

## **BAB II**

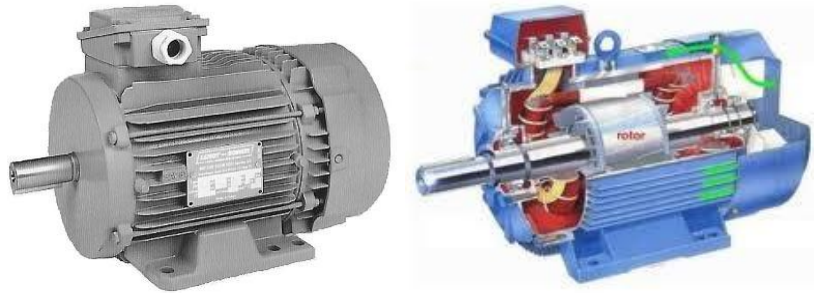
### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### 2.1 Motor Induksi

Motor listrik 3 fasa adalah motor yang bekerja dengan memanfaatkan perbedaan fasa pada sumber untuk menimbulkan gaya putar pada bagian rotornya. Perbedaan fasa pada motor 3 phase didapat langsung dari sumber. Hal tersebut yang menjadi pembeda antara motor 1 fasa dengan motor 3 fasa. Secara umum, motor 3 fasa memiliki dua bagian pokok, yakni stator dan rotor. Bagian tersebut dipisahkan oleh celah udara yang sempit atau yang biasa disebut dengan air gap. Jarak antara stator dan rotor yang terpisah oleh air gap sekitar 0,4 milimeter sampai 4 milimeter.

Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik (AC) yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan oleh arus stator.

Motor induksi sangat banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga. Motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi 3-fase dan motor induksi 1-fase. Motor induksi 3-fase dioperasikan pada sistem tenaga 3-fase dan banyak digunakan di dalam berbagai bidang industri dengan kapasitas yang besar. Motor induksi 1-fase dioperasikan pada sistem tenaga 1-fase dan banyak digunakan terutama untuk peralatan rumah tangga seperti kipas angin, lemari es, pompa air, mesin cuci dan sebagainya karena motor induksi 1-fase mempunyai daya keluaran yang rendah.



Gambar 2.1. Bentuk tampilan luar dan tampilan dalam motor induksi 3 fasa



Gambar 2.2. Penggunaan motor induksi di dunia industry

Data-data motor induksi mengenai daya, tegangan dan data lain yang berhubungan dengan kerja motor induksi dibuatkan pada plat nama (*name plate*) motor induksi. Contoh data yang ditampilkan pada plat nama motor induksi ini diperlihatkan pada gambar berikut



Gambar 2.3. Foto nameplate pada sebuah motor induksi

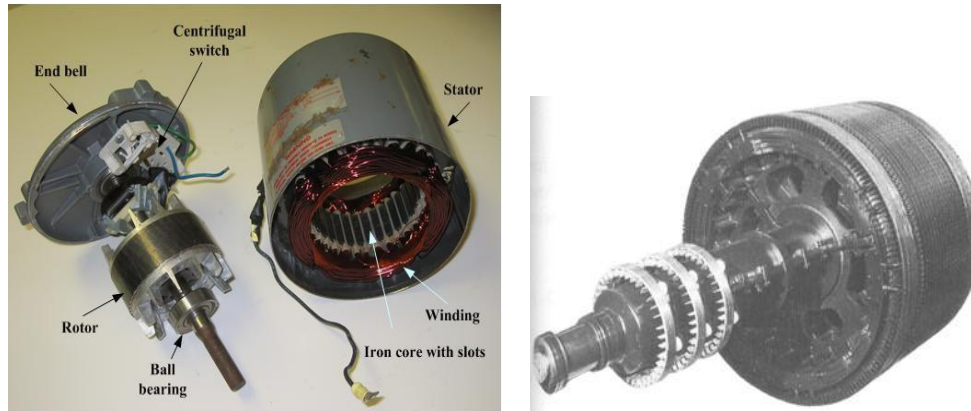
## 2.2 Konstruksi Motor Induksi

Konstruksi motor induksi secara detail terdiri dua bagian, yaitu: bagian stator dan bagian rotor

