











BULETIN UTAMA TEKNIK

DAFTAR ISI

	Hal
 Eksperimen Pengaruh Penggantian Sebagian Semen Portland Dengan Semen Merah Terhadap Kuat Tekan Beton Heri Sujatmiko	83 - 88
 Pengaruh Peletakan Pompa Sentrifugal Terhadap Kinerjanya Janter Pangaduan Simanjuntak	89 - 97
 Analisis Pengaruh Bentuk Elektroda Terhadap Tegangan Tembus Udara Mustamam	98 - 106
 Studi Analisis Aliran Daya Dengan Metode Newton-Raphson Menggunakan Program Etap Syarifuddin Siregar	107 - 115
 Rekayasa Rancang Bangun Model Sistem Pemasangan Kaca Mobil Otomatis Riccy Kurniawan	116 - 122
 Penelitian Terhadap Pengaruh Keunggulan Produk Terhadap Minat Karyawan Menjadi Peserta Askes. Silvi Ariyanti	123 - 129
 Pengaturan Eksitasi Dan Governor Pada Generator Menggunakan Fuzzy Logic Akibat Gangguan Pada Saluran Transmisi Sistem Tenaga Listrik Dengan Simulasi Matlab Subhan, Said Abubakar	130 - 137
 Perilaku Kurvatur Daktilitas Dari Balok Beton Ringan Batu Apung Dengan Berbagai Rasio Tulangan Tarik Agustiar	138 - 146
 Aplikasi Sensor Gas Pada Sistem Robot Nose Herri Trisna Frianto, Faisal Hadi	147 - 153
 Penggunaan Program Dinamik Deterministik Dalam Penentuan Kurva Pengatur Pengoperasian Waduk Berdasarkan Kondisi Musim Tahun Air Hendarmin Lubis	154 - 160

JURNAL ILMIAH

"BULETIN UTAMA TEKNIK"

FAKULTAS TEKNIK UISU

Jurnal Ilmiah:

"BULETIN UTAMA TEKNIK"

Diterbitkan oleh Fakultas Teknik Universitas Islam Sumatera Utara sejak September 1997. ISSN 1410-4520

Telah Terakreditasi sebagai Jurnal ilmiah berdasarkan Surat Keputusan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional R.I :

Nomor : 52/Dikti/Kep/2002

Tanggal : 12 September 2002

Akreditasi Ulang dengan :

Nomor : 55/Dikti/2005

Tanggal : 17 Nopember 2005

Pada saat ini dalam Proses Reakreditasi.

Alamat Redaksi:

Fakultas Teknik

Universitas Islam Sumatera Utara

Jalan Sisingamangaraja Kampus UISU

Teladan Medan 20217

Telepon & Fax (061) 786 8049

E-mail:buletinteknik@uisu.ac.id

Pelindung:

Rektor Universitas Islam Sumatera Utara

Penanggung Jawab:

Dekan Fakultas Teknik UISU

Pemimpin Redaksi:

Ir. Muksin Rasyid Harahap, S.Pd, MT

Redaksi Ahli:

Prof. Dr. Bustami Syam, MSME (USU)

Prof. Dr. HA. Rahim Matondang, MSIE (USU)

Prof. Dr. Abdul Muin Sibuea, MPd (UNIMED)

Prof. Dr. Muhammad Zarlis (USU)

Prof. Dr. Ir.Armansyah Ginting, M.Eng (USU)

Prof. Dr. Hj. Mohd. Razali Muhamad (UTeM)

Dr. Ir. Syafruddin Masri, M.Sc (USM)

Redaksi Pelaksana:

Dr. Ir. M. Sobron Yamin Lubis, M.Sc. (UMSU)

Ir. Raja Harahap, MT (USU)

Ir. Jupriah Syarifah, MT (UISU)

Ir. Tri Hernawati, M.Si (UISU)

Rahmad Widia Sembiring, SE, M.Sc.,IT (USU)

