

Analisis pengaruh Kendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Untuk Mesin Cuci Milnor Extractor Menggunakan Variable Speed Drive Yaskawa Di Hotel Indonesia Kempinski Jakarta

¹Afif Sugeng Abdul Aziz, ²Arlewes Gulton, ³Ginda Simamora

^{1,2,3}Universitas Tama Jagakarsa, Indonesia

Email: sugengafif@gmail.com, arlewesgultom61@gmail.com, gindasimamora1963@gmail.com

ABSTRAK

Kata kunci:

Motor induksi 3 fasa, Variable Speed Drive (VSD), Milnor Extractor, kecepatan sinkron, slip, torsi, efisiensi, ketidakseimbangan tegangan.

Pada Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pengendalian kecepatan pada motor induksi 3 fasa menggunakan Variable Speed Drive (VSD) Yaskawa, khususnya untuk mesin cuci Milnor Extractor di Hotel Indonesia Kempinski Jakarta. Analisis difokuskan pada empat mode pencucian: Wash, Rinse, Drain, dan Extract, yang masing-masing beroperasi pada frekuensi yang berbeda. Penelitian dilakukan dengan mengukur parameter kunci seperti tegangan, arus, dan RPM untuk setiap mode pencucian. Data dikumpulkan, dan kecepatan sinkron, slip, daya input, daya output, dan torsi dihitung. Efisiensi dan ketidakseimbangan tegangan juga dianalisis untuk menilai kinerja motor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: Nilai slip bervariasi di berbagai mode, dengan slip tertinggi diamati pada mode Wash sebesar -8,1%, menunjukkan bahwa kecepatan aktual melebihi kecepatan sinkron. Mode Extract menunjukkan slip minimal sebesar -0,368%, menunjukkan operasi yang efisien pada frekuensi tinggi. Daya input meningkat dengan frekuensi, dengan daya tertinggi tercatat pada mode Rinse sebesar 7058 W. Torsi tertinggi pada mode Rinse sebesar 195,72 Nm, sejalan dengan kebutuhan energi yang tinggi untuk mode ini. Penelitian ini menyimpulkan bahwa VSD memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja motor induksi 3 fasa pada mesin cuci komersial. Mode Rinse membutuhkan energi terbanyak dan menghasilkan torsi tertinggi. Mode Extract, yang beroperasi pada frekuensi tertinggi, menunjukkan kinerja yang efisien dengan ketidakseimbangan tegangan minimal. Temuan ini memberikan wawasan berharga untuk mengoptimalkan kinerja motor dan efisiensi energi dalam operasi laundry komersial.

ABSTRACT

Keywords:

3-phase induction motor, Variable Speed Drive (VSD), Milnor Extractor, synchronous speed, slip, torque, efficiency, voltage imbalance

This study aims to analyze the impact of speed control on a 3-phase induction motor using a Yaskawa Variable Speed Drive (VSD), specifically for the Milnor Extractor washing machine at the Hotel Indonesia Kempinski Jakarta. The analysis focuses on four washing modes: Wash, Rinse, Drain, and Extract, each operating at different frequencies. The research involves measuring key parameters such as voltage, current, and RPM for each washing mode. Data were collected, and synchronous speed, slip, input power, output power, and torque were calculated. Efficiency and voltage imbalance were also analyzed to assess motor performance. The results show that slip values vary across different modes, with the highest slip observed in the Wash mode at -8.1%, indicating that the actual speed exceeds the synchronous speed. The Extract mode shows minimal slip at -0.368%, indicating efficient operation at high frequency. Input power increases with frequency, with the highest power recorded in the Rinse mode at 7058 W. The highest torque in the Rinse mode is 195.72 Nm, aligning with the

high energy demand for this mode. The study concludes that VSD has a significant impact on the performance of 3-phase induction motors in commercial washing machines. The Rinse mode requires the most energy and produces the highest torque. The Extract mode, operating at the highest frequency, shows efficient performance with minimal voltage imbalance. These findings provide valuable insights for optimizing motor performance and energy efficiency in commercial laundry operations.

I. PENDAHULUAN

Dalam era modern ini, efisiensi energi dan pengendalian operasional menjadi fokus utama dalam industri, termasuk industri perhotelan. Mesin cuci komersial merupakan salah satu peralatan penting dalam industri perhotelan yang membutuhkan perhatian khusus terkait efisiensi dan performa. Hotel Indonesia Kempinski Jakarta menggunakan mesin cuci Milnor Extractor yang dilengkapi dengan motor induksi 3 fasa dan Variable Speed Drive (VSD) Yaskawa untuk mengendalikan kecepatan motor.