### 2.2.1 Stator ( bagian motor yang diam)

Stator adalah bagian motor yang diam yang terdiri dari badan motor, inti stator, belitan stator, bearing dan terminal box. Sedangkan bagian rotor adalah bagian motor yang berputar, terdiri atas rotor sangkar dan poros rotor. Konstruksi motor induksi tidak ada bagian rotor yang bersentuhan dengan stator, karena dalam motor induksi tidak ada komutator dan sikat arang, selain itu juga konstruksi motor induksi lebih sederhana di bandingkan dengan motor DC, dikarenakan tidak ada komutator dan sikat arang sehingga pemeliharaan motor induksi sangat mudah yaitu di bagian mekaniknya saja, dan konstruksinya juga begitu sederhana serta motor induksi sangat handal dan jarang sekali rusak secara elektrik. Bagian motor induksi yang perlu di pelihara rutin adalah pelumas bearing, dan pemeriksaan kekencangan baut-baut kabel pada terminal box apabila terjadi kondor atau lepas akibat pengaruh getaran secara terus menerus.

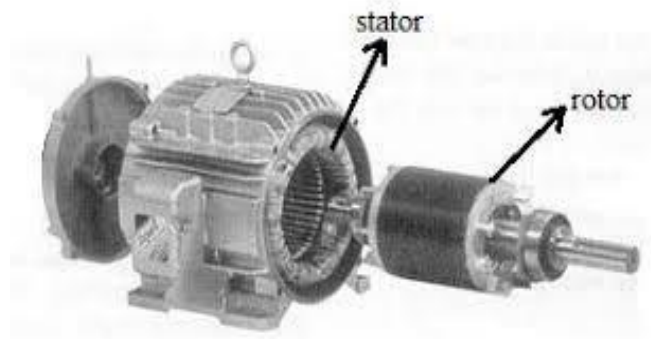
Pada bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari tiga fasa yang disebut kumparan stator, yang masing-masing kumparan mendapatkan suplai arus tiga fasa. Stator terdiri dari pelat besi yang disusun sama besar dengan rotor dan pada bagian dalam mempunyai banyak alur-alur yang diberi kumparan kawat tembaga yang berisolasi. Lalu akan timbul flux medan putar, karena adanya flux medan putar pada kumparan stator, mengakibatkan rotor berputar karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar sinkron dengan kecepatan putar stator.



Gambar 2.4. Bentuk konstruksi motor induksi berupa stator dan rotor

### 2.2.2. Rotor ( bagian motor yang bergerak)

Merupakan bagian yang bergerak akibat adanya induksi magnet dari kumparan stator yang diinduksikan kepada kumparan rotor. Berdasarkan hukum faraday tentang imbas magnet, maka medan putar yang secara relative merupakan medan magnet yang bergerak terhadap penghantar rotor akan mengimbaskan gaya gerak listrik (ggl). Frekuensi imbas ggl ini sama dengan frekuensi jala-jala (sumber). Besarnya ggl imbas ini berbanding lurus dengan kecepatan relative antara medan putar dan penghantar rotor. penghantar dalam rotor yang membentuk suatu rangkaian tertutup, merupakan rangkaian pelaju arus rotor dan searah dengan hukum yang berlaku yaitu hukum lenz. Dalam hal ini arus rotor ditimbulkan karena adanya perbedaan kecepatan yang berada diantara fluks atau medan putar stator dengan penghantar yang diam. Rotor akan berputar dalam arah yang sama dengan arah medan putar stator.



### Gambar 2.5. Konstruksi motor induksi antara bagian rotor dan stator

Konstruksi stator motor induksi pada dasarnya terdiri dari bahagian-bahagian sebagai berikut.

Rumah stator (rangka stator) dari besi tuang.

1. Inti stator dari besi lunak atau baja silikon.
2. Alur, bahannya sama dengan inti, dimana alur ini merupakan tempat meletakkan belitan (kumparan stator).
3. Belitan (kumparan) stator dari tembaga.

