

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Induksi

Motor induksi merupakan suatu alat listrik yang memiliki fungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik atau gerak yang berupa putaran pada poros motor yang bekerja berdasarkan arus induksi. Motor induksi merupakan jenis motor AC (*Alternating Current*). Motor AC terbagi menjadi dua macam tipe yaitu *synchronous motor* dan *asynchronous motor*. Motor induksi merupakan motor AC yang paling banyak digunakan di bidang industri. Ini dikarenakan struktur motor yang kuat, sederhana dan tidak membutuhkan banyak perawatan. Selain itu, motor juga memberikan efisiensi yang baik dan putaran yang konstan untuk setiap perubahan beban [4]. Bentuk motor induksi memiliki celah antara medan stator dan rotor. Pada motor induksi, rotor tidak memperoleh energi listrik melalui konduksi, tetapi memperoleh energi listrik melalui induksi, seperti pada belitan sekunder transformator, rotor memperoleh energi listrik dari belitan primernya. Oleh karena itu, motor induksi juga dapat disebut resolver [5].

Motor induksi sangat banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun rumah tangga. Hal ini disebabkan karena motor induksi memiliki berbagai keunggulan dibanding dengan motor listrik yang lain, yaitu diantaranya karena harga yang relatif murah, konstruksinya yang sederhana dan kuat serta karakteristik kerja yang baik.

Motor listrik 3 phase menurut SPLN adalah motor yang dirancang untuk bekerja pada sistem tenaga listrik PLN dengan tegangan 380/400 V dan frekuensi

50Hz, memiliki efisiensi tinggi, faktor daya 0,8/0,9, serta memenuhi standar keselamatan proteksi, dan pengujian yang mengacu pada SPLN dan standar internasional seperti IEC [6].

Pada sistem tiga fasa, daya aktif berhubungan dengan tegangan antar fasa, arus saluran, dan faktor daya. Oleh karena itu, arus motor dapat dihitung menggunakan persamaan daya tiga fasa sebagai berikut [4] :

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos \phi} \dots\dots\dots (2-1)$$

Keterangan:

I = Arus saluran (A)

P = Daya aktif (W)

V = Tegangan antar fasa (V)

$\cos \phi$ = Faktor daya

Sementara itu, tegangan per fasa adalah tegangan antara salah satu penghantar fasa dengan titik netral pada sistem hubungan bintang (Y). Pada sistem tiga fasa yang seimbang, hubungan antara tegangan antar fasa dan tegangan per fasa bergantung pada konfigurasi hubungan belitan motor. Untuk hubungan bintang (Y), besar tegangan antar fasa adalah $\sqrt{3}$ kali tegangan per fasa. Hubungan tersebut dinyatakan dengan persamaan [4] :

$$V_L = \sqrt{3} \times V_{ph}$$

atau apabila yang diketahui adalah tegangan antar fasa, maka tegangan per fasa dapat dihitung menggunakan persamaan [4] :

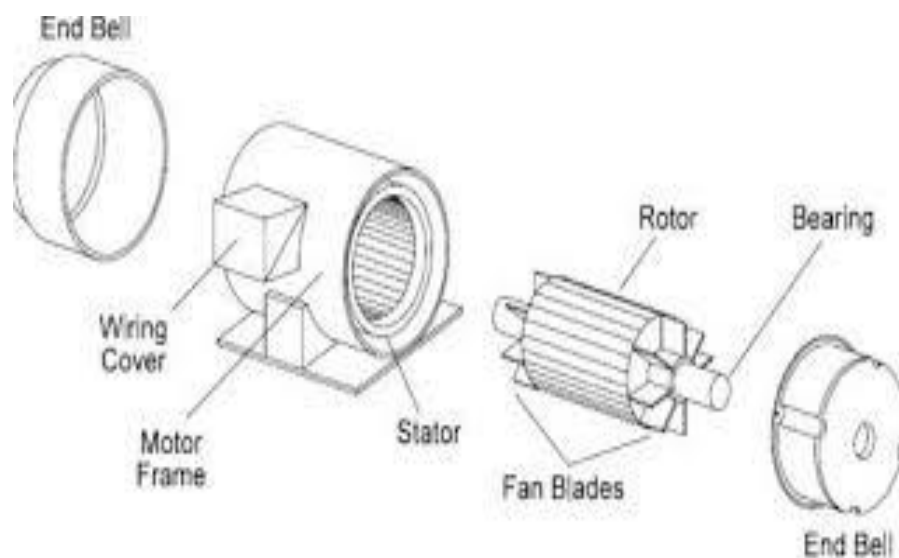
$$V = \frac{V_{ph-ph}}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots (2-2)$$

