

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Untuk mengkaji masalah peneliti perlu membahas teori-teori dan penelitian yang relevan dengan variabel-variabel yang diteliti guna mendapatkan wawasan yang lebih luas dan jelas tentang suatu variabel. Sehingga peneliti menentukan referensi sebagai acuan untuk melaksanakan penelitian. Referensi yang terkait dengan audit energi listrik di bidang industri seperti pada perusahaan daerah air minum dapat dilihat pada penelitian sebelumnya sebagai berikut :

1. Moh Umar Syaifudin, 2018 : Audit Energi dan Analisis Peluang Penghematan Konsumsi Energi Pada Pompa Sentrifugal Bagian Distribusi Di PDAM Kudus, Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Muria Kudus. Dalam penelitian ini peneliti membahas tentang audit energi listrik untuk mengetahui besarnya efisiensi dan Specific Energy Consumption (SEC), serta peluang penghematan konsumsi energi pada penggunaan mesin pompa sentrifugal bagian distribusi di PDAM Kudus.
2. Mulyono, 2020 : Implementasi Demand Side Management (DSM) Pada Instalasi Pengolahan Air PDAM Mulia Baru, Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Tanjungpura Pontianak. Dalam penelitian ini peneliti membahas tentang implementasi penghematan penggunaan energi listrik dengan menerapkan Demand Side Management (DSM) menggunakan strategi peak clipping dan konservasi. Dalam penelitian ini juga dimaksudkan untuk menghitung nilai Specific Energy Consumption (SEC) berdasarkan

pemakaian energi listrik dan volume air bersih serta untuk merekomendasikan peluang hemat energi berdasarkan data lapangan.

2.2 Energi Listrik

Energi listrik merupakan energi yang saat ini paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari baik itu dibidang gedung perkantoran, rumah tangga dan industri yang berskala kecil maupun besar. Energi listrik adalah suatu bentuk energi yang berasal dari sumber arus yang biasanya dinyatakan dalam Watt hour. Energi yang digunakan oleh peralatan listrik merupakan laju penggunaan energi (daya) dikalikan dengan waktu selama peralatan tersebut digunakan. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut (Wahid, Ir. Junaidi and Dr. Ir. H. M. Iqbal Arsyad, 2014) :

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

Dimana ,

W = energi listrik yang dikonsumsi (Watt hour)

P = daya peralatan listrik (Watt)

t = waktu selama peralatan listrik digunakan (jam/hour)

2.3 Audit Energi

Audit energi adalah proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna sumber energi dan pengguna energi dalam rangka konservasi energi (Kementerian ESDM, 2017). Adapun tujuan dari audit energi yaitu :

1. Memperoleh gambaran pola penggunaan energi.
2. Memperoleh gambaran fluktuasi penggunaan energi.

3. Memperoleh gambaran Intensitas Konsumsi Energi (IKE).
4. Memperoleh gambaran efisiensi penggunaan energi.
5. Mengidentifikasi sumber-sumber pemborosan energi dan menyusun langkah langkah pencegahannya.

2.3.1 Jenis-Jenis Audit Energi

Audit energi terdiri dari beberapa jenis audit energi. Jenis-jenis audit energi diantaranya sebagai berikut :

1. Audit Energi Singkat

Audit energi singkat adalah teknik audit dimana umumnya fokus pada bidang perawatan dan penghematan yang tidak terlalu memerlukan biaya investasi yang besar. Tahapan kegiatan pada proses audit energi singkat diantaranya melalui pengumpulan data historis konsumsi energi , luas bangunan, daya terpasang dan observasi lapangan.

2. Audit Energi Awal

Audit energi awal merupakan audit yang hanya dilakukan pada bagian tertentu. Teknik audit ini meliputi identifikasi mesin, analisa kondisi aktual, menghitung konsumsi energi, menghitung pemborosan energi dan beberapa usulan. Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan pada proses audit energi awal diantaranya adalah sebagai berikut :

- a. Melaksanakan identifikasi penggunaan energi pada bagian beban tertentu yang ada pada bangunan serta kelengkapannya.
- b. Melakukan koreksi atau perhitungan pada intensitas energi.
- c. Melaksanakan identifikasi terhadap jumlah dan biaya energi yang digunakan berdasarkan jenis energi dan gedung serta kelengkapannya.