Rangka stator motor induksi ini didisain dengan baik dengan empat tujuan yaitu:

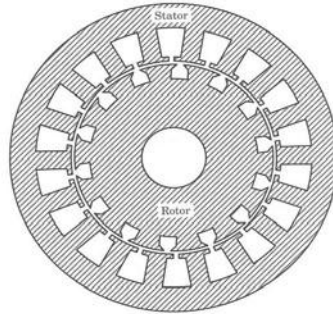
1. Menutupi inti dan kumparannya.
2. Melindungi bagian-bagian mesin yang bergerak dari kontak langsung dengan manusia dan dari goresan yang disebabkan oleh gangguan objek atau gangguan udara terbuka (cuaca luar).
3. Menyalurkan torsi ke bagian peralatan pendukung mesin dan oleh karena itu stator didisain untuk tahan terhadap gaya putar dan guncangan.
4. Berguna sebagai sarana rumah ventilasi udara sehingga pendinginan lebih efektif.

Berdasarkan bentuk konstruksi rotornya, maka motor induksi dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu

1. Motor induksi dengan rotor sangkar (squirrel cage).
2. Motor induksi dengan rotor belitan (wound rotor)

Konstruksi rotor motor induksi terdiri dari bahagian-bahagian sebagai berikut.

1. Inti rotor, bahannya dari besi lunak atau baja silikon sama dengan inti stator.
2. Alur, bahannya dari besi lunak atau baja silikon sama dengan inti. Alur merupakan tempat meletakkan belitan (kumparan) rotor.
3. Belitan rotor, bahannya dari tembaga.
4. Poros atau as.



Gambar 2.6. Ilustrasi sederhana dari alur atau slot pada motor induksi

### 2.3 Prinsip Kerja Motor Induksi

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Bila kumparan stator motor induksi 3-fasa yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan 3-fasa, maka kumparan stator akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul emf (ggl) atau tegangan induksi. Karena penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor. Penghantar (kumparan) rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami gaya Lorentz yang menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator.

Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus; dan sesuai dengan Hukum Lenz, rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. Jadi. Bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun.

Pada dasarnya ada beberapa prinsip penting pada motor-motor induksi, Yaitu

- a. Apabila sumber tegangan tiga fasa di pasang pada kumparan stator timbulah medan putar dengan kecepatan.
- b. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor
- c. Akibatnya pada kumparan rotor timbul (  $\mathcal{E}$  ) sebesar :  

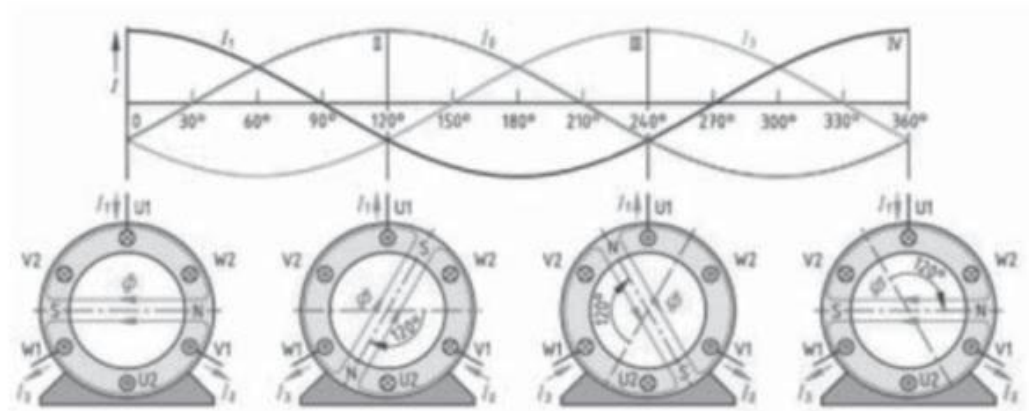
$$\mathcal{E} = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot \Phi \cdot \omega \cdot \sin(\omega t) \dots \dots \dots (2.1)$$
- d. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup,  $\mathcal{E}$  (E) akan menghasilkan arus (I).
- e. Adanya arus didalam medan magnet menimbulkan gaya pada motor.
- f. Bila kopel mulai dihasilkan oleh gaya(F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
- g. Tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator ( $n_s$ ) dengan kecepatan berputar rotor ( $n_r$ ).
- h. Perbedaan kecepatan antara  $n_r$  dan  $n_s$  disebut slip(s) dinyatakan dengan :  

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\%$$
- i. Bila  $n_r = n_s$ , tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar (rotor), dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan apabila  $n_r$  lebih kecil dari  $n_s$ .
- j. Dilihat dari cara kerjanya maka motor tak serempak disebut juga motor induksi atau motor asinkron.

