



## KRITERIA PEMILIHAN POMPA UNTUK MENGALIRKAN LARUTAN ASAM FOSFAT KE MIXER SETTLER PADA PROSES RECOVERY URANIUM DARI ASAM FOSFAT

Marliyadi Pancoko<sup>1</sup>, Abdul Jami<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir, Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Gedung 71, Tangerang Selatan, 15310

### ABSTRAK

*KRITERIA PEMILIHAN POMPA UNTUK MENGALIRKAN LARUTAN ASAM FOSFAT KE MIXER SETTLER PADA PROSES RECOVERY URANIUM DARI ASAM FOSFAT. Pesawat pengaduk pengenap atau mixer settler adalah alat yang memegang peranan penting dalam proses pengambilan uranium dari larutan asam fosfat. Untuk mengalirkan asam fosfat dari tangki umpan ke mixer settler membutuhkan laju alir fluida yang konstan. Metode yang digunakan dalam kegiatan perancangan ini adalah dengan membandingkan karakter pompa perpindahan positif dan pompa sentrifugal. Dari hasil perbandingan tersebut dipilih jenis pompa perpindahan positif tipe reciprocating dengan spesifikasi plunger single acting 5"x4" triplex, daya 2 Hp, untuk mengalirkan larutan asam fosfat dengan flow rate 20 kg/s (242 gpm), densitas 1300 kg/m<sup>3</sup> dan viskositas 4.5 cP, dengan suction static head 2m dan discharge static head 6.4m. Dari cek kavitasasi didapat NPSHa 8.9m lebih besar dari NPSHr 4.5m (spesifikasi dari pump maker).*

*Kata kunci: Recovery Uranium, Asam Fosfat, Pesawat Pengaduk Pengenap, Pompa Perpindahan Positif.*

### ABSTRACT

*PUMP SELECTION CRITERIA FOR FLOWING PHOSPHORIC ACID SOLUTION TO MIXER SETTLER IN URANIUM RECOVERY PROCESS FROM PHOSPHORIC ACID. Mixer-settler plays important roles in uranium recovery process from phosphoric acid. To flow phosphoric acid from feeder tank to mixer settler, constant fluid flow rate is needed. Therefore, this program selects a pump with positive displacement of reciprocating type having specification of plunger single acting 5"x4" triplex, and power 2 HP, to flow phosphoric acid solution with flow rate of 20 kg/s (242 gpm), density of 1300 kg/m<sup>3</sup>, and viscosity of 4.5 cP, and suction static head of 2 m and discharge static head of 6.4 m. From cavitation evaluation, NPSHavailable of 8.9 m which was greater than NPSHrequired of 4.5 m (specification from pump maker) was obtained.*

*Keywords: Uranium Recovery, Phosphoric Acid, Mixer Settler, Positive Displacement Pump.*

## 1. PENDAHULUAN

Dalam proses recovery uranium dari asam fosfat, *Mixer Settler* atau Pesawat Pengaduk Pengenap memegang peranan penting. Pengambilan uranium yang terkandung dalam larutan asam fosfat dilakukan dengan cara ekstraksi cair-cair menggunakan pelarut organik DEHPA-TOPO dengan perbandingan A:O = 2: 1<sup>[1]</sup>.

Untuk mendapatkan hasil pengambilan uranium yang optimum secara kontinyu, maka umpan asam fosfat maupun pelarut organik harus dialirkan ke dalam *Mixer Settler* dengan *flow rate* yang stabil.

Memindahkan cairan dalam suatu sistim yang mempunyai tahanan diperlukan pompa. Ada berbagai jenis pompa yang saat ini digunakan dalam industri, seperti yang ditampilkan pada diagram 1 dibawah.



Dalam pemilihan jenis pompa harus dipertimbangkan juga karakter asam fosfat yang akan dialirkan masih mengandung partikel yang dapat mengendap seperti gypsum dan organik humus.

