



BASIC DESAIN SISTEM PROSES PRODUKSI PABRIK YELLOW CAKE DARI URANIUM HASILSAMPING PABRIK ASAM FOSFAT

Bambang G. Susanto, Prayitno, Abdul Jami, Marliyadi P., Hafni Lissa Nuri

PRPN BATAN, Kawasan PUSPIPEK, Gedung 71, Tangerang Selatan, 15310

ABSTRAK

BASIC DESAIN SISTEM PROSES PRODUKSI PABRIK YELLOW CAKE DARI URANIUM HASILSAMPING PABRIK ASAM FOSFAT. Telah dilakukan perekayasaan pada tahapan basic desain sistem proses produksi pabrik yellow cake dari uranium hasil samping pabrik asam fosfat, melalui proses ekstraksi dua siklus dengan menggunakan pelarut D2EHPA (Di 2 (ethyl hexyl) phosphoric acid) dan TOPO (Tri Oxytl Phospine Oxide) dengan pengencer kerosene. Dari hasil perekayasaan yang telah dilakukan pabrik memerlukan bahan baku yaitu asam fosfat sebanyak 57510 kg/jam atau 414.072 ton/tahun, H₂O₂ sebanyak 6,696ton/tahun, flock sebanyak 8,812 ton/tahun, D2EHPA make-up 63,734 ton/tahun, TOPO makeup sebanyak 18,223 ton/tahun, kerosene makeup sebanyak 240,652 ton/tahun, gas CO₂ sebanyak 20,858 ton/tahun, gas NH₃ sebanyak 24,213ton/tahun, serbuk besi sebanyak 35,640 ton/tahun. Pabrik ini membutuhkan utilitas air pendingin sebanyak 917.244,18 ton/tahun, air bebas mineral (ABM) sebanyak 117.858,11 ton/tahun, listrik untuk keperluan proses sebesar 339, 04 KW. Data-data teknis yang diperoleh selama tahapan basic desain antara lain: basic engineering design data; unit desain basis, deskripsi proses, diagram alir kualitatif dan kuantitatif dan process flow diagram (pfd); neraca massa dan energi; spesifikasi dan data sheet peralatan proses; equipment list; diagram pipa dan instrumentasi; perhitungan ukuran pipa nominal pabrik; kelas bahan berbahaya; perhitungan /data sheet ukuran katup penyelamat; keterangan katup pengendali, safety analysis function evaluation chart; preliminary HAZOP study; data aspek keuangan, kriteria seleksi dan aspek ekonomi.

Kata kunci: D2EHPA, TOPO, basic engineering design data, PFD, P&ID.

ABSTRACT

A BASIC DESIGN OF PROCESS PRODUCTION SYSTEM OF THE YELLOW CAKE PLANT FROM URANIUM AS SIDE PRODUCT OF PHOSPHORIC ACID PLANT, through solvent extraction process by using D2EHPA solvent (In 2 (ethyl hexyl) phosphoric acid) and TOPO (Tri Oxytl Phospine Oxide) and kerosene as dilution. From the design that have been done the plant require raw materials in the form of phosphoric acid process as much as 57,510 kg / hour or 414,072 tons / year, H₂O₂ as much as 6.696 tons / year, flock as much as 8.812 tons / year, D2EHPA make-up 63.734 tons / year, TOPO makeup as much as 18.223 tons / year, kerosene make up as much as 240.653 tons / year, CO₂ gas as much as 20.858 tons / year, NH₃ gas 24.213 tons / year, iron powder 35.640 tons / year. This plant requires cooling water for utilities as much as 917,244.18 tons / year, demineralized water as much as 117.858,11 ton/year, and electricity for the process purposes of 339. 04 KW Technical data's obtained during the basic design steps are: basic engineering design data; process description, qualitative and quantitative flow diagrams, process flow diagram (PFD); mass and energy balance; specification and process data sheet; Equipment list; hazard material class, piping and instrumentation diagram; plant line sizing; savety valve sizing data sheet; control description, safety analysis funtion evaluation chart



(SAFE Chart, preliminary hazop study; the data for financial aspect, selection criteria and economical aspect.

Keywords: D2EHPA, TOPO, basic engineering design data, PFD, P&ID

1. PENDAHULUAN

Fosfat diketahui secara luas sebagai sumber uranium kedua. Pada kondisi kecepatan konsumsi global seperti saat ini, uranium dari batuan fosfat diperkirakan dapat memenuhi kebutuhan global selama 440 tahun dibandingkan dengan sumber uranium yang telah diketahui hanya berumur 86 tahun. Pengambilan uranium dari sumber sekunder sangat penting untuk konservasi sumber daya uranium. Pemisahan uranium dari produk pupuk juga berfungsi pengendalian uranium itu ke lingkungan, termasuk ke rantai makan⁽¹⁾.

Kandungan uranium dalam batuan fosfat rata-rata rendah antara 50 -200 ppm atau antara 0.005 – 0.02 %. Sebagai perbandingan beberapa tambang yang kaya di Kanada mengandung uranium sampai 15% atau 150.000 ppm. Sebelumnya beberapa bijih konsentrasi rendah ditambang di beberapa negara yang sedikit bijihnya berkualitas tinggi. Sebagai contoh tambang di Jaduguda India hanya mengandung uranium 0,06% atau 600 ppm, dan Andhra Pradesh hanya sekitar 0.3% atau sekitar 3000 ppm. Karena biaya bahan bakar hanya komponen kecil dari total biaya pembangkitan energy nuklir, negara-negara yang tidak ingin ketergantungan energy pada negara lain dan mengamankan penyediaan energinya mencari cara untuk memakai sumber daya uranium domestik, bahkan pada konsentrasi uranium rendah dalam endapan bijihnya⁽²⁾.

Sumber daya uranium dalam batuan fosfat 9×10^6 metrik ton uranium (U). Dalam situasi tertentu ia ada bersama di pupuk yang diproduksi sebagai kontaminan radioaktif, memerlukan proteksi kesehatan dan radiasi pada pekerjaannya. Akumulasi Phospogypsum sebagai produk limbah dari produksi asam fosfat mengandung “tracer” uranium dan anak luruhnya seperti Radium dan memerlukan penanganan sebagai limbah radioaktif tingkat rendah. Tipikal aktivitasnya sekitar 4 Becquerel (Bq) atau 0.32 mg U_3O_8 dan 1 Bq Ra^{226} per 1 gram P_2O_5 . Dengan metode ekstraksi yang tepat uranium dapat dihasilkan sebagai produk samping dari asam fosfat dengan proses basah^(2,3).