3. Audit Energi Rinci

Audit energi rinci merupakan audit yang dilakukan secara menyeluruh terhadap suatu aspek yang mengkonsumsi energi listrik beserta semua kemungkinan penghematan yang dapat dilakukan. Biasanya dilakukan oleh lembaga auditor yang professional dalam jangka waktu tertentu. Berikut tahapan-tahapan pada audit energi rinci diantaranya sebagai berikut :

- a. Melakukan perencanaan.
- b. Melakukan pengumpulan data awal seperti pemanfaatan energi.
- c. Melakukan uji data peralatan dengan operasi yang sebenarnya.
- d. Melakukan analisa pada data yang sudah dikumpulkan.
- e. Melakukan identifikasi berkaitan cara operasi peralatan, pemeliharaan untuk memberikan suatu rekomendasi agar dapat meningkatkan efisiensi.
- f. Melakukan identifikasi terhadap investasi modal guna mendapatkan penghematan energi.
- g. Membuat laporan yang berisikan kesimpulan, temuan pada audit serta membuat upaya rekomendasi penghematan energi.

2.4 Konsumsi Energi Spesifik (KES)

Efisiensi penggunaan energi suatu industri dapat dilihat dari besarnya pemakaian energi untuk menghasilkan satu satuan produksi. Perbandingan jumlah energi yang digunakan untuk menghasilkan satu satuan produk disebut energi spesifik. Industri yang hemat energi adalah industri dengan energi spesifik yang rendah, sebaliknya industri boros adalah industri dengan energi spesifik yang tinggi (Pranolo, Muzayanha and Yudha, 2017). Konsumsi energi spesifik (KES) merupakan pembagian antara konsumsi energi dengan satuan luas bangunan

gedung untuk bangunan gedung komersil dan merupakan pembagian antara konsumsi energi dengan jumlah produksi pada kurun waktu tertentu, misalnya bulanan atau waktu per tahun. Secara matematis nilai konsumsi energi spesifik dapat dituliskan dengan persamaan berikut (Kementerian PUPR, 2014) :

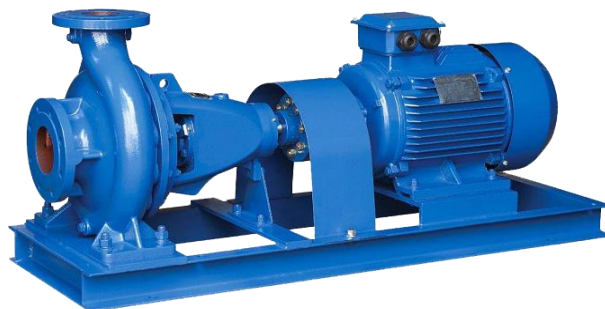
$$KES = \frac{\text{Konsumsi Energi (kwh)}}{\text{Jumlah Produksi (m}^3\text{)}} \quad (2.2)$$

Dengan :

KES = Konsumsi Energi Spesifik (kWh/m³)

Konsumsi energi spesifik (KES) ini merupakan benchmark bagi PDAM untuk penilaian efisiensi energi. Semakin kecil nilai KES, maka pemakaian energinya semakin efisien. Selain itu nilai KES, dapat juga menjadi indikator dari pompa dalam penilaian konsumsi energi (Kementerian PUPR, 2014). Berdasarkan buku efisiensi energi Kementrian PUPR dan JICA pada umumnya nilai standar konsumsi energi spesifik untuk industri pengolahan air bersih adalah sebesar 0,4 kWh/m³ (Onainor, 2019).

2.5 Pompa Sentrifugal



Gambar 2.1 Pompa Sentrifugal
(Kementerian PUPR, 2014)

Gambar 2.1 memperlihatkan unit mesin pompa sentrifugal. Pompa sentrifugal adalah salah satu jenis pompa dinamik. Pompa jenis ini memiliki elemen utama sebuah motor dengan sudu impeller berputar dengan kecepatan tinggi. Fluida masuk dipercepat oleh impeller yang menaikkan kecepatan fluida maupun tekanannya dan melemparkan keluar volut (Wardjito, 2012).

2.5.1 Prinsip Kerja Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal bekerja dengan mengambil daya dari mesin penggerak pipa untuk memutar roda jalan (impeller). Didalam roda jalan fluida mendapat percepatan sedemikian rupa sehingga fluida tersebut mempunyai kecepatan mengalir yang keluar sudu-sudu roda jalan. Kecepatan keluar fluida ini selanjutnya akan berkurang dan berubah menjadi tinggi kenaikan (H) disudu-sudu pengarah. Besarnya tekanan yang timbul tergantung dari kecepatan fluida yang dengan persamaan (White, 1986, p. 61) :

$$P = \rho \times g \times h \quad (2.3)$$

Dimana:

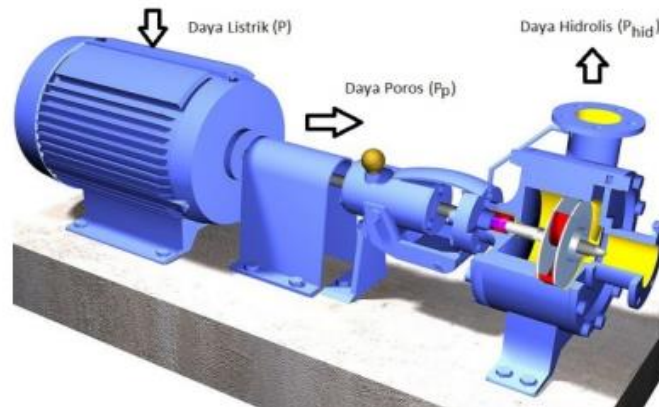
P = Tekanan statis (N/m²)

ρ = Kerapatan fluida (kg/m³)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

h = Tinggi kenaikan (m).

2.5.2 Daya Pompa



Gambar 2.2 Daya Pada Pompa
(Kementerian PUPR, 2014)

Seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.2 diatas daya pompa terdiri tiga jenis, yaitu :

1. Daya Listrik/Input

Daya input yaitu daya listrik yang dimasukkan kedalam motor pompa dalam besaran kW. Daya input dapat dihitung dari data hasil pengukuran rata-rata arus, tegangan dan faktor daya. Rumus yang dipakai untuk motor tiga fasa adalah (Kementerian PUPR, 2014) :

$$P_{in} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \quad (2.4)$$

Dimana :

P_{in} = Daya listrik/input (Watt)

V = Tegangan sumber (Volt)

I = Arus sumber (Ampere)

$\cos \phi$ = Faktor daya

2. Daya Poros

Daya poros adalah daya mekanis yang diterima dari motor listrik untuk memutar poros dan selanjutnya digunakan untuk memutar impeller pompa.

Daya poros dapat dihitung melalui persamaan (Kementerian PUPR, 2014) :

$$P_s = P_{in} \times \eta_m \quad (2.5)$$

Dimana :

P_s = Daya poros (Watt)

P_{in} = Daya listrik/input (Watt)

η_m = Efisiensi motor (%)

3. Daya Hidrolis

Daya hidrolis adalah daya yang dipakai untuk mendorong air dari satu titik ke titik lainnya dan karena adanya hambatan dari sistem perpipaan, maka terentuk tekanan tertentu. Daya hidrolis dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Kementerian PUPR, 2014) :

$$P_h = Q \times H \times \rho \times g \quad (2.6)$$

Dimana :

P_h = Daya hidrolis (Watt)

Q = Debit air (m³/det)

H = Tinggi kenaikan (m)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

ρ = massa jenis (kg/m³)

2.6 Motor Induksi

Motor induksi merupakan suatu peralatan listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Dibidang industri motor induksi banyak digunakan sebagai penggerak misalnya seperti penggerak belt konveyer, pompa air dan penggerak peralatan rumah tangga. Motor induksi juga merupakan salah satu konverter energi listrik ke mekanik yang handal, murah, kokoh konstruksinya dan mudah perawatannya, sehingga efisiensi motor induksi yang aktif dioperasikan harus diketahui nilainya dan dapat di pertahankan guna meningkatkan pelayanan motor induksi dengan murah dan handal (Dsl and Hardani, 2018).

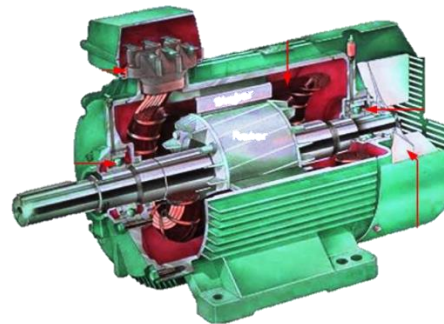
2.6.1 Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi 3 fasa merupakan motor listrik arus bolak-balik (AC) dengan menggunakan sistem tenaga listrik AC 3 fasa. Motor ini biasanya diproduksi dengan daya yang besar dan banyak digunakan pada sektor industri. Motor induksi 3 fasa ini biasanya diproduksi dengan berbagai tipe dengan kemampuan yang berbeda sehingga harga motor ini berbeda tergantung dari daya mekanik yang dibangkitkan motor atau bahan yang digunakan untuk memproduksi motor. Semakin besar daya mekanik yang dihasilkan motor atau semakin bagus bahan yang digunakan untuk membuat motor, maka semakin mahal harga motor (Anthony, 2015). Pada penelitian ini akan dilakukan analisis energi pada motor induksi tiga fasa terhadap penggunaan energi listrik dengan menghitung nilai beban motor untuk mengetahui kinerja dari peralatan listrik tersebut.

