

Perencanaan Ulang Instalasi *Heater Drain Pump (HDP)* (Studi Kasus PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik)

A. Sumaryanto¹ dan Heru Mirmanto²

Program Studi Diploma III Teknik Mesin Kerjasama PT. PLN (Persero), Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: ¹a.sumaryanto12@mhs.me.its.ac.id, ²samir@me.its.ac.id

Abstrak—*Heater Drain Pump (HDP)* adalah pompa yang digunakan untuk memompa air dari *Heater Drain Tank* menuju ke pipa air kondensat. Air *heater drain* ini memiliki temperatur yang cukup tinggi sehingga bisa digunakan untuk menambah suplai air kondensat yang menuju ke *Deaerator*. Pada PLTU di PJB UP Gresik terdapat masing – masing 1 pompa pada unit 3 dan 4. Pada tugas akhir ini bertujuan untuk melakukan perencanaan ulang instalasi dan pemilihan pompa yang sesuai untuk *feed water heater drain system*. Perhitungan dimulai dari kapasitas sehingga kecepatan setiap *section* dapat dicari. Kecepatan setiap *section* ini digunakan untuk mencari *head loss* total instalasi. Perhitungan head, daya dan efisiensi dilakukan secara analitis dan numerik menggunakan *software pipe flow expert*. Pada hasil perhitungan diperoleh kapasitas $105,84 \frac{m^3}{h}$, Head Efektif Instalasi $H_{eff} = 171,0353 \text{ m}$ dan $NPSH_A$ 2,72 m. Dengan data tersebut maka dipilih pompa dengan kapasitas $120 \frac{m^3}{h}$, total head 175 m, $NPSH_R$ 2,1 m, jumlah stage 7 dan daya motor 85 kW. Sehingga dengan kebutuhan tersebut, maka pemilihan pompa sentrifugal multistage tipe TSM-7 (YOSHIKURA KOGYO) sudah tepat.

Kata Kunci—Feed Water Heater Drain System, Heater Drain Pump, Heater Drain Tank, Sentrifugal Multistage

I. PENDAHULUAN

Pada perindustrian, pompa mempunyai peranan yang sangat penting dimana pompa merupakan alat yang digunakan untuk memindahkan fluida cair (*liquid*) dari suatu tempat yang berenergi rendah ke tempat yang berenergi lebih tinggi melalui suatu sistem perpipaan. Di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. PJB UP Gresik terdapat banyak sekali jenis pompa yang digunakan. Dimana salah satunya adalah pompa pada *Feed Water Heater Drain System*.

Feed Water Heater Drain System memiliki peranan yang sangat penting dalam siklus PLTU unit 3 dan 4 sebagai penambah suplai air kondensat yang menuju ke deaerator. Sehingga menambah efisiensi siklus. *Suction* pompa berasal dari *Heater Drain Tank* kemudian dipompakan menuju ke pipa air kondensat (air dari pompa kondensat) dan bersama-sama menuju deaerator yang sebelumnya melewati LPH 2, LPH 3 dan LPH 4. Pada bulan maret 2015 terjadi backflow pada *heater drain pump* sehingga pompa trip. Hal ini menyebabkan efisiensi siklus akan menurun.

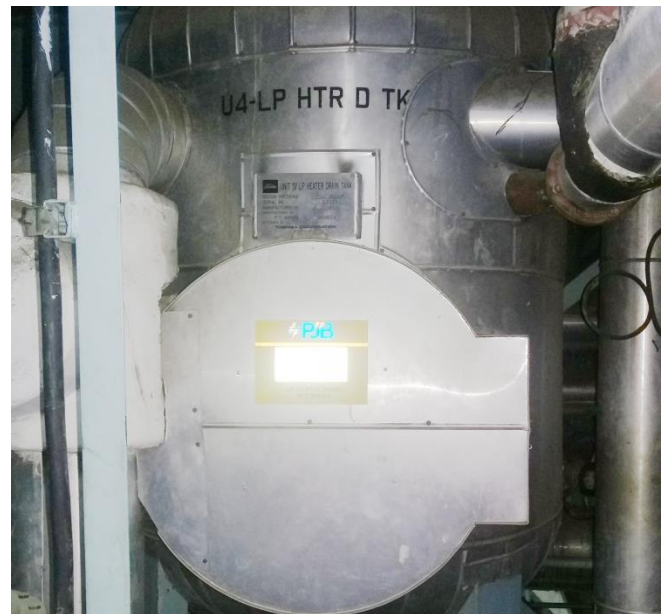
Dalam *Feed Water Heater Drain System*, fluida yang harus dilayani memiliki temperatur yang cukup tinggi yaitu $89,2^\circ\text{C}$ dan hanya memiliki 1 pompa masing-masing unit 3 dan 4.

Sesuai dengan kondisi diatas, maka perlu pemilihan pompa dan manajemen perawatan yang benar agar pompa mampu beroperasi dalam jangka waktu yang panjang dan mampu mengatasi kerugian-kerugian hidrolis selama proses pemompaan, sehingga pompa dapat digunakan pada kondisi optimal sesuai dengan kebutuhan instalasi.

II. DASAR TEORI

A. Heater Drain Tank

Heater drain tank adalah alat yang digunakan untuk menampung air *drain* dari LPH 1, LPH 2, LPH 3 dan LPH 4 yang nantinya akan dipompakan menuju ke pipa air kondensat seperti terlihat pada gambar 1. Sehingga air dari *heater drain pump* ini menuju ke *deaerator* bersama dengan air dari kondensat. Hal ini bertujuan agar memperoleh efisiensi lebih tinggi karena air drain ini masih mempunyai temperatur yang cukup tinggi.



Gambar 1 *Heater Drain Tank*
(*Heater Drain Tank* PLTU Unit 3 PT PJB UP Gresik)

B. Heater Drain Pump

Heater drain pump adalah pompa yang digunakan untuk memompa air *drain* dari *heater drain tank* menuju pipa air kondensat. Pompa ini hanya ada satu tiap unit sehingga bila ada kerusakan, air *drain* dari *heater drain tank* seluruhnya akan di *by-pass* langsung menuju ke kondensor. Untuk

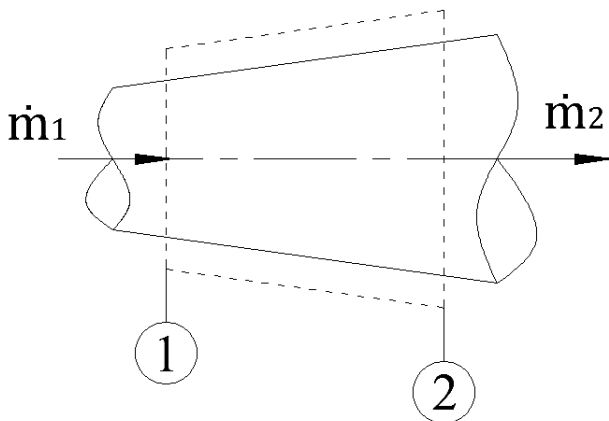
gambar *Heater Drain Pump* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2 *Heater Drain Pump*
(*Heater Drain Pump PLTU Unit 3 PT PJB UP Gresik*)

D. Persamaan Kontinuitas

Suatu sistem dapat didefinisikan sebagai kumpulan yang massanya tidak berubah.



Gambar 3 *Volume Atur*

Sehingga prinsip kekekalan massa dapat ditulis sebagai berikut:

$$0 = -[\rho \bar{v}_1 A_1] + [\rho \bar{v}_2 A_2] \text{ atau } \dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (1)$$

C. Hukum Pertama Termodinamika

Hukum pertama termodinamika menyatakan tentang kekekalan energi (*conservation energy*). Persamaannya sebagai berikut:

$$(\dot{Q} - \dot{W}_s - \dot{W}_{normal} - \dot{W}_{shear} - \dot{W}_{other}) = \frac{\partial}{\partial t} \int_{CV} e \rho dV + \int_{CS} e \rho \bar{v} \cdot d\bar{A} \quad (2)$$

Dimana:

$\dot{W}_s$ = Kerja persatuan waktu yang diakibatkan oleh tegangan poros.

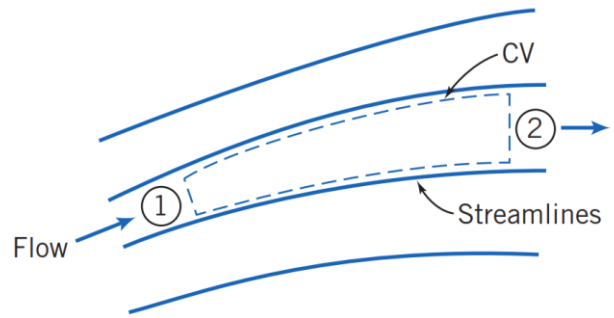
$\dot{W}_{normal}$ = Kerja persatuan waktu yang ditimbulkan oleh tegangan normal.

