

# PRARANCANGAN PABRIK DIKALSIUM FOSFAT DIHIDRAT DARI ASAM FOSFAT DAN KALSIUM HIDROKSIDA DENGAN PROSES NETRALISASI KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN

Ruby Adijaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi S-1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat  
Jl. A. Yani Km. 36 Banjarbaru 70714  
\*Email: [rubyadijaya452@gmail.com](mailto:rubyadijaya452@gmail.com)

## ABSTRAK

Kebutuhan Indonesia terhadap Dicalcium Phosphate Dihydrate ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  atau DCPD) cukup tinggi. Perancangan Pabrik Dikalsium Fosfat Dihidrat digunakan untuk mengurangi impor di Indonesia. Kapasitas yang dirancang sebesar 50,000 ton/tahun. Pabrik Dicalcium Phosphate Dihydrate dibuat dari kalsium hidroksida dan asam fosfat dengan menggunakan reactor CSTR. Bahan baku dimasukkan ke dalam Mixer (M-130) dan (M-140) untuk selanjutnya diproses kedalam Reaktor (R-210) bersamaan dengan hasil keluaran dari Evaporator (V-340). Produk keluaran Reaktor (R-210) akan dimasukkan ke dalam Centrifuge (H-310) untuk memisahkan produk DCPD dari  $\text{H}_2\text{O}$  dan impurities yang terkandung. Keluaran centrifuge dialirkan ke kristallizer (X-320) untuk proses pembentukan kristal DCPD dan Sebagian di recycle ke Evaporator (V-340). Keluaran kristallizer dimasukkan ke Rotary Vacuum Drum Filter (H-330) untuk pisahkan cake dan filtrat dan Sebagian dialirkan ke Evaporator (V-340). Keluaran Rotary Drum Vacuum Filter (H-330) berupa padatan DCPD dialirkan ke Bin (F-350). Produk DCPD dipacking dan disimpan dalam Gudang (F-370). Pabrik ini memiliki dua alat utama yaitu Reaktor (R-210) dan Evaporator (V-340). Instrumen yang digunakan adalah TIC, LC, LIC, FC dan WIC yang dipasang pada masing-masing alat. Selain itu Pabrik ini dilengkapi dengan alat Safety untuk menjaga keamanan di Pabrik. Pendirian pabrik direncanakan berlokasi di Kecamatan Bungah, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur dengan luas area sebesar 28.580  $\text{m}^2$ . Tenaga kerja yang diperlukan sebanyak 200 orang dan bentuk perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem organisasi garis dan staf. Kebutuhan utilitas diambil dari sungai Bengawan Solo sebanyak 3.749,2154  $\text{m}^3$ /hari. Dimana listrik untuk operasional pabrik dibutuhkan sebesar 299,2136 kW. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, didapat nilai Return on Investment (ROI) sesudah pajak untuk pabrik ini sebesar 47%, Pay Out Time (POT) sesudah pajak sebesar 2,86 tahun. Sedangkan nilai Break Even Point (BEP) sebesar 57% dan Shut Down Point (SDP) sebesar 34%. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa pabrik ini bisa dipertimbangkan pendiriannya dan dapat diteruskan ke tahap perencanaan pabrik. Sedangkan dapat disimpulkan bahwa pabrik ini layak untuk didirikan.

**Kata kunci :** dikalsium fosfat dihidrat, asam fosfat, kalsium hidroksida, netralisasi.

## 1. Pendahuluan

*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  $\text{Ca}^{2+}$ . Dalam kedokteran, DCPD digunakan dalam formulasi  $\text{CaPO}_4$  pengaturan sendiri (Dorozhkin, 2013) dan sebagai perantara untuk remineralisasi gigi. DCPD ditambahkan ke pasta gigi baik untuk perlindungan karies (dalam hal ini, sering ditambah dengan senyawa yang mengandung F seperti NaF dan / atau  $\text{Na}_2\text{PO}_3\text{F}$ ) dan sebagai agen pemoles lembut (Dorozhkin, 2013). Aplikasi lain termasuk flame retardant (Mostashari et al. 2006), pupuk rilis lambat, digunakan dalam produksi gelas, serta suplemen kalsium dalam makanan,

pakan dan sereal. Dalam industri makanan, ini berfungsi sebagai texturizer, improver bakery dan aditif retensi air. Dalam dunia industri, DCPD digunakan sebagai suplemen mineral. Selain itu, kristal DCPD yang seperti pelat dapat digunakan sebagai pigmen tidak beracun, antikorosi, dan pasif untuk beberapa cat lapisan dasar (Budavari et al. 1996).

