

**LAPORAN SKRIPSI**  
**PRARANCANGAN PABRIK DINATRIUM FOSFAT HEPTAHIDRAT DARI**  
**NATRIUM KLORIDA DAN ASAM FOSFAT**  
**KAPASITAS 30.000 TON/TAHUN**



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

**Oleh :**

**Esther Mutiara Santallum Ekklesia Tibalia**

**22160304D**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SETIA BUDI**

**SURAKARTA**

**2020**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

**PRARANCANGAN PABRIK DINATRIUM FOSFAT HEPTAHIDRAT  
DARI NATRIUM KLORIDA DAN ASAM FOSFAT  
KAPASITAS 30.000 TON/TAHUN**

Oleh :

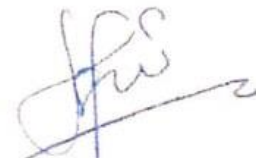
**Esther Mutiara Santallum Ekklesia Tibalia**

**22160304D**


Telah Disetujui Oleh Pembimbing

Pada Tanggal.....

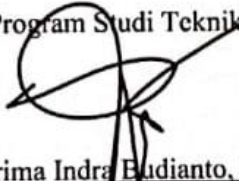
Pembimbing I

  
Dr. Supriyono, ST., MT.  
NIS.01199508011049

Pembimbing II

  
Gregorius Prima Indra Budianto, ST., M.Eng.  
NIS.01201407261183

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Kimia

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

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**LAPORAN TUGAS AKHIR**

**PRARANCANGAN PABRIK DINATRIUM FOSFAT HEPTAHIDRAT**  
**DARI NATRIUM KLORIDA DAN ASAM FOSFAT**  
**KAPASITAS 30.000 TON/TAHUN**




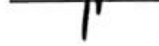
Oleh :

**Esther Mutiara Santallum Ekklesia Tiballa**

**22160304D**

Telah Dipertahankan Oleh Tim Penguji

Pada Tanggal .....

Nama	Tanda Tangan
Penguji I : Ir. Argoto Mahayana, S.T., M.T.	
Penguji II : Ir. Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng	
Penguji III : Dr. Supriyono, ST., MT.	
Penguji IV : Gregorius Prima Indra Budiarto, S.T., M.Eng.	

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Suseno, M.Si.  
NIS.01199408011044

Kepala Program Studi



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

## ♥ MOTTO ♥

- ✚ "Karena masa depan sungguh ada, dan harapanmu tidak akan hilang (Amsal 23:18)"
- ✚ "Terus belajar dan berkembang. Itu saja impianku (Maudy Ayunda)"

## ♥ PERSEMBAHAN ♥

- ✚ Puji syukur ku persembahkan pada Tuhan, atas berkat dan rahmatNya detak jantung, denyut nadi, nafas dan putaran roda kehidupan yang telah diberikan-Nya hingga saat ini.
- ✚ Papa dan mama ku di Dunia yang telah memberikan segalanya buat putri kecilnya ini dan tak pernah lelah membesarkannya dengan penuh kasih sayang, serta memberi dukungan, perjuangan, motivasi dan pengorbanan dalam hidup ini.
- ✚ Adikku tercinta, Shalom yang memberikan dukungan, semangat dan selalu mengisi hari-hariku dengan canda tawa dan kasih sayangnya.
- ✚ 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.
- ✚ Teman-teman seperjuangan Teknik Kimia 2016 yang selalu memberikan semangat sehingga TA dapat terselesaikan sesuai harapan.
- ✚ Almamaterku.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa 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 Dinatrium Fosfat Heptahidrat dari Natrium Klorida dan Asam Fosfat Kapasitas 30.000 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. Drs. 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. Dr. Supriyono, ST., MT. selaku pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan dan nasehat hingga selesainya tugas akhir ini.
5. Gregorius Prima Indra Budianto, S.T., M.Eng., selaku pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan nasehat hingga selesainya tugas akhir ini.
6. Ir. Argoto Mahayana, S.T., dan Ir. Dewi Astuti H, ST., M.Eng., selaku dosen penguji satu dan dua 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, 14 Januari 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Sampul .....	i
Lembar Persetujuan .....	ii
Lembar Pengesahan.....	iii
Motto dan Persembahan .....	iv
Kata Pengantar.....	v
Daftar Isi.....	vi
Intisari.....	vii
BAB I Pendahuluan.....	1
BAB II Spesifikasi Bahan .....	14
BAB III Deskripsi Proses .....	15
BAB IV Neraca Massa dan Neraca Panas.....	19
BAB V Spesifikasi Alat.....	28
BAB VI Utilitas .....	44
BAB VII Organisasi dan Tata Letak .....	70
BAB VIII Evaluasi Ekonomi.....	93
BAB IX Kesimpulan .....	104
DAFTAR PUSTAKA.....	105

