ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA *MEDIUM VOLTAGE VARIABLE SPEED DRIVE* PADA KONFIGURASI OPERASI TUNGGAL DAN OPERASI GANDA MOTOR INDUKSI TIGA FASA

TESIS

Diajukan untuk memenuhi
Persyaratan gelar Magister Teknik

SISWO ADIBOWO

(09202409175)

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA

2026

PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Tesis ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Tesis dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Depok, 8 Agustus 2026

Mahasiswa,



Siswo Adibowo

NPM. 092024090175

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Tesis ini diajukan oleh:

Nama	: Siswo Adibowo
NIM	: 092024090175
Program Studi	: Magister Teknik Elektro
Judul Tesis	: Analisis perbandingan kinerja *Medium Voltage Variable Speed Drive* pada konfigurasi operasi tunggal dan operasi ganda motor induksi tiga fasa

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Global Jakarta.

DEWAN PEMBIMBING

Pembimbing 1	Pembimbing 2
Dr. Eng. Yanuar Zulardiansyah Arief, S.T., M.T.	Hamzah, S.T., M.T., Ph.D.
NIK.S09201911003	NIK.S092023080003

Ketua Program Studi
Magister Teknik Elektro

Hamzah, S.T., M.T., Ph.D.
NIK.S092023080003

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 8 Agustus 2026

HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

Tesis ini diajukan oleh:

Nama	: Siswo Adibowo
NIM	: 092024090175
Program Studi	: Magister Teknik Elektro
Judul Tesis	: Analisis perbandingan kinerja *Medium Voltage Variable Speed Drive* pada konfigurasi operasi tunggal dan operasi ganda motor induksi tiga fasa

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Global Jakarta.

DEWAN PENGUJI

Penguji	: Dr. Antonius Darma Setiawan, S.Si., M.T.	( )
Penguji	: Dr. Herwanto, S.Kom., M.Si.	( )
Penguji	: Adhes Gamayel, S.T., M.T., Ph.D.	( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 8 Agustus 2026

Form I2 – Lembar Monitoring Revisi Sidang Skripsi	Revisi ke: 1
	Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

LEMBAR MONITORING REVISI SKRIPSI

Nama Mahasiswa : SISWO ADIBOWO
NIM : 092024090175
Prodi : S2 - Teknik Elektro
Judul Skripsi : **Analisa Kinerja Variable Speed Drive Tegangan Menengah pada Motor Induksi Tiga Fasa**
Dosen Penguji II : Dr. Herwanto, S.Kom., M.Si.

No	Isi Komentar/ Saran	Revisi/jawaban penulis	Paraf Penguji /Tanggal Persetujuan
1	Judul masih kurang spesifik	Judul penelitian telah dibuat lebih spesifik dengan mencantumkan perbandingan kinerjanya operasi tunggal dan operasi ganda pada MV-VSD. Revisi hal 1 dan seluruh bagian yg mencantumkan judul	6/8 26
2	Abstrak perlu diperbaiki dengan lebih baik, fokus pada hasil dan kesimpulan	Abstrak telah diperbaiki dan difokuskan pada tujuan, metode, hasil kuantitatif, dan kesimpulan penelitian. Revisi hal iv–vx.	6/8 26
3.	Metode penelitian harus jelas, mencakup desain penelitian, pengumpulan data, analisa data, dan teknik pengolahan data	Metode penelitian telah diperjelas,mencakup sistem penelitian, objek dan variabel, prosedur pengumpulan data, validasi, pengolahan, serta metode analisis data. Revisi hal 18–24.	6/8 26
4	Gunakan diagram, tabel dan gambar untuk memperjelas hasil penelitian	Bab IV telah dilengkapi dengan diagram, tabel, gambar, dan grafik untuk memperjelas hasil penelitian. Revisi hal 25–38.	6/8 26

Depok, 6 Agustus 2026
Mengetahui,
Ketua Program Studi

(_____)
NIP.

JGU Jakarta Global University

Form I2 – Lembar Monitoring Revisi Sidang Skripsi	Revisi ke: 1
	Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

LEMBAR MONITORING REVISI SIDANG SKRIPSI

Nama Mahasiswa : SISWO ADIBOWO

NIM : 092024090175

Prodi : S2 - Teknik Elektro

Judul Skripsi : **Analisa Kinerja Variable Speed Drive Tegangan Menengah pada Motor Induksi Tiga Fasa**

Dosen Penguji I : Dr. Antonius Darma Setiawan. S.Si., M.T.

