

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

##### **2.1.1 Sejarah Perumdam Tirta Anom Kota Banjar**

Perusahaan Daerah Air Minum Tirta Anom Kota Banjar didirikan berdasarkan Peraturan Daerah Kota Banjar Nomor 23 Tahun 2004 tertanggal 24 Juni 2004, dan diundangkan dalam Lembaran Daerah Kota Banjar Nomor 24 tahun 2004, seri C.

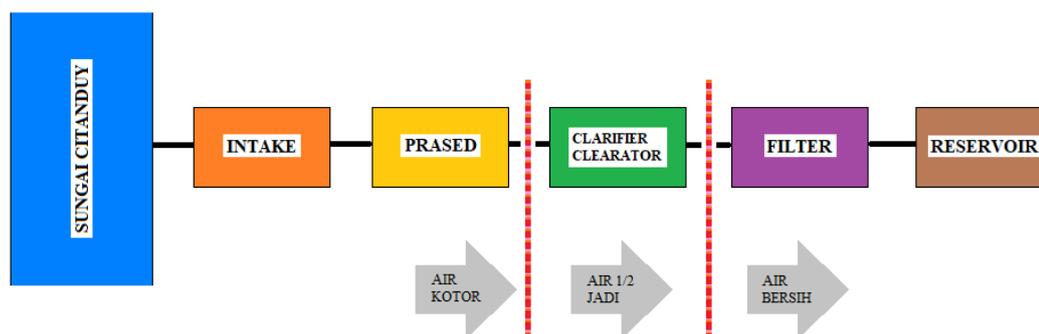
Organ Perusahaan pada awalnya mengacu pada Peraturan Daerah Kota Banjar Nomor : 24 Tahun 2004 tanggal 30 Juni 2004, tentang Ketentuan-ketentuan Pokok Badan Pengawas, Direksi dan Kepegawaian Perusahaan Daerah Air Minum Kota Banjar, disahkan oleh DPRD Kota Banjar, diundangkan dalam Lembaran Daerah Kota Banjar No 24 tahun 2004 seri D. Kemudian dilengkapi dengan Surat Keputusan Walikota Banjar Nomor : 821.2/Kpts.461/KEPEG/2004 tanggal 13 Desember 2004 tentang Direksi Perusahaan Daerah Air Minum Tirta Anom Kota Banjar.

Selanjutnya pada pertengahan tahun 2010 berdasarkan persetujuan DPRD Kota Banjar, Pemerintah Kota Banjar melakukan revisi dengan mencabut Peraturan Daerah Kota Banjar Nomor 24 dan menetapkan Peraturan Daerah Kota Banjar Nomor : 3 Tahun 2010, Tentang Perusahaan Daerah Air Minum Tirta Anom Kota Banjar, Lembaran Daerah Kota Banjar Nomor 3 Tahun 2010, dan Tambahan Peraturan Daerah Kota Banjar Nomor 1 Tahun 2010. Ditindaklanjuti dengan Peraturan Walikota Banjar Nomor 14 Tahun 2010 tentang Ketentuan ketentuan

Pokok Kepegawaian Perusahaan Daerah Air Minum Tirta Anom Kota Banjar  
(Lembaran Daerah Kota Banjar Tahun 2010 Nomor 14 Seri E).

### 2.1.2 Sistem Pengolahan Air di Perumdam Tirta Anom Kota Banjar

Pengolahan air bersih merupakan suatu proses yang bertujuan untuk memberikan perlindungan pada sumber air dengan cara memperbaiki mutu air sesuai dengan standar mutu yang ada dari aman dikonsumsi masyarakat. Pada umumnya tahapan proses penjernihan air terdiri dari aerasi, prasedimentasi, koagulasi-flokulasi, sedimentasi, disinfeksi dan reservoir. Namun pada Instalasi Pengolahan Air Unit Langensari Perumdam Tirta Anom Kota Banjar memiliki tahapan sebagai berikut:



Gambar 2.1. Tahapan Pengolahan Air Bersih di Perumdam Tirta Anom Unit Langensari

#### a. Intake

Intake merupakan bangunan penangkap dan pengumpul air yang berasal dari sumber mata air. Air baku yang berada di intake dikumpulkan untuk diolah menjadi air bersih dan disalurkan ke pelanggan. Pada bagian intake, terdapat sebuah penyaring kasar (*bar screen*) yang berfungsi sebagai penyaring kotoran dan sampah

besar. Setelah melewati *bar screen*, terjadi proses aerasi. Aerasi merupakan proses pelepasan gas ke dalam air untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut.

#### **b. Prasedimentasi**

Prasedimentasi merupakan proses pengendapan dan pemisahan pasir kasar, pasir halus, dan lumpur yang sangat halus dari air baku.

#### **c. Koagulasi, Flokulasi, dan Sedimentasi**

Koagulasi merupakan proses untuk mencampurkan koagulan atau bahan kimia yang berfungsi sebagai pengendap zat pengotor air. Koagulan yang umum digunakan adalah Aluminium Sulfat ( $Al_2(SO_4)_3$ ) atau tawas. Koagulan tersebut bekerja dengan cara mengikat partikel halus seperti debu yang sukar untuk mengendap agar menjadi lebih berat dan dapat mudah mengendap.

Flokulasi merupakan proses untuk membentuk flok berukuran besar yang terbentuk karena bantuan koagulan. Setelah itu flok yang terbentuk kemudian dibiarkan mengendap. Proses pengendapan ini disebut dengan proses sedimentasi.

#### **d. Clarifier dan Clearator**

Setelah melewati tahap sebelumnya, tahap berikutnya adalah clarifier dan clearator. Pada tahap clarifier terjadi pencampuran koagulasidan pembentukan flok melalui tahap flokulasi. Kemudian masuk ke tahap clearator, dimana pada tahap ini terjadi proses aerasi di bak aerator dimana air baku disemburkan ke udara untuk meningkatkan  $O^2$  hingga membentuk semburan.

**e. Reservoir**

Air yang sudah melewati proses di atas kemudian ditampung di reservoir. Reservoir adalah tempat sementara air ditampung. Reservoir sering dijadikan tempat dimana terjadi kelebihan air atau pemakaian dari konsumen sedikit atau digunakan saat konsumen memerlukan air untuk disuplai.

**f. Distribusi**

Distribusi adalah sebuah proses penyaluran hasil produksi dari produsen menuju ke konsumen. Pada proses ini, air bersih dikirimkan kepada pelanggan dengan memanfaatkan gaya gravitasi dari tempat yang lebih tinggi (Instalasi Pengolahan Air Unit Langensari) menuju tempat yang lebih rendah (pelanggan).

**2.2 Energi**

Energi menurut Eugene C. Lister yang diterjemahkan oleh Hanapi Gunawan (1993) bahwa energi merupakan kemampuan untuk melakukan kerja, energi merupakan kerja tersimpan. Pengertian ini tidak jauh beda dengan ilmu fisika yaitu sebagai kemampuan melakukan usaha. (Wahid, Junaidi, and Arsyad 2014)

Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat pula dimusnahkan. Energi hanya dapat diubah dari suatu bentuk ke bentuk energi yang lain. Demikianlah pula energi listrik yang merupakan hasil perubahan energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik. Keberadaan energi listrik ini dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin. Adapun kegunaan energi listrik dalam kehidupan sehari-hari merupakan penerangan, pemanas, motor-motor listrik dan lain-lain. Energi yang digunakan alat listrik merupakan laju energi (daya)

dikalikan dengan waktu selama alat tersebut digunakan. Adapun rumus energi adalah sebagai berikut:

$$W = P \times t \quad (2.1)$$

Dimana:

W = Energi (watt. jam)

P = Daya (watt)

t = waktu (jam)

### 2.3 Audit Energi

Audit energi adalah serangkaian aktivitas evaluasi penggunaan energi pada bangunan gedung dan identifikasi peluang penghematan energi listrik. Nantinya, hasil audit energi tersebut berisikan laporan yang berisi rekomendasi untuk perbaikan jika diperlukan untuk mendukung tercapainya target yang diharapkan.

Audit energi adalah langkah awal dari proses efisiensi energi yang berlanjut dalam pemenuhan konservasi energi secara menyeluruh. Konservasi energi adalah kebijakan untuk menerapkan efisiensi penggunaan energi dengan cara *Demand Side Management (DSM)*. Pada akhirnya, audit energi akan mempengaruhi pola konsumsi energi sehingga kinerja sistem dapat meningkat dan biaya energi dapat menurun.