Motor induksi 3 fasa merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam aplikasi industri karena keandalannya, biaya pemeliharaan yang rendah, dan efisiensi yang baik. Namun, pengendalian kecepatan motor induksi konvensional seringkali kurang fleksibel dan tidak efisien. Oleh karena itu, penggunaan VSD menjadi solusi yang efektif untuk mengatasi masalah ini. VSD memungkinkan pengendalian frekuensi dan tegangan yang tepat, sehingga motor dapat beroperasi pada kecepatan yang diinginkan dengan efisiensi yang lebih tinggi [1].

Penggunaan VSD pada mesin cuci Milnor Extractor di Hotel Indonesia Kempinski Jakarta memungkinkan pengaturan kecepatan motor sesuai dengan beban kerja yang bervariasi pada setiap mode pencucian. Empat mode pencucian utama yang dianalisis dalam penelitian ini adalah Wash, Rinse, Drain, dan Extract. Setiap mode beroperasi pada frekuensi yang berbeda, yang mempengaruhi kecepatan motor, daya input, daya output, torsi, dan efisiensi keseluruhan sistem.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa menggunakan VSD terhadap kinerja mesin cuci Milnor Extractor. Fokus penelitian meliputi pengukuran tegangan, arus, dan RPM pada setiap mode pencucian, serta perhitungan kecepatan sinkron, slip, daya input, daya output, dan torsi. Selain itu, penelitian ini juga menganalisis efisiensi dan ketidakseimbangan tegangan untuk menilai kinerja keseluruhan motor.

Dengan memahami pengaruh pengendalian kecepatan menggunakan VSD terhadap motor induksi 3 fasa, diharapkan penelitian ini dapat memberikan wawasan berharga bagi industri perhotelan dalam mengoptimalkan kinerja mesin cuci komersial dan mencapai efisiensi energi yang lebih baik. Temuan penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi acuan bagi penerapan teknologi VSD pada aplikasi industri lainnya yang memerlukan pengendalian kecepatan motor.

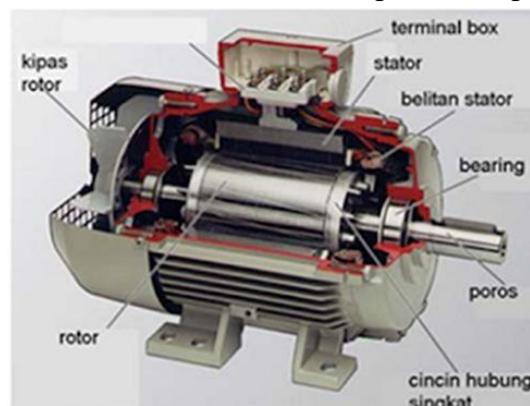
II. LANDASAN TEORI

A. Motor Induksi

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (AC) yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke rotornya, dimana 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 (rotating magnetic field) yang dihasilkan oleh arus stator [2].

B. Konstruksi Motor Induksi 3 Fasa

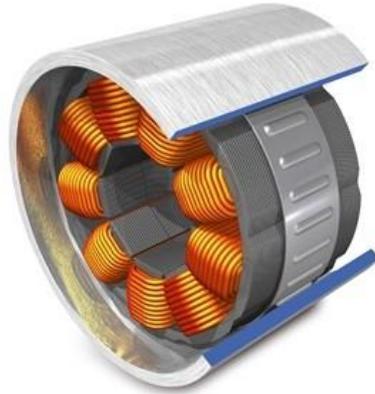
Konstruksi motor induksi secara detail terdiri atas dua bagian, yaitu bagian stator dan bagian rotor. Stator adalah bagian motor yang diam dan terdiri atas badan motor, inti stator, belitan stator, bearing dan terminal box. Bagian rotor adalah bagian motor yang berputar dan terdiri atas rotor sangkar, poros rotor. Pada motor induksi tidak ada bagian rotor yang bersentuhan dengan bagian stator. Stator dan rotor dipisahkan oleh air gap. Konstruksi motor induksi lebih sederhana dibandingkan dengan motor DC, dikarenakan tidak ada komutator dan sikat arang sehingga pemeliharaan motor induksi hanya bagian mekanik saja. Motor induksi sangat handal dan jarang sekali rusak secara elektrik [3]. Konstruksi motor induksi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Konstruksi Motor Induksi

C. Stator

Stator terdiri atas tumpukan laminasi inti yang memiliki alur yang menjadi tempat kumparan dililitkan yang berbentuk silindris. Alur pada tumpukan laminasi inti diisolasi dengan kertas. Tiap elemen laminasi inti dibentuk dari lembaran besi. Tiap lembaran besi tersebut memiliki beberapa alur dan beberapa lubang pengikat untuk menyatukan inti. Tiap kumparan tersebar dalam alur yang disebut belitan fasa dimana untuk motor tiga fasa, belitan tersebut terpisah secara listrik sebesar 120°. Kawat kumparan yang digunakan terbuat dari tembaga yang dilapisi dengan isolasi tipis. Kemudian tumpukan inti dan belitan stator diletakkan dalam cangkang silindris. Berikut ini ilustrasi stator motor induksi tiga fasa yang terdapat pada gambar 2.