No	Isi Komentar/ Saran	Revisi/jawaban penulis	Paraf Penguji /Tanggal Persetujuan
1	Urgensi penelitian harus dimunculkan di latar belakang	Urgensi penelitian telah diperkuat pada latar belakang, meliputi kebutuhan peningkatan kapasitas air, efisiensi energi, pemanfaatan aset MV-VSD, serta perlunya evaluasi kualitas daya dan keandalan. Revisi hal 1–4.	
2	Rumusan masalah, tujuan, dan kesimpulan perlu di-selaraskan	Perumusan masalah, tujuan, dan kesimpulan telah diselaraskan berdasarkan SEC (Specific Energy Consumption), efisiensi energi, dan penentuan konfigurasi terbaik. Rev hal 5 dan 39-41	
3	Metodenya perlu diperjelas	Metode penelitian telah diperjelas, mencakup desain penelitian objek, variabel, alat ukur, pengumpulan data, validasi, pengolahan, dan analisis data. Revisi hal 16–21.	
4	kontribusi seperti pola operasi perlu ditulis ~~secara~~ dengan jelas	Kontribusi penelitian dan rekomendasi pola operasi telah ditulis lebih jelas, termasuk perbandingan operasi tunggal dan ganda serta kelayakan aset MV-VSD untuk dua motor. Revisi hal 6–7 dan 41.	
5	Penulisan tesis harus disesuaikan dengan template JGU	Format penulisan tesis telah disesuaikan dengan template JGU. Revisi seluruh halaman, terutama hal i–xii.	

Depok, 6 Agustus 2026

Mengetahui,

Ketua Program Studi

( )

NIP

Form I2 – Lembar Monitoring Revisi Sidang Skripsi	Revisi ke: 1 Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

LEMBAR MONITORING REVISI SKRIPSI

Nama Mahasiswa : SISWO ADIBOWO

NIM : 092024090175

Prodi : S2 - Teknik Elektro

Judul Skripsi : **Analisa Kinerja Variable Speed Drive Tegangan Menengah pada Motor Induksi Tiga Fasa**

Dosen Penguji III : Adhes Gamayel, S.T., M.T., Ph.D.

No	Isi Komentar/ Saran	Revisi/jawaban penulis	Paraf Penguji /Tanggal Persetujuan
1.	Bab 3 disesuaikan dg Bab 4	Bab III telah diselaraskan dengan Bab IV, meliputi desain, objek, variabel, prosedur pengukuran, dan metode analisis. Revisi hal. 18–24	6/8/26
2.	di Bab 4, Grafik lebih dibuat detail sesuai pendapat profesional	Grafik Bab IV telah diperjelas dan dilengkapi dgn judul, sumbu, satuan, legenda,nilai pengukuran, serta analisis teknis. Revisi hal. 31, 35, dan 37.	6/8/26
3.	usahakan yg ditulis dalam Bab 3 adalah kondisi penelitian	Bab III telah diperbaiki agar menggambarkan kondisi aktual penelitian dan pengukuran langsung sistem MV-VSD 3.3 kV. Revisi hal. 18–22.	6/8/26
4.	flowchart diperbaiki sesuai kaidah	Flowchart telah diperbaiki sesuai kaidah dan tahapan penelitian. Revisi hal 23.	6/8/26
5.	Judul Typo	Typo judul telah diperbaiki dan diseragamkan di seluruh dokumen	6/8/26

Depok, 6 Agustus 2026

Mengetahui,

Ketua Program Studi

( )

NIP.

FM/UGJ/L.053

Form B – Lembar Konsultasi Proposal	Revisi ke: 3 Tanggal revisi: 01 Oktober 2024

LEMBAR KONSULTASI TESIS

Nama mahasiswa : Siswo Adibowo

NIM : 092024090175

Judul : Analisa Kinerja Variable Speed Drive Tegangan Menengah pada Motor Induksi Tiga Fasa

Dosen Pembimbing I : Dr. Eng. Yanuar Zulardiansyah Arief, S.T., M.T.

No.	Tanggal	Uraian Kegiatan yang Dilakukan	Paraf Dosen
1	19/04/2026	Pembahasan bab 1, 2, 3, 4, dan 5	yza
2	28/04/2026	Metode, hasil, analisa dan kesimpulan	yza
3	06/06/2026	Diskusi presentasi tesis teman kuliah	yza
4	10/06/2026	Presentasi tesis dan diskusi mengenai bab 1,2,3,4 dan 5	yza
5	18/06/2026	Diskusi presentasi tesis teman kuliah	yza
6	25/06/2026	Diskusi tesis	yza
7			
8			

* Minimal 4 kali pertemuan

Depok, 26 Juni 2026
Mengetahui,
Ketua Prodi Magister Tekik Elektro.

Hamzah, S.T, M.T, Ph.d

FM/UGJ/L.053

Form B – Lembar Konsultasi Proposal	Revisi ke: 3
	Tanggal revisi: 01 Oktober 2024

Nama mahasiswa : Siswo Adibowo

NIM : 092024090175

Judul : Perbandingan kinerja variable speed drive tegangan menengah pada motor tiga fasa operasi tunggal dan ganda

Dosen Pembimbing II : Hamzah, S.T, M.T, P.hd

No.	Tanggal	Uraian Kegiatan yang Dilakukan	Paraf Dosen
1	06/06/2026	Diskusi presentasi tesis teman kuliah	
2	10/06/2026	Presentasi tesis dan diskusi mengenai bab 1,2,3,4 dan 5	
3	18/06/2026	Diskusi presentasi tesis teman kuliah	
4	25/06/2026	Diskusi tesis	
5			
6			
7			
8			

* Minimal 4 kali pertemuan

Depok, 26 Juni 2026
Mengetahui,
Ketua Prodi Magister Teknik Elektro.

