

## BAB II

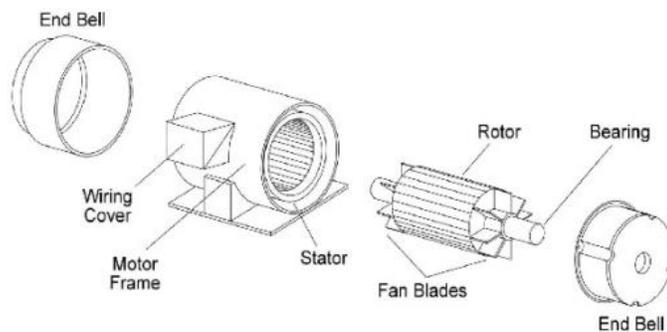
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Landasan Teori

*Monitoring* adalah suatu proses pengamatan atau pemantauan yang dilakukan secara sistematis terhadap situasi, atau aktivitas untuk memberikan informasi yang relevan.

*Monitoring* merupakan siklus kegiatan yang didalamnya terdapat pengumpulan, peninjauan ulang suatu proses yang sedang diimplementasikan. Sistem *monitoring* merupakan pemantauan penyampaian data untuk melihat penilaian terhadap kualitas dan efektivitas pada suatu sistem, (Setiawan et al., 2020).

##### 2.1.1 Motor induksi tiga fasa



Gambar 2.1 Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa

Sumber: (Novianto, 2022)

Motor induksi 3 fasa yaitu jenis mesin listrik yang lebih umum digunakan di dunia industri. Motor induksi 3 fasa dapat merubah energi listrik menjadi energi mekanik, yakni sebagai penggerak pada peralatan-peralatan produksi seperti *conveyor*, *crusher* (mesin penghancur), *fan* atau *blower*, pompa dan lain-lain. Motor induksi 3

phasa sering digunakan karena memiliki konstruksi sangat kuat, perawatan motor yang relatif mudah dan mempunyai efisiensi relatif tinggi pada keadaan normal. Sesuai kegunaannya, motor induksi 3 phasa diharuskan bekerja dengan semestinya, tetapi banyak sekali jenis gangguan yang terjadi untuk mengganggu motor induksi 3 phasa yang dapat merusak motor induksi 3 phasa. Motor induksi 3 phasa yang rusak perlu diperbaiki dan memerlukan biaya, semakin sering terjadi kerusakan akan semakin sering mengeluarkan biaya, ini sangat merugikan penggunanya. Penggunaan tanpa adanya pengendalian menimbulkan panas yang melampaui dan motor bisa terbakar. Oleh karena itu, motor induksi 3 phasa dirancang sedemikian rupa selalu dilengkapi dengan sistem proteksi, (Juni et al., 2020).



Gambar 2.2 Motor Induksi Tiga Fasa

Sumber: (Binaindojaya, 2021)

### **2.1.2 Bagian-bagian motor induksi tiga fasa**

Motor induksi tiga fasa memiliki dua komponen penting yang bekerja bersama untuk menghasilkan tegangan listrik dengan menggunakan prinsip medan

elektromagnetik, bagian-bagian utama dari motor induksi tiga fasa meliputi rotor dan stator, untuk memahami lebih lanjut akan dibahas secara rinci sebagai berikut:

a. Rotor

Rotor merupakan bagian yang berputar. Bagian ini terdiri atas inti rotor, belitan rotor dan alur rotor. Terdapat dua jenis rotor yaitu rotor belitan (*wound rotor*) dan rotor sangkar (*squirrel cage rotor*), (Lamhot, 2011).



Gambar 2.3 *Wound Rotor*

Sumber: (Indobeltraco, n.d.)



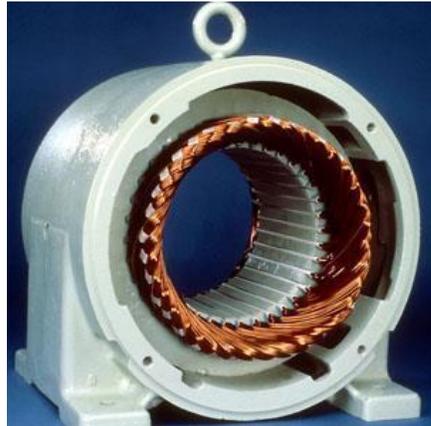
Gambar 2.4 *Squirrel Rotor*

Sumber: (Mukhlis, 2015)

b. Stator

Stator merupakan bagian pada motor listrik yang berfungsi sebagai stasioner dari sistem rotor. Jadi penempatan stator biasanya mengelilingi rotor, stator bisa berupa

gulungan kawat tembaga yang berinteraksi dengan angker dan membentuk medan magnet untuk mengatur perputaran rotor, (Prayogo, 2019).



Gambar 2.5 Stator

Sumber: (Dedy Denuari, 2017)

### **2.1.3 Prinsip kerja motor induksi tiga fasa**

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator pada 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 gaya gerak listrik (Emf) atau tegangan induksi. Karena penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor. 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 motor. 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. Dan apabila sumber tegangan tiga fasa dihubungkan ke terminal stator maka pada kumparan tegangan (stator) akan timbul arus yang menghasilkan fluksi, (Nurcahyo, 2017). Nilai kecepatan putar stator dapat diketahui menggunakan persamaan:

$$N_s = \frac{120f}{p} \quad (2.1)$$

Dimana:

$N_s$  = Kecepatan putar stator (rpm)

$f$  = Frekuensi (Hz)

$p$  = Jumlah kutub

Kemudian untuk memperoleh nilai kecepatan putar rotor maka menggunakan persamaan:

$$N_r = N_s \times (1 - s) \quad (2.2)$$

Dimana:

$s$  = Slip (%)

$N_s$  = Kecepatan putar stator (rpm)

$N_r$  = Kecepatan putar rotor (rpm)

Nilai perbedaan kecepatan medan stator dan kecepatan rotor (slip) pada motor dapat diketahui menggunakan persamaan:

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\% \quad (2.3)$$

Dimana:

$s$  = Slip (%)

$N_s$  = Kecepatan putar stator (rpm)

$N_r$  = Kecepatan putar rotor (rpm)

Torsi adalah kekuatan perputaran rotor yang menghasilkan rotasi. Hal ini menyebabkan objek untuk berputar/bergerak. Torsi terdiri dari gaya yang bekerja pada jarak. Secara umum torsi (*torque*) merupakan gaya yang dikeluarkan motor untuk menggerakkan misal pada conveyor dengan jarak dan arah tertentu, (Ramadhan, 2022).