## INTISARI

Prarancangan pabrik dinatrium fosfat heptahidrat dari natrium klorida dan asam fosfat memberikan prospek yang sangat cerah dalam dunia perindustrian mengingat masih banyaknya kebutuhan akan produk dinatrium fosfat heptahidrat di Indonesia. Pabrik tersebut direncanakan beroperasi selama 330 hari/tahun diatas area sebesar 15.850 m<sup>2</sup> yang akan didirikan pada tahun 2024, lokasi pabrik berada di Gresik, Jawa Timur yang jaraknya tidak terlalu jauh dengan PT. Toyo Indo Manunggal Chemical Sidoarjo, Jawa Timur dan PT. Petrokimia Gresik, Jawa Timur sebagai penyedia bahan baku utama. Pabrik ini beroperasi dengan kapasitas 30.000 ton/tahun, dengan pertimbangan dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri maupun luar negeri.

Proses pembuatan dinatrium fosfat heptahidrat berlangsung pada fase cair-cair dengan menggunakan reaktor tangki berpengaduk (RTB) dengan kondisi tekanan 1 atm dan suhu 90°C. Reaksi berlangsung secara *endothermic*, *irreversible*, dan *non adiabatic*. Kebutuhan natrium klorida sebesar 3.277 kg/jam dan asam fosfat sebesar 2747 kg/jam. Produk berupa dinatrium fosfat heptahidrat sebesar 3.713,6067 kg/jam. Untuk menunjang proses produksi, maka didirikan unit pendukung yaitu unit penyediaan air make up sebesar 529909,673 kg/jam. Kebutuhan listrik diperoleh dari PLN dan *generator set* sebesar 500 kW sebagai cadangan, bahan bakar solar total sebanyak 0,0622 m<sup>3</sup>/jam dan udara tekan sebesar 50 m<sup>3</sup>/jam.

Dari analisa ekonomi yang dilakukan terhadap pabrik ini dengan modal tetap (FCI) Rp 276.068.411.839 dan modal kerja Rp 106.593.244.697. Keuntungan sebelum pajak Rp 99.680.942.138 pertahun setelah dipotong pajak sebesar 30% keuntungan mencapai Rp 69.776.659.496 pertahun. *Return On Investment* (ROI) sebelum pajak 36,107% dan setelah pajak 25,275%. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak adalah 2,8 tahun dan setelah pajak 2,17 tahun. *Break Even Point* (BEP) sebesar 41,071 %, *Shut Down Point* (SDP) sebesar 24,6 % dan *Discounted Cash Flow* (DCF) sebesar 25,54 %. Dari data analisis kelayakan diatas dapat disimpulkan bahwa pabrik ini menguntungkan dan layak didirikan.

Kata kunci : Dinatrium Fosfat Heptahidrat, Natrium Klorida, Asam Fosfat

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring perkembangan zaman, selain teknologi yang berkembang pesat, pembangunan di Indonesia juga terus mengalami peningkatan, terutama industri yang bersifat padat modal dan teknologi. Indonesia diharapkan mampu bersaing dengan negara-negara maju lainnya. Peningkatan yang pesat baik secara kualitatif maupun kuantitatif juga terjadi dalam industri kimia. Salah satu bahan kimia yang sangat dibutuhkan di industri kimia adalah Dinatrium Fosfat.

Dinatrium Fosfat merupakan suatu senyawa Fosfat yang banyak digunakan sebagai bahan baku ataupun bahan pembantu dalam industri kimia. Natrium difosfat mempunyai beberapa nama lain, yaitu *Sodium Phosphate Dibasic*, *Secondary Sodium Phosphate*, *Sodium Hydrogen Phosphate* atau *Sodium Orthofosfat*. Rumus kimia dari Dinatrium Fosfat adalah  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  pada umumnya dipasaran dikenal dengan nama *Sodium Phosphate*, yaitu merupakan bahan dasar pembuatan *Monosodium Phosphate* ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ), Natrium Trifosfat ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ), dan Natrium Tripolifosfat ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ).

