

**PRA RANCANGAN PABRIK DIKALSIUM FOSFAT DIHIDRAT  
( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) DARI ASAM FOSFAT ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) DAN KALSIUM  
HIDROKSIDA ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) DENGAN KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN**

**(Tugas Khusus Rotary Dryer (RD-301))**

**Oleh**

**NIDA NABILA RIADI**

**(1615041016)**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Kimia  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

## ABSTRACT

### PREDESIGN OF DICALCIUM PHOSPHATE DIHYDRATE PLANT FROM PHOSPHORIC ACID AND CALCIUM HYDROXIDE WITH CAPACITY 60.000 TONS/YEAR

(Rotary Dryer Design (RD-301))

By

NIDA NABILA RIADI

A plant to produce dicalcium phosphate dihydrate from phosphoric acid and calcium hydroxide, is planned to be located at Gresik, East Java. The plant is established by considering availability of raw materials, transportation facilities, readily available labor and environmental conditions.

Capacity of the plant is 60.000 tons/year operating 24 hour/day and 330 working days/ year. The plant required 4.452,728 kg/h of phosphoric acid; 3.362,264 kg/h of calcium hydroxide.

Quantity of labor is around 131 people. The plant is managed as a Limited Liability Company (PT), which is headed by a Director. The company is organized in the form of line and staff structure.

From analysis of the plant economy is obtained:

<i>Fixed Capital Investment (FCI)</i>	= Rp. 1.182.561.517.603,350
<i>Working Capital Investment (WCI)</i>	= Rp. 208.687.326.635,885
<i>Total Capital Investment (TCI)</i>	= Rp. 1.391.248.844.239,-
<i>Break Even Point (BEP)</i>	= 51,87 %
<i>Shut Down Point (SDP)</i>	= 26,74 %
<i>Pay Out Time after Taxes (POT)<sub>a</sub></i>	= 3,21 tahun
<i>Return on Investment after Taxes (ROI)<sub>a</sub></i>	= 18,004%
<i>Discounted Cash Flow (DCF)</i>	= 30,83%

By considering above the summary, it is suitable study further the n-butanol plant since plant is profitable and has good prospects.

## ABSTRAK

### PRARANCANGAN PABRIK DIKALSIMUM FOSFAT DIHIDRAT DARI ASAM FOSFAT DAN KALSIMUM HODROKSIDA DENGAN KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN

(Perancangan Rotary Dryer (RD-301))

Oleh

**NIDA NABILA RIADI**

Pabrik dikalsium fosfat dihidrat dari asam fosfat dan kalsium hidroksida, akan didirikan di Gresik, Jawa Timur. Pabrik ini berdiri dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, sarana transportasi yang memadai, tenaga kerja yang mudah didapatkan dan kondisi lingkungan.

Pabrik direncanakan memproduksi dikalsium fosfat dihidrat sebanyak 69.000 ton/tahun, dengan waktu operasi 24 jam/hari, 330 hari/tahun. Bahan baku yang digunakan adalah asam fosfat sebanyak 4.452,728 kg/jam dan kalsium hidroksida sebanyak 3.362,264 kg/jam.

Jumlah karyawan sebanyak 131 orang dengan bentuk perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT) yang dipimpin oleh seorang direktur. Sistem manajemen perusahaan menggunakan struktur organisasi *line* dan *staff*.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i> (FCI)	= Rp. 1.182.561.517.603,350
<i>Working Capital Investment</i> (WCI)	= Rp. 208.687.326.635,885
<i>Total Capital Investment</i> (TCI)	= Rp. 1.391.248.844.239,-
<i>Break Even Point</i> (BEP)	= 51,87 %
<i>Shut Down Point</i> (SDP)	= 26,74 %
<i>Pay Out Time after Taxes</i> (POT) <sub>a</sub>	= 3,21 tahun
<i>Return on Investment after Taxes</i> (ROI) <sub>a</sub>	= 18,004%
<i>Discounted Cash Flow</i> (DCF)	= 30,83%

Mempertimbangkan paparan di atas, sudah selayaknya pendirian pabrik n-butanol ini dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dan mempunyai masa depan yang baik.

**PRA RANCANGAN PABRIK DIKALSIUM FOSFAT DIHIDRAT  
( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) DARI ASAM FOSFAT ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) DAN KALSIUM  
HIDROKSIDA ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) DENGAN KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN**

**(Tugas Khusus Rotary Dryer (RD-301))**

**Oleh**

**NIDA NABILA RIADI**

**(1615041016)**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Kimia  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

Judul Skripsi : PRARANCANGAN PABRIK DIKALSIUM FOSFAT  
DIHIDRAT ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) DARI ASAM FOSFAT  
( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) DAN KALSIUM HIDROKSIDA ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )  
DENGAN KAPAASITAS 60.000 TON/TAHUN  
(Perancangan Rotary Dryer (RD-301))

Nama Mahasiswa : Nida Nabila Riadi


No. Pokok Mahasiswa : 1615041016

Jurusan : Teknik Kimia


Fakultas : Teknik



  
**Dr. Herti Utami, S.T., M.T.**  
**NIP. 197112192000032001**

  
**Panca Nugrahini F., S.T., M.T.**  
**NIP. 197302032000032001**

**Ketua Jurusan Teknik Kimia**

  
**Yuli Darni, S.T., M.T.**  
**NIP. 197407122000032001**

## MENGESAHKAN

### Tim Penguji


Ketua : Dr. Herti Utami, S.T., M.T.

Sekretaris : Panca Nugrahini F, S.T., M.T.

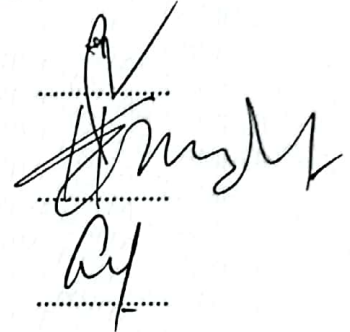
Penguji  
Bukan Pembimbing : Dr. Lilis Hermida, S.T., M.Sc.

Lia Lismeri, S.T., M.T.

Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

  
Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. /  
NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : Juni 2023



## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atas pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana diterbitkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pada skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Randau Lampung,

Juni 2023



Nida Nabila Riadi  
NPM. 1615041016

## RIWAYAT HIDUP



**Nida Nabila Riadi**, penulis laporan ini dilahirkan di Nyukang Harjo pada tanggal 11 Januari 1999, putri pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Sugeng Riadi dan Ibu Umiyati.

Penulis menyelesaikan pendidikan taman kanak-kanak di TK Pertiwi Payung Batu pada tahun 2004, pendidikan sekolah dasar di SDN 1 Payung Batu pada tahun 2010, pendidikan sekolah menengah pertama di SMP Al-Azhar 3 Bandar Lampung pada tahun 2013 dan pendidikan sekolah menengah atas di SMA Al-Azhar 3 Bandar Lampung pada tahun 2016.

Pada tahun 2016, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui Jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam berbagai organisasi antara lain sebagai Staf Departemen Dana dan Usaha Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung (Himatemia FT Unila) Periode 2017, Kepala Departemen Dana dan Usaha Himatemia FT Unila Periode 2018, dan Staf Dinas Dana dan Usaha Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Lampung (BEM FT Unila) Periode 2018,

Pada tahun 2020, penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Pagar Dewa, Kecamatan Pagar Dewa, Kabupaten Lampung Barat dan pada tahun 2019 melakukan Kerja Praktik (KP) di PT Tanjung Enim Lestari Pulp and Paper dengan Tugas Khusus “Menghitung Panas yang hilang pada system pembangkit pada seksi Power Plant”. Pada tahun 2022, penulis melakukan penelitian dengan



judul “Isoterm Adsorpsi pada Fotodegradasi *Methylene Blue* dengan dengan ZAL-  
WO<sub>3</sub> Teraktivasi” di Laboratorium Riset UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra  
Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung.

## *Motto dan Persembahan*

“Jangan pernah menyerah untuk segala kesulitan yang ada  
karna pasti ada jalan untuk menyelesaikannya”

“Hidup itu seperti sebuah game dimana setiap langkah ada  
levelnya yang perlu ditingkatkan ”

“Selalu berusaha untuk tersenyum untuk segala hal yang  
dialami dalam hidup”

“Tetap semangat dalam setiap pekerjaan yang dilakukan,  
jika lelah mari istirahat sejenak dan jangan tunjukan  
kelemahan mu didepan orang lain serta selalu tersenyum.”

(Nida Nabila Riadi)

*Sebuah KaryaKu....*

*Dengan sepenuh hati kupersembahkan tugas akhir ini kepada:*

*Allah SWT*

*Karena kehendak-Nya, semua ini dapat ku peroleh.  
Atas berkah dan karunia-Nya, aku bisa menyelesaikan karya kecil ini.  
Atas karunia dan anugerah-Nya, aku bisa bertahan selama ini.*

*Bapak dan Ibu,*

*terima kasih atas segalanya, doa, kasih sayang, pengorbanan dan keikhlasannya. Ini hanyalah setitik balasan yang tidak bisa dibandingkan dengan pengorbanan dan kasih sayang kalian selama ini. Terimakasih atas segalanya.*

*Adikku, Sifa terimakasih atas dukungan, doa dan keceriaannya selama ini.*

*Sahabat-sahabatku,*

*terimakasih atas dukungan, doa, bantuan dan ketulusannya selama ini.*

*Para pengajar sebagai tanda hormatku,  
terima kasih atas ilmu yang telah diberikan selama ini baik itu berupa ilmu keteknikkimiaan maupun ilmu kehidupan yang tentunya sangat berguna dan bermanfaat.*

*Dan tak lupa kupersembahkan kepada Almamaterku tercinta,  
semoga kelak berguna dikemudian hari.*

## SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir dengan judul “Prarancang Pabrik Dikalsium Fosfat ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dari Asam Fosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) dan Kalsium Hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) dengan Kapasitas 60.000 Ton/Tahun” ini dapat diselesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana (S-1) di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari beberapa pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Keluarga tercinta, Bapak, Ibu, Sifa serta seluruh keluarga besar atas doa, dukungan, kepercayaan, ketulusan dan semangat yang telah diberikan serta cinta dan kasih sayang yang selalu mengiringi setiap saat.
2. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung.
3. Ibu Dr. Herti Utami, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan dukungan, bimbingan dan motivasinya dalam penyelesaian tugas akhir. Terima kasih juga telah mengajarkan untuk menjadi insan yang lebih literatif dan teliti.
4. Ibu Panca Nugrahini F., S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan motivasinya dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
5. Ibu Dr. Lilis Hermida, S.T., M.T. selaku Dosen Peguji I yang telah memberikan saran dan kritiknya dalam penyelesaian tugas akhir, serta terima kasih telah mendorong dan memberikan kemudahan untuk menyelesaikan studi di Teknik Kimia Universitas Lampung.

6. Ibu Lia Lismeri, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan saran dan kritiknya dalam penyelesaian tugas akhir, serta terima kasih telah terus mendorong dan memberikan kemudahan untuk menyelesaikan studi di Teknik Kimia Universitas Lampung.
7. Ibu Yuli Darni., S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan bimbingan dan motivasi selama masa kuliah.
8. Ibu Lia Lismeri, S.T., M.T. selaku Dosen Penanggung Jawab Mata Kuliah Tugas Akhir.
9. Seluruh Dosen Akademika Teknik Kimia Universitas Lampung, atas semua ilmu dan bekal masa depan yang akan selalu bermanfaat.
10. Mba Ning selaku admin Jurusan Teknik Kimia dan mba Nani dan Mas Adi selaku Civitas Akademika Teknik Kimia Universitas Lampung, yang telah membantu.
11. Fransiska Salsalina B., sebagai teman seperjuangan sehidup se-tekkim selama tujuh tahun, menjadi pelengkap yang selalu kritis, membantu dan menghibur, terima kasih atas kerjasamanya selama ini baik dalam penyelesaian kerja praktik, penelitian hingga tugas akhir. Terimakasih karena sudah membantu dan terus berjuang hingga titik darah penghabisan untuk meraih gelar S.T. ini. Semoga kita menjadi orang yang sukses di jalannya masing-masing dan bermanfaat bagi banyak orang.
12. Amel, Metty, Ayu, Mba Ruruh sebagai teman yang selalu ada dan saling mendukung satu sama lain dalam menyelesaikan semua urusan selama selama diperkuliahan ini
13. Teman-teman ChemEng '16 yang saling membantu satu sama lain dalam segala hal, adik-adik dan kakak tingkat yang telah memberikan warna-warni kehidupan dunia kampus dan segala bantuan kepada penulis.
14. Kepada Dwi, Yola, Essy, selaku teman yang selalu menyemangati dalam menyelesaikan perkuliahan ini.
15. Semua pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan kalian dengan yang lebih baik dan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin.