$\dot{W}_{shear}$ = Kerja persatuan waktu yang diakibatkan oleh tegangan geser.

$\dot{W}_{other}$ = Kerja persatuan waktu yang diakibatkan oleh kelistrikan.

D. Persamaan Energi

Dari persamaan Hukum Termodinamika 1 diatas didapatkan persamaan baru yang disebut dengan persamaan Energi.



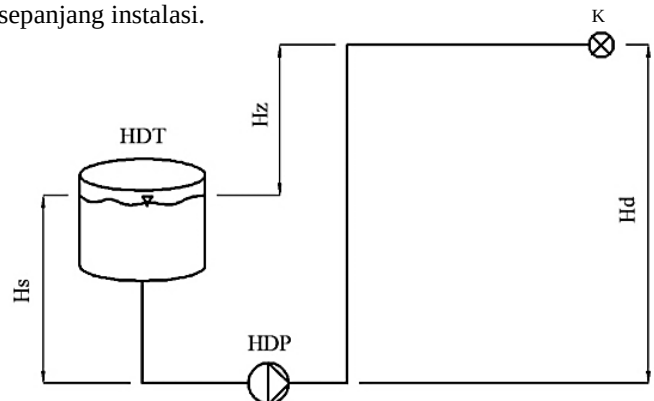
Gambar 4 Aliran Melalui Pipa
(*Sumber: Fox and Mc Donalds, Introduction to Fluid Mechanics 8th Edition Page 253*)

Persamaan energi dari titik1 ke 2:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{\bar{v}_1^2}{2} + g z_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{\bar{v}_2^2}{2} + g z_2 + H_{lt(1-2)} \quad (3)$$

E. Hed Effektiv Instalasi Pompa

Head instalasi pompa adalah besarnya head yang harus diatasi oleh pompa dari seluruh komponen yang ada diantaranya adalah karena perbedaan tekanan, perbedaan kecepatan, perbedaan ketinggian dan kerugian-kerugian sepanjang instalasi.



Gambar 5 Instalasi Pompa

Persamaan head efektif instalasi sebagai berikut:

$$H_{eff} = \sum H_{st} + \sum H_{dyn}$$

$$H_{eff} = \left\{ \frac{P_{dr} - P_{sr}}{\gamma} + (H_d - H_s) \right\} + \left\{ \frac{\bar{v}_{dr}^2 - \bar{v}_{sr}^2}{2g} + \sum H_{LT} \right\} \quad (4)$$

Dimana:

P_{dr} = Tekanan pada *discharge reservoir* (Pa)

P_{sr} = Tekanan pada *suction reservoir* (Pa)

γ = Berat jenis fluida ($\frac{N}{m^3}$)

H_d = Ketinggian permukaan air pada *discharge* ke sumbu pompa (m)

H_s = Ketinggian permukaan air pada *suction* ke sumbu pompa (m)

$\bar{v}_{dr}$ = Kecepatan aliran pada bagian *discharge* ($\frac{m}{s}$)

$\bar{v}_{sr}$ = Kecepatan aliran pada bagian *suction* ($\frac{m}{s}$)

g = Percepatan gravitasi bumi ($\frac{m}{s^2}$)

H_{LT} = Head loss total (m)

F. Head Loss Mayor

Head loss mayor merupakan kerugian aliran fluida yang disebabkan oleh gesekan yang terjadi antara fluida dengan dinding pipa atau perubahan kecepatan yang dialami oleh aliran fluida. Head loss mayor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Darcy – Weisbach yaitu [3]:

$$\sum H_L = f \frac{L}{D} \frac{\bar{v}^2}{2g} \quad (5)$$

Dimana:

H_L = Head loss mayor (m)

f = Faktor gesek

D = Diameter dalam pipa (m)

$\bar{v}$ = Kecepatan aliran dalam pipa ($\frac{m}{s}$)

g = Percepatan gravitasi bumi ($\frac{m}{s^2}$)

Untuk aliran laminar, faktor gesekan dapat dinyatakan dengan rumus:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (6)$$

Untuk aliran turbulen, faktor gesekan dibedakan menjadi:

- Untuk pipa halus, hubungan antara bilangan reynold dengan faktor gesekan:

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (7)$$

$$\text{Untuk } 3000 \leq Re \leq 100000$$

- Untuk pipa kasar dan halus, hubungan antara bilangan reynold dengan faktor gesekan:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (8)$$

G. Head Loss Minor

Selain kerugian head loss mayor, juga terdapat kerugian yang disebabkan karena kelengkungan pipa seperti belokan, siku, sambungan, katup dan sebagainya yang disebut dengan kerugian kecil (Head Loss Minor). Besarnya head loss minor yaitu [3]:

$$\sum H_{lm} = K \frac{\bar{v}^2}{2g} \quad (9)$$

Dimana harga K dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$K = f \frac{L_e}{D} \quad (10)$$

Dimana:

$\bar{v}$ = Kecepatan aliran dalam pipa ($\frac{m}{s}$)

g = Percepatan gravitasi bumi ($\frac{m}{s^2}$)

K = Koefisien kerugian (minor losses) pipa

f = Friction factor

L_e = Panjang ekivalen (m)

D = Diameter pipa (m)

H. Net Positive Suction Head (NPSH)

Net Positive Suction Head (NPSH) merupakan ukuran dari suction head yang memungkinkan bagi fluida untuk tidak mengalami kavitasi. NPSH ini dipakai sebagai ukuran keamanan pompa terhadap terjadinya kavitasi.

Besarnya NPSH pada instalasi pompa dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$NPSH = \left(\frac{P_s}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} \right) - \sum H_{ls} \pm H_s \quad (11)$$

Dimana:

P_s = Tekanan diatas permukaan cairan (P_a)

P_v = Tekanan uap jenuh pada suhu cairan pada saat dipompa (P_a)

γ = Berat jenis fluida yang dipompa ($\frac{N}{m^3}$)

$\sum H_{ls}$ = Jumlah kerugian yang terjadi pada pipa isap (m)

H_s = Tinggi hisap statis, berharga negatif (-) bila permukaan fluida yang dihisap dibawah pompa dan bernilai positif (+) bila sebaliknya (m)

I. Daya Fluida

Daya fluida merupakan energi yang secara efektif diterima oleh fluida dari pompa persatuan waktu. Besarnya WHP didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$WHP = \gamma \cdot Q \cdot H \quad (12)$$

Dimana:

WHP = Daya fluida (kW)

γ = Berat jenis fluida ($\frac{N}{m^3}$)

Q = Kapasitas ($\frac{m^3}{s}$)

H = Head total instalasi (m)

J. Daya Poros (P_{shaft})

Daya poros adalah daya yang diperlukan untuk menggerakkan sebuah pompa. Daya ini sama dengan daya air ditambah kerugian daya di dalam pompa. Daya ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P_{shaft} = \frac{WHP}{\eta_p} \quad (13)$$

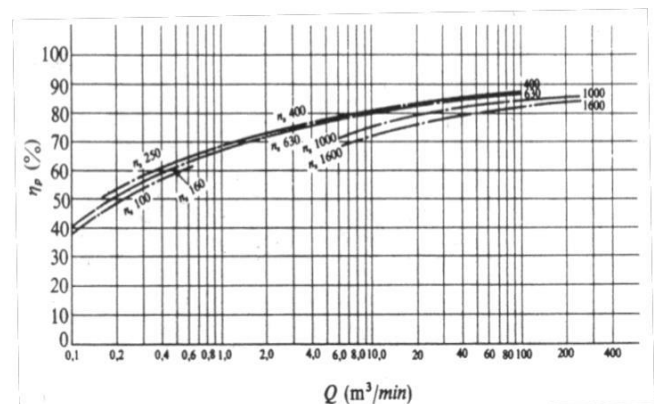
Dimana:

P_{shaft} = Daya poros (kW)

WHP = Daya fluida (kW)

η_p = Efisiensi pompa (desimal)

Harga-harga standar efisiensi pompa (η_p) diberikan dalam gambar dibawah ini. Efisiensi untuk pompa-pompa jenis khusus harus diperoleh dari pabrik pembuatnya.