Keterangan:

V_L = Tegangan antar fasa (Line Voltage) (V)

V_{ph} = Tegangan per fasa (Phase Voltage) (V)

2.2 Kontruksi Motor Induksi



GAMBAR 1 KONTRUKSI MOTOR INDUKSI

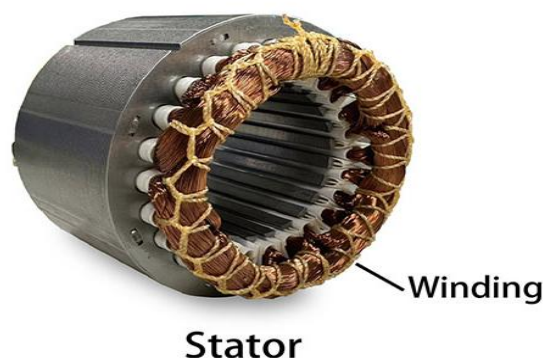
Motor induksi terdiri atas 2 bagian utama yaitu stator dan rotor. Ada 2 jenis rotot yaitu rotor sangkar dan belitan.

2.2.1 Stator

Stator merupakan bagian yang diam dari motor induksi 3 phase, pada bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari 3 kumparan tiga fasa yang disebut kumparan stator, yang masing-masing kumparan mendapatkan suplai arus 3 fasa maka pada kumpara tersebut segera timbul medan putar.

Dengan adanya medan magnet putar pada kumparan stator akan mengakibatkan rotor berputar, hal ini terjadi karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar rotor sinkron dan kecepatan putar stator. Kontuksi stator motor induksi pada dasarnya terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut:

- a. Rumah stator (rangka stator) dari besi tuang
- b. Inti stator dari besi lunak atau baja silicon
- c. Alur, tempat meletakkan belitan (kumparan stator)
- d. Belitan (kumparan) stator dari tembaga



GAMBAR 2 STATOR

2.2.2 Rotor

Rotor merupakan bagian yang bergerak akibat adanya induksi magnet dari kumparan stator yang di induksikan kepada kumparan rotor. Rotor dari motor induksi dapat dibedakan menjadi dua yaitu :



GAMBAR 3 ROTOR

a. Rotor Sangkar (*Squirrel Cage Rotor*)

Rotor sangkar adalah jenis rotor yang paling banyak digunakan pada motor listrik. Ini karena rotor sangkar bentuknya yang lebih sederhana dan rangkaiannya yang relatif singkat. Sedangkan tipe rotor lilit terdiri dari belitan yang banyak dan lebih rumit[7].

b. Rotor Belit

Motor induksi Rotor belitan adalah motor arus yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektomagnetik, Pada stator terdapat belitan tiga phase dan pada rangkaian rotornya terdapat belitan tiga phase seperti yang terdapat pada stator[8].

2.3 Prinsip Kerja Motor Induksi

Prinsip kerja motor induksi tiga fasa berdasarkan induksi elektro magnetis, bila belitan atau kumparan stator diberi sumber tegangan AC tiga fasa maka arus akan mengalir pada kumparan tersebut, menimbulkan medan putar (saling berubahnya kutub magnet) seperti halnya lampu hias bingkai reklame yang nyalanya bergantian terlihat seperti berputar. Garis-garis gaya fluks dari stator tersebut yang berputar akan memotong penghantar-penghantar rotor sehingga pada penghantar tersebut timbul electro motoris force (EMF) atau gaya gerak listrik (GGL) dan disebut juga dengan tegangan induksi [9].

