



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Instalasi Listrik di Proses Pengolahan Air

Untuk kelistrikan yang ada di proses pengolahan air terbagi menjadi dua lokasi, yaitu lokasi intake yang mencakup instalasi kelistrikan motor pompa dan instalasi penerangan dan lokasi pengolahan air bersih yang mencakup beberapa instalasi listrik yakni, instalasi penerangan, instalasi motor pompa, dan instalasi kelistrikan kantor.

2.2 Proses Pengolahan Air

2.2.1 Intake Air

Intake adalah proses pengambilan air dari sumber air baku menggunakan pompa air. Selanjutnya air akan disalurkan menggunakan pipa untuk dilakukan proses pengolahan air. Proses pengambilan air menggunakan 3 unit pompa.

2.2.2 Proses Pengolahan Air

Air yang sudah disalurkan masih belum layak untuk digunakan oleh masyarakat. Maka dari itu, perlu dilakukan pengolahan air untuk mengurangi atau mematikan mikroorganisme yang akan berbahaya bagi tubuh sehingga dapat menghasilkan air bersih yang memenuhi standar mutu dan kualitas. Berikut adalah tahapan yang dilakukan dalam proses pengolahan air:

1. Pra Sedimentasi

Pra sedimentasi adalah proses penampungan air yang dilakukan setelah air diambil dari sumber air baku menggunakan pompa air.

2. Koagulasi

Air yang sudah ditampung selanjutnya akan dicampur dengan bahan kimia yang berfungsi untuk membunuh bakteri yang terdapat pada air. Bahan kimia yang digunakan adalah aluminium sulfat (tawas), natrium karbonat (soda ash), dan kaporit.

3. Fluktuasi



Air yang telah tercampur dengan bahan kimia tersebut selanjutnya akan dialirkan menuju tahap fluktuasi. Pada tahap fluktuasi, kotoran yang terdapat pada air akan naik ke permukaan air yang kemudian akan tersaring.

4. Sedimentasi

Air yang sudah melewati tahapan fluktuasi akan diendapkan dengan tujuan untuk memisahkan lumpur dan partikel kotoran lainnya yang tidak tersaring dengan baik.

5. Filtrasi

Setelah diendapkan, air kemudian akan disaring sehingga endapan dan air akan terpisah. Setelah melewati proses ini, air dapat dinyatakan sudah bersih dan layak untuk digunakan.

6. Penampungan

Air bersih ditampung dan siap untuk didistribusikan ke masyarakat.

7. Pendistribusian

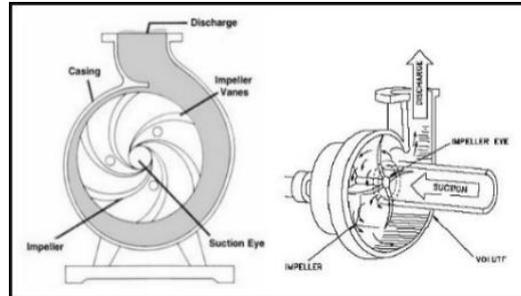
Proses distribusi dilakukan dengan menggunakan pompa air. Pompa air yang digunakan PDAM Tirta Sejiran Setason berjumlah 4 unit. Pompa air yang beroperasi setiap harinya berjumlah 3 unit, dan 1 unit pompa air sebagai cadangan.

2.3 Sarana Elektrik Pada Proses Pengolahan Air

2.3.1 Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal adalah salah satu pompa yang cukup sering digunakan dalam perindustrian. Pompa sentrifugal termasuk dalam jenis pompa kerja dinamis yang memiliki prinsip kerja mengubah energi kinetis dari kecepatan aliran sebuah fluida menjadi energi potensial atau energi dinamis. Kemudian fluida tersebut akan mengalir melalui impeler yang berputar di dalam *pump case*. Pompa sentrifugal mengubah energi mekanik menjadi kecepatan fluida selanjutnya energi kecepatan fluida diubah menjadi energi tekanan keluar dari pompa. Pompa sentrifugal dikenal akan bentuknya yang sederhana, ti

tidak memerlukan tempat yang luas untuk penempatannya, ringan, dan tidak menghabiskan banyak biaya untuk instalasi dan perawatan.