Kebutuhan *Dicalcium Phosphate Dihydrate* (DCPD) di dalam negeri masih belum terpenuhi di Indonesia. DCPD banyak diperlukan di beberapa industri, seperti industri pakan ternak, industri pasta gigi dan industri farmasi. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Tahun 2019, impor DCPD ke Indonesia sebanyak 61242 ton (BPS, 2020). Selama ini kebutuhan Indonesia akan DCPD dapat terpenuhi dengan cara

mengimpor dari luar negeri, seperti Cina. Berikut adalah Tabel Data-Data impor CaHPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O di Indonesia:

**Tabel 1** Data Impor CaHPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O di Indonesia (BPS,2020)

Tahun	Jumlah (ton)	Pertumbuhan (%)
2015	58276,107	-5,39
2016	52965,075	-9,11
2017	63117,384	19,17
2018	50190,109	-20,48
2019	61242,77	22,02
<b>Pertumbuhan Rata-rata</b>		<b>1,24</b>

Pabrik CaHPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O direncanakan didirikan di tahun 2022. Dari hasil perhitungan dengan metode *discounted* berikut (Max et al., 1991):

$$m_5 = P(1+i)^n \quad \dots(1.1)$$

$$m_3 = (m_4 + m_5) - (m_1 + m_2) \quad \dots(1.2)$$

Sehingga kapasitas peluang CaHPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O pada tahun 2025 sebesar 65.947,83 ton/tahun. Berdasarkan pertimbangan kebutuhan di Indonesia, maka ditetapkan 75% dari kapasitas total untuk pendirian CaHPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O yaitu sebesar 50.000 ton/tahun. Pabrik CaHPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O direncanakan berlokasi di Kecamatan Bungah, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur. Lokasi dipilih berdasarkan dari sumber bahan baku yang dekat, transportasi yang lancar serta ketersediaan lahan yang cukup. Perusahaan direncanakan berbentuk Perseorangan Terbatas dengan karyawan berjumlah 200 orang.

## 2. Uraian Proses

Proses pembuatan CaHPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O dapat dilakukan dengan tiga cara berdasarkan perbedaan bahan baku dan prosesnya. Berikut ini adalah Tabel Perbandingan proses produksi CaHPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O:

**Tabel 2** Seleksi Proses Pembuatan CaHPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O

Parameter	Proses Ca(OH) <sub>2</sub> dan H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Proses ((NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ) dan CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	Proses (KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) dan (CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O)
<b>Konversi (%)</b>	95	50-90	60
<b>Bahan Baku</b>	Semua bahan baku mudah didapat didalam negeri	Semua bahan baku masih mengimpor dari negara lain	Semua bahan baku masih mengimpor dari negara lain
<b>Suhu (°C)</b>	35	>60	37
<b>Tekanan (atm)</b>	1	1	1

Berdasarkan perbandingan yang telah ditinjau dari kondisi operasi dan data konversi yang diketahui maka dipilih proses Netralisasi dari Asam Fosfat dan Kalsium Hidroksida dengan pertimbangan konversi yang lebih tinggi agar produk yang dihasilkan banyak dan bahan baku didapatkan dari dalam negeri.

Tahapan Proses pembuatan CaHPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O yaitu :

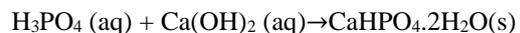
### 1. Tahap Persiapan Bahan Baku

Bahan baku berupa asam fosfat dialirkan dari tangki *storage* bahan baku untuk asam fosfat (F-110) pada kondisi operasi tekanan 1 atm dan suhu 30 °C menuju *Mixer* (M-130) untuk dilarutkan dengan air dari unit utilitas hingga komposisi larutan 20% asam fosfat ,kemudian dialirkan dengan pompa (L-111) untuk direaksikan didalam Reaktor (R-210). Bahan baku Kalsium hidroksida pada Bin Penyimpanan (F-120) pada kondisi tekanan 1 atm dan suhu 30 °C diangkut menggunakan alat *Screw Conveyor* (J-121) dan *Bucket Elevator* (J-122) ke dalam *Mixer* (M-140) untuk dilarutkan dengan air dari unit utilitas hingga komposisi larutan 15% kalsium hidroksida, kemudian dialirkan dengan Pompa (L-141) untuk direaksikan didalam Reaktor (R-210).

