

Analisis Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD) Di Perusahaan Umum Daerah Air Minum Tirta Taman Kota Bontang

Hasrul Husain ¹, Masing ², Abdul Hamid Kurniawan ³
^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda
abdul.hamid.kurniawan@polnes.ac.id

Abstrak- Motor induksi 3 fasa umumnya digunakan untuk menggerakkan peralatan yang bekerja dengan kecepatan penuh secara konstan. *Variable Speed Drive* memiliki kemampuan untuk mengubah kecepatan putaran motor induksi sesuai dengan kebutuhan karena sistem mungkin tidak selalu membutuhkan kecepatan penuh. Akibatnya, konsumsi daya motor induksi menyesuaikan dengan kecepatan putaran motor induksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa motor induksi 3 fasa dapat menghasilkan daya 5.768,76 kWh jika dioperasikan tanpa menggunakan VSD selama 5 hari, dan 2.456,327 kWh jika dikendalikan dengan VSD selama 5 hari. Perbandingan konsumsi energi listrik terjadi karena pengoperasian motor induksi dengan VSD menggunakan frekuensi yang berbeda-beda yaitu sesuai dengan kebutuhan, konsumsi energi listrik motor induksi 3 fasa menggunakan VSD lebih rendah sebesar 3.309,433 kWh dibandingkan tanpa VSD.

Kata Kunci: Energi listrik, Motor induksi 3 fasa, *Variable Speed Drive*

I. PENDAHULUAN

Pada zaman sekarang, karena pertumbuhan industri, populasi, dan kemajuan teknologi, kebutuhan akan energi semakin meningkat. Penggunaan energi yang efisien menjadi masalah utama dalam pengelolaan sumber daya, terutama di sektor industri yang sangat bergantung pada sistem motor listrik untuk beroperasi. Efisiensi energi bukan hanya penting dari sisi ekonomi, namun juga dari sisi keberlanjutan lingkungan. Oleh karena itu, saat mengembangkan teknologi dan sistem kelistrikan, strategi untuk menghemat energi menjadi fokus utama.

Motor induksi 3 fasa adalah bagian penting dari sistem pemompaan air bersih ke masyarakat di PERUMDA Air Minum Tirta Taman Kota Bontang. Operasi motor-motor tersebut membutuhkan banyak energi. Namun, meskipun kebutuhan operasional sebenarnya berbeda, sistem sering kali berjalan pada kecepatan tetap. Akibatnya, jumlah energi yang digunakan tidak sebanding dengan beban yang dibutuhkan. Ketidaksiapan suplai dan kebutuhan ini menyebabkan energi terbuang dan biaya operasional perusahaan meningkat.

PERUMDA Air Minum Kota Bontang menghadapi masalah untuk mengoptimalkan kinerja motor induksi 3 fasa yang digunakan dalam sistem distribusi air bersih. Salah satu

permasalahan utama adalah pengaturan *Variable Speed Drive* (VSD) ACQ 580-01, yang memerlukan pemahaman teknis yang tepat agar dapat mengatur parameter dengan benar dan sesuai kebutuhan operasional. Implementasi VSD ini memerlukan pemahaman teknis yang baik, mulai dari proses *setting* awal, pengoperasian yang sesuai dengan karakteristik motor induksi, hingga analisis kebutuhan daya masuk (*input power*) yang diperlukan. Ketidaktepatan dalam penyetelan dapat menyebabkan motor tidak bekerja dengan baik dalam hal kecepatan putaran dan efisiensi kerja. Tanpa pengendalian kecepatan yang tepat, motor tetap bekerja pada kapasitas penuh meskipun beban kerja rendah, yang menghasilkan efisiensi energi yang lebih rendah. Hal ini berdampak pada tingginya konsumsi listrik dan biaya yang harus ditanggung oleh PERUMDA. Jika tidak diatasi, hal ini dapat memengaruhi efektivitas pelayanan masyarakat dan stabilitas keuangan perusahaan.

Variable Speed Drive (VSD) tampaknya merupakan solusi yang bagus untuk masalah ini. VSD memungkinkan pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa secara *real-time* sesuai dengan kebutuhan beban. Ini memungkinkan PERUMDA Air Minum Tirta Taman Kota Bontang untuk menyesuaikan *output* motor dengan beban sebenarnya, yang menghasilkan penggunaan energi yang lebih efisien. Karena operasi motor menjadi lebih stabil dan tidak bekerja di luar kapasitas normal, VSD juga dapat memperpanjang umur motor dan mengurangi biaya perawatan.

Berdasarkan penjelasan diatas, penulis berkeinginan membahasnya sebagai skripsi dengan judul “Analisis Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD) di Perusahaan Umum Daerah Air Minum Tirta Taman Kota Bontang”.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Motor Induksi 3 Fasa

Motor Induksi 3 fasa adalah suatu mesin yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik atau tenaga gerak, dimana tenaga gerak ini berupa perputaran pada poros motor. Motor induksi 3 fasa dioperasikan pada sistem tenaga 3 fasa dan banyak digunakan dalam berbagai bidang industri [1]. Dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini:



Gambar 1. Motor induksi 3 fasa 1

B. Konstruksi Motor Induksi 3 Fasa

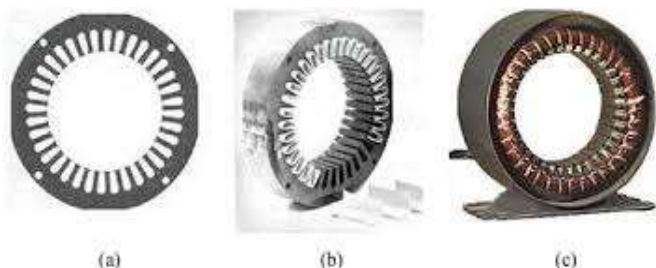
Motor induksi 3 fasa terdiri dari dua bagian utama yaitu stator bagian yang diam dan rotor bagian yang berputar seperti terlihat pada Gambar 2. Penamaan berasal dari kenyataan bahwa arus rotor bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan induksi gulungan stator ke penghantar rotor. Dimana pada kedua ujung rotor disambung seperti sangkar tupai, akibat induksi dari stator pada penghantar rotor akan membangkitkan gaya gerak listrik sehingga pada batangan rotor akan mengalir arus listrik dan dari arus ini akan menghasilkan fluks magnet, interaksi fluks magnet di celah udara antara stator dan rotor akan menghasilkan gaya putar mekanik yang dikenal dengan istilah torsi [2].