Apabila sumber tegangan 3 fasa dihubungkan pada kumparan stator maka akan menghasilkan suatu medan dengan kecepatan sinkron (n_s) yang dapat dihitung dengan persamaan [4].

$$N_s = \frac{120 f}{p} \dots\dots\dots (2-3)$$

Keterangan :

- N_s = Kecepatan sinkron (rpm)
- f = Frekuensi (Hz)
- p = Jumlah kutub

Selisih antara kecepatan rotor dan kecepatan sinkron disebut slip, Slip dapat dinyatakan dengan persamaan [4] berikut :

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \dots\dots\dots (2-4)$$

Dimana :

- s = Slip
- n_s = Kecepatan sinkron (putaran/menit)
- n_r = Kecepatan rotor (putaran/menit)

Efisiensi motor induksi diartikan sebagai ukuran efisiensi motor induksi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, yang dinyatakan sebagai rasio / rasio daya keluaran terhadap daya masukan [10]. Kinerja motor induksi salah satu parameter yang menentukan tingkat keberhasilann konversi energi listrik menjadi energi mekanik adalah efisiensi (η) yang dapat dihitung dengan persamaan [4] berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (2-5)$$

Besaran daya input dan daya output dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [4] sebagai berikut :

a. Daya input

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cos \Phi \dots\dots\dots (2-6)$$

Dimana :

- P : Daya input
- V : Tegangan
- I : Arus (w)

b. Daya output

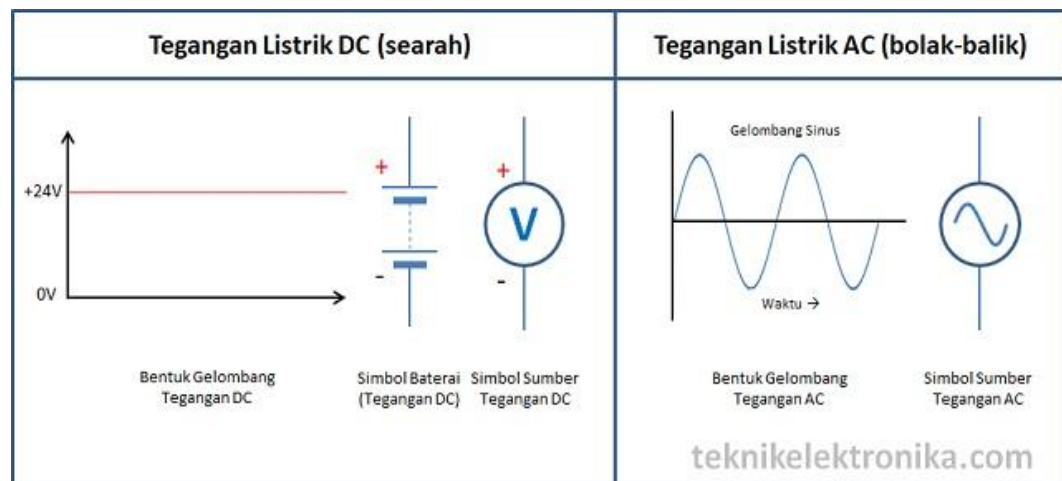
$$P_{out} = P_{in} \times \eta \dots\dots\dots (2-7)$$

Dimana :

- P : Daya input
- η : Efisiensi

2.4 Tegangan (Volt)

Tegangan (voltage) atau sering disebut sebagai beda potensial adalah kerja yang dilakukan untuk menggerakkan muatan sebesar satu coulomb dari satu terminal ke terminal lainnya. Atau, dengan, kata lain, jika suatu muatan sebesar satu coulomb digerakkan atau dipindahkan, maka akan terdapat beda potensial pada kedua terminalnya.



GAMBAR 4 JENIS TEGANGAN

Tegangan listrik dapat juga dianggap sebagai gaya yang mendorong perpindahan elektron melalui konduktor dan semakin tinggi tegangannya semakin besar pula kemampuannya untuk mendorong elektron melalui rangkaian yang diberikan. Muatan listrik dapat kita analogikan sebagai air di dalam sebuah tangki

air, sedangkan Tegangan listrik dapat kita analogikan sebagai tekanan air pada sebuah tangki air, semakin tinggi tangki air di atas outlet semakin besar tekanan air karena lebih banyak energi yang dilepaskan. Demikian juga dengan tegangan listrik, semakin tinggi tegangan listriknya maka semakin besar energi potensial yang dikarenakan semakin banyak elektron yang dilepaskan.