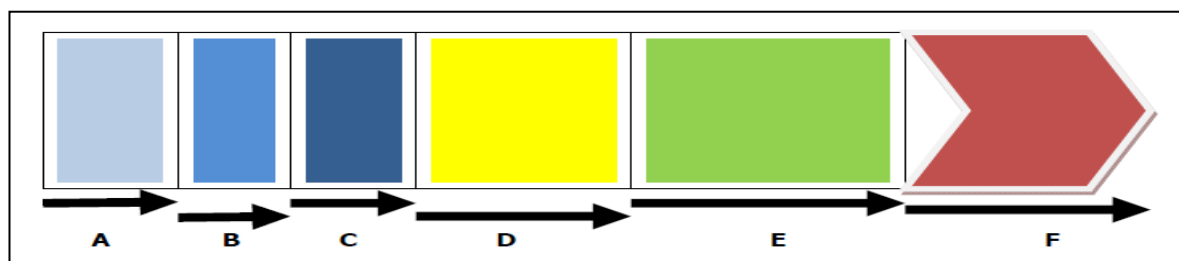
Naiknya harga U_3O_8 memungkinkan proses ekstraksi uranium dari bijih fosfat menarik untuk dilakukan secara ekonomis, mengingat biaya bahan bakar uranium adalah bagian kecil dari biaya pembangkitan energy nuklir. Dengan kemungkinan tersebut uranium dapat di eksploitasi pada tingkat biaya produksi bijih yang lebih tinggi, khususnya



untuk tujuan ketaktergantungan energy dan keamanannya untuk negara-negara yang menginginkan menghasilkan listrik dari energy nuklir^(4,5)

Pendirian pabrik ini sangat strategis dan dapat dipertimbangkan untuk melakukan pengambilan kembali uranium yang ada dalam asam fosfat tersebut untuk dijadikan *yellow cake* (bentuk oksida U_3O_8). PT Petro Kimia Gersik telah memiliki pabrik asam fosfat yang lama dengan kapasitas 200.000 ton /tahun dan pada tahun 2013 kapasitas total asam fosfat akan menjadi 400.000 ton/tahun. Apabila diasumsikan kandungan uranium dalam asam fosfat itu yang dapat diambil rata-rata 150 ppm, maka tiap tahun pemisahan uranium ini akan menghasilkan Uranium dalam bentuk *yellow cake* sebanyak 60 ton U_3O_8 /tahun.

Suatu rencana untuk mendirikan pabrik kimia, khususnya pabrik *yellow cake* dari uranium hasil samping pabrik asam fosfat harus melalui beberapa tahapan proses engineering design agar rencana yang telah ditetapkan berjalan baik dengan biaya yang sehemat mungkin. Proses dari perencanaan awal sampai terjadinya konstruksi dan komissioning dari suatu pabrik yang akan didirikan melalu tahapan sbb:



Gambar 1. Tahapan

dengan : A = tahapan preliminary /conceptual design

B = Tahapan *Basic Design*

C = Tahapan detail design

D = Tahapan Procurement

E = Tahapan Konstruksi

F = Tahapan Komissioning dan Operasi.

Mengingat tahapan preliminary design dari pabrik ini telah diselesaikan pada tahun 2011, maka untuk sampai ke perhitungan yang lebih akurat dengan menggunakan code dan standard serta software yang sesuai, maka tahapan basic design perlu dilalui agar data sistem proses produksi, sistem elektrikal, sistem instrumentasi dan kendali, plot



plant, P&ID dan sistem mekanikal dan sipil dapat diselesaikan. Tahapan basic design untuk pabrik *yellow cake* dari uranium hasil samping pabrik asam fosfat akan diselesaikan tahun 2012

2. METODOLOGI/TAHAPAN KEGIATAN BASIC DESAIN SISTEM PROSES PRODUKSI PABRIK YELLOW CAKE.

Kegiatan perengkayasa melalui tahapan basic desain sistem proses produksi pabrik *yellow cake* dari uranium hasil samping pabrik asam fosfat dilakukan sbb:

1. Penyusunan data Informasi Umum mengenai pabrik *yellow cake* yang akan dibangun
2. Penyiapan *basic engineering design Data*.
3. Penyiapan unit desain basis
4. Penyusunan deskripsi proses, diagram alir kualitatif dan kuantitatif, dan *process flow diagram* (PFD),
5. Penyiapan diagram pipa dan instrumentasi .
6. Penyiapan indeks item peralatan/*Equipment List*
7. Perhitungan neraca massa dan energi
8. Penyiapan spesifikasi dan data sheet proses
9. Perhitungan ukuran pipa nominal (*Line Indeks*)
10. Penyiapan kelas material berbahaya
11. Perhitungan Ukuran katup penyelamat (*safety valve sizing*)
12. Penyusunan Keterangan Katup Pengendali (*Control Description*)
13. Penyusunan *safety analysis function evaluation chart*.
14. Penyiapan *Preliminary Hazop Study*
15. Penyusunan Data Aspek Keuangan, Kriteria seleksi dan Aspek ekonomi.

3. HASIL KEGIATAN BASIC DESAIN DAN PEMBAHASAN

Hasil kegiatan dari *basic*-desain sistem proses produksi pabrik *yellow cake* dari uranium hasil samping pabrik asam fosfat adalah data teknis dan dalam makalah ini diuraikan secara singkat sbb ⁽⁶⁾:

3.1. Informasi umum pabrik *yellow cake* dari uranium hasil samping pabrik asam fosfat.



Keterangan umum mengenai pabrik *yellow cake* dari uranium hasil samping pabrik asam fosfat dimaksudkan untuk memberikan pemahaman awal mengenai pabrik yang akan dibangun yang meliputi latar belakang mengenai batuan fosfat yang jumlahnya cukup besar diseluruh dunia dan dari batuan itu terkandung uranium yang konsentrasinya antara 50 ppm sampai 250 ppm yang mempunyai nilai strategis dalam penyiapan sumber energi nuklir dimasa yang akan datang. Informasi lain yang disajikan adalah berbagai teknologi untuk melakukan proses pengambilan kembali uranium dalam asam fosfat yang meliputi teknologi proses liquid membran, teknologi ekstraksi pelarut, teknologi pertukaran ion dan teknologi proses pengendapan.