Nilai torsi pada motor induksi tiga fasa dapat diketahui menggunakan persamaan:

$$\tau = \frac{P}{\omega} \quad (2.4)$$

Dimana:

$\tau$  = Torsi (Nm)

$P$  = Daya (Watt)

$\omega$  = Kecepatan sudut (rad/s)

Kecepatan sudut ( $\omega$ ) dalam satuan rad/s dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\omega = \frac{\text{Rotation (rpm)} \times 2\pi}{60} \quad (2.5)$$

Dimana:

$\omega$  = Kecepatan sudut (rad/s)

Rotation = Kecepatan putar motor (rpm)

#### 2.1.4 Efisiensi motor

Efisiensi motor induksi adalah ukuran keefektifan motor induksi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanis yang dinyatakan sebagai perbandingan antara masukan dan keluaran atau dalam bentuk energi listrik berupa perbandingan watt keluaran dan watt masukan, (Novianto et al., 2022). Efisiensi pada motor induksi tiga fasa dapat diketahui menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{E_{output}}{E_{input}} \times 100\% \quad (2.6)$$

Dimana:

$\eta$  = Efisiensi motor listrik (%)

$E_{out}$  = Energi output motor listrik (Watt-hour)

$E_{in}$  = Energi input motor listrik (Watt-hour)

#### 2.1.5 Rugi-rugi pada motor induksi

Rugi-rugi pada motor induksi dibagi menjadi 4 (Arkof, 2022) meliputi:

##### a. Rugi-rugi inti

Rugi-rugi inti diperoleh pada besi magnetis di dalam stator dan rotor akibat timbulnya efek histeresis dan arus pusar (*eddy current*). Timbulnya rugi-rugi inti ketika besi jangkar atau struktur rotor mengalami perubahan *fluks* terhadap waktu. Rugi-rugi ini tidak tergantung pada beban, tetapi merupakan fungsi dari pada *fluks* dan kecepatan

motor. Rugi-rugi inti berkontribusi pada panas yang dihasilkan dalam inti motor. Panas terakumulasi dalam inti motor akibat rugi-rugi histeresis dan arus pusar tersebut. Pada umumnya rugi-rugi inti berkisar antara 20 - 25% dari total kerugian daya motor pada keadaan nominal.

$$Rugi - rugi_{inti} = Energi\ input - Energi\ output \times 0,25 \quad (2.7)$$

b. Rugi-rugi mekanik

Rugi-rugi gesekan dan angin adalah energy mekanik yang dipakai dalam motor listrik untuk menanggulangi gesekan batalan poros, gesekan sikat melawan komutator atau *slip ring*, gesekan dari bagian yang berputar terhadap angin, terutama pada daun kipas pendingin. Rugi-rugi mekanik biasanya berkisar antara 10 – 15% dari total rugi-rugi daya motor pada keadaan beban nominal.

$$Rugi - rugi_{mekanik} = Energi\ input - Energi\ output \times 0,15 \quad (2.8)$$

c. Rugi-rugi belitan

Rugi-rugi belitan atau sering disebut rugi-rugi tembaga, rugi-rugi ini hanya terdapat pada motor listrik dengan ukuran sangat kecil diatas 750 W dan mempunyai belitan stator dari kawat-kawat alumunium. Pada umumnya rugi-rugi belitan berkisar antara 55 - 60% dari total rugi-rugi motor pada keadaan beban nominal.

$$Rugi - rugi_{stator} = Energi\ input - Energi\ output \times 0,34 \quad (2.9)$$

$$Rugi - rugi_{rotor} = Energi\ input - Energi\ output \times 0,21 \quad (2.10)$$

d. Rugi-rugi *stray load*

Rugi-rugi *stray load* merupakan rugi-rugi yang diakibatkan oleh perubahan *fluks* terhadap beban tidak dapat dihitung berapa besarnya, sehingga arus terbagi menjadi sedikit dan tidak merata dalam konduktor, mengakibatkan penambahan konduktor. Pada umumnya rugi-rugi *stray load* berkisar 1 – 5% dari total rugi-rugi daya motor pada keadaan beban nominal.

$$Rugi - rugi_{stray load} = Energi input - Energi output \times 0,05 \quad (2.11)$$

Tabel 2.1 Jenis Rugi-rugi Motor Induksi Tiga Fasa

Jenis Rugi-rugi	Persentase Rugi-rugi Total (%)
Rugi-rugi tetap atau rugi-rugi inti	25
Rugi-rugi variable: rugi-rugi pada stator	34
Rugi-rugi variable: rugi-rugi pada rotor	21
Rugi-rugi mekanik	15
Rugi-rugi <i>stray load</i> (beban menyimpang)	5

Tabel 2.1 menunjukkan nilai persentase rugi-rugi total pada motor induksi tiga fasa yang terdiri dari rugi-rugi inti, rugi-rugi pada stator, rugi-rugi pada rotor, rugi-rugi mekanik, dan rugi-rugi *stray load* (beban menyimpang).