Prinsip kerja motor induksi ini juga dapat dijelaskan dengan gelombang sinusoidal seperti pada gambar 2.6, terbentuknya medan putar pada stator motor induksi.

Tampak stator dengan dua kutub, dapat diterangkan dengan empat kondisi





Gambar 2.7. Bentuk gelombang dan timbulnya medan putar pada stator motor induksi

1. Saat sudut  $0^\circ$ . Arus bernilai positif sedangkan arus  $I_2$  dan arus  $I_1$  bernilai negatif dalam hal ini belitan  $V_2$ ,  $U_1$  dan  $W_2$  bertanda silang (arus meninggalkan pembaca), dan belitan  $V_1$ ,  $U_2$  dan  $W_1$  bertanda titik (arus listrik menuju pembaca). terbentuk fluks magnet pada garis horizontal sudut  $0^\circ$  kutub S (south=selatan) dan kutub N (north-utara).
2. Saat sudut  $120^\circ$ . Arus  $I_1$  bernilai positif sedangkan arus  $I_2$  dan arus  $I_3$  bernilai negatif, dalam hal ini belitan  $W_1$ ,  $V_2$  dan  $U_1$ , bertanda silang (arus meninggalkan pembaca), kawat  $W_1$ ,  $V_2$ , dan  $U_1$ , bertanda titik (arus menuju pembaca). Garis fluks magnet kutub S dan N bergeser  $120^\circ$  dari posisi awal.
3. Saat sudut  $240^\circ$ . Arus  $I_3$  bernilai positif dan  $I_1$  dan  $I_2$  bernilai negatif, belitan  $U_2$ ,  $W_1$ , dan  $V_2$  bertanda silang (arus meninggalkan pembaca), dan kawat  $U_1$ ,  $W_2$ , dan  $V_1$  bertanda titik (arus menuju pembaca). Garis fluks magnet kutub S dan N bergeser  $120^\circ$  dari posisi kedua.
4. Saat sudut  $360^\circ$ . Posisi ini sama dengan saat sudut  $0^\circ$ . Dimana kutub S dan N kembali keposisi awal sekali. Dari keempat kondisi diatas saat sudut  $0^\circ$ ;  $120^\circ$ ;  $240^\circ$ ;  $360^\circ$ , dapat dijelaskan terbentuknya medan putar pada stator, medan magnet putar stator akan memotong belitan rotor. Kecepatan medan putar stator ini sering disebut kecepatan sinkron, tidak dapat diamati dengan alat ukur tetapi dapat dihitung secara teoritis yaitu dengan menggunakan rumus :

$$n_s = f \times 120 / p$$

Dimana

$n_s$  = Kecepatan putaran medan stator (Rpm)

$f$  = Frekuensi jala-jala (Hz)

120 = Konstanta

$P$  = Jumlah kutub pada motor (pole)

#### 2.4 Efisiensi pada Motor Induksi

Efisiensi motor dapat didefinisikan sebagai “perbandingan daya keluaran motor yang digunakan terhadap daya masukan pada terminalnya”, yang dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\eta = \frac{\text{Daya keluaran}}{\text{Daya masukan}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan :  $\eta$  = efisiensi motor (%)

Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi 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 dari pada motor dengan rotor belitan / cincin geser.
5. Suhu. Motor yang didinginkan oleh fan dan tertutup total (TEFC) lebih efisien daripada motor *screen protected drip-proof* (SPDP).
6. Penggulungan ulang motor dapat mengakibatkan penurunan efisiensi.
7. Beban, seperti yang dijelaskan dibawah