### 2. Tahap Reaksi

Bahan baku Asam Fosfat dan Kalsium Hidroksida dari *Mixer* (M-130) dan *Mixer* (M-140) dialirkan ke dalam Reaktor untuk melakukan Reaksi. Reaksi dilakukan di Reaktor Tangki Berpengaduk dengan kondisi operasi tekanan 1 atm dan suhu 35 °C dengan Konversi Reaksi sebesar 95%. Reaksi berlangsung secara eksotermis dengan dilengkapi *Coil* Pendingin untuk mempertahankan suhu Reaktor dengan jumlah lilitan *Coil* sebanyak 7 lilitan.

Reaksi yang berlangsung di dalam Reaktor adalah sebagai berikut:



Produk yang dihasilkan dari Reaktor akan terbentuk *slurry* CaHPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O. Kemudian produk dialirkan dengan Pompa (L-211) menuju *Centrifuge* (H-310) untuk dikurangi kandungan airnya. Filtrat yang dihasilkan dari *Centrifuge* (H-310) dialirkan menggunakan pompa (L-311 A) untuk dipekatkan terlebih dahulu menggunakan *Evaporator* (V-340) sebelum di *recycle* ke Reaktor (R-210) karena masih mengandung air yang cukup banyak. Selanjutnya, keluaran *Centrifuge* (H-310) yang masih dalam bentuk *slurry* di pompa untuk diumpahkan menuju kristalizer (X-320) untuk proses pembentukan kristal DCPD. Hasil dari *crystallizer* kemudian di pompa menuju RDVF (*Rotary Drum Vacuum*



Filter) (H-330) untuk proses pemisahan antara Cake dan Filtrat.

### 3. Tahap Pemisahan Produk

Tahap pemisahan bertujuan memisahkan antara *cake* dan *filtrate*. Produk utama yang diinginkan adalah *cake* yaitu Dikalsium Fosfat Dihidrat dengan komposisi 98% dan air sebesar 2%, sedangkan *filtrate* yaitu  $H_3PO_4$ ,  $Ca(OH)_2$  dan air yang selanjutnya di *recycle* ke Reaktor (R-210). Produk keluaran RDVF diangkut menggunakan *Screw Conveyor* (J-332) dan *Bucket Elevator* (J-333) kedalam BIN Penyimpanan Produk (F-350) sebagai tempat penampungan sementara untuk produk DCPD yang akan disalurkan ke unik pengepakan (P-360) untuk dikemas dan disimpan di dalam *Storage Product* (F-370) sebagai produk utama. Reaksi Eksotermis dan Endotermis dapat ditentukan berdasarkan Tinjauan Termodinamika, Berikut ini merupakan Tabel Entalpi Pembentukan Bahan Baku dan Produk:

**Tabel 3** Data  $\Delta H_f^\circ$  pada suhu 298K (Perry, 2008)

Komponen	$\Delta H_f^\circ$ 298K (kJ/Kmol)
$H_3PO_4$	-1271,7
$Ca(OH)_2$	-985,2
$CaHPO_4 \cdot 2H_2O$	-2403,58

Perhitungan Entalpi dengan suhu 298 K

$$\begin{aligned} \Delta H_{rx} &= (\Delta H_{produk} - \Delta H_{reaktan})_{298} \\ \Delta H_{298} &= \Delta H_{298}(\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) - (\Delta H_{298} \text{H}_3\text{PO}_4 + \Delta H_{298} \text{Ca(OH)}_2) \\ &= -2403,58 - [(-1271,7) + (-985,2)] \\ &= -146,68 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

Reaksi pembentukan  $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$  bersifat eksotermis yang ditandai dengan  $\Delta H_f^\circ$  bernilai negatif. Sedangkan untuk mengetahui reaksi berjalan secara *reversible* atau *irreversible*. Berikut adalah harga dari kesetimbangan kimia yang dipengaruhi oleh energi Gibbs dengan data dan perhitungan sebagai berikut :

**Tabel 4** Data  $\Delta G^\circ$  pada suhu 298K (Perry, 2008)

Komponen	$\Delta G^\circ$ 298K (kJ/Kmol)
$H_3PO_4$	-1123,6
$Ca(OH)_2$	-897,5
$CaHPO_4 \cdot 2H_2O$	-2154,75