Editor:

Ir. Sudaryanto

Sahril Batubara

Sekretaris:

Ir. Silvi Ariyanti, M.Sc

Syamsuddin Asmad

PENGARUH PELETAKAN POMPA SENTRIFUGAL TERHADAP KINERJANYA

Janter Pangaduan Simanjuntak

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan,
Jl. Willem Iskandar Psr. V Medan Estate-Medan 20221 Telp. (061) 6625971

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh peletakan pompa sentrifugal relatif terhadap permukaan sumber air yang akan dipompakan terhadap kinerjanya. Metode yang dilakukan adalah dengan membangun sistem pemipaan dan meletakkan pompa masing-masing di atas dan di bawah permukaan sumber air yang akan dipompakan. Diameter pipa isap (suction pipe) dan pipa tekan (discharge pipe) dari jenis PVC diambil sama yaitu 50 mm dan panjang masing-masing adalah 0,75 dan 1,2 meter. Sistem dibangun dengan menggunakan perangkat lunak Piping System Fluid Flow Software. Setelah sistem selesai dibangun maka dari katalog yang tersedia pada software, pompa dapat dipilih sesuai dengan jenis pompa yang digunakan pada umumnya. Spesifikasi pompa yang digunakan adalah Euro-HYGIA I/30b 50, diameter impeller 140 mm dan putaran 2900 rpm. Pengujian dilakukan dengan membuat laju aliran yang bervariasi dengan cara membuka katup manual mulai dari 5 sampai 100 persen. Data yang diperlukan adalah besarnya tekanan yang terbaca pada instrumen pengukur tekanan pressure gauge yang ditempatkan pada sisi masuk (suction pressure) dan keluar pompa (discharge pressure). Dari data dan hasil pengujian yang ditunjukkan melalui kurva karakteristik ternyata tidak ada perbedaan tinggi tekan (head) yang signifikan bila pompa ditempatkan di atas maupun di bawah sumber air yang akan dipompakan. Dari penelitian ini diperoleh bahwa peletakan pompa lebih rendah dari permukaan sumber menunjukkan titik operasional yang lebih baik.

Kata-kata kunci: *Pompa Sentrifugal, Tinggi Tekan, Efisiensi, Titik Operasional*

Abstract

The aim of this research is to investigate the influence of centrifugal pump placing relative to the level of source to its performance. Pumps placement on the piping system may under or above of the source level that has to be pumped, however, this will directly impact to pumps head. Piping system is constructed by using Piping System Fluid Flow Software. Each suction and discharge pipe are made from PVC pipe type with 50 mm diameter. Suction pipe length is 0.75 m and discharge pipe length is 1.2 m. Pump type is selected from a softwares catalog. The pump specifications are Euro-HYGIA I/30b 50 type, 140 mm impeller diameter, and 2900 rpm. Important data in this research are suction pressure gauge value and discharge pressure value. The pumps characteristic shows that there is no different pumps head between case A and case B. But the pumps performance different in BEP depends on percentage of opening the manual flow control valve. According to BEP of the piping system in case A and B, actually the case B more good than the case A.

Keywords: *Centrifugal Pump, Head, Efficiency, Duty Point*

Pendahuluan

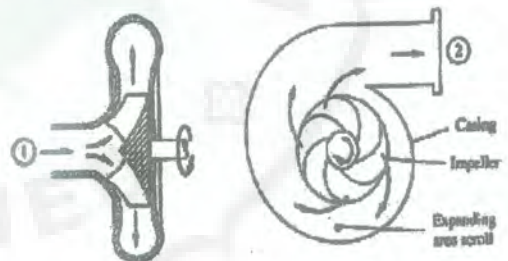
Pompa sentrifugal adalah suatu mesin yang sangat banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, baik dalam rumah tangga maupun dalam perindustrian. Khusus untuk industri penggunaan pompa ini mungkin dalam jumlah yang banyak. Untuk mengoperasikan pompa ini membutuhkan daya listrik walaupun dalam beberapa hal pompa ini dapat dikopel langsung dengan mesin yang menghasilkan daya poros misalnya motor bakar, turbin dan lain-lain.