2.6.2 Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa



a) Bentuk fisik



b) Motor induksi dilihat kedalam

Gambar 2.3 Konstruksi Motor Induksi
(Azka Dani, 2022)

Gambar 2.3 merupakan gambar sebuah motor induksi. Gambar 2.3 bagian (a) merupakan bentuk fisik dari motor induksi dan gambar 2.3 bagian (b) adalah bentuk motor induksi jika dilihat kedalam dimana terdapat bagian-bagian konstruksi motor induksi. Motor induksi pada dasarnya mempunyai 3 bagian penting seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.3 sebagai berikut (Anthony, 2019, p. 95) :

1. Stator



Gambar 2.4 Stator
(Prayogo, 2019)

Gambar 2.4 merupakan stator. Stator adalah bagian dari mesin yang tidak berputar dan terletak pada bagian luar. Stator dibuat dari besi bundar dan mempunyai alur-alur sebagai tempat meletakkan kumparan yang dapat menginduksikan medan elektromagnetik kepada kumparan rotornya.

2. Celah

Celah merupakan celah udara dan tempat terjadinya berpindahnya energi dari stator ke rotor.

3. Rotor



Gambar 2.5 Rotor
(Hidayat and Krismadinata, 2019)

Gambar 2.5 memperlihatkan bentuk dari rotor motor induksi. Rotor merupakan bagian yang bergerak akibat adanya induksi magnet dari kumparan stator yang diinduksikan kepada kumparan rotor. Rotor dihubungkan dengan beban yang akan diputar dengan sebuah shaft yang terpasang pada pusat rotor.

2.6.3 Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa

Hubungan listrik pada motor induksi tidak terdapat antara stator dengan rotor, karena arus pada rotor merupakan arus induksi. Jika belitan stator diberi tegangan tiga fasa, maka pada stator akan dihasilkan arus tiga fasa, arus ini menghasilkan medan magnetik yang berputar dengan kecepatan sinkron. Ketika

medan magnet memotong konduktor rotor, di dalam konduktor tersebut akan diinduksikan GGL yang sama seperti GGL yang diinduksikan dalam lilitan sekunder transformator oleh fluksi primer. Rangkaian rotor merupakan rangkaian tertutup, baik melalui cincin ujung maupun tahanan luar. GGL induksi menyebabkan arus mengalir di dalam konduktor rotor. Sehingga dengan adanya aliran arus pada konduktor rotor di dalam medan magnet yang dihasilkan stator, maka akan dibangkitkan gaya (F) yang bekerja pada motor (Haryanto, Munarto and Fatmawati, 2014).

2.6.4 Slip Pada Motor Induksi

Apabila sumber tegangan 3 fasa dipasang pada kumparan stator, akan timbul medan putar dengan kecepatan seperti rumus berikut (Anthony, 2019, p. 112):

$$N_s = \frac{120 \times f}{p} \quad (2.7)$$

Dimana :

N_s = Kecepatan sinkron (rpm)

f = Frekuensi sumber (Hz)

p = Kutub motor

Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor. Akibatnya pada batang konduktor dari rotor akan timbul GGL induksi. Karena batang konduktor merupakan rangkaian yang tertutup maka GGL akan menghasilkan arus (I). adanya arus (I) didalam medan magnet akan menimbulkan gaya (F) pada rotor. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan

medan putar stator. GGL induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar GGL induksi tersebut timbul, diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan stator (N_s) dengan kecepatan berputar rotor (N_r) (Mu, 2019).

Perbedaan kecepatan antara N_s dan N_r disebut Slip (s), dinyatakan dengan persamaan (Anthony, 2019, p. 112) :

$$Slip = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\% \quad (2.8)$$

Dengan :

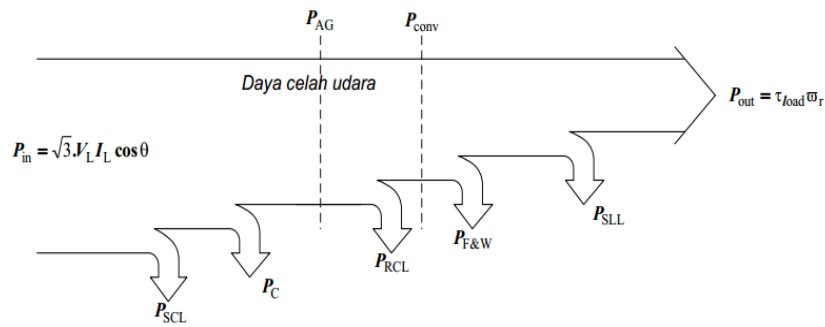
N_s = Kecepatan sinkron (rpm)

N_m = Kecepatan motor (rpm)

Bila $N_s = N_r$, GGL induksi tidak akan timbul dan arus tidak mengalir pada batang konduktor (rotor), dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Dilihat dari cara kerjanya, motor induksi disebut juga sebagai motor tak serempak atau asinkron.