Perhitungan Energi Gibbs pada suhu 298K

$$\begin{aligned} \Delta G_{rx} &= (\Delta G_{produk} - \Delta G_{reaktan})_{298} \\ \Delta G_{298} &= \Delta G_{298} \text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - (\Delta G_{298} \text{H}_3\text{PO}_4 + \Delta G_{298} \text{Ca(OH)}_2) \\ &= -2154,75 - [(-1123,6) + (-897,5)] \\ &= -133,65 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka reaksi pembentukan  $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$  berlangsung secara spontan (*irreversible*).

Reaksi pembentuka  $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$  merupakan reaksi orde 2 dengan hasil perhitungan sebagai berikut (J.M. Smith, 1981):

$$\begin{aligned} (-dCa/dt) &= rA \\ -rA &= k \cdot Ca^2, \quad X = 0,95 \\ (-dCa/dt) &= k \cdot Ca^2 \end{aligned}$$

Diintegrasikan pada  $t=0$ ,  $Ca=C_{ao}$  menjadi :

$$\begin{aligned} 1/Ca \, dCa &= k \, dt \\ 1/(-Ca+C_{ao}) &= k \, t \\ K &= 1/(C_{ao}-Ca) \cdot t \\ t &= 1/(C_{ao}-Ca) \cdot K \\ t &= 1/(0,0047-0,0002) \cdot 10 \\ t &= 22,34 \text{ menit} \end{aligned}$$

maka :

$$\begin{aligned} -r_a &= k \cdot Ca \\ &= 10 \times 0,0002 \times 60 \\ &= 0,12 \text{ kmol/L.jam} \end{aligned}$$

Sehingga, laju reaksi pembentukan  $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$  adalah sebesar 0,125 kmol/L.jam dengan waktu tinggal 22,34 menit. Berikut merupakan Tabel perhitungan neraca massa reaktor:

**Tabel 5** Neraca Massa Reaktor ( R-210 )

Komponen	Masuk (kg/jam)			Keluar (kg/jam)
	Arus 3	Arus 6	Arus 13	Arus 7
$H_3PO_4$	3525,076	-	185,530	185,5303
$Ca(OH)_2$	-	2661,792	140,094	140,0943
$CaHPO_4 \cdot 2H_2O$	-	-	-	6186,8687
$H_2O$	14100,30	15083,49	3228,61	32412,410
<b>Total</b>	<b>17625,38</b>	<b>17745,28</b>	<b>3554,23</b>	<b>38924,9034</b>
		<b>38924,9034</b>		

### 3. Utilitas

Utilitas merupakan salah satu unit terpenting dalam proses produksi karena unit ini menyediakan kebutuhan air, *steam*, bahan bakar, listrik untuk keperluan unit proses maupun kebutuhan yang lainnya di Pabrik. Sungai Bengawan Solo dengan debit air sebesar 250  $m^3$ /detik digunakan sebagai sumber air. Pembangkit utama untuk listrik pada pabrik menggunakan generator berbahan bakar diesel oil dan sebagian kebutuhan listrik dipenuhi dari PLN. Berikut merupakan Tabel Kebutuhan utilitas keseluruhan yang diperlukan dalam operasi pabrik  $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ :



**Tabel 6** Kebutuhan Utilitas Pabrik  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Kebutuhan	Jumlah
Steam	5524,5577 kg/jam
Air	153650,728 kg/jam
Listrik	232,5469 kW
Bahan bakar	334,6273 L/jam

#### 4. Analisa Ekonomi

Analisa ekonomi adalah cara yang digunakan untuk mencari tahu apakah pabrik yang ingin dirancang layak atau tidak layak untuk didirikan dengan cara dilihat dari segi ekonominya apakah pabrik tersebut dapat menghasilkan keuntungan atau kerugian..