Gambar 6 Efisiensi Standar Pompa Sentrifugal
(Sumber: Sularso Tahara Haruo, Pompa dan Kompresor, Pemilihan Pemakaian dan Pemeliharaan)

K. Daya Penggerak Mula

Meskipun daya poros sudah diketahui, daya nominal dari penggerak mula yang dipakai untuk menggerakkan pompa

harus ditetapkan sesuai persamaan berikut :

$$P_m = \frac{P(1+\alpha)}{\eta_t} \quad (14)$$

Dimana:

P_m = Daya nominasi penggerak mula (kW)

α = Faktor cadangan

η_t = Efisiensi transmisi

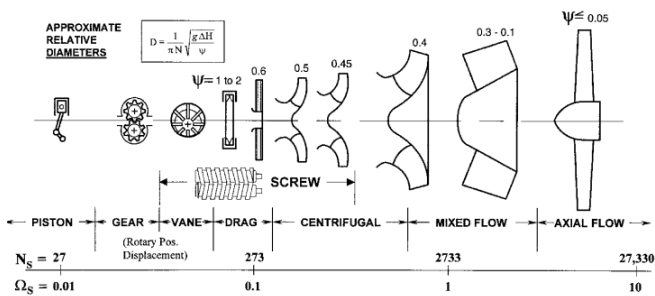
Faktor cadangan dan efisiensi transmisi dapat dicari dengan melihat tabel di bawah ini:

Tabel 1
Tabel Faktor Cadangan

Jenis Penggerak Mula	α
Motor Induksi	0,1 – 0,2
Motor Bakar Kecil	0,15 – 0,25
Motor Bakar Besar	0,1 – 0,2

L. Penentuan Jenis Pompa Berdasarkan Putaran Spesifik

Dalam beberapa hal, untuk kapasitas, head total pompa, dan putaran spesifik yang diperlukan, terdapat lebih dari satu jenis pompa yang dapat dipilih. Untuk itu dapat dilihat gambar yang ada di bawah ini:



Gambar 7 n_s dan Bentuk Impeller
(Sumber: Igor J Karasik, Pump Handbook 3rd edition)

$$n_s = n \frac{\sqrt{Q}}{H_{eff}^{3/4}} \quad (15)$$

Dimana:

n = Putaran (rpm)

Q = Kapasitas (gpm)

H = Head (ft)

M. Penentuan Jumlah Stage Pompa

Dengan sudah mengetahui putaran spesifik tersebut. Untuk melakukan pemilihan pompa dengan head dan kapasitas yang sesuai, maka dapat dipilih dengan menggunakan pompa *multiimpeller in series (multistage)* ataupun dengan pompa *multi impeller in parallel*. Berikut ini perhitungan yang dapat dilakukan:

Centrifugal pumps			Mixed-flow impeller	Axial-flow impeller
Low-speed impeller	Moderate-speed impeller	High-speed impeller		
$n_{st} = 40-80$ $\frac{D_2}{D_1} \approx 2.5$	$n_{st} = 80-150$ $\frac{D_2}{D_1} \approx 2$	$n_{st} = 150-300$ $\frac{D_2}{D_1} \approx 1.8-1.4$	$n_{st} = 300-600$ $\frac{D_2}{D_1} \approx 1.2-1.1$	$n_{st} = 600-2000$ $\frac{D_2}{D_1} \approx 0.8$

Gambar 8 Harga Putaran Spesifik

(Sumber: Khetagurov M, Marine Auxiliary Machinery and Systems)

• Multiimpeller pump in series (multistage)

$$n_{s1} = 3,65x \frac{n\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}} x \sqrt[4]{i^3}$$

Sehingga,

$$i = \left(\frac{n_{s1}}{n_s}\right)^{\frac{4}{3}} \quad (16)$$

Dimana:

N_{s1} = Putaran spesifik untuk stage

n = Putaran (rpm)

Q = Kapasitas ($\frac{m^3}{s}$)

H = Head (m)

i = Banyaknya stage

• Multiimpeller pump in parallel

$$n_{sk} = 3,65x \frac{n\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}} x \frac{1}{\sqrt{k}}$$

Sehingga,

$$k = \left(\frac{n_{sk}}{n_s}\right)^2 \quad (17)$$

Dimana,

N_{sk} = Putaran spesifik untuk stage

n = Putaran (rpm)

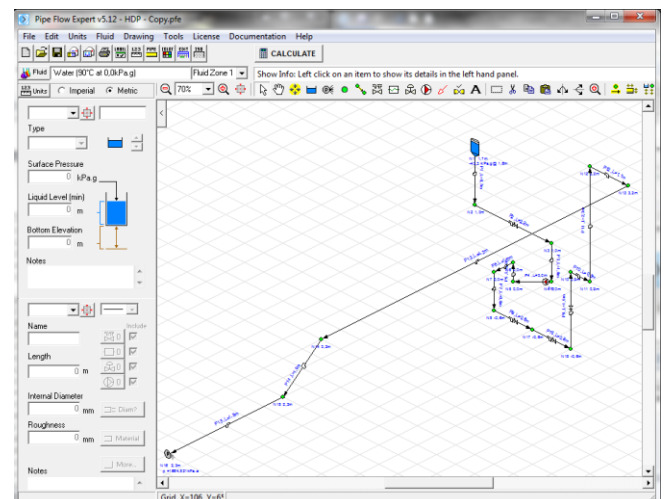
Q = Kapasitas ($\frac{m^3}{s}$)

H = Head (m)

k = Jumlah saluran pemasukan *impeller* pompa

M. Software Pipe Flow Expert

Pipe Flow Expert merupakan program perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk desain perpipaan dan pemodelan sistem pipa. *Software* ini dapat digunakan untuk menghitung aliran *fluida* dalam jaringan pipa terbuka maupun tertutup dengan suatu kapasitas *reservoir* ganda, beberapa pompa yang dihubungkan secara seri dan paralel serta beberapa ukuran dan *fitting* suatu pipa. *Pipe flow expert* ini akan menghitung laju aliran di setiap pipa dan akan menghitung penurunan tekanan pipa seluruh sistem. Pada gambar 2 menunjukkan penampang instalasi pada *software pipe flow expert*.



Gambar 9 Instalasi pada Pipe Flow Expert

III. METODOLOGI

Studi Kasus ini dilaksanakan di PT. PJB UP Gresik di bagian PLTU Unit 3. Agar dapat mencapai tujuan penulisan di dalam perhitungan kebutuhan kapasitas, head efektif instalasi sampai dengan pemilihan pompa, maka pada bab ini akan dibahas mengenai metodologi dalam penyusunan laporan studi kasus ini.

A. Data Hasil Survey

Berikut ini merupakan data yang diperoleh dari survey lapangan atau data sebelum perhitungan ulang. Adapun data-data yang diperoleh sebagai berikut:

❖ Sistem Air Kondensat

➤ Data Kondensor

- *Type* : Two Passes, Reverse Flow, Divided Water Box, Horizontal Surface Type
- *Absolute Pressure* : 65 mmHg
- *Hotwell Capacity* : 35 m³
- *Condensate Temperatur Outlet* : 43,1 °C
- *Water Level* : 684 mm

➤ Data Pompa Kondensat

- *Type* : TSM-VB4
- *Head (Hpump)* : 205 m
- *Mass Flow rate (Max Load)* : 432,623 Ton/jam
- *NPSH_R* : 4,5 m

➤ Data Steam Jet Air Ejector (SJAE)

- *Type* : Twin element two stage ejector with combined surface inter & after cooler
- *Cooling Water Quality* : Condensate
- *Quantity* : 34000 kg/h
(minimum flow)
- *Pressure Drop* : 0,5 mAq
- *Condensate Temperature Inlet* : 43,1 °C
- *Condensate Temperature Outlet* : 43,7 °C

➤ Data Gland Steam Condensor (GSC)

- *Type* : Horizontal, surface cooling type
- *Cooling Water Quality* : Condensate
- *Quantity* : 293926 kg/h
(normal flow)
- *Pressure Drop* : 3 mAq
- *Condensate Temperature Inlet* : 43,7 °C
- *Condensate Temperature Outlet* : 44,5 °C

➤ Data Low Pressure Heater 1 (LPH 1)

- *Type* : Horizontal closed tubular type
- *Condensate Water Flow* : 421580 kg/h
- *Pressure Drop* : 6,8 mAq
- *Condensate Temperature Inlet* : 44,5 °C
- *Condensate Temperature Outlet* : 86,4 °C

➤ Data Pipa

- *Pipa Suction Diameter Nominal (DN)* : 450 mm
- *Jenis material* : Carbon Steel (STPG 38)

- *Pipa discharge Diameter Nominal (DN)* : 250 mm, 200 mm & 150 mm
- *Jenis material* : Carbon Steel (STPG 38)
- *Gambar P&ID* : Tertera pada lampiran
- *Gambar Instalasi Autocad* : Tertera pada lampiran

➤ Data Fittings & Accessories

- *Check Valve*
- *Foot Valve with Strainer Hinged Disk*
- *Gate Valve*
- *Control Valve*
- *Globe Valve*
- *Elbow 90°*
- *Elbow 45°*
- *Reducer*

❖ Sistem Heater Drain

➤ Data Heater Drain Tank

- *Type* : Vertical, cylindrical
- *Absolute Temperature* : 0,65 kg/cm²abs
- *Capacity* : 0,45 m³ (N.W.L)
- *Drain Temperature Outlet* : 89,2 °C