Bandar Lampung, 22 Juni 2023

Penulis,

Nida Nabila Riadi

## DAFTAR ISI

<b>COVER</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>ABSTRAK</b> .....	iii
<b>COVER DALAM</b> .....	iv
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	v
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>PERNYATAAN</b> .....	vii
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	viii
<b>MOTTO</b> .....	x
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	xi
<b>SAWACANA</b> .....	xii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xxv
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Kegunaan Produk .....	3
1.3. Ketersediaan Bahan Baku .....	4
1.4. Analisis Pasar .....	4
1.4.1 Ketersediaan Produk di Indonesia .....	5

1.4.2	Kebutuhan Produk di Dunia .....	6
1.4.3	Harga Bahan Baku dan Produk .....	7
1.4.4	Kapasitaas Komersial .....	8
1.5.	Lokasi Pabrik .....	9
<b>II.</b>	<b>DESKRIPSI PROSES</b>	
2.1.	Jenis-Jenis Proses .....	14
2.2.	Pemilihan Proses .....	16
2.2.1.	Aspek Ekonomi .....	16
2.2.2.	Aspek Termodinamika .....	23
2.3.	Uraian Proses .....	35
2.3.1.	Tahap Penyiapan Bahan Baku .....	35
2.3.2.	Tahap Reaksi di dalam Reaktor .....	36
2.3.3.	Tahap Pembentukan Produk .....	36
2.3.4.	Tahap Pemisahan dan Pemurniaan .....	37
<b>III.</b>	<b>SPEKIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK</b>	
3.1.	Spekifikasi Bahan Baku .....	38
3.1.1.	Asam Fosfat .....	38
3.1.2.	Kalsium Hidroksida .....	38
3.1.3.	Air .....	39
3.2.	Produk .....	40
3.2.1.	Dikalsium Fosfat Dihidrat .....	40
<b>IV.</b>	<b>NERACA MASSA DAN ENERGI</b>	
4.1.	Neraca Massa .....	41
4.2.	Neraca Energi .....	43
<b>V.</b>	<b>SPEKIFIKASI ALAT PROSES</b>	
5.1.	Spekifikasi Alat Proses .....	48
5.2.	Spekifikasi Alata Utilitas .....	65
5.2.1.	Unit Penyediaan dan Pengolahan Air .....	65



5.2.2. Unit Pembangkit Steam .....	90
5.2.3. Unit Penyedia Udara Instrumen .....	90
5.2.4. Unit Pembangkit dan Pendistribusian Listrik.....	93
<b>VI. UTILITAS</b>	
6.1. Unit Penyedia Air.....	95
6.2. Unit Penyedia Tenaga Listrik .....	107
6.3. Unit Penyedia Steam .....	113
6.4. Unit Penyedia Udara Instrumen .....	113
6.5. Unit Penyedia Bahan Bakar .....	113
<b>VII. TATA LETAK PABRIK</b>	
7.1. Lokasi Pabrik .....	115
7.2. Tata Letak Pabrik .....	117
7.3. Estimasi Area Pabrik .....	120
<b>VIII. STRUKTUR ORGANISASI</b>	
8.1. Bentuk Perusahaan .....	123
8.2. Struktur Organisasi Perusahaan .....	125
8.3. Tugas dan Wewenang .....	129
8.4. Status Karyawan dan Sistem Penggajian .....	135
8.5. Pembagian Jam Kerja Karyawan .....	136
8.6. Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan.....	138
8.7. Kesejahteraan Karyawan .....	142
<b>IX. ANALISA EKONOMI</b>	
9.1. Inventasi.....	146
9.2. Evaluasi Ekonomi .....	150
9.3. <i>Discounted Cash Flow</i> (DCF) .....	153

**X. SIMPULAN DAN SARAN**

10.1. Simpulan.....	155
10.2. Saran.....	155

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN A (NERACA MASSA)**

**LAMPIRAN B (NERACA ENERGI)**

**LAMPIRAN C (SPESIFIKASI ALAT PROSES DAN UTILITAS)**

**LAMPIRAN D (UTILITAS)**

**LAMPIRAN E (INVESTASI EKONOMI)**

**LAMPIRAN F (TUGAS KHUSUS)**

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Impor Dikalsium Fosfat Dihidrat .....	5
Tabel 1.2 Data Impor DCPD di Negara Asia Tenggara .....	6
Tabel 1.3 Data Impor DCPD di Negara Asia .....	7
Tabel 1.4 Data Impor DCPD di Dunia.....	7
Tabel 1.5 Harga Bahan Baku dan Produk .....	8
Tabel 1.6 Produsen DCPD di Luar Negeri.....	8
Tabel 1.7 Kriteria Pemilihan Lokasi Pabrik.....	12
Tabel 1.8 Kriteria Pemilihan Lokasi Pabrik (lanjutan) .....	12
Tabel 2.1 Harga Bahan Baku dan Produk .....	17
Tabel 2.2 Nilai $\Delta G^\circ$ dan $\Delta H^\circ$ Bahan Baku dan Produk.....	24
Tabel 2.3 Nilai $\Delta S^\circ$ masing-masing komponen .....	25
Tabel 2.4 Data <i>heat capacity</i> masing-masing pada suhu reaksi.....	26
Tabel 2.5 Nilai masing-masing komponen .....	28
Tabel 2.6 Data <i>heat capacity</i> masing-masing pada suhu reaksi .....	29
Tabel 2.7 Nilai $\Delta S^\circ$ masing-masing komponen .....	32
Tabel 2.8 Data <i>heat capacity</i> masing-masing pada suhu reaksi.....	33
Tabel 2.9 Perbandingan pada masing-masing proses .....	34
Tabel 4.1.1 Neraca Massa pada Mixing Tank $H_3PO_4$ (MT-101) .....	42
Tabel 4.1.2 Neraca Massa pada Mixing Tank $H_3PO_4$ (MT-102).....	42

Tabel 4.1.3 Neraca Massa pada Reaktor (RE-201) .....	42
Tabel 4.1.4 Neraca Massa pada Centrifuge (CF-301) .....	43
Tabel 4.1.5 Neraca Massa pada Rotary Dryer (RD-301).....	43
Tabel 4.2.1 Neraca Energi pada Mixing Tank (MT-101) .....	43
Tabel 4.2.2 Neraca Energi pada Mixing Tank (MT-102).....	44
Tabel 4.2.3 Neraca Energi pada Reaktor (RE-201).....	45
Tabel 4.2.4 Neraca Energi pada Centrifuge (CF-301).....	46
Tabel 4.2.5 Neraca Energi pada Rotary Dryer (RD-301) .....	46
Tabel 4.2.6 Neraca Energi pada Air Heater (AH-301) .....	46
Tabel 5.1.1 Spesifikasi Tangki Penyimpanan H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (ST-101).....	47
Tabel 5.1.2 Spesifikasi Mixing Tank (MT-101) .....	48
Tabel 5.1.3 Spesifikasi Gudang Ca(OH) <sub>2</sub> (G-101).....	50
Tabel 5.1.4 Spesifikasi Solid Storage (SS-101) .....	50
Tabel 5.1.5 Spesifikasi Screw Conveyor (SC-101).....	51
Tabel 5.1.6 Spesifikasi Bucket Elevator (BE-101).....	51
Tabel 5.1.7 Spesifikasi Hopper Feeder (HF-101).....	52
Tabel 5.1.8 Spesifikasi Mixing Tank (MT-102) .....	52
Tabel 5.1.9 Spesifikasi Reaktor (RE-201) .....	54
Tabel 5.1.10 Spesifikasi Centrifuge (CF-301) .....	56
Tabel 5.1.11 Spesifikasi Screw Conveyor (SC-301) .....	57
Tabel 5.1.12 Spesifikasi Rotary Dryer (RD-301).....	58
Tabel 5.1.13 Spesifikasi Air Heater (AH-301).....	58
Tabel 5.1.14 Spesifikasi Fan 1 (F-301).....	59

Tabel 5.1.15 Spesifikasi Fan 2 (F-302).....	60
Tabel 5.1.16 Spesifikasi Screw Conveyor (SC-302) .....	60
Tabel 5.1.17 Spesifikasi Bucket Elevator (BE-302).....	61
Tabel 5.1.18 Spesifikasi Gudang CaHPO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O (G-301).....	61
Tabel 5.1.19 Spesifikasi Pompa Proses (PP-101).....	62
Tabel 5.1.20 Spesifikasi Pompa Proses (PP-102).....	62
Tabel 5.1.21 Spesifikasi Pompa Proses (PP-103).....	63
Tabel 5.1.22 Spesifikasi Pompa Proses (PP-201).....	64
Tabel 5.1.23 Spesifikasi Pompa Proses (PP-301).....	64
Tabel 5.2.1.1 Spesifikasi Bak Sedimentasi (BS-401).....	65
Tabel 5.2.1.2 Spesifikasi Tangki Alum (ST-401) .....	65
Tabel 5.2.1.3 Spesifikasi Tangki Klorin/Kaporit (ST-402) .....	66
Tabel 5.2.1.4 Spesifikasi Tangki Soda Kaustik (ST-403).....	67
Tabel 5.2.1.5 Spesifikasi Clarifier (CL-401).....	67
Tabel 5.2.1.6 Spesifikasi Sand Filter (SF-401) .....	68
Tabel 5.2.1.7 Spesifikasi Air Filter (ST-404).....	68
Tabel 5.2.1.8 Spesifikasi Tangki H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ST-405).....	69
Tabel 5.2.1.9 Spesifikasi Tangki Dispersant (ST-406).....	69
Tabel 5.2.1.10 Spesifikasi Tangki Inhibitor (ST-407).....	70
Tabel 5.2.1.11 Spesifikasi Cooling Tower (CT-401) .....	71
Tabel 5.2.1.12 Spesifikasi Cation Exchanger (CE-401) .....	71
Tabel 5.2.1.13 Spesifikasi Anion Exchanger (AE-401) .....	72
Tabel 5.2.1.14 Spesifikasi Tangki Air Denim (ST-408).....	72

Tabel 5.2.1.15 Spesifikasi Tangki Hidrazin (ST-409).....	73
Tabel 5.2.1.16 Spesifikasi Deaerator (DA-401).....	74
Tabel 5.2.1.17 Spesifikasi Tangki Air Domestik (ST-410).....	74
Tabel 5.2.1.18 Spesifikasi Cold Basin (CB-401).....	75
Tabel 5.2.1.19 Spesifikasi Hot Basin (HB-401).....	75
Tabel 5.2.1.20 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-401).....	76
Tabel 5.2.1.21 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-402).....	76
Tabel 5.2.1.22 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-403).....	77
Tabel 5.2.1.23 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-404).....	77
Tabel 5.2.1.24 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-405).....	78
Tabel 5.2.1.25 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-406).....	78
Tabel 5.2.1.26 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-407).....	79
Tabel 5.2.1.27 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-408).....	80
Tabel 5.2.1.28 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-409).....	80
Tabel 5.2.1.29 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-410).....	81
Tabel 5.2.1.30 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-411).....	81
Tabel 5.2.1.31 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-412).....	82
Tabel 5.2.1.32 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-413).....	83
Tabel 5.2.1.33 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-414).....	83
Tabel 5.2.1.34 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-415).....	84
Tabel 5.2.1.35 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-416).....	84
Tabel 5.2.1.36 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-417).....	85
Tabel 5.2.1.37 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-418).....	86

Tabel 5.2.1.38 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-419).....	86
Tabel 5.2.1.39 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-420).....	87
Tabel 5.2.1.40 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-421).....	87
Tabel 5.2.1.41 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-422).....	88
Tabel 5.2.1.42 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-423).....	88
Tabel 5.2.1.43 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-424).....	89
Tabel 5.2.2.1 Spesifikasi Boiler (BO-401).....	90
Tabel 5.2.2.2 Spesifikasi Steam Boiler (SB-401).....	90
Tabel 5.2.3.1 Spesifikasi Air Compressor (AC-401).....	90
Tabel 5.2.3.2 Spesifikasi Cyclone (CY-401) .....	91
Tabel 5.2.3.3 Spesifikasi Air Dryer (AD-401) .....	91
Tabel 5.2.3.4 Spesifikasi Blower Udara (BL-401) .....	92
Tabel 5.2.3.5 Spesifikasi Blower Udara (BL-402) .....	92
Tabel 5.2.3.6 Spesifikasi Blower Udara (BL-403) .....	92
Tabel 5.2.3.7 Spesifikasi Blower Udara (BL-404) .....	93
Tabel 5.2.4.1 Spesifikasi Generator Listrik (GS-401) .....	93
Tabel 5.2.4.2 Spesifikasi Tangki BBM (ST-411).....	93
Tabel 6.1 Kebutuhan Air Umum .....	96
Tabel 6.2 Kebutuhan Air untuk Cooling Tower.....	97
Tabel 6.3 Kebutuhan Air Umpan Boiler .....	100
Tabel 6.4 Kebutuhan Air Proses.....	101
Tabel 6.5 Kebutuhan Air Pemadam Kebakaran .....	102
Tabel 6.6 Kebutuhan Penerangan Bangunan .....	107