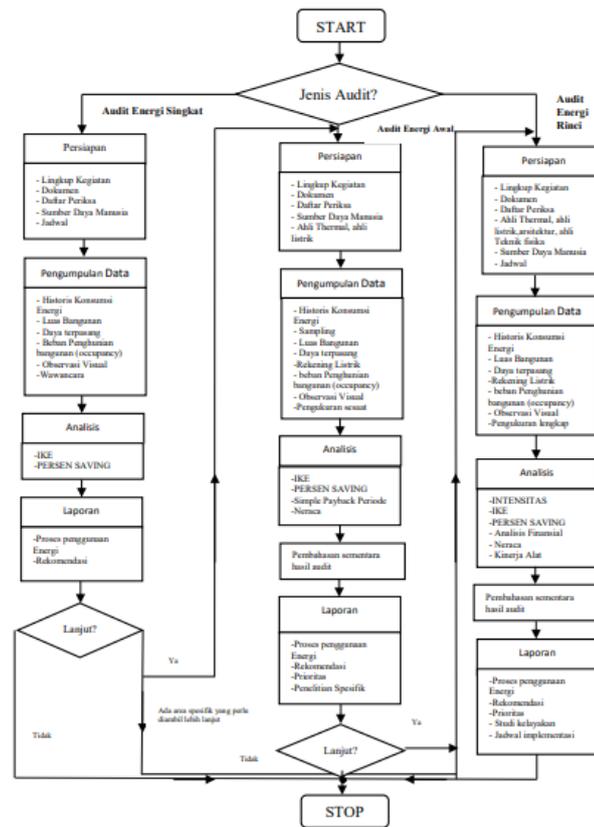
Audit energi ditujukan untuk mengevaluasi seberapa besar energi yang digunakan serta menghitung dan menentukan energi yang terbuang dan mengidentifikasi beberapa cara yang dapat diambil untuk memanfaatkan energi lebih efisien. Hasil penemuan harus teranalisa, serta potensi dan besarnya pengurangan biaya energi harus terdefinisi. Tujuan utama adalah mengurangi konsumsi daya dan biaya melalui perubahan fisik atau operasional.

Sementara itu, menurut Peraturan Pemerintah No. 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi, audit energi didefinisikan sebagai proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna energi dan pengguna sumber energi dalam rangka konservasi energi.

### **2.2.1 Prosedur Audit Energi**

Audit energi bertujuan untuk mencari peluang penghematan energi di suatu gedung atau perusahaan yang menggunakan energi listrik. Hasil dari audit energi adalah berupa laporan peluang penghematan energi pada suatu *cost center* (pusat-pusat biaya energi) yang dapat dicapai setelah dilakukan pengamatan, pengukuran, dan analisa energi.

Audit energi dilakukan secara bertahap sesuai dengan prosedur yang ada pada SNI 9196:2011, atau bisa ditunjukkan dengan skema dibawah ini.



Gambar 2.2. Prosedur Audit Energi (Nasional 2011)

Dalam pelaksanaan audit energi, terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan diantaranya:

## 1. Identifikasi Budaya Hemat Energi dan Upaya-Upaya Konservasi Energi

Identifikasi budaya hemat energi dan upaya-upaya konservasi energi dilakukan dengan cara wawancara untuk mengevaluasi penghematan energi yang telah dilakukan oleh industri.

## 2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada audit energi bertujuan untuk mendapatkan informasi berupa data primer dan sekunder.

### **a. Pengumpulan Data Sekunder**

Data sekunder yang dibutuhkan dalam proses pengumpulan data antara lain adalah:

1. Informasi umum industri, deskripsi proses, plot plant, plant *layout* data desain peralatan utama.
2. Informasi mengenai data-data kegiatan modifikasi yang pernah dilakukan, baik dalam rangka peningkatan efisiensi, reliabilitas, kapasitas maupun konservasi energi.
3. Pasokan dan distribusi penggunaan energi (*Energi Reference and Energy Balance*) untuk keseluruhan plant dan masing-masing proses/peralatan utama.
4. Profil konsumsi energi, data historis penggunaan energi (harian, bulanan, dan tahunan) untuk keseluruhan plant dan masing-masing proses/peralatan utama.

### **b. Pengumpulan Data Primer**

Pengumpulan data primer adalah pengumpulan data melalui survei dan pengukuran di lapangan untuk mendapatkan data yang nantinya digunakan untuk bahan informasi perhitungan peluang penghematan energi. Kegiatan pengumpulan data primer ini diawali dengan *walk-throught* ke lapangan untuk mengetahui kondisi peralatan pengguna energi serta menentukan titik-titik pengukuran yang diperlukan. Data primer yang dibutuhkan untuk mengetahui nilai audit energi adalah tegangan, arus, daya, faktor daya, debit dan *head*.

### **3. Analisis Data dan Peluang Penghematan Energi**

Analisis data ini dimaksudkan untuk mengetahui secara rinci besarnya potensi penghematan energi dan menyusun rekomendasi penghematan energi yang dapat ditindaklanjuti oleh pihak industri.

#### **2.2.2 Jenis-Jenis Audit Energi**

Audit energi memiliki berbagai macam sesuai dengan fungsi di tiap jenisnya. Menurut SNI 6196:2011, audit energi terdiri dari tiga jenis yaitu, audit energi singkat, audit energi awal, dan audit energi rinci. (Nasional 2011)

##### **1. Audit Energi Singkat (*Walk Through Audit*)**

Audit energi singkat adalah kegiatan audit energi yang meliputi pengumpulan data historis, data dokumentasi bangunan gedung yang tersedia dan observasi, perhitungan Intensitas Konsumsi Energi (IKE) dan kecenderungannya, potensi penghematan energi dan penyusunan laporan audit.

##### **2. Audit Energi Awal (*Preliminary Audit*)**

Audit energi awal adalah kegiatan audit energi yang meliputi pengumpulan data historis, data dokumentasi bangunan gedung yang tersedia, observasi dan pengukuran sesaat, perhitungan IKE dan kecenderungannya, potensi penghematan energi dan penyusunan laporan audit.

### 3. Audit Energi Rinci (*Detail Audit*)

Audit energi rinci adalah kegiatan audit energi yang dilakukan apabila nilai IKE lebih besar dari nilai target yang ditentukan, meliputi pengumpulan data historis, data dokumentasi bangunan gedung yang tersedia, observasi dan pengukuran lengkap, perhitungan IKE dan kecenderungannya, potensi penghematan energi, analisis teknis dan finansial serta penyusunan laporan audit.

#### 2.2.3 KES (Konsumsi Energi Spesifik)

Efisiensi dalam penggunaan energi industri berasal dari besarnya pemakaian energi untuk menghasilkan satu satuan produksi. Sementara itu, energi spesifik merupakan perbandingan antara jumlah energi yang dipakai untuk menghasilkan satu satuan produk. Besarnya energi spesifik berhubungan dengan penentuan indeks pengolahan penggunaan energi setiap periode waktu tertentu. Dengan penetapan indeks ini, dapat diperoleh informasi penggunaan bahan bakar dan listrik. (Teknis et al. n.d.)

KES (Konsumsi Energi Spesifik) adalah konsumsi energi (kWH) untuk tiap satuan volume produksi pada kurun waktu tertentu, misalnya bulanan atau dalam waktu per tahun. Standar nilai KES menurut ASEAN-USAID menjelaskan bahwa nilai KES masuk dalam kategori bagus apabila nilainya kurang dari 0,4 dan apabila nilainya lebih dari 0,4 maka termasuk kategori tidak bagus.

KES ini merupakan *benchmark* bagi PDAM untuk penilaian efisiensi energi. Makin kecil nilai KES, pemakaian energinya makin efisien. Nilai KES juga dapat menjadi indikator dari pompa dalam penilaian konsumsi energinya. (Ramadani and Devanti 2021)

#### **2.2.4 Tujuan Audit Energi**

Konsumsi energi di Indonesia adalah sebesar 30% yang berada di wilayah industri. Angka ini cukup tinggi dengan fakta bahwa masih banyak wilayah yang tidak dapat menerima energi secara maksimal sehingga tidak mendapat pasokan listrik. Adapun tujuan audit energi adalah sebagai berikut:

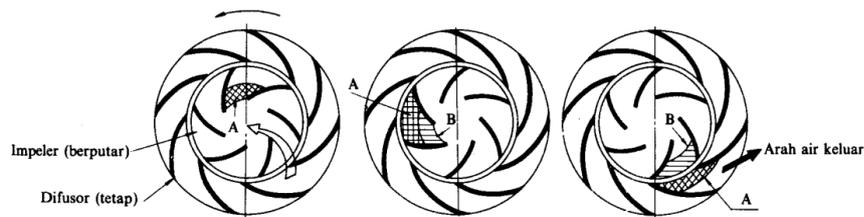
- a. Mengidentifikasi penggunaan energi dan peluang terjadinya pemborosan.
- b. Mengidentifikasi jenis dan biaya konsumsi energi.
- c. Mengidentifikasi dan menganalisis berbagai peluang penghematan energi yang dapat dilakukan yang bertujuan untuk menurunkan biaya listrik.