➤ Data Heater Drain Pump

- *Type* : TSM-7
- *Head (Hpump)* : 175 m
- *Mass Flow rate (Max Load)* : 102,206 Ton/jam
- *NPSH_R* : 2,1 m
- *Kurva Karakteristik pompa* : Tertera pada lampiran

➤ Data Pipa

- *Pipa Suction Diameter Nominal (DN)* : 150 mm
- *Jenis material* : Carbon Steel (STPG 38)

- *Pipa discharge Diameter Nominal (DN)* : 150 mm & 125 mm
- *Jenis material* : Carbon Steel (STPG 38)
- *Gambar P&ID* : Tertera pada lampiran
- *Gambar Instalasi Autocad* : Tertera pada lampiran

➤ Data Fittings & Accessories

- *Check Valve*
- *Y Strainer*
- *Gate Valve*
- *Control Valve*
- *Elbow 90°*
- *Elbow 30°*
- *Reducer*

B. Perhitungan

Dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini, dilakukan perhitungan-perhitungan diantaranya perhitungan kapasitas (Q), kecepatan fluida (V), *head loss mayor* (H_l), *head loss minor* (H_{lm}), *Net Positive Suction Head Available* ($NPSH_A$) pompa, daya poros pompa (P_{shaf}), daya motor pompa (P_m), putaran spesifik pompa (n), serta jumlah stage pompa (i), dan pada akhirnya memilih pompa yang digunakan. Perhitungan pada Tugas Akhir ini dilakukan dengan dua metode yaitu dengan perhitungan analitis dan perhitungan secara numerik menggunakan *software pipe flow expert* untuk dianalisa perbandingannya. Pembagian section pada instalasi ini dapat dilihat pada lampiran.

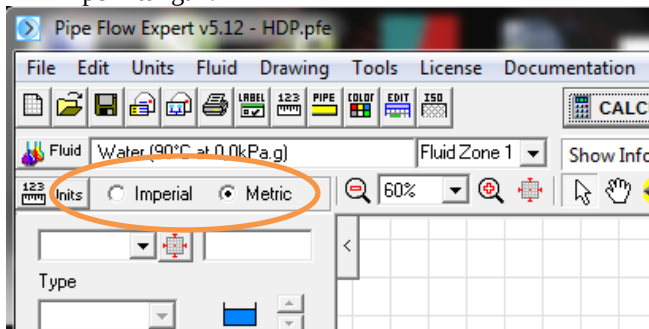
C. Perhitungan Analitis

Dalam perhitungan analitis ini digunakan persamaan dasar sesuai dengan teori yang ada untuk menghitung berbagai data yang diperlukan. Perhitungan ini dilakukan secara analitis dengan bantuan alat bantu hitung.

D. Perhitungan Numerik

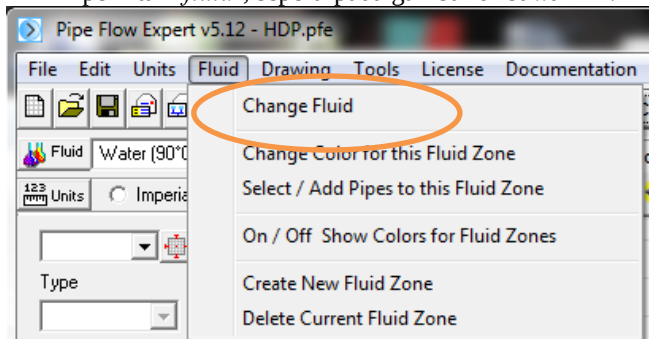
Perhitungan numerik ini digunakan untuk membandingkan antara perhitungan analitis yang dilakukan secara analitis dengan hasil perhitungan menggunakan software. Software yang digunakan dalam perhitungan numerik ini adalah *Pipe Flow Expert*. Langkah-langkah dalam menggunakan software ini adalah sebagai berikut:

1. Membuka jendela *software Pipe Flow Expert*.
2. Memilih satuan yang akan digunakan dalam proses perhitungan.



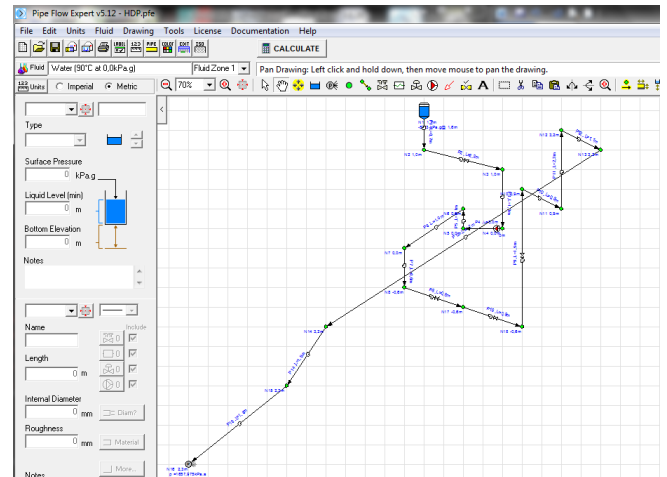
Gambar 10 Pemilihan Satuan

3. Memilih fluida kerja dan temperatur kerja pada perintah 'fluid', seperti pada gambar di bawah ini.



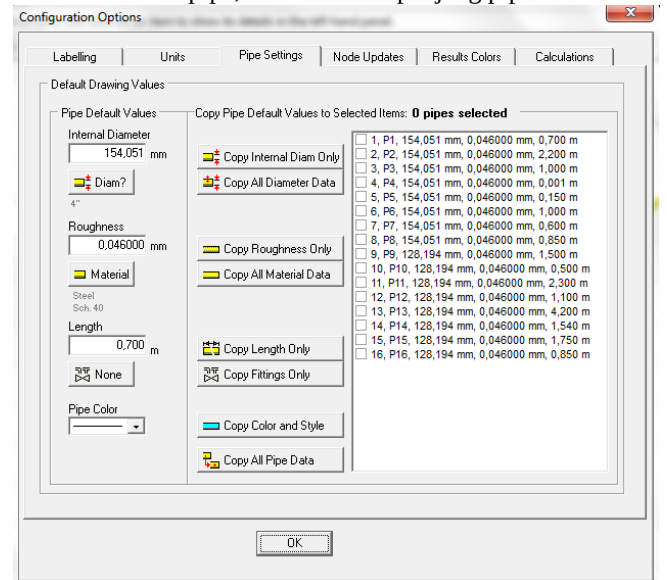
Gambar 11 Tombol Perintah Untuk Memilih Fluida Kerja

4. Membuat gambar instalasi perpipaan sesuai dengan kondisi lapangan.



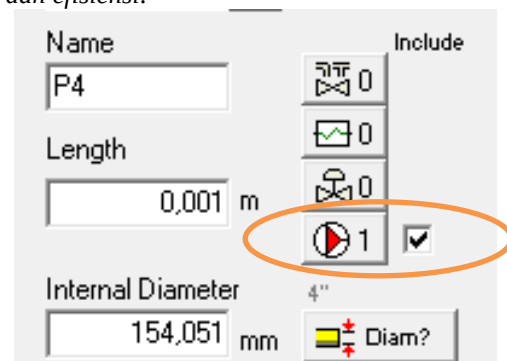
Gambar 12 Instalasi Perpipaan

5. Apabila sudah membuat gambar instalasi perpipaan kemudian mengisi data-data berupa material pipa, diameter pipa, aksesoris dan panjang pipa.

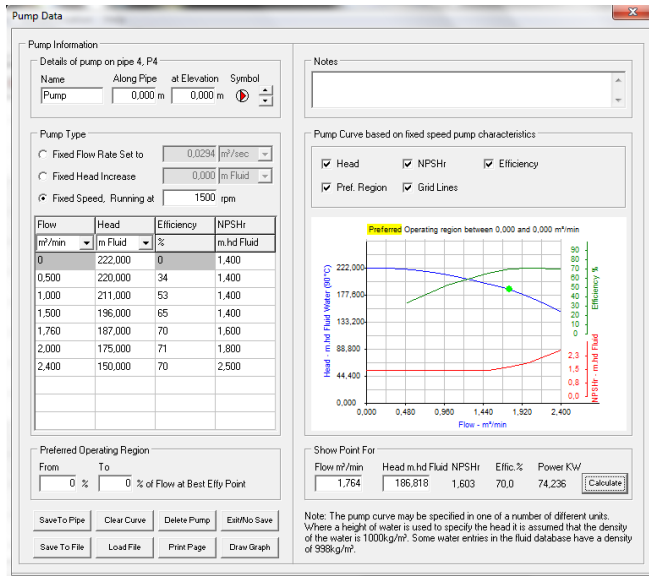


Gambar 13 Form Pengisian Data Pipa dan Aksesoris

6. Untuk memasukkan data kapasitas pompa, klik pada tombol pompa seperti pada gambar, kemudian akan muncul jendela 'pump data'. Pilih 'Fixed Speed, Running at', kemudian masukkan data flow, head dan efisiensi.