Dalam mengoperasikan pompa ini sering diabaikan masalah efisiensi yang sangat erat hubungannya dengan daya listrik yang harus kita suplai ke pompa tersebut apalagi jumlah pompa yang digunakan cukup banyak ataupun kapasitas pompa yang dibutuhkan cukup besar. Umumnya perusahaan pembuat pompa hanya menuliskan spesifikasi pompa sementara informasi karakteristik atau kondisi kerja yang efektif tidak diberikan, sehingga untuk mengetahui kinerja sebuah pompa harus dilakukan pengujian di laboratorium.

Total tinggi tekan pompa (*total head*) dan laju aliran (*flow*) sangat menentukan kriteria pompa dalam aplikasinya, jadi penentuan kriteria pompa bukan didasarkan pada tekanan discharge (*discharge pressure*) karena laju aliran tidak dapat ditentukan berdasarkan tekanan ini. Tekanan discharge sangat tergantung kepada tekanan isap (*suction pressure*) dan tekanan isap ini sangat dipengaruhi oleh penempatan pompa terhadap sumber air. Misalnya untuk laju aliran yang sama tetapi penempatan pompa terhadap sumber berbeda maka tekanan discharge-nya akan berbeda juga. Saat pengoperasian, penempatan pompa relatif terhadap sumber air sangat berpengaruh terhadap karakteristik pompa dimana posisinya dapat ditempatkan diatas ataupun dibawah sumber.

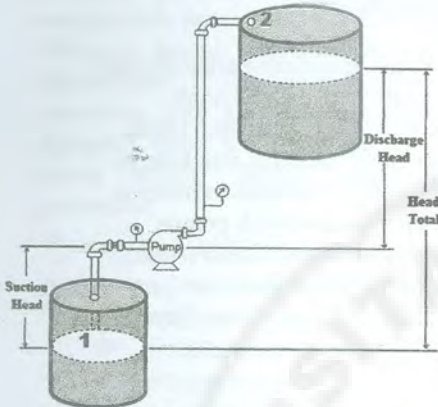
Teori Dasar Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal adalah suatu mesin yang memberikan energi kepada suatu fluida inkompressibel sehingga fluida tersebut bergerak naik ke ketinggian tertentu. Mesin menggunakan percepatan, bukan gaya sentrifugal untuk mengubah energi mekanik melalui putaran impeller menjadi energi hidrolik (*hydraulic energy*) dalam bentuk kecepatan atau energi kinetik fluida, selanjutnya menjadi energi tekanan. Dengan kata lain bahwa pompa tidak menciptakan tekanan, hanya memberi aliran. Tekanan hanyalah indikasi dari jumlah tahanan yang diberikan oleh sistem kepada aliran. Semua bentuk energi yang terlibat dalam aliran fluida dinyatakan dalam tinggi kolom cairan yang disebut dengan tinggi tekan (*head*). Berikut ini adalah gambar sketsa sebuah pompa sentrifugal dengan bagian-bagian utamanya.



Gambar 1. Sketsa dan aliran fluida pada Pompa Sentrifugal

Tekanan diperlukan untuk menghisap maupun memompa cairan melewati sistem pada debit aliran tertentu. Tekanan pada sisi 1 (*suction*) harus vakum atau sering disebut tekanan hisap, sedangkan pada sisi 2 (*discharge*) adalah tekanan positif seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Tekanan ini harus cukup tinggi untuk mengatasi tahanan sistem, yang juga disebut "*head*". *Head* total merupakan jumlah dari *head* statik (H_s), *head* gesekan (H_f) dan *head* tekanan penguapan (H_{pv}). *Head* statik merupakan perbedaan tinggi antara sumber dan tujuan dari cairan yang dipompakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Sistem Pompa

Head statis terdiri dari *head* hisapan statis (h_s) yang dihasilkan dari pengangkatan cairan relatif terhadap garis pusat pompa, h_s bernilai positif jika ketinggian cairan diatas garis pusat pompa, dan negatif jika ketinggian cairan berada dibawah garis pusat pompa (juga disebut "pengangkat hisapan"). *Head* pembuangan statis (h_d) yaitu jarak vertikal antara garis pusat pompa dan permukaan cairan dalam tangki tujuan.