Data lain yang disajikan adalah data spesifikasi bahan baku, bahan pembantu dan produk akhir. Bahan baku yang diperlukan oleh pabrik ini adalah asam fosfat yang berasal dari pabrik asam fosfat untuk diambil uranium dengan proses ekstraksi pelarut. Bahan pembantu yang diperlukan untuk menghasilkan *yellow cake* berupa : Bahan ammonia, ammonium karbonat, gas CO₂, pelarut DEHPA –TOPO dan kerosene, senyawa pereduksi berupa serbuk Fe valensi +2, bahan oksidator berupa Hidrogen peroksida. Bahan baku dan bahan pembantu dan produk ahir *yellow cake* dilengkapi dengan spesifikasi sebagai data dalam proses pengadaanya. Selain itu data lain yang disiapkan adalah battery limits yang dimaksud adalah batas yurisdiksi dari pabrik *yellow cake* yang akan dibangun dengan kapasitas normal diharapkan 60 ton U₃O₈/tahun. Dengan battery limit itu ditunjukkan *interface* antara unit proses produksi *yellow cake* dengan unit utilitas lainnya. Untuk memperoleh gambaran battery limit, diperlukan Gambar *Proses Flow Diagram*, P&ID dari pabrik *yellow cake* dan ditunjukkan seperti dalam tabel berikut ini:

Table 1. Battery Limit

No	Alat Proses	Tag Number	Laju Alir(Kg/J)	Nomor PFD
1	Cooler I	HE100-01	57510,918	RPNGR01014112
2	Solvent Tank I	T100-07	44.166	RPNGR01014112
3	Solvent Tank II	T100-08	0.497	RPNGR01014112
4	Gas Scrubbing	SC300-01	6017,783	RPNGR01014312
5	Calcination Reactor	RK300-01	9,495	RPNGR01014312



3.2. Basic Engineering Design Data

Data engineering dan data desain lainnya yang diperlukan untuk basic desain pabrik *yellow cake* dari uranium hasil samping pabrik asan fosfat sbb:

3.2.1 Standard dan code untuk design/konstruksi

Berbagai standard dan code yang terkait dan diperlukan selama tahap desain dan konstruksi pabrik *yellow cake* dipersiapkan sebagai acuan dan dalam makalah ini hanya sebagian yang ditampilkan antara lain:

- ASCE - American Society of Civil Engineers
- ASME - American Society of Mechanical Engineers Boiler and Pressure Vessel
Code:
 - Section II - Materials Specification
 - Section V - Non-destructive Examination
 - Section VIII - Rules for Construction of Pressure Vessels
 - Section IX - Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators
 - ASME B31.1 - Power Piping
 - PTC 22 - Performance Test Code
- ASNT - American Society for Non-destructive Testing
- AWS - American Welding Society AWA-D-100 Welded Steel Tanks for Water Storage
- EJMA - Expansion Joint Manufacturing Association
- EPA - Environmental Protection Agency
- HI - Hydraulic Institute
- IEEE - Institute of Electric and Electronics Engineers
- ISA - Instrument Society of America
- NBS - National Bureau of Standards
- NEMA - National Electrical Manufacturers Association
- OSHA - Occupational Safety and Health Administration, Department of Labor
- PFI - Pipe Fabrication Institute
- TEMA - Tubular Exchanger Manufacturers Association
- ASTM - American Society for Testing and Materials



3.2.2. Informasi Utilitas

Untuk menggerakkan pabrik *yellow cake* dari uranium hasil samping pabrik asam fosfat baik pada saat proses *start-up* dan komissioning dan saat operasi rutin diperlukan utilitas seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2 dibawah ini:

Tabel 2. Kebutuhan Utilitas

No	Alat Proses yang Memerlukan	Kebutuhan Utilitas (Kg/J)		
		CWS (Air pendingin)	ABM (Air Bebas Mineral)	Udara
1	<i>Cooler I(HE100-01)</i>	73850,324		
2	<i>Cooler II(HE100-02)</i>	53544,701		
3	<i>Floculant Tank(T100-09)</i>		23,253	
4	<i>Dilution Tank(T100-03)</i>		10332,530	
5	<i>Scrubbing I(MS200-04)</i>		12,289	
6	<i>Scrubbing II(MS200-06)</i>		1,110	
7	<i>Gas Scrubbing(SC300-01)</i>		6000,000	
8	Reaktor Kalsinasi (<i>RK300-01</i>)			4,167
Total Kebutuhan Utilitas		127395,025	16369,182	4,167

3.2.3. Informasi kondisi site (lokasi pabrik)

Informasi kondisi site berisi data mengenai informasi umum tentang pemilihan lokasi pabrik, kondisi site, ketinggian site, kondisi iklim calon lokasi (data cuaca, curah hujan, data keempaan calon lokasi dll.)

3.2.4 . Regulasi/peraturan yang berkenaan dengan pollusi lingkungan (udara, limbah air, suara dsb.)

Peraturan yang berkenaan dengan pollusi lingkungan (udara, limbah, air, suara dll) dalam design dan konstruksi pabrik elemen bakar nuklir yang berlaku di Indonesia dipersiapkan antara lain:



Tabel 3. Kebutuhan Utilitas

No	Perundangan/Peraturan	Tentang
1	UU Nomor 23 Tahun 1997	Pengelolaan Lingkungan Hidup
2	PP Nomor 27 Tahun 1999	Analisis Mengenai Dampak Lingkungan
3	PP Nomor 82 Tahun 2001	Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air.
4	PP Nomor. 85 Tahun 1999	Perubahan atas PP No. 18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun
5	PP Nomor 18 Tahun 1999	Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun
6	PP Nomor 19 Tahun 1999	Pengendalian dan atau Perusakan Laut
7	PP Nomor 41 Tahun 1999	Pengendalian Pencemaran Udara
8	Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor :KEP-03/MENLH/1/1998	Baku Mutu Limbah Cair Bagi awasan Industri

3.3. Unit Desain Basis

Data unit desain basis yang dipersiapkan selama proses desain meliputi:

1. Kapasitas normal dan kapasitas desain dan *turn down ratio* dan hasil yang diharapkan dari produk yellow cake.
2. Metode test dan prosedur
3. Aspek penyimpanan, penanganan dan keselamatan
4. Persyaratan desain pabrik yellow cake berisi antara lain persyaratan sistem sipil dan struktur; persyaratan desain peralatan dan pipa; persyaratan sistem listrik; persyaratan instrumentasi dan kontrol; penyederhanaan desain; margin desain; faktor manusia dan antar muka manusia-mesin; standardisasi; kemampuan dapat dikonstruksi; maintainability.