Tabel 6.7 Kebutuhan Penerangan Area Luar Bangunan.....	109
Tabel 6.8 Kebutuhan Listrik untuk Alat Proses .....	110
Tabel 6.9 Kebutuhan Listrik untuk Utilitas.....	111
Tabel 7.1 Perincian Luas Area Pabrik DCPD .....	120
Tabel 8.1 Jadwal Kerja Masing-Masing Regu .....	137
Tabel 8.2 Jadwal Kerja Masing-Masing Regu .....	138
Tabel 8.3 Jumlah Operator Proses .....	139
Tabel 8.4 Jumlah Operator Utilitas.....	140
Tabel 8.5 Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan .....	140
Tabel 9.1 Total Capital Investment (TCI) Pabrik DCPD.....	147
Tabel 9.2 Total Production Cost (TPC) Pabrik DCPD .....	149
Tabel 9.3 Minimum Acceptable Persent ROI .....	150
Tabel 9.4 Acceptable Payout Time untuk Tingkat Resiko Pabrik .....	151
Tabel 9.5 Hasil Kelayakan Uji Ekonomi .....	154



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Data Impor 2017-2021 DCPD di Indonesia.....	5
Gambar 7.1 Peta Wilayah Provinsi Jawa Timur.....	121
Gambar 7.2 Tata Letak Proses.....	121
Gambar 7.3 Tata Letak Pabrik.....	122
Gambar 8.1 Struktur Organisasi Perusahaan.....	128
Gambar 9.1 Grafik Analisa Ekonomi .....	153
Gambar 9.2 Kurva Cummulative Cash Flow .....	153

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Saat ini di Indonesia berada pada tahap yang penting di era industri. Tahap yang disebut sebagai era tinggal landas, yaitu suatu keadaan dimana sector industri mampu berkembang dengan tersedianya modal utama yang dimiliki. Dalam melaksanakan tahap ini, pemerintah melakukan pengembangan di berbagai industri. Salah satunya adalah dengan cara memenuhi kebutuhan bahan-bahan industri melalui pabrik-pabrik industri kimia. Adanya industri kimia juga dapat berpotensi untuk meningkatkan pemasukan negara karena keuntungan bisnisnya mencapai angka yang cukup signifikan, yaitu 5 miliar USD dan dapat menguasai 70% pangsa domestik.

Apabila melihat dari sektor industri kimia, kemudian membandingkannya dengan kebutuhan di sektor pakan ternak saat ini, *Dicalcium Phosphate Dihydrate (DCPD)* adalah salah satu bahan kimia yang masih dibutuhkan di Indonesia, kebutuhan impor DCPD dari negara China yang merupakan produsen terbesar DCPD masih terus dilakukan sampai sekarang. Di Indonesia sendiri, DCPD banyak digunakan untuk bahan tambahan dalam pakan ternak. Selain itu, DCPD juga dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan pasta gigi, dan industri farmasi lainnya.

Indonesia merupakan negara yang mayoritas pendapatan penduduknya berasal dari sektor industri peternakan dan pertanian. Pada tahun 1986 sampai tahun 2015 tercatat masyarakat yang bergerak dalam sektor pertanian dan peternakan

masih menempati posisi teratas. Sektor peternakan di Indonesia mempunyai potensi besar untuk mengisi pasar di beberapa negara tetangga, untuk menindaklanjuti permintaan negara tetangga akan produk ternak (terutama unggas di Indonesia) maka saat ini pemerintah Indonesia sedang menyiapkan pelaksanaan *Import Risk Analysis (IRA)* yang bertujuan untuk memenuhi persyaratan terkait kesehatan hewan ternak, khususnya unggas, yang nantinya akan siap di impor ke berbagai negara tetangga.

Kebutuhan ternak khususnya unggas di Indonesia masih cukup tinggi. Hal itu tidak lepas dari kebutuhan pakan ternak yang digunakan untuk meningkatkan kualitas produksi ternak itu sendiri. DCPD merupakan bahan tambahan pangan yang berfungsi untuk menambah nutrisi yang nantinya dapat menambah bobot badan ternak, banyaknya konsumsi ransum yang mengindikasikan meningkatnya nafsu makan ternak, efisiensi penggunaan ransum dan retensi kalsium yang berguna untuk pertumbuhan ternak (Sinurat dkk., 1995).

Berhubungan dengan hal-hal tersebut, maka sangat tepat jika di Indonesia didirikan pabrik DCPD yang bertujuan untuk memanfaatkan sumber daya alam yang ada dan memenuhi kekurangan akan kebutuhan DCPD dalam negeri. Sehingga alasan dibalik pendirian pabrik ini diantaranya:

- a. Pemanfaatan potensi yang ada di dalam negeri, bahan baku pembuatan Dicalcium Phosphate Dihydrate yaitu Asam Fosfat dan Kalsium Hidroksida yang di produksi di Indonesia cukup melimpah dan mudah didapatkan di Indonesia.
- b. Menghemat devisa negara karena dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri sehingga mengurangi ketergantungan impor DCPD.
- c. Mengurangi jumlah angka pengangguran di Indonesia dengan membuka lapangan kerja baru.

## 1.2 Kegunaan Produk

*Dicalcium Phosphate Dihydrate* ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) nama IUPAC adalah kalsium hydrogen ortofosfat dihidrat; *the mineral brushite*. DCPD dapat dengan mudah di kristalkan dari larutan berair yang mengandung ion  $\text{HPO}_4^{2-}$  dan  $\text{Ca}^{2+}$ . Secara umum, DCPD banyak digunakan sebagai suplemen kalsium dalam makanan, pakan dan sereal serta ditambahkan pada pasta gigi untuk perlindungan karies. Namun, selain kegunaan itu DCPD juga banyak digunakan pada produk-produk lain.

### 1. Pakan Ternak

Suplemen anorganik seperti dikalsium fosfat berperan penting dalam menyediakan mineral berguna yang dibutuhkan hewan ternak, mulai dari meningkatkan fungsi sel dan lainnya.

#### a. Merangsang perkembangan

Dikalsium fosfat memiliki aplikasi luas untuk merangsang pertumbuhan ruminansia dan hewan ternak lainnya. Dari berkembang-biak, memerah susu, dan produksi, setiap tahap memerlukan konsumsi gizi dalam jumlah yang cukup.

#### b. *Digestibility*

Ternak ruminansia seperti sapi, kerbau, unta, dll, yang terus mengunyah makanan untuk memprosesnya sebelum konsumsi akhir memiliki struktur perut yang lebih varian dari hewan lain. Karena fisiologi seperti itu, pencernaan cukup lambat dan sulit sehingga menambahkan fosfat ke dalam pakan mereka mendukung pencernaan yang lebih baik dan mencegah masalah metabolisme.

### 2. *Abrasive agent* pada pasta gigi

Dicalcium phosphate dihydrate (DCPD) telah digunakan dalam pasta gigi fluoride untuk meningkatkan efek remineralisasi di fluoride. Ion kalsium di DCPD tidak hanya larut secara intra-oral dan meningkatkan kadar ion kalsium dalam cairan *plaque* tetapi juga bertindak sebagai pembawa fluoride dan meningkatkan penyerapan fluoride pada karies email buatan pada gigi sulung

untuk meningkatkan remineralisasi. Pasta gigi yang mengandung DCPD, menunjukkan sifat anti-karies dalam studi karies tikus *in vivo* terhadap pasta gigi berbasis silika. (Zhang, et.al., 1995)

### 3. Campuran pada Semen Gigi

*Calcium Phosphate Cements Composites* (CPCs), campuran antara trikalsium fosfat dan dikalsium fosfat dihidrat, merupakan senyawa yang biasa digunakan sebagai materi bioimplant karena bersifat biokompatibel, bioaktif dan osteokonduktif. Semen gigi kalsium fosfat salah satu semen yang biasa digunakan dalam dunia kedokteran gigi untuk merestorasi gigi,, biasanya pada mahkota gigi. (Vinda Maryana, dkk, 2015)

## 1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan DCPD adalah Asam Fosfat dan Kalsium Hidroksida. Bahan baku Asam Fosfat diperoleh dari PT. Petrokimia Gresik yang berlokasi di Gresik, Jawa Timur. Kapasitas produksi asam fosfat dari PT. Petrokimia Gresik saat ini mencapai 400.000 ton/tahun. Sedangkan untuk kalsium hidroksida sendiri diperoleh dari PT. Pentawira Agraha Sakti di Tuban, Jawa Timur yang memiliki kapasitas produksi kalsium hidroksida sebesar 150.000 ton/tahun.

## 1.4 Analisa Pasar

Analisa pasar merupakan langkah untuk mengetahui seberapa besar minat pasar terhadap suatu produk. Adapun Analisa pasar dikalsium fosfat dihidrat (DCPD) berdasarkan data impor produk tersebut.

#### 1.4.1 Ketersediaan Produk di Indonesia

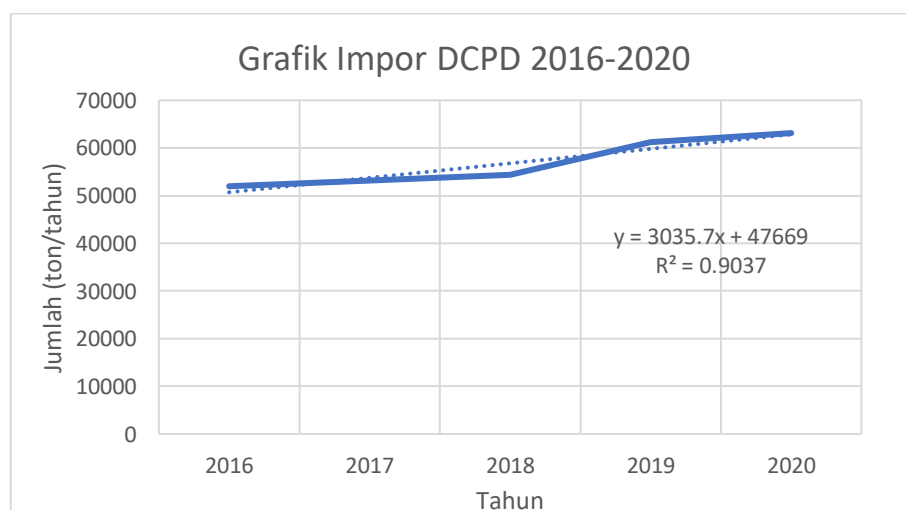
Untuk melihat ketersediaan produk di Indonesia dilakukan berdasarkan data impor DCPD di Indonesia. Berdasarkan data statistik, kebutuhan DCPD di Indonesia mengalami peningkatan. Sampai saat ini, produksi DCPD di Indonesia masih belum mencukupi kebutuhan dalam negeri sehingga mengakibatkan meningkatnya nilai impor.

**Tabel 1.1** Data Impor Dikalsium Fosfat Dihidrat  
(Badan Pusat Statistika, 2016-2021)

Tahun	Jumlah (ton/tahun)
2016	51965,08
2017	53190,11
2018	54365,61
2019	61242,77
2020	63117,38

Sumber: Badan Pusat Statistika, 2021 (bps.go.id)

Dari data tersebut kemudian dimasukkan ke dalam grafik.



**Gambar 1.1** Grafik data impor 2017-2021 DCPD di Indonesia

Pada Gambar 1.1., sumbu x merupakan tahun ke-n

Tahun 2016 = tahun ke 1

Tahun 2017 = tahun ke 2

Tahun 2018 = tahun ke 3

Tahun 2019 = tahun ke 4

Tahun 2020 = tahun ke 5

Berdasarkan data tersebut maka dapat diperkirakan impor DCPD di Indonesia pada tahun yang akan datang saat pembangunan pabrik dengan menggunakan persamaan  $y = 3035,7x + 47669$ , dimana x sebagai tahun ke-n dan y sebagai jumlah impor DCPD. Dari regresi linier terhadap data impor DCPD didapatkan persamaan regresi:

$$y = 3035,7x + 47669$$

$$y = 3035,7(2026) + 47669$$

$$y = 81061,7 \text{ ton/tahun}$$

#### 1.4.2 Kebutuhan Produk di Dunia

Untuk melihat kebutuhan produk dilakukan berdasarkan data impor DCP di berbagai negara. Berdasarkan data impor di negara-negara Asia Tenggara, Asia dan Dunia.