Dengan asumsi aliran adalah stedi maka persamaan Bernoulli dapat diterapkan dari titik 1 ke titik 2 pada Gambar 2 diatas sebagai berikut.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f \quad (1)$$

$$H = \left(\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + Z \right)_2 - \left(\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} \right)_1 = h_s - h_f \quad (2)$$

Bila kerugian gesekan sepanjang sistem diabaikan maka

$$H = \left(\frac{P}{\rho g} \right)_2 - \left(\frac{P}{\rho g} \right)_1 = \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho} \right) = \frac{\Delta P}{\rho g} \quad (3)$$

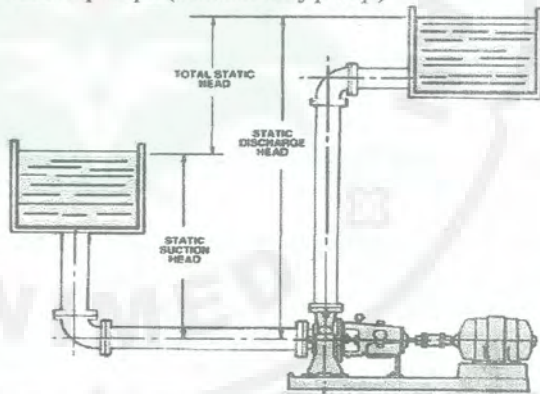
Keluaran pompa atau daya hidrolik (h_p) yang dikirimkan oleh pompa/impeller ke air dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Daya hidrolik } (h_p) = \frac{Q \times H \times \rho \times g}{1000} \quad (4)$$

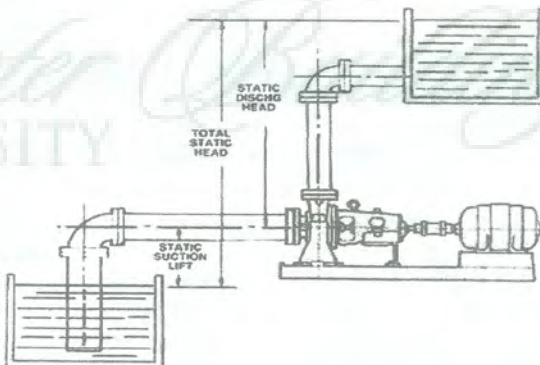
dimana p adalah tekanan, ρ adalah massa jenis fluida, V adalah kecepatan aliran fluida, g adalah percepatan gravitasi bumi, Q adalah debit aliran (m^3/det), H adalah tinggi tekan total ($h_s + h_d$) dalam satuan meter.

Letak Pompa

Dalam penggunaan pompa sering dihadapkan pada persoalan tempat untuk mendudukan pompa, hal ini tergantung kepada situasi yang terjadi di lapangan. Gambar berikut menunjukkan posisi mendudukan pompa relatif terhadap sumbu pompa (*centreline of pump*)



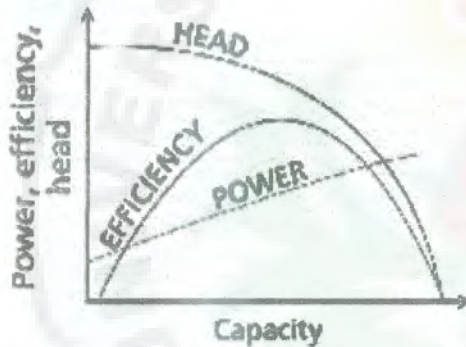
Gambar 3. Letak permukaan air di bawahsumbu pompa