Gambar 2. Kontruksi motor induksi 3 fasa

C. Stator

Stator pada motor induksi adalah komponen yang diam yang mengelilingi rotor. Stator terdiri dari rangka besi dengan slot untuk kumparan 3 fasa. Sangat penting bagi efisiensi motor dan karakteristik torsinya karena celah udara yang sangat kecil di antara rotor dan stator, biasanya hanya beberapa milimeter. Terlalu banyak celah dapat mengurangi efisiensi, sementara terlalu kecil celah dapat menyebabkan gesekan mekanis. Arus 3 fasa akan mengalir melalui kumparan stator ketika stator dihubungkan dengan sumber tegangan AC 3 fasa. Dalam kebanyakan kasus, setiap kumparan fasa disusun dan didistribusikan sedemikian rupa sehingga distribusi fluks magnet menjadi hampir sinusoidal.



Gambar 3. Stator motor induksi 3 fasa

Submitted: 14/08/2026; Revised: 28/03/2026;
Accepted: 28/03/2026; Online first: 31/03/2026

Pada Gambar 3 dapat dilihat gambar dari stator motor induksi 3 fasa [3], dimana:

- a. Elemen laminasi inti dari lembaran besi;
- b. Isolasi alur tumpukan laminasi inti dengan kertas;
- c. Tumpukan inti dan belitan stator dalam cangkang silindris.

D. 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 [4].

1. Rotor Sangkar Tupai (Squirrel Cage Rotor)

Penampang motor induksi 3 fasa rotor sangkar tupai sederhana. Dalam rotor sangkar tupai motor induksi 3 fasa, inti stator terdiri dari lapisan pelat baja silikon beralur yang dilapisi isolasi dan didukung oleh rangka stator yang terbuat dari pelat baja yang dipabrikasi atau besi tulang. Inti rotor memiliki alur untuk menyimpan batangan tembaga atau aluminium. Ujung-ujungnya dihubungkan singkat dengan cincin di kedua sisi rotor, membentuk sangkar. Karakteristik motor sangkar batangan ini dipengaruhi oleh struktur dan bahan yang digunakan. Batang rotor motor sangkar tupai sering dimiringkan, bukan paralel dengan poros motor. Ini akan mengurangi derau dengung magnetik saat motor berputar dan menghasilkan torsi yang lebih seragam. Sirip yang berfungsi sebagai pendingin dilekatkan pada ujung cincin penutup. Karena batangan membawa arus yang besar pada tegangan rendah, rotor jenis rotor sangkar standar tidak terisolasi [5]. Pada Gambar 4 dapat dilihat bentuk dari motor induksi tipe rotor sangkar tupai.



Gambar 4. Rotor Sangkar Tupai (Squirrel Cage Rotor)



Gambar 5. Rotor Belitan (Wound Rotor)

2. Rotor Belitan (Wound Rotor)

Motor rotor belitan, juga dikenal sebagai motor cincin Slip, memiliki konstruksi rotor yang berbeda dari motor sangkar tupai. Seperti namanya, rotor dibungkus dengan lilitan yang

miring dengan lilitan stator. Lilitan fasa rotor dihubungkan secara bintang, dan masing-masing fasa ujung terbuka dikeluarkan ke cincin *Slip*. Poros rotor terhubung ke tahanan variabel eksternal, yang membatasi arus pengasutan dan memanaskan rotor. Penambahan tahanan eksternal pada rangkaian rotor belitan meningkatkan torsi pengasutan selama pengasutan. Pada Gambar 5 dapat dilihat gambar dari motor induksi rotor belitan [6].

E. Slip

Perbedaan kecepatan antara medan putar stator dengan rotor tergantung pada besarnya beban dari motor tersebut. Perbedaan putaran ini disebut dengan *slip* (S) yang dinyatakan dalam (%). Harga *slip* selalu berubah-ubah tergantung dari besarnya beban yang dipikul yaitu dari 100% saat *start* sampai dengan 0% saat diam ($n_s=n_r$) [7]. Perbedaan putaran antara putaran medan stator dan putaran rotor dapat dihitung dengan persamaan (1) dibawah ini:

$$Slip (S) = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\% \tag{1}$$

Keterangan:

- S = Slip
- N_s = Kecepatan Sinkron
- N_r = Kecepatan Putaran Rotor

F. Torsi

Torsi merupakan kekuatan atau tenaga yang dapat menghasilkan suatu putaran Hal tersebut dapat menyebabkan motor induksi untuk berputar [8]. Untuk menghitung nilai torsi dengan persamaan (2) dibawah ini:

$$\tau = \frac{P_{out}}{\omega} \tag{2}$$

Keterangan:

- τ = Torsi
- P_{out} = Daya keluaran
- ω = Kecepatan sudut, Radian per detik (Rad/s)

Sedangkan hubungan torsi terhadap daya pada sebuah motor induksi 3 fasa dapat dihitung dengan persamaan (3) adalah:

$$P = \tau \times \omega \tag{3}$$

Keterangan:

- P = Daya (Watt)
- τ = Torsi
- ω = Kecepatan sudut, Radian per detik (Rad/s)

Untuk rumusan kecepatan sudut dapat dihitung dengan persamaan (4) adalah:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n_r / 60 \tag{4}$$

Keterangan:

- n_r = Kecepatan Putaran Rotor (Rpm)

G. Rugi Daya dan Efisiensi

Rugi daya adalah energi listrik yang hilang saat motor induksi 3 fasa mengubah daya listrik menjadi daya mekanik, yang berdampak pada efisiensi motor. Rugi tembaga, rugi besi, rugi mekanik, dan rugi tambahan berasal dari aliran arus listrik melalui kumparan stator dan rotor, sedangkan rugi mekanik berasal dari perubahan magnetisasi (*histeresis*) dan arus. Efisiensi sangat terkait dengan Daya keluar (*P_{out}*), yang memiliki hubungan yang lurus, sedangkan efisiensi berbanding

terbalik dengan daya masuk (*P_{in}*). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa meningkatkan daya keluaran (*P_{out}*) meningkatkan efisiensi. Meningkatkan *torque* motor adalah salah satu cara untuk meningkatkan *output* motor [9]. Umumnya pada *Name plate*, nilai efisiensi sebuah motor tidak dinyatakan secara jelas, namun dapat dihitung berdasarkan data-data arus, tegangan, cos phi dan daya motor yang tertera pada *Name plate* tersebut. Untuk menghitung rugi daya dapat menggunakan persamaan (5) berikut ini:

Rumus untuk rugi daya

$$\Sigma \text{Rugi} = P_{in} - P_{out} \tag{5}$$

Keterangan:

- Σ Rugi = Rugi Daya
- P_{in} = Daya masukan
- P_{out} = Daya keluaran

Rumus untuk mencari *P_{in}* dapat dihitung dengan persamaan (6) dibawah ini:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{COS}\phi \tag{6}$$