### 2.1.6 Pengaruh beban terhadap energi pada motor induksi tiga fasa

Energi didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan kerja atau usaha. Sedangkan energi listrik adalah energi yang ditimbulkan oleh muatan listrik (statis) sehingga mengakibatkan gerakan muatan (dinamis), (Garci Reyes, 2019). Nilai energi listrik dapat diketahui menggunakan persamaan:

$$E = P \times t \quad (2.12)$$

Dimana:

E = Energi (Wh)

P = Daya (Watt)

t = Waktu (jam)

Energi listrik terbagi menjadi beberapa jenis besaran listrik meliputi tegangan, arus, daya, frekuensi, dan faktor daya (*power factor*), untuk memahami lebih lanjut akan dibahas secara rinci sebagai berikut:

a. Tegangan

Tegangan atau beda potensial (*voltage*) adalah kerja yang dilakukan untuk menggerakkan satu muatan (sebesar satu *coulomb*) pada elemen atau komponen dari satu terminal/kutub ke terminal/kutub lainnya, atau pada kedua terminal/kutub akan mempunyai beda potensial, (Nugroho,Nalaprana.Agustina, 2013). Nilai tegangan dapat diketahui menggunakan persamaan:

$$V = I \times R \quad (2.13)$$

Dimana:

V = Tegangan listrik (V)

I = Arus listrik (I)

R = Hambatan listrik (ohm)

b. Arus listrik

Arus listrik merupakan energi yang dapat disalurkan melalui penghantar berupa kabel. Arus listrik ini timbul karena adanya perubahan muatan yang pindah melewati suatu titik per muatan waktu dalam suatu konduktor listrik, (Satya et al., 2020). Nilai arus listrik pada motor induksi tiga fasa dapat diketahui menggunakan persamaan:

$$I = \frac{P}{V \times \cos\phi \times \sqrt{3}} \quad (2.14)$$

Dimana:

I = Arus listrik (A)

P = Daya (Watt)

V = Tegangan listrik (V)

$\cos\phi$  = Faktor daya

c. Daya

Dalam sistem tenaga listrik, daya adalah energi yang dipakai untuk melakukan usaha atau kerja, seperti panas, suara, mekanik dan cahaya. Jenis bentuk daya pada jaringan listrik AC dengan bentuk gelombang sinusoidal yakni adalah daya semu, daya aktif dan daya reaktif, (Putra & Mukhaiyar, 2020). Nilai daya listrik dapat diketahui menggunakan persamaan:

$$P = V \times I \quad (2.15)$$

Dimana:

P = Daya (Watt)

V = Tegangan listrik (V)

I = Arus listrik (A)

Daya pada suatu sistem motor induksi tiga fasa dibagi menjadi tiga macam yaitu daya aktif/nyata, daya reaktif, dan daya semu, untuk memahami lebih lanjut akan dibahas secara rinci sebagai berikut:

#### 1) Daya Aktif

Daya aktif atau nyata merupakan daya yang digunakan oleh konsumen yang dipakai pada beban. Simbolnya adalah P dan mempunyai satuan ialah W (Watt), (Putra & Mukhaiyar, 2020). Nilai daya aktif tiga fasa dapat diketahui menggunakan persamaan:

$$P = V \times I \times \cos \varphi \times \sqrt{3} \quad (2.16)$$

Dimana:

P = Daya aktif (Watt)

V = Tegangan listrik (V)

I = Arus listrik (I)

$\cos \varphi$  = Faktor daya

#### 2) Daya Reaktif

Daya Reaktif adalah daya yang dapat digunakan untuk menghasilkan medan magnet, daya tersebut dapat diserap atau dikembalikan ke sumbernya. Simbolnya adalah Q dengan satuannya adalah VAR (*VoltAmpere-Reactive*), (Putra & Mukhaiyar, 2020). Nilai daya reaktif tiga fasa dapat diketahui menggunakan persamaan:

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \times \sqrt{3} \quad (2.17)$$

Dimana:

Q = Daya reaktif (VAR)

V = Tegangan listrik (V)

I = Arus listrik (I)

$\sin \varphi$  = Faktor reaktif

### 3) Daya Semu

Daya semu yakni daya yang terdapat dari generator pada system pembangkit listrik. Daya semu merupakan terdiri dari daya aktif dan daya reaktif. Simbol dari daya semu ialah S dan mempunyai satuan yaitu VA (*Volt Ampere*), (Putra & Mukhaiyar, 2020). Nilai daya semu tiga fasa dapat diketahui menggunakan persamaan:

$$S = V \times I \times \sqrt{3} \quad (2.18)$$

Dimana:

S = Daya semu (VA)

V = Tegangan listrik (V)

I = Arus listrik (I)

### d. Frekuensi

Frekuensi adalah jumlah periode dalam satu detik. PLN memiliki frekuensi 50 Hz, artinya dalam satu detik memiliki 50 periode. Di beberapa negara memiliki nilai

frekuensi sebesar 60 Hz, (Romadhona et al., 2023). Frekuensi dapat diketahui menggunakan persamaan:

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.19)$$

Dimana:

f = Frekuensi (Hz)

T = Periode dalam detik (s)

e. Faktor daya (*Power Factor*)

Faktor daya dapat diartikan sebagai sudut fasa atau  $\cos \varphi$  yang merupakan perbandingan antara daya aktif (W) dan daya semu (VA) yang dimana arus didalam suatu rangkaian terhadap arus total yang masuk kedalam sebuah rangkaian. Sudut fasa  $\varphi$  adalah selisih fase antara fase tegangan dan fasa arus, (Putra & Mukhaiyar, 2020).