Hamzah, S.T, M.T, Ph.d

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karea atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik dan Informasi. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terimakasih kepada:

a. Allah سُبْحَانَهُ وَتَعَالَى, atas segala rahmat, karunia, dan kemudahan yang diberikan sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik;
b. Dr. Yanuar Zulardiansyah Arief, CEng. selaku Dosen Pembimbing 1 dan Hamzah, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing 2, yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
c. Perusahaan tempat saya bekerja, yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data pengujian yang diperlukan;
d. Orang tua dan istri saya, yang telah memberikan bantuan, dukungan material dan moral, serta doa yang tiada henti; dan

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang manajemen aset kelistrikan.

Depok, 8 Agustus 2026



Penulis

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Jakarta Global University, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama	: Siswo Adibowo
NPM	: 092024090175
Program Studi	: Teknik Elektro
Jenis Karya Ilmiah	: Tesis

Demi mengembangkan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Jakarta Global University **Hak Bebas Royalti Non-ekslusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Analisis Perbandingan Kinerja *Medium Voltage Variable Speed Drive* pada Konfigurasi Operasi Tunggal dan Operasi Ganda Motor Induksi Tiga Fasa.

Beserta perangkat yang ada. Dengan hak bebas royalti/nonekslusif ini Jakarta Global University berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Depok, 08 Agustus 2026

Yang menyatakan



Siswo Adibowo

ABSTRAK

Pemanfaatan satu *Medium Voltage Variable Speed Drive* (*MV-VSD*) untuk mengoperasikan lebih dari satu motor induksi pada sistem pompa bertegangan menengah merupakan salah satu alternatif untuk meningkatkan pemanfaatan aset dan fleksibilitas operasi pada instalasi pengolahan air. Pada umumnya, satu unit *MV-VSD* digunakan untuk mengoperasikan satu motor yang menggerakkan satu pompa, namun dalam kondisi tertentu terdapat peluang untuk mengoperasikan dua motor dengan satu unit *MV-VSD* sehingga diharapkan dapat meningkatkan kapasitas produksi tanpa memerlukan penambahan *drive*. Meskipun demikian, penerapan konfigurasi tersebut perlu dibuktikan melalui pengukuran lapangan untuk memastikan bahwa kualitas daya listrik dan efisiensi energi tetap berada pada kondisi yang dapat diterima serta tidak menimbulkan dampak negatif terhadap keandalan sistem. Penelitian ini bertujuan membandingkan karakteristik operasi antara konfigurasi tunggal (1 *MV-VSD*–1 motor–1 pompa) dan konfigurasi ganda (1 *MV-VSD*–2 motor–2 pompa) pada sistem distribusi tegangan menengah 3,3 kV. Penelitian menggunakan metode eksperimental kuantitatif dengan pengukuran langsung pada kondisi operasi aktual menggunakan *Fluke 1738 Power Logger* yang dipasang pada sisi masukan *MV-VSD* setelah sistem mencapai kondisi tunak (*steady state*). Parameter yang dianalisis meliputi faktor daya, *Total Harmonic Distortion of Current* (*THD-I*), konsumsi energi listrik, volume air yang diproduksi, serta *Specific Energy Consumption* (*SEC*) sebagai indikator efisiensi energi. Data hasil pengukuran divalidasi untuk memastikan konsistensi dan kelayakannya, kemudian diolah menggunakan analisis deskriptif-komparatif serta dibandingkan dengan acuan kualitas daya yang digunakan dalam penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi operasi tunggal menghasilkan faktor daya sebesar 0,96, sedangkan konfigurasi operasi ganda sekitar 0,90. Walaupun terjadi sedikit penurunan pada operasi ganda, nilai tersebut masih menunjukkan karakteristik operasi yang baik. Dari sisi kualitas daya, nilai *THD-I* pada operasi tunggal sebesar 6,55%, sedangkan pada operasi ganda sebesar 5,22%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa konfigurasi operasi ganda tidak menyebabkan peningkatan distorsi harmonik arus, bahkan menghasilkan nilai *THD-I* yang lebih rendah dibandingkan operasi tunggal, dan keduanya masih berada dalam kategori operasional yang digunakan sebagai acuan penelitian. Analisis *SEC* menunjukkan bahwa konfigurasi operasi ganda mampu menghasilkan kapasitas produksi air yang lebih besar dengan tingkat pemanfaatan energi yang tetap kompetitif dibandingkan konfigurasi operasi tunggal, meskipun interpretasi hasilnya masih dipengaruhi oleh keterbatasan interval dan format data produksi air yang tersedia. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi operasi ganda layak dipertimbangkan untuk diterapkan pada aplikasi pompa yang menggunakan motor dengan spesifikasi sejenis dan pola beban yang sesuai, dengan tetap memperhatikan koordinasi proteksi, pembagian beban, serta pemantauan kondisi operasi secara berkelanjutan guna menjaga keandalan dan keselamatan sistem.