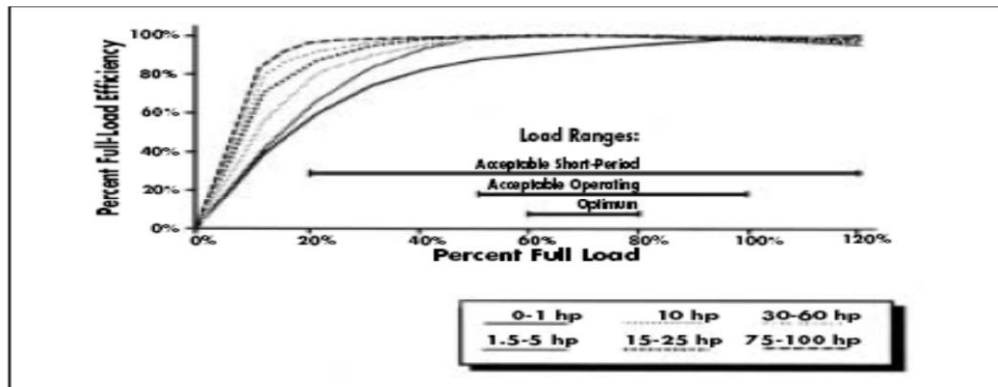
Efisiensi motor ditentukan oleh rugi-rugi atau kehilangan dasar yang hanya dapat dikurangi oleh perubahan pada rancangan dasar motor dan kondisi sistem operasi. Kehilangan dapat bervariasi dari kurang lebih dua persen hingga 20 persen.

Tabel 2.1 Memperlihatkan jenis kehilangan untuk motor induksi.

**Tabel 1. Jenis Kehilangan pada Motor Induksi (BEE India, 2004)**

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

Terdapat hubungan yang jelas antara efisiensi motor dan beban. Pabrik motor membuat rancangan motor untuk beroperasi pada beban 50-100% dan akan paling efisien pada beban antara 75% samapi dengan 80%.. Tetapi, jika beban turun dibawah 50% efisiensi turun dengan cepat seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8

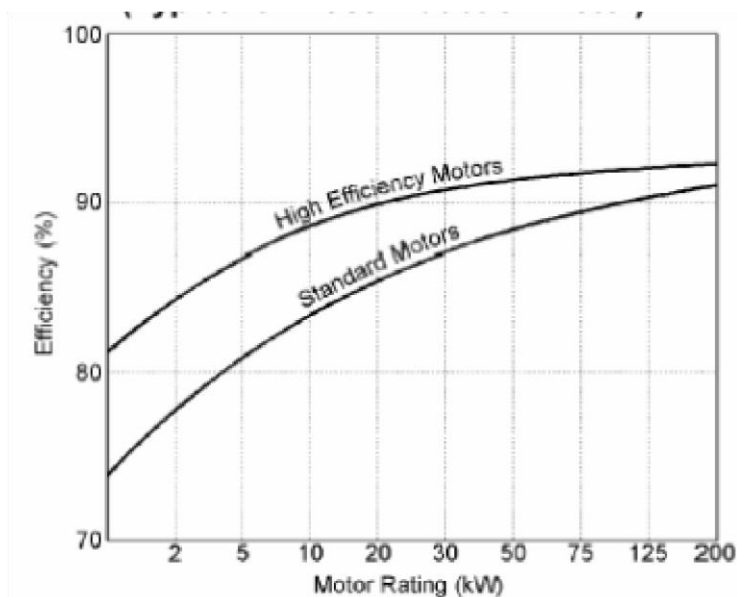


Gambar 2.8. Perbandingan grafik antara efisiensi dan beban

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. Bentuk perbandingan karakteristik antara motor induksi yang berefisiensi tinggi dengan motor standar dipelihatkan pada gambar 2.9.

Untuk alasan ini maka dalam mengkaji kinerja motor akan bermanfaat bila menentukan beban dan efisiensinya. Pada hampir kebanyakan negara, merupakan persyaratan bagi fihak pembuat untuk menuliskan efisiensi beban penuh pada pelat label / plat nama motor. Namun demikian, bila motor beroperasi untuk waktu yang

cukup lama, kadang-kadang tidak mungkin untuk mengetahui efisiensi tersebut sebab pelat label motor kadangkala sudah hilang atau sudah dicat. Untuk mengukur efisiensi motor, maka motor harus dilepaskan sambungannya dari beban dan dibiarkan untuk melalui serangkaian uji. Hasil dari uji tersebut kemudian dibandingkan dengan grafik kinerja standar yang diberikan oleh pembuatnya. Jika tidak memungkinkan untuk memutuskan sambungan motor dari beban, perkiraan nilai efisiensi didapat dari tabel khusus untuk nilai efisiensi motor.