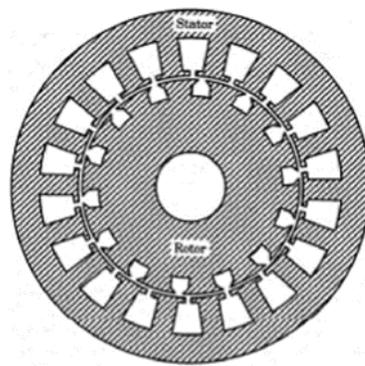


Gambar 2. Komponen Stator Motor Induksi Tiga Fasa

D. Celah Udara (Air Gap)

Bagian internal dari suatu motor induksi tiga fasa, terdapat suatu bagian kosong diantara stator dan rotor, yang dinamakan dengan celah udara (air gap). Air gap ini berfungsi sebagai tempat mengalirnya energi dari stator menuju rotor. Pada celah ini, terdapat gaya gerak magnet (magnetomotive force) dari stator yang membuat rotor menjadi berputar sesuai dengan polaritasnya.

Jarak celah udara ini harus sekecil mungkin agar mengoptimalkan gaya gerak magnet yang dibutuhkan untuk memutar rotor, serta harus seideal mungkin untuk dapat memisahkan jarak antara dua komponen fisik yang berbeda, yakni stator dan rotor. Selain itu, celah udara ini bentuknya harus seragam, karena ketidakseragaman bentuk celah udara akan mengakibatkan terjadi peningkatan noise dan vibrasi.



Gambar 3. Celah udara (air gap) pada konstruksi motor induksi 3 fasa

E. Rotor

Rotor merupakan bagian yang berputar pada motor induksi. Perputaran rotor disebabkan karena adanya medan magnet yang dihasilkan oleh stator. Rotor motor induksi tidak berputar pada kecepatan sinkron tetapi sedikit ketinggalan atau terjadi selisih jumlah putaran antara putaran medan stator dan putaran rotor

F. Slip

Selisih antara putaran medan stator dan putaran rotor disebut sebagai slip. Kecepatan putaran rotor motor induksi harus lebih lambat dari kecepatan sinkronnya supaya konduktor pada rotor selalu dipotong oleh medan putar, sehingga pada rotor timbul tegangan induksi yang akan menghasilkan arus induksi pada rotor [4].

$$s = \left(\frac{N_s - Nr}{N_s} \right) \times 100$$

Penjelasan:

s: Slip (%)

N_s : Kecepatan sinkron (RPM)

Nr : Kecepatan rotor aktual (RPM)

G. Torsi

Torsi (T) adalah ukuran dari gaya putar yang menyebabkan pergerakan rotasional pada suatu benda. Dalam sistem SI, torsi diukur dalam Newton-meter (Nm). Torsi dihasilkan oleh gaya yang bekerja pada jarak tertentu dari pusat rotasi [5]. Torsi yang dihasilkan oleh motor induksi dapat dihitung dari daya output motor dan kecepatan sudut rotor. Hubungan antara daya, torsi, dan kecepatan sudut dinyatakan dalam persamaan:

$$T = \frac{P_{out}}{\omega}$$

Penjelasan :

T adalah torsi (N·m).

P_{out} adalah daya keluaran (W).

ω adalah kecepatan sudut (rad/s).

Kecepatan sudut dapat dihitung dari kecepatan putar rotor dalam RPM (revolusi per menit) dengan menggunakan rumus berikut:

$$\omega = \frac{2\pi Nr}{60}$$

Penjelasan :

ω adalah kecepatan sudut dalam radian per detik (rad/s)

Nr adalah kecepatan putar rotor dalam RPM

H. Daya Output

Daya output (P_{out}) dari motor induksi dihitung berdasarkan daya input (P_{in}) dan efisiensi motor (η):

$$P_{out} = P_{in} \times \eta$$

Penjelasan :

P_{in} adalah daya input dalam watt (W)

η adalah efisiensi motor (dalam bentuk desimal)

I. Variable Speed Drive (VSD)

Variabel speed drive atau variabel frekuensi drive adalah suatu alat yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor listrik (AC) dengan mengontrol frekuensi daya listrik yang dipasok ke motor.