Kata kunci: *Medium Voltage Variable Speed Drive*, motor induksi tiga fasa, operasi tunggal, operasi ganda, faktor daya, THD-I, *Specific Energy Consumption*.

ABSTRACT

The utilization of a single Medium Voltage Variable Speed Drive (MV-VSD) to operate more than one induction motor in a medium-voltage pumping system is a potential approach to improving asset utilization and operational flexibility in water treatment plants. Conventionally, one MV-VSD is used to drive a single motor coupled to one pump. However, under certain operating conditions, a single MV-VSD can be utilized to operate two motors, thereby increasing production capacity without requiring an additional drive. Nevertheless, the feasibility of this configuration must be verified through field measurements to ensure that power quality and energy efficiency remain within acceptable operating limits and do not adversely affect system reliability. This study aims to compare the operating characteristics of a single configuration (1 MV-VSD–1 motor–1 pump) and a dual configuration (1 MV-VSD–2 motors–2 pumps) in a 3.3 kV medium-voltage distribution system. An experimental quantitative method was employed using direct measurements under actual operating conditions. Data were collected using a Fluke 1738 Power Logger installed at the input side of the MV-VSD after the system reached steady-state operation. The parameters analyzed included power factor, Total Harmonic Distortion of Current (THD-I), electrical energy consumption, water production volume, and Specific Energy Consumption (SEC) as an indicator of energy efficiency. The measurement data were validated to ensure consistency and reliability, then processed using descriptive-comparative analysis and compared with the power quality criteria adopted in this study. The results indicate that the single configuration achieved a power factor of 0.96, while the dual configuration achieved approximately 0.90. Although a slight reduction in power factor was observed in the dual configuration, the value still represents satisfactory operating performance. In terms of power quality, the THD-I value of the single configuration was 6.55%, whereas the dual configuration recorded 5.22%. These results indicate that the dual configuration did not increase current harmonic distortion; instead, it produced a lower THD-I than the single configuration. Both values remained within the operational criteria adopted in this study. The SEC analysis showed that the dual configuration was capable of producing a higher volume of treated water while maintaining competitive energy utilization compared with the single configuration. However, the interpretation of the SEC results was limited by the available water production data interval and recording format. Overall, the findings demonstrate that the dual operating configuration is feasible for pumping applications employing motors with similar specifications and compatible load characteristics, provided that appropriate protection coordination, load sharing, and continuous operational monitoring are implemented to ensure system reliability and safe operation.

Keywords: Medium Voltage Variable Speed Drive, three-phase induction motor, single operation, dual operation, power factor, THD-I, Specific Energy Consumption.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS ..... **ii**
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING ..... **iii**
HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI ..... **iv**
KATA PENGANTAR ..... **v**
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI AKADEMIS ..... **vi**
ABSTRAK ..... **vii**
ABSTRACT ..... **viii**
DAFTAR ISI ..... **ix**
DAFTAR GAMBAR ..... **xii**
DAFTAR TABEL ..... **xiv**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 5
1.3 Tujuan Penelitian 5
1.4 Manfaat dan Kontribusi Penelitian 6
1.4.1 Manfaat Akademis 6
1.4.2 Manfaat Praktis 6
1.4.3 Manfaat Bagi Industri Air Minum 6
1.4.4 Manfaat Bagi Pengembangan Teknologi 6
1.4.5 Kontribusi penelitian 6
1.5 Batasan Penelitian 7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **8**
2.1 Penelitian Terdahulu 8
2.2 Landasan Teori *Variable Speed Drive* 11
2.3 *Medium Voltage Variable Speed Drive* (MV VSD) 12
2.3.1 Topologi 12
2.4 Faktor Daya 15
Faktor daya merupakan perbandingan antara daya aktif terhadap daya semu.. 15

2.5 Total Harmonic Distortion (THD) 15
2.6 Efisiensi Energi 16
2.6.1 Konfigurasi Operasi MV-VSD 16
BAB III 18
METODE PENELITIAN 18
3.1 Desain Penelitian 18
3.2 Tahapan Penelitian 18
3.3 Lokasi Penelitian 18
3.4 Objek Penelitian 19
3.5 Variabel Penelitian 19
3.5.1 Variabel Independen 19
3.5.2 Variabel Dependen 20
3.5.3 Variabel Kontrol 20
3.6 Alat dan Bahan Penelitian 20
3.7 Spesifikasi Alat Ukur 21
3.8 Prosedur Penelitian 21
3.8.1 Tahap 1 21
3.8.2 Tahap 2 22
3.8.3 Tahap 3 22
3.8.4 Tahap 4 22
3.8.5 Tahap 5 22
3.8.6 Tahap 6 22
3.8.7 Tahap 7 22
3.8.8 Tahap 8 22
3.9 Diagram Alir Penelitian 23
3.10 Metode Analisis Data 24
3.11 Hipotesis Penelitian 24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 25
4.1 Gambaran Umum Objek Penelitian 25
4.2 Sistem Pengukuran 25
4.3 Hasil Pengukuran Operasi Tunggal 26
4.3.1 Kesimpulan Pada Pengukuran Operasi Tunggal 29
4.3.2 Analisis Faktor Daya Operasi Tunggal 29
4.3.3 Analisis THD-I Operasi Tunggal 30