3.4. Penyusunan Deskripsi proses, Diagram alir kualitatif dan kuantitatif, dan process flow diagram (PFD)

Data deskripsi proses pembuatan *yellow cake* dari uranium hasil samping pabrik asam fosfat bertujuan untuk memberikan gambaran umum cara melakukan pemisahan uranium yang ada dalam asam fosfat sehingga menjadi *yellow cake*. Deskripsi menjelaskan seluruh tahapan proses pemisahan mulai dari awal proses *pre treatment*, kemudian dilanjutkan dengan proses ekstraksi siklus I dan dilanjutkan dengan proses ekstraksi siklus II dan kemudian dilanjutkan dengan pengendapan dan proses kalsinasi



menjadi yellow cake dalam bentuk U_3O_8 . Data kecepatan alir per jam dari fluida yang mengalir serta kondisi operasi (suhu, tekanan, dll) dijelaskan dalam deskripsi ini.

Diagram alir kualitatif dan kuantitatif dari pabrik yellow cake dari uranium hasil samping pabrik asam fosfat diperoleh berdasarkan hasil pengembangan dari diagram alir yang sama selama tahap preliminary desain yang telah selesai dilakukan tahun 2011. Beberapa penyempurnaan dari diagram alir itu telah dilakukan agar diperoleh sistem proses produksi yang lebih sempurna dari sebelumnya. Penyempurnaan diagram alir itu antara lain dengan:

1. Penambahan alat penukar panas HE200-01 untuk mendinginkan asam fosfat secara bertahap dari suhu $100^{\circ}C$ ke suhu sekitar $60^{\circ}C$ sebelum masuk tangki umpan asam fosfat T100-01.
2. Mengganti basket sentrifuge yang ada di area 300 menjadi solid bowl sentrifuge agar diperoleh pemisahan padat cair yang lebih sempurna.
3. Penambahan alat penyerap gas SC300-01 hasil produksi kalsinasi dan gas lain sebelum dibuang ke aktif ventilasi.
4. Penambahan organik separator untuk memisahkan asam fosfat yang kembali ke pabrik asam fosfat dari pengotor organik (kerosene, D2EHPA, TOPO).
5. Penambahan pompa untuk pengangkutan fluida, karena sistem proses produksi semuanya berada dalam satu lantai, dan hanya platform lokal untuk seluruh mixer settler, baik untuk ekstraksi, stripping dan scrubbing siklus I dan siklus II. Jumlah tambahan pompa ada 5 unit dengan nomor identifikasi sbb: P100-04; P200-07; P300-03 dan P300-04.

Data *Proses Flow Diagram* untuk pabrik *yellow cake* dari uranium hasil samping pabrik asam fosfat terbagi kedalam 3 area, yaitu area 100, area 200 dan area 300. *Process Flow Diagram* disajikan seluruh peralatan utama proses, katub dan pompa-pompa utama. Dalam flow diagram disajikan jumlah aliran massa yang ada di setiap pipa, suhu dan tekanan yang ada dalam peralatan proses itu. *Proses Flow Diagram* pabrik *yellow cake* dari uranium hasil samping pabrik asam fosfat terbagi dalam empat seksi sbb:

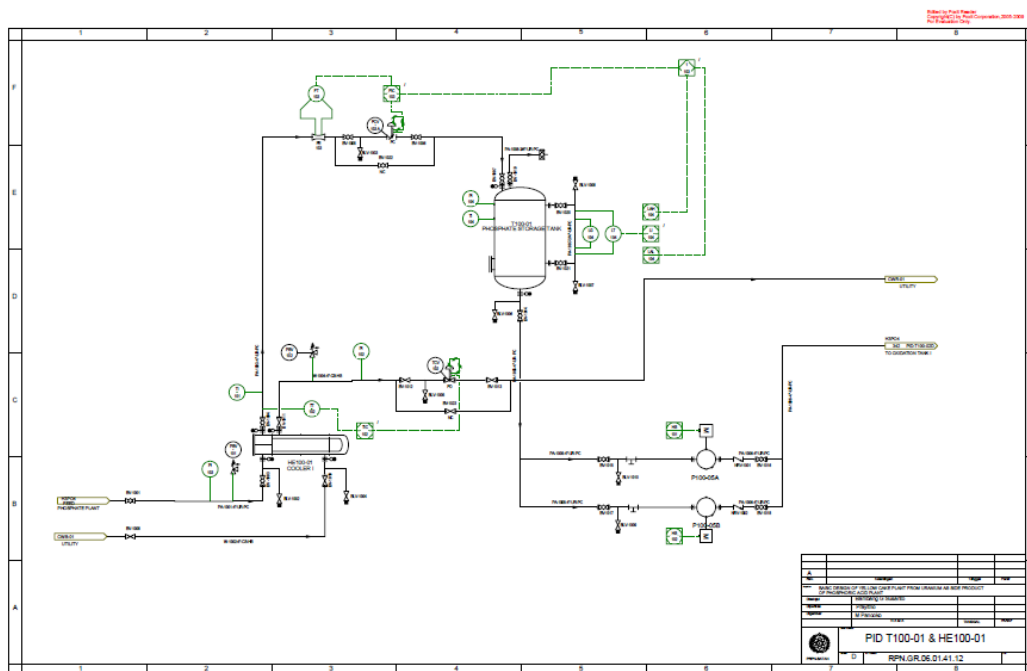
1. Process Flow Diagram "Pre-Treatment" Section 100, nomor Gambar RPNGR01014112