Saat ini pompa sentrifugal adalah jenis pompa yang umum digunakan karena perawatannya mudah dan ekonomis tetapi mempunyai kelemahan dalam efisiensi. Sedangkan pompa perpindahan positif banyak digunakan untuk tujuan khusus seperti mengalirkan cairan dengan viskositas tinggi dan lain-lain. Ruang lingkup tulisan ini adalah membahas karakter 2 jenis pompa diatas untuk dijadikan acuan dalam pemilihan pompa.

Dalam tulisan ini, selain dibahas bagaimana menentukan jenis pompa yang paling sesuai untuk mengalirkan asam fosfat ke *mixer settler* dengan stabil, juga akan dibahas metode perhitungan untuk menentukan detail spesifikasi pompa yang telah dipilih tersebut.

## 2. TEORI

Pompa adalah mesin atau peralatan mekanis yang digunakan untuk menaikkan cairan dari posisi potensial rendah ke posisi potensial tinggi atau untuk mengalirkan cairan dari daerah bertekanan rendah ke daerah yang bertekanan tinggi dan juga sebagai penguat laju aliran pada suatu sistem jaringan perpipaan. Hal ini dicapai dengan membuat suatu tekanan yang rendah pada sisi masuk atau *suction* dan tekanan yang tinggi pada sisi keluar atau *discharge* dari pompa<sup>[2]</sup>.

Pada prinsipnya, pompa mengubah energi mekanik motor menjadi energi aliran fluida. Energi yang diterima oleh fluida akan digunakan untuk menaikkan tekanan dan mengatasi tahanan-tahanan yang terdapat pada saluran yang dilalui.