Gambar 2.1 Pompa Sentrifugal

Sumber: <https://inameq.com/sistem-pompa/pump-sytem/keunggulan-kelemahan-sentrifugal/?amp>

2.3.2 Klasifikasi Motor Listrik AC

Motor listrik AC memiliki beberapa jenis, yang jenis ini membedakan berdasarkan beberapa faktor utama yang antara lain berdasarkan prinsip kerja, berdasarkan macam arus dan berdasarkan kecepatan.

a. Berdasarkan Prinsip Kerja

1. Motor Sinkron

- Biasa (tanpa slip ring)
- Super (dengan slip ring)

2. Motor Asinkron

- Motor induksi (*Squirrel Cage Rotor & Winding Rotor*)

b. Berdasarkan Jenis Arus

1. Motor Induksi 1 Fasa

Motor induksi 1 fasa adalah motor listrik yang dijalankan dengan suplay 1 fasa. Suplay 1 fasa adalah listrik pada rumah-rumah komersial bertegangan 220 V. Motor induksi satu fasa merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga seperti kipas angin, mesin cuci dan pengering pakaian.

2. Motor Induksi 3 Fasa



Motor induksi tiga fasa memiliki dua komponen dasar yaitu stator dan rotor, bagian rotor dipisahkan dengan bagian stator oleh celah udara yang sempit (air gap) dengan jarak antara 0,4 mm sampai 4 mm.

- c. Berdasarkan Kecepatan
 - 1. Kecepatan konstan
 - 2. Kecepatan berubah
 - 3. Kecepatan diatur

2.3.3 Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi 3 fasa adalah salah satu jenis motor yang banyak digunakan pada peralatan-peralatan perindustrian dari sistem mekanis maupun elektromekanis karena konstruksi motor induksi 3 fasa yang sederhana, memiliki efisiensi yang tinggi, mudah dalam perawatannya, dan masa pakai yang lama. Motor induksi 3 fasa juga disebut sebagai motor asinkron karena tidak beroperasi dengan kecepatan sinkron.

Penggunaan motor induksi yang banyak dipakai di kalangan industri mempunyai keuntungan sebagai berikut :

1. Bentuknya yang sederhana dan memiliki konstruksi yang kuat dan hampir tidak pernah mengalami kerusakan yang berarti.
2. Harga relatif murah.
3. Efisiensi tinggi pada keadaan berputar normal, tidak memerlukan sikat sehingga rugi – rugi daya yang ditimbulkan dari gesekan dapat dikurangi.
4. Perawatan waktu mulai beroperasi tidak memerlukan starting tambahan khusus dan tidak harus sinkron.

Namun disamping hal tersebut, terdapat beberapa factor yang kurang menguntungkan dari motor induksi, yaitu:

1. Pengaturan kecepatan dari motor induksi sangat mempengaruhi efesiansinya.
2. Kecepatan motor induksi akan menurun seiring dengan bertambahnya beban, tidak seperti motor DC atau motor shunt.
3. Kopel awal mutunya rendah dibandingkan dengan motor DC shunt.

2.3.3.1 Konstruksi Motor Induksi 3 Fasa

Secara umum, konstruksi motor induksi 3 fasa terdiri dari dua bagian, yaitu bagian stator dan bagian rotor. Stator adalah bagian dari motor induksi 3 fasa yang diam. Stator terdiri atas badan motor, inti stator, belitan stator, dan *terminal box*. Sedangkan rotor adalah bagian yang berputar dari motor induksi 3 fasa. Rotor pada motor induksi 3 fasa dibagi menjadi 2 jenis, yaitu rotor sangkar tupai (*squirrel cage rotor*) dan rotor belitan (*wound rotor*). Berikut adalah bagian-bagian inti dari motor induksi 3 fasa:

a. Stator

Stator adalah bagian stasioner dari motor induksi. Sebuah belitan stator ditempatkan di stator motor induksi dan suplai tiga fasa akan diberikan ke stator. Ini terdiri dari rangka baja yang membungkus inti silinder berongga. Inti dari motor induksi tiga fasa terdiri dari laminasi tipis baja silikon untuk mengurangi arus eddy dan rugi-rugi histeresis.

Gulungan stator 3 fasa dililit dengan jumlah kutub tertentu tergantung pada kebutuhan kecepatan. Semakin besar jumlah kutub, semakin kecil kecepatan motor dan semakin kecil jumlah kutub, maka semakin besar kecepatan motor. Ketika suplai 3 fasa yang seimbang diumpankan ke belitan stator, *rotating magnetic field* (RMF) dengan magnitudo konstan dihasilkan dan RMF akan menginduksi arus dalam rangkaian rotor dengan induksi elektromagnetik.