Nilai faktor daya dapat diketahui menggunakan persamaan:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (2.20)$$

Dimana:

P = Daya aktif (Watt)

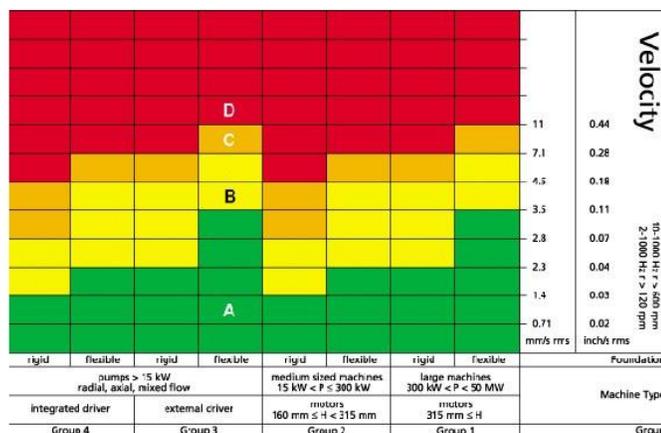
S = Daya semu (VA)

Pengaruh perubahan beban terhadap arus listrik pada motor induksi tiga fasa adalah mengakibatkan menurunnya efisiensi motor induksi tiga fasa. Hal tersebut disebabkan oleh adanya arus dan faktor daya yang naik pada saat frekuensi turun, sedangkan tegangan dan putaran motor akan turun seiring dengan turunnya frekuensi, (Raflesia & Drive, 2022).

### **2.1.7 Pengaruh beban terhadap getaran pada motor induksi tiga fasa**

Vibrasi motor adalah gerakan yang berulang-ulang dengan tempo yang cepat pada motor. Pada posisi netral (*neutral position*) maka pegas akan merenggang untuk mengimbangi beban. Jika pegas ini diberi gaya seketika dengan menariknya beban misalkan pada posisi bawah (*lower position*) kemudian langsung dilepaskan akan membuat beban bergerak bolak-balik dari posisi bawah menuju posisi atas dan seterusnya guna mengimbangi gaya seketika tersebut. Gerakan dari beban yang bergerak bolak-balik akan membentuk sebuah gelombang dengan domain waktu. Secara istilah, vibrasi motor (*Vibration of Motor*) diartikan sebagai gerakan bolak-balik dari motor secara utuh atau komponen mekanik motor sebagai reaksi dari adanya gaya yang mempengaruhinya baik itu gaya dalam maupun gaya luar. Kasus yang dominan terjadi dalam vibrasi motor adalah yang disebabkan oleh gaya eksitasi yang berasal dari motor itu sendiri, (Roza et al., 2020).

Perubahan nilai amplitude sinyal getaran sumbu x, sumbu y, dan sumbu z diakibatkan oleh pengujian dengan kondisi keseimbangan beban yang berbeda. Ketika tingkat keseimbangan berubah dari seimbang menjadi ketidakseimbangan 1 kemudian menjadi ketidakseimbangan 2, maka amplitude harmonik pita sampling sinyal arus dan getaran stator akan berubah, (Guclu et al., 2017).



Gambar 2.6 Standar ISO 10816-3

Sumber: (Satriya et al., 2022)

Nilai vibrasi suatu mesin yang beroperasi dapat ditentukan apakah mesin tersebut layak atau tidak layak untuk terus beroperasi. Berdasarkan standar yang digunakan, yaitu ISO 10816-3, (Satriya Guna Adnyana et al., 2022).

### 2.1.8 Pengaruh beban terhadap suhu pada motor induksi tiga fasa

Pada motor induksi rotor belitan, panas yang timbul biasanya diakibatkan oleh rugi-rugi yang terjadi pada sistem dalam motor itu sendiri. Sumber panas yang paling utama adalah rugi-rugi pada konduktor kumparan stator dan rotor yang dialiri arus. Sedangkan panas yang timbul pada inti, casing stator, celah udara di permukaan rotor maupun bagian lainnya merupakan hasil dari perpindahan panas belitan rotor maupun belitan stator dengan cara konduksi, konveksi maupun radiasi. Pada motor induksi rotor sangkar, bagian yang perlu diperhatikan dalam hal hubungan panasnya adalah bagian stator, karena pada bagian stator terdapat belitan yang memiliki batas ketahanan terhadap *temperature* yang jauh lebih rendah dibandingkan pada rotor. Sehingga pada

motor induksi rotor sangkar, panas perlu diperhatikan biasanya pada bagian stator, (Amien, 2016).

Kenaikan suhu dapat mempengaruhi kinerja motor induksi, bahwa menurunnya resistansi isolasi dan meningkatnya suhu belitan, arus stator akan menurun dengan meningkatnya suhu belitan, efisiensi motor akan menjadi buruk dengan meningkatnya suhu belitan tersebut dikarenakan meningkatnya rugi-rugi motor. Pengaruh kenaikan suhu terhadap kinerja motor lebih signifikan dalam kondisi beban penuh, (Khalifa et al., 2009).

### **2.1.9 Pengaruh beban terhadap rotasi pada motor induksi tiga fasa**

Rotasi pada motor merupakan suatu gerakan berputar dalam motor induksi yang biasa disebut rotor, bagian tersebut bergerak mengelilingi sumbu tertentu. Gerakan ini dihasilkan dari interaksi antara medan magnetik yang dibuat oleh arus listrik yang mengalir pada kumparan rotor dan medan magnetik dari stator.

