

PERANCANGAN POMPA SENTRIFUGAL (*SUBMERSIBLE*) UNTUK PENGOLAHAN AIR LIMBAH DENGAN KAPASITAS 350 LITER/MENIT DAN HEAD 10 M

Sunarno

¹ Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Tama Jagakarsa, Jl. TB Simatupang No. 152 Tanjung Barat – Jakarta Selatan, 12530
Sun2rn0@gmail.com
<https://orcid.org/000-0002-54844052>

Afendi

² Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Tama Jagakarsa, Jl. TB Simatupang No. 152 Tanjung Barat – Jakarta Selatan, 12530

ABSTRAK

Drainase air buangan pada sebuah gedung sangat lah penting apabila terjadinya banjir. Maka perlunya pompa *submersible* yang banyak digunakan untuk air buangan atau air limbah di pabrik, di perumahan, maupun di hotel. Salah satunya pada proyek pembangunan Foresta Business Loft 7. *Drainase* air buangan ke saluran kota membutuhkan spesifikasi pompa yang sesuai. Pemilihan pompa yang sesuai dilakukan dengan perhitungan yang akurat sesuai dengan data yang ada serta *survey* lapangan. Analisa yang dilakukan meliputi total *head* pompa, daya pompa, putaran poros dan diameter poros. Spesifikasi pompa *submersible* ini akan didapat sesuai dengan kebutuhan apabila perancangannya dilakukan dengan cermat dan tepat.

Hasil dari perancangan pompa ini dengan kapasitas $Q = 350$ liter/menit dan *Head* total = 36 m, jenis pompa sentrifugal serta menggunakan putaran motor 1500 rpm, dengan jenis aliran air dalam pipa bersifat turbulen, jenis pompa yang digunakan menggunakan pompa tingkat 2 karena pompa yang digunakan untuk pengoperasian dengan jangka waktu yang panjang, dengan daya poros sebesar 0,7457 kW, diameter poros 35 mm, poros penggerak vertikal. Maka direkomendasikan spesifikasi pompa agar memenuhi kebutuhan dengan kapasitas 350 liter/menit, *head* 40 m, *power* 2,2 kW-3x380V-50Hz, Brand Tsurumi, *type* TOS 80 NHU 22.2.

Kata kunci : air buangan, pompa *submersible*, spesifikasi pompa dan *head*.

ABSTRACT

Wastewater drainage in a building is crucial, especially during flooding events. Therefore, the use of submersible pumps is widely employed for wastewater or sewage in factories, residential areas, and hotels. One such application is the construction project of Foresta Business Loft 7. Discharging wastewater into the city's drainage system requires a pump with specific specifications. The selection of an appropriate pump is based on accurate calculations using available data and field surveys. The analysis includes the total head of the pump, pump power, shaft rotation, and shaft diameter. The specifications for this submersible pump can be determined based on careful and precise design.

The design result for this pump is as follows: with a capacity of $Q = 350$ liters/minute and a total head of 36 m, a centrifugal pump type is used, with a motor rotation of 1500 rpm. The water flow in the pipe is turbulent, and a level 2 pump is chosen for long-term operation. The pump's shaft power is 0.7457 kW, the shaft diameter is 35 mm, and the drive shaft is vertical. Therefore, it is recommended to use a pump that meets the requirements with a capacity of 350 liters/minute, a head of 40 m, power of 2.2 kW-3x380V-50Hz, Brand Tsurumi, type TOS 80 NHU 22.2.

Keywords: wastewater, submersible pump, pump specifications, and head..

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Penggunaan pompa yang demikian luas dengan berbagai macam jenis dan bentuknya, memerlukan pengetahuan yang cukup untuk merancang, membuat, maupun memilih tipe pompa yang tepat sesuai dengan kondisi dan lingkungan

operasi yang dilayaninya. Mulai dari tujuan penggunaannya, jenis dan sifat fluida yang dipompa, keadaan lingkungan, *head* dan kapasitasnya, pemilihan penggerakannya, bahkan sampai instalasi dan perawatannya.

Penggunaan pompa pada *drainase* air buangan pada sebuah gedung sangat lah penting

apabila terjadinya banjir. Maka perlunya pompa *submersible* yang banyak digunakan untuk air buangan atau air limbah di pabrik, di perumahan, di hotel. Salah satunya pada proyek pembangunan Foresta Business Loft 7. Salah satu properti dari Sinar Mas Land yang mengedepankan kenyamanan dan keramahan lingkungan adalah **Foresta Business Loft 7**, sebuah kawasan perkantoran berwawasan lingkungan di Jl. Boulevard Utara, BSD City, Tangerang. Konsep bangunan Foresta Business Loft 7 merupakan bangunan 4-5 lantai dimana satu lantai terletak pada lower ground. Maka dirancahkanlah pompa *submersible* yang mempunyai head 10 m berkapasitas 350 liter/menit.

Pompa sumpit atau pompa limbah termasuk ke dalam sistem instalasi pembuangan air kotor, Pompa *submersible* air kotor selalu diletakkan di sebuah bak yang disebut *sump tank*, di sinilah pos pertama pembuangan air kotor sebuah gedung ditampung yang selanjutnya dari sump tank ini akan didorong lagi menggunakan **pompa sumpit** menuju pos selanjutnya misalnya *septic tank* atau *biotech*, kemudian dipompa menuju saluran kota. Pada prinsipnya sumpit terletak di lantai terendah sebuah gedung seperti lantai basement, dimana dipastikan tidak ada instalasi air kotor lagi di lantai bawah dari *sump tank* ini berada.

Perancangan pompa ini menyangkut sistem perpipaan yang dilayani oleh pompa. Dari sistem ini dirancang spesifikasi pompa yaitu *head*, kapasitas, putaran pompa, tipe dan lain sebagainya. Perancangan pompa ini dilanjutkan dengan penetapan ukuran-ukuran dimensi dari bagian utama pompa seperti *impeller*, rumah pompa, dan poros pompa sehingga mampu bekerja dengan baik. Rancangan ini juga menghitung berapa daya motor penggerak yang harus disediakan untuk mengoperasikan pompa tersebut.

Mengingat akan pentingnya penggunaan pompa *submersible* itulah penulis mendasari untuk mencoba merancang sebuah pompa air buangan dalam tipe *submersible*. Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan diatas maka penulis mengambil judul **“PERANCANGAN POMPA SENTRIFUGAL (SUBMERSIBLE) UNTUK PENGOLAHAN AIR LIMBAH DENGAN KAPASITAS 350 LITER/MENIT DAN HEAD 10 M”**.

B. Rumusan masalah

Dalam penelitian ini yang menjadi masalah berdasarkan latar belakang adalah sebagai berikut:

1. Jenis pompa apa yang digunakan dalam *drainase* air buangan di proyek pembangunan Foresta Business Loft 7?
2. Berapa *head* total dan kecepatan yang dibutuhkan dalam perencanaan pompa

tersebut ?

3. Spesifikasi apa yang akan dipilih sesuai perhitungan ?

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pandangan umum pompa

Pompa adalah suatu jenis mesin yang digunakan untuk memindahkan fluida dari suatu tempat yang rendah ketempat yang lebih tinggi atau dari tempat yang bertekanan yang rendah ketempat tekanan yang lebih tinggi. Untuk memindahkan ini diperlukan gaya tekan sehingga dapat mengatasi hambatan akibat perbedaan tinggi permukaan, maka terjadilah perubahan energi dari energi kinetik menjadi hidrolis.