4.3.4 Analisis SEC Pada Operasi Tunggal 30
4.4 Hasil Pengukuran Operasi Ganda 31
4.4.1 Kesimpulan Pada Operasi Ganda 33
4.4.2 Analisis Faktor Daya Operasi Ganda 33
4.4.3 Analisi THD-I Operasi Ganda 33
4.4.4 Analisi SEC Pada Operasi Ganda 34
4.5 Analisis Efisiensi Energi 34
4.5.1 Analisi Spesific Energy Consumption (SEC) 34
4.6 Perbandingan Operasi Tunggal dan Operasi Ganda 35
4.7 Pembahasan 37
4.8 Temuan Penelitian 37
BAB V PENUTUP 38
5.1 Kesimpulan 38
5.1.1 Kinerja Sistem MV-VSD 38
5.1.2 Faktor Daya (Power Factor) 38
5.1.3 Distorsi Harmonik (THD) 39
5.1.4 Efisiensi Energi 39
5.1.5 Spesific Energy Consumtion (SEC) 39
5.1.6 Kelayakan Konfigurasi Operasi Ganda 39
5.1.7 Kontribusi Penelitian 40
5.2 Saran 40
5.2.1 Pengembangan Penelitian 40
5.2.2 Analisis Harmonik 40
5.2.3 Analisis Statistik 41
5.2.4 Analisis Ekonomi 41
5.2.5 Implementasi Industri 41
5.2.6 Pengembangan Sistem Monitoring 42
5.2.7 Kontribusi Imiah Penelitian 42
DAFTAR REFERENSI 43
LAMPIRAN 46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. VSD Tegangan Menengah Operasi Tunggal 2
Gambar 1.2. Sistem VSD Tegangan Menengah Operasi Ganda 2
Gambar 1.3. Diagram Satu Garis Operasi 3
Gambar 1.4. Sistem dan Skema Operasi VSD 4
Gambar 2.1. Skema Topologi NPC 13
Gambar 2.2. Skema Topologi VSI 13
Gambar 2.3. Skema Topologi CHB 14
Gambar 3.1. Objek Penelitian 19
Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian 23
Gambar 4.1. Pengukuran Operasi Tunggal 26
Gambar 4.2. Hasil Pengukuran menggunakan Fluke Data Logger (1) 26
Gambar 4.3. Hasil Pengukuran menggunakan Fluke Data Logger (2) 27
Gambar 4.4. Hasil Pengukuran Operasi Tunggal Yang Disederhanakan Pada Pengukuran 1 27
Gambar 4.5. Hasil Pengukuran Operasi Tunggal Yang Disederhanakan Pada Pengukuran 2 27
Gambar 4.6. Hasil Pengukuran Operasi Tunggal Yang Disederhanakan Pada Pengukuran 3 27
Gambar 4.7. Hasil Pengukuran Operasi Tunggal Yang Disederhanakan Pada Pengukuran 4 28
Gambar 4.8. Hasil Pengukuran Operasi Tunggal Yang Disederhanakan Pada Pengukuran 5 28
Gambar 4.9. Hasil Pengukuran Operasi Tunggal Yang Disederhanakan Pada Pengukuran 6 28
Gambar 4.10. Analisis SEC Pada Operasi Tunggal 30
Gambar 4.11. Pengukuran Operasi Ganda 31
Gambar 4.12. Hasil Pengukuran menggunakan Fluke Data Logger (3) 31
Gambar 4.13. Hasil Pengukuran menggunakan Fluke Data Logger (4) 32

Gambar 4.14. Hasil Pengukuran Operasi Ganda Yang Disederhanakan Pada Pengukuran 1 32
Gambar 4.15. Hasil Pengukuran Operasi Ganda Yang Disederhanakan Pada Pengukuran 2 32
Gambar 4.16. Grafik SEC Operasi Tunggal dan Operasi Ganda..... 35
Gambar 4.17. Grafik Hasil Pengukuran Operasi Tunggal dan Operasi Ganda..... 36

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Parameter THD-I 15
Tabel 2.2 Perbandingan VSD Operasi Tunggal dan Operasi Ganda 17
Tabel 3.1. Objek Penelitian 19
Tabel 3.2 Alat dan Bahan 21
Tabel 4.1 Spesifikasi Objek Penelitian 25
Tabel 4.2. Karakteristik Operasi Tunggal 29
Tabel 4.3. Karakteristik Operasi Ganda 33
Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Pengukuran Operasi Tunggal dan Operasi Ganda 35

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air bersih merupakan salah satu kebutuhan dasar masyarakat yang harus tersedia secara berkelanjutan baik untuk kebutuhan rumah tangga, industri, maupun fasilitas umum. Seiring meningkatnya jumlah penduduk, pertumbuhan kawasan perkotaan, dan perkembangan sektor industri, kebutuhan terhadap pasokan air bersih juga terus meningkat. Kondisi tersebut menuntut perusahaan penyedia air minum untuk meningkatkan kapasitas produksi sekaligus menjaga kontinuitas pelayanan kepada masyarakat. Di sisi lain, peningkatan kapasitas produksi harus dilakukan secara efisien agar biaya operasional tetap terkendali.