Gambar 4. Letak permukaan air di atas sumbu pompa

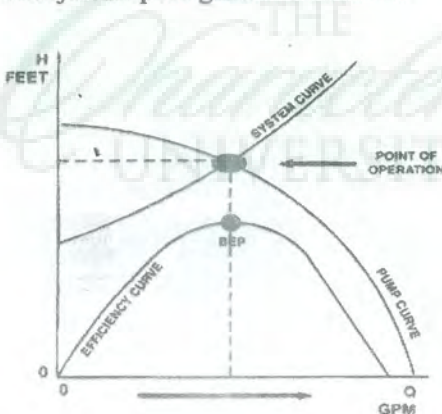
Kurva Karakteristik Pompa

Daya guna (*performance*) sebuah pompa sentrifugal dapat ditunjukkan secara grafik pada kurva karakteristik pompa (*pumps characteristic curve*). Tipikal kurva karakteristik menunjukkan total head, daya masukan (*brake horse power*), *efficiency*, dan *net positive suction head (NPSH)* yang di formulasi (*plotted*) dalam jangkauan kapasitas aliran pompa yang dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Kurva karakteristik pompa sentrifugal

Setiap pompa sentrifugal dirancang agar beroperasi se-optimal mungkin dan dalam kurva karakteristik bahwa titik operasi kerja pompa yang sering disebut dengan *operations point* dimana kurva head pompa dan kurva sistem bertemu pada satu titik operasi dan pada saat itu efisiensi pompa sudah maksimum seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 6. Titik operasi kerja sebuah pompa sentrifugal

Efisiensi Pompa

Efisiensi sebuah mesin didasarkan kepada besarnya energi yang dapat diubah menjadi bentuk energi yang lain. Untuk pompa sentrifugal, efisiensi atau kinerja dapat dilihat dari kurva karakteristiknya. Efisiensi menyeluruh sebuah pompa sentrifugal adalah perbandingan (*ratio*) energi hydraulic sebagai keluaran (*output*) dan energi masukan (*input*) dan dinyatakan dengan,

$$\eta_p = \frac{P_w}{P_s} \quad (5)$$

dimana η_p adalah efisiensi pompa, P_w adalah energi hydraulic atau daya yang diberikan ke air oleh sudu-sudu yang berputar (*impeller*), dan P_s adalah daya yang diberikan oleh elektromotor ke poros pompa (*input power*).

Energi hidraulik ditentukan dengan,

$$P_w = \frac{Q \times H \times GR}{6128} \quad (6)$$

jadi

$$\eta_p = \frac{Q \times H \times GR}{6128 \times P_s} \quad (7)$$

dimana

Q = debit aliran dalam L/men

H = tinggi tekan (*head*) dalam meter

GR = gravitasi jenis air

Input power (P_s) dapat diukur dengan menggunakan dinamometer, yaitu :

$$P_s = \tau \omega \quad (8)$$

Atau

$$P_s = \frac{M g R}{2\pi N} \quad (9)$$

dimana :

τ = Torsi elektromotor (Nm)

ω = Kecepatan sudut (rad/det)

M = Beban torsi (N)

R = Panjang lengan torsi (m)

N = Putaran pompa (rpm)

g = percepatan gravitasi bumi (m/det^2)

Persamaan (8) dan (9) digunakan untuk memperoleh *input power* bila pengujian dilakukan dengan menggunakan alat ukur dinamometer, sedangkan bila saat pengujian, data tegangan dan kuat arus diperoleh maka untuk menghitung input power adalah dengan menggunakan persamaan:

$$P_s = \eta_{motor} \sqrt{3}(PF)EI \quad (10)$$

dimana

- η_{motor} = efisiensi motor listrik
- PF = faktor daya
- E = tegangan listrik
- I = kuat arus listrik.