2.5 Susut Tegangan (ΔV)

Susut tegangan (ΔV) merupakan selisih tegangan kirim (V_K) dan tegangan terima (V_T). Susut tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Atau besar arus yang mengalir pada masing-masing konduktor dikalikan dengan impedansinya.

Rumus Susut Tegangan [9] :

$$\Delta V = V_s - V_T \dots\dots\dots (2-8)$$

2.6 Impedansi, Resistansi, dan Reaktansi Motor Induksi

Impedansi merupakan hambatan total pada rangkaian arus bolak-balik (AC) yang terdiri atas resistansi dan reaktansi. Pada motor induksi tiga fasa, impedansi menjadi salah satu parameter penting karena menentukan besarnya arus yang mengalir pada kumparan motor. Nilai impedansi dipengaruhi oleh besar tegangan, arus, serta karakteristik kumparan stator dan rotor. Oleh karena itu, analisis

impedansi diperlukan untuk mengetahui kondisi operasi dan karakteristik listrik motor induksi.

Berdasarkan Hukum Ohm pada rangkaian AC, impedansi per fasa dapat dihitung dengan membandingkan tegangan per fasa terhadap arus per fasa, yaitu [9] :

$$Z = \frac{V_L}{I} \dots\dots\dots (2-9)$$

Keterangan:

* Z = Impedansi per fasa (Ω)

* V_L = Tegangan per fasa (V)

* I = Arus per fasa (A)

Untuk menentukan impedansi motor dapat menggunakan persamaan [9] .

$$Z_2' = \sqrt{(R_1 + R_2'/S)^2 + (X)^2} \dots\dots\dots (2-10)$$

Resistansi merupakan besaran listrik yang menyatakan hambatan nyata suatu penghantar terhadap aliran arus listrik. Pada motor induksi tiga fasa, resistansi terutama berasal dari belitan stator dan rotor yang terbuat dari bahan konduktor, seperti tembaga atau aluminium. Ketika arus listrik mengalir melalui belitan tersebut, sebagian energi listrik akan berubah menjadi energi panas akibat adanya

hambatan listrik. Fenomena ini dikenal sebagai rugi-rugi tembaga (copper losses) dan menjadi salah satu faktor yang memengaruhi efisiensi motor induksi.

Dalam hal ini di asumsikan bahwa, reaktansi x pada kumparan motor adalah sebesar 10% hingga 30% dari impedansi motor, karena motor induksi yang digunakan relative kecil, maka diambil sebesar 30% sehingga akan diperoleh :

$$\frac{X}{Z} = 0,3 \text{ Dan } \frac{R}{Z} = 0,7$$

$$\frac{X/Z}{R/Z} = \frac{0,3}{0,7} \text{ Maka } \frac{X}{R} = 0,43$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$Z = \sqrt{(R)^2 + (0,43 \cdot R)^2}$$

$$R^2 = \sqrt{(1,2) \cdot R^2}$$

$$R^2 = \frac{Z^2}{1,2} \dots\dots\dots (2-11)$$

Reaktansi merupakan salah satu komponen penyusun impedansi pada rangkaian arus bolak-balik (AC) yang timbul akibat adanya sifat induktif maupun kapasitif pada suatu rangkaian listrik. Pada motor induksi tiga fasa, reaktansi yang paling dominan adalah reaktansi induktif, karena kumparan stator dan rotor menghasilkan medan magnet ketika dialiri arus listrik. Reaktansi induktif tidak mengubah energi listrik menjadi panas seperti resistansi, tetapi menghambat

perubahan arus dengan cara menyimpan dan melepaskan energi dalam bentuk medan magnet secara bergantian selama setiap siklus arus bolak-balik.