B. Penggunaan pompa

Dalam perkembangannya, selain banyak digunakan dalam kebutuhan rumah tangga, pompa juga banyak digunakan dalam berbagai macam keperluan industri. Dalam bidang industri alat berat, pompa digunakan untuk menangani sistem hidrolik yang berfungsi antara lain untuk pengereman.

Sementara itu, dalam bidang industri kimia, pompa banyak digunakan untuk memompa zat-zat kimia ke dalam berbagai bejana tekan untuk proses distilasi bertingkat. Pemilihan pompa disesuaikan dengan karakteristik zat kimia yang dipompa.

Dalam bidang pertanian pompa banyak digunakan pada penampungan dan pendistribusian air, sehingga kebutuhan air pada musim kemarau akan tetap dapat tercukupi. Di samping itu, pompa juga digunakan untuk memompa air tanah dari kedalaman yang relatif besar untuk perairan.

Pada industri perminyakan, pompa banyak digunakan untuk memompa minyak bumi yang mentah dari dalam perut bumi dan mendistribusikannya untuk proses selanjutnya. Secara garis besar pompa mempunyai berbagai fungsi sebagai berikut :

1. Menaikkan fluida dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi.
2. Mendistribusikan fluida dari tempat satu ke tempat lain dengan jarak tertentu.
3. Mendistribusikan fluida dari tempat yang bertekanan rendah ke tempat yang bertekanan lebih tinggi.
4. Mensirkulasikan fluida untuk berbagai proses siklus.

C. Jenis-jenis pompa

Berdasarkan cara kerja pompa dan cara pemberian energi pada aliran fluida, pompa dibagi menjadi dua bagian yaitu :

1. Pompa kerja positif (*positive displacement pump*)

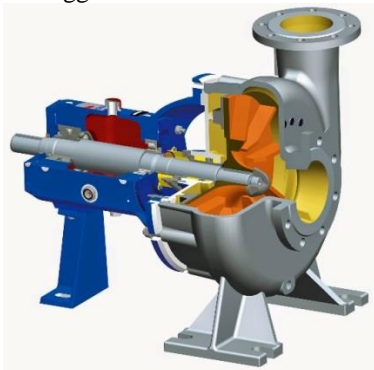
Pengoperasian pompa dengan energi potensial tidak memakai awal (*priming*) karena *pressure head* atau *static head* yang dihasilkan itu merupakan perubahan dari satu titik ke titik yang lain yang disebabkan langkah atau pekerjaan isap dan tekan. Pompa ini debitnya relatif kecil. Pada kecepatan konstan dapat menghasilkan kapasitas yang tetap.

2. Pompa dengan energi kinetik (*Dynamic Pump*)

Velocity head atau *dynamic head* yang diberikan merupakan perubahan dari kecepatan aliran fluida yang dihasilkan pompa jenis ini karena adanya gaya sentrifugal yang ditimbulkan akibat sudu-sudu yang berputar. Jadi kenaikan kapasitas dan *head* pompa dipengaruhi oleh bentuk sudu *impeller*. Adapun yang termasuk pompa jenis ini sebagai berikut.

a. Pompa sentrifugal

Pada pompa jenis ini, motor penggerak akan memutar *impeller* yang terpasang pada poros pompa, sehingga zat cair yang berada di dalamnya akan berputar karena dorongan sudu-sudu dan menimbulkan gaya sentrifugal yang menyebabkan cairan mengalir dari tengah *impeller* keluar melalui saluran di antara sudu-sudu dan meninggalkan impeller dengan kecepatan tinggi.

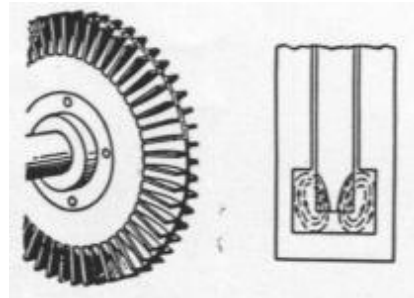


Gambar 1: Pompa sentrifugal.

Cairan dengan kecepatan tinggi ini dialirkan melalui saluran yang penampangnya semakin membesar (*diffuser*), sehingga terjadi perubahan *head* kecepatan menjadi head tekanan. Setelah cairan dilemparkan oleh *impeller*, ruang di antara sudu-sudu menjadi vakum, menyebabkan cairan akan terhisap masuk, sehingga terjadi proses pengisapan.

b. Pompa turbin regeneratif

Cairan pada jenis pompa ini di pusar oleh sudu impeler dengan kecepatan yang tinggi selama hampir satu putaran di dalam saluran yang berbentuk cincin (*annular*), tempat *impeller* tadi berputar. Pompa jenis ini pada umumnya hanya satu tingkat dan banyak digunakan untuk mengalirkan asam, garam, propana, butana, etana, *freon* dan lain-lain.



Gambar 2: Pompa turbin regeneratif

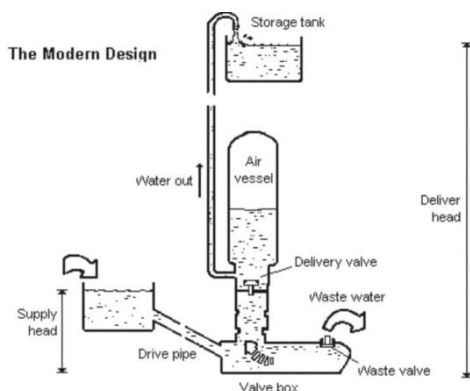
c. Pompa khusus

Pompa ini meliputi pompa jet dan pompa *hydraulic ram*. Pompa jet adalah pompa air yang biasanya digunakan untuk sumur yang sangat dalam dengan daya sedot puluhan meter. Pompa jet pump merupakan jenis pompa air sumur dalam dengan daya sedot yang dibantu dengan dorongan angin melalui pipa airnya.

Pompa *hydraulic ram* adalah pompa air siklik dengan menggunakan tenaga hidro (*hydropower*). Prinsip kerja dari *hydraulic ram* adalah dengan menggunakan energi kinetik dari cairan dan energi tersebut diubah menjadi energi tekan dengan memberikan tekanan dengan tiba-tiba.



Gambar 3: Pompa jet



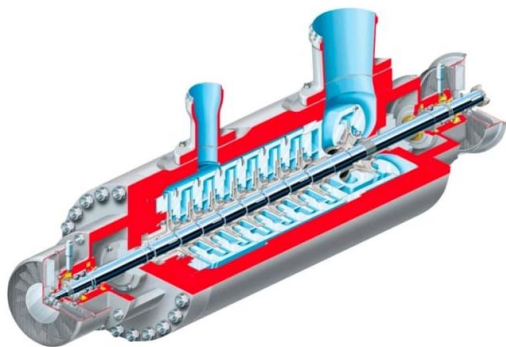
Gambar 4: Pompa *hydraulic ram*

C. Pompa submersible

Salah satu jenis pompa adalah pompa *submersible*. Pompa *submersible* adalah pompa benam, yang berarti seluruh bagian pompa terbenam di dalam fluida, mulai dari motor penggerak, *impeller*, sampai bagian isap. Pompa *submersible* tidak mempunyai *head suction*, tetapi hanya mempunyai *head tekan*. Kemampuan motor listriknya juga sangat tergantung pada segel, sedangkan kekuatan segel juga sangat tergantung pada besarnya pada tekanan input maupun output dari sistem pompa. Segel juga sangat penting untuk menahan supaya air tidak masuk ke dalam motor listrik, sehingga tidak akan terjadi korsleting (hubungan pendek).