2. Process Flow Diagram “Pre-Treatment” Section 100, nomor Gambar RPNGR02014112
3. Process Flow Diagram “Extraction and Stripping” Section 200, nomor Gambar RPNGR01014212
4. Process Flow Diagram “Precipitation and Calcination ” Section 300, nomor Gambar RPNGR010141312

3.5. Penyiapan diagram pipa dan instrumentasi

Diagram Pipa dan Instrumentasi di industri khususnya untuk pabrik *yellow cake*, juga dikenal sebagai diagram alir keteknikan (DAK), flowsheets teknik, flowsheets, dll. P & ID membantu pemilik ataupun kontraktor yang akan membangun pabrik ini sebagai sumber informasi rekayasa. Diagram ini digunakan sebagai dasar untuk rekayasa, perancangan desain, memperkirakan, konstruksi dan operasi dari pipa, peralatan dan instrumentasi untuk suatu proyek. Oleh karena itu P&ID harus benar secara teknis, mudah dibaca, konsisten dan bagus penampilannya. Diagram pipa dan instrumentasi untuk pabrik *yellow cake* terdiri dari 17 macam gambar yang meliputi P&ID seksi 100, 200 dan seksi 300. Contoh data P&ID untuk seksi 100 no. Gambar RPN.GR.06.01.41.12 untuk P&ID T100-01 & HE100-01 seperti ditunjukkan dalam Gambar berikut.





3.6. Penyiapan Indeks Item Peralatan/Equipment List

Data yang dipersiapkan dalam indeks item peralatan adalah penyajian data peralatan dalam bentuk Tabel dengan menyebutkan nama alat, kode dan fungsi dari alat dalam proses operasi seperti misalnya indeks item untuk 5 (lima) alat proses seperti pada tabel 4:

Tabel 4. Peralatan/Equipment

No.	Alat	Kode		Fungsi
		Lama	Baru	
1.	Cooler I	HE-01	HE100-01	Menurunkan temperatur umpan asam fosfat dari 100°C menjadi 60°C.
2.	Phosphate Storage Tank	T-01	T100-01	Menyimpan umpan fosfat 40% dari Pabrik asam fosfat pada temperatur 60°C.
3.	Oxidation Tank I	T-02	T100-02	Mengubah uranium valensi IV menjadi uranium valensi VI menggunakan oksidator H ₂ O ₂ .
4.	Cooler II	HE-02	HE100-02	Menurunkan temperatur umpan asam fosfat dari 60°C menjadi 40°C.
5.	Clarifier	F-01	F100-01	Mengendapkan pengotor dalam asam fosfat menggunakan flokulan Polyacrylamide 5%.

3.7. Perhitungan Neraca Massa dan Energi

Untuk memperoleh perhitungan neraca massa dan energi telah dilakukan proses simulasi dengan perangkat lunak Chemcad steady state versi 6.4.0.4941. agar diperoleh hasil neraca massa dan energi yang lebih akurat. Keluaran dari Chemcad steady state 6.4.0.4941 disajikan dalam bentuk tabel dan dilengkapi diagram alir per unit alat yang sedang dihitung. Hasil perhitungan neraca massa dan energi dengan proses simulasi Chemcad steady state versi 6.4.0.4941 untuk masing-masing alat yang dalam proses flow diagram pabrik *yellow cake* dari uranium hasil samping pabrik asam fosfat disajikan sbb:

Basis desain dan asumsi yang digunakan :

1. Umpan berasal dari Pabrik Asam fosfat dari Hemi Hidrate -Wet Process dengan konsentrasi P₂O₅ 40% dan temperatur 100 °C
2. 1 Tahun = 300 hari operasi
3. 1 hari = 24 jam operasi
4. Temperatur lingkungan 30 °C
5. Komposisi asam fosfat umpan sebagai berikut :



Tabel 5. Tabel Komposisi asam Fosfat

Komponen	% Berat	Kg/J
U3O8	0.0180	10.352
Phosphorus Pentoxide	40.00	23004.368
CaO	1.08	621.118
Magnesium Oxide	0.95	546.354
Al2O3	1.63	937.428
Ferric Oxide	0.23	132.275
Na2O	0.15	86.266
K2O	0.15	86.266
Sulfuric Acid	8.22	4726.977
Silicon Dioxide	0.08	46.009
Hydrogen Fluorid	4.52	2597.072
NaCl	0.05	28.755
CaSO4.1/2H2O	1.17	672.878
Water	41.76	24014.800
Total	100.00	57510.918

Contoh perhitungan berikut disajikan dalam bentuk Tabel neraca massa dan energi dalam Cooler I (HE100-01). Seperti pada tabel 6 dibawah ini

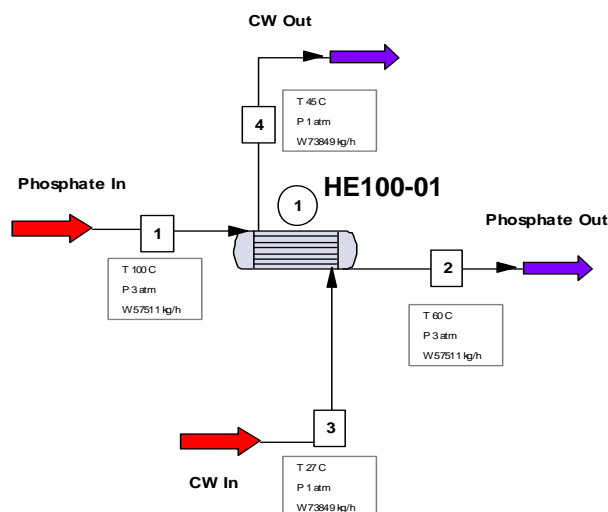
Tabel 6. Tabel neraca massa dan energi dalam Cooler I (HE100-01). Fungsi : Untuk menurunkan umpan asam fosfat dari temperatur 100°C menjadi 60°C