2.6.5 Aliran Daya Pada Motor Induksi

Daya masukan pada motor induksi berasal dari sumber tegangan dan arus tiga fasa. Daya listrik dari sumber disuplai ke stator motor induksi lalu diubah menjadi daya mekanik pada poros motor.



Gambar 2.6 Diagram Aliran Daya Motor Induksi
(Phasa, Pt and Diva, 2019)

Gambar 2.6 merupakan diagram aliran daya motor induksi dengan parameter-parameter sebagai berikut:

P_{SCL} = rugi-rugi tembaga pada kumparan stator (Watt)

P_C = rugi-rugi inti pada stator (Watt)

P_{AG} = daya yang dikirim melalui celah udara (Watt)

P_{RCL} = rugi-rugi tembaga pada kumparan rotor (Watt)

$P_{F\&W}$ = rugi-rugi gesekan dan angin (Watt)

P_{SLL} = rugi-rugi stray (Watt)

Dari gambar 2.6 dapat ditentukan aliran daya motor induksi tiga fasa seperti berikut (Gonen, 2012) :

Rugi-rugi tembaga stator :

$$P_{scl} = 3I^2R \quad (2.9)$$

Daya yang dikirim pada celah udara :

$$P_{ag} = P_{in} - P_{scl} \quad (2.10)$$

Rugi-rugi tembaga rotor :

$$P_{rcl} = sP_{ag} \quad (2.11)$$

Daya yang dikonversikan elektrik ke mekanis :

$$P_{conv} = (1 - s)P_{ag} \quad (2.12)$$

Daya output :

$$P_{out} = P_{conv} - P_{rcl} \quad (2.13)$$

2.6.6 Rugi-Rugi Pada Motor Induksi

Motor induksi memiliki beberapa jenis bentuk rugi-rugi diantaranya sebagai berikut.

1. Rugi-Rugi Resistif

Rugi-rugi resistif adalah jenis rugi-rugi utama yang dapat menghasilkan panas di dalam motor induksi.

Rugi-rugi ini merupakan rugi-rugi utama yang selalu ada pada kawat konduktor dan menghasilkan panas di dalam motor induksi. Adapun rumus persamaannya sebagai berikut :

$$P = RI^2 \quad (2.14)$$

Dengan :

P = rugi-rugi resistif (watt)

R = hambatan (ohm)

I² = arus (ampere)

2. Rugi-Rugi Magnetik

Rangkaian magnet pada motor induksi terdiri dari bahan-bahan feromagnetik yang terdapat pada stator, rotor dan celah udara. Kerapatan fluks dipengaruhi oleh arus, saat arus ac naik, maka fluks pada inti juga bertambah dan akan mencapai saturasi, namun saat siklus arus berkurang menuju nol, fluks yang

di hasilkan garisnya tidak sama seperti garis awal, karena adanya fluks sisa pada inti.

3. Rugi Mekanik

Rugi-rugi mekanik adalah rugi-rugi yang berhubungan dengan efek-efek mekanik di dalam motor seperti gesekan dan angin. Rugi-rugi gesekan terjadi pergesekan antara permukaan bagian yang berputar dengan permukaan bagian yang diam pada motor. Rugi-rugi angin terjadi karena adanya pergesekan antara bagian motor yang berputar dengan udara di dalam rumah casing motor.

4. Rugi-Rugi Stray

Rugi-rugi stray adalah rugi-rugi pada motor yang sulit diukur. Rugi-rugi stray disebabkan karena tidak sempurnanya kontruksi mesin. Tidak sempurnanya kontruksi ini menyebabkan diskontinu pada komponen medan magnet khususnya daerah celah udara, yang menghasilkan rugi-rugi tambahan dengan ditandai timbulnya arus parasite pada inti magnet dan menambah rugi-rugi resistif pada konduktor. Tabel 2.1 berikut memperlihatkan standar rugi-rugi stray menurut IEEE (Committee, 1991)

Tabel 2.1 Standar Rugi-Rugi Stray Menurut IEEE

Rating Mesin		Persentase Rugi Stray Terhadap Total Rugi
1-125 hp	1-90 kW	1,8%
126-500 hp	91-375 kW	1,5%
501-2499 hp	376-1850 kW	1,2%
2500 hp ke atas	1851kW ke atas	0,9%

Dari semua penjelasan rugi-rugi motor induksi diatas berikut ringkasan mengenai persentase dari jenis rugi-rugi pada motor induksi pada tabel 2.2 dan 2.3 berikut :