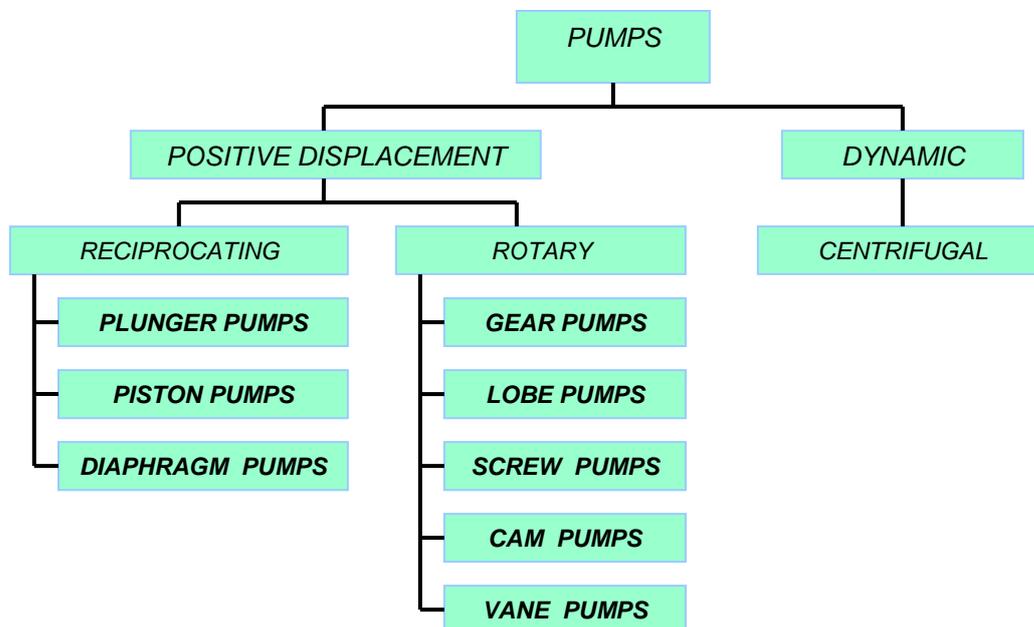


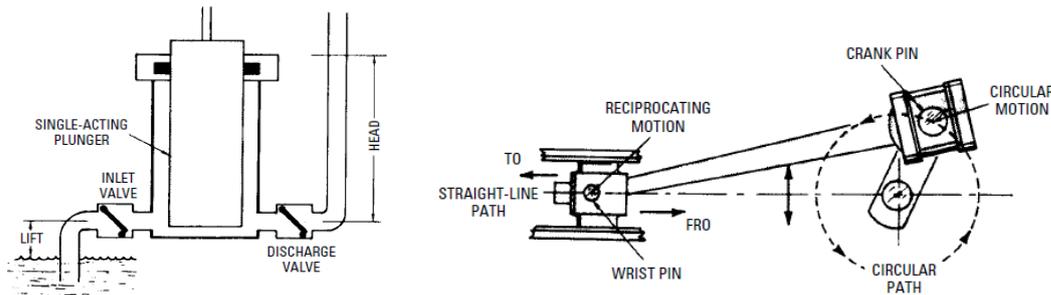
Diagram 1. Klasifikasi Pompa

Pompa dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori (lihat diagram 1), yaitu:

- Pompa perpindahan positif (*positive displacement pump*)  
Pompa perpindahan positif dikenal dengan caranya beroperasi: cairan diambil dari salah satu ujung dan pada ujung lainnya dialirkan secara positif untuk setiap putarannya. Pompa perpindahan positif digunakan secara luas untuk pemompaan fluida selain air, biasanya fluida kental<sup>[2]</sup>.  
Pompa perpindahan positif selanjutnya digolongkan berdasarkan cara perpindahannya:
  - a. Pompa *Reciprocating* - jika perpindahan dilakukan oleh maju mundurnya jarum piston. (lihat gambar 1)

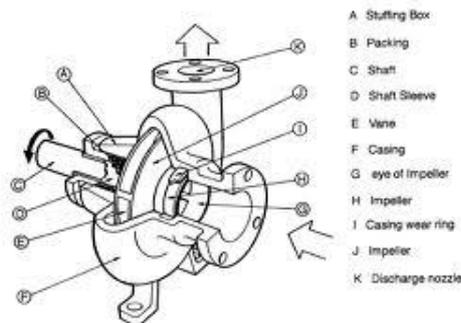


- b. Pompa *Rotary* - jika perpindahan dilakukan oleh gaya putaran sebuah gir, *cam* atau balingbaling.



Gambar 1. *Reciprocating Pump*

- Pompa dinamik (*dynamic pump*)  
Pompa dinamik juga dikarakteristikan oleh cara pompa tersebut beroperasi: impeler yang berputar mengubah energi kinetik menjadi tekanan atau kecepatan yang diperlukan untuk memompa fluida [2].  
Terdapat dua jenis pompa dinamik:
  - a. Pompa sentrifugal  
Merupakan pompa yang sangat umum digunakan untuk pemompaan air dalam berbagai penggunaan industri. Biasanya lebih dari 75% pompa yang dipasang di sebuah industri adalah pompa sentrifugal. (lihat gambar 2)
  - b. Pompa efek khusus  
Terutama digunakan untuk kondisi khusus di lokasi industri.



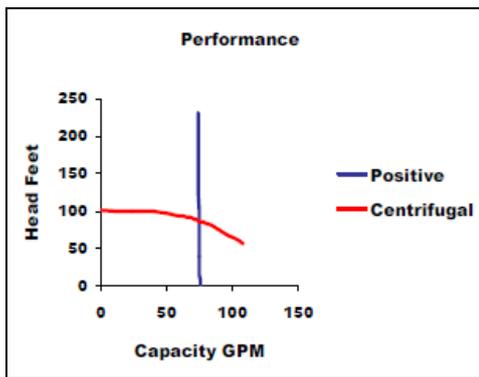
Gambar 2. *Centrifugal Pump*

Perbedaan karakter antara pompa perpindahan positif dan pompa dinamik yang masing-masing diwakili oleh *centrifugal pump* dan *reciprocating pump* dapat dilihat pada tabel 1 dan diperjelas oleh grafik karakter pada gambar 2, 3, 4 dibawah ini:

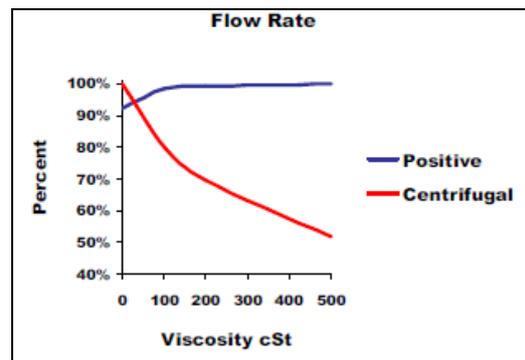
Tabel 1. Karakter *Centrifugal Pump* dan *Reciprocating Pump*



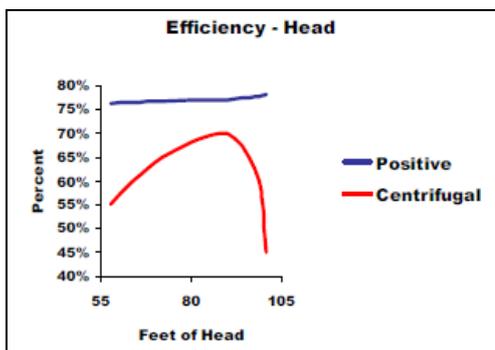
No.	Karakter	Centrifugal pump	Reciprocating pump
1	Flow rate dan Pressure head	Flow rate fluida tergantung pada Head.	Flow rate relatif konstan, tidak dipengaruhi oleh Head <sup>[3]</sup> .
2	Kapasitas dan Viskositas	Flow rate cenderung turun jika viskositas naik	Flow rate akan naik jika viskositas naik.
3	Efisiensi Mekanik	terkait no.1, peningkatan head atau pressure secara dramatis mempengaruhi efisiensi pompa.	Peningkatan head atau pressure relatif tidak mempengaruhi efisiensi pompa <sup>[3]</sup> .
4	NPSH (Net Positive Suction Head)	NPSH adalah fungsi flow rate yg tergantung pada pressure.	NPSH adalah fungsi flow rate yg tergantung kecepatan plunger. Penurunan kecepatan plunger akan menurunkan nilai NPSH <sup>[3]</sup> .



Gambar.3. Flow rate versus pressure



Gambar 4. Flow rate versus viscosity



Gambar.5. Efficiency versus pressure<sup>[4]</sup>

Untuk menentukan spesifikasi pompa secara umum, perhitungannya diturunkan dari persamaan energi pada sistim pemompaan sebagai berikut :

$$g\Delta z + \Delta P / \rho - \Delta P_f / \rho - W = 0 \quad (1)^{[7]}$$

dengan,



W: Kerja fluida, J/kg  
 $\Delta z$  : Beda elevasi ( $z_1 - z_2$ ), m  
 $\Delta P$  : Beda tekanan pada sistim/alat, N/m<sup>2</sup>  
 $\Delta P_f$  : *Pressure drop* karena friksi dalam pipa, instrument maupun alat, N/m<sup>2</sup>.  
g : Percepatan gravitasi, m/s<sup>2</sup>.  
 $\rho$  : Densitas fluida, kg/m<sup>3</sup>.

*Pressure drop* ( $\Delta P_f$ ) karena friksi dalam pipa, instrumen maupun alat dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\Delta P_f = 8f \frac{L}{D_i} \frac{\rho u^2}{2} \quad (2)^{[7]}$$

dengan,  
f : faktor friksi, -  
L : Panjang pipa termasuk panjang ekivalen kehilangan tekanan sepanjang pipa, m  
D<sub>i</sub> : Diameter dalam pipa, m  
u : Kecepatan linier fluida didalam pipa, m/s