Sebelum menghitung Kelayakannya dari segi ekonomi, maka perlu diketahui terlebih dahulu harga dari bahan baku yang digunakan dan produk yang dirancang. Berikut adalah Tabel Data harga untuk bahan baku dan produk hasil pada pabrik  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ :

**Tabel 7** bahan baku dan produk hasil (Alibaba, 2020)

Komponen	Harga (Rp/kg)
$\text{H}_3\text{PO}_4$	6.900,00
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	2.250,00
$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	9.250,00

Biaya yang dibutuhkan untuk pendirian pabrik  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  terdiri dari dana dan Biaya Produksi Total. Modal Total digunakan untuk melakukan Konstruksi Pabrik, sedangkan Biaya Produksi diperlukan untuk keperluan setelah Pabrik tersebut beroperasi. Berikut merupakan Tabel Biaya yang diperlukan untuk Produksi DCPD:

**Tabel 8** Total Biaya Pabrik  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

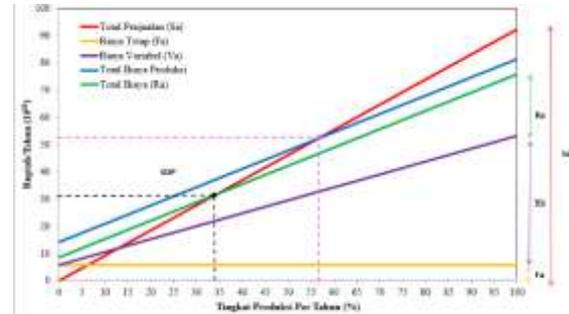
Jenis Biaya	Jumlah (Rp)
FCI	517.145.172.139,98
TPC	816.053.469.474,82
TCI	657.814.702.226,00
WC	103.730.589.219,33

Cara yang digunakan untuk menentukan layak atau tidaknya pabrik didirikan adalah *percent return on investment* (ROI), *pay out time* (POT), *interest rate of return* (IRR), *break even point* (BEP) dan *shut down point* (SDP). Berikut ini merupakan Tabel Hasil Perhitungan Analisa kelayakan Ekonomi Pabrik pabrik  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ :

**Tabel 9** Analisa Ekonomi

Analisa Kelayakan	Nilai	Batasan	Ket
ROI	27%	11-44%	Layak
POT	2,86 th	2-5 th	Layak
IRR	25,47%	>13%	Layak
BEP	57%	40-60%	Layak
SDP	34%	20-40%	Layak

Berdasarkan Perhitungan dapat dilihat bahwa Aspek Kelayakan Ekonomi sudah terpenuhi semua sehingga dapat dikatakan bahwa Pabrik DCPD layak untuk didirikan. Berikut merupakan Grafik analisa kelayakan ekonomi pabrik  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ :



**Gambar 1** BEP dan SDP Pabrik  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  kapasitas 50.000 Ton/tahun

#### 5. Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil perhitungan pada prarancangan Pabrik yaitu memiliki kapasitas perancangan pabrik sebesar 50.000 ton/tahun. Bentuk hukum perusahaan yang direncanakan adalah Perseroan Terbatas (PT). Organisasi berbentuk garis dan staf dengan minimal tenaga kerja sebanyak 200 orang. Pabrik didirikan di Kecamatan Bungah, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur dengan luas tanah yang tersedia sebesar 28,580 m<sup>2</sup> dengan Pertimbangan dekat dengan Bahan baku. Kelayakan untuk pembangunan pabrik dipantau berdasarkan factor nilai hasil analisis perekonomian nya, yaitu didapatkan nilai POT 2,86 per tahun, IRR 25,47%, ROI 27%, BEP 57% dan SDP 34%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pabrik Dikalsium Fosfat Dihidrat dari Asam Fosfat dan Kalsium Hidroksida ini layak didirikan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aries, R.S., and Newton, R.D. 1955. Chemical Engineering Cost Estimation. New York. McGraw Hill Handbook Co., Inc.
- BPS. 2020. Badan Pusat Statistik. Diakses pada tanggal: 20 Juni 2020.
- Budavari et al. 1996. The Meck Index, An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals, 16th. New York. Merck & Co., Inc.
- Dorozhkin. 2012. Nanodimensional dan and Nanocrystalline Calsium Orthophosphates: American journal of Biomedical Engineering 2012;48- 97.