Pompa *submersible* termasuk pompa sentrifugal jenis pompa sumur dalam dengan letak permukaan air di luar kekuatan hisap pompa biasa. Pompa dengan sumbu vertikal dan motor penggeraknya merupakan satu unit yang dipasang terbenam di bawah permukaan air dan posisi pompa digantung pada pipa penyalur.

Motor berada di bawah pompa, karena air mengalir dari bawah maka diameter motor lebih kecil daripada pompa biasa. Dengan demikian pompa terlihat panjang berbentuk batang. Pompa jenis ini sangat cocok untuk sumur-sumur dalam karena pompa tidak perlu menghisap air ke atas dimana pompa dan motor dibenamkan bersama-sama di kedalaman.



Gambar 5: Pompa *submersible*

1. Cara kerja pompa *submersible*

Pompa *submersible* tipe sentrifugal tersusun atas sederetan *impeller* yang berputar dengan kecepatan tinggi, di dalam casing atau rumah pompa. Prinsip kerjanya adalah sebagai berikut.

Mula-mula fluida memasuki *impeller* karena dorongan tekanan atmosfer atau yang lain. Melalui putarannya, *impeller* menanamkan gaya sentrifugal dan energi kinetik dalam bentuk kenaikan kecepatan. Di dalam casing, sebagian energi kinetiknya dikonversikan ke *head tekan* atau energi aliran fluida yang lain, melalui sudu-sudu pengarah atau *diffuser* di dalam saluran pembalik. Sudu-sudu ini sekaligus mengarahkan aliran ke pipa *discharge*.

Sementara fluida mengalir dalam *impeller*, terbentuklah daerah yang tekanannya paling rendah di bagian *inlet impeller*. Tekanan pada pipa isap pompa ditambah tekanan yang dibentuk *impeller* menghasilkan aliran fluida. Untuk memperoleh tekanan yang lebih besar, sejumlah *impeller* disusun seri ke dalam satu poros di dalam sejumlah *casing* yang juga disusun seri. Masing-masing *casing* tersusun atas komponen pompa satu tingkat, yaitu *impeller diffuser*, dan saluran pembalik.

Dalam hal ini saluran pembalik berfungsi untuk mengarahkan fluida ke *impeller* tingkat berikutnya. Masing-masing tingkatan antara ujung *inlet* dan ujung *outlet* dikunci dan disatukan bersama-sama oleh baut panjang berbentuk silinder, atau dalam kasus *pump bowl* oleh baut pendek per tingkat.

2. Bagian-bagian utama pompa *submersible*

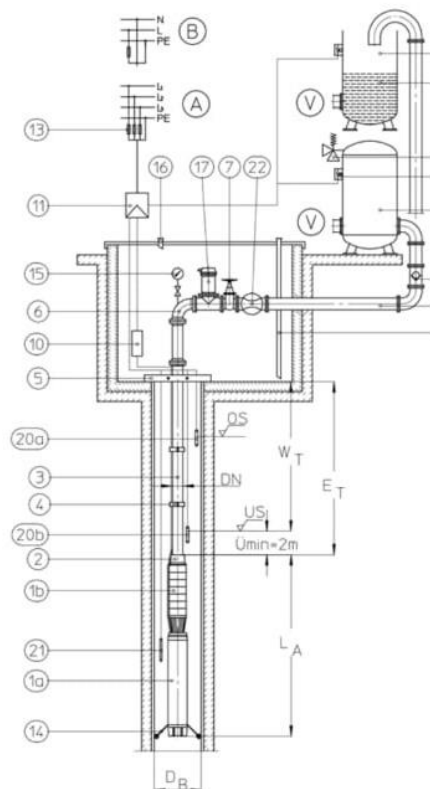
Ada beberapa bagian penting pada pompa *submersible* :

- a. Motor Listrik: Pompa *submersible* merupakan jenis pompa sentrifugal yang menggunakan motor listrik sebagai penggerak utama untuk menghasilkan daya yang berfungsi sebagai pemutar poros pompa sehingga dapat menaikkan fluida dengan cara mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.
- b. Poros Pompa: Poros merupakan komponen utama yang meneruskan daya dari motor listrik ke *impeller* pompa serta mengubahnya menjadi energi mekanis untuk menaikkan fluida dari dalam tanah.
- c. *Impeller*: *Impeller* merupakan komponen yang berputar bersama-sama dengan poros yang dikunci dengan pasak dan berfungsi memberikan gaya sentrifugal sehingga fluida naik melalui pipa kolom sampai ke bak penampungan.
- d. *Diffuser*: *Diffuser* merupakan komponen yang bersifat *static* dan menyatu dengan rumah pompa.

Didalamnya terdapat sudu- sudu pengarah aliran fluida yang berfungsi mengubah energi kecepatan menjadi energi tekanan sehingga diharapkan fluida dapat mengalir ke tingkat yang lebih tinggi.

3. Instalasi pompa *submersible*

Umumnya instalasi pompa yang lengkap memerlukan bagian-bagian sebagaimana pada gambar berikut.



Gambar 6: Bagian-bagian pompa *submersible*

Keterangan :

- 1) Pompa *submersible*
- 2) Katup
- 3) Pipa kolom
- 4) Penjepit kabel
- 5) Penahan pipa (di muka sumur)
- 6) Libon yang dilengkapi pengukur tekanan
- 7) Katup (*sluice valve*)
- 8) Kabel *submersible*
- 9) Kotak sambungan kabel
- 10) Starter *direct-on-line / autotransformer / star-delta*, yang dilengkapi dengan proteksi terhadap motor dan ammeter
- 11) *Relay* untuk mengontrol permukaan air atau alat indikator lain
- 12) Komponen yang ditunjukkan oleh singkatan, berikut penjelasannya:
 - A = ammeter
 - D = diameter luar unit
 - IW = diameter dalam pipa kolom.
 - LA = panjang total unit
 - B = diameter sumur
 - DS = saklar tekanan

- DB = tangki tekan
- DL = saluran *discharge*
- ET = kedalaman instalasi
- NS = starter
- R = kotak *relay*
- SI = sekring
- SL = sirkuit kontrol
- SK = kabel sinyal
- ZW = alat pemusat pompa

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan pompa *submersible* antara lain :

- 1) Kondisi kerja pompa: Pompa memerlukan kerja yang kontinu, terputus, atau dengan debit konstan dan tidak konstan. Hal ini akan berpengaruh pada pemilihan motor listriknya
- 2) Tempat Instalasi pompa: Pompa dibanamkan di dalam air, sehingga tidak mempunyai *head* isap
- 3) Kapasitas: Kapasitas suatu pompa menyatakan kemampuan sebuah pompa untuk memindahkan sejumlah fluida tiap satu satuan waktu.
- 4) Kondisi hisap, yang meliputi:
 - Tinggi hisap dari permukaan cairan ke level pompa,
 - Tinggi fluktuasi permukaan fluida Isap
 - Kondisi perpipaan.
- 5) Kondisi keluar, yang meliputi:
 - Tinggi permukaan cairan keluar level pompa
 - Tinggi fluktuasi permukaan fluida keluar
 - Besarnya permukaan cairan keluar
- 6) *Head* total pompa: *Head* total pompa menyatakan energi mekanik yang digunakan dan diteruskan ke fluida, yang berhubungan dengan berat fluida, dan dinyatakan dalam satuan jarak
- 7) Jenis poros pompa: Jenis poros pompa perlu diperhatikan, yakni berporos mendatar atau tegak
- 8) Penggerak: Perlu perhatikan juga jenis penggerak pompa, ketersediaan listrik dan bahan bakar
- 9) Kondisi fluida kerja: Dalam perancangan pompa ini digunakan fluida kerja berupa air. Ukuran-ukuran dalam menentukan fluida kerja antara lain :
 - a) Viskositäs: Besarnya viskositas yang tinggi menyebabkan naiknya *losses* pada aliran pompa dan menurunkan *head* efektif pompa yang pada akhirnya akan menaikkan daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan pompa. Suatu pompa akan memiliki karakteristik *head* kapasitas yang berbeda ketika