Keterangan:

- P = Daya masukan
- V = Tegangan
- I = Arus
- COSφ = Faktor Daya
- √3 = Konstanta

Rumus untuk mencari *P_{out}* dapat dihitung dengan persamaan (7) dibawah ini:

$$P_{out} = P_{in} - \Sigma \text{Rugi} \tag{7}$$

Keterangan:

- P_{out} = Daya keluaran
- P_{in} = Daya masukan
- Σ Rugi = Rugi Daya

Rumus untuk Efisiensi dapat dihitung dengan persamaan (8) dibawah ini:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \tag{8}$$

Keterangan:

- η = Efisiensi
- P_{out} = Daya keluaran
- P_{in} = Daya masukan

H. Variable Speed Drive (VSD)

Variable Speed Drive atau *Variable Frekuensi Drive* adalah suatu alat yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor listrik (AC) dengan mengontrol frekuensi daya listrik yang dipasok ke motor. *Variable Frekuensi Drive* semakin populer karena kemampuannya untuk mengontrol kecepatan motor induksi. 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 [10].

Cara yang digunakan adalah memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam satu *periode*, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Pengaturan Lebar Pulsa Modulasi atau *PWM* merupakan salah satu teknik yang digunakan dalam sistem kendali. Pengaturan lebar modulasi dipergunakan sebagai *speed control* (kendali

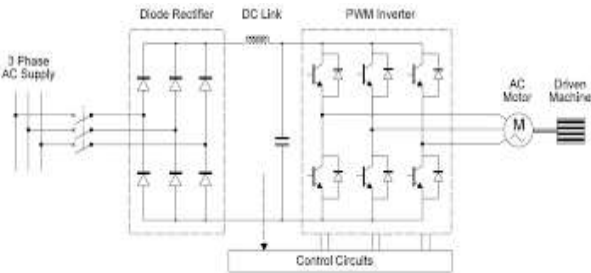
kecepatan). Jadi dengan memainkan perubahan frekuensi tegangan yang masuk pada motor induksi, maka kecepatan putaran motor induksi akan berubah. Kecepatan putaran medan stator dapat di ditentukan dengan persamaan (9) dibawah ini:

$$ns = \frac{120 \cdot f}{P} \tag{9}$$

Keterangan:

- F : Frekuensi
- P : Jumlah Kutub
- 120 : Konstanta

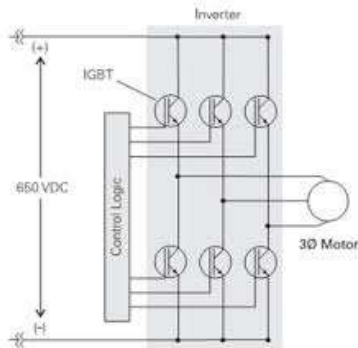
Dari besaran pada persamaan diatas, dapat dilihat bahwa nilai dari sebuah frekuensi dapat mempengaruhi kecepatan putaran motor induksi, yang berarti dengan memainkan frekuensi dapat merubah putaran motor induksi. Rangkaian dari *Variable Speed Drive (VSD)* seperti pada Gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Rangkaian *Variable Speed Drive (VSD)*

I. Inverter

Inverter merupakan perangkat atau alat untuk mengatur kecepatan motor dengan mengubah frekuensi dan tegangan yang masuk pada motor. Pengaturan nilai frekuensi dan tegangan ini di maksudkan untuk mendapatkan putaran dan torsi yang diinginkan dengan menyesuaikan kebutuhan. Prinsip *Inverter* secara sederhana dapat mengubah frekuensi menjadi lebih kecil atau lebih besar yaitu dengan cara mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC kemudian dijadikan tegangan AC lagi dengan frekuensi yang berbedah atau dapat diatur sesuai kebutuhan yang kita inginkan. Adapun *Inverter* juga mempunyai nama lainnya *VFD (Variable Frequency Drive)*, *VSD (Variable Speed Driver) AC drive*, *Inverter Driver* [11]. Dapat dilihat pada Gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7. Rangkaian *Inverter*

J. DC Link

DC Link merupakan rangkaian yang terletak diantara *Rectifier* dan *Inverter* berupa kapasitor yang dipasang secara paralel. Kapasitor digunakan untuk mengurangi *ripple/riak*

yang dihasilkan dari keluaran rangkaian *Rectifier* dan memberikan energi bila diperlukan ke rangkaian *Inverter* [12]. Dapat dilihat pada Gambar 8 dibawah ini.

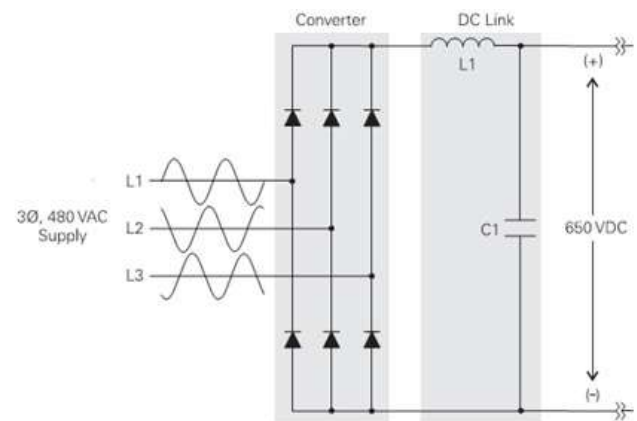


Gambar 8. Rangkaian *DC Link*

K. Rectifier

Rectifier (Penyearah Gelombang) merupakan suatu bagian yang berfungsi untuk mengubah tegangan AC menjadi DC dengan menggunakan dioda sebagai komponen utamanya, kemudian diubah kembali menjadi AC. Tegangan AC yang dihasilkan dari *Inverter* dapat diatur besarnya dengan mengatur frekuensi *inputnya*.

Dioda berperan sebagai saklar elektronik satu arah yang hanya mengizinkan arus listrik mengalir dalam satu arah saja, yaitu dari arah anoda ke katoda. Untuk *Rectifier* 3 fasa seperti pada Gambar 9, enam buah dioda bekerja secara bergantian untuk menyearahkan ke 3 fasa tegangan *input*. Setiap pasang dioda akan aktif sesuai dengan urutan fasa, menghasilkan tegangan *DC* yang lebih halus dibandingkan dengan *Rectifier* satu fasa karena frekuensi *ripple* yang lebih tinggi [13]



Gambar 9. Rangkaian *Rectifier*

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Lokasi

Proses pengambilan data *Variable Speed Drive (VSD)* sebagai pengendali kecepatan putaran motor induksi 3 fasa sebagai pompa dilaksanakan pada bulan Januari 2025 sampai dengan Juni 2025, dengan tempat pelaksanaan di Perusahaan Daerah Air Minum Tirta Taman Kota Bontang. Yang berlokasi di Jalan Bridgjen Katamso, Kota Bontang, Kalimantan Timur.