**Tabel 1.2** Data Impor DCPD di Negara Asia Tenggara

<b>Negara</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
	<b>(ton/tahun)</b>	<b>(ton/tahun)</b>	<b>(ton/tahun)</b>	<b>(ton/tahun)</b>	<b>(ton/tahun)</b>
Filipina	44.396,7	50.805,8	43.981,3	48.798,4	56.290,9
Thailand	18.103,4	18.131,1	18.080,9	16.298,8	18.476,7
Malaysia	33.904,1	36.135,1	34.897,5	42.097,2	43.676
Vietnam	23.927,8	23.599,4	13.557,3	19.378,7	12.509
Myanmar	947, 275	2.393,9	1.834,83	2.658,5	4.637,88

(sumber: wits.worldbank.org)

**Tabel 1.3** Data Impor DCPD di Negara Asia

<b>Negara</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
	<b>(ton/tahun)</b>	<b>(ton/tahun)</b>	<b>(ton/tahun)</b>	<b>(ton/tahun)</b>	<b>(ton/tahun)</b>
India	3.355,72	11.332,9	17.586,8	19.977	23.287,5
Jepang	24.451,9	20.819,1	21.180,4	19.326,3	22.264,5
Pakistan	2.277,65	1.903,72	1.392,46	1.743,82	2.101,89
Arab	10.417	9.520,86	10.156,4	12.400,1	12.209,8
Korea	20.232,5	16.516,9	12.213,9	10.879,2	9.518,9

(sumber: wits.worldbank.org)

**Tabel 1.4** Data Impor DCPD di Dunia

<b>Negara</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
	<b>(ton/tahun)</b>	<b>(ton/tahun)</b>	<b>(ton/tahun)</b>	<b>(ton/tahun)</b>	<b>(ton/tahun)</b>
Brazil	130.405	104.691	94.308	75.845,1	98.155,7
Australia	30.104,9	39.182,8	21.793,7	35.314,5	32.699,2
UK	44.839,5	42.715,9	45.745,2	45.905,7	16.105,7
Prancis	47.190	34.200,9	12.538,1	17.301,8	11.827
Chile	37.632	36.073,7	39.808,5	36.051,9	34.258,3

(sumber: wits.worldbank.org)

#### 1.4.3 Harga Bahan Baku Dan Produk

Harga dari bahan baku dan produk pada pabrik Dikalsium Fosfat Dihidrat (DCPD) adalah seperti berikut:



**Tabel 1.5** Harga Bahan Baku yang Digunakan dan Produk

Bahan Baku dan Produk	Harga (\$/ton)
$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	950
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	200
$\text{H}_3\text{PO}_4$	580

Sumber: *www.alibaba.com*

#### 1.4.4 Kapasitas Komersial

Penentuan kapasitas pabrik DCPD juga didasarkan pada kapasitas pabrik DCPD yang telah berdiri di berbagai negara seperti Cina, India, Taiwan dan United Kingdom. Kapasitas maksimum untuk pabrik DCPD yang pernah berdiri adalah 3.600-400.000 ton/tahun, seperti pada tabel 1.6.

**Tabel 1.6** Produsen DCPD di Luar Negeri

No	Pabrik	Kapasitas (ton/tahun)
1.	CH. Phosphate Co (United Kingdom)	400.000
2.	Sun Era Internasional Co., Ltd (Taiwan)	50.000
3.	RK Phosphates Pvt (India)	18.000
4.	Shouguang Hengyi Chemical Co., Ltd (China)	72.000
5.	Zhengzhou Sino Chemical Co., Ltd (China)	36.000

Sumber: *www.alibaba.com*

Bahan baku yang digunakan dalam produksi DCPD ialah Asam Fosfat dan Kalsium Hidroksida, Kebutuhan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  diperoleh dari PT. Petrokimia Gresik, yang memiliki kapasitas pabrik  $\text{H}_3\text{PO}_4$  sebesar 200.000 ton/tahun. Lalu untuk kebutuhan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  diperoleh PT. Pentawira Agraha Sakti di Tuban, Jawa Timur yang memiliki kapasitas produksi 150.000 ton/tahun. Jika kapasitas pabrik adalah 81061,7 ton per tahun, maka banyaknya bahan baku yang dibutuhkan:

- $\text{H}_3\text{PO}_4$  yang dibutuhkan per tahun
 
$$= \frac{0,569 \text{ kg } \text{H}_3\text{PO}_4}{1 \text{ kg } \text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} \times 81061,7 \text{ ton } \text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$$

$$= 46.124,1 \text{ ton}$$
- $\text{Ca}(\text{OH})_2$  yang dibutuhkan per tahun
 
$$= \frac{0,431 \text{ kg } \text{Ca}(\text{OH})_2}{1 \text{ kg } \text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} \times 81061,7 \text{ ton } \text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$$

$$= 34.937,59 \text{ ton}$$

Berdasarkan Undang-Undang No. 5 Tahun 1999 Pasal 25 tentang larangan praktik monopoli dan persaingan usaha tidak sehat menyatakan bahwa pelaku usaha hanya diperbolehkan menguasai 75% (tujuh puluh lima persen) pangsa pasar satu jenis barang atau jasa tertentu. Maka dari itu kami berencana membangun pabrik dikalsium fosfat dihidrat dengan kapasitas 60.000 ton/tahun atau sekitar 75% dari kebutuhan DCPD di Indonesia.

## 1.5 Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan salah satu faktor terpenting dari keberhasilan membangun suatu pabrik. Penentuan lokasi pabrik yang tepat akan menghasilkan biaya produksi dan distribusi yang minimal sehingga pabrik tersebut dapat berjalan efisien, ekonomis dan juga menguntungkan.

Pada penentuan lokasi pabrik harus diusahakan agar biaya transportasi serta upah pekerja memiliki nilai sekecil mungkin.

Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan lokasi pendirian pabrik antara lain:

a. Penyediaan bahan baku

Salah satu hal yang harus dipertimbangkan dalam penempatan lokasi pabrik yaitu letak sumber bahan baku yang tujuannya untuk memudahkan mendapatkan bahan baku menuju lokasi pabrik dan memperkecil biaya peralatan transportasi. Bahan baku asam fosfat ( $H_3PO_4$ ) diperoleh dari PT.Petrokimia Gresik, bahan baku kalsium hidroksida ( $Ca(OH)_2$ ) diperoleh dari PT. Pentawira Agraha Sakti di Tuban, Jawa Timur.

b. Daerah pemasaran

Untuk memudahkan pemasaran produk, lokasi pabrik harus dekat dengan daerah pemasaran atau dekat dengan konsumen. Produk yang dihasilkan akan didistribusikan ke industri pakan ternak karena industri ini banyak menggunakan DCPD sebagai *feed supplement/feed additive* pada pakan ternak. Di Indonesia terdapat banyak industri pakan ternak yang tersebar di Pulau Jawa, Sumatera dan Sulawesi. Selain itu DCPD juga digunakan pada pabrik pembuatan pasta gigi yang banyak tersebar di Pulau Jawa.

c. Tenaga kerja

Salah satu hal yang dipertimbangkan untuk mendirikan sebuah pabrik yaitu harus ditempatkan pada daerah yang banyak tenaga kerjanya, dari tingkat sarjana sampai pekerja buruh.

d. Penyediaan air

Dalam menjalankan suatu proses dalam pabrik, dibutuhkan air yang jumlahnya cukup besar yaitu untuk air pendingin, air proses serta untuk kebutuhan sehari-hari bagi karyawannya dan masyarakat sekitar pabrik.

e. Sarana transportasi

Pemilihan lokasi diharuskan sedekat mungkin letaknya dengan ke areal-areal industri yang tidak jauh dari pelabuhan sehingga akan mempermudah dalam penanganan memasok bahan baku serta mempermudah dalam jangkauan pemasaran produk.

f. Utilitas

Utilitas utama dalam pabrik ini meliputi kebutuhan listrik dan kebutuhan air yang digunakan untuk proses dan sanitasi.

g. Kebijakan pemerintah dan kondisi alam

Dalam membangun pabrik diperlukan koordinasi dan persetujuan pembangunan dari pemerintah maka dari itu diperlukan lokasi dengan pemerintahan yang mendukung jalannya pembangunan pabrik. Kondisi

alam juga menjadi faktor penting dalam mempertimbangkan lokasi pabrik. Struktur tanah yang stabil membuat daerah tersebut minim bencana alam sehingga pabrik bisa didirikan.

**Tabel 1.7** Kriteria pemilihan lokasi pabrik

<b>Kriteria</b>	<b>Lokasi</b>		
	<b>Karawang</b>	<b>Gresik</b>	<b>Cilegon</b>
Bahan baku	Transportasi darat dari Karawang dan Tuban, Jawa Timur	Transportasi darat dari Gresik dan Tuban, Jawa Timur	Transportasi darat dari Karawang dan Tuban, Jawa Timur
Transportasi	Transportasi darat	Transportasi darat	Transportasi darat
Unit	Sumber air dari Sungai Citarum	Sumber air dari Sungai Bengawan Solo	Sumber air laut
Pemasaran	Pabrik pakan ternak, pabrik pasta gigi,	Pabrik pakan ternak, pabrik pasta gigi	Pabrik pakan ternak, pabrik pasta gigi.

**Tabel 1.8** Kriteria pemilihan lokasi pabrik (Lanjutan)

<b>Kriteria</b>	<b>Lokasi</b>		
	<b>Karawang</b>	<b>Gresik</b>	<b>Cilegon</b>
UMR	Rp5.100.000,-	Rp4.500.000,-	Rp4.600.000,-
Harga Tanah	± Rp3.000.000,-	± Rp3.800.000,-	± Rp3.500.000,-

Berdasarkan kriteria pemilihan dan penilaian dari masing – masing lokasi pabrik dipilih lokasi di Gresik, Jawa Timur. Diharapkan dengan berdirinya pabrik dikalsium fosfat dihidrat di Karawang mampu memenuhi kebutuhan dikalsium fosfat dihidrat untuk menunjang industri-industri yang menggunakan dikalsium fosfat dihidrat sebagai bahan penunjangnya.

## II. DESKRIPSI PROSES

### 2.1. Jenis – jenis proses

Proses pembuatan *Dicalcium Phosphate Dihydrate* (DCDP) dipilih berdasarkan bahan baku yang akan digunakan karena proses yang akan berlangsung dan produk yang akan dihasilkan akan bergantung pada bahan baku yang akan digunakan.

*Dicalcium Phosphate* dikenal juga sebagai kalsium fosfat monohydrogen yaitu dibasa calcium pospat. Zat ini berwujud bubuk putih yang tidak berbau dan biasanya ditemukan dalam bentuk dihidrat dengan rumus kimia  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Proses pembuatan *Dicalcium Phosphate Dihydrate* (DCDP) dapat dilakukan dengan bahan baku yang berbeda-beda.

1. **Pembuatan *dicalcium phosphate dhydrate* dari asam fosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) dan kalsium hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )** (*Jurnal research and Design Trans IChemE Part A, 2007*)

Proses pembuatan DCDP dengan bahan dasar  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dilakukan pada temperature 35 °C.  $\text{H}_3\text{PO}_4$  yang digunakan memiliki kemurnian 85 % dan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  memiliki kemurnian 96 %. Larutan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  yang sudah terbentuk disaring terlebih dahulu untuk menghilangkan impurities yang tidak terlarut. Konsentrasi larutan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  yang digunakan adalah 2 M. proses pembuatan DCDP dilakukan dengan cara mereaksikan larutan  $\text{H}_3\text{PO}_4$

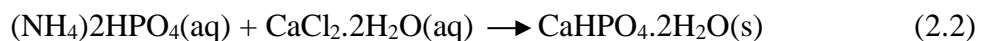
dan larutan  $\text{Ca(OH)}_2$  untuk membentuk endapan DCDP ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), seperti yang dapat dilihat pada persamaan reaksi berikut :



Setelah endapan terbentuk, maka endapan dipisahkan dari larutan induknya. Karena ukuran partikel belum sesuai dengan ukuran standar untuk *feed additive* pada pakan ternak maka dilakukan proses kristalizer. Setelah itu padatan dipisahkan dari larutan induknya kemudian dikeringkan. (*Oliveira C. dkk., 2007, Dicalcium Phosphate Dihydrate Precipitation, Journal Research and Design IChemE Part A, 85(12):1655-1661*)

2. **Pembuatan dicalcium phosphate dehydrate dari diammonium hydrogen fosfat ( $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ) dan kalsium klorida dihidrat ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (*United States Patent No. 3,095,226*)**

Proses pembuatan DCDP dengan bahan dasar  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  dan  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  dilakukan pada temperature 20-65 °C. konsentrasi larutan  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  dan  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  yang digunakan antara 0,1 sampai 3 M. Adapun persamaan proses reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut :

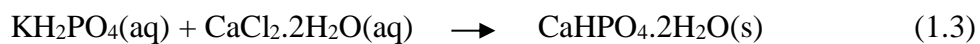


Proses pembuatan DCDP dilakukan dengan cara menambahkan larutan  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  kedalam larutan  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  untuk membentuk endapan, endapanakan dipisahkan dari larutan induknya kemudian dicuci dan dikeringkan dibawah temperature 65 °C. apabila proses dilakukan pada temperature rendah maka akan dihasilkan kristal bentuk diamond dengan ukuran besar tetapi *yield*-nya rendah. Namun apabila dilakukan pada temperature tinggi maka akan dihasilkan Kristal bentuk kubik dengan ukuran lebih kecil dan *yield* akan meningkat. (*Jianfheng, Z. dkk, 2016, Effects of a Dicalcium Phosphate Dihydrate based Desentizer on In Vitro Dentin Permeability, United States Patent No. 3, 095.226*)



3. **Pembuatan *dicalcium phosphate dehydrate* dari potassium dihidrogen fosfat( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) dan kalsium klorida dihidrat ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (*Jurnal Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 2010)**