- dipakai untuk memompa fluida kerja yang memiliki viskositas berbeda.
- Kesadahan: Kesadahan fluida kerja akan berpengaruh pada proses pembentukan kerak pada dinding-dinding saluran pipa yang menyebabkan naiknya *friction losses* yang pada gilirannya akan menurunkan efisiensi pompa.
 - Densitas: Densitas fluida yang dipompa akan mempengaruhi besarnya daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan pompa.
 - Karakteristik kelarutan gas dalam cairan: Masing-masing cairan mempunyai kemampuan untuk melarutkan gas dalam jumlah yang berbeda. Besarnya jumlah gas yang terlarut dalam suatu cairan mengikuti hukum Henry, yaitu volume gas yang terlarut dalam fluida akan mengecil dengan naiknya temperatur. Kuantitas gas yang dipompa juga mempengaruhi performa pompa. Karena tekanan turun, gas ini akan dilepas dari cairan, kemudian membentuk gelembung. Hal ini sangat penting jika terjadi pada pipa hisap, karena akan menurunkan efisiensi pompa, bahkan akan menghentikan pompa.

D. Tinjauan Mekanika Fluida

1. Sifat Dasar Fluida

Sifat dasar fluida bisa dilihat dari kerapatan, berat jenis, tekanan dan kekentalan. Membutuhkan cairan yang dapat mengalirkannya, untuk mengetahuinya secara dasar cairan dan gas bisa disebut dengan fluida.

2. Kerapatan (*Density*)

Kerapatan dapat dinyatakan dengan (adalah huruf Yunani yang dibaca "rho"), didefinisikan sebagai massa per satuan volume.

$$\rho = m/v$$

Dimana:

ρ = kerapatan (kg/m^3)

m = massa (kg)

V = volume (m^3)

Untuk mengetahui kerapatan bisa dilihat dari benda yang tersusun dari benda murni, yang mempunyai sifat dan karakteristik di setiap bahan murni tersebut. Contoh sederhana besi murni sama-sama memiliki massa namun dapat divariasikan dalam berbagai ukuran, tetapi akan sama kerapatannya. Satuan SI untuk kerapatan adalah kg/m^3 . Kadang kerapatan diberikan dalam g/cm^3 . Dengan catatan bahwa jika $kg/m^3 = 1000 g/(100cm)^3$, kemudian kerapatan yang diberikan dalam g/cm^3 harus dikalikan dengan 1000 untuk memberikan hasil dalam kg/m^3 . Dengan demikian

kerapatan air adalah $1,00 g/cm^3$, akan sama dengan $1000 kg/m^3$.

3. Berat Jenis Spesifik (*Specific Gravity*)

Untuk mengetahui berat jenis spesifik bisa dilihat dari perbandingan antara kerapatan bahan terhadap kerapatan air. Berat jenis spesifik merupakan tak berdimensi dan tak bersatuan murninya. Berat jenis (*specific gravity* disingkat SG) juga disebut dengan besaran murni tanpa dimensi maupun satuan, dinyatakan pada persamaan sebagai berikut :

Untuk fluida cair :

$$SGc = \rho_c / \rho_w$$

Untuk fluida gas:

$$SGg = \rho_g / \rho_a$$

Dimana :

Pc = Massa jenis cairan (g/cm^3)

Pw = Massa jenis air (g/cm^3)

Pg = Massa jenis gas (g/cm^3)

Pa = Massa jenis udara (g/cm^3)

4. Tekanan (*pressure*)

Tekanan didefinisikan sebagai gaya per satuan luas, dengan gaya F dianggap bekerja secara tegak lurus terhadap luas permukaan A, maka :

$$P = F/A$$

Dimana :

p = tekanan (N/m^2)

F = gaya (N)

A = luas permukaan (m^2)

Satuan SI untuk tekanan adalah N/m^2 . Satuan ini mempunyai nama resmi pascal (Pa). Karena satuan Pa sangat kecil, satuan tekanan sering dinyatakan dalam MPa atau Bar. Dimana 1 MPa = 10⁶ Pa, dan 1 Bar = 10⁵ Pa.

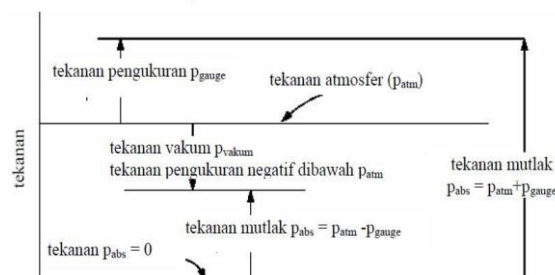
Pengertian termodinamika dapat diketahui dalam harga absolutnya. Ketergantungan tekanan absolute terjadi akibat pengukuran sistem, bisa dijelaskan sebagai berikut :

- Bila tekanan pengukuran sistem diatas tekanan atmosfer, maka : tekanan absolut = tekanan pengukuran + tekanan atmosfer

$$P_{abs} = P_{gauge} + P_{atm}$$

- Bila tekanan pengukuran dibawah tekanan atmosfer, maka : tekanan absolut = tekanan atmosfer – tekanan pengukuran.

$$P_{abs} = P_{atm} - P_{gauge}$$

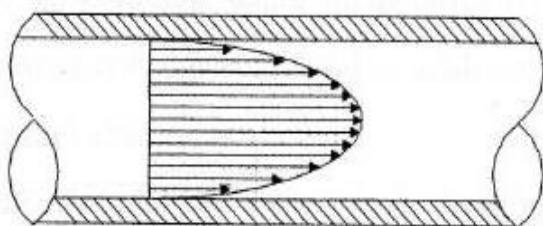


Gambar 7: Pengukuran tekanan

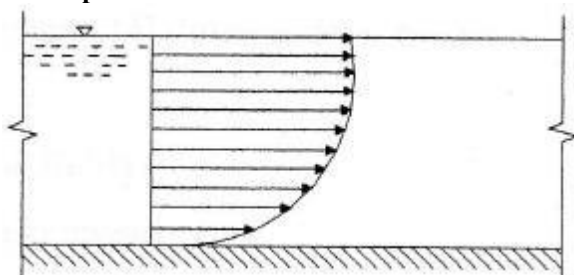
5. Kecepatan dan Kapasitas Aliran Fluida

Penentuan kecepatan pada suatu penampang dapat diukur dari perpindahan partikel, dengan jarak yang akan ditentukan dan akan dihitung oleh waktu pada jarak tertentu. Hal ini adalah fase yang sangat penting untuk diketahui.

Cara mengukur besar kecepatan aliran fluida diukur dari nol pada dinding pipa sampai jarak maksimum pada dinding pipa tengah. Hal ini sudah bisa untuk mengetahui kekeliruan aliran fluida yang tidak serius, maka kecepatan sebenarnya terdapat pada penampang aliran. Bentuk kecepatan aliran fluida akan menunjukkan aliran yang sesungguhnya walaupun jika terjadi tidak akan ada keterangan yang disebut.