Besarnya reaktansi dipengaruhi oleh nilai induktansi kumparan dan frekuensi sumber listrik. Semakin tinggi frekuensi atau induktansi, maka nilai reaktansi juga akan semakin besar. Pada motor induksi yang bekerja pada sistem tenaga 50 Hz, reaktansi berperan dalam menentukan besarnya arus yang mengalir pada belitan stator, memengaruhi faktor daya, serta memengaruhi karakteristik torsi dan efisiensi motor selama beroperasi [9] .

$$X = 0,43 R \dots\dots\dots (2-12)$$

2.6 Torsi Motor Induksi

Torsi merupakan gaya putar yang dihasilkan oleh motor untuk memutar poros sehingga mampu menggerakkan beban mekanik. Pada motor induksi tiga fasa, torsi dihasilkan akibat interaksi antara medan magnet putar yang dibentuk oleh kumparan stator dengan arus induksi yang mengalir pada rotor. Interaksi kedua medan magnet tersebut menghasilkan gaya elektromagnetik yang menyebabkan rotor berputar mengikuti arah medan magnet stator.

Besarnya torsi yang dihasilkan motor sangat dipengaruhi oleh tegangan suplai, arus, frekuensi, slip, dan karakteristik beban. Apabila tegangan yang diberikan sesuai dengan tegangan nominal, fluks magnet yang terbentuk pada stator akan optimal sehingga motor mampu menghasilkan torsi yang cukup untuk menggerakkan beban. Sebaliknya, apabila tegangan mengalami penurunan

(undervoltage), fluks magnet akan berkurang sehingga kemampuan motor menghasilkan torsi ikut menurun. Untuk mempertahankan putaran dan beban, motor akan menarik arus yang lebih besar sehingga rugi-rugi daya meningkat dan efisiensi motor menurun.

Secara mekanik, torsi merupakan hasil pembagian antara daya mekanik keluaran dengan kecepatan sudut poros. Persamaan torsi motor dinyatakan sebagai berikut [4]:

$$T_e = \frac{P_{out}}{2.\pi.n_r/60} \dots\dots\dots (2-13)$$

Persamaan tersebut banyak digunakan untuk menghitung torsi motor induksi berdasarkan daya keluaran dan kecepatan putar yang diperoleh dari hasil pengukuran maupun data nameplate.

Dalam motor induksi, torsi juga dipengaruhi oleh besar tegangan suplai. Secara teoritis, besarnya torsi berbanding lurus dengan kuadrat tegangan suplai, sehingga dapat dinyatakan sebagai:

$$T \propto V^2$$

Hubungan tersebut menunjukkan bahwa penurunan tegangan akan menyebabkan penurunan torsi secara signifikan. Sebagai contoh, apabila tegangan turun sebesar 10%, maka torsi maksimum motor dapat berkurang sekitar 19%. Kondisi ini menyebabkan motor membutuhkan arus yang lebih besar untuk mempertahankan kemampuan menggerakkan beban. Jika penurunan tegangan berlangsung terus-menerus, temperatur belitan motor akan meningkat akibat

bertambahnya rugi-rugi tembaga, sehingga efisiensi menurun dan umur isolasi motor menjadi lebih pendek.

Pada penelitian ini, perhitungan torsi digunakan untuk mengetahui kemampuan motor induksi tiga fasa dalam menggerakkan mesin conveyor berdasarkan daya keluaran dan kecepatan putar motor. Nilai torsi yang diperoleh kemudian dianalisis bersama perubahan tegangan, arus, rugi-rugi daya, dan efisiensi sehingga dapat diketahui pengaruh tegangan terhadap kinerja motor secara keseluruhan.

Arus pengganti rotor adalah arus yang mengalir di stator secara bersama-sama, setelah melalui rangkaian magnetisasi. Untuk menentukan besarnya arus pengganti roto menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_2' = \frac{V_f}{Z_2'} \dots\dots\dots (2-14)$$

2.6 Mesin Conveyor

Conveyor merupakan suatu sistem mekanik yang mempunyai fungsi memindahkan barang dari satu tempat ke tempat yang lain. Conveyor banyak digunakan pada industri untuk transportasi barang yang jumlahnya banyak dan berkelanjutan. Mesin ini merupakan alat pendukung untuk proses produksi dengan cepat.