Pengaruh perubahan beban terhadap putaran dan daya masuk motor induksi tiga fasa disebabkan oleh pemberian beban secara bersamaan pada tegangan yang sama maka akan mengakibatkan arus motor naik, dan daya masukan pada motor akan meningkat, yang nantinya menyebabkan kecepatan medan putar akan menurun, (Sitanggang & Siregar, 2021). Berdasarkan literasi di internet, bahwa pengkonversian nilai rotasi (rpm) dapat diubah menjadi daya (Watt) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P = \frac{\tau \times \text{Rotation} \times 2\pi}{60} \quad (2.21)$$

Dimana:

$P$  = Hasil konversi rotasi (rpm) menjadi daya (Watt)

$\tau$  = Torsi (Nm)

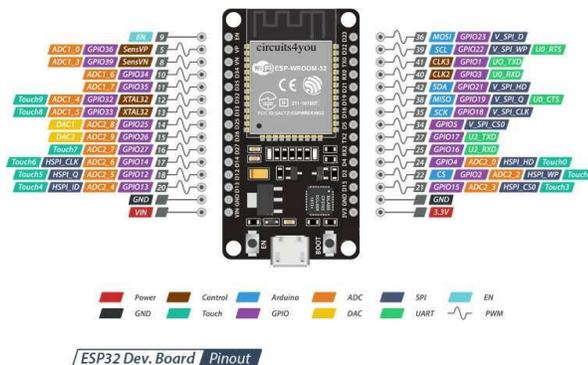
Rotation = Kecepatan putar motor (rpm)

### 2.1.10 Perangkat keras (*hardware*)

Sistem *monitoring* yang dirancang terdiri dari beberapa sensor utama yang terintegrasi dengan mikrokontroler untuk pengolahan data. Mikrokontroler dan sensor yang digunakan meliputi:

#### a. ESP32

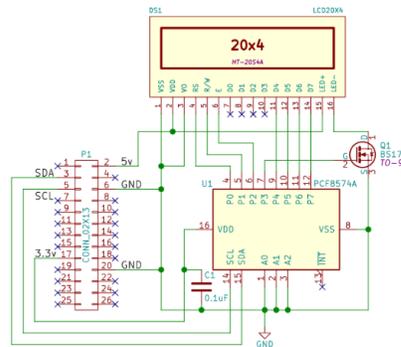
ESP32 adalah mikrokontroler SoC (*System on Chip*) yang kuat dengan *Wi-Fi* 802.11 b/g/n terintegrasi, versi *Bluetooth* mode ganda 4.2 dan berbagai perifer. Ini adalah penerus lanjutan dari chip 8266 terutama dalam implementasi dua inti yang memiliki *clock* versi berbeda hingga 240 MHz. Dibandingkan pendahulunya, selain fitur ini ia juga menambah jumlah pin GPIO dari 17 menjadi 36, jumlah saluran PWM per 16 dan dilengkapi dengan memori flash 4MB, (Babiuch et al., 2019).



Gambar 2.7 *Datasheet* Mikrokontroler ESP32

Sumber: (Lobodarobotica, n.d.)

b. *Liquid Crystal Display (LCD)*



Gambar 2. 8 Skematik LCD 20x4 I2C

Sumber: (Mikhail, 2015)

LCD adalah lapisan dari campuran organik antara lapisan kaca bening dengan elektroda transparan indium oksida dalam bentuk tampilan seven-segment dan lapisan elektroda pada kaca belakang. Lapisan ini memiliki polarizer cahaya vertikal depan dan polarizer cahaya horizontal belakang yang diikuti dengan lapisan reflektor, (Bramudiansyah, 2021a).

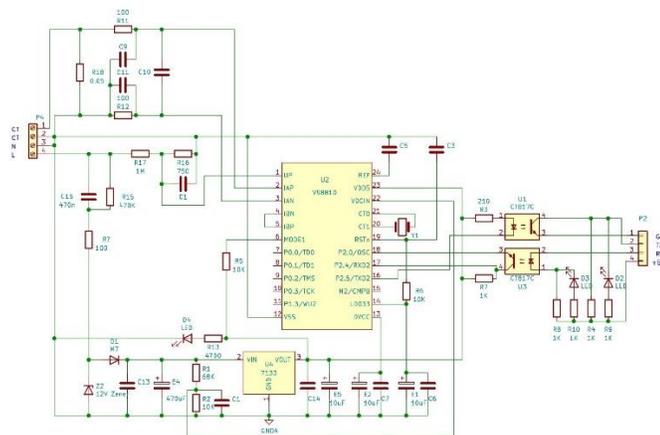
Display elektronik adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf ataupun grafik, (Junaldy et al., 2019).



Gambar 2.9 LCD 20x4 I2C

Sumber: (Electronics, n.d.)

c. Sensor PZEM-004T



Gambar 2.10 Skematik Sensor PZEM-004T v3 100A

Sumber: (Elektrologi, 2023)

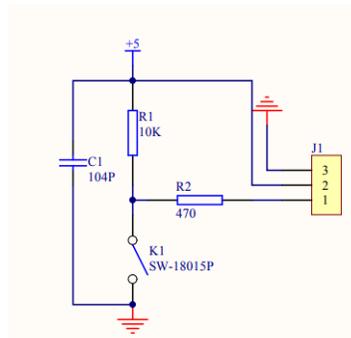
PZEM-004T adalah sebuah sensor yang dapat digunakan untuk mengukur arus, tegangan, daya dan energi pada suatu kabel yang dialiri listrik. Sensor dapat ini digunakan pada Arduino, ESP6288, Raspberry Pi atau *opensource* platform lainnya. Sensor ini memiliki dimensi 31 x 74 mm, dan memiliki modul trafo arus berdiameter 33 mm, (Furqon et al., 2019).



Gambar 2.11 Sensor PZEM-004T 100A v3 100A

Sumber: (InnovatorsGuru, 2019)

## d. Sensor DFR0027



Gambar 2.12 Skematik DFRobot DFR0027

Sumber: (DFRobot, n.d.-b)

Sensor DFR0027 merupakan sensor getar digital yang diproduksi oleh DFRobot. Sensor ini dapat menerima sinyal digital dari getaran yang dihasilkan.