VSD mengontrol kecepatan motor induksi dengan mengubah frekuensi dari grid untuk nilai disesuaikan pada sisi mesin sehingga memungkinkan motor listrik dengan cepat dan mudah menyesuaikan kecepatan dengan nilai yang diinginkan. Dua fungsi utama dari variabel frequency drive adalah untuk melakukan konversi listrik dari satu frekuensi ke yang lain, dan untuk mengontrol frekuensi keluaran.

J. Inverter

Inverter merupakan rangkaian elektronika daya yang berfungsi sebagai pengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) dengan menggunakan metode switching dengan frekuensi yang dapat diatur. Prinsip kerja dari sebuah inverter adalah dengan menggabungkan sebuah rangkaian multivibrator yang dihubungkan dengan sebuah transformator penaik tegangan (Step Up). Inverter dapat digunakan untuk mensuplai beban dengan tegangan AC dengan daya yang disesuaikan dengan daya tegangan DC yang tersedia. Contoh penggunaan inverter dapat digunakan untuk rangkaian UPS (Uninterrupted Power Supply) untuk suplai tegangan listrik bila terjadi pemutusan listrik dari PLN dengan tiba-tiba [6].

III. METODE

A. Lokasi Penelitian

Adapun penelitian ini dilaksanakan Januari 2024 – April 2024 di Hotel Indonesia Kempinski Jakarta, Jl. M.H. Thamrin No.1, Menteng, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat, Daerah Khusus Ibukota Jakarta

B. Alat Penelitian

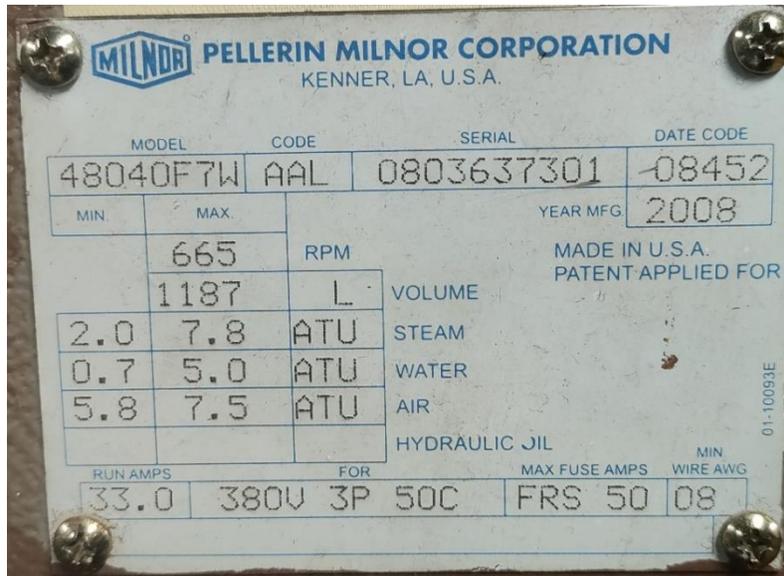
Alat yang digunakan dalam penelitian:

1. Laptop
2. Alat Tulis
3. Kamera

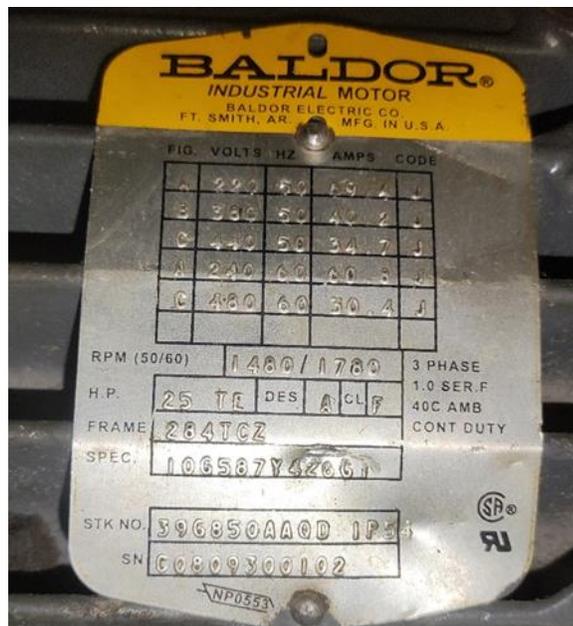
Analisis pengaruh Kendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Untuk Mesin Cuci Milnor Extractor Menggunakan Variable Speed Drive Yaskawa Di Hotel Indonesia Kempinski Jakarta