Konveyor mempunyai berbagai jenis yang disesuaikan dengan karakteristik barang yang diangkut. Jenis-jenis conveyor tersebut antara lain *Apron*, *Flight*,

Pivot, Overhead, Load propelling, Car, Bucket, Screw, Roller, Vibrating, Pneumatic, dan Hydraulic.

Standar tegangan mesin conveyor pada industri umumnya berada pada kisaran 380-400 V, 3 fasa, 50Hz, yang disesuaikan dengan sistem distribusi tenaga listrik dari PLN. Berdasarkan SPLN dan PUIL, tegangan kerja harus berada dalam batas toleransi 5% - 10% yang diizinkan agar motor conveyor dapat bekerja secara optimal, aman, dan memiliki umur pakai yang panjang.



GAMBAR 5 MESIN CONVEYOR

2.7 Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti dan Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan
1	Ishak Effendi, dan Letifa Shintawaty, & M.	Analisis Pengaruh Ketidakstabilan Tegangan terhadap	Hasil penelitian Ketidakstabilan tegangan menyebabkan perubahan	Penelitian terdahulu menggunakan motor penggerak fan cooling tower, sedangkan penelitian

	Fernandho (2025)	Efisiensi Motor Induksi 3 Phase sebagai Penggerak Fan Cooling Tower di PIM	efisiensi motor. Tegangan yang tidak sesuai spesifikasi mengakibatkan penurunan performa motor induksi dan torsi kerja	ini menganalisis motor induksi penggerak conveyor di PT Hok Tong Palembang, dengan fokus pada pengaruh tegangan terhadap kinerja motor pada proses produksi.
2	Mutiara Zahra Kurnia, I Made Wiwit Kastawan, & Parno Raharjo (2023)	Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan pada Suplai Daya Listrik terhadap Kecepatan Putaran dan Efisiensi Motor Induksi 3-Fasa	Ketidakseimbangan tegangan meningkatkan rugi-rugi, memperbesar arus, menurunkan kecepatan putaran serta efisiensi motor induksi.	Penelitian ini membahas tegangan tidak seimbang, sedangkan penelitian yang diusulkan mengkaji pengaruh perubahan besar tegangan (undervoltage maupun overvoltage) terhadap kinerja motor conveyor pada kondisi operasi industri.
3	Sigit Fadila Joko, Elvira Zondra, & Arlenny (2023)	Analisis Kinerja Motor Induksi Tiga Fasa 2,2 kW di PT Max Power Indonesia	Kinerja motor sangat dipengaruhi oleh kondisi pembebanan dan kualitas suplai listrik. Efisiensi menurun ketika terjadi peningkatan rugi-rugi pada motor.	Penelitian terdahulu berfokus pada evaluasi performa motor secara umum, sedangkan penelitian ini secara khusus menghubungkan variasi tegangan terhadap performa motor conveyor di PT Hok Tong Palembang.
4	Ranses Wahyudi Sijabat, Zuraidah Tharo, & Haris Gunawan (2025)	Analisis Penggunaan Motor Induksi pada Sistem Konveyor Industri	Motor induksi merupakan penggerak utama conveyor karena memiliki efisiensi tinggi dan keandalan yang baik, namun	Penelitian tersebut membahas penggunaan motor pada sistem conveyor secara umum, sedangkan penelitian ini menitikberatkan pada pengaruh variasi tegangan terhadap

			performanya dipengaruhi kualitas suplai listrik dan pembebanan.	parameter kinerja motor pada conveyor PT Hok Tong Palembang.
5	Moch Rivaldo & Endryansyah (2024)	Perbaikan Unjuk Kerja Motor 3 Fasa sebagai Penggerak Konveyor Menggunakan Kontrol PID Fuzzy Logic	Penggunaan kontrol PID Fuzzy Logic mampu meningkatkan kestabilan kecepatan, mengurangi overshoot, dan memperbaiki respons motor induksi pada sistem konveyor.	Penelitian terdahulu berfokus pada metode pengendalian motor, sedangkan penelitian yang diusulkan menganalisis pengaruh kualitas tegangan suplai terhadap kinerja motor induksi tanpa melakukan modifikasi sistem kontrol.