Tabel 2.2 Persentase Rugi-Rugi Pada Motor Induksi Menurut BEE

No.	Jenis Rugi-Rugi	Persentase Rugi Total
1.	Kerugian Inti	25%
2.	Stator I ² R	34%
3.	Rotor I ² R	21%
4.	Gesekan angin dan Penggulungan ulang	15%
5.	Rugi Stray	5%

Sumber: (Bureau of Energy Efficiency, 2004)

Tabel 2.3 Persentase Rugi-Rugi Pada Motor Induksi Menurut NEMA

No.	Jenis Rugi-Rugi	Persentase Rugi Total
1.	Kerugian Inti	15%-25%
2.	Stator I ² R	25%-40%
3.	Rotor I ² R	15%-25%
4.	Gesekan angin dan Penggulungan ulang	5%-15%
5.	Rugi Stray	10%-20%

Sumber: (McCoy, Gilbert A.; Douglass, 2014)

2.7 Kinerja Motor Induksi

Pada umumnya, poros motor dan poros pompa segaris dan terkoppel baik di hampir semua PDAM. Maka dari itu daya poros motor dianggap sama dengan daya poros pompa. Jika terkoppel dengan cara lain, misalnya menggunakan pulley atau gear box maka harus dihitung lagi efisiensi antar poros. Setiap perubahan dari jenis daya ke jenis daya lainnya akan ada kehilangan atau kerugian daya. Sehingga timbul istilah efisiensi. Secara umum efisiensi adalah pebandingan antara daya keluaran dengan daya masukan. Nilai dari efisiensi pemakaian energi

dari peralatan listrik dapat dihitung dengan persamaan rumus (Anthony, 2019, p. 122) :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{P_{in} - P_{losses}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.15)$$

Dimana :

- η = Nilai efisiensi
- P_{in} = Daya masukan (watt)
- P_{out} = Daya keluaran (watt)
- P_{losses} = Total rugi-rugi (watt)

Pada umumnya motor penggerak pompa di PDAM menggunakan motor listrik tiga fasa dari jenis motor induksi. Beberapa motor listrik didesain untuk beroperasi pada 50% hingga 100% beban nominal. Efisiensi maksimum adalah yang mendekati 75% pada beban nominal (Raharjo, Wibawa and Suyono, 2014). Maka dari itu dalam mengkaji kinerja motor listrik akan bermanfaat bila menentukan beban dan efisiensinya. Untuk mengukur efisiensi motor, maka motor harus dilepas sambungannya dari beban untuk dilakukan serangkaian uji. Jika tidak memungkinkan untuk melepas motor dari beban dan karena sulit untuk mengkaji efisiensi motor pada saat kondisi operasi normal maka beban motor dapat diukur sebagai indikator efisiensi motor. Dengan meningkatnya beban, faktor daya dan efisiensi motor bertambah sampai nilai optimumnya pada sekitar beban penuh.

Metode yang digunakan untuk menentukan beban motor yang sedang beroperasi secara individu adalah dengan pengukuran daya masuk. Metode ini menghitung beban sebagai perbandingan antara daya masuk dengan nilai daya pada

pembebanan 100%. Beban pada motor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (US Department of Energy, 2014):

$$Motor\ load = \frac{P_{in}}{P_r} \times 100\% \quad (2.16)$$

Dimana :

Load = Daya keluaran (%)

P_{in} = Daya masukan (kW)

P_r = Daya masuk pada beban penuh (kW)

Untuk menentukan nilai daya masuk pada beban penuh dapat menggunakan persamaan (US Department of Energy, 2014):

$$P_r = P \frac{0,746}{\eta_r} \times 100\% \quad (2.17)$$

Dimana :

η_r = Efisiensi motor pada beban penuh (%)

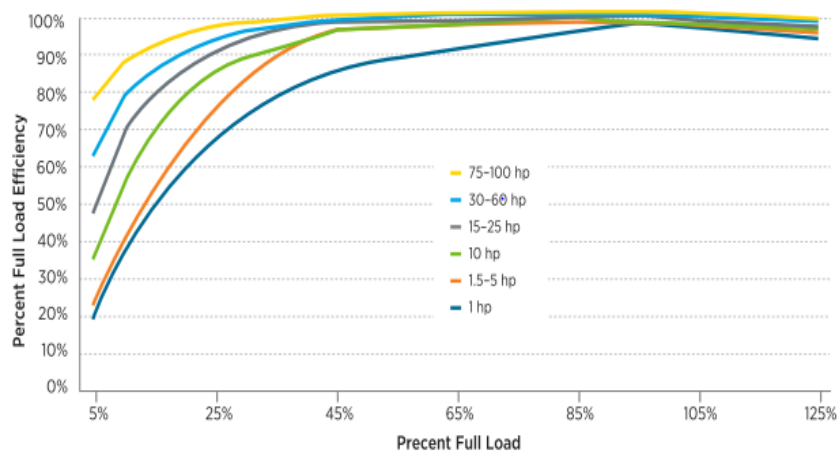
P_r = Daya masuk pada beban penuh (kW)