Untuk pompa dengan putaran konstan sementara untuk percobaan dibutuhkan variasi kecepatan maka dapat dilakukan koreksi terhadap putaran pompa dengan persamaan :

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right) \quad (11)$$

dimana

- N_1 = putaran spesifikasi pompa
- N_2 = putaran pompa yang diinginkan
- Q_1 = debit aliran spesifikasi
- Q_2 = debit aliran koreksi putaran

Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian-uraian diatas, maka tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

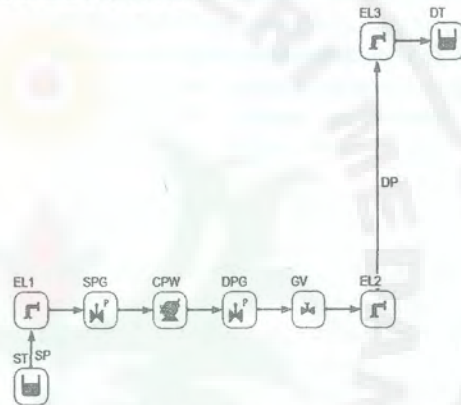
- a) Melakukan pengujian terhadap pompa untuk mendapatkan kurva karakteristik pompa yang dioperasikan pada dua posisi penempatan pompa relatif terhadap sumber, yaitu di atas garis sumbu pompa dan di bawah garis sumbu pompa
- b) Mengetahui pengaruh peletakan pompa pada dua posisi yang berbeda terhadap tinggi tekan (*head*) yang sangat berpengaruh terhadap kinerja pompa
- c) Membandingkan performansi pompa atas kedua posisi penempatannya
- d) Mendapatkan posisi penempatan pompa yang optimal saat dioperasikan

Metode Penelitian

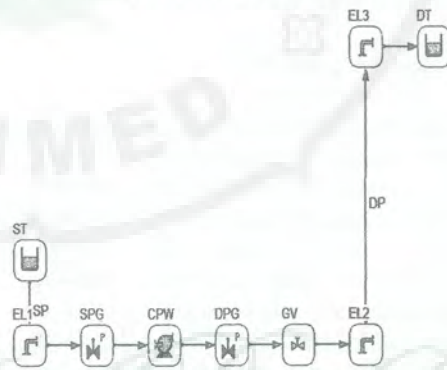
Alat Percobaan

Untuk melakukan percobaan dibutuhkan beberapa alat-alat sebagai berikut : Pompa sentrifugal putaran tetap, Manometer dan Flowmeter.

Skema Percobaan



Gambar 7. Letak permukaan air di bawah sumbu pompa (Kasus A)



Gambar 8. Letak permukaan air di atas sumbu pompa (Kasus B)

Keterangan gambar :

- ST = Source tank (tangki sumber)
- SP = Suction pipe (pipa isap)
- EL = Elbow
- SPG = Suction pressure gauge
- CWP= Clean water pump
- DPG = Discharge pressure gauge
- GV = Gate valve
- DP = Discharge pipe
- DT = Delivery tank

Prosedur Percobaan

Percobaan dilaksanakan dengan melakukan simulasi pada *Piping System Fluid Flow Software*. Dengan menggunakan software ini sistem pemompaan yang ditinjau (Kasus A dan B) dapat dibangun. Pompa dan sistem pemipaan dibangun sesuai dengan metode percobaan. Kapasitas aliran air (*volume flowrate*) diatur secara manual dengan menggunakan katup kontrol (*Flow control*), dan di-set untuk debit aliran sama dengan nol atau disebut *shut off* dimana pada keadaan ini pompa berputar normal tetapi tidak ada aliran, keadaan ini menunjukkan head pompa yang maksimum. Untuk keadaan laju aliran berikutnya diatur dengan membuka katup pengatur aliran sesuai dengan laju aliran yang dibutuhkan. Percobaan diulangi untuk debit aliran yang semakin tinggi dan data tekanan isap dan buang dicatat, begitu seterusnya hingga debit aliran percobaan yang terakhir. Hal yang sangat penting adalah bahwa pengambilan data dilakukan saat aliran sudah stedi.