Diameter dalam pipa dan kecepatan linier fluida masing-masing dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$D_i = \left( \frac{G}{\rho} \right)^{0.5} \quad (3)^{[7]}$$

$$u = \frac{Q}{A} \quad (4)^{[8]}$$

dengan,  
G : *Flow rate* fluida, kg/s  
Q : *Volumetric rate*, m<sup>3</sup>/s  
A : Penampang pipa, m<sup>2</sup>

Sedangkan untuk spesifikasi khusus *reciprocating pump*, volume piston atau *displacement per stroke* (D<sub>s</sub>) dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$D_s = \frac{Q}{E_v \cdot n \cdot S_r} \quad (5)^{[9]}$$

dengan,  
Q : *Volumetric rate*, gpm  
E<sub>v</sub> : *Volumetric efficiency*, -  
n : *Speed*, rpm  
S<sub>r</sub> : *Stroke per revolution*, -

Dalam perhitungan pompa, nilai NPSH (*Net Positive Suction Head*) selalu harus dipertimbangkan untuk menghindari kavitasi. kavitasi adalah gejala muncul dan pecahnya gelembung di dalam pompa karena tekanan uap fluida, yang mengakibatkan getaran, suara bising dan penurunan performance pompa <sup>[2]</sup>. Perhitungan NPSH *available* menggunakan persamaan berikut :

$$NPSH_a = \frac{P_1 - P_v}{\rho \cdot g} + H_{suction} - F_{suction} \quad (6)^{[7]}$$

dengan,



- $P_1$  : Tekanan pada tangki asal fluida,  $N/m^2$   
 $P_v$  : Tekanan uap fluida,  $N/m^2$   
 $H_{suction}$  : *Suction head*, m  
 $F_{suction}$  : *Suction miscellaneous losses*, m

### 3. CARA PEREKAYASAAN

#### 3.1 Menentukan jenis pompa

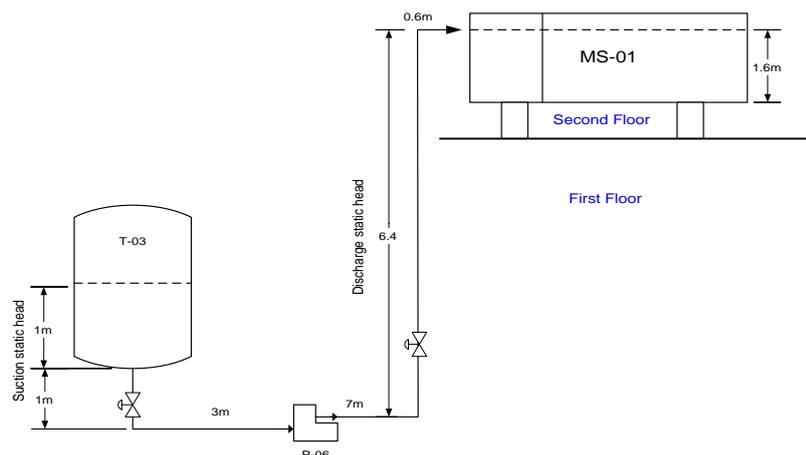
Penentuan jenis pompa yang akan digunakan dalam mengalirkan larutan asam fosfat Tangki ke *Mixer Settler* atau dari *Mixer Settler* ke *Mixer Settler* harus memenuhi syarat berikut :

- *Flowrate* yang dialirkan konstan.
- Sesuai untuk larutan dengan viskositas tinggi.
- Efisiensi pompa relatif stabil pada beberapa kondisi *pressure* atau *head*.

Dari studi karakter 2 jenis pompa yang telah diulas dalam teori, akan dilakukan pemilihan jenis pompa dengan mempertimbangkan syarat yang dibutuhkan sistem untuk mengalirkan asam fosfat ke mixer settler.