Proses pembuatan DCPD dengan bahan kasar  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  dan  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  dilakukan pada temperature  $37^\circ\text{C}$   $\text{KH}_2\text{PO}_4$  yang digunakan memiliki kemurnian 99,5% dan  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  memiliki kemurnian 99,9%. Larutan yang sudah terbentuk disaring terlebih dahulu untuk menghilangkan impurities yang tidak terlarut. Persamaan reaksi dapat dituliskan sebagai berikut :



Filter yang digunakan adalah Polytetrafluoroethylene (PTFE) dengan ukuran  $0,2 \mu\text{m}$ . Konsentrasi larutan  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  dan  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  yang digunakan antara  $0,1 \text{ M}$ . Proses pembuatan DCPD dilakukan dengan cara menambahkan larutan ke dalam larutan  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  untuk membentuk endapan DCPD ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Setelah terbentuk endapan maka endapan dipisahkan dari larutan induknya kemudia dicuci dan dikeringkan. . (*Glocondi, J. dkk, 2010, Molecular Mechanism of Crystallization impacting Dicalcium Phospate Dihydrate, Jurnal Philosophical Transactions of The Royal Society A, 0006, 155-165*)

## 2.2. Pemilihan Proses

Proses pembuatan *Dicalcium Phosphate Dihydrate* (DCPD) dipilih berdasarkan pertimbangan aspek ekonomi dan aspek termodinamika :

### 2.2.1. Aspek Ekonomi

Tinjauan Ekonomi bertujuan untuk mengetahui keuntungan yang diperoleh per kg produk pada suatu proses atau metode yang digunakan. Perhitungan biaya bahan baku dilakukan berdasarkan pada Tabel 2.1

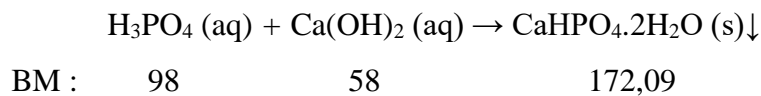
**Tabel 2.1** Harga Bahan Baku dan Produk yang dapat digunakan

<b>Bahan</b>	<b>Harga (\$/Ton)</b>
CaHPO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	950
Ca(OH) <sub>2</sub>	160
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	160
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	600
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1050
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1200

(Sumber: [www.alibaba.com](http://www.alibaba.com). Diakses: 23 November 2022)

a. Pembuatan dikalsium fosfat dihidrat dari asam fosfat (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) dan kalsium hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>)

Reaksi:



Produk yang terbentuk pada reaksi di atas adalah dikalsium fosfat dihidrate (CaHPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O). Jika pada reaksi tersebut dikalsium fosfat dihidrate yang terbentuk sebanyak 1 kg, maka :

- Mol dikalsium fosfat dihidrate yang terbentuk
 
$$= \frac{\text{massa}}{\text{BM}}$$

$$= \frac{1 \text{ Kg}}{172,09 \text{ Kg/Kmol}}$$

$$= 0,00581 \text{ kmol}$$

Berdasarkan perbandingan stokiometri maka :

- H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kg CaHPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O
 
$$\text{Mol H}_3\text{PO}_4 \text{ yang bereaksi} = \text{mol CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ yang terbentuk}$$

$$= 0,00581 \text{ kmol}$$

Massa H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> yang bereaksi

$$= \text{Mol} \times \text{BM}$$

$$= 0,00581 \text{ kmol} \times 98 \text{ kg/kmol}$$

$$= 0,56945 \text{ kg}$$

- $\text{Ca(OH)}_2$  yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kg  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 

$$\begin{aligned} \text{Mol Ca(OH)}_2 \text{ yang bereaksi} &= \text{mol CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ yang terbentuk} \\ &= 0,00581 \text{ kmol} \\ \text{Massa Ca(OH)}_2 \text{ yang bereaksi} &= \text{Mol} \times \text{BM} \\ &= 0,00581 \text{ kmol} \times 74,093 \text{ kg/kmol} \\ &= 0,43054 \text{ kg} \end{aligned}$$

Diketahui kapasitas produksi DCPD: 60.000.000 kg/tahun

Maka :

- $\text{H}_3\text{PO}_4$  yang dibutuhkan per tahun
 
$$\begin{aligned} &= \frac{0,56945 \text{ Kg H}_2\text{PO}_4}{1 \text{ Kg CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} \times 60.000.000 \text{ kg CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \\ &= 34.168.167 \text{ kg} \\ &= 34.168,167 \text{ ton} \end{aligned}$$
- $\text{Ca(OH)}_2$  yang dibutuhkan per tahun
 
$$\begin{aligned} &= \frac{0,43054 \text{ Kg Ca(OH)}_2}{1 \text{ Kg CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} \times 60.000.000 \text{ kg CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \\ &= 25.832.878 \text{ kg} \\ &= 25.832,878 \text{ ton} \end{aligned}$$

Biaya bahan baku per tahun sebesar :

$$\begin{aligned} &= (34.168,167 \times \$500) + (25.832,878 \times \$120) \\ &= \$20.500.900 + \$4.133.260 \\ &= \$24.634.161 \end{aligned}$$

Biaya Produksi per kg DCPD

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{biaya bahan baku per tahun}}{\text{kapasitas produksi per tahun}} \\ &= \frac{\$24.634.161}{60.000.000} \\ &= \$ 0,41056 / \text{kg} \text{ (Asumsi } \$1 = \text{Rp } 15.600) \\ &= \text{Rp. } 6.404,88 / \text{kg} \end{aligned}$$

Keuntungan yang diperoleh setiap 1 kg DCPD

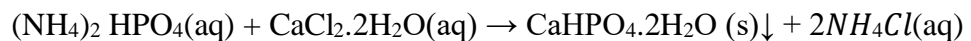
= harga jual produk – biaya bahan baku per kg produk

= \$ 0,950/kg - \$0,41056/kg

= \$ 0,53943/kg

b. Pembuatan dikalsium fosfat dihidrat dari diammonium hidrogen fosfat ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) dan kalsium klorida dihidrat CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O

Reaksi:



BM:                    132,07                    147,01                    172,09                    32

Produk yang terbentuk pada reaksi di atas adalah dikalsium fosfat dihidrat (CaHPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O). Jika pada reaksi tersebut dikalsium fosfat dihidrat yang terbentuk sebanyak 1 Kg, maka :

- Mol dikalsium fosfat dihidrat yang terbentuk 
$$= \frac{massa}{BM}$$
$$= \frac{1 Kg}{172,09 Kg/Kmol}$$
$$= 0,00581 kmol$$

Berdasarkan perbandingan stokiometri maka :

- (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kg CaHPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O  
Mol (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> yang bereaksi = mol CaHPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O yang terbentuk  
= 0,00581 kmol

Massa (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> yang bereaksi = Mol × BM  
= 0,00581 kmol × 132,07 kg/kmol  
= 0,76744 kg

- CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kg CaHPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O  
Mol CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O yang bereaksi = mol CaHPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O yang terbentuk  
= 0,00581 Kmol

Massa CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O yang bereaksi = Mol × BM  
= 0,00581 kmol × 147,01 kg/kmol  
= 0,85426 kg

Diketahui kapasitas produksi DCPD: 60.000.000 kg/tahun

Maka :

- $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$  yang dibutuhkan per tahun
 
$$= \frac{0,76744 \text{ Kg } (\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4}{1 \text{ Kg } \text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} \times 60.000.000 \text{ kg CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$$

$$= 46.046.835 \text{ kg}$$

$$= 46.046,835 \text{ ton}$$
- $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  yang dibutuhkan per tahun
 
$$= \frac{0,85426 \text{ kg } \text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}{1 \text{ Kg } \text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} \times 60.000.000 \text{ kg CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$$

$$= 51.255.738 \text{ kg}$$

$$= 51.255,738 \text{ ton}$$

Biaya bahan baku per tahun sebesar :

$$= (46.046,835 \times \$1.030) + (51.255,738 \times \$350)$$

$$= \$48.349.177 + \$8.200.918$$

$$= \$56.550.095$$

Biaya Produksi per kg DCPD

$$= \frac{\text{biaya bahan baku per tahun}}{\text{kapasitas produksi per tahun}}$$

$$= \frac{\$56.550.095}{60.000.000}$$

$$= \$0,94250/\text{kg} \text{ (Asumsi } \$1 = \text{Rp } 15.600)$$

$$= \text{Rp. } 14.703,02/\text{kg}$$

Keuntungan yang diperoleh setiap 1 kg DCPD

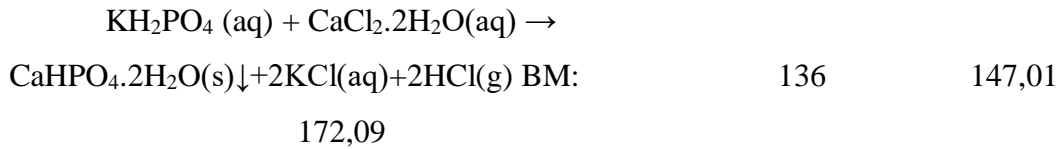
$$= \text{harga jual produk} - \text{biaya bahan baku per kg produk}$$

$$= \$ 0,950/\text{kg} - \$0,94250/\text{kg}$$

$$= \$ 0,00749/\text{kg}$$

c. Pembuatan dikalsium fosfat dihidrat dari potassium dihidrogen fosfat ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) dan kalsium klorida dihidrat ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

Reaksi:



Produk yang terbentuk pada reaksi di atas adalah dikalsium fosfat dihidrate ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Jika pada reaksi tersebut dikalsium fosfat dihidrate yang terbentuk sebanyak 1 Kg, maka :

- Mol dikalsium fosfat dihidrat yang terbentuk  $= \frac{\text{massa}}{\text{BM}}$   
 $= \frac{1 \text{ Kg}}{172,09 \text{ Kg/Kmol}}$   
 $= 0,00581 \text{ kmol}$

Berdasarkan perbandingan stokiometri maka :

Asumsi: Basis: 1 kg  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 0,00581 \text{ kmol}$  (BM= 172,09)

- $\text{KH}_2 \text{PO}_4$  yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kg  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   
Mol  $\text{KH}_2 \text{PO}_4$  yang bereaksi  $= \text{mol } \text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  yang terbentuk  
 $= 0,00581 \text{ kmol}$   
Massa  $\text{KH}_2 \text{PO}_4$  yang bereaksi  $= \text{Mol} \times \text{BM}$   
 $= 0,00581 \text{ kmol} \times 136 \text{ kg/kmol}$   
 $= 0,79028 \text{ kg}$
- $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kg  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   
Mol  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  yang bereaksi  $= \text{mol } \text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  yang terbentuk  
 $= 0,00581 \text{ kmol}$   
Massa  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  yang bereaksi  $= \text{Mol} \times \text{BM}$   
 $= 0,00581 \text{ kmol} \times 147,01 \text{ kg/kmol}$   
 $= 0,85426 \text{ kg}$

Diketahui kapasitas produksi DCPD: 60.000.000 kg/tahun

Maka :

- $\text{KH}_2\text{PO}_4$  yang dibutuhkan per tahun
 
$$= \frac{0,79028 \text{ Kg } H_3PO_4}{1 \text{ Kg } CaHPO_4 \cdot 2H_2O} \times 60.000.000 \text{ kg } CaHPO_4 \cdot 2H_2O$$

$$= 47.417.049 \text{ kg}$$

$$= 47.417,049 \text{ ton}$$
- $\text{CaCl}_2 \cdot 2H_2O$  yang dibutuhkan per tahun
 
$$= \frac{0,85426 \text{ kg } CaCl_2 \cdot 2H_2O}{1 \text{ Kg } CaHPO_4 \cdot 2H_2O} \times 60.000.000 \text{ kg } CaHPO_4 \cdot 2H_2O$$

$$= 51.255.738 \text{ kg}$$

$$= 51.255,738 \text{ ton}$$

Biaya bahan baku per tahun sebesar :

$$= (47.417,049 \times \$850) + (47.417,049 \times \$350)$$

$$= \$56.900.459 + \$8.200.918$$

$$= \$65.101.377$$

Biaya Produksi per kg DCPD

$$= \frac{\text{biaya bahan baku per tahun}}{\text{kapasitas produksi per tahun}}$$

$$= \frac{\$65.101.377}{60.000.000}$$

$$= \$1.08502/\text{kg} \text{ (Asumsi } \$1 = \text{Rp } 15.600)$$

$$= \text{Rp. } 16.926,35/\text{kg}$$

Keuntungan yang diperoleh setiap 1 kg DCPD

$$= \text{harga jual produk} - \text{biayan bahan baku per kg produk}$$

$$= \$ 0,950/\text{kg} - \$1.08502/\text{kg}$$

$$= \$ -0,135022/\text{kg}$$

### 2.2.2. Aspek Termodinamika

Untuk mengetahui kondisi operasi dalam proses produksi  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , maka harus mempertimbangkan faktor kelayakan proses secara teknis. Faktor ini mempertimbangkan beberapa hal seperti tekanan dan suhu operasi yang digunakan karena hal ini dapat mempengaruhi besarnya konversi produk yang dihasilkan. Di sisi lain hal perlu dipertimbangkan yaitu nilai energi bebas gibbs (kondisi reaksi) ( $\Delta G^\circ$ ) dan panas reaksi pembentukan (kondisi reaksi) ( $\Delta H^\circ$ ).