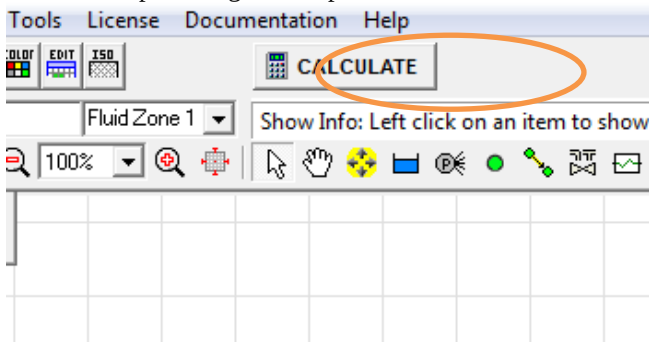


Gambar 14 Ikon Eksekusi Untuk Menambahkan Pompa Pada Instalasi

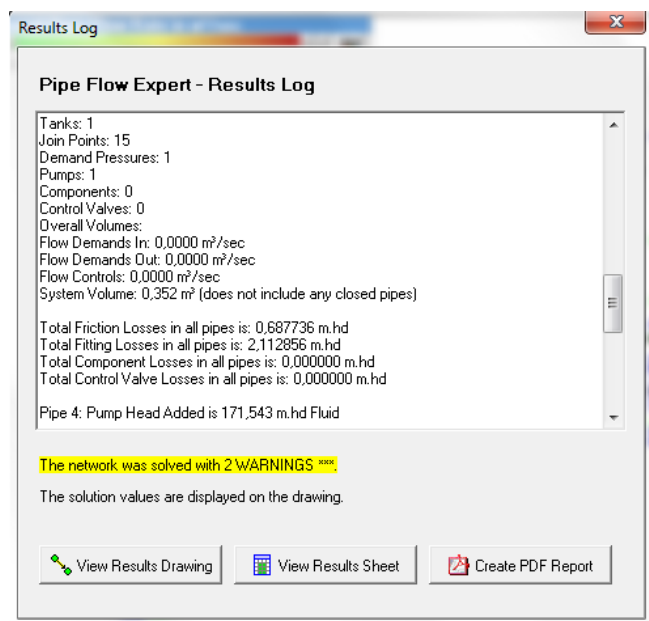


Gambar 15 Jendela Pump Data

7. Apabila semua data telah dimasukkan maka klik tombol 'Save To Pipe', maka untuk mendapatkan hasil perhitungan, klik pada tombol **CALCULATE**.



Gambar 16 Tombol Eksekusi Perhitungan



Gambar 17 Contoh Hasil Perhitungan

8. Untuk melihat data hasil perhitungan yang lebih lengkap, klik pada 3 pilihan pada gambar 3.8 'view

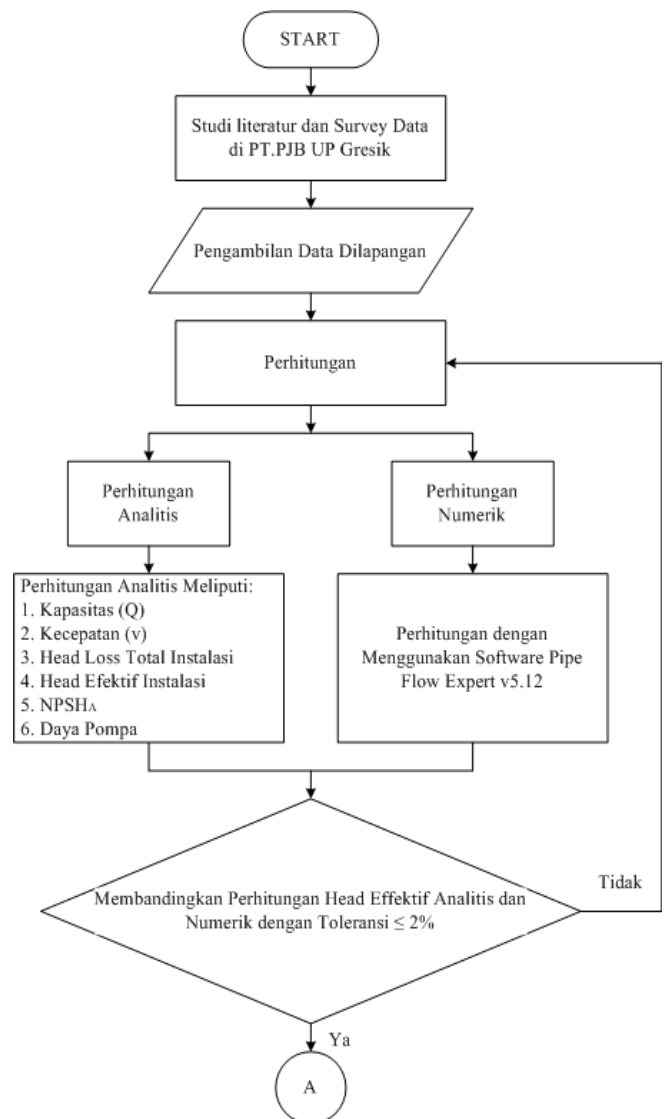
results drawing', 'view result sheet', atau 'create PDF Report'.

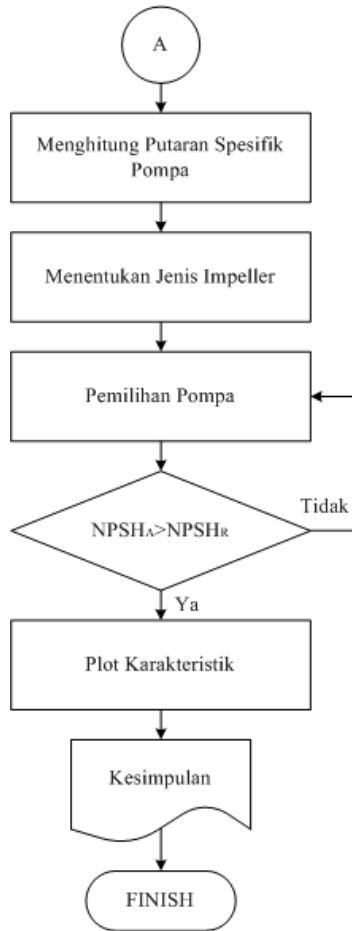
Dengan melakukan perhitungan secara numerik menggunakan *Pipe Flow Expert*, maka secara otomatis kita akan mendapatkan data berupa:

- Data fluida kerja berupa tekanan uap jenuh dan viskositas kinematik.
- Data pipa berupa diameter dalam dan nilai kekasaran permukaan (*Roughness*).
- Debit masing-masing pipa.
- Kecepatan aliran dalam pipa
- Reynold number* (*Re*)
- Friction factor*
- Friction losses*
- Tekanan pada masing-masing pipa
- Pump Head*