#### **2.2.5 Manfaat Audit Energi**

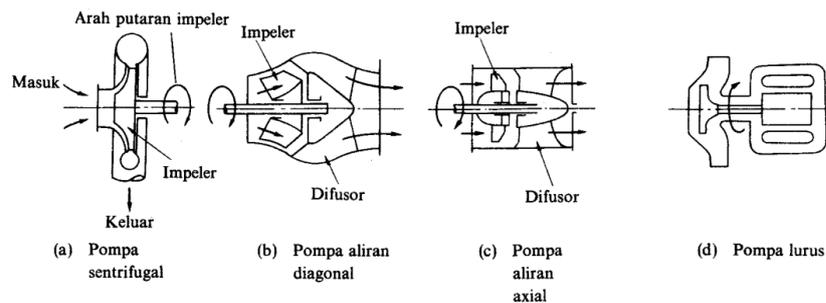
- a. Mengurangi risiko kerusakan lingkungan seperti pengurangan emisi gas rumah kaca.
- b. Meningkatkan produktivitas industri.
- c. Mengurangi limbah yang timbul maupun operasi tidak aktif.
- d. Memenuhi ketetapan pemerintah yang terkait seperti Peraturan Pemerintah No 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi.
- e. Menetapkan parameter dasar pemanfaatan energi sekaligus ISO<sub>50001</sub> Sistem Manajemen Energi.
- f. Menghindari potensi perusahaan atau industry dari penggunaan atau pembelanjaan infrastruktur yang tidak perlu.
- g. Meningkatkan efisiensi pengeluaran.

## 2.4 Pompa

Pompa adalah mesin yang berfungsi untuk mengalirkan fluida melalui pipa dari satu tempat ke tempat lain. Spesifikasi pompa dinyatakan dengan jumlah fluida yang dapat dialirkan persatuan waktu dan tinggi energi angkat. Faktor tersebut terakhir menyatakan kemampuan pompa untuk menaikkan fluida dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi, serta untuk mengatasi tahanan aliran dalam pipa. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.3, pompa memberikan energi kinetik dan energi tekanan pada fluida. Jenis pompa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4, banyak digunakan untuk mengalirkan air. (Arismunandar, 1991)



Gambar 2.3. Cara Kerja Pompa Sentrifugal (Arismunandar, 1991)



Gambar 2.4. Beberapa Jenis Pompa (Arismunandar, 1991)

### 2.3.1 Efisiensi Pompa

Efisiensi pompa ( $\eta_p$ ), adalah efisiensi perubahan daya/energi poros pompa ke daya/energi hidrolis pompa. Listrik ditransformasikan menjadi energi mekanik

putaran poros. Efisiensi motor listrik didefinisikan sebagai efisiensi perubahan dari daya listrik ke daya mekanis pada poros. Setelah itu, energi mekanik poros motor listrik ditransmisikan ke poros pompa menjadi energi mekanik pompa.

Umumnya jenis transmisi yang digunakan adalah transmisi langsung dimana poros motor listrik disambungkan langsung ke poros pompa. Dengan transmisi langsung efisiensi dapat dianggap 100%, apabila sebaliknya jika transmisi yang digunakan adalah transmisi tidak langsung, misalnya menggunakan *gearbox* maka efisiensi transmisi harus dihitung terlebih dahulu. Adapun tindakan yang dapat dilakukan apabila hasil perhitungan efisiensi menghasilkan kriteria-kriteria sebagai berikut:

Tabel 2.1. Tindakan-Tindakan Sesuai Efisiensi Pompa (Kementerian PUPR 2014)

<b>Kriteria Efisiensi Pompa</b>	<b>Tindakan</b>
$\eta_t \geq 60\%$	Pompa masih baik, tidak diperlukan tindakan apapun
$\eta_t = 55 - 60\%$	Penyetelan kembali <i>impeller</i> , pembersihan
$\eta_t = 50 - 55\%$	Rekondisi, perbaikan <i>impeller</i> dan penyetelan kembali
$\eta_t \leq 50\%$	Perbaikan total <i>impeller</i> atau penggantian pompa keseluruhan

Efisiensi total pompa adalah gabungan dari seluruh nilai efisiensi. Efisiensi total pompa adalah efisiensi perubahan dari daya listrik ke daya hidrolis atau sering disebut dengan istilah efisiensi kawat ke air (*wire to water*). Ketiga data tersebut diperlukan untuk menghitung efisiensi energi pada sistem perpompaan. Jika data efisiensi ini ada, maka kerugian energi bisa dihitung dan dianalisa untuk mencari peluang penghematan energi. Adapun persamaan untuk menghitung efisiensi pompa secara individu adalah:

$$\eta_p = \frac{P_{\text{hidrolis}}}{\eta_m \times P_i} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dimana:

$\eta_p$	= Efisiensi pompa
$P_{\text{hidrolis}}$	= Daya hidrolis pompa
$\eta_m$	= Efisiensi motor listrik
$P_i$	= Daya input

Adapun untuk menentukan efisiensi total pompa digunakan persamaan berikut:

$$\eta_t = \eta_m \times \eta_p \quad (2.3)$$

Dimana:

$\eta_t$	= Efisiensi total pompa
$\eta_m$	= Efisiensi motor
$\eta_p$	= Efisiensi pompa

### 2.3.2 Karakteristik Pompa

Karakteristik pompa adalah proses mengalirnya cairan atau fluida dengan ketinggian laju air tertentu pada pompa. Hubungan antara tekanan (*head*) dan debit (kapasitas) merupakan karakteristik pompa. Sedangkan pada efisiensi pompa hubungan antara debit dan tekanan merupakan hubungan berbanding terbalik. Tekanan pada fluida yang semakin tinggi maka mengakibatkan debit semakin kecil, begitu pula sebaliknya. Adapun besaran-besaran terhadap besaran kapasitas pada karakteristik pompa yaitu sebagai berikut:

### a. Daya Listrik

Terdapat tiga jenis daya yang digunakan untuk menggambarkan penggunaan energi listrik pada sistem pompa. Terdiri atas daya input (P), daya poros (P<sub>p</sub>) dan daya hidrolis (P<sub>hid</sub>).

#### 1. Daya Input (P)

Daya input atau daya masukan adalah daya listrik yang dimasukkan ke dalam motor pompa dalam besaran kW. Daya input dapat dihitung dari data hasil pengukuran rata-rata arus (ampere) dari voltase antar fasa (volt) dari ketiga fasa, dan faktor daya (cos φ). Rumus yang dipakai untuk motor tiga fasa seperti:

$$P = 1,73 \times V \times I \times \cos \varphi \quad (2.4)$$

Dimana:

P	= Daya Input (kW)
V	= Tegangan terukur (volt)
I	= Arus terukur (ampere)
cos φ	= Faktor daya

#### 2. Daya Poros atau *Shaft Power* (P<sub>p</sub>)

Daya Poros atau shaft power (P<sub>p</sub>), yaitu daya mekanis yang diterima dari motor untuk memutar poros, dan selanjutnya digunakan untuk memutar *impeller* pompa. Daya poros (P<sub>p</sub>) dapat dihitung dari hasil perkalian efisiensi motor (η<sub>m</sub>) dan daya input motor (P<sub>i</sub>), sesuai rumus berikut:

$$P_s = \eta_m \times P_i \quad (2.5)$$

Dimana:

P <sub>s</sub>	= Daya poros (kW)
η <sub>m</sub>	= Efisiensi motor listrik

$P_i$  = Daya input motor (kW)

Pada pengambilan data efisiensi motor berasal dari data *name plate* atau dengan menghitung faktor beban (*load factor*) dan besaran putaran motor (Rpm). Karakteristik efisiensi pada motor terhadap beban sampai 50% masih relative stabil dibandingkan dengan efisiensi pompa. Adapun rumus untuk mencari *load factor* adalah

$$LF = \frac{I_{ukur} \times V_{ukur}}{I_r \times V_r} \quad (2.6)$$

Dimana :

LF = *Load Factor*  
 $I_{ukur}$  = Arus Terukur (ampere)  
 $V_{ukur}$  = Tegangan Terukur (volt)  
 $I_r$  = Arus *Nameplate* (ampere)  
 $V_r$  = Tegangan *Nameplate* (volt)

### 3. Daya Hidrolis ( $P_{hid}$ )

Daya Hidrolis ( $P_{hid}$ ), yaitu daya yang dipakai untuk mendorong air dari satu titik ke titik lainnya dan karena adanya hambatan dari sistem perpipaan, maka terbentuk tekanan (*head*) tertentu. Adapun rumus umum dari daya hidrolis adalah:

$$P_H = \frac{Q \times H \times g \times \rho}{1.000} \quad (2.7)$$

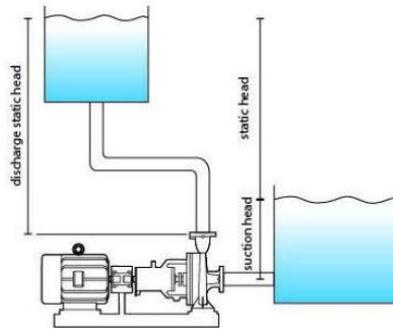
Dimana:

$P_H$  = Daya hidrolis (kW)  
 $Q$  = Kapasitas ( $m^3/s$ )  
 $H$  = *Head* (m)  
 $g$  = Gaya gravitasi ( $9,8 m/s^2$ )  
 $\rho$  = Massa jenis ( $kg/m^3$ )

Dalam audit energi, ketiga data di atas sangat dibutuhkan untuk mengetahui nilai efisiensi energi. Jika nilai efisiensi dapat diketahui, maka kerugian energi dapat dihitung dan dianalisa untuk usaha peningkatan efisiensi pemakaian energi.