Gambar 8: Profil kecepatan pada saluran tertutup



Gambar 9: Profil kecepatan pada saluran terbuka.

Besar suatu kecepatan dapat mempengaruhi besar fluida yang akan mengalir ke dalam suatu pipa. Jumlah dari aliran fluida tersebut mungkin akan dinyatakan sebagai sebuah volume, berat atau massa fluida dengan masing-masing laju aliran ditunjukkan sebagai laju aliran volume (m^3/s), laju aliran berat (N/s) dan laju aliran massa (kg/s).

Kapasitas aliran (Q) untuk fluida yang incompressible, yaitu :

$$Q = A \cdot v$$

Dimana :

$$Q = \text{laju aliran fluida (m}^3/\text{s)}$$

$$A = \text{luas penampang aliran (m}^2\text{)}$$

$$v = \text{kecepatan rata-rata aliran fluida (m/s)}$$

Laju aliran berat fluida (γ) dirumuskan sebagai :

$$W = A \cdot v \cdot \gamma$$

Dimana :

$$W = \text{laju aliran massa fluida (kg/s)}$$

$$A = \text{luas penampang aliran (m}^2\text{)}$$

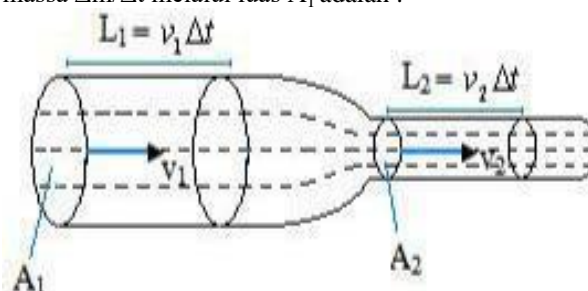
$$v = \text{kecepatan rata-rata aliran fluida (m/s)}$$

$$\rho = \text{massa jenis fluida (kg/m}^3\text{)}$$

6. Gerak Fluida dan Laju Aliran

Memiliki fungsi sangat penting kedua jenis aliran tersebut, pada fluida bisa disebut lurus atau laminar dan aliran turbulen. Aliran laminar dapat didefinisikan dengan aliran fluida yang bergerak pada lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan yang meluncur secara lancar, sedangkan aliran turbulen dapat didefinisikan sebagai aliran yang digunakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak memacu. Hal semacam ini disebabkan pencampuran partikel antara lapisan yang dapat mengakibatkan bertukar momentum bagian fluida ke bagian fluida lainnya dengan skala yang besar.

Laju aliran massa didefinisikan sebagai massa m dari fluida yang melewati titik tertentu persatuan waktu Δt ; laju aliran massa = $\frac{\Delta m}{\Delta t}$. Pada gambar 2.48 volume fluida yang melewati titik 1 (yaitu, melalui luas A_1) dalam waktu Δt adalah $A_1 \Delta l$, di mana Δl adalah jarak yang dilalui fluida dalam waktu Δt . Karena kecepatan fluida yang melewati titik 1 adalah $v_1 = \frac{\Delta l}{\Delta t}$, laju aliran massa $\Delta m/\Delta t$ melalui luas A_1 adalah :



Gambar 10: Aliran fluida melalui pipa yang diameternya berubah-ubah.

Dimana $\Delta V_1 = A_1 \Delta t$ merupakan volume dengan massa Δm_1 dan ρ_1 adalah massa jenis fluida. Dengan cara yang sama, pada titik 2 (melalui luas A_2), laju alir adalah $\rho_2 A_2 V_2$. Karena tidak ada aliran fluida yang masuk atau keluar dari sisi-sisi, laju aliran melalui A_1 dan A_2 harus sama.

METODOLOGI PENELITIAN

A. Teknik pengumpulan data

Untuk memperoleh data yang tepat dan akurat guna kesempurnaan sistem sistem yang akan dibuat, maka penulis melakukan tinjauan pustaka dari berbagai jurnal ilmiah, serta menggunakan teknik wawancara atau tanya jawab dengan narasumber.

Data dapat didefinisikan sebagai deskripsi dari sesuatu yang dihadapi. Data bisa berwujud suatu keadaan, gambar, suara, huruf, angka, matematika, bahasa ataupun simbol-simbol lainnya sebagai bahan dalam suatu proses pengolahan data. Jenis data berdasarkan cara memperolehnya antara lain:

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang diambil secara langsung dari objek penelitian oleh peneliti perorangan maupun organisasi.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang tidak diperoleh secara langsung dari objek penelitian melainkan berasal dari data-data yang sudah ada atau tersedia serta diperoleh dengan cara membaca, melihat dan mendengarkan contohnya antara lain mengumpulkan data-data dari perpustakaan dan buku ilmiah.

Teknik yang dilakukan untuk melakukan penelitian ini adalah :

1. Penelitian kepustakaan (*Library research*)

Mempelajari berbagai buku yang menjadi referensi khususnya dalam sistem pemipaan dan analisa pemilihan pompa, baik yang ada dalam perusahaan maupun mata kuliah sehingga diperoleh teori-teori pendukung yang ada digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

2. Penelitian lapangan (*field research*)

Kegiatan ini dimaksudkan untuk mengetahui kondisi sebenarnya perencanaan instalasi pompa serta peralatan yang akan digunakan. Dengan didampingi pembimbing lapangan, diharapkan ada komunikasi dua arah yang dapat memberikan gambaran secara jelas dan terperinci dalam memperoleh data-data yang diperlukan untuk melakukan analisa perhitungan.

3. Diskusi

Metode ini dimaksudkan untuk mengarahkan dalam menyelesaikan laporan dan memberikan masukan dalam menentukan langkah-langkah untuk melakukan analisa. Metode ini dilakukan bersama pembimbing dan rekan-rekan penulis supaya mencapai hasil yang maksimal.

B. Tempat dan waktu penelitian

1. Tempat

Penelitian ini dilakukan di proyek pembangunan Foresta Business Loft 7 BSD Serpong Tangerang Selatan.

2. Waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei 2022.

C. Data-data lapangan

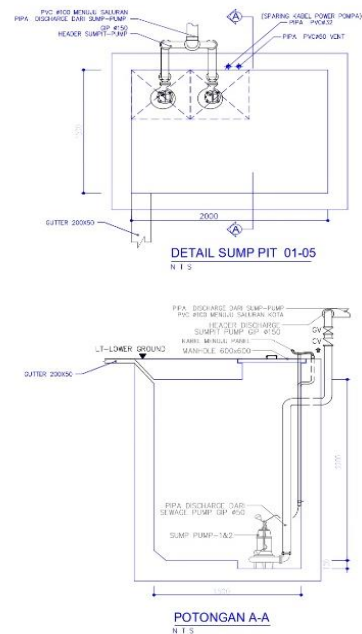
1. Spesifikasi pompa

Head : 10 m

Kapasitas : 350 liter/ menit

2. Site layout

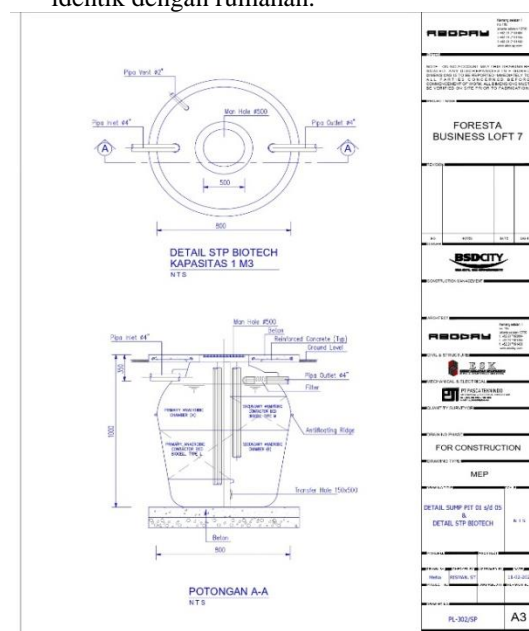
a. Detail sump pit



Gambar 11: Detail sump pit

b. Detail (*Sewage Treatment Plant*) STP Biotech

Sewage Treatment Plant (STP) adalah sebuah sistem pengolahan air limbah menjadi air bersih kelas 3, yang kemudian bisa dimanfaatkan untuk menyiram tanaman atau di buang ke sungai tanpa mencemari air sungai. Air hasil olahan ini bukan untuk dikonsumsi oleh manusia, tetapi untuk dibuang. STP ini tidak jauh berbeda dengan *septic tank*. STP biasanya digunakan di suatu bangunan yang besar, sementara tangki septik identik dengan rumah.



Gambar 12: Detail STP biotech

c. Detail *site plan*

Site plan adalah gambar berbentuk skala yang disiapkan untuk menggambarkan denah tanah dan rencana penggunaannya seperti perencanaan area yang akan dijadikan bangunan, area parkir, jalan, utilitas air, listrik,

penerangan, kontur, drainase, dan sebagainya. Berikut gambar *site plan* pompa *submersible* yang akan direncanakan pada proyek pembangunan Foresta Business Loft 7.

PEMBAHASAN

A. Head total dan kapasitas pompa

Pada bab ini akan dibahas tentang head total dan kapasitas pompa untuk memenuhi data yang diperoleh.

1. Kapasitas Pompa

Kapasitas suatu pompa menyatakan kemampuan sebuah pompa untuk memindahkan sejumlah fluida tiap satu satuan waktu. Berikut data-data yang diperoleh dari tempat survey sebagai berikut :

Kapasitas Pompa = 350 liter/menit = 77 gpm

Head pompa = 10 meter

2. Head Total Pompa

Head total pompa menyatakan energi mekanik yang digunakan dan diteruskan ke fluida, yang berhubungan dengan berat fluida, dan dinyatakan dalam satuan jarak. *Head* total pompa juga dapat dinyatakan dengan besaran yang menyatakan kerja yang dilakukan fluida dari kondisi masuk hingga kondisi keluar pompa.

Head total pompa merupakan jumlah antara *head* statis dan *head* dinamis. *Head* statis ialah *head* yang besarnya tidak dipengaruhi oleh kecepatan fluida.

$$H_{st} = \frac{P_{dr} - P_{sr}}{\gamma_i} + H_z$$

Head dinamis *head* yang besarnya dipengaruhi oleh kecepatan fluida

$$H_d = \sum \Delta h_s + \sum \Delta h_d + \frac{c_{dr}^2 - c_{sr}^2}{2g}$$

Dengan demikian *head* totalnya ialah:

$$H = \frac{P_{dr} - P_{sr}}{\gamma_i} + H_z + \sum \Delta h_s + \sum \Delta h_d + \frac{c_{dr}^2 - c_{sr}^2}{2g}$$

Dengan :

H = *head* total pompa

P_{dr} = tekanan pada *reservoir* tekan

P_{sr} = tekanan pada *reservoir* isap

H_z = perbedaan tinggi muka air di sisi tekan

reservoir dan sisi isap *reservoir*

$\sum \Delta h_s$ = kerugian *head* di sisi isap

$\sum \Delta h_d$ = kerugian *head* di sisi tekan

C_{sr} = kecepatan rata-rata fluida di sisi isap

C_{dr} = kecepatan rata-rata fluida di sisi tekan

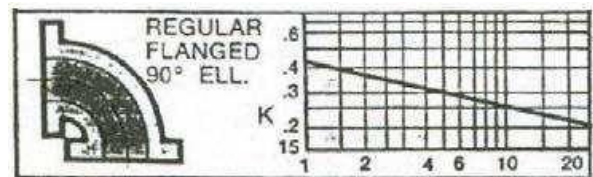
g = percepatan gravitasi

Sebagai hasil *survey* pompa yang mempunyai *head* 10 m, maka dalam satuan British menjadi 32.808 ft. Kerugian *head* akibat alat-alat kelengkapan dapat dicari dengan menggunakan persamaan (Sularso, Haruo Tahara, Pompa & Kompresor, hal 32):

$$H_l = z.k \frac{v^2}{2.g}$$

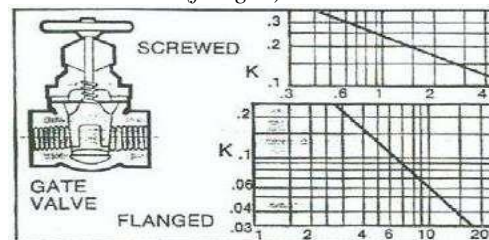
Alat alat kelengkapan yang digunakan adalah :

- *Elbow 90° (regular flanged 90°)*



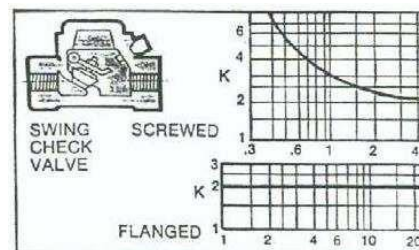
Gambar 13: Koefisien gesekan pada elbow

- *Gate valve (flanged)*



Gambar 14: Koefisien gesekan pada gate valve

- *Check valve (Swing check valve)*



Gambar 15: Koefisien gesekan pada check valve

Tabel 1: Alat kelengkapan

Alat kelengkapan	z	k	H _L (m)
<i>Elbow 90°</i>	3	0,27	

Gate valve	1	0,24	
Check valve	1	2	
			H _{Ltot}

Kecepatan rata – rata dalam pipa dapat diketahui dengan:

$$V_d = \frac{4 \times Q}{\pi \times d^2}$$

$$= \frac{4 \times 0,005833 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \times (0,075^2) \text{ m}^2}$$

= 4,14 m/s

Maka nilai kerugian untuk belokan, yaitu

$$H_l = z.k \frac{v^2}{2.g} = \frac{3 \times 0,27 \times (4,14)^2}{2} = 7 \text{ m}$$

Nilai kerugian untuk *gate valve* yaitu

$$H_l = z.k \frac{v^2}{2.g} = \frac{1 \times 0,14 \times (4,14)^2}{2} = 1,7 \text{ m}$$

Kerugian untuk *check valve* yaitu :

$$H_l = z.k \frac{v^2}{2.g} = \frac{1 \times 2 \times (4,14)^2}{2} = 17,1 \text{ m}$$

Jadi total *head losses* = 7 + 1,7 + 17,1 = 25,8 m

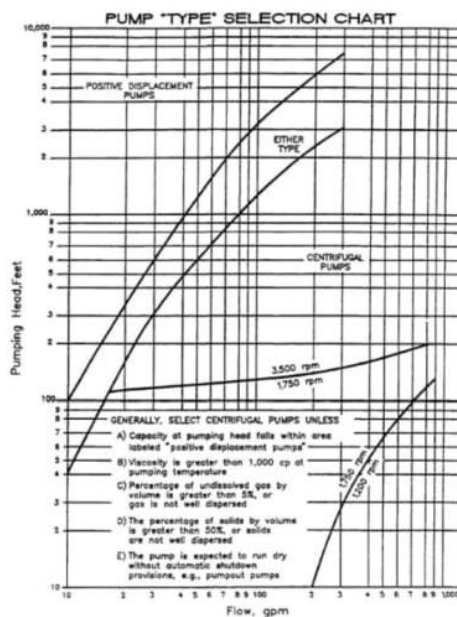
Maka nilai *head* total untuk *submersible pump* ini adalah 10 m + 25,8 m = 35,8 m = 36 m.