4. Pembaca RPM Motor (Tachometer)
5. Multimeter untuk mengukur Voltase dan Arus pada parameter VSD
6. Motor Induksi 3 phasa (23 kW, 1500 rpm, rotor sangkar)
7. Variable Speed Drive 24 kW (50 – 60 Hz)

B. Data Mesin Cuci



Gambar 4. Namplate mesin Cuci Milnor Extractor



Gambar 5. Namplate Motor Induksi 3 Fasa

Analisis pengaruh Kendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Untuk Mesin Cuci Milnor Extractor Menggunakan Variable Speed Drive Yaskawa Di Hotel Indonesia Kempinski Jakarta

Tabel 1 Spesifikasi Motor Induksi 3 Fasa

Brand	BALDOR
Model	10-0000273
Frekuensi	50 Hertz
HP	25 HP
Tegangan	220-240 / 380-415 Volt
Arus	37 A
Cos Phi	0,85



Gambar 6. Nameplate Variable Speed Drive Yaskawa

Tabel 2. Spesifikasi VSD Yaskawa

Brand	Yaskawa
Model	CIMRR-F7U40181F-049
Input	AC 3 Fasa 380-480 Volt
Output	AC 3 Fasa 0-480 Volt
Frekuensi Input	50/60 Hertz
Frekuensi Output	0-400 Hertz
Arus	39 A

C. Pengaturan Alat

Penelitian dilakukan pengaturan alat melalui beberapa tahap sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat yang akan digunakan bersumber dari Engineering Departemen Hotel Indonesia Kempinski Jakarta.
2. Menyambungkan motor induksi ke VSD.
3. Mengoperasikan mesin cuci dengan beberapa mode pencucian pada tampilan display seperti Wash, Rinse, Drain & Extract.
4. Mengukur tegangan, frekuensi, dan arus pada Panel Motor mesin cuci Milnor Extractor pada masing masing mode pencucian

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Data Pengukuran

Tabel 3. Data Pengukuran

Mode	Frekuensi (Hz)	Kecepatan Aktual (RPM)	Tegangan Rata-rata (V)	Arus Rata-rata (A)
Wash	7	227	149.33	21.53
Rinse	11	310	198.33	25.67
Drain	15	457	223	16.43
Extract	136	4095	447	6.87

B. Perhitungan Kecepatan Sinkron dan Slip

Mode Wash

1. Kecepatan Sinkron:

Kecepatan sinkron (N_s) adalah kecepatan teoritis medan magnet berputar dalam motor induksi. Dihitung dengan rumus:

$$N_s = \frac{120 \times f}{P}$$

Dengan frekuensi (f) 7 Hz dan jumlah kutub (P) 4:

$$N_s = \frac{120 \times 7}{4} = 210 \text{ RPM}$$

2. Slip:

Slip (s) adalah perbedaan antara kecepatan sinkron dan kecepatan aktual (N_r), dinyatakan sebagai:

$$s = \left(\frac{N_s - N_r}{N_s} \right) \times 100$$

Dengan kecepatan aktual (N_r) 227 RPM:

$$s = \left(\frac{210 - 227}{210} \right) \times 100 = -8.1\%$$

Mode Rinse

1. Kecepatan Sinkron:

Dengan frekuensi (f) 11 Hz dan jumlah kutub (P) 4:

$$N_s = \frac{120 \times 11}{4} = 330 \text{ RPM}$$

2. Slip:

Dengan kecepatan aktual (N_r) 310 RPM:

$$s = \left(\frac{330 - 310}{330} \right) \times 100 = 6.06\%$$

Mode Drain

1. Kecepatan Sinkron:

Dengan frekuensi (f) 15 Hz dan jumlah kutub (P) 4:

$$N_s = \frac{120 \times 15}{4} = 450 \text{ RPM}$$

2. Slip:

Dengan kecepatan aktual (N_r) 227 RPM:

$$s = \left(\frac{450 - 457}{450} \right) \times 100 = -1.56\%$$

Mode Extract

1. Kecepatan Sinkron:

Dengan frekuensi (f) 136 Hz dan jumlah kutub (P) 4:

$$N_s = \frac{120 \times 136}{4} = 4080 \text{ RPM}$$

2. Slip:

Dengan kecepatan aktual (N_r) 227 RPM:

$$s = \left(\frac{4080 - 4095}{4080} \right) \times 100 = -0.368\%$$

Tabel 4. Perhitungan Kecepatan Sinkron dan Slip

Mode	Frekuensi (Hz)	Kecepatan Sinkron (RPM)	Kecepatan Aktual (RPM)	Slip (%)
Wash	7	210	227	-8.1%
Rinse	11	330	310	6.06%
Drain	15	450	457	-1.56%
Extract	136	4080	4095	-0.368%