Stream Name	Fosfat In	CW In	Fosfat Out	CW Out
Temp C	100	27	60	45
Pres atm	3	1.34	2.66	1
Enth MJ/h	-7.01E+05	-1.17E+06	-7.06E+05	-1.17E+06
Vapor mole frac.	0	0	0	0
Total kmol/h	1634.956	4099.380	1634.956	4099.380
Total kg/h	57510.916	73850.324	57510.916	73850.324
Total std L m3/h	35.315	73.850	35.315	73.850
Flowrates in kg/h				
U3O8	10.352	0.000	10.352	0.000
Phosphorus Pentoxide	23004.368	0.000	23004.368	0.000
CaO	621.118	0.000	621.118	0.000
Magnesium Oxide	546.354	0.000	546.354	0.000
Al2O3	937.428	0.000	937.428	0.000
Ferric Oxide	132.275	0.000	132.275	0.000
Na2O	86.266	0.000	86.266	0.000
K2O	86.266	0.000	86.266	0.000
Sulfuric Acid	4726.977	0.000	4726.977	0.000



Silicon Dioxide	46.009	0.000	46.009	0.000
Hydrogen Fluorid	2597.072	0.000	2597.072	0.000
NaCl	28.755	0.000	28.755	0.000
CaSO4.1/2H2O	672.878	0.000	672.878	0.000
Water	24014.800	73850.324	24014.800	73850.324

CW : Cooling Water



Gambar 2.

3.8. Penyiapan spesifikasi dan data sheet proses

Penentuan spesifikasi peralatan proses produksi *yellow cake* dari uranium hasil samping pabrik asam fosfat dilakukan melalui proses simulasi *Chemcad steady state* versi 6.4.0 4941 agar hasil perhitungan lebih akurat. Proses simulasi dengan *Chemcad steady state* versi 6.4.0.4941 pada tahapan basic design telah menghasilkan beberapa perubahan/reviisi spesifikasi dan data sheet dibandingkan dengan tahapan preliminary design yang selesai dikerjakan sebelumnya. Hasil dari proses revisi yang telah selesai dilakukan adalah:

1. Perubahan nama sebutan sebagian besar alat dan penambahan alat baru.
2. Terjadi perubahan dimensi khususnya pada perhitungan tanki.

Dengan mempertimbangkan faktor keamanan proses tangki utama seperti T100-01, T100-03, T100-07 dan T100-08 dinaikan waktu tinggalnya. Disampin itu pada *basic*



desain perhitungan menggunakan *Chemcad steady state* versi 6.4.0.4941, sehingga terjadi perbedaan densitas larutan (1400 dan 1500 kg/m³) yang berakibat pada kecepatan alir larutan dalam m³/jam.

3.9. Perhitungan ukuran pipa nominal (*Line Indeks*)

Semua sistem proses yang ada di pabrik yellow cake ini dihubungkan dengan pipa proses untuk memindahkan sejumlah senyawa tertentu dari suatu alat proses ke alat proses lainnya. Seluruh pipa tersebut harus dirancang dan dihitung sedemikian rupa agar diperoleh diameter nominal dan material pipa sesuai dengan beban aliran (debit) penurunan tekanan didalam pipa itu. Untuk memperoleh hasil yang maksimal maka seluruh data perhitungan diameter pipa yang ada dalam sistem proses produksi yellow cake disajikan dalam bentuk tabel 7 khusus untuk seksi 100 sbb

Tabel 7. Hasil Perhitungan Diameter Pipa Nominal Seksi 100.

Aliran Fluida dari	Aliran Fluida ke	Kriteria Kecepatan Fluida (m/detik)	Kecep. Fluida Terhitung	Kriteria Penurunan Tekanan (ΔP), kg/cm ² /100 m	ΔP Terhitung (kg/cm ² /100 m	NPS Terhitung inchi; Nomor Schedule
Pabrik As.fosfat	HE100-01	3 m/detik	2.57	2.0	0.99	4 in;40
HE100-01	T100-01	3 m/detik	2,57	2,0	0.99	4 in; 40
T100-01	P100-05	3 m/detik	2,57	2,0	0.99	5 in;40
P100-05	T100-02	3 m/detik	2,57	2,0	0.99	4 in;40
T100-02	P100-06	3 m/detik	2.57	2,0	0.99	5 in;40
P100-06	HE100-02	3 m/detik	2.57	2,0	0.99	4 in; 40
HE100-02	F100-01	3 m/detik	2.57	2,0	0.99	4 in;40
F100-01	P100-08	3 m/detik	2,57	2,0	0.99	5 in;40
P100-05	F100-03	3 m/detik	2.57	2,0	0.99	4 in;40
F100-03	T100-03	3 m/detik	2.57	2,0	0.99	4 in;40
T100-03	P100-10	3 m/detik	2,01	2,0	0.43	6 In;40
P100-10	MS200-01	3 m/detik	2.01	2,0	0.43	5 in;40
F100-01	P100-07	3 m/detik	1.88	2,0	1.62	1.5 in;40
P100-07	F100-02	3 m/detik	1.88	2,0	1.62	1.25 in;40
F100-02	P100-09	3 m/detik	1.88	2,0	1.62	1.5 in;40
P100-09	F100-01	3 m/detik	1.88	2,0	1.62	1.25 n;40

3.10 Penyiapan data kelas bahan berbahaya

Pabrik *yellow cake* dari uranium hasil samping pabrik asam fosfat dalam proses operasinya menggunakan bahan baku dan bahan pendukung dan produk yang dihasilkan termasuk kelas yang berbahaya. Bahan baku antara lain asam fosfat (H₃PO₄), sedangkan bahan pendukung antara lain bahan pelarut seperti kerosen, pelarut D2EHPA



DAN TOPO, hidrogen peroksida (H_2O_2). Produk dari pabrik ini adalah *yellow cake* (U_3O_8) sebagai produk radioaktif. Oleh karena itu kelas bahan-bahan yang berbahaya di pabrik *yellow cake* ini perlu diketahui seperti yang disajikan dalam tabel 8 berikut ini:

Tabel 8. *Hazardous Material Class* Yang Dipakai dan yang Diproduksi dalam Pabrik *Yellow Cake* dari Uranium hasil samping Pabrik Asam Fosfat