Pada instalasi pengolahan air, proses produksi sangat bergantung pada sistem pemompaan untuk mengalirkan air dari sumber hingga ke jaringan distribusi. Sistem pompa bekerja hampir sepanjang waktu sehingga menjadi salah satu konsumen energi listrik terbesar di instalasi pengolahan air. Oleh karena itu, peningkatan efisiensi sistem pompa menjadi salah satu strategi penting dalam menekan konsumsi energi dan biaya operasional.

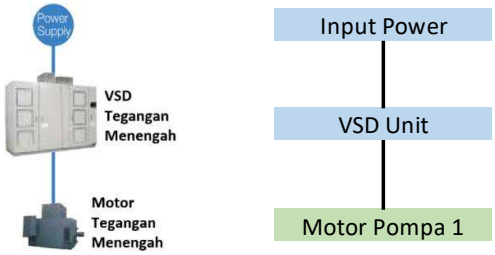
Salah satu teknologi yang banyak digunakan untuk meningkatkan efisiensi sistem pompa adalah *Variable Speed Drive* (VSD). Perangkat ini mengatur kecepatan putaran motor listrik sesuai kebutuhan proses sehingga pompa tidak selalu beroperasi pada kecepatan maksimum. Dibandingkan metode pengaturan konvensional menggunakan katup (throttling) atau bypass, penggunaan VSD mampu mengurangi konsumsi energi sekaligus meningkatkan fleksibilitas operasi.

Pada aplikasi industri berdaya besar, terutama yang menggunakan motor tegangan menengah, digunakan *Medium Voltage Variable Speed Drive* (MV-VSD). Teknologi ini banyak diterapkan pada sistem pompa, kipas, kompresor, dan peralatan industri lainnya karena mampu mengendalikan motor berdaya besar dengan efisiensi tinggi. Selain memberikan penghematan energi, penggunaan MV-VSD juga dapat mengurangi arus awal (*starting current*), meningkatkan faktor

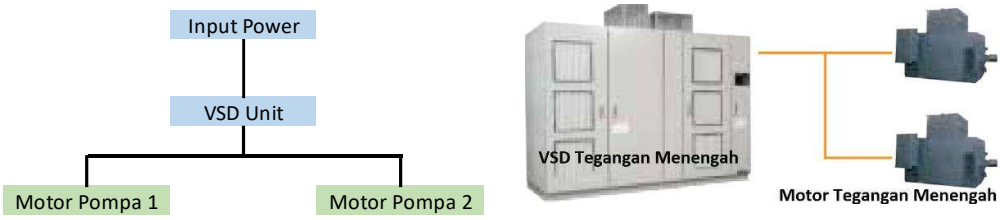
daya, serta mengurangi tekanan mekanis pada motor dan peralatan yang digerakkan.

Dalam praktik industri, konfigurasi yang paling umum adalah satu unit MV-VSD mengendalikan satu motor induksi (operasi tunggal). Konfigurasi ini dipilih karena sederhana dalam pengoperasian dan memudahkan koordinasi proteksi. Namun, meningkatnya tuntutan efisiensi investasi mendorong beberapa industri mulai menerapkan satu unit MV-VSD untuk mengoperasikan dua motor pada kondisi operasi tertentu. Pendekatan ini berpotensi meningkatkan pemanfaatan aset, mengurangi jumlah peralatan yang diperlukan, menghemat ruang instalasi, serta menekan biaya investasi dan pemeliharaan.

Meskipun menawarkan berbagai keuntungan, penerapan satu MV-VSD untuk dua motor juga menimbulkan pertanyaan mengenai dampaknya terhadap kinerja sistem kelistrikan. Penambahan jumlah motor yang dikendalikan oleh satu inverter dapat memengaruhi karakteristik pembebanan, kualitas daya listrik, dan efisiensi sistem. Parameter seperti faktor daya, distorsi harmonik arus (*Total Harmonic Distortion Current* atau THD-I), konsumsi energi listrik, dan *Specific Energy Consumption* (SEC) menjadi indikator penting yang perlu dievaluasi untuk memastikan bahwa konfigurasi tersebut tetap memenuhi kebutuhan operasional.