### b. Tekanan Pompa (*Head*)

Tekanan pompa (*head*) merupakan energi spesifik per satuan berat fluida atau ukuran kemampuan pompa untuk menghantarkan air menuju ketinggian tertentu, seperti pada ilustrasi pada gambar berikut:



Gambar 2.5. Tekanan Pompa (*Head*) (Ramadani and Devanti 2021)

### 2.3.3 Konstruksi Pompa

#### 1. *Impeller*

Bagian pompa yang berputar dan memberikan gaya pada air dinamakan *impeller*. Apabila *impeller* berputar, maka air akan mempunyai tekanan dan kecepatan sehingga akan mengalir dari bagian tengah ke bagian tepi *impeller*. Setelah itu, air akan mengalir melalui *diffuser*, yaitu bagian rumah pompa dimana secara berangsur energi kinetik diubah menjadi energi tekanan, sehingga tekanannya naik dan merupakan tinggi energi angkat pompa.

Apabila *Impeller* yang ada tidak cukup besar untuk memberikan tinggi angkat pompa yang dikehendaki. Maka beberapa *impeller* dapat disusun berdampingan pada poros sehingga pompa dapat menghasilkan tinggi angkat yang diinginkan. Pompa tersebut terakhir dinamakan pompa bertingkat ganda (*multistage pump*).

Pompa berkapasitas besar apabila diperlukan, dapat dilakukan dengan dua *impeller* yang disusun bertolak belakang dan air masuk ke dalam pompa dari dua arah. Pompa tersebut dinamakan pompa isap ganda (*dual suction pump*). Material pompa yang biasa dipakar adalah perunggu atau besi tuang.

## **2. Diffuser**

*Diffuser* berupa saluran bersudut dimana air yang keluar dari *impeller* diarahkan dan kecepatannya diturunkan supaya tekanannya naik. Kontruksi *diffuser* terletak pada bagian luar dari *impeller*. Pompa yang dilengkapi dengan diffusor dinamakan pompa turbin.

## **3. Rumah Spiral**

Rumah spiral adalah bagian pompa yang menyalurkan air yang keluar dari *impeller* atau *diffusor* yang menurunkan kecepatan air untuk menaikkan tekanannya. Setelah itu air mengalir masuk ke dalam pipa. Penampang rumah spiral bertambah besar pada bagian keluar.

## **4. Gelang Pelapis**

*Impeller* dan rumah pompa harus diberi celah untuk menghindari gesekan. Namun, untuk mengurangi kebocoran air melalui celah tersebut dan supaya tidak ada penurunan efisiensi pompa yang terlalu besar, maka harus digunakan gelang pelapis. Dengan demikian celah tersebut dapat dibuat sekecil-kecilnya.

Gelang pelapis dipasang antara *impeller* dan rumah pompa, sedemikian rupa sehingga air bertekanan tinggi yang meninggalkan *impeller* tidak akan masuk kembali ke dalam bagian isap melalui gelang pelapis.

## 5. Mekanisme Penyekatan Poros

Mekanisme penyekata poros dapat dicegah dengan berbagai cara. Sekat yang paling populer adalah jenis paking sorong (*gland packing type*). Pada bagian keluar (tekanan tinggi), dapat dipasang paking di dalam rumah paking untuk mencegah kebocoran air keluar. Pada bagian isap (tekanan rendah), dapat digunakan busing sekat (*seal bushing*) atau sekat gelang (*seal ring*) sekat tersebut dipasang sedemikian rupa sehingga air bertekanan sedikit lebih tinggi dapat dimasukkan dari bagian tekanan tinggi dari pompa, untuk mencegah terisapnya udara ke dalam pompa dan dapat berfungsi sebagai pelumas paking.

Selama beroperasi, *flens* sorong diusahakan mendorong paking secukupnya sehingga tetesan air masih dapat mengalir keluar sebab jika didorong terlalu keras, paking atau poros akan mengalami keausan karena kepanasan (*overheat*).

Sekat mekanik digunakan pada pompa minyak pelumas dan pompa refrigeran di mana kebocoran harus diusahakan sekecil mungkin. Sekat mekanik boleh dikatakan bebas kebocoran, tahan lama, tidak perlu disetel dan kerugian gesekannya rendah.

## 6. Penggerak Pompa

### a. Kopeling *Flexibel*

Kopeling ini banyak digunakan karena dapat disambungkan dengan mudah serta tidak menimbulkan sentakan karena sesuatu hal pemasangan (poros) mesin penggerak kurang tepat pada tempatnya.

### b. Kopeling Kaku

Kopeling ini menetapkan poros pompa dan poros mesin penggerak pada posisinya dengan kaku. Dengan demikian poros tidak menggeser dalam arah axial dan banyak digunakan pada pasangan pompa mesin penggerak sebagai satu unit.

### 2.3.4 Material Pompa

Material pompa merupakan faktor penting untuk menentukan kemampuan kerja pompa dan harganya. Dalam hal tersebut, pemilihan material pompa harus diperhatikan dan ditetapkan berdasarkan jenis penggunaan, kualitas fluida kerja, serta tekanan dan temperature kerjanya.

Tabel 2.2. Material Pompa (Arismunandar, 1991)

Fluida Kerja	Rumah	<i>Impeller, Diffusor</i>	Poros
Air bersih	Besi Tuang, baja tuang	Brons, besi tuang, brons special	Baja karbon, baja tahan karat
Air panas atau air bertekanan tinggi	Baja tuang, besi tuang special, besi tuang	Brons, brons special, besi tuang special	Baja karbon, baja tahan karat
Larutan garam	Besi tuang, brons, brons special	Brons, brons special	Baja tahan karat

### 2.3.5 Sistem Kerja Pompa

Prinsip kerja pompa sendiri berdasarkan cara mengalirkan fluidanya adalah dengan cara memberikan gaya tekan pada fluida yang dialirkan. Dengan adanya tekanan, diharapkan fluida bisa mengatasi hambatan saat proses pemindahan fluida berlangsung. Perpindahan fluida sendiri bisa terjadi dengan cara horizontal ataupun vertikal. Sementara itu, ada juga fluida yang dialirkan dalam posisi horizontal yang juga berpotensi mengalamai hambatan berupa gesekan atau turbulensi. Hal ini tentu membuat tekanan pada fluida harus diatur sedemikian rupa untuk bisa mengatasi berbagai hambatan tersebut.

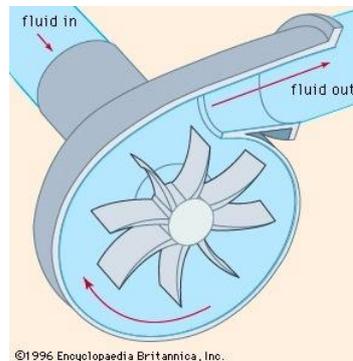
### 2.3.6 Jenis-Jenis Pompa

#### 1. Pompa Sentrifugal

Pompa Sentrifugal yaitu jenis pompa yang berfungsi untuk memindahkan cairan dengan memanfaatkan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh *impeller*. Pompa sentrifugal termasuk kedalam jenis pompa tekanan dinamis, dimana pompa jenis ini memiliki *impeller* yang berfungsi untuk mengangkat fluida dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi atau dari tekanan yang lebih rendah ke tekanan yang lebih tinggi. Daya dari luar diberikan ke poros untuk memutar *impeller* kedalam rumah pompa, maka fluida yang berada disekitar *impeller* juga ikut berputar akibat dari dorongan sudut-sudut *impeller*. Karena timbulnya gaya sentrifugal maka fluida mengalir dari tengah *impeller* keluar melalui saluran diantara sudut-sudut *impeller*. *Head* fluida akan bertambah besar karena fluida tersebut mengalami percepatan. Fluida yang keluar dari *impeller* ditampung oleh saluran yang berbentuk *volute* mengelilingi *impeller* dan disalurkan keluar pompa

melalui nosel, di dalam nosel kecepatan aliran fluida diubah menjadi *head* tekanan.