NO	MATERIAL	KELAS MATERIAL MENURUT NFPA, HMIS DAN DOT/ 49 CFR														
		NFPA RATING			HMIS RATING			DOT/49CFR RATING								
		H	F	R(S)	H	F	R(S)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	U_3O_8	2	1	0	2	0	0								•	
2	P_2O_5/H_3PO_4	3	0	0	3	0	0									•
3	Fe_2O_3	1	0	0	1	0	0									
4	H_2SO_4	3	0	2	3	0	2									•
5.	HF	4	0	1	3	0	1									•
6.	Org C	-	-	-	-	-	-									
7.	Gypsum	1	0	0	1	0	0									
8	H_2O	0	0	0	0	0	0									
9	H_2O_2	2	0	1	3	0	1						•			
10	DEHPA	3	0	0	3	0	0									•
11	TOPO	2	1	1	2	1	0									
12	KEROSENE	1	3	0	2	3	0			•						
13	$(NH_4)_2CO_2$	2	0	0	2	0	0									
14	CO_2	3	0	0	3	0	0		•							
15	NH_3	3	1	0	3	1	0		•							
16	AUC	2	0	3	2	0	0								•	
17	NH_4OH	2	0	0	3	0	0									•
18	N_2	0	0	0	0	0	0		•							
19	H_2	0	4	0	0	4	0		•							
20	PAM	-	-	-	-	-	-									

3.11 Perhitungan Ukuran katup penyelamat (*safety valve sizing*)

Sebuah katup pengaman adalah katup yang mempunyai mekanisme yang secara otomatis melepaskan zat dari boiler, bejana tekan, atau sistem, ketika tekanan atau temperatur melebihi batas yang telah ditetapkan. Katup penyelamat yang ukuran dan seleksinya tepat dalam dunia industri saat ini sangat penting untuk operasi dengan biaya-efektif dan tingkat yang sangat efisien. Sebuah katup penyelamat yang benar dipilih dan dimanfaatkan tidak hanya akan berlangsung lebih lama dari katup penyelamat yang ukurannya tidak benar, tetapi juga akan memberikan penghematan kuantitatif dalam bentuk mengurangi biaya perawatan, mengurangi variabilitas proses, dan ketersediaan proses meningkat. Untuk mengetahui posisi masing-masing katup penyelamat atau Vent perlu dilihat P&ID pabrik *yellow cake* dari uranium hasil samping pabrik asam fosfat



Contoh perhitungan katup penyelamat karena terlalu banyak tidak dapat ditunjukkan dalam makalah ini.

3.12 Penyusunan Keterangan Katup Pengendali (*Control Description*)

Semua katup pengendali aliran dalam pabrik yellow cake ini perlu dijelaskan cara mengoperasikannya baik pada saat *start-up* maupun pada saat *shutdown* untuk memberikan data teknis pengendalian pada Divisi Instrumentasi dan Kontrol. Contoh keterangan katup pengendali adalah pada Cooler I (HE100-01 baik saat *start-up* maupun saat *shutdwn* sbb:

Start Up

BV-1008, BV-1010, BV-1011, BV-1012, BV-1013 di jalur pipa cooling water W-1002-4"-CS-HS dalam kondisi terbuka saat air pendingin dialirkan ke dalam cooler shell, kemudian larutan fosfat dialirkan ke sisi tube dengan kondisi sama yaitu semua block valve di jalur pipa fosfat dalam kondisi terbuka. Keluaran temperatur fosfat dipantau oleh TI-101 yang terhubung dengan TCV-102, Temperatur yang diinginkan dikendalikan oleh besar/kecil bukaan TCV-102.

Shutdown

Untuk keselamatan, jalur pipa fosfat PA-1001-4"-UR-PC dilengkapi dengan Pressure Indicator PI-103 dan Pressure Safety Valve PSV-101. Bila terjadi kemacetan aliran karena tube tersumbat, yg terlihat dari peningkatan tekanan aliran sampai batas maksimum, tutup BV-1001 untuk menghentikan aliran fosfat dan BV-1008 untuk menghentikan aliran air pendingin.

3.13 Penyusunan *savety analysis function evaluation chart*.

Data teknis Safety Analysis Function Evaluation chart (SAFE Chart), atau Cause & Effect (C&E) Table, salah satu penetapan teknik analisis sebab akibat yang dinyatakan dalam ISO 10418 (ISO, 2003) dan API 14C 2003 yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi dampak keselamatan yang tidak diharapkan dan desain tindakan perlindungan yang diperlukan. Sebagian besar ancaman terhadap keselamatan proses



produksi melibatkan terlepasnya bahan kimia ke lingkungan. Maka, analisis dan desain system keselamatan proses produksi seyogyanya menitik-beratkan pada pencegahan pelepasan tersebut, penghentian aliran bahan kimia jika terjadi kebocoran, dan meminimalkan akibat terjadinya pelepasan bahan kimia. Contoh uraian SAFE Chart untuk Cooler I(HE100-01) seperti pada tabel 9:

Table 9. SAT-101 : *Safety Analysis Table Cooler I(HE100-01)*

KEJADIAN YANG TIDAK DIINGINKAN		PENYEBAB	Kondisi abnormal yang dapat dideteksi pada komponen
Tekanan berlebih	√	penyumbatan	Tekanan tinggi
	√	Aliran masuk melebihi yg keluar	
		Pemuaiian panas	
	√	Pipa pecah	
		Penguapan	
bocor	√	<i>Deterioration</i>	Tekanan rendah
	√	Erosi	
	√	Korrosi	
	√	Dampak kerusakan	
		Vibrasi (getaran)	

3.14 Penyiapan Preliminary Hazop Study

Studi bahaya dan Operabilitas (HAZOP) adalah metodologi, terstruktur sederhana untuk mengidentifikasi, mengevaluasi dan memprioritaskan kejadian berbahaya potensial di fasilitas proses yang ada atau fasilitas baru yang diusulkan.

Tujuan utama dari HAZOP adalah untuk meningkatkan keselamatan personil pabrik serta setiap wilayah penduduk terdekat dengan mengidentifikasi potensi kecelakaan terjadi dan mengambil langkah-langkah untuk mengurangi resiko kecelakaan tersebut.