Gambar 2.2. Stator

Sumber: Dokumentasi Pribadi¹

¹ Refdinal Nazir, Teori & Aplikasi Motor dan Generator Induksi, hlm. 12

b. Rotor

Rotor pada motor induksi 3 fasa dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu:

1. Rotor Sangkar Tupai (Squirrel-cage Rotor)

Rotor sangkar tupai terdiri dari lapisan-lapisan konduktor yang dipasangkan sejajar dengan poros dan mengelilingi permukaan inti. Konduktor tidak terisolasi dari inti karena arus rotor secara alamiah akan mengalir melalui tahanan yang paling kecil, yaitu konduktor rotor. Pada setiap ujung rotor, semua konduktor rotor dihubungkan dengan cincin ujung. Konduktor rotor dan cincin-ujung serupa dengan sangkar tupai yang berputar sehingga dinamakan motor induksi sangkar tupai.

Saat arus bolak-balik diberikan melalui belitan stator, maka akan menghasilkan RMF yang akan menginduksi arus pada belitan rotor sehingga menghasilkan medan magnet pada rotor. Interaksi medan magnet yang dihasilkan oleh belitan stator dan rotor menghasilkan torsi pada motor induksi.



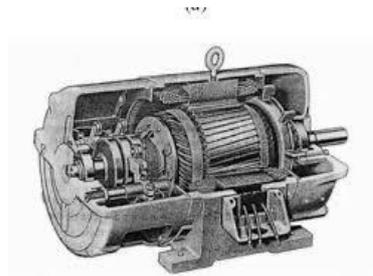
Gambar 2.3 Rotor Sangkar Tupai

Sumber: Dokumentasi Pribadi

2. Rotor Belitan (Wound Rotor)

Rotor belitan dirancang untuk memberikan torsi awal yang tinggi dengan menghubungkan resistansi eksternal ke sirkuit rotor. Kecepatan di mana rotor belitan beroperasi tidak sama. Oleh karena itu, ia juga dikenal sebagai motor asinkron.

Lilitan rotor tersebar secara seragam pada slot-slot dan secara umum dihubungkan secara wye, ketiga terminal tersebut dihubungkan dengan slip-ring kemudian dihubungkan dengan sikat yang diam (*stationary brushes*), dengan demikian maka motor bisa diberi resistor dari luar sehingga kecepatan motor dapat diatur dengan mengubah-ubah nilai tahanan resistor luar.



Gambar 2.4 Rotor Belitan

Sumber: <https://www.tamboenman.xyz/2022/04/kontrol-kecepatan-motor-induksi.html?m=1>

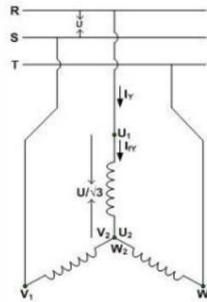
2.3.3.2 Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa

Pada saat belitan stator diberi tegangan tiga fasa, maka pada stator akan dihasilkan arus tiga fasa, arus ini kemudian akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron. Medan putar akan terinduksi melalui celah udara menghasilkan ggl induksi (ggl lawan) pada belitan fasa stator. Medan putar tersebut juga akan memotong konduktor-konduktor belitan rotor yang diam. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan relatif antara kecepatan fluksi yang berputar dengan konduktor rotor yang diam yang disebut juga dengan slip. Akibatnya adanya slip maka ggl (gaya gerak listrik) akan terinduksi pada konduktor-konduktor rotor.

2.3.3.3 Pengasutan Motor Induksi 3 Fasa

Pengasutan merupakan metode penyambungan kumparan-kumparan dalam motor 3 fasa. Ada 2 model rangkaian kumparan pada motor 3 fasa, yaitu:

1. Rangkaian Bintang/*Star*



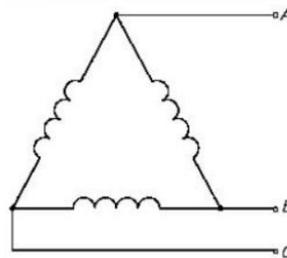
Gambar 2.5 Rangkaian Bintang/*Star*

Sumber: <http://imammulyono002.blogspot.com/2013/06/rangkaian-star-delta-pada-motor-listrik.html?m=1>

Rangkaian bintang dibentuk dengan menghubungkan salah satu ujung dari ketiga kumparan menjadi satu. Ujung kumparan yang digabung tersebut menjadi titik netral, karena sifat arus 3 fasa yang jika dijumlahkan ketiganya hasilnya netral atau nol. Dengan adanya saluran / titik netral maka besaran tegangan fase dihitung pada saluran / titik netralnya, juga membentuk sistem tegangan 3 fasa yang seimbang dengan besarnya ($\sqrt{3}$ dikali besar dari tegangan fase).