B. Jenis dan Sumber Data

1. Jenis Data

Jenis data yang diperoleh dalam proses penulisan skripsi ini adalah data hasil observasi lapangan berupa:

1. Data motor induksi 3 fasa yang digunakan sebagai pompa.
2. Data *Variable Speed Drive* yang digunakan sebagai pengendali motor induksi 3 fasa yang digunakan sebagai pompa
3. Data aktual motor induksi 3 fasa yang sedang dikendalikan *Variable Speed Drive*.

2. Sumber Data

Sumber data yang diperlukan langsung diambil dari PERUMDA Air Minum Tirta Taman Kota Bontang dengan meminta izin kepada pihak yang bersangkutan sehingga mampu memberikan data yang penulis butuhkan dan menyelesaikan penyusunan skripsi ini.

C. Teknik Pengumpulan Data

Tahapan-tahapan dalam pengumpulan data yang dilakukan untuk memperoleh data yang diperlukan dalam proses penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Metode literatur

Merupakan suatu tahapan yang dilakukan dengan cara membaca dan mempelajari buku buku yang berkaitan dengan masalah yang dibahas serta mengumpulkan beberapa atikel atau jurnal dari internet.

2. Metode observasi langsung

Melakukan tinjauan langsung ke lapangan untuk melihat objek yang akan ditinjau dan mengumpulkan data yang diperlukan serta mendokumentasikannya.

3. Metode wawancara

Merupakan suatu metode untuk memperoleh informasi dan data yang dilakukan dengan cara berwawancara lalu mendiskusikannya kembali kepada pihak perusahaan yang terkait dan dosen pembimbing.

D. Flowchart Penelitian

Tahapan pelaksanaan dalam penulisan skripsi pada penelitian ini seperti yang akan ditunjukkan pada diagram alir penelitian Gambar 10 yang memuat tahapan pelaksanaan, metode yang digunakan setiap tahap.

E. Data Lapangan

Data lapangan adalah data yang diperoleh secara langsung melalui hasil pengamatan di lokasi, yaitu pada Perusahaan Umum Daerah Air Minum Tirta Taman Kota Bontang yang berlokasi di Jalan Bridgjen Katamso, Kota Bontang, Kalimantan Timur. Pengambilan data di lapangan dilakukan ketika motor induksi yang berperan sebagai pompa dalam kondisi beroperasi. Data-data yang diperoleh antara lain adalah data motor induksi 3 fasa yang digunakan, data *Variable Speed Drive* (VSD) dan data aktual motor induksi 3 fasa yang dikendalikan VSD, disajikan pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4.

1. Tabel spesifikasi motor induksi

TABEL 1
SPESIFIKASI MOTOR INDUKSI 3 FASA ELEKTRIM 225M4

Parameter	Keterangan
Horse Power/Daya	60 HP/45 kW
Tegangan Δ / Y	380/660 V
Arus Δ / Y	83/47.5 A
Cos φ	0.88
Frekuensi	50 Hz
Rpm (r/min)	1480
Ingress Protection Rating	IP55
Type	225M4

2. Tabel spesifikasi VSD ACQ 580-01

TABEL 2
SPESIFIKASI ACQ 580-01

Parameter	Keterangan
Input Tegangan	380 – 480 V
Daya Maksimum Motor	55 kW / 75 HP
Input Arus Maksimum	106 A
Frekuensi Input	50 / 60 Hz
Effisiensi Drive	98%
Ingress Protection	IP21

3. Tabel spesifikasi MCCB

TABEL 3
SPESIFIKASI MCCB (MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER) SACE A2

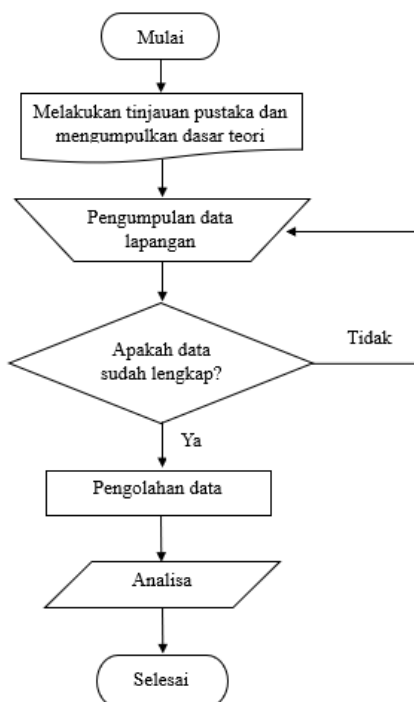
Parameter	Keterangan
Brand	ABB
Type	SACE A2
Rate	250 A

F. Single Line Diagram Motor Pompa

Gambar di dibawah merupakan diagram pengawatan sistem kendali dua motor induksi 3 fasa yang dioperasikan menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD) dan dilengkapi dengan komponen kendali serta proteksi tambahan.

G. Jadwal Pengaturan Frekuensi

Pengaturan frekuensi motor dilakukan secara bertahap mulai dari 25 Hz pada pukul 00.00–03.00 hingga mencapai frekuensi

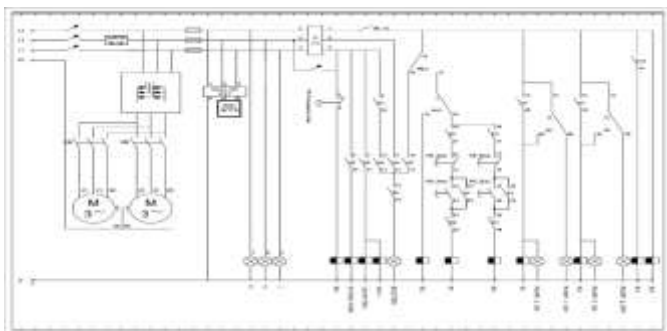


Gambar 10. Diagram alir penelitian

4. Tabel data aktual motor induksi

TABEL 4
DATA AKTUAL MOTOR INDUKSI SETELAH DIKENDALIKAN VSD

No	Hari/ Tanggal	Frekuensi Hz	Arus I	Tegangan V	RPM Ns	RPM Nr
1	Jumat, 16 Mei 2025	25	24.09	100	750	738
		35	37.54	196	1050	1036
		41	45.9	273	1230	1224
		50	58.94	370	1500	1479
2	Kamis, 22 Mei 2025	25	24.05	100	750	738
		35	37.39	197	1050	1037
		41	45.79	273	1230	1223
		50	58.88	371	1500	1480
3	Jumat, 23 Mei 2025	25	24.03	101	750	739
		35	37.48	196	1050	1036
		41	45.92	273	1230	1224
		50	58.91	370	1500	1479
4	Sabtu, 24 Mei 2025	25	24.1	100	750	738
		35	37.60	196	1050	1036
		41	45.81	272	1230	1224
		50	58.89	370	1500	1478
5	Minggu, 25 Mei 2025	25	24.02	101	750	738
		35	37.34	197	1050	1037
		41	45.82	272	1230	1224
		50	58.90	371	1500	1479