Dinatrium fosfat banyak dijumpai dalam bentuk hidrat. Salah satunya adalah natrium difosfat heptahidrat yaitu merupakan bahan antara dalam pembuatan detergen, bahan pelindung api, pencelup tekstil, penyamakan kulit, pembuat warna, industri kertas, pengolahan air, dan sebagainya.

Dengan semakin bertambahnya industri-industri kimia, khususnya Indonesia, terutama industri tekstil, detergen, kertas, maka diperkirakan kebutuhannya dinatrium fosfat semakin meningkat. Sehingga sangatlah penting adanya perencanaan pabrik dinatrium fosfat heptahidrat di Indonesia. Untuk menyediakan bahan pembantu industri-industri dan jika dimungkinkan sebagai komoditi ekspor

### 1.2 Kapasitas Rancangan Pabrik

Penentuan kapasitas produksi pabrik asam fosfat berdasarkan pada beberapa pertimbangan, antara lain :

#### 1.2.1 Data Impor Produk

Penentuan kapasitas perancangan pabrik dinatrium fosfat berdasarkan kebutuhan di Indonesia dari tahun ke tahun diperoleh dari UNdata. Dari tabel dibawah ini dapat diketahui data impor dinatrium fosfat di Indonesia.

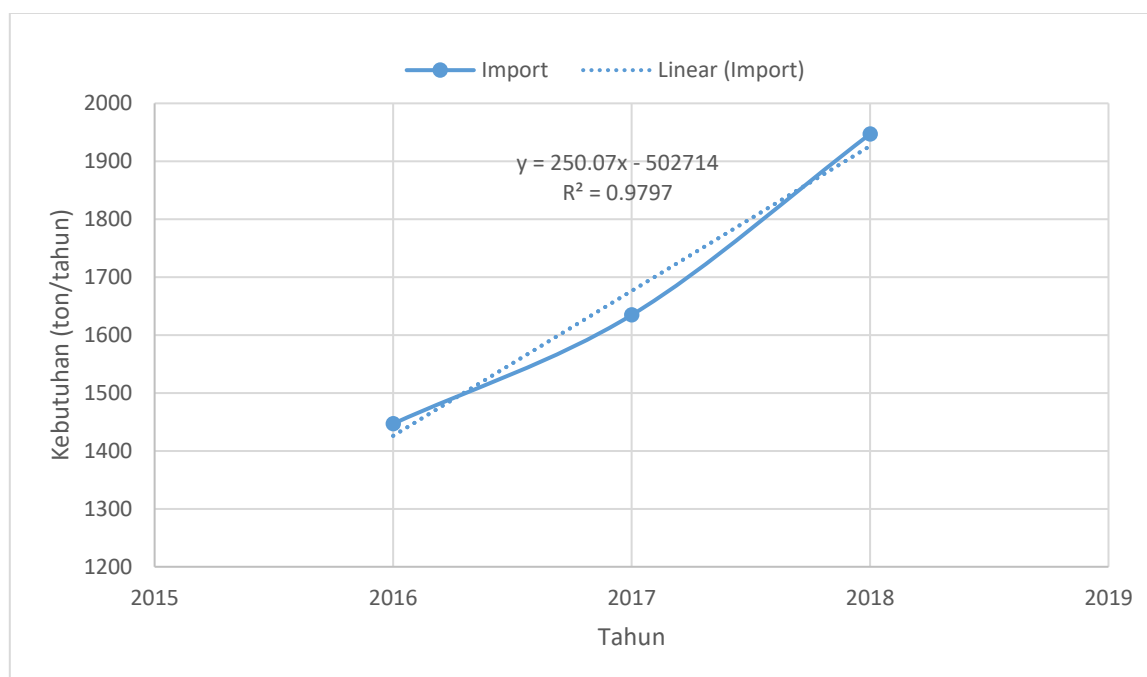


Tabel 1. Data Impor dinatrium fosfat heptahidrat di Indonesia

No	Tahun	Jumlah (Ton)
1	2016	1446,816
2	2017	1634,503
3	2018	1946,955

(UNdata, 2020)

Pada Tabel 1. Menunjukkan impor di Indonesia cenderung mengalami kenaikan dari tahun ke tahun. Perkiraan impor dinatrium fosfat heptahidrat pada tahun 2024 di Indonesia dapat dilakukan dengan cara regresi linier dari data di atas. Regresi linier untuk data impor ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik hubungan jumlah impor dinatrium fosfat heptahidrat dan waktu (tahun) di Indonesia