P = Daya pada nameplate (hp)

Adapun faktor-faktor yang dapat mempengaruhi efisiensi motor induksi diantaranya adalah :

1. Usia. Motor baru lebih efisien.
2. Kapasitas. Sebagaimana pada hampir kebanyakan peralatan, efisiensi motor meningkat dengan laju kapasitasnya
3. Kecepatan. Motor dengan kecepatan yang lebih tinggi biasanya lebih efisien.
4. Jenis rotor. Sebagai contoh, bahwa motor dengan rotor sangkar biasanya lebih efisien daripada motor dengan rotor belitan/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.
7. Beban. Motor akan mempunyai efisiensi yang berbeda dengan beban yang berbeda pula seperti yang dijelaskan dibawah ini.



Gambar 2.7 Grafik Hubungan Beban dan Efisiensi Pada Motor Induksi (McCoy, Gilbert A.; Douglass, 2014)

Gambar 2.7 memperlihatkan hubungan beban motor dan efisiensi pada motor induksi. Terdapat hubungan yang jelas antara efisiensi dan beban motor. Pabrik motor membuat rancangan motor untuk beroperasi pada beban 50%-100% dan akan paling efisien pada beban 75%. Tetapi, jika beban turun dibawah 50% maka efisiensi juga turun dengan cepat seperti ditunjukkan pada gambar 2.5 (US Department of Energy, 2014). Mengoperasikan motor dibawah laju beban 50% memiliki dampak pada faktor dayanya. Efisiensi motor yang tinggi dan faktor daya yang mendekati 1 sangat diinginkan untuk operasi yang efisien dan untuk menjaga biaya rendah untuk seluruh pabrik, tidak hanya untuk motor (Motor, Di

and Farmasi, 2011). Tabel 2.4 memperlihatkan standar kisaran nilai beban motor yang optimal berdasarkan peringkat daya motor (Kostic and Radakovic, 2006) :

Tabel 2.4 Standar Beban Motor Optimal Berdasarkan Rating Daya Motor

Ukuran Motor	Rating Daya Motor	Nilai Beban Motor
Kecil	< 10 kW	50%
Sedang	11 – 30 kW	50 – 75%
Besar	37 – 100 kW	75 – 100%

Sumber: (Kostic and Radakovic, 2006)

2.8 Persamaan yang Digunakan

Persamaan-persamaan yang akan digunakan pada saat perhitungan data antara lain :

1. Persamaan untuk menghitung nilai Konsumsi Energi Spesifik (KES)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai Konsumsi Energi Spesifik (KES) adalah :

$$KES = \frac{\text{Konsumsi Energi (kwh)}}{\text{Jumlah Produksi (m}^3\text{)}} \quad (2.18)$$

2. Persamaan untuk menghitung daya masukan (Pin)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung daya masukan adalah :

$$P_{in} = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \phi \quad (2.19)$$

Dengan :

P_{in} = Daya listrik/input (Watt)

V = Tegangan sumber (Volt)

I = Arus sumber (Ampere)

$\text{Cos } \phi$ = Faktor daya

3. Persamaan untuk menghitung motor pompa

Persamaan yang digunakan untuk menghitung kinerja beban pada motor pompa adalah :

a) Menghitung nilai beban motor

$$Motor\ load = \frac{P_{in}}{P_r} \times 100\% \quad (2.20)$$

Dengan :

Load = Daya keluaran (%)

P_{in} = Daya masukan (kW)

P_r = Daya masukan pada beban penuh (kW)

b) Untuk nilai P_r dapat dihitung dengan menggunakan pers

$$P_r = P \frac{0,746}{\eta_r} \times 100\% \quad (2.21)$$

Dengan :

η_r = Efisiensi motor pada nameplate saat beban penuh (%)

P = Daya nominal motor pada nameplate (hp)

2.9 Proses Pengolahan Air Bersih



Gambar 2.8 Motor Pompa IPA Purwahaerja PDAM Tirta Anom

Gambar 2.8 memperlihatkan mesin-mesin listrik yang digunakan di IPA Purwahaerja. Proses pengolahan air bersih memiliki tujuan untuk menghasilkan air bersih yang baik dan kualitas air yang bermutu yang nantinya akan digunakan oleh manusia. Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin modern, proses pengolahan air bersih terus disempurnakan baik dengan meningkat mutu ataupun proses pengolahan tempat. Proses pengolahan air sampai menjadi air bersih ini terdiri dari beberapa tahapan proses. Dimulai dari proses penyaringan dan pengendapan, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi dan disinfeksi. Berikut adalah unit-unit pengolahan air yang biasa digunakan dalam proses pengolahan air bersih (Mangidi, Sjahir and Deriansyah, 2014):