C. Perhitungan Daya Input

Mode Wash

1. Daya Input :

Daya input (P_{in}) dihitung menggunakan rumus:

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

Dengan tegangan rata-rata (V) 149.33 V, arus rata-rata (I) 21.53 A, dan faktor daya ($\cos(\phi)$) 0.8:

$$P_{in} = \sqrt{3} \times 149.33 \times 21.53 \times 0.8 = 4447 \text{ W}$$

Mode Rinse

1. Daya Input:

Dengan tegangan rata-rata (V) 198.33 V, arus rata-rata (I) 25.67 A, dan faktor daya ($\cos(\phi)$) 0.8:

$$P_{in} = \sqrt{3} \times 198.33 \times 25.67 \times 0.8 = 7058 \text{ W}$$

Mode Drain

1. Daya Input:

Dengan tegangan rata-rata (V) 223 V, arus rata-rata (I) 16.43 A, dan faktor daya ($\cos(\phi)$) 0.8:

$$P_{in} = \sqrt{3} \times 223 \times 16.43 \times 0.8 = 5077 \text{ W}$$

Mode Extract

1. Daya Input:

Dengan tegangan rata-rata (V) 447 V, arus rata-rata (I) 6.87 A, dan faktor daya ($\cos(\phi)$) 0.8:

$$P_{in} = \sqrt{3} \times 447 \times 6.87 \times 0.8 = 4255 \text{ W}$$

Tabel 4. Perhitungan Daya Input

Mode	Frekuensi (Hz)	Daya Input (W)
Wash	7	4447
Rinse	11	7058
Drain	15	5077
Extract	136	4255

D. Perhitungan Daya Output dan Torsi

Mode Wash

1. Daya Output:

$$P_{out} = P_{in} \times \eta$$

Dengan $P_{in} = 4447 \text{ W}$ dan efisiensi (η) = 0.9:

$$P_{out} = P_{in} \times \eta = 4447 \times 0.9 = 4002.3 \text{ W}$$

2. Kecepatan Sudut:

$$\omega = \frac{2\pi Nr}{60}$$

Dengan kecepatan aktual (Nr) = 227 RPM:

$$\omega = \frac{2\pi \times 227}{60} = 23.76 \text{ rad/s}$$

3. Torsi:

$$T = \frac{P_{out}}{\omega}$$

$$T = \frac{4002.3}{23.76} = 168.45 \text{ Nm}$$

Mode Rinse

1. Daya Output:

$$P_{out} = P_{in} \times \eta$$

Dengan $P_{in} = 7058 \text{ W}$ dan efisiensi (η) = 0.9:

$$P_{out} = P_{in} \times \eta = 7058 \times 0.9 = 6352.2 \text{ W}$$

2. Kecepatan Sudut:

$$\omega = \frac{2\pi Nr}{60}$$

Dengan kecepatan aktual (Nr) = 310 RPM:

$$\omega = \frac{2\pi \times 310}{60} = 32.45 \text{ rad/s}$$

3. Torsi:

$$T = \frac{P_{out}}{\omega}$$

Analisis pengaruh Kendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Untuk Mesin Cuci Milnor Extractor Menggunakan Variable Speed Drive Yaskawa Di Hotel Indonesia Kempinski Jakarta

$$T = \frac{6352.2}{32,45} = 195.72 \text{ Nm}$$

Mode Drain

1. Daya Output:

$$P_{out} = P_{in} \times \eta$$

Dengan $P_{in} = 5077 \text{ W}$ dan efisiensi (η) = 0.9:

$$P_{out} = 5077 \times 0.9 = 4570 \text{ W}$$

2. Kecepatan Sudut:

$$\omega = \frac{2\pi Nr}{60}$$

Dengan kecepatan aktual (Nr) = 457 RPM:

$$\omega = \frac{2\pi \times 457}{60} = 47.87 \text{ rad/s}$$

3. Torsi:

$$T = \frac{P_{out}}{\omega}$$

$$T = \frac{4570}{47,81} = 95.45 \text{ Nm}$$

Mode Extract

1. Daya Output:

$$P_{out} = P_{in} \times \eta$$

Dengan $P_{in} = 4255 \text{ W}$ dan efisiensi (η) = 0.9:

$$P_{out} = 4255 \times 0.9 = 3829.5 \text{ W}$$

2. Kecepatan Sudut:

$$\omega = \frac{2\pi Nr}{60}$$

Analisis pengaruh Kendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Untuk Mesin Cuci Milnor Extractor Menggunakan Variable Speed Drive Yaskawa Di Hotel Indonesia Kempinski Jakarta