Gambar 1.1. VSD Tegangan Menengah Operasi Tunggal



Gambar 1.2. Sistem VSD Tegangan Menengah Operasi Ganda

Berbagai penelitian sebelumnya telah membahas penerapan VSD maupun MV-VSD dalam meningkatkan efisiensi energi dan kualitas daya. Namun, sebagian besar penelitian tersebut berfokus pada konfigurasi satu VSD–satu motor, pengembangan algoritma kendali, atau simulasi sistem. Kajian yang secara khusus membandingkan konfigurasi satu MV-VSD–satu motor dengan satu MV-VSD–dua motor berdasarkan hasil pengukuran langsung pada instalasi industri masih sangat terbatas, khususnya pada sistem pengolahan air di Indonesia. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan penelitian yang masih perlu dikaji lebih lanjut.

Untuk konfigurasi operasi tunggal dan operasi ganda banyak kita temukan pada sistem VSD tegangan rendah. Sedangkan untuk operasi VSD tegangan menengah secara umum menerapkan konfigurasi operasi tunggal. Konfigurasi VSD tegangan menengah terhadap motor induksi operasi ganda sangat jarang ditemukan.



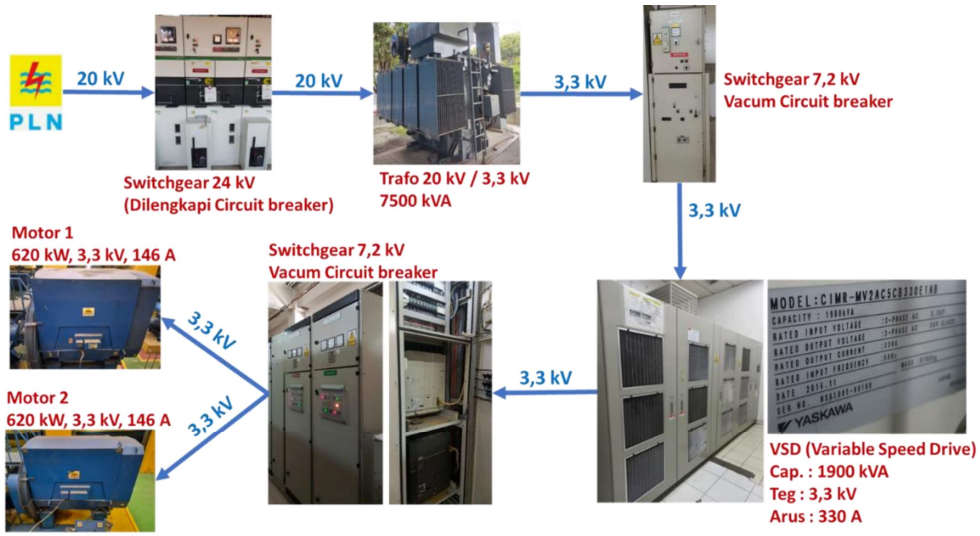
Gambar 1.3. Diagram Satu Garis Operasi

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dua konfigurasi operasi MV-VSD, yaitu operasi tunggal dan operasi ganda, melalui pengukuran langsung pada instalasi pengolahan air. Evaluasi dilakukan terhadap faktor daya, THD-I, konsumsi energi listrik, dan *Specific Energy Consumption* (SEC) sehingga diperoleh dasar teknis mengenai kelayakan penggunaan satu MV-VSD untuk mengoperasikan dua motor induksi tiga fasa. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan sistem penggerak motor tegangan menengah sekaligus menjadi referensi praktis bagi industri dalam menentukan konfigurasi operasi yang efisien, andal, dan sesuai dengan kebutuhan operasional.

Novelty atau Kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi eksperimental terhadap penggunaan satu *Medium Voltage Variable Speed Drive* (MV-VSD) untuk mengoperasikan dua motor induksi tiga fasa secara paralel, berdasarkan data

pengukuran langsung pada instalasi pengolahan air. Berbeda dengan sebagian besar penelitian terdahulu yang berfokus pada konfigurasi satu VSD untuk satu motor atau simulasi sistem multi-motor, penelitian ini memberikan analisis komprehensif mengenai pengaruh konfigurasi operasi terhadap faktor daya, distorsi harmonik arus (THD-I), efisiensi energi, dan konsumsi energi listrik pada kondisi operasi nyata. Selain itu, penelitian ini memberikan rekomendasi teknis mengenai kelayakan penerapan konfigurasi satu MV-VSD untuk dua motor sebagai alternatif yang mampu meningkatkan efisiensi operasional tanpa mengurangi kualitas daya listrik.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif melalui pengukuran langsung pada sistem MV-VSD yang beroperasi di instalasi pengolahan air. Data kualitas daya dan konsumsi energi diperoleh menggunakan power quality analyzer kemudian dianalisis secara komparatif untuk mengevaluasi dua konfigurasi operasi, yaitu operasi tunggal dan operasi ganda.



