780.16 + (-270.40) + (-1123.6)) - (-12.5 + (-653.47) + \\
 &\quad (-228.60)) \\
 &= (-3174.16) - (-894.57) \\
 &= -2279.59 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan-perhitungan diatas didapatkan:

Di Reaktor :

$$\Delta H_{f 298} \text{ (Enthalpi reaktan)} = -1949.738 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{r 363,15} \text{ (Enthalpi reaktan)} = -1945.15 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_r \text{ (Energi bebas)} = -2279.59 \text{ kJ/mol}$$

Menghitung harga konstanta keseimbangan pada suhu 25°C (298 K)

$$\Delta G = -RT \ln K_{298 \text{ K}}$$

$$\begin{aligned}
 \ln K_{298 \text{ K}} &= \frac{\Delta G}{-RT} \\
 &= \frac{-2279,63}{-8,314 \times 298} \\
 &= 0.9201
 \end{aligned}$$

$$K_{298\text{ K}} = 2.5095$$

Menghitung harga konstanta keseimbangan pada suhu 100°C (363,15K)

$$\ln\left(\frac{K_{363,15}}{K_{298}}\right) = \frac{\Delta H_f 298\text{ K}}{R} \times \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)$$

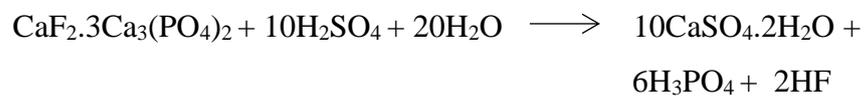
$$\ln\left(\frac{K_{363,15}}{2.5095}\right) = \frac{-1949,738}{8.314} \left(\frac{1}{363.15} - \frac{1}{298}\right)$$

$$\frac{K_{363,15}}{2.5095} = \exp(0,1412)$$

$$K_{373} = 2.89$$

b. Tinjauan kinetika

Mekanisme reaksi pembentukan asam fosfat



Diketahui : $X_a = 98\% = 0,98$

$T = 72$ menit



Mula-mula	Ca_0		Cb_0	
Reaksi	$\text{Ca}_0 \cdot X_a$		$\text{Ca}_0 \cdot X_a$	$\text{Ca}_0 \cdot X_a$
Sisa	$\text{Ca}_0(1-X_a)$		$\text{Cb}_0 - \text{Ca}_0 \cdot X_a$	$\text{Ca}_0 \cdot X_a$

- Batuan Fosfat 33%

Berat Molekul : $141,94 \frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}} = 141940 \frac{\text{gram}}{\text{mol}}$

Ca_0 : $33 \frac{\text{gram}}{100\text{ml}} \times 141940 \frac{\text{gram}}{\text{mol}}$

: $33 \frac{\text{gram}}{100\text{ml}} : 141940 \frac{\text{mol}}{\text{gram}}$

: $0,002325 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$

Ca : $\text{Ca}_0(1-X_a)$

: $0,002325 (1-0,98)$

: $0,0000465 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$

- Asam Sulfat 98%

Berat Molekul : $98,08 \frac{\text{gram}}{\text{mol}}$

$$\begin{aligned}
 C_{b0} & : 98 \frac{\text{gram}}{100\text{ml}} \times 98,08 \frac{\text{gram}}{\text{mol}} \\
 & : 98 \frac{\text{gram}}{100\text{ml}} : 98,08 \frac{\text{mol}}{\text{gram}} \\
 & : 9,9918 \frac{\text{mol}}{\text{L}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_b & : C_{b0} - C_{a0} \cdot X_a \\
 & : 9,9918 - 0,002325 \cdot 0,98 \\
 & : 9,9895 \frac{\text{mol}}{\text{L}}
 \end{aligned}$$

❖ Orde 2

- $(-r_a) = k \cdot C_a \cdot C_b$
- $-\frac{dC_a}{dt} = k \cdot C_a \cdot C_b$
- $-\frac{dC_a}{dt} = k(C_{a0} - C_{a0} \cdot X_a)(C_{b0} - C_{a0} \cdot X_a)$
- $M = C_{b0}/C_{a0}$
- $(-r_a) = k \cdot C_a^2 (1 - X_a)(M - X_a)$

$$\int_0^{X_a} \frac{dX_a}{(1 - X_a)(M - X_a)} = C_{a0} k \int_0^t dt$$

$$\ln \frac{C_b \cdot C_{a0}}{C_{b0} \cdot C_a} = C_{a0} \cdot k \cdot t$$

$$\ln \frac{9,9895 \times 0,002325}{9,9918 \times 0,0000465} = 0,002325 \times 72k$$

$$k = 23,36$$

kemudian nilai k dimasukkan di persamaan *Levenspiel*

$$\frac{V}{FV} = \frac{X_a}{(-r_a)}$$

$$t' = \frac{X_a}{-r_a}$$

$$t' = \frac{X_a}{k C_a C_b}$$

$$= \frac{0,98}{(23,36)(0,0000465)(9,9895)}$$

$$= 90 \text{ menit}$$