Variabel Yang Diukur

Variabel yang diukur dalam percobaan ini adalah tekanan isap dan tekanan buang dari pompa. Sedangkan variabel ubahannya adalah kapasitas aliran air yang melalui sistem yang diatur dengan menggunakan katup kontrol manual. Pengukuran dilakukan dengan menempatkan manometer pada sisi masuk dan sisi keluar dari pompa. Software akan melakukan iterasi sampai ratusan kali untuk mendapatkan nilai yang sesuai. Nilai akhir simulasi inilah yang dijadikan sebagai data penelitian untuk diolah kemudian.

Hasil Penelitian

Hasil pengukuran terhadap tekanan isap dan tekanan buang selama percobaan/simulasi yang dilakukan

terhadap kedua kasus ditampilkan dalam tabel berikut ini.

Tabel 1. Data percobaan Pompa (Kasus A)

Valve open (%)	Debit (L/men)	Tek isap (m H ₂ O)	Tek buang (m H ₂ O)	Daya pompa (kW)
0		-45,575	668,375	4,128
5	128,244	-47,274	673,141	4,477
15	185,569	-50,223	659,138	4,874
25	275,172	-56,909	621,514	5,651
35	399,030	-70,275	537,482	6,726
45	523,397	-88,471	420,182	7,267
55	607,474	-103,464	324,112	7,399
75	713,338	-125,957	140,137	8,873
100	732,671	-129,795	152,288	9,758

Tabel 2. Data percobaan Pompa (Kasus B)

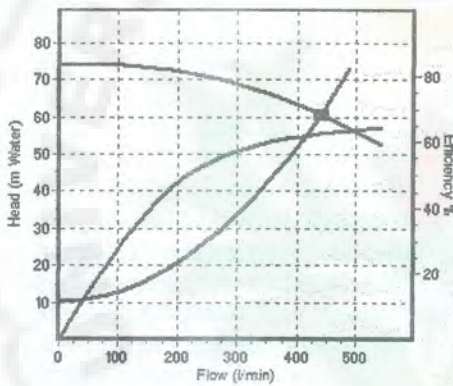
Valve open (%)	Debit (L/men)	Tek isap (m H ₂ O)	Tek buang (m H ₂ O)	Daya pompa (kW)
0		10,325	730,254	4,218
5	133,917	10,060	729,675	4,512
15	193,630	6,858	714,140	4,938
25	286,672	-0,370	672,823	5,758
35	381,107	-119,271	600,633	6,592
45	381,107	-364,919	254,906	6,592
55	381,107	-452,248	167,577	6,592
75	381,107	-522,728	97,097	6,592
100	381,107	-531,448	88,377	6,592

* *Shut off position* adalah keadaan tidak ada aliran saat pompa sedang beroperasi yang menyatakan *maximum pump head*

Pembahasan

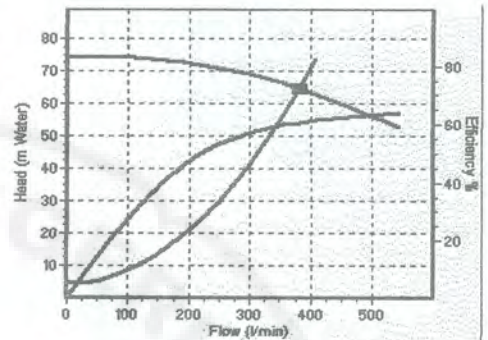
Dari hasil perhitungan dan pengolahan data maka hasil penelitian dapat dilihat seperti yang ditunjukkan pada grafik-grafik pada Gambar 9 dan 10 berikut ini. Dari data dan hasil penghitungan yang ditunjukkan melalui kurva karakteristik (*characteristic curve*) ternyata tidak ada perbedaan tinggi tekan (*head*) yang signifikan bila pompa ditempatkan di atas maupun di bawah sumber air yang akan dipompakan. Hal ini dapat dijelaskan dari perbedaan tekanan yang terjadi antara tekanan pada sisi masuk dan tekanan pada sisi keluar pompa.