Gambar 5. Single Line Diagram Motor Pompa

TABEL 5
JADWAL PENGATURAN FREKUENSI

Waktu Operasi	Frekuensi Setting
00.00 – 03.00	25 Hz
03.00 – 06.00	35 Hz
06.00 – 11.00	41 Hz
11.00 – 00.00	50 Hz

penyut 50 Hz pada pukul 11.00–00.00 sesuai kebutuhan operasional. Jadwal pengaturan frekuensi dapat dilihat pada tabel 5.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Setting Variable Speed Drive ACQ 580-01

Pada Perusahaan Umum Daerah Air Minum Tirta Taman Kota Bontang, untuk dapat mengoperasikan motor induksi Elektrim 225M4 dengan Variable Speed Drive diperlukan Remote Control yang terhubung dengan Variable Speed Drive sebagai media penghubung sekaligus kendali secara manual. Diperlukan data Name Plate motor induksi yang akan dioperasikan dengan Variable Speed Drive sebagai data yang akan dimasukkan ke Remote Control. Data Name Plate motor induksi yang dikendalikan Variable Speed Drive harus sesuai dengan kapasitas dari Variable Speed Drive yang akan

digunakan, dengan kata lain kapasitas motor induksi tidak melebihi dari kapasitas Variable Speed Drive. Sebelum mengoperasikan Variable Speed Drive semua komponen peralatan penunjang pada pembangkit harus dalam kondisi ready, setelah semua komponen siap maka operator yang mengoperasikan Variable Speed Drive akan diperintahkan untuk menghidupkan Variable Speed Drive tersebut dengan cara menekan tombol RUN pada Remote Control. Ketika baru dioperasikan operator mengatur frekuensi Variable Speed Drive sebesar 25 Hz dengan potensiometer sebagai starting awal selama 3 jam sampai operator mendapatkan perintah selanjutnya dari ruang kontrol untuk merubah ke kecepatan sinkron menjadi 35 Hz selama beberapa waktu yang ditentukan (biasanya 3 jam) dari ruang kontrol. Selanjut setelah beberapa waktu maka operator akan mendapatkan perintah selanjutnya untuk merubah frekuensi Variable Speed Drive menjadi 41 Hz dari motor induksi tersebut selama beberapa waktu (biasanya 5 jam) dan 50 Hz (biasanya selama 13 Jam). Setelah operator mendapatkan perintah untuk menghentikan pengoperasian Variable Speed Drive tersebut, maka operator akan menurunkan frekuensi secara perlahan sampai 10 Hz kemudian menghentikannya dengan menekan tombol Stop pada Remote Control.

B. Perhitungan Nilai Daya Masukan, Rugi Daya dan Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa Berdasarkan Name Plate Tanpa Dikendalikan VSD ACQ 580-01

Setelah mengetahui data Name Plate motor induksi Elektrim 225M4 yang dikendalikan dengan Variable Speed Drive ACQ 580-01 pada PERUMDA Air Minum Kota Bontang maka dapat dihitung nilai daya masukan yang dikonsumsi motor induksi tersebut. Berikut ini perhitungan konsumsi daya masukan motor induksi yang berada pada PERUMDA Air Minum Kota Bontang berdasarkan data dari Name Plate. Dapat dilihat pada tabel 1 tanpa dikendalikan dengan Variable Speed Drive ACQ 580-01.

Perhitungan nilai konsumsi daya masukan motor induksi 3 fasa dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Perhitungan daya Masukan:

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

$$P_{in} = \sqrt{3} \times 380 \times 83 \times 0.88$$

$$P_{in} = \sqrt{3} \times 380 \times 73.04$$

$$P_{in} = 48.073 \text{ kW}$$

Untuk menghitung rugi daya motor induksi dapat menggunakan rumus berikut ini [2]:

Perhitungan rugi daya:

$$\Sigma \text{Rugi} = P_{in} - P_{out}$$

$$\Sigma \text{Rugi} = 48,073 - 45$$

$$\Sigma \text{Rugi} = 3,073 \text{ kW}$$

Rumus efisiensi (η) diperoleh dari perbandingan antara daya keluaran (P_{out}) terhadap daya masukan (P_{in}) sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut:

Perhitungan nilai Efisiensi:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{45}{48,073}$$

$$\eta = 0,93 \times \%$$

C. Perbandingan Nilai Daya Masukan dan Keluaran (Watt) Berdasarkan Data Perhitungan Dengan Name Plate dan Data Perhitungan Berdasarkan Hasil Pengamatan

Berdasarkan dari hasil perhitungan yang telah dilakukan dengan data yang beracuan pada *Name Plate* motor induksi 3 fasa Elektrim 225M4 dan data dari hasil monitoring yang dilakukan di PERUMDA Air Minum Tirta Taman Kota Bontang selama 5 hari pada motor induksi 3 fasa Elektrim 225M4 yang dikendalikan dengan *Variable Speed Drive* ACQ 580-01 di PERUMDA Air Minum Kota Bontang maka dapat dilihat seperti berikut:

TABEL 6
PERBANDINGAN DAYA MASUKAN MOTOR INDUKSI 3 FASA ELEKTRIM 225M4 TANPA VSD DAN DENGAN VSD

No	Hari & Tanggal	Name Plate		Pin		
		50 Hz	25 Hz	35 Hz	41 Hz	50 Hz
1	Jumat, 16 Mei 2025	48,073 kW	3,671 kW	11,214 kW	19,099 kW	33,239 kW
2	Kamis, 22 Mei 2025	48,073 kW	3,665 kW	11,227 kW	19,053 kW	33,295 kW
3	Jumat, 23 Mei 2025	48,073 kW	3,699 kW	11,196 kW	19,107 kW	33,312 kW
4	Sabtu, 24 Mei 2025	48,073 kW	3,673 kW	11,232 kW	18,992 kW	33,301 kW
5	Minggu, 25 Mei 2025	48,073 kW	3,697 kW	11,212 kW	18,996 kW	33,306 kW