Spesifikasi sensor ini meliputi:

- 1) Rentang tegangan luas dari 3,3V hingga 5V.
- 2) Struktur perakitan standar (dua lubang berdiameter 3mm dengan kelipatan 5mm sebagai jarak dari pusat).
- 3) Antarmuka sensor yang mudah dikenali (“A” untuk analog dan “D” untuk digital).
- 4) Ikon untuk menggambarkan fungsi sensor dengan sederhana.
- 5) Konektor berkualitas tinggi.
- 6) Permukaan emas celup.
- 7) Tipe IO: Digital.
- 8) Umur saklar: hingga 10 juta detik.
- 9) Resistansi rangkaian terbuka: 10Mohm.

10) Tegangan Suplai: 3,3V hingga 5V.

11) Ukuran: 22x30mm.

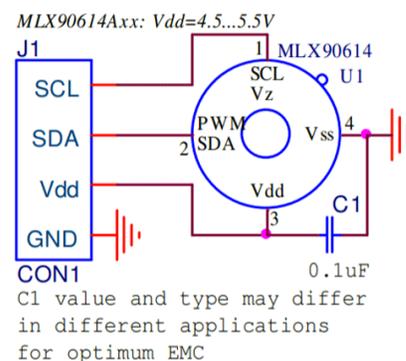


Gambar 2.13 Sensor DFRobot DFR0027

Sumber: (DFRobot, n.d.-a)

Pada kondisi statis/tanpa getaran, komponen elektronika ini berfungsi seperti saklar yang berada pada kondisi menutup (*normally closed*) dan bersifat konduktif, sebaliknya pada kondisi terguncang (terpapar getaran) saklar akan membuka/menutup dengan kecepatan pengalihan (*switching frequency*) proporsional dengan kekerapan guncangan, (Alam et al., 2020).

e. Sensor MLX90614



Gambar 2.14 Skematik Sensor MLX90614

Sumber: (Components101, 2020)

MLX90614 dibangun dari 2 chip yang dikembangkan dan diproduksi oleh Melexis, yaitu Infrared Thermopile Detector MLX81101 dan Pengkondisi sinyal ASSP MLX90302 yang secara khusus di desain untuk memproses keluaran dari sensor infrared. Akurasi yang tinggi dan dari sensor MLX90614 ini dapat dicapai karena memiliki low noise amplifier, ADC 17 bit dan unit DSP MLX90302 yang sangat bagus. Suhu dari objek yang diukur dan suhu lingkungan ada di dalam RAM MLX90302 dengan resolusi 0,01 derajat Celcius. Kedua data suhu tersebut dapat diakses dengan menggunakan TWI dengan resolusi 0,20 derajat Celcius atau dengan melalui output 10-bit PWM dengan resolusi 0,14 derajat Celcius. MLX90614 sudah dikalibrasi dari pabrik dengan pengukuran rentang suhu -40 derajat celcius sampai dengan 125 derajat Celcius untuk suhu lingkungan dan -70 derajat celcius sampai dengan 382,2 derajat Celcius untuk suhu objek yang akan diukur, (Bramudiansyah, 2021a).



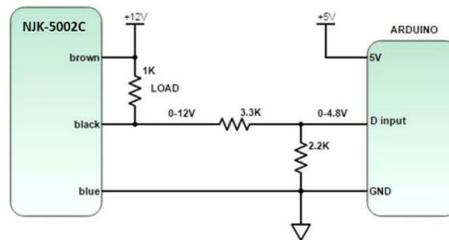
Gambar 2.15 Sensor MLX90614

Sumber: (Bramudiansyah, 2021b)

MLX90614 terdiri dari detector *thermopile* inframerah MLX81101 dan *signal conditioning* ASSP MLX90302 yang digunakan untuk memproses keluaran dari sensor inframerah. Sensor MLX90614 merupakan sensor suhu *contactless*, artinya untuk

mengukur temperatur, sensor ini tidak perlu bersentuhan langsung dengan objek tersebut, (Wiratama & Hasibuan, 2022).

f. Sensor NJK-5002C



Gambar 2.16 Skematik Sensor NJK-5002C

Sumber: (Handsontec, n.d.-b)

Sensor NJK-5002C merupakan sensor efek hall yang digunakan untuk mendeteksi medan magnet dan termasuk ke dalam jenis sensor magnetik. Prinsip kerja sensor NJK-5002C adalah bahwa sensor akan bekerja berdasarkan prinsip perubahan resistansi yang terjadi pada saat sensor berada di bawah pengaruh medan magnet.



Gambar 2.17 Sensor NJK-5002C

Sumber: (Handsontec, n.d.-a)

*Hall Effect Sensor* merupakan sensor yang dapat mengubah informasi magnetik menjadi sinyal listrik untuk pemrosesan rangkaian. *Hall Effect Sensor* biasanya digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi kedekatan (*proximity*), mendeteksi posisi (*positioning*), mendeteksi kecepatan (*speed*), mendeteksi pergerakan arah (*directional*) dan mendeteksi arus listrik (*current sensing*), (Widharma, 2020). Nilai RPM (*rotation per minute*) dapat diketahui menggunakan persamaan, (Prabowo et al., 2018):

$$RPM = \frac{(\text{jumlah pulsa dibaca}) \times 60}{\text{jumlah magnet sensor}} \quad (2.22)$$

### 2.1.11 Perangkat lunak (*software*)

#### a. Arduino IDE



Gambar 2.18 Arduino IDE

Sumber: (The Invention, 2021)

Arduino IDE merupakan lingkungan pengembangan yang dibuat dengan bahasa Java dan berasal dari Processing IDE. Program atau kode yang ditulis untuk papan Arduino dinamakan *sketch*, (Priyono et al., 2015).

## b. LabVIEW



Gambar 2.19 LabVIEW

Sumber: (Taufik, n.d.)

LabVIEW adalah salah satu bahasa pemrograman komputer grafik yang menggunakan icon-icon sebagai pengganti teks dalam membuat aplikasi. Program ini adalah salah satu produk keluaran *National Instrument*. Berbeda dengan pemrograman berbasis teks dimana instruksi-instruksi menentukan eksekusi program, LabVIEW merupakan pemrograman aliran data, dimana aliran data menentukan eksekusi dari program, (Djaelani, 2012).