$Pump\ NPSH_A$

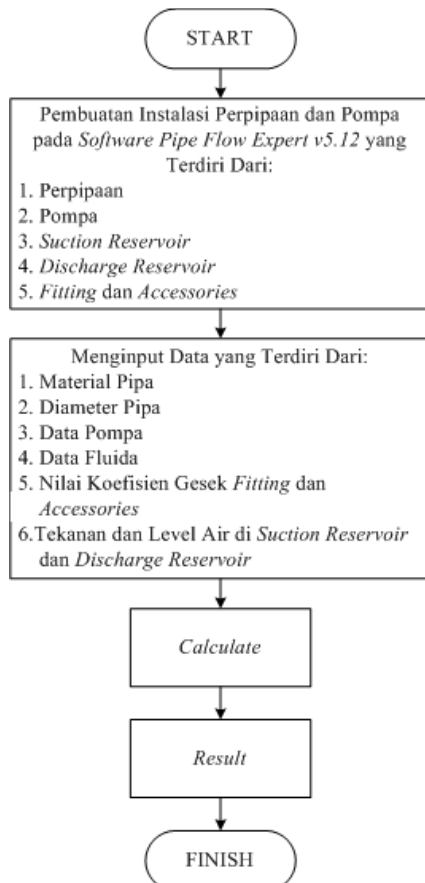
E. Flow chart Perhitungan Analitis





Gambar 18 Diagram Alir Perhitungan Analitis

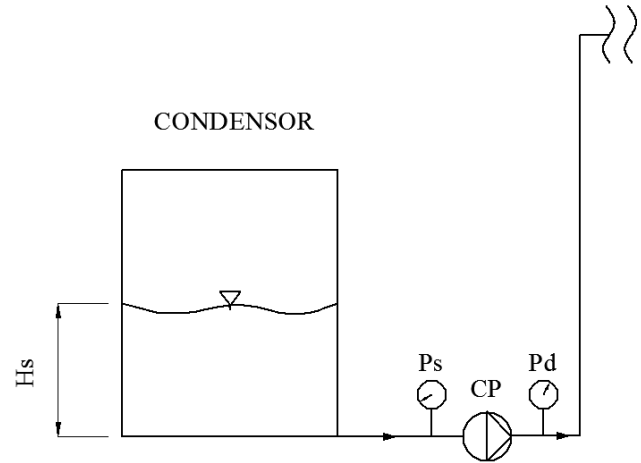
F. Flow Chart Perhitungan Numerik



Gambar 19 Diagram Alir Perhitungan Numerik

IV. PERHITUNGAN

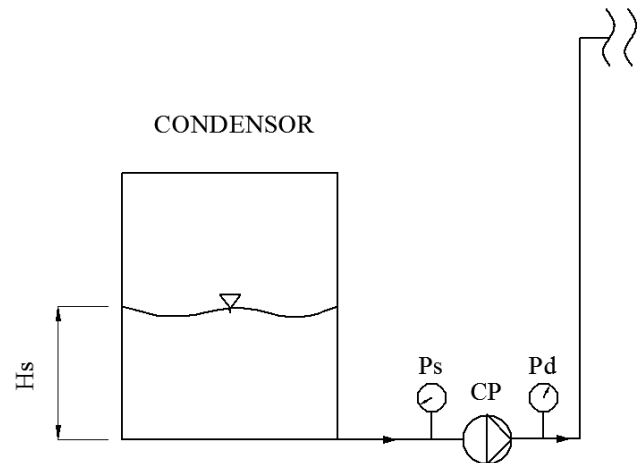
A. Perhitungan Tekanan Ps



Gambar 20 Instalasi Untuk Mencari Tekanan Ps

$$\begin{aligned}
 \frac{P_{sr}}{\gamma} + \frac{\bar{v}_{sr}^2}{2g} + Z_{sr} &= \frac{P_{ps}}{\gamma} + \frac{\bar{v}_{ps}^2}{2g} + Z_{ps} + \sum H_{LT(sr-ps)} \\
 &= \frac{-8665,954 \text{ Pa}}{990,84 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + \frac{0^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} - 0,84041^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \\
 &\quad + 0,684 \text{ m} - 0,0877 \text{ m} \\
 &= \left[\frac{-8665,954 \text{ Pa}}{990,84 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \times \frac{\text{N}}{\text{Pa} \cdot \text{m}^2} \times \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{N} \cdot \text{s}^2} \right] + (0,5603 \text{ m}) \\
 P_{ps} &= -3220,283 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

B. Perhitungan Tekanan Discharge Condensate Pump A

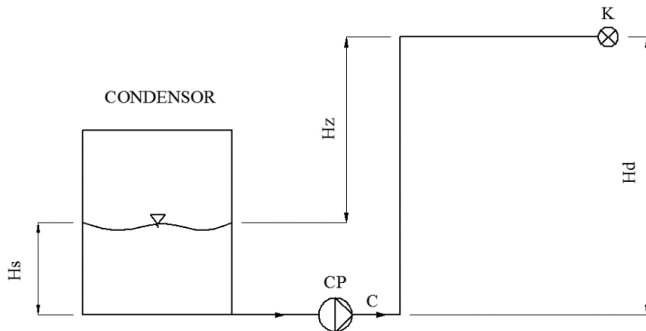


Gambar 21 Instalasi Untuk Mencari Tekanan Pd

$$\begin{aligned}
 P_d &= \left[H_{eff} - \frac{(\bar{v}_d^2 - \bar{v}_s^2)}{2g} \right] \gamma + P_s \\
 &= \left[205 \text{ m} - \frac{2,38394^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} - 0,84041^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & 990,84 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} + (-3220,283 Pa) \\
 & = 1990163,136 Pa - 3220,283 Pa \\
 & = 1986942,853 Pa \\
 & = 1,987 Mpa
 \end{aligned}$$

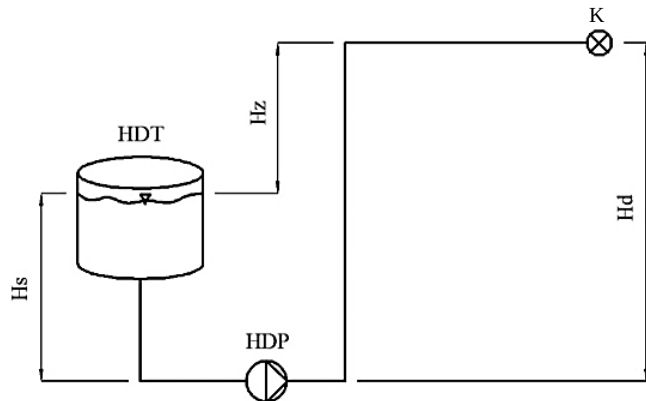
C. Perhitungan Tekanan di Titik K



Gambar 22 Instalasi Untuk Mencari Tekanan di Titik K

$$\begin{aligned}
 \frac{P_k}{\gamma} &= \frac{P_c}{\gamma} + \frac{\bar{v}_c^2 - \bar{v}_k^2}{2g} + (Z_c - Z_k) - \sum H_{LT(C-K)} \\
 &= \frac{1,987 \times 10^6 Pa}{990,84 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2}} + \frac{2,38394^2 \frac{m^2}{s^2} - 6,66082^2 \frac{m^2}{s^2}}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} \\
 &\quad + (0 - 6,1)m - 21,0236 m \\
 P_k &= 1,665 Mpa
 \end{aligned}$$

D. Perhitungan Head Effektif Instalasi Heater Drain Pump



Gambar 23 Instalasi Heater Drain Pump

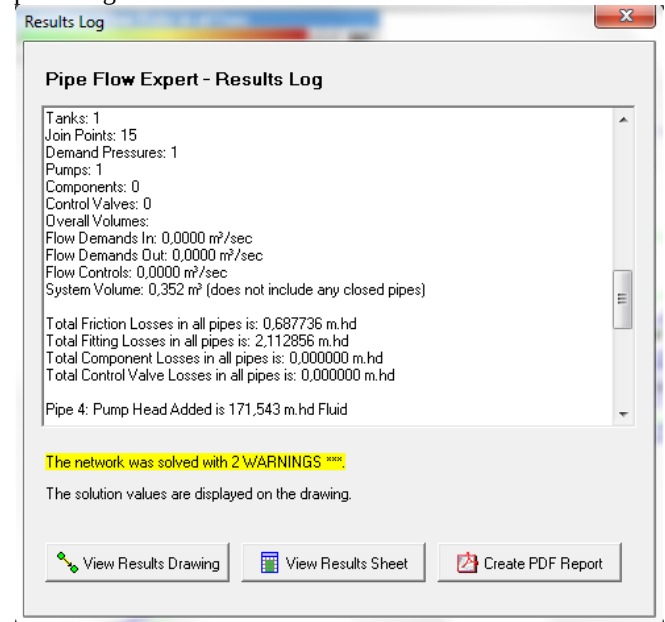
$$\begin{aligned}
 H_{eff} &= \left\{ \frac{P_{dr} - P_{sr}}{\gamma} + (H_d - H_s) \right\} + \left\{ \frac{\bar{v}_{dr}^2}{2 \times g} + \sum H_{LT} \right\} \\
 H_{eff} &= H_{statis} + H_{dynamis} \\
 H_{statis} &= \left[\frac{P_{dr} - P_{sr}}{\gamma} \right] + (H_d - H_s) \\
 &= \left[\frac{1,665 Mpa - 0,064 Mpa}{965,85 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2}} \right] + (2,313 - 3,26)m \\
 &= \left[\frac{(1,665 - 0,064) \times 10^6 pa}{965,85 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2}} \times \frac{N}{Pa \cdot m^2} \times \frac{kg \cdot m}{N \cdot s^2} \right] \\
 &\quad + (-0,947 m) \\
 &= 168,971 - 0,947 m \\
 &= 168,024 m
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{dynamis} &= \left(\frac{\bar{v}_{dr}^2}{2g} \right) + \sum H_{loss total} \\
 &= \left(\frac{2,2778^2 \frac{m^2}{s^2}}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} \right) + 2,7469 m \\
 &= 3,0113 m
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{eff} &= H_{statis} + H_{dynamis} \\
 &= 168,024 m + 3,0113 m \\
 &= 171,0353 m
 \end{aligned}$$

E. Perhitungan Numerik Head Effektif Instalasi Heater Drain Pump

Dengan menggunakan software *Pipe Flow Expert v5,12*, maka selain perhitungan secara analitis, perhitungan secara pemodelan numerik pun dapat dilakukan. Dibawah ini hasil perhitungan secara numerik.