TABEL 7
PERBANDINGAN DAYA KELUARAN MOTOR INDUKSI 3 FASA ELEKTRIM 225M4 TANPA VSD DAN DENGAN VSD

No	Hari & Tanggal	Name Plate		Pout		
		50 Hz	25 Hz	35 Hz	41 Hz	50 Hz
1	Jumat, 16 Mei 2025	45 kW	3,436 kW	10,497 kW	17,877 kW	31,112 kW
2	Kamis, 22 Mei 2025	45 kW	3,431 kW	10,509 kW	17,834 kW	31,164 kW
3	Jumat, 23 Mei 2025	45 kW	3,463 kW	10,48 kW	17,884 kW	31,18 kW
4	Sabtu, 24 Mei 2025	45 kW	3,438 kW	10,513 kW	17,777 kW	31,17 kW
5	Minggu, 25 Mei 2025	45 kW	3,461 kW	10,495 kW	17,78 kW	31,228 kW

Berdasarkan Tabel 6 dapat diamati bahwa penggunaan *Variable Speed Drive* (VSD) pada motor induksi tiga fasa Elektrim 225M4 mampu menurunkan daya masukan secara signifikan ketika beroperasi pada frekuensi di bawah 50 Hz. Motor ini memiliki daya nominal sebesar 48,073 kW pada frekuensi 50 Hz, namun hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada frekuensi 25 Hz konsumsi dayanya rata-rata hanya sekitar 3,68 kW. Ketika frekuensi dinaikkan menjadi 35 Hz, daya yang diserap meningkat menjadi sekitar 11,2 kW, dan pada 41 Hz mencapai kurang lebih 19 kW. Pada operasi penuh (50 Hz), daya masukan yang tercatat sebesar 33,3 kW, masih lebih rendah daripada daya nominal. Kondisi ini menunjukkan bahwa VSD efektif dalam menyesuaikan konsumsi daya motor sesuai kebutuhan beban, sehingga energi yang digunakan menjadi lebih hemat dibandingkan tanpa pengaturan kecepatan. Selain itu, hasil pengukuran yang konsisten selama lima hari menunjukkan bahwa kinerja VSD cukup stabil.

Submitted: 14/08/2026; Revised: 28/03/2026;
Accepted: 28/03/2026; Online first: 31/03/2026

Berdasarkan Tabel 7 terlihat adanya perbedaan signifikan antara daya keluaran motor induksi 3 fasa Elektrim 225M4 saat beroperasi tanpa VSD (pada 50 Hz) dan dengan VSD pada frekuensi yang bervariasi (25 Hz, 35 Hz, 41 Hz, dan 50 Hz). Daya keluaran tertinggi pada setiap hari dicapai saat motor beroperasi pada frekuensi penuh 50 Hz, baik saat menggunakan maupun tanpa menggunakan VSD. Namun, ketika dikendalikan dengan VSD, daya keluaran motor disesuaikan dengan kebutuhan beban, yang terlihat dari nilai *Pout* yang lebih rendah pada frekuensi 25 Hz hingga 41 Hz. Misalnya, pada tanggal 16 Mei 2025, daya keluaran pada 25 Hz hanya sebesar 3,456 kW, dan meningkat bertahap hingga 17,877 kW pada 41 Hz, sebelum mencapai 31,112 kW pada 50 Hz. Pola ini konsisten selama lima hari. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan VSD memungkinkan pengoperasian motor secara lebih fleksibel dengan menyesuaikan daya keluaran berdasarkan kebutuhan aktual, bukan selalu bekerja pada daya maksimum seperti pada operasi tanpa VSD. Dengan demikian, implementasi VSD tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan energi, tetapi juga mengurangi beban kerja motor secara signifikan saat tidak dibutuhkan beban penuh.

Perhitungan konsumsi energi listrik motor induksi selama lima hari pengoperasian dengan menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD) ditunjukkan pada Tabel 9.

TABEL 8
PERHITUNGAN ENERGI SELAMA 5 HARI

No	Hari & Tanggal	Frekuensi	Waktu	Pout	Total Energi Listrik (kWh)
1	Jumat, 16 Mei 2025	25 Hz	3 Jam	3,436 kW	539,787 kWh
		35 Hz	3 Jam	10,497 kW	
		41 Hz	5 Jam	17,877 kW	
		50 Hz	13 Jam	31,112 kW	
2	Kamis, 22 Mei 2025	25 Hz	3 Jam	3,431 kW	536,122 kWh
		35 Hz	3 Jam	10,509 kW	
		41 Hz	5 Jam	17,834 kW	
		50 Hz	13 Jam	31,164 kW	
3	Jumat, 23 Mei 2025	25 Hz	3 Jam	3,463 kW	536,589 kWh
		35 Hz	3 Jam	10,48 kW	
		41 Hz	5 Jam	17,884 kW	
		50 Hz	13 Jam	31,18 kW	
4	Sabtu, 24 Mei 2025	25 Hz	3 Jam	3,438 kW	535,948 kWh
		35 Hz	3 Jam	10,513 kW	
		41 Hz	5 Jam	17,777 kW	
		50 Hz	13 Jam	31,17 kW	
5	Minggu, 25 Mei 2025	25 Hz	3 Jam	3,461 kW	536,732 kWh
		35 Hz	3 Jam	10,495 kW	
		41 Hz	5 Jam	17,78 kW	
		50 Hz	13 Jam	31,228 kW	
Total			120 Jam	314,729 kW	2.685,178 kWh
<i>Name Plate</i>		50 Hz	120 Jam	48.073 kW	5.768,76 kWh
Konsumsi Energi					5.768,76 - 2.685,178 = 3.083,582 kWh

Tabel 8 memperlihatkan total konsumsi energi listrik motor induksi 3 fasa Elektrim 225M4 selama lima hari pengoperasian menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD) dengan variasi frekuensi kerja. Setiap hari, motor dioperasikan dengan empat tingkatan frekuensi berbeda yaitu 25 Hz, 35 Hz, 41 Hz, dan 50 Hz dengan durasi waktu operasi yang telah ditentukan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa energi listrik total yang dikonsumsi selama lima hari adalah sebesar 2.685,178 kWh. Sebagai perbandingan, apabila motor induksi dioperasikan secara konstan tanpa VSD pada frekuensi penuh

50 Hz selama 5 hari, maka energi listrik yang digunakan diperkirakan mencapai 5.768,76 kWh. Dengan demikian, penggunaan VSD berhasil menurunkan konsumsi energi secara signifikan sebesar 3.083,582 kWh, atau sekitar 53,453%. Hal ini membuktikan bahwa penerapan VSD dalam sistem kendali motor tidak hanya memberikan fleksibilitas pengoperasian, tetapi juga memberikan dampak langsung terhadap efisiensi energi dan penghematan biaya operasional produksi pada sistem pompa air di PERUMDA Air Minum Tirta Taman Kota Bontang.