(Darmawan 2016)



Gambar 2.6. Pompa Sentrifugal (Rokhman 2018)

#### a. Klasifikasi Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal dapat diklasifikasikan berdasarkan:

##### 1. Berdasarkan Kapasitas

- a. Kapasitas rendah : Sampai dengan 20 m<sup>3</sup>/jam
- b. Kapasitas menengah : 20 – 60 m<sup>3</sup>/jam
- c. Kapasitas tinggi : > 60 m<sup>3</sup>/jam

##### 2. Berdasarkan Tekanan *Discharge*

- a. Kapasitas rendah : Sampai dengan 5 Kg/cm<sup>3</sup>
- b. Kapasitas menengah : 5 – 50 Kg/cm<sup>3</sup>
- c. Kapasitas tinggi : > 50 Kg/cm<sup>3</sup>

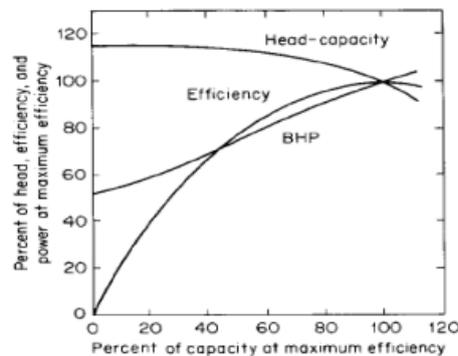
##### 3. Berdasarkan Jumlah/Susunan *Impeller* dan Tingkat

- a. *Single Impeller* : Terdiri dari satu *impeller* dan satu tingkat.

- b. *Multi Stage* : Terdiri dari beberapa *impeller* yang tersusun seri dalam satu *casing*.
- c. *Multi Impeller* : Terdiri dari beberapa *impeller* yang tersusun paralel dalam satu *casing*.

### b. Karakteristik Pompa Sentrifugal

Karakteristik pompa berbeda-beda berdasarkan jenis pompa, putaran spesifik, dan pabrik pembuatnya. Kurva-kurva karakteristik yang menyatakan besarnya *head* total pompa, daya poros dan efisiensi pompa terhadap kapasitas. Kurva performansi tersebut pada umumnya digambarkan pada putaran yang tetap. Kurva efisiensi terhadap kapasitas dari pompa sentrifugal umumnya berbentuk lengkung.



Gambar 2.7. Grafik Karakteristik Pompa Sentrifugal (Susanto 2011)

Grafik karakteristik pompa sentrifugal di atas, terlihat bahwa kurva *head*-kapasitas menjadi semakin curam pada pompa dengan harga  $n_s$  yang semakin besar. *Head* tersebut berada pada kapasitas nol (*shut of head*) semakin tinggi pada  $n_s$  yang semakin besar. Kurva daya terhadap kapasitas mempunyai harga minimum bila kapasitas aliran sama dengan nol pada pompa sentrifugal dengan  $n_s$  kecil. Kurva efisiensi terhadap kapasitas dari pompa sentrifugal umumnya berbentuk mendekati

busur lingkaran. Harga efisiensinya hanya sedikit menurun bila kapasitas berubah menjauhi harga optimumnya. Dalam memilih pompa yang tepat bagi keperluan tertentu.

### c. Konstruksi Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal secara umum terbagi menjadi dua bagian yaitu bagian yang berputar dan bagian yang tetap. Bagian yang berputar meliputi *impeller* dan poros. Sementara bagian yang tetap meliputi *volute casing*, *stuffing box*, *bearing housing* dan lain-lain.



Gambar 2.8. Bagian Dalam Pompa Sentrifugal (Zakky 2018)

Adapun bagian-bagian utama dari pompa sentrifugal antara lain:

#### 1. *Impeller*

*Impeller* berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan pada cairan yang dipompa secara kontinue, sehingga cairan pada sisi hisap secara terus menerus masuk mengisi kekosongan akibat perpindahan dari cairan yang masuk sebelumnya. Ada tiga jenis *impeller*, yaitu *open impeller*, *semi open impeller* dan *closed impeller*.



Gambar 2.9. Jenis-Jenis *Impeller* (Pompa 2019)

## 2. Rumah Pompa (*Volute Casing*)

Rumah pompa merupakan bagian paling luar dari pompa yang berfungsi sebagai pelindung elemen yang berputar, tempat kedudukan *diffuser*, *suction nozzle* dan *discharge nozzle* serta memberikan arah aliran dari *impeller* dan mengubah energi kecepatan menjadi energi tekan.



Gambar 2.10. Rumah Pompa (*Volute Casing*) (Edzona n.d.)

## 3. *Shaft*

*Shaft* berfungsi untuk meneruskan momen puntir dari penggerak (motor) selama beroperasi ke *impeller*. Selain itu, *shaft* juga berfungsi sebagai tempat kedudukan *impeller* dan bagian – bagian lain yang berputar. Untuk menghubungkan antara shaft pompa dengan shaft penggerak (motor) maka diperlukan kopling. Bagian luar shaft ini biasanya dilindungi oleh *shaft sleeve*.

#### **4. *Shaft Sleeve***

*Shaft sleeve* berfungsi untuk melindungi shaft utama dari erosi, korosi, dan aus. Bentuk dari *shaft sleeve* berbentuk silinder berlubang. Apabila *shaft* utama mengalami kerusakan maka *shaft* utama tidak bisa diperbaiki tetapi harus dilakukan penggantian dengan yang baru.

#### **5. *Gland Packing***

*Gland packing* ini berfungsi untuk mengurangi kebocoran cairan dalam casing pompa dan mencegah udara dari luar masuk ke dalam pompa. Apabila ada udara luar yang masuk ke dalam pompa maka akan mengakibatkan performa pompa akan menurun dan menimbulkan kavitasi.

#### **6. *Stuffing Box***

*Stuffing box* berfungsi untuk mencegah kebocoran pada daerah dimana poros pompa menembus *casing*. Jika pompa bekerja dengan *suction lift* dan tekanan pada ujung *stuffing box* lebih rendah dari tekanan atmosfer, maka *stuffing box* berfungsi untuk mencegah kebocoran udara masuk ke dalam pompa. Dan bila tekanan lebih besar daripada tekanan atmosfer, maka berfungsi untuk mencegah kebocoran cairan keluar pompa.

#### **7. *Bearing***

*Bearing* (bantalan) berfungsi untuk menumpu dan menahan beban dari poros agar dapat berputar, baik berupa beban radial maupun beban aksial. *Bearing* juga memungkinkan poros untuk dapat berputar dengan lancar dan tetap pada tempatnya, sehingga kerugian gesek juga kecil.

## 8. *Oil Seal*

*Seal* ini berfungsi untuk menjaga oli yang berada di dalam bearing housing agar tidak bocor.

### d. Sistem Kerja Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal digunakan untuk memberikan atau menambah kecepatan pada cairan dan kemudian merubahnya menjadi energi tekan. Arah aliran fluida dalam pompa sentrifugal dapat dilihat seperti gambar 2.7.

Cairan dipaksa masuk ke sebuah *impeller*. Daya asal dari luar diberikan kepada poros pompa yang bertujuan untuk memutar *impeller* yang berada dalam cairan tersebut. Jika *impeller* berputar maka zat cair yang ada dalam *impeller* ikut berputar karena dorongan sudu-sudu pada *impeller*. Karena terdapat gaya sentrifugal maka zat cair mengalir dari tengah *impeller* menuju keluar melalui saluran diantara sudu-sudu menggunakan kecepatan tinggi. Zat cair yang meninggalkan *impeller* itu kemudian dikumpulkan di dalam rumah pompa yang berbentuk spiral atau pada umumnya disebut *volute* yang tugasnya mengumpulkan cairan yang berasal dari *impeller* dan mengarahkan ke *discharge nozzle*. Bentuk *Discharge nozzle* adalah kerucut, sehingga kecepatan aliran yang tinggi dari *impeller* bertahap turun, kerucut ini disebut *diffuser*. Pada saat terjadi penurunan kecepatan di dalam *diffuser* energi kecepatan pada aliran cairan diubah menjadi energi tekan.