Namun untuk pemakaian dalam jangka waktu yang lama maka perludiperhatikan hal – hal sebagai berikut:

- Kondisi permukaan pipa yang dalam waktu jangka panjang akan semakin kasar, sehingga nantinya akan memperbesar kerugian yang terjadi.
- Penurunan kinerja pompa yang dipakai dalam rentang waktu yang lama.
- Kondisi–kondisi lain yang dapat mempengaruhi operasional pompa.

3. Pemilihan Jenis Pompa

Pompa yang digunakan untuk memompa air memerlukan aliran yang kontinu, sehingga fungsi-fungsinya dapat terpenuhi dengan baik Untuk itu perlu dipilih pompa yang tepat, karena berhubungan dengan efisiensi kerja pompa dan penghematan daya yang diperlukan Dengan pertimbangan seperti ini, maka dipilih pompa sentrifugal. Alasan pemilihan ini dapat dibantu dengan gambar dibawah



Gambar 16: Grafik daerah operasional berbagai pompa

Dari gambar 16 terlihat bahwa pompa yang memiliki kapasitas 77 gpm dan head 32.808 ft. merupakan jenis pompa sentrifugal. Posisi poros *vertical* dipilih dengan pertimbangan penghematan tepat.

4. Pemilihan Penggerak mula pompa

Kecepatan putar motor listrik

$$N_m = 120 \frac{f}{p} (1-s)$$

Dimana :

N_m = kecepatan motor aksial

s = slip

p = jumlah katup

f = frekuensi

Maka :

$$N_m = 120 \frac{50}{4} (1-s) = 1500 \text{ rpm}$$

5. Daya listrik

Daya listrik yang digunakan untuk menggerakkan pompa. Untuk mendapatkan total daya listrik yang digunakan dalam menggerakkan pompa dapat digunakan persamaan berikut ini :

$$P = V \cdot \cos \phi$$

Dimana:

P = daya (W)

V = tegangan (V)

cos φ = faktor daya = 0,8

maka :

$$P = V \cdot \cos \phi$$

$$= 220 \text{ volt} \cdot 0,8$$

$$= 176 \text{ W}$$

Sehingga pemakaian daya :

Pemakaian per menit

$$= \frac{P}{1000} \times \frac{\text{jumlah menit}}{60}$$

Rata-rata pemakaian pompa perhari adalah :
480 menit

Maka : pemakaian per menit

$$= \frac{176 \text{ W}}{1000} \times \frac{480 \text{ menit}}{60}$$

$$= 0,176 \cdot 8$$

$$= 1,5 \text{ kWh per hari}$$

$$= 1,5 \text{ kWh} \cdot 30$$

$$= 45 \text{ kWh per bulan}$$

6. Penentuan jumlah tingkat

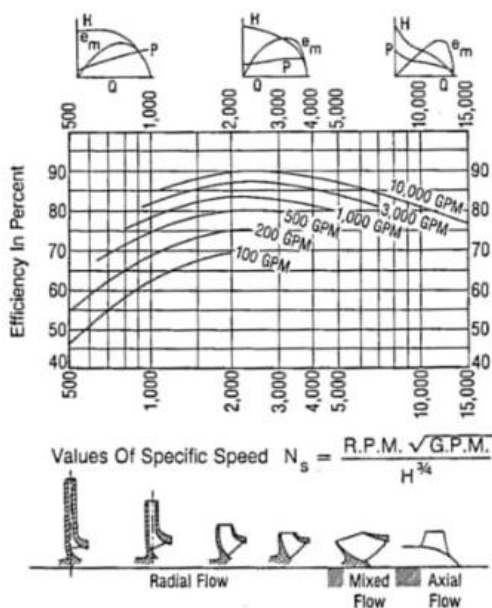
Besarnya jumlah tingkat yang didapat sebagai berikut :

$$I_{min} = \frac{H_t}{100}$$

$$(4.9)$$

$$= \frac{10m}{100m} = 0,1 \text{ tingkat}$$

Dengan demikian , dapat disimpulkan bahwa pompa mempunyai satu tingkat impeller.



Gambar 17: Grafik untuk menentukan kecepatan spesifikasi

Tabel 2: Hubungan antara jumlah tingkat, head kecepatan spesifik dan efisiensi

Jumlah tingkat	Head per tingkat (ft)	Kecepatan spesifik	efisiensi
1	65,615	2.285.82	84,5%
2	32,808	3.844,23	82,55%
3	21,87	5.210.85	80%

Berdasarkan tabel 2 terlihat bahwa efisiensi maksimal tercapai apabila pompa dibuat

satu tingkat, yaitu sebesar 82,55 %.oleh karena itu pompa dibuat dua tingkat.

Kesimpulan data di atas dapat diambil sebagai berikut:

- a. Jenis pompa : sentrifugal
- b. Jumlah tingkat : dua
- c. Posisi poros : vertical
- d. Kapasitas : 350 liter/menit atau 77gpm
- e. Head pompa :10 m atau 32.808 ft.
- f. Putaran poros : 1.500 rpm
- g. Fluida yang ditangani : air
- h. Efisiensi : 82,55%

Tenaga penggerak

- a. Jenis Motor : motor listrik induksi
- b. sumber tegangan : 220 V / 50 Hz / 3 fase / 4 kutub
- c. Putaran nominal : 1500 rpm

7. Head statis pompa

Dalam perencanaan ini tinggi permukaan air ke poros pompa terletak diatas lantai. Tinggi bangunan adalah 15 m, tinggi pipa dari atap bangunan ke ujung pipa adalah 3,5 m maka jumlah head statisnya adalah

$$H_a = t_{permukaan\ air} + t_{bangunan} + t_{pipa}$$

$$= 2,6 \text{ m} + 15 \text{ m} + 3,5 \text{ m} = 21,1 \text{ m}$$

8. Kecepatan spesifik

Kecepatan Spesifik Pompa Dicari dengan persamaan:

$$n_s = \frac{n \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

Dimana:

- n_s = putaran pompa (rpm)
- Q = kapasitas aliran pompa (m^3 / s)
- H = head total pompa (m)

Harga n_s suatu pompa dapat dipakai sebagai parameter untuk menyatakan jenis pompa.