Energi bebas gibbs merupakan energi yang tersedia dalam sistem yang menunjukkan spontan atau tidak spontan terjadinya suatu reaksi kimia.  $\Delta G^\circ$  bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tersebut tidak dapat berlangsung secara spontan, sehingga dibutuhkan energi tambahan dari luar. Sedangkan  $\Delta G^\circ$  bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi tersebut dapat berlangsung secara spontan dan hanya sedikit membutuhkan energi. Oleh karena itu, semakin kecil atau negatif  $\Delta G^\circ$  maka reaksi tersebut akan semakin baik karena untuk berlangsung spontan, energi yang dibutuhkan semakin kecil, begitupun sebaliknya.

Panas pembentukan (kondisi reaksi) ( $\Delta H^\circ$ ) merupakan besarnya panas reaksi yang mampu dihasilkan atau dibutuhkan untuk berlangsungnya suatu reaksi kimia. Jika  $\Delta H^\circ$  bernilai positif (+), menunjukkan bahwa sistem membutuhkan panas untuk melangsungkan suatu reaksi kimia (*endoterm*). Sedangkan jika  $\Delta H^\circ$  bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa sistem melepas atau menghasilkan panas pada saat berlangsungnya reaksi (*eksoterm*).

Hal ini dilakukan berdasarkan pada perhitungan nilai  $\Delta G^\circ$  dan  $\Delta H^\circ$ . Perhitungan  $\Delta G^\circ$  reaksi dilakukan dengan menggunakan data pada Tabel 2.2



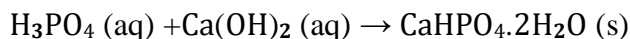
**Tabel 2.2** Nilai  $\Delta G^\circ$  dan  $\Delta H^\circ$  Bahan Baku dan Produk

Senyawa	$\Delta G^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta H^\circ$ (kJ/mol)
CaHPO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	-2.154,75	-2.404
Ca(OH) <sub>2</sub>	-897,5	-986,09
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	-748,80	-3.159
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	-1.123,60	-1271,66
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	-1.602,94	-1566,91
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	-1.415,90	-1568,3
HCL	-95,30	-92.30
KCL	-408,50	-436,50
NH <sub>4</sub> Cl	-202,90	-314,40

Sumber: *Standart Thermodynamic Properties of Chemical Substances*

- a.) Pembuatan dikalsium fosfat dihidrat dari Asam Fosfat (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) dan Kalsium Hidroksida Ca(OH)<sub>2</sub>

Reaksi :



Menghitung nilai  $\Delta G^\circ$  dan  $\Delta H^\circ$  masing-masing komponen pada suhu 298 K dengan menggunakan data pada Tabel 2.2.

**Menghitung nilai  $\Delta G$  :**

$$\Delta G^\circ_{\text{f}} 298 \text{ K} = \Delta G^\circ_{\text{f}} \text{produk} - \Delta G^\circ_{\text{f}} \text{reaktan}$$

- $\Delta G^\circ_{\text{f}} \text{produk} = [(\Delta G^\circ_{\text{f}} \text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})]$   
= -2154,75 kJ/kmol

- $\Delta G^\circ_{\text{f}} \text{reaktan} = [(\Delta G^\circ_{\text{f}} \text{H}_3\text{PO}_4) + (\Delta G^\circ_{\text{f}} \text{Ca}(\text{OH})_2)]$   
= -1123,6 + -897,5  
= -2021,1 kJ/kmol

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ_{\text{f}} 298 \text{ K} &= \Delta G^\circ_{\text{f}} \text{produk} - \Delta G^\circ_{\text{f}} \text{reaktan} \\ &= -2154,75 \text{ kJ/kmol} - (-2021,1) \text{ kJ/kmol} \\ &= -133,65 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

**Menghitung nilai  $\Delta H$  :**

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_f 298 \text{ K} &= \Delta H^\circ_{f\text{produk}} - \Delta H^\circ_{f\text{reaktan}} \\ \bullet \Delta H^\circ_{f\text{produk}} &= [(\Delta H^\circ_f \text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})] \square \\ &= -2404 \text{ kJ/kmol} \\ \bullet \Delta H^\circ_{f\text{reaktan}} &= [(\Delta H^\circ_f \text{H}_3\text{PO}_4) + (\Delta H^\circ_f \text{Ca}(\text{OH})_2)] \square \\ &= (-1271,66 \text{ kJ/kmol}) + (-986,09 \text{ kJ/kmol}) \\ &= -2257,75 \text{ kJ/mol} \\ \Delta H^\circ_f 298 \text{ K} &= \Delta H^\circ_{f\text{produk}} - \Delta H^\circ_{f\text{reaktan}} \\ &= -2404 \text{ kJ/kmol} - (-2257,75 \text{ kJ/mol}) \\ &= -146,25 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, diperoleh nilai  $\Delta G$  dan  $\Delta H$  negatif (-).  $\Delta G^\circ_f 298 \text{ K}$  bernilai negatif ( $<0$ ) menandakan bahwa reaksi dapat berlangsung secara spontan dan tidak membutuhkan energi yang terlalu besar. Dan  $\Delta H^\circ_f 298 \text{ K}$  bernilai negatif menandakan bahwa reaksi bersifat eksotermis.

Data entropi untuk masing-masing komponen dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut.

**Tabel 2.3** Nilai  $\Delta S^\circ_f$  masing-masing komponen

Komponen	$\Delta S^\circ_f$ (J/mol.K)
CaHPO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	60,63573
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	150,77
Ca(OH) <sub>2</sub>	83,36

(Sumber: Yaws, 1999)

$$\begin{aligned} \Delta S^\circ_f 298 \text{ K} &= \Delta S^\circ_{f\text{produk}} - \Delta S^\circ_{f\text{reaktan}} \\ \bullet \Delta S^\circ_{f\text{produk}} &= [(\Delta S^\circ_f \text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})] \square \\ &= 60,63573 \text{ J/mol.K} \\ \bullet \Delta S^\circ_{f\text{reaktan}} &= [(\Delta S^\circ_f \text{H}_3\text{PO}_4) + (\Delta S^\circ_f \text{Ca}(\text{OH})_2)] \square \\ &= [(150,77) + (83,36)] \\ &= 234,13 \text{ J/mol.K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta S^{\circ} \text{f } 298 \text{ K} &= \Delta S^{\circ} \text{f}_{\text{produk}} - \Delta S^{\circ} \text{f}_{\text{reaktan}} \\
 &= 60,63573 \text{ J/mol.K} - 234,13 \text{ J/mol.K} \\
 &= -173,49427 \text{ J/mol.K} \\
 &= -0,173494262 \text{ kJ/mol.K}
 \end{aligned}$$

Reaksi berlangsung dalam fasa paat-padat pada suhu 35°C. Untuk menghitung  $\Delta H$ ,  $\Delta G$ , dan  $\Delta S$ , diperlukan data *heat capacity* (cp) masing- masing komponen dalam fasa padat pada suhu reaksi. *Heat capacity* tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan dari buku Perry, 7<sup>th</sup> Edition.

**Tabel 2.4** Data *heat capacity* masing-masing komponen pada suhu reaksi

Komponen	Heat Capacity (cp) (kJ/mol.K)
CaHPO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	322,8
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	163,592
Ca(OH) <sub>2</sub>	21,4

(Sumber: Yaws, 1999)

$$\begin{aligned}
 \Delta C_p T_o &= \Sigma c_p \text{ produk} - \Sigma c_p \text{ reaktan} \\
 &= (322,8) - (163,592 + 21,4) \\
 &= 322,8 - (184,992) \\
 &= 140,837 \text{ kJ/Mol.K}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \int_{T_o}^T \Delta C_p dT &= \Delta C_p T_o \int_{T_o}^T dT \\
 &= \Delta C_p T_o \cdot [T - T_o] \\
 &= 140,837 \times (308 - 298) \\
 &= 1408,37 \text{ kJ/Mol.K}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{T} dT &= \Delta C_p T_o \int_{T_o}^T \frac{1}{T} dT \\
 &= \Delta C_p T_o \ln[T - T_o] \\
 &= 1408,37 \times \ln[308 - 298] \\
 &= 3242,891767 \text{ kJ/Mol.K}
 \end{aligned}$$

Sehingga,

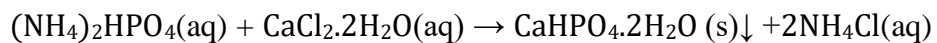
$$\begin{aligned}\Delta H_T &= \Delta H_{T_0} + \int_{T_0}^T \Delta C_p dT \\ &= -146,25 + (1408,37) \\ &= 1262,12 \text{ kJ/Mol.K}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta S_T &= \Delta S_{T_0} + \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{T} dT \\ &= -0,173494262 + 3173,146465 \\ &= 3242,718273 \text{ kJ/Mol.K}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta G_T &= \Delta H_T - T \cdot \Delta S_T \\ &= (1262,12) - 308 \times (3242,718273) \\ &= (-997495,1081) \text{ kJ/Mol.K}\end{aligned}$$

b.) Pembuatan dikalsium fosfat dihidrate dari Diammonium Hidrogen fosfat ( $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$ ) dan kalsium klorida dihidrat ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

Reaksi :



Menghitung nilai  $\Delta G^\circ$  dan  $\Delta H^\circ$  masing-masing komponen pada suhu 298 K dengan menggunakan data pada Tabel 2.1.

Menghitung nilai  $\Delta G$  :

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ \text{ f } 298 \text{ K} &= \Delta G^\circ \text{ f produk} - \Delta G^\circ \text{ f reaktan} \\ \bullet \Delta G^\circ \text{ f produk} &= [(\Delta G^\circ \text{ f } \text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) + (2 \times \Delta G^\circ \text{ f } \text{NH}_4\text{Cl})] \square \\ &= [(-2.154,75 \text{ kJ/kmol}) + (2 \times -202,9 \text{ kJ/kmol})] \\ &= -2.560,55 \text{ kJ/kmol} \\ \bullet \Delta G^\circ \text{ f reaktan} &= [(\Delta G^\circ \text{ f } (\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4) + (\Delta G^\circ \text{ f } \text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})] \square \\ &= [(-1.602,94 \text{ kJ/kmol}) + (-7.480,8 \text{ kJ/kmol})] \\ &= -9083,74 \text{ kJ/kmol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ}f_{298\text{ K}} &= \Delta G^{\circ}f_{\text{produk}} - \Delta G^{\circ}f_{\text{reaktan}} &= (- \\ &= 2.560,55 \text{ kJ/kmol}) - (-9.083,74 \text{ kJ/kmol}) \\ &= 6.523,19 \text{ kJ/kmol}\end{aligned}$$

### Menghitung nilai $\Delta H$ :

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}f_{298\text{ K}} &= \Delta H^{\circ}f_{\text{produk}} - \Delta H^{\circ}f_{\text{reaktan}} \\ \bullet \Delta H^{\circ}f_{\text{produk}} &= [(\Delta H^{\circ}f_{\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}) + (2 \times \Delta H^{\circ}f_{\text{NH}_4\text{Cl}})] \\ &= [(-2404 \text{ kJ/kmol}) + (2 \times -314,4 \text{ kJ/kmol})] \\ &= -3.032,8 \text{ kJ/mol} \\ \bullet \Delta H^{\circ}f_{\text{reaktan}} &= [(\Delta H^{\circ}f_{(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4}) + (\Delta H^{\circ}f_{\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}})] \\ &= (-1.566,91 \text{ kJ/kmol}) + (-3.159 \text{ kJ/kmol}) \\ &= -4.725,91 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}f_{298\text{ K}} &= \Delta H^{\circ}f_{\text{produk}} - \Delta H^{\circ}f_{\text{reaktan}} \\ &= (-3.032,8 \text{ kJ/kmol}) - (-4.725,91 \text{ kJ/mol}) \\ &= 1.693,11 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, diperoleh nilai  $\Delta G$  dan  $\Delta H$  positif (+).  $\Delta G^{\circ}$  bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tersebut tidak dapat berlangsung secara spontan, sehingga dibutuhkan energi tambahan dari luar. Dan  $\Delta H^{\circ}f_{298\text{ K}}$  bernilai positif (+), menunjukkan bahwa sistem membutuhkan panas untuk melangsungkan suatu reaksi kimia (*endoterm*).

Data entropi untuk masing-masing komponen dapat dilihat pada Tabel 2.5 berikut.