*Impeller* pompa berfungsi memberikan kerja pada zat cair sehingga energi yang dikandungnya akan menjadi lebih besar. Selisih energi per satuan berat atau

head total zat cair antara flens isap dan flens keluar pompa disebut head total pompa. (Darmawan 2016)

### e. Jenis-Jenis Pompa Sentrifugal

#### 1. Pompa Sentrifugal Aliran Radial

Pompa sentrifugal aliran radial adalah pompa yang jika dipotong searah panjang poros *impeller* nya, arah dari aliran yang keluar dari *impeller* pompa tersebut arahnya searah gaya radial dari poros *impeller* pompa tersebut. Aliran sisi masuk dari pompa sentrifugal adalah searah dengan panjang dari poros pompa tersebut. (Norel 2007)

Pompa sentrifugal aliran radial dapat dibedakan berdasarkan kisaran dari kecepatan putar spesifikasinya dan berpengaruh terhadap dimensi-dimensi dari *impeller* nya. Berikut ini merupakan kategori dari *impeller*:

Tabel 2.3. Jenis *Impeller* Pompa Sentrifugal Aliran Radial (Norel 2007)

Roda tekanan tinggi	$10 \leq n_q \leq 25$
Roda tekanan menengah	$25 < n_q \leq 40$
Roda tekanan rendah	$40 < n_q \leq 70$

Hasil perhitungan harga dari  $n_q$  lebih kecil dari 10, maka pompa harus dibuat bertingkat. Harga dari kapasitas aliran disetiap tingkat bernilai sama dan tinggi kenaikan dari setiap tingkat berharga hasil bagi dari *head* total dengan jumlah tingkat. Pada pompa sentrifugal aliran radial bertingkat dibedakan menjadi dua tipe, yaitu tipe aliran searah dan tipe aliran silang.

Untuk menghindari kavitasi pada sisi saluran masuk ke rumah pompa dan ukuran dari komponen pompa yang semakin besar pada pompa dengan debit yang besar, maka dibuat pompa dengan menggunakan sistem dua aliran arus masuk.

Bentuk dari *impeller* pada sistem ini menggunakan satu *impeller*, tetapi bentuk dari *impeller* tersebut seperti dua buah *impeller* yang serupa dan saling membelakangi.

## 2. Pompa sentrifugal Setengah Aksial (Pompa Diagonal)

Perbedaan mendasar yang membedakan pompa sentrifugal aliran radial dengan pompa diagonal adalah ukuran-ukuran utama dari *impeller* nya. Perbandingan diameter sisi keluar dan diameter sisi masuk dari pompa diagonal lebih kecil dari perbandingan diameter sisi keluar dan sisi masuk dari pompa sentrifugal aliran radial. *Impeller* dari pompa diagonal lebih tebal dari *impeller* pompa sentrifugal aliran radial. Bentuk dari *impeller* pompa diagonal menyerupai roda jalan pada turbin Francis. (Norel 2007)

Kecepatan putar spesifik dari *impeller* pada pompa sentrifugal aliran diagonal berkisar antara 70 rpm sampai 150 rpm.

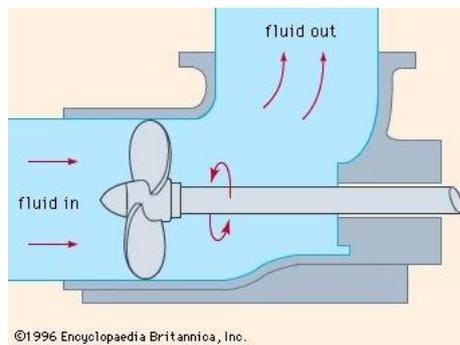
Menurut kapasitas dan tinggi kenaikannya, pompa ini dapat dilaksanakan menjadi pompa bertingkat satu atau bertingkat banyak dan juga dapat dilaksanakan sebagai pompa dengan saluran aliran arus masuk ganda.

## 2. Pompa Aksial

Pompa aksial atau biasa disebut juga dengan pompa *propeller* adalah pompa yang memindahkan zat cair secara aksial dengan sebuah leher poros dengan sudu-sudu yang berbentuk sayap yang bentuknya mirip baling-baling kapal. (M. P. Aksial n.d.)

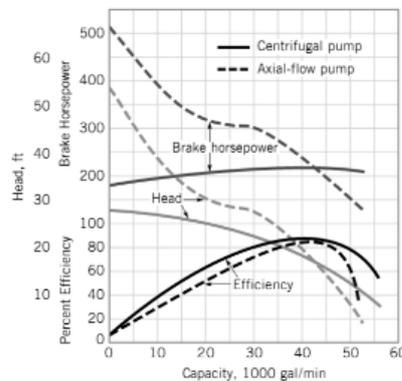
Pompa aksial adalah salah satu jenis pompa yang termasuk dalam grup pompa dinamik. Pompa jenis ini berfungsi untuk memindahkan fluida kerja dengan

arah yang sejajar terhadap sumbu atau poros *impeller* nya. Hal ini tentu saja tidak selaras menggunakan pompa sentrifugal yang memindahkan fluida kerja menggunakan arah keluaran yang tegak lurus menggunakan sumbu atau poros *impellernya*.



Gambar 2.11. Pompa Aksial (Rokhman 2018)

#### a. Karakteristik Pompa Aksial



Gambar 2.12. Grafik Karakteristik Pompa Aksial dan Pompa Sentrifugal (B. P. Aksial n.d.)

Karakteristik dari pompa aksial memiliki perbedaan dengan pompa sentrifugal. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.12, kurva *head*-kapasitas dari pompa aksial menunjukkan kenaikan *head* yang signifikan jika *valve* ditutup/kapasitas alir dikurangi pada kecepatan putaran motor yang konstan. Selain itu, terlihat juga suatu ketidakstabilan pada *head* total di sekitar 140 % - 160 % dengan acuan *head* 100 % adalah titik pada saat efisiensi tertinggi.

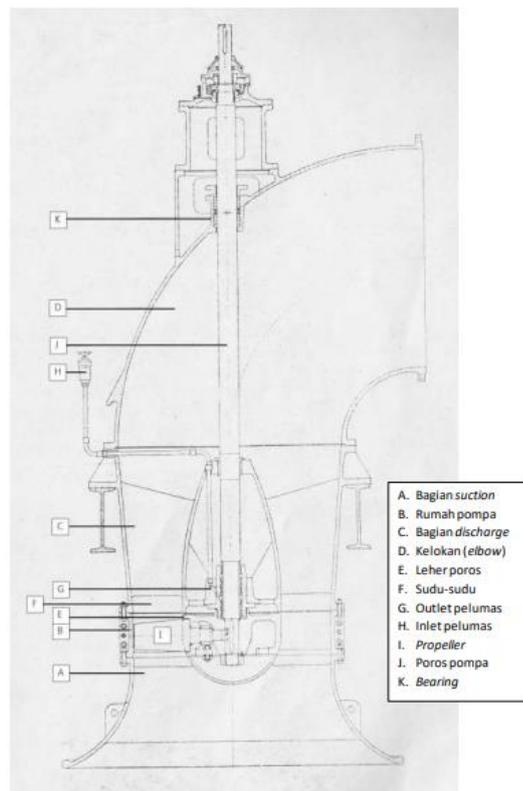
Daya yang dikonsumsi motor (*brake horsepower*) pada saat *valve* tertutup penuh mencapai nilai maksimum. Berbeda dengan pompa sentrifugal, dimana pada saat *valve* ditutup maka daya yang dikonsumsi motor akan bernilai minimum. Hal inilah yang menjadi alasan perbedaan teknis dalam mengoperasikan pompa aksial dengan pompa sentrifugal dari keadaan awal yang diam. (B. P. Aksial n.d.)

#### **b. Kontruksi Pompa Aksial**

Pompa aksial terdiri dari bagian hisap (*suction*), rumah pompa, bagian pengeluaran (*discharge*) dengan sudu antaran yang panjang, serta kelokan pengeluaran.

Baling-baling pompa terdiri dari leher poros yang merupakan tempat dimana sudu dipasang sedemikian rupa agar dapat diganti dan diatur dengan mudah. Poror pompa dipasang di dalam sebuah blok bantalan dalam dan luar pompa yang diberi pelumas.

Di dinding rumah pompa yang dilalui oleh poros dipasang sebuah tabung paking yang diantara gelang-gelang paking ini terdapat sebuah gelang lampu sebagai jalan agar pelumas dapat dimasukkan. Pada pompa aksial terdapat juga sebuah penyangga untuk menyangganya.



Gambar 2.13. Konstruksi Pompa Aksial (M. P. Aksial n.d.)

### c. Sistem Kerja Pompa Aksial

Energi mekanik yang dihasilkan oleh sumber penggerak ditransmisikan melalui poros *propeller* untuk menggerakkan *propeller* pompa. Putaran *propeller* memberikan gaya aksial yang mendorong fluida sehingga menghasilkan energi kinetik pada fluida kerja tersebut. Pada beberapa desain pompa aksial, terdapat sudu tetap yang membentuk *diffuser* pada sisi keluaran pompa yang berfungsi untuk menghilangkan efek berputar dari fluida kerja yang mengalir dan mengkonversikan energi kinetik yang terkandung di dalamnya menjadi tekanan kerja.