## 2.2 Penelitian Terkait

Banyak penelitian yang mengkaji tentang sistem *monitoring* motor induksi tiga fasa. Namun penelitian tersebut menggunakan mikrokontroler dan sensor, serta hasil yang berbeda. Penelitian yang terkait dengan penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

Tabel 2.2 Penelitian Terkait

No	Judul Jurnal	Penulis, Tahun	Pembahasan Jurnal
1	Monitoring Suhu, Vibrasi dan Arus Motor Induksi 3 Fasa	(Buwarda & Yaqin, 2023)	Penelitian ini membahas mengenai <i>monitoring</i> motor induksi 3 fasa dalam aspek suhu, vibrasi, dan arus yang terintegrasi dengan modul <i>WiFi</i> dan tampilan berbasis web. Penggunaan sensor MLX90614 untuk pengukuran suhu, sensor piezoelektrik untuk pengukuran getaran, sensor PZEM004T untuk pengukuran arus, dan terintegrasi dengan Wemos D1 mini dan <i>Thingspeak</i> . Hasil dari penelitian tersebut adalah mendapatkan suhu rata-rata motor sebesar 55,58°C, nilai rata-rata getaran sebesar 9,1 mm/s. nilai rata-rata arus sebesar 0,11 A, dan pematian motor otomatis pada suhu $\geq 80^\circ\text{C}$ dan getaran $\geq 11$ mm/s.
2	Rancang Bangun Sistem Proteksi Arus, Tegangan, Suhu Berlebih Motor 1 Fasa dan Pengaturan Waktu Suhu pada <i>Water Heater</i>	(Naufal Prastyana & Agus Kiswantono, 2023)	Penelitian ini membahas tentang desain sistem perlindungan untuk motor 1 fasa dengan menggunakan teknologi berbasis IoT untuk memantau tegangan, arus, dan suhu. Alat pemantauan ini menggunakan modul ESP32 dan modul WiFi, menggunakan modul PZEM004T untuk membaca tegangan dan arus, modul DHT11 untuk membaca suhu. Hasil dari penelitian tersebut bahwa kesalahan persentase rata-rata untuk tegangan adalah 0%, untuk arus adalah 6,9% dan untuk suhu adalah 1,1%. Sistem menghentikan motor secara otomatis ketika parameter melebihi batas atas dan sistem perlindungan diaktifkan berdasarkan pembacaan sensor suhu, arus, dan tegangan.

3	<p>Analisis Perubahan Beban Terhadap Arus Listrik pada Motor Induksi 3 Fasa dengan Kendali VSD di Laboratorium <i>Center of Excellence</i> SMK Negeri 1 Rejang Lebong</p>	<p>(Raflesia &amp; Drive, 2022)</p>	<p>Penelitian ini membahas tentang pengaruh perubahan beban terhadap arus listrik pada motor induksi tiga fasa. Pengujian dilakukan dengan memberikan suplai dari PLN dan suplai dari inverter <i>Variable Speed Driver</i> (VSD). Hasil penelitian tersebut adalah bahwa penggunaan VSD pada motor induksi akan mempengaruhi kinerja motor induksi. Arus dan faktor daya akan naik ketika frekuensi menurun, sedangkan tegangan dan putaran motor akan turun seiring dengan turunnya frekuensi.</p>
4	<p>Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Putaran dan Daya Masuk Motor Induksi Tiga Fasa (Aplikasi pada Laboratorium Konversi Energi Listrik FT-UHN)</p>	<p>(Sitanggang &amp; Siregar, 2021)</p>	<p>Penelitian ini membahas tentang pengaruh perubahan beban pada kecepatan dan daya input motor induksi tiga fasa. Metode yang digunakan adalah dengan melakukan pengujian beban nol, pengujian hubung singkat, dan pengujian pengukuran faktor daya dengan perubahan tegangan. Hasil dari penelitian tersebut adalah jika beban naik pada tegangan yang sama, maka arus motor akan naik, daya masukan pada motor akan meningkat, dan kecepatan medan putar akan menurun.</p>
5	<p><i>Vibration Analysis of Induction Motors with Unbalanced Loads</i></p>	<p>(Guclu et al., 2017)</p>	<p>Penelitian ini membahas tentang analisis getaran motor induksi dengan beban yang tidak seimbang. Hasil penelitian tersebut adalah tingkat ketidakseimbangan mempengaruhi amplitudo harmonik karakteristik, frekuensi getaran pada sumbu y dan sumbu z lebih tinggi dari sumbu x.</p>
6	<p><i>Effect of Temperature Rise on the Performance of</i></p>	<p>(Khalifa et al., 2009)</p>	<p>Penelitian ini membahas tentang pengaruh kenaikan suhu terhadap kinerja motor induksi. Hasil penelitian tersebut adalah resistansi isolasi dan arus stator menurun dengan meningkatnya suhu belitan, efisiensi</p>

	<i>Induction Motors</i>		motor menjadi buruk seiring meningkatnya suhu dikarenakan adanya rugi-rugi motor.
7	<i>IoT-Based Three-Phase Induction Motor Monitoring System</i>	(Ridho Syawali & Meliala, 2023)	Penelitian ini membahas tentang penggunaan IoT untuk mengontrol dan memantau motor induksi. Motor dapat dikontrol dari jarak jauh jika terjadi gangguan tanpa kendala waktu dan jarak. Hasil dari penelitian ini yaitu sensor PZEM004T menunjukkan pembacaan yang akurat, sistem relay bekerja dengan baik, dan nilai abnormal memicu sinyal kontrol otomatis untuk memulai atau menghentikan motor.
8	<i>Monitoring for Temperature of Three Phase Induction Motor at Chemical Industry Using Internet of Things</i>	(Zaini & Natasha Chendra, 2023)	Penelitian ini membahas tentang pemantauan suhu motor induksi tiga fasa. Perancangan sistem menggunakan IoT untuk melakukan pemantauan. Sistem ini mencakup <i>array</i> sensor suhu SoC ESP32, AMG8833, dan <i>driver</i> motor L293D. Sistem secara akurat mengukur suhu dan mentransmisikan data ke <i>database</i> MongoDB. Hasil dari penelitian ini yaitu sensor secara akurat mengukur suhu dan transmisi data memenuhi persyaratan QoS.