2. Rangkaian Segitiga/*Delta*

Rangkaian segitiga atau *delta* didapatkan dengan cara menghubungkan kumparan-kumparan motor hingga membentuk segitiga 3 fasa.



Gambar 2.6 Rangkaian Segitiga/*Delta*

Sumber: <http://blog.unnes.ac.id/antosupri/sistem-3-fasa/>

Pada rangkaian *delta*, nilai tegangan kumparan sama dengan tegangan antar fasa. Akan tetapi, arus jaringan bernilai sebesar $\sqrt{3}$ dari arus *line*.



2.4 Energi

Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan. Energi hanya dapat diubah dari suatu bentuk ke bentuk energi yang lain. Demikian halnya dengan energi listrik yang merupakan hasil perubahan energi mekanik 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 penggunaan energi (daya) dikalikan dengan waktu selama alat tersebut digunakan. Bila daya diukur dalam watt jam, maka:

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

Keterangan:

$$\begin{aligned} P &= \text{Daya (Watt)} \\ t &= \text{Waktu (Jam)} \\ W &= \text{Energi (Watt Jam)} \end{aligned}$$

2.5 Daya

Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan Watt atau Horsepower (HP). Horsepower merupakan satuan daya listrik dimana 1 HP setara 746 Watt atau lbft/s. Sedangkan Watt merupakan unit daya listrik dimana 1 Watt memiliki daya setara dengan daya yang dihasilkan oleh perkalian arus 1 Ampere dan tegangan 1 Volt. Daya dinyatakan dalam P, Tegangan dinyatakan dalam V dan Arus dinyatakan dalam I, sehingga besarnya daya dinyatakan sebagai berikut:

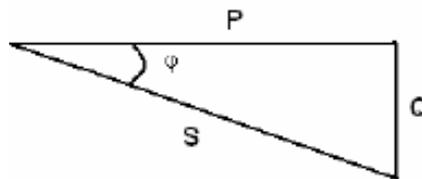
$$P = V \times I \quad (2.2)$$

Keterangan:

$$\begin{aligned} P &= \text{Daya (Watt)} \\ V &= \text{Tegangan (Volt)} \\ I &= \text{Arus (Ampere)} \end{aligned}$$

2.5.1 Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematika antara tipe-tipe daya yang berbeda (*Apparent Power*/daya nyata, *Active Power*/daya aktif dan *Reactive Power*/daya reaktif) berdasarkan prinsip trigonometri.



Gambar 2.7 Diagram Faktor Daya

Sumber: <https://123dok.com/document/z14m3lpz-modul-praktikum-pengukuran-besaran-litrik.html>²

2.5.2 Daya Aktif

Daya aktif (*Active Power*) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah Watt. Misalnya energi panas, cahaya, mekanik dan lain – lain.

$$P \text{ (1 Fasa)} = V \times I \times \cos \varphi \quad (2.3)$$

$$P \text{ (3 Fasa)} = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I_L \times \cos \varphi \quad (2.4)$$

Keterangan:

P = Daya aktif (Watt)

I = Arus (Ampere)

V_{L-L} = Tegangan fasa-fasa (Volt)

2.5.3 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks

² A. Belly, A. Dadan H, C. Agusman, and B. Lukman, "Daya aktif, reaktif & nyata," Jakarta, 2010



medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu pijar dan lain-lain. Satuan daya reaktif adalah Var.

$$Q \text{ (1 Fasa)} = V \times I \times \sin \varphi \quad (2.5)$$

$$Q \text{ (3 Fasa)} = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I_L \times \sin \varphi \quad (2.6)$$

Keterangan:

$$Q = \text{Daya Reaktif (Var)}$$

$$I = \text{Arus (Ampere)}$$

$$V_{L-L} = \text{Tegangan fasa-fasa (Volt)}$$

2.5.4 Daya Semu

Daya Semu disimbolkan dengan (S) adalah daya listrik yang berjalan di penghantar distribusi atau transmisi. Jika ada total yang tersedia, nantinya daya tersebut bisa diserap kembali untuk rangkaian AC. Namun bisa jadi daya total tersebut justru akan dihaburkan. Satuan daya semu adalah VA.