2.9.1 Bangunan Intake



Gambar 2.9 Bangunan Intake IPA Purwaharja PDAM Tirta Anom

Gambar 2.9 merupakan bangunan intake atau air baku yang ada di IPA Purwaharja PDAM Tirta Anom. Bangunan intake berfungsi sebagai bangunan pertama untuk masuknya air dari sumber air. Pada umumnya, sumber air untuk pengolahan air bersih, diambil dari sungai. Pada bangunan intake ini biasanya terdapat bar screen yang berfungsi untuk menyaring benda-benda yang ikut tergenang dalam air. Selanjutnya, air akan masuk ke dalam sebuah bak yang nantinya akan dipompa ke bangunan selanjutnya, yaitu WTP (Water Treatment Plant).

2.9.2 Water Treatment Plant

Water Treatment Plant (WTP) merupakan bagian bangunan utama pada proses pengolahan air bersih. Pada umumnya water treatment plant terdiri dari 4 bagian, yaitu : bak koagulasi, bak flokulasi, bak sedimentasi dan bak filtrasi.

1. Proses Koagulasi

Dari bangunan intake, air akan dipompa ke bak koagulasi ini. Pada proses koagulasi ini, koagulan dicampur dengan air baku selama beberapa saat hingga merata. Setelah pencampuran tersebut maka akan terjadi proses destabilisasi

partikel koloid pada air baku, karena pada dasarnya air baku dari sungai atau air-air kotor biasanya berbentuk koloid dengan berbagai partikel koloid yang terkandung di dalamnya.



Gambar 2.10 Bak Koagulasi IPA Purwaharja PDAM Tirta Anom

Gambar 2.10 merupakan bak koagulasi IPA Purwaharja PDAM Tirta Anom. Koagulan yang digunakan di IPA Purwaharja PDAM Tirta Anom Kota Banjar yaitu berupa Polly Aluminium Chloride (PAC) dan kaporit. Namun pada pembubuhan koagulan masih menggunakan ukuran yang belum pasti dikarenakan belum adanya laboratorium untuk menentukan seberapa tingkat kekeruhan air baku untuk disesuaikan dengan pembubuhan koagulan tersebut.

2. Proses Flokulasi



Gambar 2.11 Bak Flokulasi IPA Purwaharja PDAM Tirta Anom

Gambar 2.11 memperlihatkan bak flokulasi. Setelah dari unit koagulasi, selanjutnya air akan masuk ke dalam unit flokulasi. Unit ini ditunjukkan untuk membentuk dan memperbesar flok. Teknisnya adalah dengan dilakukan pengadukan lambat (slow mixing).

3. Proses Sedimentasi



Gambar 2.12 Bak Sedimentasi IPA Purwaharja PDAM Tirta Anom

Gambar 2.12 memperlihatkan bak sedimentasi IPA. Setelah melewati proses destabilisasi partikel koloid melalui unit koagulasi dan flokulasi, selanjutnya untuk mengendapkan partikel-partikel koloid yang sudah didestabilisasi oleh unit sebelumnya air akan masuk kedalam bak sedimentasi. Unit ini menggunakan prinsip berat jenis. Berat jenis partikel koloid (biasanya berupa lumpur) akan lebih besar dari pada berat jenis air. Dalam bak sedimentasi, akan terpisah antara air dan lumpur.

4. Proses Filtrasi



Gambar 2.13 Bak Filtrasi IPA Purwaharja PDAM Tirta Anom

Gambar 2.13 merupakan bak filtrasi yang ada di IPA Purwaharja PDAM Tirta Anom. Unit filtrasi ini, sesuai dengan namanya, adalah untuk menyaring dengan media berbutir. Media berbutir ini biasanya terdiri dari antrasit, pasir silica dan kerikil silica dengan ketebalan berbeda. Dilakukan secara gravitasi.

2.9.3 Reservoir

Setelah dari WTP dan berupa clear water, sebelum didistribusikan, air masuk ke dalam reservoir. Reservoir ini berfungsi sebagai tempat penampungan sementara air bersih sebelum didistribusikan melalui pipa-pipa secara gravitasi. Karena kebanyakan distribusi di kita menggunakan gravitasi, maka reservoir ini biasanya diletakan di tempat dengan elevasi lebih tinggi dar pada tempat-tempat yang menjadi sasaran distribusi. Biasanya terletak diatas bukit, atau gunung.