Gambar 24 Hasil Setelah di Calculate

Dengan melihat gambar diatas, didapatkan harga: Head Total Pompa= 171,543 m Hd Fluid.

$$\text{Tingkat kesalahan} = \frac{H_{eff} - H_{eff PFE}}{H_{eff}} \times 100\%$$

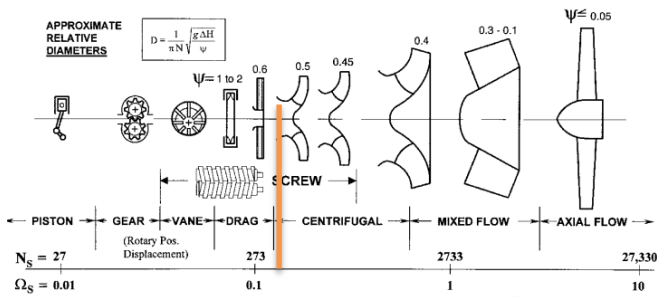
$$\begin{aligned}
 \text{Tingkat kesalahan} &= \frac{171,0353 m - 171,543 m}{171,0353 m} \times 100\% \\
 \text{Tingkat kesalahan} &= 0,3\%
 \end{aligned}$$

F. Pemilihan Pompa Berdasarkan Putaran Spesifik (ns)

Penentuan jenis pompa didasarkan pada putaran spesifik dapat dihitung dengan cara:

$$\begin{aligned}
 n_s &= n \frac{\sqrt{Q}}{H_{eff}^{3/4}} \\
 n_s &= 1500 rpm \frac{\sqrt{1,764 \frac{m^3}{min} \times \frac{gal}{3,785 \times 10^{-3} m^3}}}{\left(171,0353 m \times \frac{ft}{0,3048 m} \right)^{3/4}} \\
 n_s &= 280,87
 \end{aligned}$$

Sehingga dengan memplot nilai ns pada gambar 12, berikut dapat disimpulkan bahwa pompa yang akan dipilih adalah pompa dengan tipe *Centrifugal Pump*.

Gambar 25 n_s dan Bentuk Impeller(Sumber: Igor J Karasik, *Pump Handbook 3rd edition*)

Untuk mengetahui banyaknya stage (i) yang digunakan pada pompa yang terletak dalam suatu instalasi menggunakan persamaan $i = \left(\frac{n_{s1}}{n_s}\right)^{\frac{4}{3}}$ dan untuk mendapatkan nilai n_s didapat dengan persamaan:

$$n_s = 3,65 \times 1500 \text{ rpm} \frac{\sqrt{0,0294 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}}{(171,0353 \text{ m})^{3/4}} = 19,85$$

Centrifugal pumps			Mixed-flow impeller	Axial-flow impeller
Low-speed impeller	Moderate-speed impeller	High-speed impeller		
$n_{s1} = 40-80$ $\frac{D_2}{D_0} \approx 2,5$	$n_{s1} = 80-150$ $\frac{D_2}{D_0} \approx 2$	$n_{s1} = 150-300$ $\frac{D_2}{D_0} \approx 1,8-1,4$	$n_{s1} = 300-600$ $\frac{D_2}{D_0} \approx 1,2-1,1$	$n_{s1} = 600-2000$ $\frac{D_2}{D_0} \approx 0,8$

Gambar 26 Harga Putaran Spesifik

(Sumber: Khetagurov M, *Marine Auxiliary Machinery and Systems*)

Untuk n_{s1} dengan tipe *centrifugal pump* tipe *Moderate-speed impeller* dapat dilihat pada gambar 13 dan memiliki nilai 80 – 150. Sehingga:

$$N_{s1} = 85$$

$$N_s = 19,85$$

Maka,

$$i = \left(\frac{n_{s1}}{n_s}\right)^{\frac{4}{3}} = \left(\frac{85}{19,85}\right)^{\frac{4}{3}} = 6,95 \approx 7 \text{ stage}$$

G. Perhitungan Net Positive Suction Head Available (NPSH_A)

$$NPSH_A = \frac{P_a - P_v}{\gamma} + H_s - \sum H_{LT}$$

$$= \frac{(0,064 - 0,06817) \times 10^6 \text{ Pa}}{965,85 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 3,26 \text{ m}$$

$$= -0,4401 \text{ m} + 3,26 \text{ m} - 0,0968 \text{ m}$$

$$= 2,72 \text{ m}$$

H. Perhitungan Daya Air (Water Horse Power)

$$WHP = \rho \times g \times Q \times H_{eff}$$

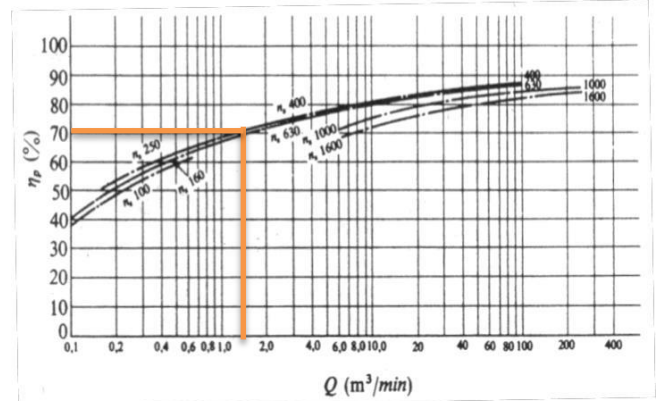
$$WHP = 965,85 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,0294 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 171,0353 \text{ m}$$

$$= 47644,39 \text{ Watt}$$

$$= 47,644 \text{ kW}$$

I. Perhitungan Daya Poros

Untuk mencari efisiensi pompa dengan cara memplot grafik di bawah ini:



Gambar 27 Efisiensi Standar Pompa

(Sumber: Sularso Tahara Haruo, *Pompa dan Kompresor, Pemilihan Pemakaian dan Pemeliharaan*)

Jika $Q = 1,764 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$, maka efisiensi pompa (η_p) = 70%. Sehingga:

$$P_{shaft} = \frac{WHP}{\eta_p} = \frac{47,644 \text{ kW}}{0,7} = 68,06 \text{ kW}$$

Sehingga pompa yang sesuai untuk instalasi *Feed Water Heater Drain System* adalah Pompa Sentrifugal – Multistage dengan jumlah 7 Stage.

J. Perhitungan Daya Motor

Tabel 2
Tabel Faktor Cadangan

Jenis Penggerak Mula	α
Motor Induksi	0,1 – 0,2
Motor Bakar Kecil	0,15 – 0,25
Motor Bakar Besar	0,1 – 0,2

Dari tabel diatas dipilih jenis motor penggerak mula motor induksi dengan nilai $\alpha = 0,2$ [9].

Sedangkan untuk efisiensi transmisi karena antara pompa dengan motor dikopel oleh kopling tetap, sehingga nilai efisiensi transmisi $\eta_t = 1$.

Sehingga daya motor diperoleh,

$$P_m = \frac{P(1 + \alpha)}{\eta_t} = \frac{68,06 \text{ kW}(1 + 0,2)}{1} = 81,67 \text{ kW}$$

K. Penentuan Jenis Pompa

Dari perhitungan yang sudah dilakukan diatas, didapatkan pompa *centrifugal multistage moderate speed impeller* dengan data lengkapnya sebagai berikut:

Capacity	$1,764 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$
Head Effektiv Instalasi	171,0353 m
No. of stage	7
NPSH _A	2,72 m

P_{shaft} : 68,06 kW
 P_m : 81,67 kW

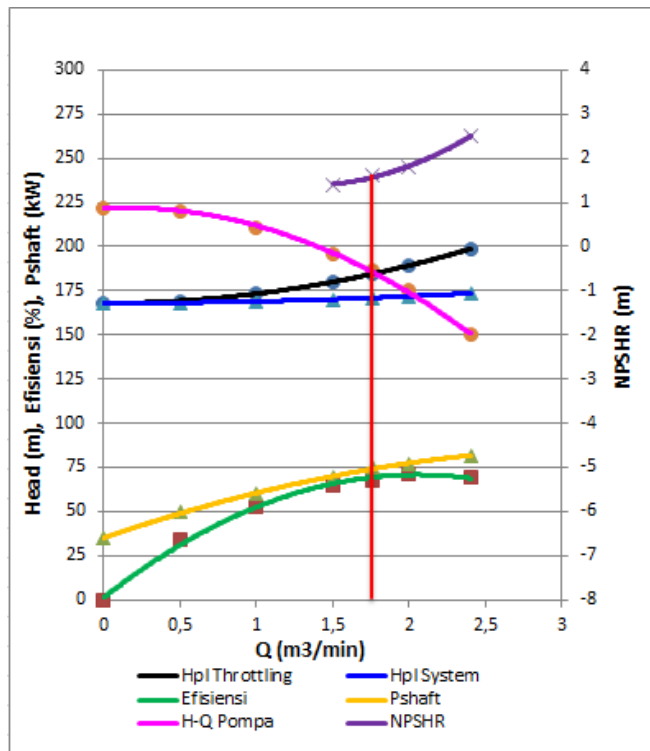
Dengan kebutuhan pompa seperti data diatas, maka dipilih pompa sentrifugal *multistage* sebagai berikut:

Jenis pompa : Sentrifugal *multistage*
 Capacity : $2 \frac{m^3}{min}$
 Total head : 175 m
 No. of stage : 7
 $NPSH_R$: 2,1 m
 P_{shaft} : 75 kW
 P_m : 85 Kw

Dengan data diatas maka penggunaan pompa yang ada dilapangan sekarang sudah sesuai dengan instalasi yang ada. Sehingga tetap menggunakan pompa yang sama.