Dapat diketahui daya yang dibutuhkan motor induksi 3 fasa Elektrim 225M4 tanpa Variable Speed Drive ACQ 580-01 sebesar 5.768,76 kWh, sedangkan untuk motor induksi 3 fasa Elektrim 225M4 menggunakan Variable Speed Drive ACQ 580-01 sebesar 2.685,178 kWh yang berarti ada selisih antara kedua nilai tersebut sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Selisih nilai daya masukan} &= 5.768,76 \text{ kWh} - 2.685,178 \text{ kWh} \\ &= 3.083,582 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Atau jika dipersentasekan maka:

$$\begin{aligned} &((5.768,76 \text{ kWh} - 2.685,178 \text{ kWh}) \div 5.768,76) \times 100\% \\ &= 53,453\% \end{aligned}$$

D. Perhitungan Nilai Torsi Motor Induksi 3 Fasa Elektrim 225M4 Yang Dikendalikan VSD ACQ 580-01

Data yang digunakan untuk menghitung nilai torsi motor induksi 3 fasa yang dikendalikan VSD dengan frekuensi 25 Hz, 35 Hz, 41 Hz dan 50 Hz adalah data pada Tabel (Jumat, 16 Mei 2025) seperti berikut:

Nilai torsi untuk frekuensi 25 Hz

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{P_{out}}{\omega} \\ \tau &= \frac{3.436}{(2 \times 3,14 \times 738)/60} \\ \tau &= 44,48 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Nilai torsi untuk frekuensi 35 Hz

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{10.497}{(2 \times 3,14 \times 1036)/60} \\ \tau &= 96,80 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Nilai torsi untuk frekuensi 41 Hz

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{17.877}{(2 \times 3,14 \times 1224)/60} \\ \tau &= 139,54 \text{ Nm} \end{aligned}$$

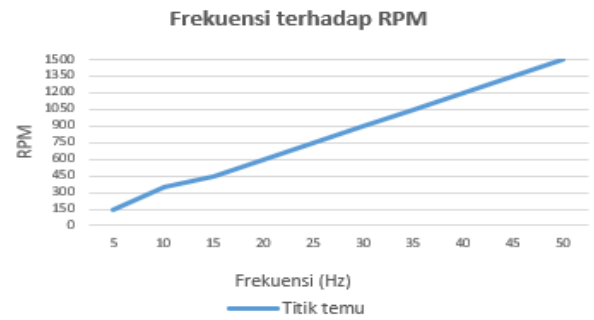
Nilai torsi untuk frekuensi 50 Hz

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{31.112}{(2 \times 3,14 \times 1479)/60} \\ \tau &= 200,97 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Dari data torsi yang diperoleh maka dapat dilihat bahwa daya yang dibutuhkan motor induksi sebanding dengan besarnya torsi yang dihasilkan pada kecepatan tertentu.

E. Analisa Grafik Frekuensi Terhadap RPM dan Grafik Frekuensi Terhadap Waktu Kerja Motor Induksi 3 Fasa

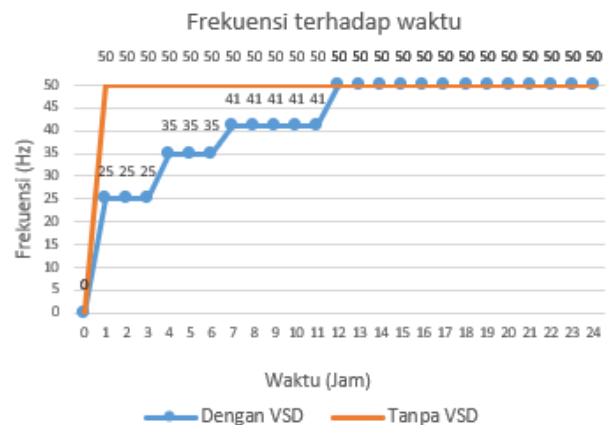
Pengaturan frekuensi tegangan motor induksi yang dilakukan Variable Speed Drive memungkinkan untuk merubah kecepatan putaran motor induksi. Pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa kecepatan putaran motor induksi mengikuti nilai dari frekuensi tegangan.



Gambar 11. Grafik frekuensi terhadap RPM motor induksi

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar nilai frekuensi tegangan yang diberikan pada motor induksi maka semakin cepat putaran motor induksi. Jika semakin kecil nilai frekuensi yang diberikan maka semakin lambat putaran motor induksi.

Pengoperasian motor induksi tanpa VSD akan menghasilkan putaran konstan (maksimal) di frekuensi 50 Hz, dengan menggunakan VSD sebagai pengendali kecepatan putaran motor induksi maka kecepatan putaran dari motor induksi dapat dikendalikan. Pada Gambar 12 dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbedaan antara penggunaan VSD dan tanpa VSD.



Gambar 12. Grafik frekuensi terhadap waktu kerja motor induksi

Gambar 12 menunjukkan hubungan antara frekuensi dan waktu kerja motor induksi dengan dan tanpa penggunaan Variable Speed Drive (VSD). Pada motor tanpa VSD, frekuensi langsung berada di 50 Hz sejak awal pengoperasian dan tetap konstan sepanjang 24 jam. Sebaliknya, pada motor dengan VSD, frekuensi meningkat secara bertahap mengikuti kebutuhan beban. Pada jam pertama, frekuensi naik dari 0 Hz ke 25 Hz, kemudian bertahap naik ke 35 Hz pada jam ke-4, selanjutnya mencapai 41 Hz pada jam ke-7, dan akhirnya mencapai 50 Hz pada jam ke-12 hingga seterusnya. Pola ini menunjukkan bahwa VSD memungkinkan pengaturan kecepatan motor secara bertahap sehingga konsumsi energi dapat disesuaikan dengan beban aktual. Dengan pengaturan seperti ini, energi yang digunakan lebih efisien dibandingkan pengoperasian tanpa VSD, yang selalu bekerja pada frekuensi penuh meskipun beban tidak memerlukannya.