#### 3.2 Menentukan spesifikasi pompa

Spesifikasi pompa ditentukan dengan perhitungan persamaan (1) ~ (6), dengan kondisi fluida asam fosfat sebagai berikut : *normal flow rate* 18 kg/s, faktor keamanan 10% sehingga *flow rate* desain (G) 20 kg/s, densitas ( $\rho$ ) 1300 kg/m<sup>3</sup>, *volumetric rate* (Q) 0.0153 m<sup>3</sup>/s (242 gpm), viskositas ( $\mu$ ) 4.5 cP (0.0045 N.s/m<sup>2</sup>)<sup>[5]</sup> dan tekanan uap ( $P_v$ ) 5.316 kPa pada temperatur larutan 40°C, serta tidak ada perbedaan tekanan pada alat asal dan tujuan aliran ( $\Delta P = 0$ ), kehilangan tekanan oleh friksi maupun instrumen ekuivalen dengan 695 kali diameter pipa<sup>[7]</sup>. Dengan kondisi pemipaan seperti gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Sistem Pemompaan dari Tangki ke *Mixer Settler*

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Menentukan jenis pompa

Didalam ulasan teori, kurva gambar 3 menunjukkan terjadinya penurunan *head* dengan bertambahnya aliran fluida untuk pompa sentrifugal, sedangkan pompa perpindahan positif memberikan debit aliran yang stabil pada kondisi *head* berapapun.

Kurva gambar 4 menunjukkan terjadinya penurunan debit aliran dengan bertambahnya viskositas fluida untuk pompa sentrifugal, sedangkan pompa perpindahan positif debit aliran relatif konstan terhadap peningkatan viskositas fluida.



Kurva gambar 5 menunjukkan efisiensi pompa sentrifugal pada kisaran 55% ~ 70% dan akan mengalami penurunan jika melampaui *head* maksimumnya. Sedangkan pompa perpindahan positif memberikan efisiensi yang stabil diatas 75%.

Dengan melihat uraian 3 kurva diatas dan syarat yang dibutuhkan untuk pengaliran asam fosfat ke *mixer settler*, maka pompa perpindahan positif relatif lebih sesuai untuk sistim ini. Karena debit aliran yang dihasilkannya stabil berapapun *head*-nya, debit aliran juga relatif tidak terpengaruh oleh perubahan viskositas larutan dan mempunyai efisiensi lebih tinggi.

#### 4.2 Menentukan spesifikasi pompa

Perhitungan spesifikasi pompa secara umum dimulai dengan menghitung diameter optimum pipa yang dibutuhkan dan kecepatan linier fluida didalamnya. Dengan menggunakan persamaan (3) & (4), didapat diameter optimum pipa (Di) 5 in dan kecepatan linier (u) 1.18 m/s. Beberapa referensi seperti Coulson 1983 yang juga sering menjadi acuan, menggunakan rumus  $Di = 226(G)^{0.5}(\rho)^{-0.35}$ , akan menghasilkan diameter lebih kecil (3.5in) dan kecepatan fluida meningkat menjadi 2.3m/s. Kecepatan fluida di dalam pipa yang disarankan adalah sekitar 1m/s untuk menghindari efek semburan jet yang mengakibatkan erosi pada pipa jika kecepatan terlalu tinggi, dan efek pengendapan jika kecepatan terlalu rendah<sup>[7]</sup>. Sehingga hasil perhitungan diameter pipa 5 in menggunakan persamaan (3) cukup sesuai untuk sistim pemompaan ini.

Berikutnya adalah menentukan spesifikasi pompa perpindahan positif, yaitu besarnya *displacement* (Ds) menggunakan persamaan (5). Untuk larutan seperti asam fosfat yang masih mengandung pengotor gypsum dan gunk, maka dipilih pompa *plunger, single acting – triplex* [9] dengan *stroke per revolution* (Sr) 3, *speed* (n) 350 rpm dan *volumetric eff.* (Ev) 0.8. Untuk mengalirkan asam fosfat 242 gpm, didapat *displacement* (Ds) 0.288 gallon/stroke. Dengan melihat *displacement table (plunger diameter vs stroke length)*<sup>[9]</sup>, untuk *diameter plunger* 5in didapat panjang *stroke* 4in.