Penelitian terkait berfungsi untuk analisa dan menambah pembahasan penelitian, serta membedakannya dengan penelitian yang akan dilakukan. Dalam penelitian ini disertakan 4 jurnal nasional dan 4 jurnal internasional. Tabel 2.2 yang berhubungan dengan sistem *monitoring* kinerja motor induksi tiga fasa pada aspek daya dan energi, getaran, suhu, dan rotasi, diantaranya sebagai berikut:

1. Penelitian pada Tabel 2.2 nomor 1 yaitu membahas mengenai perancangan *monitoring* motor induksi 3 fasa pada aspek suhu, vibrasi, dan arus yang terintegrasi dengan modul *WiFi* dan tampilan berbasis web. Penelitian tersebut

menguji sensor untuk mendeteksi nilai vibrasi, arus dan suhu, pematian otomatis pada motor ketika melebihi batas atas nilai suhu dan getar. Perbedaan dengan penelitian tersebut yaitu dalam penggunaan mikrokontroler dan sensor untuk membaca getaran pada motor. Penelitian ini menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor DFR0027 untuk membaca getaran pada motor. Sehingga penelitian tersebut akan dijadikan referensi dan teori dalam melakukan penelitian.

2. Penelitian pada Tabel 2.2 nomor 2 membahas tentang desain sistem perlindungan untuk motor 1 fasa dengan menggunakan teknologi berbasis IoT untuk memantau tegangan, arus, dan suhu. Penelitian tersebut menguji program dan persentase kesalahan pada masing-masing sensor, menguji perlindungan terhadap beban berlebih, arus dan suhu, serta perlindungan berdasarkan pembacaan sensor untuk menghentikan gerakan motor. Perbedaan dengan penelitian tersebut yaitu dalam objek dan sensor suhu yang digunakan. Penelitian ini menggunakan motor induksi tiga fasa sebagai objek dan sensor MLX90614 sebagai sensor untuk pembacaan suhu pada motor. Sehingga penelitian tersebut akan dijadikan referensi dan teori dalam melakukan penelitian.
3. Penelitian pada Tabel 2.2 nomor 3 membahas tentang pengaruh perubahan beban terhadap arus listrik pada motor induksi dengan menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD). Penelitian tersebut melakukan pengujian dengan mengatur frekuensi pada VSD. Perbedaan dengan penelitian tersebut yaitu dalam proses

pengambilan data. Penelitian ini melakukan pengambilan data untuk mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap energi dengan memberikan pembebanan berupa pengereman. Sehingga penelitian tersebut akan dijadikan referensi dan teori dalam melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap energi pada motor induksi tiga fasa.

4. Penelitian pada Tabel 2.2 nomor 4 membahas tentang pengaruh perubahan beban terhadap putaran dan daya masuk motor induksi tiga fasa. Penelitian tersebut melakukan pengujian pada beban nol, pengujian hubung singkat, dan pengujian faktor daya dan perubahan tegangan. Perbedaan dengan penelitian tersebut yaitu dalam proses pengambilan data. Penelitian ini melakukan pengambilan data untuk mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap rotasi dengan memberikan pembebanan berupa pengereman. Sehingga penelitian tersebut akan dijadikan referensi dan teori dalam melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap rotasi pada motor induksi tiga fasa.
5. Penelitian pada Tabel 2.2 nomor 5 membahas tentang analisis getaran motor induksi dengan beban tidak seimbang dengan pengukuran menggunakan sensor *accelerometer*. Perbedaan dengan penelitian tersebut yaitu dalam proses pengambilan data. Penelitian ini melakukan pengambilan data untuk mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap getaran dengan memberikan pembebanan berupa pengereman. Sehingga penelitian tersebut akan dijadikan

referensi dan teori dalam melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap getaran pada motor induksi tiga fasa.

6. Penelitian pada Tabel 2.2 nomor 6 membahas tentang pengaruh kenaikan suhu terhadap kinerja motor induksi menggunakan program MATLAB. Penelitian tersebut melakukan simulasi untuk memprediksi efek kenaikan suhu pada berbagai parameter motor seperti resistansi stator, arus, kecepatan rotor dan kerugian. Penelitian ini melakukan pengambilan data untuk mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap suhu dengan memberikan pembebanan berupa pengereman. Sehingga penelitian tersebut akan dijadikan referensi dan teori dalam melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap rotasi pada motor induksi tiga fasa.
7. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian Tabel 2.2 nomor 7 akan digunakan sebagai patokan peneliti untuk menguji perancangan sistem *monitoring* kinerja pada motor induksi yaitu dengan melakukan perencanaan sistem, realisasi sistem pemantauan, pengujian dan pengumpulan data, pengujian fungsional dan pengujian kinerja. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian tersebut yaitu pada aspek pengujian. Penelitian tersebut hanya mengukur pada aspek energi, sedangkan pada penelitian ini aspek yang di uji yaitu pada energi, getaran, suhu, dan rotasi.
8. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian Tabel 2.2 nomor 8 akan digunakan sebagai patokan penelitian yaitu menganalisis data dan menguji

akurasi sensor suhu. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian tersebut yaitu dari penggunaan sensor untuk mendeteksi suhu pada motor induksi tiga fasa.