F. Analisis Kegunaan Variable Speed Drive (VSD) di PERUMDA Air Minum Tirta Taman Kota Bontang

Variable Speed Drive (VSD) di PERUMDA Air Minum Tirta Taman Kota Bontang berfungsi sebagai sistem pengendali kecepatan motor induksi 3 fasa yang digunakan untuk mengoperasikan pompa distribusi air bersih. Penggunaan VSD memungkinkan motor beroperasi sesuai kebutuhan beban dengan cara mengatur frekuensi kerja motor secara bertahap, mulai dari 25 Hz hingga 50 Hz berdasarkan jam operasional. Sebelum VSD diterapkan, motor berputar dengan kecepatan penuh secara konstan meskipun beban rendah, sehingga menyebabkan pemborosan energi. Dengan VSD, konsumsi energi listrik berkurang secara signifikan dalam penelitian selama lima hari, penggunaan energi menurun dari 5.768,76 kWh menjadi 2.456,327 kWh. Selain efisiensi energi, VSD juga berkontribusi pada peningkatan keandalan sistem, stabilitas tekanan air, pengurangan beban mekanik motor, serta perpanjangan umur peralatan dan penurunan biaya perawatan. Dengan demikian, VSD menjadi solusi teknis yang sangat efektif dalam meningkatkan efisiensi operasional dan keberlanjutan sistem distribusi air di PERUMDA.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Perubahan frekuensi yang diperoleh dari *Variable Speed Drive* ACQ 580-01 pada PERUMDA Air Minum Kota Bontang menghasilkan perubahan putaran motor induksi 3 fasa Elektrim 225M4. Semakin besar nilai frekuensinya maka semakin cepat putaran yang dihasilkan motor induksi, semakin kecil nilai frekuensinya maka kecepatan putaran yang dihasilkan motor induksi akan menurun.
2. Pengoperasian motor induksi 3 fasa Elektrim 225M4 yang dikendalikan *Variable Speed Drive* ACQ 580-01 di PERUMDA Air Minum Kota Bontang masih dilakukan secara manual atau masih dilakukan oleh operator untuk mengoperasikannya.

B. Saran

Variable Speed Drive Perusahaan Umum Daerah Air Minum Tirta Taman Kota Bontang digunakan tanpa kontrol, tetapi hanya dengan kontrol konvensional atau dioperasikan secara manual. Oleh karena itu, peran operator sangat penting untuk mengoperasikannya secara langsung di lapangan sehingga dapat melaksanakan perintah sesuai permintaan. Aplikasi *PLC* sangat bermanfaat. Dengan menggunakan *PLC* dalam kontrol motor induksi yang menggunakan *VND*, sistem kontrol menjadi otomatis dan dapat dikontrol melalui stasiun lokal dan jarak jauh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan pada bapak Budi Darmadi, S. E, Manajer dan bapak Titus Dedy Palianus A.Md.T, Supervisor di PERUMDA Air Minum Tirta Taman Kota Bontang, yang selama proses pengambilan data telah

memberikan data-data yang diperlukan serta memberi penjelasan-penjelasan sehingga *system* yang ada dan permasalahannya akhirnya dapat dipahami dengan baik.

REFERENSI

- [1] Atmam, T. Abrar and Zulfahri, "Analisis Penggunaan Energi Listrik Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD)," *Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri*, vol. 2, pp. 52-59, 2018.
- [2] G. Suki, Heru and Irmayani, "Analisa Perubahan Frekuensi Motor Induksi Tiga Fasa Metode V/F dengan Pengaturan Variable Speed Drive," *Jurnal Penelitian dan Pengkajian Sains dan Teknologi*, vol. 35, no. 1, pp. 77-83, 2025.
- [3] F. Wahyu, N. Rahman, N. Renanda, E. Setiawan, Juniani, A. Iviana, Wiedartini, Satrianata and L. Jagad, "Peluang Penghematan Energi Pada Motor Induksi 3 Fasa Dengan Penggerak Variable Speed Drive (VSD)," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer TRIAC*, vol. 11, no. 2, 2024.
- [4] A. Sugeng, A. Aziz, A. Gulon and G. Simamora, "Analisis pengaruh Kendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Untuk Mesin Cuci Milnor Extractor Menggunakan Variable Speed Drive Yaskawa Di Hotel Indonesia Kempinski Jakarta," *Jurnal Cahaya Mandalika (CJM)*, pp. 1224-1241, 2024.
- [5] A. Supriyadi, "Metode Starting Motor Induksi 3 Fasa Rotor Sangkar Tupai (Squirrel-Cage Rotor 3 Phase Induction Motor)," *Forum Teknologi*, vol. 05, no. 2, pp. 57-64.
- [6] Siregar, Leonardus, R. Silaen, Hutabarat and U. Lasro, "Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Putaran dan Daya Masuk Motor Induksi Tiga Fasa (Aplikasi Pada Laboratorium Konversi Energi Listrik FT-UHN)," *Electric Power, Telecommunications & Control System*, vol. 4, no. 1, pp. 1-15, 2021.
- [7] R. Rangkuti, A. Anda, Atmam and E. Zondra, "Studi Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD) Berbasis Programmable Logic Controller (PLC)," *Jurnal Teknik*, vol. 14, no. 1, pp. 121-128, 2020.
- [8] P. Adhe, P. Novantara, Wijaya, W. Arta and M. Suartika, "Analisis Pengaturan Putaran Motor Induksi 3 Fasa dengan Mengatur Frekuensi Menggunakan Variable Speed Drive di PT. PDAM Tirta Mangutama Kabupaten Badung," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 8, no. 4, pp. 103-109, 2021.
- [9] M. R. P. Rizqi, E. Komalasari, N. Soedjarwanto, and O. Zebua, "Analisis kinerja motor induksi 3 fasa dari aspek besaran daya dan efisiensi motor dalam menggerakkan mesin (studi kasus pada mesin jaw crusher di PT. Alam Tunggal Semesta)," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 3, 2024.
- [10] G. Arrachman, Rusdiansyah 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, 2023.
- [11] M. Huda, D. Irawan, Fahlevi and R. Agung, "Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Menggunakan Inverter ACS-580," *JUSTI (Jurnal Sistem Dan Teknik Industri)*, vol. 4, no. 3, pp. 371-382, 2023.
- [12] A. Wibawanto, M. Facta and T. Sukmadi, "Perilaku Pengemudian Motor Induksi 3 Fasa Dalam Sistem Konveyor Terkendali," *TRANSIENT*, vol. 9, no. 1, pp. 128-136, 2020.
- [13] Barus, Michael, Z. Tharo and P. Wibowo, "Analisis Efisiensi Daya Motor Induksi 3 Phase 150 kW Dengan Inverter Sebagai Pengatur Speed," *Journal of Information Technology and Computer Science (INTECOMS)*, vol. 7, no. 5, pp. 1685-1690, 2024.