Dengan kecepatan aktual (Nr) = 4095 RPM:

$$\omega = \frac{2\pi \times 4095}{60} = 428.5 \text{ rad/s}$$

3. Torsi:

$$T = \frac{P_{out}}{\omega}$$

$$T = \frac{4570}{47,81} = 95.45 \text{ Nm}$$

Tabel 5. Perhitungan Daya Output dan Torsi

Mode	Frekuensi (Hz)	Daya Output (W)	Kecepatan Sudut (rad/s)	Torsi (Nm)
Wash	7	4002	23.76	168.45
Rinse	11	6352	32.45	195.72
Drain	15	4570	47.87	95.45
Extract	136	3830	428.5	8.94

Dari hasil Perhitungan Perhitungan Daya Output dan Torsi maka didapatkan hasil:

E. Analisis Ketidakseimbangan Tegangan

Mode Wash

1. Tegangan Fase-Fase:

$$VR = 149 \text{ V}, VS = 149 \text{ V}, VT = 150 \text{ V}$$

2. Tegangan Rata-rata:

$$V_{avg} = \frac{149 + 149 + 150}{3} = 149.33 \text{ V}$$

3. Ketidakseimbangan Tegangan:

$$\%Ketidakseimbangan = \frac{150 - 149}{149.33} \times 100\% = 0.67\%$$

Mode Rinse

1. Tegangan Fase-Fase:

$$VR = 197 V, VS = 199 V, VT = 199 V$$

2. Tegangan Rata-rata:

$$V_{avg} = \frac{197 + 199 + 199}{3} = 198.33 V$$

3. Ketidakseimbangan Tegangan:

$$\%Ketidakseimbangan = \frac{199 - 197}{198.33} \times 100\% = 1.01\%$$

Mode Drain

1. Tegangan Fase-Fase:

$$VR = 221 V, VS = 221 V, VT = 227 V$$

2. Tegangan Rata-rata:

$$V_{avg} = \frac{221 + 221 + 227}{3} = 223 V$$

3. Ketidakseimbangan Tegangan:

$$\%Ketidakseimbangan = \frac{227 - 221}{223} \times 100\% = 2.69\%$$

Mode Extract

1. Tegangan Fase-Fase:

$$VR = 447 V, VS = 447 V, VT = 447 V$$

2. Tegangan Rata-rata:

$$V_{avg} = 447 V$$

3. Ketidakseimbangan Tegangan:

Analisis pengaruh Kendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Untuk Mesin Cuci Milnor Extractor Menggunakan Variable Speed Drive Yaskawa Di Hotel Indonesia Kempinski Jakarta

$$\%Ketidakseimbangan = \frac{447 - 447}{447} \times 100\% = 0.00\%$$

Tabel 6. Analisis Ketidakseimbangan Tegangan

Mode	Tegangan Maks (V)	Tegangan Min (V)	Tegangan Rata-rata (V)	Ketidakeimbangan (%)
Wash	150	149	149.33	0.67%
Rinse	199	197	198.33	1.01%
Drain	227	221	223	2.69%
Extract	447	447	447	0.00%

F. Diskusi Hasil

1. Kecepatan Sinkron dan Slip:

- a. Pada mode wash, slip negatif menunjukkan bahwa kecepatan aktual lebih tinggi daripada kecepatan sinkron. Hal ini dapat disebabkan oleh beban yang lebih ringan atau perubahan dinamis dalam sistem.
- b. Pada mode rinse dan drain, slip menunjukkan bahwa kecepatan aktual sedikit berbeda dari kecepatan sinkron, yang normal dalam operasi motor induksi.
- c. Pada mode extract, slip sangat kecil, menunjukkan bahwa motor beroperasi mendekati kecepatan sinkron karena frekuensi yang sangat tinggi.

2. Daya Input dan Output:

- a. Daya input meningkat dengan frekuensi karena peningkatan tegangan dan arus.
- b. Daya output dan torsi tertinggi terjadi pada mode rinse, sesuai dengan beban pencucian yang berat dan kebutuhan energi yang lebih besar.
- c. Mode extract menunjukkan daya output dan torsi yang lebih rendah karena motor bekerja pada kecepatan tinggi dengan beban yang lebih ringan setelah proses pengeringan.

3. Ketidakseimbangan Tegangan:

- a. Ketidakseimbangan tegangan tertinggi terjadi pada mode drain, dengan perbedaan tegangan antara fasa maksimum dan minimum mencapai 2.69%. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan suhu pada motor dan penurunan efisiensi.
- b. Mode extract menunjukkan ketidakseimbangan tegangan yang sangat rendah atau nol, menunjukkan bahwa VSD bekerja efisien pada frekuensi tinggi.