Dari data statistik impor dapat dibuat grafik yang menunjukkan bahwa kebutuhan dinatrium fosfat heptahidrat di Indonesia cenderung semakin meningkat setiap tahunnya. Pengoperasian pabrik dinatrium fosfat heptahidrat diproyeksikan akan dimulai pada tahun 2024. Dari gambar 1., diperoleh suatu persamaan regresi linier untuk mengetahui kebutuhan akan konsumsi dinatrium fosfat pada tahun 2024 yaitu sebagai berikut:

$$y = 250,07x - 502714$$

$$y = (250,07 \cdot 2024) - 502714$$

$$y = 3427,68 \text{ ton}$$

dimana:

y = data impor dinatrium fosfat heptahidrat

x = tahun kebutuhan dinatrium fosfat

Dari perhitungan diperoleh persamaan sehingga dapat dihitung besarnya impor dinatrium fosfat heptahidrat pada tahun 2024 adalah sebesar 3427,68 ton/tahun. Kapasitas yang memberi keuntungan jika didirikan pabrik dinatrium fosfat heptahidrat adalah antara 30.000-80.000 ton/tahun (Faith and Keyes, 1965).

### 1.2.2 Kapasitas Pabrik yang sudah ada

Tabel 2. Daftar pabrik produsen dinatrium fosfat heptahidrat di dunia

Pabrik	Kapasitas(ton/tahun)	Sumber
Tianjin Hutong Global Trade Co., Ltd, China	50.000	Hutongglobal.com
Rhodia, Port Maitland, USA	80.000	Port-maitland.ca
Astaris, Carondelet, USA	55.000	Astariglobal.com

Berdasarkan Tabel 2, kapasitas pabrik dinatrium fosfat heptahidrat didunia berkisar 50.000-80.000 ton/tahun. Pabrik dinatrium fosfat heptahidrat belum didirikan di Indonesia, dan akan direncanakan untuk didirikan di Indonesia sebesar 30.000 ton/tahun

### 1.3 Pemilihan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan salah satu faktor terpenting dari keberhasilan pabrik. Hal ini dikarenakan lokasi suatu pabrik sangat mempengaruhi kedudukan pabrik sangat mempengaruhi kedudukan pabrik dengan persaingan maupun penentuan kelangsungan berdirinya. Pemilihan lokasi yang tepat, ekonomis dan menguntungkan dipengaruhi oleh banyak faktor sehingga sebelum pabrik didirikan perlu dilakukan berbagai pertimbangan.

Secara geografis, penentuan lokasi pabrik dapat menentukan kemajuan serta kelangsungan dari suatu industri kini dan pada masa yang akan datang. Penentuan lokasi pabrik yang tepat, ekonomis, dan menguntungkan dipengaruhi berbagai faktor. Pemilihan lokasi pabrik harus tepat berdasarkan letak pabrik dekat dengan sumber bahan baku, transportasi, pasaran produk, tenaga kerja, dan budaya masyarakat di sekitar lokasi pabrik (Timmerhause, 2004). Berdasarkan faktor-faktor tersebut, maka Pabrik dinatrium fosfat heptahidrat ini direncanakan berlokasi di Gresik, Jawa Timur, karena dekat dengan sumber bahan baku yaitu natrium klorida diperoleh dari PT. Toya Indo Manunggal Chemical Sidoarjo, Jawa Timur dan bahan baku asam fosfat diperoleh dari PT. Petrokimia Gresik, Jawa Timur.

Lokasi suatu pabrik merupakan bagian penting untuk mempengaruhi kedudukan pabrik dalam persaingan. Penentuan lokasi pabrik yang tepat tidak semudah yang diperkirakan, banyak faktor yang dapat mempengaruhinya. Idealnya, lokasi yang dipilih harus memberikan keuntungan untuk jangka panjang dan dapat memberikan kemungkinan untuk memperluas pabrik. Lokasi yang baik akan menentukan hal-hal sebagai berikut:

- a. Kemampuan untuk melayani konsumen dengan memuaskan.
- b. Kemampuan untuk mendapatkan bahan mentah yang berkesinambungan dan harganya sampai ditempat cukup murah.
- c. Kemudahan untuk mendapatkan tenaga karyawan.

Oleh karena itu, pemilihan tempat bagi berdirinya suatu pabrik harus memperhatikan beberapa faktor yang berperan yaitu faktor primer dan faktor sekunder.