## 2.5 Motor Induksi

Motor penggerak pompa di PDAM pada umumnya menggunakan motor listrik tiga fasa dari jenis motor induksi. Pada motor lama data efisiensi motor tidak tertera pada *name plate*, hal ini biasanya menjadi hambatan untuk mengetahui *name plate* dari *supplier* motor tersebut.

Motor induksi terdapat beberapa rugi-rugi yang ditimbulkan karena komponen-komponen yang menyusun motor itu sendiri, seperti komponen tembaga yang terdapat pada gukungan stator dan rotor. Komponen-komponen tersebut menimbulkan rugi-rugi seperti rugi-rugi tembaga, rugi-rugi pada inti besi, rugi-rugi mekanik seperti hambatan yang ditimbulkan karena gesekan dan angin. Pada rugi-rugi tembaga, rugi-rugi yang ditimbulkan sebanding dengan nilai  $I^2.R$ , dimana  $I$  merupakan arus yang mengalir pada belitan tembaga dan  $R$  merupakan besarnya nilai tahanan tembaga tersebut.

Semakin besar arus maka semakin besar rugi-rugi pada tembaga tersebut. Berarti semakin besar beban yang dikerjakan oleh sebuah motor, semakin besar arus yang mengalir dibelitan tembaga sehingga rugi-rugi tembaga pada motor tersebut akan menjadi besar. Untuk rugi-rugi pada inti besi, rugi-rugi tersebut tidak terkait penuh dengan besar kecilnya beban yang diberikan pada motor tersebut. Sedangkan untuk rugi-rugi mekanik pada umumnya disebabkan oleh factor mekanikal seperti hambatan dan gesekan pada *bearing*, udara, dan lain-lain.

Sehingga dalam hal tersebut, audit energi perlu dilakukan untuk mengetahui besarnya penggunaan energi listrik dengan memperhatikan perilaku beban dan pembebanan pada motor listrik. Total rugi-rugi yang dijelaskan di atas akan memperbesar daya listrik yang dibutuhkan untuk menggerakkan beban oleh sebuah

motor. Efisiensi sebuah motor dinyatakan sebagai persentase perbandingan antara daya output yang dapat diberikan oleh sebuah motor untuk kerja ( $P_{out}$ ) terhadap daya input ( $P_{in}$ ) yang dibutuhkan oleh motor tersebut. Pada umumnya nilai efisiensi motor tidak dinyatakan secara jelas pada *name plate*, namun dapat dihitung berdasarkan data-data arus, tegangan,  $\cos \phi$  dan daya motor yang tertera pada *name plate* motor. (Chapman 2012)

#### 2.4.1 Efisiensi Motor Induksi

Efisiensi motor listrik induksi adalah ukuran keefektifan motor induksi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang dinyatakan sebagai perbandingan/rasio daya output dengan daya input.

Definisi NEMA terhadap efisiensi energi adalah bahwa efisiensi merupakan perbandingan atau rasio dari daya keluaran yang berguna terhadap daya input total dan biasanya dinyatakan dalam persen. Selain itu juga sering dinyatakan dengan perbandingan antara keluaran dengan keluaran ditambah rugi-rugi, yang dirumuskan dalam persamaan berikut: (Sudiby 2016)

$$\eta_m = \frac{P_r \times LF}{P_i} \times 100\% \quad (2.8)$$

Dimana:

$\eta_m$  = Efisiensi motor induksi (%)

$P_r$  = Daya pada nameplate

$P_i$  = Daya terukur

$LF$  = *Load factor*

Tabel 2.4. Standar Efisiensi Motor Induksi Tiga Phasa (Kementerian PUPR 2014)

50 HZ									
kW	IE1-Standard Efficiency			IE2-High Efficiency			IE3-Premium Efficiency		
	2-pole	4-pole	6-pole	2-pole	4-pole	6-pole	2-pole	4-pole	6-pole
0.75	72.1	72.1	70.0	77.4	79.6	75.9	80.7	82.5	78.9
1.1	75.0	75.0	72.9	79.6	81.4	78.1	82.7	84.1	81.0
1.5	77.2	77.2	75.2	81.3	82.8	79.8	84.2	85.3	82.5
2.2	79.7	79.7	77.7	83.2	84.3	81.8	85.9	86.7	84.3
3	81.5	81.5	79.7	84.6	85.5	83.3	87.1	87.7	85.6
4	83.1	83.1	81.4	85.8	86.6	84.6	88.1	88.6	86.8
5.5	84.7	84.7	83.1	87.0	87.7	86.0	89.2	89.6	88.0
7.5	86.0	86.0	84.7	88.1	88.7	87.2	90.1	90.4	89.1
11	87.6	87.6	86.4	89.4	89.8	88.7	91.2	91.4	90.3
15	88.7	88.7	87.7	90.3	90.6	89.7	91.9	92.1	91.2
18.5	89.3	89.3	88.6	90.9	91.2	90.4	92.4	92.6	91.7
22	89.9	89.9	89.2	91.3	91.6	90.9	92.7	93.0	92.2
30	90.7	90.7	90.2	92.0	92.3	91.7	93.3	93.6	92.9
37	91.2	91.2	90.8	92.5	92.7	92.2	93.7	93.9	93.3
45	91.7	91.7	91.4	92.9	93.1	92.7	94.0	94.2	93.7
55	92.1	92.1	91.9	93.2	93.5	93.1	94.3	94.6	94.1
75	92.7	92.7	92.6	93.8	94.0	93.7	94.7	95.0	94.6
90	93.0	93.0	92.9	94.1	94.2	94.0	95.0	95.2	94.9
110	93.3	93.3	93.3	94.3	94.5	94.3	95.2	95.4	95.1
132	93.5	93.5	93.5	94.6	94.7	94.6	95.4	95.6	95.4
160	93.8	93.8	93.8	94.8	94.8	94.8	95.6	95.8	95.6
200	94.0	94.0	94.0	95.0	95.1	95.0	95.8	96.0	95.8
220	94.0	94.0	94.0	95.0	95.1	95.0	95.8	96.0	95.8
250	94.0	94.0	94.0	95.0	95.1	95.0	95.8	96.0	95.8
300	94.0	94.0	94.0	95.0	95.1	95.0	95.8	96.0	95.8
330	94.0	94.0	94.0	95.0	95.1	95.0	95.8	96.0	95.8
375	94.0	94.0	94.0	95.0	95.1	95.0	95.8	96.0	95.8

IEEE mempunyai standar metode untuk mencari nilai efisiensi motor induksi. Tiap standar memiliki metode yang berbeda, metode tersebut dapat dilihat sebagai berikut

Tabel 2.5. Metode Pengukuran Efisiensi Motor Induksi (Sudibyo 2016)

No	Metode	Keterangan
1	A	Pengukuran langsung pada masukan dan pengeluaran
2	B	Pengukuran langsung pada masukan dan keluaran dengan menghitung tiap rugi-rugi dan pengukuran tak langsung pada rugi-rugi stray
3	C	Menduplikat mesin dengan tiap rugi-rugi dan pengukuran tak langsung pada rugi-rugi stray
4	E	Pengukuran daya listrik pada saat ada beban dengan tiap rugi-rugi yang ada dan pengukuran langsung rugi-rugi stray
5	E1	Pengukuran daya listrik saat ada beban dengan tiap rugi-rugi yang ada dan asumsi nilai rugi stray

6	F	Rangkaian ekivalen dengan pengukuran tiap rugi-rugi yang ada dan asumsi nilai rugi stray
7	F1	Rangkaian ekivalen dengan asumsi pada rugi-rugi stray
8	C/F	Rangkaian ekivalen yang dikalibrasikan pertitik beban metode C dengan pengukuran tak langsung rugi-rugi stray
9	E/F	Rangkaian ekivalen yang dikalibrasikan pertitik beban metode E dengan pengukuran langsung rugi-rugi stray
10	E1/F1	Rangkaian ekivalen yang dikalibrasikan pertitik beban metode E dengan asumsi nilai rugi-rugi stray

#### 2.4.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Motor Induksi

Motor merubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk melayani beban tertentu. Tentunya besar energi mekanik ini pasti lebih rendah dari energi listrik. Besar efisiensi motor ditentukan oleh kehilangan dasar yang dapat dikurangi hanya oleh perubahan pada rancangan motor dan kondisi operasi.