Untuk menghitung power pompa, harus dihitung terlebih dulu *pressure drop* dalam sistim. Dengan menggunakan persamaan (2), faktor friksi (f) 0.003, didapat *Pressure drop* ( $\Delta P_f$ ) 15592 N/m<sup>2</sup> atau setara dengan 1.22m, *total head* 5.6m. Kemudian kerja fluida (W) dihitung dengan persamaan (1) memberi hasil -55 J/kg. Sehingga untuk mengalirkan asam fosfat 20 kg/s, dengan mempertimbangkan efisiensi pompa, dibutuhkan power 2Hp.

Terakhir, untuk memastikan pompa terhindar dari kavitasi, dilakukan perhitungan NPSH *available* dengan menggunakan persamaan (6), memberi hasil 8.9 m. Angka ini memberi indikasi bahwa pompa aman dari kavitasi karena lebih besar dari NPSH *required* pompa plunger 5" x 4" yaitu 4.5m (spesifikasi dari *pump maker*)<sup>[9]</sup>.

## 5. KESIMPULAN

Jenis pompa perpindahan positif (*positive displacement pump*) dipilih dengan pertimbangan pompa dapat mengalirkan larutan asam fosfat secara konstan pada *flow rate* 55m<sup>3</sup>/h (242 gpm) tanpa mengakibatkan penurunan tekanan atau *head* secara signifikan. Juga dilihat dari hubungan viskositas, efisiensi pompa dengan tekanan, mendukung pilihan ini.

Dari pembahasan diatas, pompa yang diperlukan untuk mengalirkan asam fosfat ke *mixer-settler* memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Jenis pompa	: Perpindahan Positif ( <i>Positive Displacement Pump</i> )
Tipe pompa	: <i>Reciprocating, Plunger single acting 5"x4" triplex</i>
<i>Displacement</i>	: 0.34 gallon/stroke
<i>Pump Flow rate</i>	: 55 m <sup>3</sup> /h (242 gpm)
Ukuran pipa	: 5 in (NPS)
<i>Total Head</i>	: 5.6 m
<i>Power</i>	: 2 Hp
<i>NPSH available</i>	: 8.9 m
<i>NPSH required</i>	: 4.5 m



## 6. DAFTAR PUSTAKA

1. BAMBANG G. SUSANTO DKK, "Preliminary Desain Pabrik Yellow Cake Dari Uranium Hasil Samping Pabrik Asam Fosfat Kapasitas 60 Ton U3O8/ Tahun", Laporan Teknis PRPN (2011).
2. ANONYMOUS, "Electrical Energy Equipment: Pumps and Pumping Systems", Energy Efficiency Guide for Industry in Asia.
3. ANONYMOUS, "Selecting between Centrifugal Pumps and Positive Displacement Pumps". Available: [www.engineeringtoolbox.com/classification-pumps-d\\_55.html](http://www.engineeringtoolbox.com/classification-pumps-d_55.html) , Oct.2011.
4. REX MILLER & MARK RICHARD MILLER, " Pump & Hydraulic – All New 6th Edition ", Wiley Publishing, Inc (2004).
5. ANONYMOUS, "When to use a Positive Displacement Pump ", Available: [www.pumpschool.com](http://www.pumpschool.com), Oct. 2011.
6. ANONYMOUS, "Innophos Phosphoric Acid – Technical Data ", Available: [www.innophos.com](http://www.innophos.com), June. 2011.
7. GAVIN TOWLER, RAY SINNOTT, "Chemical Engineering Design – Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design", Elsevier (2008).
8. ALAN S. FOUST, "Principle of Unit Operation, 2<sup>nd</sup> Edition", John Wiley & Sons (1980).
9. WHEATLEY GASO INC, "WGI reciprocating pump", WGI (1996).

### PERTANYAAN :

1. Apa material pompa yang digunakan karena fluida berupa asam fosfat?(SUTOMO)

### JAWABAN :

1. Material UNR 52 N+