Metodologi HAZOP adalah analisis keselamatan yang menggunakan dan mendorong pemikiran yang imajinatif (atau *brainstorming*) dan pertama kali dikembangkan oleh Imperial Chemical Industries (ICI), sebuah perusahaan kimia Inggris. Hal ini dilakukan oleh tim multi-disiplin HAZOP dan memerlukan penggunaan *kata-kata panduan* untuk merangsang *brainstorming*. Untuk fasilitas proses baru yang diusulkan, HAZOP mungkin memerlukan beberapa minggu untuk melakukan study tersebut.



Untuk melakukan studi awal (preliminary) HAZOP pabrik yellow cake dari uranium hasil samping pabrik asam fosfat maka data-data/gambar berikut harus sudah tersedia untuk dipelajari:

1. Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) untuk seksi 100, seksi 200 dan seksi 300
2. Process Flow Diagram baik untuk seksi 100, seksi 200 dan seksi 300.
3. Sifat-sifat bahan baku dan bahan produk akhir yang berbahaya harus dikenali dari hazardous material class.
4. Deskripsi proses termasuk didalamnya neraca massa dan neraca energi
5. Tata letak peralatan proses.

3.15 Penyusunan Data Aspek Keuangan, Kriteria seleksi dan Aspek ekonomi.

Data aspek keuangan, kriteria seleksi dan aspek ekonomi menyajikan mengenai nilai investasi dan biaya produksi pabrik yellow cake jika dibangun, dan indikator periode pengembalian, titik impas (BEP), NPV, IRR, ROI, Indeks profitabilitas, benefit cost ratio, penerimaan pajak dari pendirian pabrik tersebut. Data –data keekonomian pabrik yellow cake adalah sbb: total investasi permanent sebesar US \$ 34.087.700,- dan biaya produksi sebesar US \$ 7.463.993,-/tahun; titik impas pada kapasitas **47,15 %**; periode pengembalian dari pabrik ini adalah **3,76** tahun; pengembalian atas investasi (*return on investment-ROI*) adalah 18,9%; Nilai netto sekarang (NPV) dari pabrik pada *capital cost* 15% adalah US\$ 1.260.700,-; Arus pengembalian internal (IRR) pabrik ini sebesar **15,58 %**. Indeks profitabilitas mencapai nilai 1,288 dan benefit cost ratio (BCR) mencapai **1.618** yang menunjukkan angka lebih besar dari 1 (satu) yang mengindikasikan bahwa pabrik memberikan manfaat dan layak untuk dibangun bila harga keekonomian yellow cake dijual pada US\$ 205/kg; dampak tambahan pada pendapatan nasional sebesar 1365,61%; Tambahan pendapatan daerah dari pajak yang dipungut selama 20 tahun pabrik beroperasi sebesar US \$ 62.892.200.

4.KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari basic desain sistem proses produksi pabrik yellow cake dari uranium hasil samping pabrik asam fosfat adalah sbb:

1. Pabrik memerlukan bahan baku yaitu asam fosfat sebanyak 57510 kg/jam atau 414.072 ton/tahun, H₂O₂ sebanyak 6,696 ton/tahun, flock sebanyak 8,812 ton/tahun, D2EHPA *make-up* 63,734 ton/tahun, TOPO *makeup* sebanyak 18,223



- ton/tahun, kerosene *makeup* sebanyak 240,652 ton/tahun, gas CO₂ sebanyak 20,858 ton/tahun, gas NH₃ sebanyak 24,213 ton/tahun, serbuk besi sebanyak 35,640 ton/tahun.
2. Pabrik juga membutuhkan utilitas air pendingin sebanyak 917.244,18 ton/tahun, air bebas mineral (ABM) sebanyak 117.858,11 ton/tahun, listrik untuk keperluan proses sebesar 339, 04 KW.
 3. Data-data teknis yang diperoleh selama tahapan *basic* desain antara lain: *basic engineering design data; unit desain basis*, deskripsi proses , diagram alir kualitatif dan kuantitatif dan *process flow diagram* (pfd); neraca massa dan energi; spesifikasi dan data sheet peralatan proses; *equipment list*; diagram pipa dan instrumentasi; perhitungan ukuran pipa nominal pabrik; kelas bahan berbahaya; perhitungan /data sheet ukuran katup penyelamat; keterangan katup pengendali, *safety analysis function evaluation chart; preliminary HAZOP study*; data aspek keuangan, kriteria seleksi dan aspek ekonomi

5.DAFTAR PUSTAKA

1. SINGH S.H. Et.al, “ Carrier-mediated Transport of Uranium from Phosphoric Acid Medium Across TOPO/n-Dodecane-Supported Liquid Membrane, April 13, 2007.
2. LeMONE D.V. HARRIS A.H.,WINSTON J.W., “Phosphate Rock: Sustainable Secondary Source for Uranium and their Agriculture Impact”, WM2009 Conference, March 1-5, 2009, Phoenix, AZ, USA.
3. ZAHER A.,ABOUSEID M., “ Physical and Treatment of Phosphate Ores”, Int. J.Miner.Process, 85 (2008), 59-84, September 2007
4. RAGHEB M., KHASAWNEH M.” Uranium Fuel as By Product of Phosphate Fertilizer Production”, Proceeding of 1 st International Nuclear and Renewable Energy Conference (INREC10), Amman Jordan, March 21-24, 2010
5. ANONYM, “ Advances in Uranium Ore Processing and Recovery From Non-Conventional Resources,” Proceeding of a Technical Committee Meeting on Advances in Uranium Ore Processing and Recovery From Non-Conventional Resources , IAEA, Vienna, September 26-29, 1983.
6. SUSANTO BG, PRAYITNO, LISSANURI H, JAMI A, PANCOKO M, Basic Desain Sistem Proses Produksi Pabrik *Yellow Cake* dari Uranium Hasil Samping Pabrik Asam Fosfat, PRPN-BATAN, Laporan PI-PKPP 2012, Jakarta.



TANYA JAWAB

Pertanyaan

1. Apakah biaya investasi tersebut sudah memperhitungkan aspek pengolahan limbah? (PUJI SANTOSO)
2. Bagaimana dengan biaya *decommissioning*? (PUJI SANTOSO)

Jawaban:

1. Biaya instalasi limbah belum termasuk dalam biaya investasi pabrik
2. Biaya *decommissioning* sudah dimasukkan dalam perhitungan profitability analysis