Tabel 2.6. Jenis Kehilangan pada Motor Induksi (BEE India, 2004)

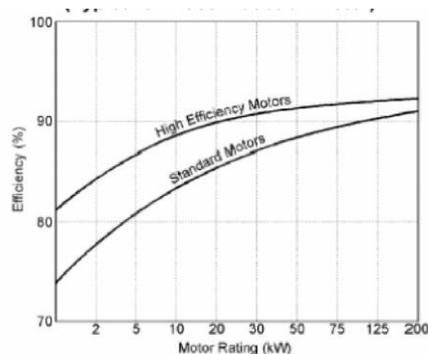
Jenis Kehilangan	Presentase Kehilangan Total (100%)
Kehilangan tetap atau kehilangan inti	25 %
Kehilangan variabel : kehilangan stator $I^2.R$	34 %
Kehilangan variabel : kehilangan rotor $I^2.R$	21 %
Kehilangan gesekan dan penggulangan ulang	15%
Kehilangan beban yang menyimpang	5 %

Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi adalah:

1. Usia, motor baru akan lebih efisien dari pada motor lama.
2. Kapasitas, sebagaimana pada kebanyakan peralatan, efisiensi motor meningkat dengan lanjut kapasitasnya.
3. Kecepatan, motor dengan kecepatan tinggi memiliki tingkat efisiensi yang lebih tinggi.
4. Jenis, motor sangkar tupai biasanya lebih efisien dari pada motor cincin geser

5. Suhu, motor yang didinginkan oleh fan dan tertutup total (TEFC) lebih efisien dari pada motor *screen protected drip-proof* (SPDP).
6. Penggulungan ulang motor dapat mengakibatkan penurunan efisiensi.

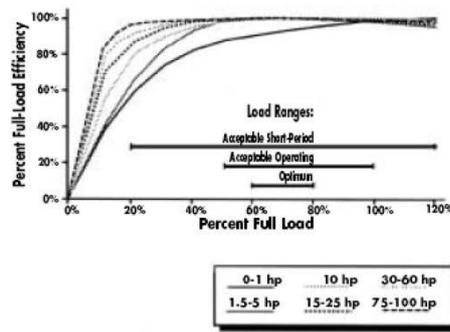
Motor dengan energi yang efisien mencakup kisaran kecepatan dan beban penuh yang luas. Efisiensinya 3% hingga 7% lebih tinggi disbanding dengan motor standar sebagaimana ditunjukkan dalam gambar di bawah yang menggambarkan peluang perbaikan yang sering digunakan pada perancangan motor yang efisien energinya.



Gambar 2.14. Grafik Perbandingan antara Motor yang Berefisiensi tinggi dengan Motor Standar (Admin 2018)

### 2.4.3 Hubungan antara Beban dan Efisiensi

Beban dan efisiensi motor mempunyai hubungan yang jelas. Pabrik motor membuat rancangan motor untuk beroperasi pada beban 50-100% dan efisien pada beban 75%. Tetapi, jika beban turun di bawah 50% efisiensi turun dengan cepat. Mengoperasikan motor di bawah laju beban 50% memiliki dampak pada faktor dayanya. Efisiensi motor yang tinggi dan faktor daya yang mendekati satu sangat diinginkan untuk operasi yang efisien dan untuk menjaga biaya rendah untuk seluruh pabrik, tidak hanya untuk motor.



Gambar 2.15. Efisiensi Beban Motor (US DOE)

Gambar 2.16 menjelaskan bahwa pada motor 25 PK efisiensi motor tidak terpengaruh oleh beban, asalkan faktor bebannya di atas 50%. Akan tetapi jika data efisiensi yang ada sangat diragukan, misalnya karena faktor usia motor, atau sudah pernah menjalani reparasi/gulung ulang, maka cara alternatif di bawah dapat dilakukan, dengan menggunakan data ukur yang telah tersedia.

## 2.6 Karakteristik Beban

Sistem distribusi tenaga listrik memiliki tujuan untuk mendistribusikan listrik dari sumber ke beberapa pelanggan atau beban. Dalam perencanaan distribusi, faktor yang paling penting adalah karakteristik beban. Karakteristik beban sangat penting agar sistem tegangan dan pengaruh *thermis* dari pembebanan dapat dianalisis dengan baik. Karakteristik beban juga sangat penting perannya dalam memilih kapasitas suatu transformator secara tepat dan bernilai ekonomis. (NUGROHO DWI CAHYANTO 1981) Berikut ini adalah faktor-faktor yang menentukan karakteristik beban, antara lain:

### 2.6.1 Faktor Beban (*Load Factor*)

Faktor beban merupakan perbandingan antara beban rata-rata terhadap beban puncak yang diukur dalam suatu periode tertentu. Beban rata-rata dan beban puncak dinyatakan dalam kW, kVA, ampere dan sebagainya tetapi keduanya harus memiliki satuan yang sama. Persamaan faktor beban:

$$\text{Faktor Beban} = \frac{\text{beban rata-rata pada periode tertentu}}{\text{beban puncak pada periode tertentu}} \quad (2.9)$$

### 2.6.2 Faktor Beban Harian

Pada faktor beban harian, variasi karakteristik beban biasanya ditentukan berdasarkan daerah beban. Contoh dari daerah beban biasanya berupa daerah industri, komersial, rumah tangga ataupun gabungan dari berbagai macam pelanggan. Selain itu, cuaca juga sangat berpengaruh dalam beban harian ini.

### 2.6.3 Faktor Kebutuhan (*Demand Factor*)

Faktor kebutuhan merupakan perbandingan antara kebutuhan maksimum (beban puncak) terhadap total daya tersambung, atau dapat dilihat pada persamaan di bawah:

$$Fd = \frac{Bp}{Bc} \quad (2.10)$$

Dimana:

Fd = Faktor Kebutuhan

Bc = Beban Terpasang

Bp = Beban Puncak

Faktor kebutuhan biasanya bernilai kurang dari satu, tetapi apabila keseluruhan beban yang tersambung serentak diberi energi dalam sebagian besar periodenya maka nilainya bisa menjadi satu.

Faktor kebutuhan menunjukkan tingkat dimana beban yang tersambung beroperasi serentak. Faktor kebutuhan dipakai untuk menentukan kapasitas (juga biaya) dari peralatan tenaga listrik yang diperlukan untuk melayani beban tersebut. Karena ada pengaruhnya terhadap investasi, maka faktor kebutuhan ini menjadi penting dalam menentukan jadwal pembiayaannya. Berikut merupakan faktor kebutuhan dari beberapa jenis bangunan:

- a. Perumahan sederhana : 50-75 %
- b. Perumahan besar : 40-65 %
- c. Kantor : 60-80 %
- d. Toko sedang : 40-60 %
- e. Industri sedang : 35-65%

Besarnya faktor kebutuhan (biasanya dinyatakan dalam %) dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu besarnya beban terpasang dan sifat pemakaian.

## **2.7 Alat Pengukuran**

Peralatan yang diperlukan untuk melakukan pengukuran di lapangan adalah sebagai berikut:

### **2.5.1 Alat Pengukur Debit Air**

*Ultrasonic flow meter* adalah alat yang biasa dipakai dalam mencari nilai audit energi. Alat ini digunakan untuk mengukur jumlah debit dan kecepatan aliran air pada pompa. Hambatan yang ada di lapangan biasanya dikarenakan usia dari instalasi yang sudah tua.



Gambar 2.16. *Ultrasonic Flow Meter*

### 2.5.2 Alat Pengukur Tekanan Air

Alat yang biasa dipakai untuk mengukur tekanan air adalah manometer. Besaran yang ditunjukkan biasanya dalam bar atau  $\text{kg}/\text{cm}^2$  yang dapat dikonversikan ke meter.  $1 \text{ bar} = 1 \text{ kg}/\text{cm}^2 = 10 \text{ m}$ .

Untuk manometer di sisi *suction* sebaiknya dipasang manometer yang dapat menunjukkan tekanan positif atau negatif.



Gambar 2.17. Manometer

### 2.5.3 Alat Pengukur Kelistrikan

1. Volt meter / ampere meter, untuk mengukur arus dan voltase kelistrikan.

2. Power meter, dapat mengukur selain ampere dan voltase, juga daya kW dan faktor daya ( $\cos \phi$ ) yang diperlukan dalam perhitungan audit energi.
3. *Power analyzer*, jenis alat yang dapat mengukur semua besaran listrik yang sangat diperlukan dalam audit energi, juga dapat memberikan data analisa tentang kualitas pasokan listrik seperti *Volt - unbalance*, jumlah *harmonic* dan lain-lain.
4. *Tape meter*, untuk mengukur jarak (meter)
5. Alat pengukur kedalaman sumur.
6. RPM meter mengukur putaran poros pompa dan motor, seperti digital *stroboscope*.

#### **2.5.4 Alat Pengukur Penunjang**

1. *Thermometer*, untuk mengukur suhu panas.
2. *Thermal Imager*, untuk melihat adanya panas misalnya pada kabel, motor, panel listrik.