**Tabel 2.5** Nilai masing-masing komponen

Komponen	$\Delta S^{\circ}f$ (J/mol.K)
CaHPO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	60,6357383
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	46,5101
CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	51,7988255
NH <sub>4</sub> Cl	94,85

Sumber: Yaws, 1999

**Menghitung nilai  $\Delta S$** 

$$\Delta S^{\circ}f_{298\text{ K}} = \Delta S^{\circ}f_{\text{produk}} - \Delta S^{\circ}f_{\text{reaktan}}$$

- $\Delta S^{\circ}f_{\text{produk}} = [(\Delta S^{\circ}f_{\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}) + (2 \times \Delta S^{\circ}f_{\text{NH}_4\text{Cl}})]$ 

$$= 60,63573 \text{ J/mol.K} + 189,7 \text{ J/mol.K}$$

$$= 250,3357383 \text{ J/mol.K}$$

- $\Delta S^{\circ}f_{\text{reaktan}} = [(\Delta S^{\circ}f_{(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4}) + (\Delta S^{\circ}f_{\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}})]$ 

$$= 46,5101 \text{ J/mol.K} + 51,7988255 \text{ J/mol.K}$$

$$= 98,3089255 \text{ J/mol.K}$$

$$\Delta S^{\circ}f_{298\text{ K}} = \Delta S^{\circ}f_{\text{produk}} - \Delta S^{\circ}f_{\text{reaktan}}$$

$$= 250,3357383 \text{ J/mol.K} - 98,3089255 \text{ J/mol.K}$$

$$= 152,0268128 \text{ J/mol.K}$$

Reaksi berlangsung dalam fasa padat-padat pada suhu 65°C. Untuk menghitung  $\Delta H$ ,  $\Delta G$ , dan  $\Delta S$ , diperlukan data *heat capacity* (cp) masing-masing komponen dalam fasa gas pada suhu reaksi. *Heat capacity* tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan dari buku Perry, 7th Edition.

**Tabel 2.6** Data *heat capacity* masing-masing komponen pada suhu reaksi

<b>Komponen</b>	<b>Heat Capacity (cp)(kl)/(mol.K)</b>
CaHPO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	322,8
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	185,83
CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	3908359,68
NH <sub>4</sub> Cl	40,93969332

Sumber: Yaws, 1999

$$\begin{aligned}
\Delta C_p T_o &= \Sigma c_p \text{ produk} - \Sigma c_p \text{ reaktan} \\
&= (322,8 + 40,93969332) - (185,83 + 3908359,68) \\
&= 404,6793866 - (3908545,51) \\
&= -3908140,83 \text{ kJ/Mol.K}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\int_{T_o}^T \Delta C_p dT &= \Delta C_p T_o \int_{T_o}^T dT \\
&= \Delta C_p T_o [T - T_o] \\
&= -3.908.140,83 \times (338 - 298) \\
&= -156.325.633,2 \text{ kJ/Mol.K}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{T} dT &= \Delta C_p T_o \int_{T_o}^T \frac{1}{T} dT \\
&= \Delta C_p T_o \ln[T - T_o] \\
&= -156.325.633,2 \times \ln[338 - 298] \\
&= -57.666.6416,5 \text{ kJ/Mol.K}
\end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
\Delta H_T &= \Delta H_{T_o} + \int_{T_o}^T \Delta C_p dT \\
&= 1.693,11 + (-156.325.633,2) \\
&= -156.323.940 \text{ kJ/Mol.K}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta S_T &= \Delta S_{T_o} + \int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{T} dT \\
&= 0,152.026.813 + (-576.666.416,5) \\
&= -576.666.416 \text{ kJ/Mol.K}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta G_T &= \Delta H_T - T \cdot \Delta S_T \\
&= (-156.323.940) - 338 \times (-576.666.416) \\
&= (1,94757E+11) \text{ kJ/Mol.K}
\end{aligned}$$

c.) Pembuatan dikalsium fosfat dihidrat dari Potassium Dihidrogen Fosfat ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) dan Kalsium Klorida Dihidrat ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

Reaksi:



Menghitung nilai  $\Delta G^\circ$  dan  $\Delta H^\circ$  masing-masing komponen pada suhu 298 K dengan menggunakan data pada Tabel 2.1.

### Menghitung nilai $\Delta G$ :

$$\Delta G^\circ_{\text{f}298 \text{ K}} = \Delta G^\circ_{\text{fproduk}} - \Delta G^\circ_{\text{freaktan}}$$

- $$\begin{aligned} \Delta G^\circ_{\text{fproduk}} &= [(\Delta G^\circ_{\text{f}} \text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) + (\Delta G^\circ_{\text{f}} \text{KCl}) + (\Delta G^\circ_{\text{f}} \text{HCl})] \\ &= [(-2.154,75 \text{ kJ/kmol}) + (-408,5 \text{ kJ/kmol}) + (-95,3 \text{ kJ/kmol})] \\ &= -2.658,55 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned} \Delta G^\circ_{\text{freaktan}} &= [(\Delta G^\circ_{\text{f}} \text{KH}_2\text{PO}_4) + (\Delta G^\circ_{\text{f}} \text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})] \\ &= [(-1.415,9 \text{ kJ/kmol}) + (-7.480,8 \text{ kJ/kmol})] \\ &= -8.896,7 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ_{\text{f}298 \text{ K}} &= \Delta G^\circ_{\text{fproduk}} - \Delta G^\circ_{\text{freaktan}} \\ &= (-2.658,55 \text{ kJ/kmol}) - (-8.896,7 \text{ kJ/kmol}) \\ &= 6.238,15 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

### Menghitung nilai $\Delta H$ :

$$\Delta H^\circ_{\text{f}298 \text{ K}} = \Delta H^\circ_{\text{fproduk}} - \Delta H^\circ_{\text{freaktan}}$$

- $$\begin{aligned} \Delta H^\circ_{\text{fproduk}} &= [(\Delta H^\circ_{\text{f}} \text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) + (\Delta H^\circ_{\text{f}} \text{KCl}) + (\Delta H^\circ_{\text{f}} \text{HCl})] \\ &= [(-2,404 \text{ kJ/kmol}) + (-436,5 \text{ kJ/kmol}) + (-92,3 \text{ kJ/kmol})] \\ &= -2.932,8 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned} \Delta H^\circ_{\text{freaktan}} &= [(\Delta H^\circ_{\text{f}} \text{KH}_2\text{PO}_4) + (\Delta H^\circ_{\text{f}} \text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})] \\ &= [(-1.568,3 \text{ kJ/kmol}) + (-3.159 \text{ kJ/kmol})] \\ &= -4.727,3 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 \Delta H^{\circ}f_{298\text{ K}} &= \Delta H^{\circ}f_{\text{produk}} - \Delta H^{\circ}f_{\text{reaktan}} \\
 &= (-2.932,8 \text{ kJ/kmol}) - (-4.727,3 \text{ kJ/kmol}) \\
 &= 1.794,5 \text{ kJ/kmol}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, diperoleh nilai  $\Delta G$  dan  $\Delta H$  positif (+).  $\Delta G^{\circ}$  bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tersebut tidak dapat berlangsung secara spontan, sehingga dibutuhkan energi tambahan dari luar. Dan  $\Delta H^{\circ}f_{298\text{ K}}$  bernilai positif (+), menunjukkan bahwa sistem membutuhkan panas untuk melangsungkan suatu reaksi kimia (*endoterm*).

Data entropi untuk masing-masing komponen dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut.

**Tabel 2.7** Nilai  $\Delta S^{\circ}f$  masing-masing komponen

Komponen	$\Delta S^{\circ}f$ (J/mol.K)
CaHPO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	60,6357383
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	47,9497651
CaCl <sub>2</sub> . 2H <sub>2</sub> O	51,7988255
KCl	82,56
HCl	198591

(Sumber: Yaws, 1999)

### Menghitung nilai $\Delta S$

$$\Delta S^{\circ}f_{298\text{ K}} = \Delta S^{\circ}f_{\text{produk}} - \Delta S^{\circ}f_{\text{reaktan}}$$

- $$\begin{aligned}
 \Delta S^{\circ}f_{\text{produk}} &= [(\Delta S^{\circ}f_{\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}) + (\Delta S^{\circ}f_{\text{KCl}}) + (\Delta S^{\circ}f_{\text{HCl}})] \\
 &= [(60,6357383 \text{ kJ/kmol}) + (82,56 \text{ kJ/kmol}) + (198591 \text{ kJ/kmol})] \\
 &= 198.734,1957 \text{ kJ/kmol}
 \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned}
 \Delta S^{\circ}f_{\text{reaktan}} &= [(\Delta S^{\circ}f_{\text{KH}_2\text{PO}_4}) + (\Delta S^{\circ}f_{\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}})] \\
 &= [(47,9497651 \text{ J/kmol}) + (51,7988255 \text{ J/kmol})] \\
 &= 99,7485906 \text{ J/kmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta S_{of\ 298\ K} &= \Delta S^{\circ}f_{produk} - \Delta S^{\circ}f_{reaktan} \\
&= (198.734,1957\ J/kmol) - (99,7485906\ J/kmol) \\
&= 198.634,4471\ J/kmol \\
&= 198,6344471\ kJ/mol\ K
\end{aligned}$$

Reaksi berlangsung dalam fasa padat-padat pada suhu 65°C. Untuk menghitung  $\Delta H$ ,  $\Delta G$ , dan  $\Delta S$ , diperlukan data *heat capacity* (*cp*) masing-masing komponen dalam fasa gas pada suhu reaksi. *Heat capacity* tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan dari buku Perry, 7th Edition.

**Tabel 2.8** Data *heat capacity* masing-masing komponen pada suhu reaksi

Komponen	<i>Heat Capacity</i> ( <i>cp</i> )(kJ/mol.K)
CaHPO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	322.8
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	124,21
CaCl <sub>2</sub> . 2H <sub>2</sub> O	3908359,68
KCl	50,88437247
HCl	-374902,3091

sumber: Yaws, 1999

$$\begin{aligned}
\Delta C_p\ T_o &= \Sigma c_p\ produk - \Sigma c_p\ reaktan \\
&= (322,8+50,88437247+-374.902,3091) - (124,21+ \\
3.908.359,68) &= -374.528,6247- (3.908.483,89) \\
&= -4.283.012,515\ kJ/Mol.K\ K
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\int_{T_o}^T \Delta C_p\ dT &= \Delta C_p T_o \int_{T_o}^T dT \\
&= \Delta C_p T_o \cdot [T - T_o] \\
&= -4.283.012,515 \times (310 - 298) \\
&= -51.396.150,17\ kJ/Mol.K\ K
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{T} dT &= \Delta C_p T_0 \int_{T_0}^T \frac{1}{T} dT \\
 &= \Delta C_p T_0 \ln[T - T_0] \\
 &= -51.396.150,17 \times \ln[338 - 298] \\
 &= -127.714.635,3 \text{ kJ/Mol.K}
 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 \Delta H_T &= \Delta H_{T_0} + \int_{T_0}^T \Delta C_p dT \\
 &= 1.794,5 + (-51.396.150,17) \\
 &= -51.394.355,67 \text{ J/Mol.K}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta S_T &= \Delta S_{T_0} + \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{T} dT \\
 &= 198,6344471 + (-127.714.635,3) \\
 &= -12.771.4436,7 \text{ kJ/Mol.K}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G_T &= \Delta H_T - T \cdot \Delta S_T \\
 &= (-51.394.355,67) - 338 \times (-127.714.436,7) \\
 &= (39.540.081.024) \text{ kJ/Mol.K}
 \end{aligned}$$

**Tabel 2.9** Tabel perbandingan pada masing-masing proses

<b>Parameter</b>	<b>Proses Ca(OH)<sub>2</sub> dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub></b>	<b>Proses (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> dan CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O</b>	<b>Proses (KH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>) dan (CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O)</b>
Konversi (x)	95 %	50%-90%	60%
Bahan Baku	Semua bahan baku mudah didapat didalam negeri	Semua bahan baku masih mengimpor dari negara lain	Semua bahan baku masih mengimpir dari luar negeri
Suhu ( T )	Menggunakan suhu rendah (35°C)	Menggunakan suhu tinggi (>65°C)	Menggunakan suhu rendah (37°C)

<b>Parameter</b>	<b>Proses Ca(OH)<sub>2</sub> dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub></b>	<b>Proses (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> dan CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O</b>	<b>Proses (KH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>) dan (CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O)</b>
Tekanan (atm)	1 atm	1 atm	1 atm
$\Delta G^\circ$ (kJ/mol)	-133,65	6.523,19	6.238,15
$\Delta H^\circ$ (kJ/mol)	-146,25	1.693,11	1.794
Keuntungan (\$/kg produk)	0,5138	-0,2022	-0,447

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan dari Tabel 2.9, maka dipilihlah proses pembuatan dikalsium fosfat dihidrate (DCPD) dari Asam Fosfat (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) dan Kalsium Hidroksida Ca(OH)<sub>2</sub> karena seperti yang terlihat dari Tabel 2.9, apabila dibandingkan dengan dua proses lainnya, keuntungan yang diperoleh lebih besar, konversi reaksi yang lebih tinggi, serta proses yang lebih efisien karna energi yang dibutuhkan lebih rendah.