L. Karakteristik Kerja Pompa Secara Analitis

Dibawah ini adalah kurva yang dibuat secara analitis agar mudah didapatkan titik kerja pompa.



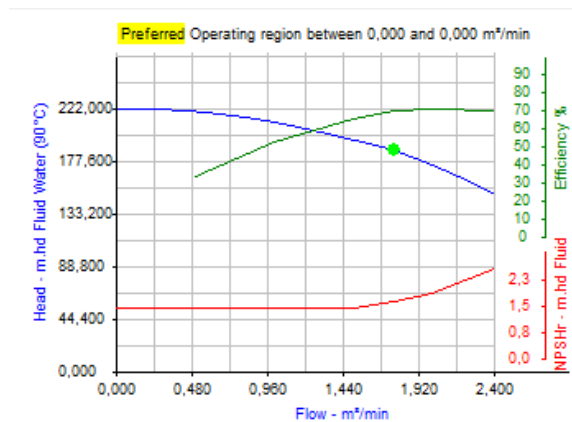
Gambar 28 Kurva Karakteristik Kerja Pompa Secara Analitis

Dari grafik diatas diketahui karakteristik kerja pompa dengan berbagai performa. Dengan diketahui dari data bahwa head maksimum pompa 222 m dan kapasitas maksimum $2,4 \frac{m^3}{min}$. Untuk instalasi heater drain pump didapat *head efektif* sebesar 171,0353 m dengan kapasitas $1,764 \frac{m^3}{min}$. Dengan mengplot *head pipeline system* dengan variasi kapasitas, didapat bahwa *head pipeline* tidak menyentuh grafik head fungsi kapasitas pompa. Sehingga diperlukan *head pipeline throttling* untuk mendapatkan titik kerja.

Head pipeline throttling didapat dengan menutup $\frac{3}{4}$ control valve di *discharge* dengan variasi kapasitas sehingga didapatkan *head pipeline throttling* yang berpotongan dengan head fungsi kapasitas pompa. Sehingga titik kerja pompa berada pada head 184,59 m dengan kapasitas yang sama yaitu $1,764 \frac{m^3}{min}$.

Dari pernyataan diatas maka dapat disimpulkan bahwa head yang dilayani pompa adalah 184,59 m, daya shaft 75 kW, $NPSH_R$ 1,6 m, efisiensi 70% dengan kapasitas sebesar $1,764 \frac{m^3}{min}$.

M. Karakteristik Kerja Pompa Secara Numerik



Show Point For					
Flow m³/min	Head m hd Fluid	NPSHr	Effic. %	Power KW	
1,764	186,818	1,603	70,0	74,236	Calculate

Gambar 29 Kurva Karakteristik Kerja Pompa Secara Numerik
 (Sumber: Software Pipe Flow Expert v.5.12)

Dari grafik diatas dapat diketahui untuk kapasitas $1,764 \frac{m^3}{min}$ didapatkan Head, $NPSH_R$, efisiensi dan daya *shaft* pompa. Dengan berdasar pada grafik analitis dan numerik diatas maka dapat diketahui tingkat kesalahan grafik yang dibuat secara analitis. Tingkat kesalahannya sebagai berikut:

- Head = $\frac{184,59 - 186,818}{184,59} \times 100\% = 1,2\%$
- $NPSH_R$ = $\frac{1,6 - 1,603}{1,6} \times 100\% = 0,19\%$
- Efisiensi = $\frac{70 - 70}{70} \times 100\% = 0$
- P_{shaft} = $\frac{75 - 74,236}{75} \times 100\% = 1\%$

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Dari hasil perhitungan secara analitis didapatkan kapasitas pompa *Heater Drain Pump* $105,84 \frac{m^3}{h}$, $H_{eff} = 171,0353$ m, $NPSH_A = 2,72$ m dan 7 stage.
- Pada perhitungan numerik dengan *software pipe flow expert v5.15* didapatkan nilai $H_{eff PFE} = 171,543$ m. Jika dibandingkan dengan perhitungan secara analitis maka diketahui tingkat kesalahan perhitungan sebesar 0,3 %.
- Berdasarkan perhitungan diatas maka dipilih pompa sentrifugal *multistage* dengan kapasitas $120 \frac{m^3}{h}$, $H_{effpompa} = 175$ m, $NPSH_R = 2,1$ m dan 7 stage.
- Dari pemilihan pompa berdasarkan putaran spesifik, maka pemilihan pompa *Heater Drain Pump* dengan tipe TSM-7 pada PT. PJB UP Gresik PLTU Unit 3 sudah tepat.

- e. Pemilihan pompa sudah benar sehingga *backflow* terjadi karena rusaknya *swing check valve* dan terjadi kerusakan pada pompa.
- f. Perawatan yang dapat dilakukan untuk menjaga kehandalan kinerja pompa *Heater Drain Pump* ada 4 yaitu perawatan sebelum menjalankan pompa, perawatan selama pengoperasian, perawatan untuk penghentian pompa dan perawatan tahunan (*assembly* dan *diassembly*).

B. Saran

Adapun saran untuk PT PJB Unit Pembangkitan Gresik yaitu:

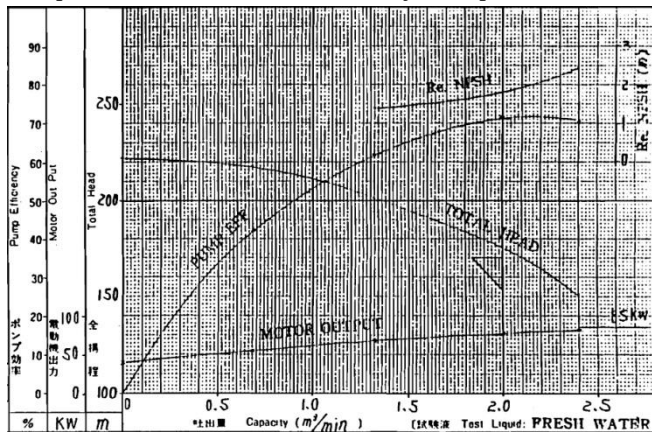
- a. Manajemen perawatan pada *feed water heater drain system* dilakukan secara teratur dan terjadwal mulai dari *Preventive Maintenance*, *Predictive Maintenance*, *Corrective Maintenance*, dan *Breakdown Maintenance* agar peralatan pada sistem instalasi mempunyai umur kerja yang panjang dengan performa yang maksimal.
- b. Perlu dijaga temperatur fluida kerja *heater drain pump* agar tidak melebihi $89,2^{\circ}\text{C}$ karena akan menyebabkan terjadinya keausan yang lebih cepat kepada pompa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dietzel, Fritz,. 1990. *Turbin, Pompa dan Kompresor*, alih bahasa Dakso Sriyono, Jakarta: Erlangga
- [2] Djoni, Made Arya, *Pompa & Compressor TM 1532*
- [3] Fox, Robert W. and McDonald, Alan T., 2010. *Introduction to Fluid Mechanics*, John Wiley and Sons, New York
- [4] Karassik, Igor J., dkk. 2001. *Pump Handbook*, McGraw-Hill Book Co.
- [5] Khetagurov, M. *Marine Auxiliary Machinery and Systems*, Diterjemahkan oleh Nicholas Weinstein dari bahasa Rusia. Moscow: Peace Publishers.
- [6] Raswari. 2007. *Perencanaan dan Penggambaran Sistem Perpipaan*. Jakarta: Universitas Indonesia
- [7] Silowash, Brian. 2010. *Piping Systems Manual*, McGraw-Hill Book Co.
- [8] Sonntag E. Richard, Borgnakke, Claus. 2009. *Fundamentals of Thermodynamics 7th Edition*, United States of America: Jhon Wiley and Sons
- [9] Sularso, Tahara, Haruo. 2004. *Pompa dan Kompresor Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan*, cetakan ke delapan. Jakarta: PT. Pradnya Paramita

LAMPIRAN

Lampiran 1: Kurva Karakteristik Kerja Pompa



(Sumber: Equipment Maintenance Manual unit 3&4 PT PJB UP Gresik)

Lampiran 2: Instalasi *Condensate Water System* dan *Feed Water Heater Drain System*