### 1.3.1 Faktor Primer

Faktor ini secara langsung mempengaruhi tujuan utama dari usaha pabrik yang meliputi produksi dan distribusi produk yang diatur menurut macam dan kualitasnya. Yang termasuk dalam faktor utama adalah (Bernasconi, 1995):

- a. Letak sumber bahan baku

Idealnya, sumber bahan baku tersedia dekat dengan lokasi pabrik. Hal ini lebih menjamin penyediaan bahan baku yang diperoleh dari PT. Petrokimia Gresik dan PT. Toya Indo Manunggal Sidoarjo.

- b. Pemasaran produk

Lokasi pabrik harus dekat dengan daerah pemasaran atau dekat dengan konsumen sehingga memudahkan pemasaran produk. Dinatrium fosfat heptahidrat merupakan bahan baku industri pupuk buatan, serat sintesis, plastik, dan lain-lain. Dengan berdirinya pabrik dinatrium fosfat heptahidrat di Gresik diharapkan kebutuhan dinatrium fosfat heptahidrat

bisa tercukupi, selain itu juga membuka kesempatan berdirinya industri-industri yang menggunakan dinatrium fosfat heptahidrat sebagai bahan baku.

Pabrik yang letaknya dekat dengan pasar dapat lebih cepat melayani konsumen. Daerah Gresik merupakan daerah yang strategis untuk pendirian suatu pabrik, karena dekat dengan pengambilan bahan baku dan terkenal dengan daerah industri sehingga lebih memudahkan dalam proses pemasaran produk.

c. Tenaga kerja

Tersedianya tenaga kerja yang terampil mutlak diperlukan untuk menjalankan mesin-mesin produksi dari tingkat sarjana sampai pekerja buruh. Tenaga kerja dapat direkrut dari daerah disekitar Jawa Timur.

d. Sarana transportasi

Pemilihan lokasi pabrik di Gresik, dimaksudkan untuk mempermudah jangkauan pemasaran produk karena letaknya dekat ke areal-areal industri.

e. Utilitas

Ketersediaan sarana pendukung seperti air dan listrik guna proses industri harus diperhatikan. Sebagai suatu kawasan industri yang berskala besar dan telah direncanakan dengan baik.

### 1.3.2 Faktor Sekunder

Yang termasuk ke dalam faktor sekunder antara lain adalah:

a. Karakteristik lokasi

Karakteristik lokasi menyangkut iklim di daerah tersebut, kemungkinan terjadinya banjir, serta kondisi sosial masyarakatnya. Dalam hal ini, musim hujan dan musim kemarau memiliki fluktuasi yang relatif kecil.

b. Kebijaksanaan pemerintah

Pendirian pabrik perlu memperhatikan beberapa faktor kepentingan yang terkait di dalamnya, kebijaksanaan pengembangan industri, dan hubungannya dengan pemerataan kesempatan kerja, kesejahteraan, dan hasil-hasil pembangunan. Di samping itu, pabrik yang didirikan juga harus berwawasan lingkungan, artinya keberadaan pabrik tersebut tidak boleh mengganggu atau merusak lingkungan sekitarnya.

c. Kemasyarakatan

Dengan masyarakat yang akomodatif terhadap perkembangan industri dan tersedianya fasilitas umum untuk hidup bermasyarakat, maka lokasi di daerah industri ini dirasa tepat.



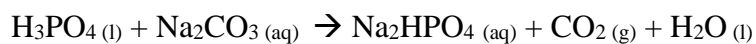
Gambar 1. Lokasi Pabrik (sumber: google Earth)

#### 1.4 Macam-macam Proses

Proses pembuatan dinatrium fosfat heptahidrat secara umum dikelompokkan menjadi 2 golongan yaitu :

- a. Metode 1 (Pembuatan dinatrium fosfat heptahidrat menggunakan bahan baku asam fosfat dan natrium karbonat)

Pembuatan dinatrium fosfat dengan mereaksikan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dengan perbandingan berat 600 lb:800 lb untuk menghasilkan produk 1 ton natrium difosfat. Reaksi berjalan dalam reaktor fase cair-cair dengan kondisi operasi; suhu  $90^\circ\text{C}$  dan tekanan 1 atm. Reaksi yang terjadi sebagai berikut:

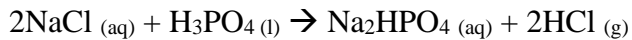


Hasil reaksi yang berupa campuran padatan dan cairan dilewatkan ke penyaring untuk memisahkan produk dinatrium fosfat yang berupa *slurry* dengan filtrat dan air pencuci. Kemudian dinatrium fosfat yang berbentuk *slurry* dikristalkan dengan *crystallizer*. Produk kristal dinatrium fosfat lalu disaring untuk memisahkan kristal dengan sisa cairannya. Dari penyaringan produk dinatrium fosfat lalu dimasukkan ke alat pengering untuk

mengeringkan produk. Natrium karbonat yang tidak bereaksi diumpankan kembali sebagai bahan baku yang terlebih dahulu dipekatkan atau diuapkan (Faith and Keyes, 1957).

b. Metode 2 (Pembuatan dinatrium fosfat heptahidrat menggunakan bahan baku asam fosfat dan natrium klorida)

Reaksi yang terjadi:



Dinatrium fosfat dengan mencampurkan NaCl padat dengan H<sub>2</sub>O pada *mixer*. Lalu direaksikan dengan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dalam reaktor pada suhu 90°C dan bertekanan 1 atm, produk keluar reaktor diumpankan menuju *evaporator* untuk menguapkan kandungan air. Produk *evaporator* diumpankan lalu didinginkan dalam kristalisasi untuk menghasilkan kristal dinatrium fosfat heptahidrat. Kristal menuju *centrifuge* dan dikemas dalam wadah tahan air. Cairan induk dikembalikan ke tangki pencampur. Kristalnya membesar, kehilangan 5 molekul air dan membentuk heptahidrat pada paparan udara, produk kristal akan dikeringkan dengan menggunakan pengering putar dengan media pengering udara (Faith and Keyes, 1957).

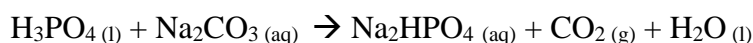
Dari dua metode tersebut, potensial ekonomi diperlukan untuk penentuan metode.

Tabel 3. Tabel Potensial Ekonomi

BAHAN	Mr (kg/kmol)	Harga (\$)
Asam fosfat (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	98	0.6
Natrium Karbonat (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	106	1.1
Natrium Klorida (NaCl)	58.5	0.4
Dinatrium Fosfat (Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> )	142	2.8

Sumber: alibaba.com

Metode 1



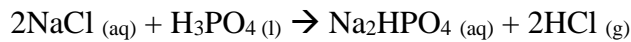
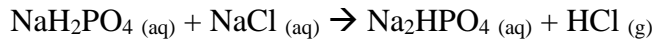
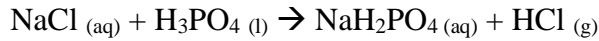
Potensial ekonomi (PE) = (BM Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> x Harga Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) – (BM H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> x Harga



$$= (142 \times 2,8) - (98 \times 0,6) + (106 \times 1,1)$$

$$= \$222$$

Metode 2



Potensial ekonomi (PE) = (BM Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> x Harga Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) – (BM H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> x Harga

H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> + BM NaCl x Harga NaCl)

$$= (142 \times 2,8) - (98 \times 0,6) + (58,5 \times 0,4)$$

$$= \$315,4$$

Perbandingan kedua proses dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4. Perbandingan Proses Dengan Dua Metode

No.	Keadaan	Metode 1	Metode 2
1.	Bahan Baku Utama	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	NaCl, H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
2.	Pelarut H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Kemurnian tinggi	Dapat menggunakan kemurnian yang lebih rendah (54%)
3.	Tipe Reaksi	Eksotermis	Endotermis
4.	Konversi	90%	95%
5.	Produk Samping	CO <sub>2</sub>	HCl
6.	Potensial ekonomi	Rendah	Tinggi

Dari uraian proses pembuatan dinatrium fosfat di atas, maka proses yang dipilih adalah Metode 2 (proses dengan bahan baku asam fosfat dan natrium klorida)

## 1.5 Tinjauan Pustaka

1.5.1. Sifat fisis dan kimia bahan baku dan produk (Perry, 1997 dan Yaws, 1999)

a. Asam fosfat

Rumus Molekul	: $\text{H}_3\text{PO}_4$
BM	: 98 g/mol
Bentuk	: Cair
Bau	: tidak berbau
Warna	: tidak berwarna atau transparan
<i>Specific gravity</i>	: 1,834 (28,2°C)
Titik didih	: 158°C