4. Efisiensi Motor:

- a. Efisiensi motor yang diasumsikan 90% menunjukkan bahwa sebagian besar daya input dikonversi menjadi daya mekanik yang berguna.
- b. Mode rinse memiliki efisiensi penggunaan daya yang baik, sementara mode extract menunjukkan efisiensi yang menurun karena torsi yang lebih rendah pada kecepatan tinggi.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah menganalisis pengaruh kendali kecepatan motor induksi 3 fasa menggunakan Variable Speed Drive (VSD) Yaskawa pada mesin cuci Milnor Extractor di Hotel Indonesia Kempinski Jakarta. Berdasarkan hasil pengumpulan data, perhitungan, dan analisis yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan Sinkron dan Slip:

- a. Pada mode wash (7 Hz), motor mengalami slip negatif sebesar -8.1%, menunjukkan bahwa kecepatan aktual motor lebih tinggi dari kecepatan sinkron.
- b. Pada mode rinse (11 Hz), motor memiliki slip positif sebesar 6.06%, menunjukkan adanya sedikit perbedaan antara kecepatan sinkron dan aktual.
- c. Pada mode drain (15 Hz), slip motor adalah -1.56%, yang masih berada dalam batas toleransi untuk operasi normal.
- d. Pada mode extract (136 Hz), slip motor sangat kecil, yaitu -0.368%, menunjukkan bahwa motor beroperasi mendekati kecepatan sinkron.

2. Daya Input dan Output:

- a. Daya input motor meningkat seiring dengan peningkatan frekuensi, dengan nilai tertinggi pada mode rinse (7058 W) dan terendah pada mode extract (4255 W).
- b. Daya output motor juga menunjukkan tren peningkatan seiring dengan peningkatan frekuensi, dengan daya output tertinggi pada mode rinse (6352 W) dan terendah pada mode extract (3829 W).
- c. Torsi tertinggi tercatat pada mode rinse (195.72 Nm), yang sesuai dengan kebutuhan daya yang lebih besar untuk proses pencucian. Torsi terendah tercatat pada mode extract (8.94 Nm), karena beban yang lebih ringan setelah proses pengeringan.

3. Ketidakseimbangan Tegangan:

- a. Ketidakseimbangan tegangan tertinggi terjadi pada mode drain, dengan persentase ketidakseimbangan sebesar 2.69%. Hal ini dapat mempengaruhi kinerja motor dan menyebabkan peningkatan suhu.

- b. Pada mode extract, ketidakseimbangan tegangan sangat rendah (0.00%), menunjukkan bahwa VSD bekerja sangat efisien pada frekuensi tinggi.

4. Efisiensi Motor:

- a. Motor induksi 3 fasa memiliki efisiensi yang baik pada mode rinse dan drain, dengan efisiensi yang menurun pada mode extract karena torsi yang lebih rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- R. Rusdi, Gilang Arrachman, and Bustani, “Evaluasi Pengendalian Kecepatan Putaran Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive ATV61 Terhadap Penghematan Energi Pada PLTGU Tanjung Batu,” *PoliGrid*, vol. 4, no. 2, pp. 68–74, 2023, doi: 10.46964/poligrid.v4i2.31.
- Sarjono, R. Gianto, and A. Hiendro, “Evaluasi Kinerja Motor Induksi 3 Fasa 100 Hp / 75 Kw Pada Panel Star – Delta Di Pdam Tirta Raya Adi Sucipto,” *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 2, no. 1, 2020.
- M. Mujtahid, “Analisis Motor Induksi 3 Fasa dengan Metode Konstruksi dan Prinsip Kerja,” *Www.Scribd.Com*, 2012.
- D. R. Pattiapon, J. J. Rikumahu, and M. Jamlaay, “Penggunaan Motor Sinkron Tiga Fasa Tipe Salient Pole Sebagai Generator Sinkron,” *J. Simetrik*, vol. 9, no. 2, pp. 197–207, 2019, doi: 10.31959/js.v9i2.386.
- I. Kusuma, “Aplikasi VSD Inverter Dalam Penghematan Konversi Energi,” *Sainstech J. Penelit. dan Pengkaj. Sains dan Teknol.*, vol. 26, no. 2, pp. 25–32, 2020, doi: 10.37277/stch.v26i2.507.
- Y. Pranata, T. Arfianto, and N. Taryana, “Analisis Unjuk Kerja Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Inverter 3 Fasa,” *TELKA - Telekomun. Elektron. Komputasi dan Kontrol*, vol. 4, no. 2, pp. 91–102, 2018, doi: 10.15575/telka.v4n2.91-102.



work is licensed under a
Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License