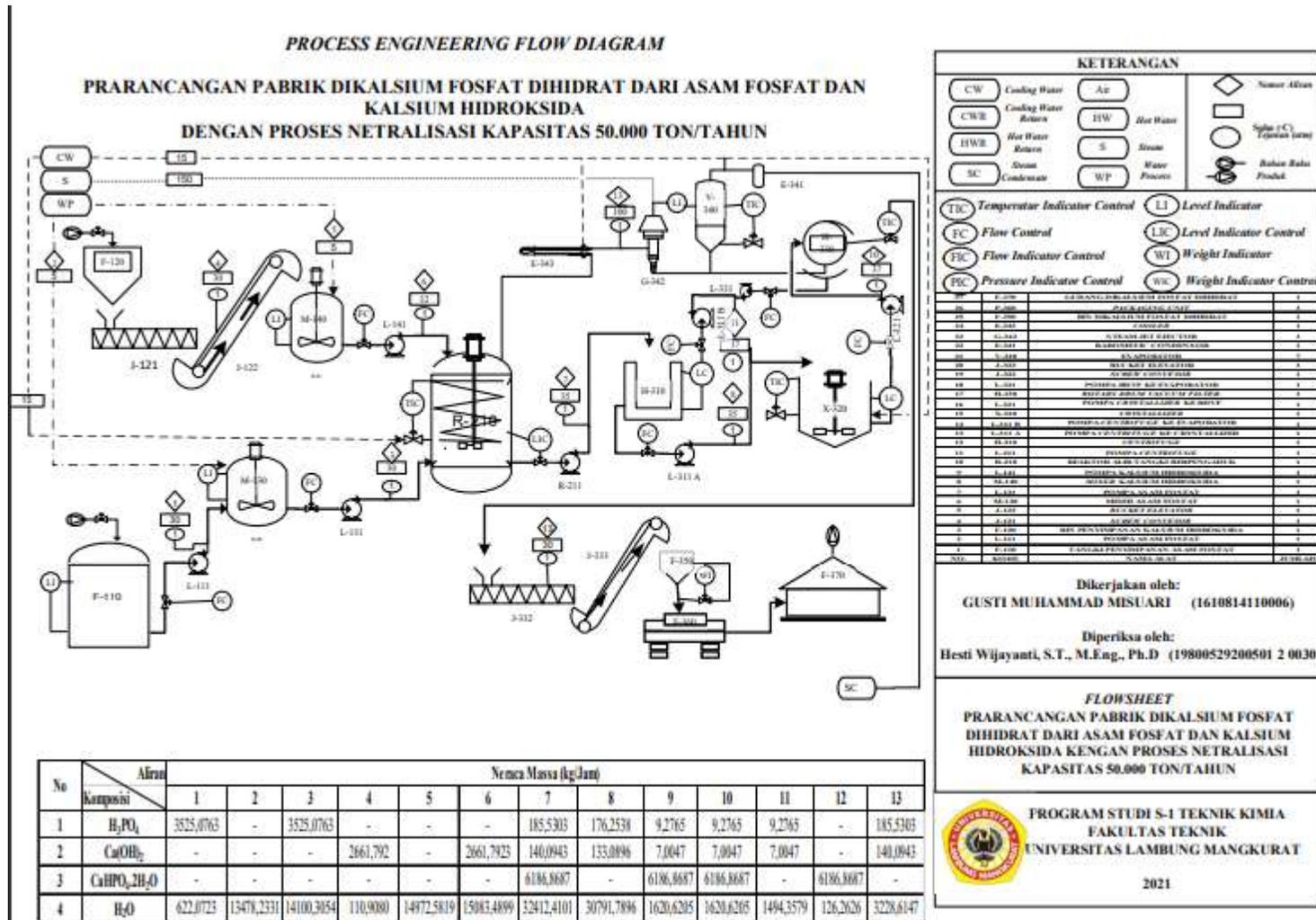


Mostashari et al. 2006. Effect of deposited calcium hydrogen phosphate dihydrate on the flame-retardancy imparted to cotton fabric .Asian Journal. Chemic Publishing Company.  
Peters, M.S., Timmerhaus, K.D and West, R.E., 2003. Plant Design and Economics for Chemical Engineers, 5thed. New York McGraw Hill.

Perry.R.H. and Green.D., 1997, Perry's Chemical Engineer Handbook 7th ed. New York. McGraw-Hill Book Company.

Smith, J.M., Van Ness, H.C., and Abbott, M.M., 2001, Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 6 th ed. New York McGraw-Hill Book Company,. Inc.





**Gambar 2.** Flow Diagram Process Prarancangan Pabrik Dikalsium Fosfat Dihidrat dari Asam Fosfat dan Kalsium Hidroksida dengan Proses Netralisasi Kapasitas 50,000 Ton/Tahun