- Merupakan asam tribasa, pelepasan ion hidrogen yang pertama adalah proses ionisasi paling cepat. Ionisasi kedua adalah sedang dan yang ketiga sudah lemah.
- Asam fosfat lebih kuat dari asam asetat, asam oksalat, dan *boric acid*, tetapi lebih lemah dibandingkan asam nitrat, asam sulfat, dan asam klorida. Asam fosfat dapat dibuat garam dengan mudah melalui satu atau lebih atom hidrogen.

b. Natrium klorida

Rumus molekul	: NaCl
Berat molekul	: 58,433 g/gmol
Bentuk	: kristal kubik padat atau bubuk
Warna	: putih atau jernih
<i>Specific gravity</i>	: 2,163 g/ml
Kelarutan	: 36 g/100 g air pada 30°C (68°F)
pH	: 6,7-7,3

- Bersifat higroskopis
- Larut dalam air dan gliserol tetapi tidak larut dalam alkohol
- Tidak mudah terbakar

c . Dinatrium Fosfat

Dinatrium Fosfat ditemui dalam bentuk kristal *anhydrous*  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , dihidrat ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), heptahidrat ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )

Rumus molekul	: $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Warna	: tidak berwarna



- Bentuk : kristal monoklin tembus cahaya
- Berat molekul : 268,09
- Specific gravity* : 1,679 g/cc
- Larut dalam air, sangat larut dalam alkohol

d. Asam Klorida

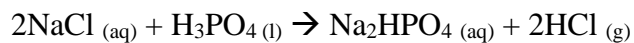
- Rumus molekul : HCl
- Berat molekul : 36,461 g/mol
- Warna : kekuning-kuningan
- Bentuk : cair
- Titik beku : -74°C
- Titik didih : 53°C
- Densitas : 1,18 g/ml
- Kelarutan : tak terhingga

- Mudah menguap
- Larut dalam air, alkohol, eter dan benzena
- Berbau menyengat
- Korosif
- Tidak mudah terbakar
- Beracun jika dihirup, iritasi pada mata

1.5.2. Proses pembuatan yang dipilih

a. Dasar reaksi, konversi

Reaksi antara natrium klorida dan asam fosfat terjadi dalam reaktor RTB. Perbandingan mol umpan natrium dan asam fosfat 2:1 adapun reaksinya:



Tabel 5. Entalpi Pembentukan Komponen

Komponen	$\Delta H_f^\circ$ (Kkal/mol), 25°C
NaCl <sub>(aq)</sub>	-97,324
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (l)	-306,2

HCl (g)	-22,063
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	-423,61

(Perry, 1997)

b. Kondisi operasi

Untuk memperoleh produk natrium disulfat heptahidrat dengan menggunakan asam fosfat dan natrium klorida. Kedua bahan tersebut direaksikan dalam fase cair-cair pada suhu 90°C dan tekanan 1 atm pada Reaktor Tangki Berpengaduk. Konversi pembentukan Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> terhadap NaCl adalah 95%

c. Mekanisme reaksi

Untuk menentukan sifat reaksi (eksotermis/endotermis) dan arah reaksi (*reversible/irreversible*), maka perlu dilakukan perhitungan dengan menggunakan panas pembentukan standar ( $\Delta H_f^\circ$ ) pada 1 atm dan 25°C dari reaktan dan produk.

Tabel 6. Harga  $\Delta H_f$

Komponen	$\Delta H_f^\circ$ (Kkal/mol), 25°C
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	-417,4
NaCl (aq)	-98,232
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (l)	-306,2
HCl (g)	-22,063

(Perry, 1997)

Pada proses pembentukan dinatrium fosfat heptahidrat terjadi reaksi sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 & 2\text{NaCl}_{(aq)} + \text{H}_3\text{PO}_{4(l)} \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{HPO}_{4(aq)} + 2\text{HCl}_{(g)} \\
 \Delta H_{R^\circ 298K} &= \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} \\
 &= (\Delta H_f^\circ \text{ Na}_2\text{HPO}_4 + \Delta H_f^\circ \text{ HCl}) - (\Delta H_f^\circ \text{ NaCl} + \Delta H_f^\circ \text{ H}_3\text{PO}_4) \\
 &= (-417,4 + (-22,063 \times 2)) - ((-98,232 \times 2) + (-306,2)) \\
 &= 41,138 \text{ kkal/mol} = 41138 \text{ kal/mol}
 \end{aligned}$$

Data yang diperoleh  $\Delta H_R^{\circ} 298K$  sebesar 41,138 kkal/mol, karena  $\Delta H_R^{\circ} 298K$  positif maka reaksi bersifat endotermis.