Gambar 2.9. Perbandingan antara motor yang berefisiensi tinggi dengan

## 2.5. Pompa Kondensat

Sebuah pompa kondensat adalah jenis tertentu pompa yang digunakan untuk memompa kondensat (air) diproduksi dalam HVAC (pemanasan atau pendinginan), pendinginan, kondensasi boiler tungku, atau uap sistem.

Pompa kondensat dapat digunakan untuk memompa kondensat yang dihasilkan dari uap air laten dalam salah satu campuran gas berikut ini:

- Udara gedung yang dikondisikan (didinginkan atau dipanaskan)
- Udara yang didinginkan dalam sistem pendingin dan pembekuan

- Uap dalam penukar panas dan radiator
- Aliran buangan dari tungku berefisiensi sangat tinggi.

Sistem pemulihan kondensat membantu mengurangi tiga biaya nyata dari produksi uap:

- Biaya bahan bakar / energi
- Riasan air boiler dan pengolahan limbah
- Perawatan kimia air boiler

#### 2.5.1. Konstruksi dan Pengoperasian Motor Pompa Kondensat

Pompa kondensat digunakan dalam sistem hidrolis yang tidak dapat membuang kelebihan air kondensat melalui umpan gravitasi. Pompa kondensat biasanya merupakan pompa sentrifugal bertenaga listrik. Mereka digunakan untuk menghilangkan air kondensat dari sistem HVAC yang tidak dapat dicapai melalui gravitasi, dan oleh karena itu air harus dipompa.

Unit rumah sering kali berukuran kecil dan pompa diberi nilai sebagian kecil dari tenaga kuda, tetapi dalam aplikasi komersial, pompa dan motor jauh lebih tinggi. Pompa industri besar juga dapat berfungsi sebagai pompa air umpan untuk mengembalikan kondensat di bawah tekanan ke boiler.

Pompa kondensat biasanya bekerja sesekali dan memiliki tangki tempat kondensat dapat terakumulasi. Akhirnya, cairan yang terakumulasi menaikkan sakelar pelampung yang memberi energi pada pompa. Pompa kemudian bekerja sampai level cairan di dalam tangki diturunkan secara substansial. Beberapa pompa memiliki sakelar dua tahap. Saat cairan naik ke titik pemicu tahap pertama, pompa diaktifkan. Jika cairan terus naik (mungkin karena pompa rusak atau pelepasannya tersumbat), tahap kedua akan dijalankan. Tahap ini dapat mematikan peralatan HVAC (mencegah produksi kondensat lebih lanjut), memicu alarm, atau keduanya.

Beberapa sistem mungkin menyertakan dua pompa untuk mengosongkan tangki. Dalam hal ini, dua pompa sering bergantian beroperasi, dan sakelar dua tahap berfungsi untuk memberi energi pada pompa yang sedang bertugas pada tahap pertama dan kemudian memberi energi pada pompa yang tersisa pada tahap kedua.

Tindakan tahap kedua ini merupakan tambahan dari pemicu perubahan sistem lainnya seperti yang dicatat untuk instalasi pompa tunggal. Dengan cara ini waktu kerja pompa dibagi antara keduanya, dan pompa cadangan disediakan jika satu pompa gagal berfungsi.

Pompa kecil memiliki tangki yang berkisar dari 2 hingga 4 liter (0,5 hingga 1 galon) dan biasanya didukung menggunakan flensa pada tangki mereka atau hanya ditempatkan di atas lantai. Impeler plastik dalam volute yang dicetak di bagian bawah pompa menyediakan aksi pemompaan; impeler ini terhubung ke motor melalui poros logam yang mengarah ke bawah dari motor yang dipasang di atas bagian atas tangki. Pompa besar biasanya merupakan cairan penarik yang dipasang di bantalan dari tangki (bah) di bawah lantai. Pompa terkecil mungkin tidak memiliki tangki sama sekali dan hanya ditempatkan di dalam wadah seperti panci tetes alat dehumidifier.

Di sebagian besar daerah, air kondensat harus dipompa ke luar hunian; umumnya memasukkan air kondensat ke dalam pipa saluran pembuangan tidak diizinkan. Selanjutnya, ini akan membutuhkan jebakan, untuk memastikan gas selokan tidak masuk kembali ke dalam hunian.