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

Keterangan:

$$S = \text{Daya Semu (VA)}$$

$$I = \text{Arus (Ampere)}$$

$$V = \text{Tegangan (Volt)}$$

2.5.5 Faktor Daya (Cos φ)

Faktor daya (Cos φ) dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya nyata (VA) yang digunakan dalam sirkuit AC atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam cos φ .

$$\cos \varphi = P / S \quad (2.7)$$

Keterangan:

$$P = \text{Daya aktif (Watt)}$$

$$S = \text{Daya semu (VA)}$$

$$\cos \varphi = \text{Faktor daya}$$

Kisaran nominal faktor daya adalah antara 0 – 1 dan dapat juga dinyatakan dalam persen. Faktor daya yang bagus apabila bernilai mendekati satu.

$$\tan \phi = Q / P \quad (2.8)$$

Keterangan:

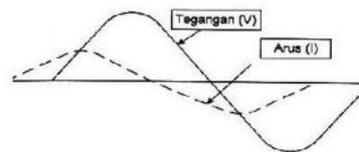
Q = Daya Reaktif (Var)

P = Daya aktif (Watt)

Faktor daya terdiri dari dua sifat yaitu faktor daya *leading* dan faktor daya *lagging*. Faktor daya ini memiliki karakteristik seperti berikut:

a. Faktor Daya *Leading*

Apabila arus mendahului tegangan, maka faktor daya ini dikatakan *leading*. Faktor daya *leading* ini terjadi apabila bebannya kapasitif, seperti kapasitor, generator sinkron, dan lain-lain.

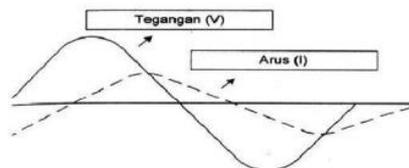


Gambar 2.8 Faktor Daya *Leading*

Sumber: <http://aloekmantara.blogspot.com/2015/04/?m=1>

b. Faktor Daya *Lagging*

Apabila tegangan mendahului arus, maka faktor daya ini dikatakan *lagging*. Faktor daya *lagging* ini terjadi apabila bebannya induktif, seperti motor induksi, AC dan transformator.



Gambar 2.9 Faktor Daya *Lagging*

Sumber: <http://aloekmantara.blogspot.com/2015/04/?m=1>



2.6 Beban Motor Listrik

Beban motor listrik adalah beban yang mengacu kepada keluaran tenaga putar/torsi sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban motor listrik umumnya dapat dikategorikan menjadi tiga kelompok, yaitu:

2.6.1 Beban Dengan Torsi Konstan

Beban torsi konstan adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya namun torsi nya tidak bervariasi. Contoh beban dengan torsi konstan adalah *conveyors*, *rotary kilns*, dan pompa *displacement* konstan.

2.6.2 Beban Dengan Torsi yang Variabel

Beban dengan torsi yang variable adalah beban dengan torsi yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan torsi yang variabel adalah pompa sentrifugal dan kipas angin (torsi bervariasi sebagai kuadrat kecepatan).

2.6.3 Beban Dengan Energi Konstan

Beban dengan energi konstan adalah beban dengan permintaan torsi yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan gaya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.

2.7 Perhitungan Daya Masukan dan Beban Motor Induksi³

Dengan parameter terukur yang diambil dari alat ukur, untuk menghitung daya masukan tiga fasa ke motor dapat menggunakan persamaan 2.9 dan persamaan 2.10. Selanjutnya untuk mengukur beban-beban motor dapat dilakukan dengan cara membandingkan daya input yang diukur dengan daya yang diperlukan ketika motor beroperasi pada kapasitas yang dimiliki motor.

$$P_i = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \quad (2.9)$$

³ I Nyoman Bagia dan I Made Parsa, Motor-motor Listrik Untuk Mahasiswa dan Umum, 2018.



Keterangan:

- Pi = Daya masukan (kW)
V = Tegangan terukur (Volt)
I = Arus terukur (Ampere)
Cos φ = Faktor daya terukur

Alat analisis daya dapat mengukur nilai daya secara langsung. Industri yang tidak memiliki alat analisis daya dapat menggunakan multimeter atau clamp meter untuk mengukur tegangan, arus, dan faktor daya untuk menghitung daya yang masuk. Menghitung nilai daya berdasarkan nilai nameplate dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_{ir} = P_{or} \times (0,7457 / \text{Eff}) \quad (2.10)$$

Keterangan:

- P_{ir} = Daya masukan pada beban penuh (kW)
P_{or} = Nilai HP pada nameplate
Eff = Efisiensi pada beban penuh (nilai pada nameplate atau tabel spesifikasi motor)

$$\text{Beban} = (P_i / P_{ir}) \times 100\% \quad (2.11)$$

Keterangan:

- Beban = Beban pada motor pompa (%)
P_i = Daya masukan (kW)
P_{ir} = Daya masukan pada beban penuh (kW)