Konversi pembentukan  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  terhadap  $\text{NaCl}$  sebesar 95%. Dengan perbandingan mol  $\text{H}_3\text{PO}_4 : \text{NaCl} = 1:2$ . Reaksi netralisasi berjalan secara spontan atau tanpa menggunakan katalis, reaksinya *irreversible* (searah), hal itu dapat dibuktikan dengan perhitungan di bawah ini:

$$\Delta G_f^{\circ} = -RT \ln K_{298K}$$

Harga  $\Delta G_f^{\circ}$  untuk masing-masing komponen (suhu 298 K) sebagai berikut:

Tabel 7. Entalpi Gibbs Komponen

Komponen	$\Delta G_f^{\circ}$ (kkal/mol)
$\text{NaCl (aq)}$	-48,0843
$\text{H}_3\text{PO}_4 \text{ (l)}$	-265,524
$\text{HCl (g)}$	-22,7627
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (aq)}$	-427,506

(Perry, 1997)



$$\begin{aligned} \Delta G_f^{\circ} &= \sum \Delta G_{\text{produk}} - \sum \Delta G_{\text{reaktan}} \\ &= (\Delta G_f^{\circ} \text{Na}_2\text{HPO}_4 + \Delta G_f^{\circ} \text{HCl}) - (\Delta G_f^{\circ} \text{NaCl} + \Delta G_f^{\circ} \text{H}_3\text{PO}_4) \\ &= (-427,506 + (-22,7627)) - ((-48,0843 (2)) + (-265,524)) \\ &= -88,5761 \text{ kkal/mol} = -88.576,1 \text{ kal/mol} \end{aligned}$$

$$\Delta G_f^{\circ} = -RT \ln K_{298K}$$

$$-88576,1 \text{ kal/mol} = -1,987 \text{ kal/Kmol} \times 363 \text{ K} \times \ln K_{298K}$$

$$\ln K = \frac{-88576,1 \text{ kal/mol}}{-1,987 \frac{\text{kal}}{\text{Kmol}} \times 363 \text{ K}}$$

$$\ln K = 122,80387$$

$$K = 2,152995377 \times 10^5$$

Nilai konstanta kesetimbangan pada 90°C dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Smith, J.M. and Van Ness, H.C. 1975):

$$\ln \left( \frac{K}{K_1} \right) = -\frac{\Delta H}{R} \times \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right)$$

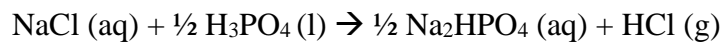
$$\ln \left( \frac{K}{2,152995377 \times 10^5} \right) = -\frac{63201 \text{ kal/mol}}{1,987 \text{ kal/Kmol}} \times \left( \frac{1}{363K} - \frac{1}{298K} \right)$$

$$K = 4,300202511 \times 10^{13}$$

Dari hasil perhitungan harga K didapatkan hasil yang besar sehingga dapat disimpulkan reaksi ini searah (*irreversible*) kekanan.

d. Tinjauan kinetika

Secara kinetika reaksi pembentukan dinatrium fosfat akan bertambah besar dengan naiknya suhu. Reaksi pembentukan natrium. Dinatrium fosfat dijalankan pada tekanan 1 atm, dengan tujuan agar larutan dinatrium fosfat di dalam reaktor tetap dalam kondisi cair. Reaksi pembentukan dinatrium fosfat merupakan reaksi orde dua (Sarto & Alamsyah, 2007 & Trivenichemicals, 2000) dengan waktu satu jam reaksi (US Patent 3421846 & Hal Archives-ouvertes, 2018).



$$-r_a = \frac{dC_a}{dt} = k C_{\text{NaCl}} C_{\text{H}_3\text{PO}_4}$$

$$-r_a = kCA.CB$$

$$\frac{-dCA}{dt} = kCA.CB \quad \rightarrow CB_0 = CA_0$$

$$-r_a = kCA_0^2 (1-X_a)(1-\frac{1}{2}X_a)$$

Kemudian nilai k dimasukkan di persamaan Levenspiel :

$$t' = \frac{X_A}{kCACB}$$

Waktu yang paling mendekati dengan waktu reaksi adalah pada orde 2 :

$$(-r_a) = KCA.CB$$