dengan baik pada jangkauan bukaan katup 31 sampai 48 persen seperti yang ditunjukkan oleh titik operasionalnya, pada saat itu efisiensi pompa berada pada jangkauan 59,7 sampai 64 persen, konsumsi daya 6,3 sampai 7,3 kilo watt, serta jangkauan kapasitas 346 sampai 533 liter per menit. Diluar dari yang telah disebutkan di atas maka operasional pompa belum atau menjadi tidak efektif atau pompa beroperasi diluar kurva karakteristik.



Gambar 11. Duty point untuk kasus A

Berbeda dengan pompa pada kasus B, dimana bukaan katup manual hanya efektif sampai 33 %, hal ini dapat dilihat pada gambar 12 yaitu grafik yang menunjukkan titik operasional pompa. Pompa pada kasus B beroperasi dengan baik pada jangkauan bukaan katup 28 sampai 33 persen seperti yang ditunjukkan oleh titik operasionalnya, pada saat itu efisiensi pompa berada pada jangkauan 58,6 sampai 60,9 persen, konsumsi daya 6,1 sampai 6,6 kilo watt, serta jangkauan kapasitas 332 sampai 381 liter per menit. Diluar dari yang telah disebutkan di atas maka operasional pompa belum atau menjadi tidak efektif atau pompa beroperasi diluar kurva karakteristik. Salah satu yang paling menarik dari penelitian ini adalah bahwa sistem pemipaan seperti pada kasus B menyebabkan pompa hanya efektif pada bukaan katup manual sampai 33 % dan walaupun bukaan katup ditambah lagi namun kapasitas aliran tidak bertambah lagi.



Gambar 12. Duty point untuk kasus B

Kesimpulan

- Tekanan discharge tergantung pada letak pompa
- Besarnya tinggi tekan (*head*) tidak dipengaruhi oleh letak pompa
- Untuk pompa yang diletakkan di bawah permukaan sumber akan lebih cepat untuk mencapai titik operasionalnya
- Secara keseluruhan bahwa sistem pemipaan dan penempatan pompa seperti pada kasus B adalah lebih hemat energi dibandingkan dengan sistem pemipaan dan penempatan pompa pada kasus A

Daftar Acuan

- Jacques Chaurette p. Eng, 2003, *Pump System Analysis and Sizing*, Fluid Design Inc, Ohio
- Jacques Chaurette p. Eng, 2003, *Pump Performance Measurements*, Fluid Design Inc, Ohio
- Larry bachus and Angel Custodia, 2003, *Know and Understand Centrifugal Pumps*, Oxford, UK.
- Lev Nelik, 1999, *Centrifugal and Rotary Pumps Fundamentals With Applications*, Washington, D.C.

Olson R.m., and Wright S. J., 1993,
*Dasar-Dasar Mekanika Fluida
Teknik*, Terjemahan Alex Tri
Kantjono Widodo, Gramedia Pustaka
Utama, Jakarta, hal. 326-374

Robert W. Fox, and Alan T. McDonald,
1994, *Introduction to Fluid
Mechanics*, 4th ed., Wiley, New York.

Streeter, V.L., Benjamin Wylie, E. and
Bedford, K. W., 1998, *Fluid
Mechanics*, 9th Piping System Fluid
Flow Edition, McGraw-Hill.

White, F.M., *Fluid Mechanics*, 5th Edition,
McGraw-Hi

THE
Character Building
UNIVERSITY