### 2.3. Uraian Proses

Langkah pembuatan dikalsium fosfat dihidrate (DCPD) dibagi menjadi 4 tahap, yaitu sebagai berikut :

#### 2.3.1. Tahap Penyiapan Bahan Baku

Tahap penyiapan bahan baku ini bertujuan untuk menyiapkan larutan asam fosfat dan larutan kalsium hidroksida sebelum direaksikan di reaktor. Bahan baku yang digunakan adalah asam fosfat dengan kemurnian 85% dan kalsium hidroksida dengan kemurnian 96%. Pembuatan larutan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan larutan Ca(OH)<sub>2</sub> dilakukan pada *Mixing Tank* yang berbeda.

### 1. Unit Persiapan Asam Fosfat

Bahan baku asam fosfat dalam kondisi cair dialirkan dalam tangki penyimpanan asam fosfat pada suhu 30°C dan tekanan atmosferis menuju *Mixer* dengan media alir berupa pompa untuk dilarutkan dengan air hingga 85% dengan konsentrasi 2 M, kemudian diumpankan melalui pompa menuju reaktor.

### 2. Unit Persiapan Kalsium Hidroksida

Kalsium hidroksida yang disimpan dalam tangka penyimpanan pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm menuju *mixer* untuk dilarutkan dengan air hingga 96% dengan konsentrasi 2 M, kemudian diumpankan melalui pompa menuju reaktor.

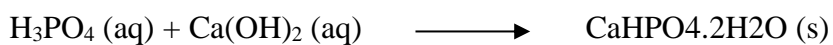
## 2.3.2. Tahap Reaksi didalam Reaktor

Tujuan dari tahap reaksi di dalam reaktro adalah sebagai berikut :

a. Mereaksikan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  sehingga akan terbentuk *slurry* DCPD ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Reaksi dilakukan di reaktor CSTR yang beroperasi pada temperatur 35°C dan tekanan 1 atm dengan konversi 95%.

b. Mempertahankan kondisi operasi reaktor

Reaksi yang berlangsung di dalam reactor adalah sebagai berikut :



$$\Delta H = -146,682 \text{ kJ/mol}$$

## 2.3.3. Tahap Pembentukan Produk

Didalam reaktor akan terbentuk *slurry*  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Reaksi pembentukan  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  merupakan reaksi yang berlangsung secara eksotermis dan tidak dapat balik (*irreversible*), sehingga reaksi akan menghasilkan panas dan

meningkatkan temperatur reaktor dan suhu dalam reaksi harus dipertahankan untuk menghindari terjadinya reaksi samping. Untuk mempertahankan kondisi operasi maka ditambahkan pendingin berupa koil pendingin. Hasil dari reaktor adalah endapan Dikassium Fosfat Dihidrat ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dari campuran  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dan air.

Kemudian produk di pompa menuju *Centrifuge* untuk dikurangi kandungan airnya. Filtrat yang dihasilkan dari *Centrifuge* dialirkan menggunakan pompa untuk diolah kembali di Unit Utilitas. Selanjutnya, keluaran *Centrifuge* yang berupa padatan kemudian di pompa menuju RD (*Rotary Dryer*) untuk proses pengeringan.

#### **2.3.4. Tahap Pemisahan dan Tahap Pemurnian**

Tahap pemisahan bertujuan memisahkan antara padatan dan filtrat. Produk utama yang diinginkan adalah padatan *cake* berupa produk utama hasil dari *centrifuge* yang berupa  $2\text{H}_2\text{O}$  yang masih tersisa dan padatan Dicalcium Phosphate Dihydrate dialirkan menggunakan screw conveyor menuju rotary dryer yang beroperasi pada suhu  $46^\circ\text{C}$  dan tekanan 1 atm untuk pengeringan sehingga diperoleh 98% DCPD. Metode pengeringan menggunakan hembusan udara panas yang berasal dari udara kering yang dipanaskan dengan *heat exchanger* yang menggunakan *steam* sebagai pemanas. Produk keluaran *rotary dryer* selanjutnya dibawa menggunakan *screw conveyor* dan diangkat menggunakan *bucket elevator* menuju *solid storage* untuk menampung sementara produk DCPD sebelum menuju ke unit packaging untuk dikemas kemudian disimpan di Gudang penyimpanan sebagai produk utama. Sedangkan air yang berada di bagian *output rotary dryer* akan keluar bersama udara panas.

### III. Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

#### 3.1 Spesifikasi Bahan Baku

##### 3.1.1 Asam Fosfat

Rumus Molekul	: H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
Wujud	: Cair
Berat Molekul	: 98 gr/mol
Titik Didih	: 158°C pada 1 atm
Densitas	: 1,685 gr/cm <sup>3</sup> (85% solution)
Viskositas	: 2,4 – 9,4 cP (85% solution)
Tekanan Uap	: 2,2 mmHg pada 20 °C
$\Delta H^{\circ}f_{298}$	: -1,288 kJ/mol
$\Delta S^{\circ}298$	: 158 J/mol.K
Kelarutan Dalam Air	: dapat bercampur dalam proporsi apapun.

##### 3.1.2 Kalsium Hidroksida

Rumus Molekul	: Ca(OH) <sub>2</sub>
Wujud	: Padat

Kenampakan	: Bubuk putih (white powder)
Kemurnian	: 96% (4% air)
Berat Molekul	: 74 gr/mol
Titik Leleh	: 580°C
Densitas	: 2,211 gr/cm <sup>3</sup>
$\Delta H^{\circ}f_{298}$	: -987 kJ/mol
$\Delta S^{\circ}298$	: 83 J/mol.K
Kelarutan dalam Air	: 1,845 g/l pada suhu 20°C

### 3.1.3 Air

Rumus Molekul	: H <sub>2</sub> O
Wujud	: Cair
Kenampakan	: Tidak berwarna
Berat Molekul	: 18 gr/mol
Titik beku	: 0°C
Densitas	: 1,000 kg/m <sup>3</sup>
Temperatur kritis	: 647,3 K
Tekanan kritis	: 218,5 atm
Volume kritis	: 0,056 m <sup>3</sup> /mol
Specific heat capacity	: 4,184 J/gr.K pada 20°C



## 3.2 Produk

### 3.2.1 Dikalsium Fosfat Dihidrat

Rumus Molekul	: $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Wujud	: Padat
Kenampakan	: Bubuk berwarna putih
Kemurnian	: 98% (2% air)
Berat Molekul	: 172 gr/mol
True density	: 1,150 kg/m <sup>3</sup>
Titik Lebur	: 190 °C (374 0F)
pH	: 7,1 – 7,5
Kelarutan	: Tidak larut dengan air dan alcohol, larut dengan asam klorida dan asam nitrat

## **X. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **10.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik Dikalsium Fosfat Dihidrat dari Asam Fosfat dan Kalsium Hidroksida dengan kapasitas 60.000 ton/tahun dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

1. *Percent Return on Investment* (ROI) sesudah pajak adalah 18 %
2. *Pay Out Time* (POT) sesudah pajak adalah 3,21 tahun
3. *Break Even Point* (BEP) sebesar 51,87 %, dan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 26,74 %, yakni batasan kapasitas produksi sehingga pabrik harus berhenti berproduksi karena merugi.
4. *Discounted cash flow rate of return* (DCF) sebesar 30,83%, lebih besar dari suku bunga bank saat ini, sehingga investor akan lebih memilih untuk menanamkan modalnya ke pabrik ini daripada ke bank.

### **10.2. Saran**

Berdasarkan pertimbangan hasil analisis ekonomi di atas, maka dapat diambil kesimpulan bahwa Prarancangan Pabrik Dikalsium Fosfat Dihidrat dari Asam Fosfat dan Kalsium Hidroksida dengan kapasitas 60.000 ton/tahun layak untuk dikaji lebih lanjut dari segi proses maupun ekonominya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alibaba. 2022. [www.alibaba.com](http://www.alibaba.com). Diakses November 2022.
- Anonimous G, 2020. [www.matches.com](http://www.matches.com). Diakses pada Mei 2023.
- Badan Pusat Statistik. 2020. Statistic Indonesia. Diakses melalui [www.bps.go.id](http://www.bps.go.id). pada November 2022.
- Bank Indonesia. 2018. Nilai Kurs. Diakses melalui [www.bi.go.id](http://www.bi.go.id). pada Mei 2023.
- Brown, G. George. 1950. Unit Operation 6th Edition. USA : Wiley & Sons, Inc.
- Brownell, L. E. and Young, E. H. 1959. Process Equipment Design 3rd Edition. John Wiley & Sons, New York.
- Chemical Engineering Plant Cost Index. 2017. Diakses melalui [www.chemengonline.com/pci](http://www.chemengonline.com/pci). pada 30 Januari 2018.
- Chemical Industry News. 2018. Chemical, Price Reporting. [www.icis.com](http://www.icis.com). Diakses 15 Januari 2018.
- Cheremisinoff, Nicholas P., 2003. Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies. Butterworth-Heinemann.
- Coulson, J. M., and J. F. Richardson. 2005. Chemical Engineering 4th edition. Butterworth-Heinemann : Washington.
- Ferreira, A., Oliveira, C. and Rocha, F., 2003, The different phases in the precipitation of dicalcium phosphate dihydrate, J Crystal Growth 252: 599–611
- Fogler, H. Scott. 2006. Elements of Chemical Reaction Engineering 4 th edition. Prentice Hall International Inc. : United States of Franz, G. 2009.

- Low Pressure Plasmas and Microstructuring Technology. Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Geankoplis, Christie. J. 1993. Transport Processes and unit Operation 3rd edition. Allyn & Bacon Inc, New Jersey.
- Gregory, T.M., Moreno, E.C., Patel, J.M. and Brown, W.E., 1974, Solubility of *b-Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> in the system Ca(OH)<sub>2</sub>-H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O* at 5, 15, 25 and 378C, J Res Natl Bur Stand-A Phys Chem, 78A(6): 667–674
- Heughebaert, J.C., De Rooij, J.F. and Nancollas, G.H., 1986, The growth of dicalcium phosphate dehydrate on octacalcium phosphate at 258C, J Crystal Growth, 77: 192–198.
- Himmelblau, David. 1996. Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering. Prentice Hall Inc, New Jersey.
- Kern, Donald Q. 1965. Process Heat Transfer. Mcgraw-Hill Co.: New York.
- Kirk, R.E and Othmer, D.F. 2006. “Encyclopedia of Chemical Technologi”, 4th edition, vol. 17. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Levenspiel, O. 1972. Chemical Reaction Engineering 2nd edition. John Wiley and Sons Inc, New York.
- Ludwig, E. Ernest. 1999. Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants 3rd edition. Houston : Gulf Publishing Company
- Lundager Madsen, H.E. and Thorvardarson, G., 1984, Precipitation of calcium phosphate from moderately acid solution, J Crystal Growth, 66: 369–376.
- Marshall, R.W. and Nancollas, G.H., 1969, The kinetics of crystal growth of dicalcium phosphate dehydrate, J Phys Chem, 73(14): 3838–3844.
- Matches, 2016. Matches’ Process Equipment Cost Estimates. [www.matche.com](http://www.matche.com). Diakses pada 10 Januari 2018.
- Mc.Graw Hill Education. Price Order. [www.mheducation.com](http://www.mheducation.com). Diakses pada 11 Januari 2018.

- McCabe, W. L. and Smith, J. C. 1985. Operasi Teknik Kimia. Erlangga, Jakarta.
- Nancollas G.H and Marshall R.W., 1971, Kinetics of Dissolution of Dicalcium Phosphate Dihydrate Crystals, Chemistry Department, State University of New York, Buffalo, New York.
- Perry, Robert H., and Don W. Green. 2008. Perry's Chemical Engineers' Handbook 8th edition. McGraw Hill : New York.
- Powell, S.T., 1954, "Water Conditioning for Industry", McGraw Hill Book Company, New York.
- Santosa, Galih. 2013. Hydrant Water. Galih Santosa. adhiatma.blog. Diakses pada 26 September 2014.
- Sinnott, R. K., 2005. Chemical Engineering Design 4th Edition Vol. 6. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann
- Smith, J. M., H.C. Van Ness, and M. M. Abbott. 2001. Chemical Engineering Thermodynamics 6th edition. McGraw Hill: New York.
- Timmerhaus, Klaus D., Max S. Peters, and Ronald E. West. 2002. Plant Design and Economics for Chemical Engineers 5th edition. McGraw-Hill: New York.
- Treyball, R. E. 1983. Mass Transfer Operation 3rd edition. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Ulrich, G. D., 1984, A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics. John Wiley & Sons Inc, New York.
- Vatavuk, Wi. 2015. Cost Updating the CE Plant Cost Index. A copy of this article has been post at [www.che.com](http://www.che.com)
- Wallas, Stanley M. 1990. Chemical Process Equipment. Butterworth-Heinemann: Washington.
- Yaws, C. L. 1999. Chemical Properties Handbook. Mc Graw Hill Book Co., New York