Maka kecepatan spesifikasinya yang diperoleh adalah

$$n_s = \frac{1500 \sqrt{350}}{10}$$

$$= 561,2 \text{ rpm}$$

9. Daya pompa

Tinggi kenaikan pompa (H) mempunyai pengaruh terhadap besarnya ukuran pompa dan motor penggeraknya. Daya pemompaan adalah daya dari pompa sentrifugal yang bisa digunakan dan dipindahkan ke fluida.

$$N_p = \frac{\gamma \times H \times Q}{75} (H_p)$$

Dimana :

γ = kerapatan fluida untuk air (kg/m³) = 1000 kg/m³

H = head pompa (m) = 10 m

Q = kapasitas pompa = 0,006 m³/s

Maka :

$$N_p = \frac{\gamma \times H \times Q}{75}$$

$$N_p = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m} \times 0,006 \text{ m}^3/\text{s}}{75}$$

$$N_p = 0,8 \text{ H}_p$$

B. Impeller

1. Jenis Impeller

Kecepatan Spesifik Pompa

$$N_s = \frac{n\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

Dimana :

N = 1.500 rpm

H = 10 meter

Q = Kapasitas pemompaan = 77 gpm atau 0,006 m³ / detik

Maka spesifik, kecepatan :

$$N_s = \frac{1.500\sqrt{0,006}}{10^{3/4}} = 20,75 \text{ rpm}$$

Jenis impeller adalah sebagai berikut :

- *Radial type impeller* $N_s = 500-300$
- *Francis type impeller* $N_s = 1500-4500$
- *Mixed flow type impeller* $N_s = 4500-8000$
- *Propeller type impeller* $N_s = > 8000$

Dari hasil perhitungan putaran spesifik, maka jenis impeller adalah : *Radial type impeller*.

2. Perencanaan Poros

$$d_{sh} = \left(\frac{5,1 \times K_t \times C_b \times T}{T_a} \right)^{1/3}$$

Dengan:

d_{sh} = diameter poros (mm)

T_a = tegangan ijin bahan poros (kg/mm²)

K_t = faktor koreksi bila terjadi kejutan (1,5)

C_b = faktor koreksi bila terjadi tegangan lengkung (1,75)

T = momen puntir poros (kg/mm)

Daya input poros :

$$P_{sh} = \frac{\gamma \times H \times Q}{102 \eta_{tot}}$$

γ = berat jenis air (1000 kg/m³)

Q = kapasitas pompa (m³/s)

η_{tot} = efisiensi total pompa

$$P_{sh} = \frac{1.000 \times 10 \times 0,006}{102 \times 0,85}$$

$$P_{sh} = 0,70 \text{ kW} \times 1,3405 \text{ HP} = 1 \text{ HP}$$

Tabel 3: Faktor koreksi

Daya yang ditransmisikan	f_c
Daya rata-rata yang diperlukan	1,2-2,0

Daya maksimum yang diperlukan	0,8-1,2
Daya normal	1,0-1,3

Dengan memperhatikan tabel 3 faktor koreksi, daya poros pompa menjadi:

$$P_{sh} = f_{cx} P_{sh} = 1,04 \times 1 \text{ HP} = 1,04 \text{ HP} = 0,78 \text{ KW}$$

Putaran poros 1500 rpm

Sehingga besarnya momen puntir

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \frac{P_{sh}}{n} = 9,74 \times 10^5 \times \frac{0,78}{1500} = 50,648 \text{ kg/mm}$$

Sedangkan untuk bahan poros dipilih bahan dari *stainless steel* dengan kekuatan tariknya $\sigma_p = 100 \text{ kg/mm}$

Sehingga tegangan geser yang diizinkan :

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{ip}}{S_{f1} \times S_{f2}}$$

Dengan :

σ_p = kekuatan tarik poros

S_{f1} = faktor keamanan karena kelelahan puntir, diambil (5,5)

S_{f2} = faktor keamanan karena konsentrasi tegangan, diambil (1,5)

Sehingga:

$$\sigma_a = \frac{100}{5,5 \times 1,5} = 12,121 \text{ kg/mm}^2$$

Sehingga besarnya diameter ..

$$d_{sh} = \left[\frac{5,1 \times 1,5 \times 1,75 \times 506,48}{12,121} \right]^{1/3} = 8,235 \text{ mm, diambil } 35 \text{ mm.}$$

KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Sebagai penutup pada skripsi ini maka akan disajikan rangkuman dari hasil perhitungan perancangan pompa yang telah diuraikan pada bab sebelumnya. Adapun hasil perancangan pompa ini adalah :

1. Kesimpulan data di atas dapat diambil sebagai berikut:

- Jenis pompa : sentrifugal
- Jumlah tingkat : dua
- Posisi poros : *vertical*
- Kapasitas : 350 liter/menit atau 77gpm
- Head : 10 m atau 32.808 ft.
- Head total : 36 m
- Fluida yang ditangani : air
- Efisiensi : 82,55%

Daya pompa : 0,8 HP = 0.5965 kW

pompa yang sebenarnya.

Tenaga penggerak

Jenis motor : motor listrik induksi
sumber tegangan : 220 V / 50 Hz / 3 fase / 4 kutub
Poros penggerak

Daya *input* : 1 HP = 0,7457 kW

Putaran poros : 1500 rpm

Tegangan geser : 12,121 kg/mm²

Momen puntir : 50,648 kg/mm

Diameter poros : 35 mm

Jenis *impeller* : tipe radial

1. Dari hasil perhitungan diatas direkomendasikan yaitu jenis pompa sentrifugal dengan spesifikasi sebagai berikut :

Pompa *submersible*

Brand : Tsurumi

Type : TOS 80 NHU 22.2

Kapasitas : 350 Liter/menit

Head : 40 m

Power : 2,2 KW-3x380 V-50 Hz

Panel control : 2 x 2,2 KW-Dol-Paralel

Alternate

Diperoleh *head* total pompa yaitu 36 m, kapasitas air yang dipompa sebesar 350 liter/menit, dan daya pompa yaitu 0.5965 kW, maka terpenuhi dengan head 40 m dan daya pompa 2,2 kW. Dengan pemasangan 2 buah pompa utama secara paralel. Karena sudah dapat memenuhi kebutuhan yang diperlukan, maka spesifikasi pompa tersebut yang dipilih untuk keperluan *drainase* air buangan pada proyek pembangunan Foresta Business Loft 7.

B. Saran

Beberapa saran yang bisa disampaikan setelah menyelesaikan perancangan pompa submersibel ini antara lain:

1. Perhitungan perancangan pompa submersibel ini dilakukan pada satu pompa saja. Perhitungan dengan menggunakan data pompa ini dapat dijadikan referensi perhitungan untuk kondisi pompa submersibel lainnya.
2. Pada perancangan ini tidak memperhatikan bagaimana pompa submersibel itu dipasang di dalam *sump tank*. Maka instalasi pemasangan pompa submersibel ini dapat dijadikan topik skripsi lainnya.
3. Bagi peneliti selanjutnya yang ingin melakukan penelitian tentang analisa perancangan pompa diharapkan lebih teliti dalam perhitungan pompa serta memperhatikan masalah yang dapat mempengaruhi hasil perhitungan pompa yang mengakibatkan tidak validnya dengan keadaan

DAFTAR PUSTAKA

- Dietzel, F. 1992, *Turbin Pompa dan Kompresor*, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Karassik, Igor J., Joseph P. Messina, Paul Cooper, Charles C. Heald. 2001, *Pump Hand book, Third Edition*, McGraw-Hill Book Co, New York
- Lemigas. 2000. *Dasar-Dasar Pompa Positive Displacement dan Centrifugal*, Lemigas, Jakarta.
- Munson, Bruce R., Donald F. Young, Theodore H. Okiishi. 2002. *Mekanika Fluida Keluaran Satu*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Pudjanarsa A, Nursuhud Djati. 2008, *Mesin Konversi Energi*, CV. Andi, Yogyakarta
- Sularso, Haruo Tahara, 1996, *Pompa dan Kompresor*, PT. Pradya Paramita, Jakarta, Cetakan ke 6.
- Sularso, Haruo Tahara. 2004, *Pompa Dan Kompresor*, Cetakan Ketujuh, Pradnya Paramita, Jakarta.