Gambar 1.4. Sistem dan Skema Operasi VSD

1.2 Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perbandingan faktor daya antara konfigurasi 1 MV-VSD–1 motor dan 1 MV-VSD–2 motor?
2. Bagaimana pengaruh konfigurasi operasi terhadap nilai Total Harmonic Distortion arus (THD-I) pada sistem MV-VSD?
3. Bagaimana perbandingan efisiensi energi dan konsumsi energi listrik pada kedua konfigurasi operasi?
4. Bagaimana perbandingan nilai *Specific Energy Consumption* (SEC) pada konfigurasi operasi tunggal dan operasi ganda?
5. Konfigurasi operasi manakah yang memberikan performa sistem terbaik berdasarkan parameter faktor daya, THD-I, efisiensi energi, dan konsumsi energi.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis perbandingan faktor daya pada konfigurasi operasi 1 MV-VSD–1 motor dan 1 MV-VSD–2 motor
2. Menganalisis pengaruh konfigurasi operasi terhadap nilai Total Harmonic Distortion arus (THD-I)
3. Menganalisis efisiensi energi dan konsumsi energi listrik pada kedua konfigurasi operasi
4. Menganalisis nilai *Specific Energy Consumption* (SEC) pada kedua konfigurasi operasi.
5. Menentukan konfigurasi operasi MV-VSD yang memberikan performa terbaik berdasarkan faktor daya, THD-I, efisiensi energi dan SEC

1.4 Manfaat dan Kontribusi Penelitian

1.4.1 Manfaat Akademis

Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya kajian ilmiah mengenai aplikasi *Medium Voltage Variable Speed Drive* pada sistem multi-motor, khususnya terkait faktor daya, kualitas daya, efisiensi energi, dan distorsi harmonik pada instalasi industri

1.4.2 Manfaat Praktis

Penelitian ini memberikan informasi teknis bagi praktisi industri dalam memilih konfigurasi operasi MV-VSD yang sesuai dengan karakteristik sistem, sehingga dapat meningkatkan efisiensi energi, menekan biaya operasional, serta menjaga kualitas daya listrik.

1.4.3 Manfaat Bagi Industri Air Minum

Hasil penelitian dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem pompa bertegangan menengah pada instalasi pengolahan air, khususnya dalam penerapan satu MV-VSD untuk mengoperasikan dua pompa secara efisien dan andal.

1.4.4 Manfaat Bagi Pengembangan Teknologi

Penelitian ini diharapkan menjadi dasar bagi penelitian lanjutan mengenai pengembangan strategi pengendalian, koordinasi proteksi, mitigasi harmonik, dan optimasi efisiensi energi pada sistem MV-VSD multi-motor.

1.4.5 Kontribusi penelitian

Penelitian ini memberikan kontribusi sebagai berikut:

a. Menyediakan hasil pengukuran langsung (field measurement) pada sistem MV-VSD tegangan menengah.
b. Membandingkan secara komprehensif konfigurasi operasi:
    - 1 MV-VSD → 1 Motor
    - 1 MV-VSD → 2 Motor
c. Menyusun rekomendasi pola operasi yang paling efisien berdasarkan faktor daya, THD-I, efisiensi energi, dan SEC.

d. Menjadi referensi teknis bagi industri air minum dalam penerapan satu MV-VSD untuk dua motor.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah pada penelitian in adalah sebagai berikut:

a. Objek penelitian adalah *Medium Voltage Variable Speed Drive* (MV-VSD) yang digunakan pada sistem pompa di Instalasi Pengolahan Air (IPA) Jakarta.
b. Penelitian membandingkan dua konfigurasi operasi, yaitu:
    - Operasi tunggal: satu unit MV-VSD mengoperasikan satu motor induksi tiga fasa.
    - Operasi ganda: satu unit MV-VSD mengoperasikan dua motor induksi tiga fasa.
c. Pengambilan data dilakukan pada kondisi operasi aktual (field measurement) tanpa melakukan perubahan desain sistem, modifikasi perangkat keras, maupun perubahan algoritma kendali MV-VSD.
d. Parameter yang dianalisis meliputi:
    - Faktor daya (Power Factor);
    - Distorsi harmonik arus (Total Harmonic Distortion Current/THD-I);
    - Efisiensi energi;
    - Konsumsi energi listrik (*Specific Energy Consumption*/SEC
e. Penelitian tidak membahas aspek desain internal MV-VSD, topologi inverter, algoritma kontrol, koordinasi proteksi, maupun analisis ekonomis investasi (*life cycle cost* atau *return on investment*).
f. Analisis dilakukan berdasarkan data hasil pengukuran pada sistem yang menjadi objek penelitian sehingga hasil penelitian merepresentasikan kondisi operasi instalasi tersebut.

DAFTAR REFERENSI

Kumar, A., & Singh, B. (2019). Independent Control of a Two-Motor Drive System Fed by a Single Voltage Source Inverter. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 66(3),1942-1952

Zhang, Y., Li, Z., & Wang, J. (2020). Model predictive control of a dual induction motor drive fed by a single inverter. Electric Power Systems Research, 180, 106092

Patel, R., & Rajagopal, K. (2021). Evaluation of the High Performance Indirect Field Oriented Controlled Dual Induction Motor Drive Fed by a Single Inverter using Type-2 Fuzzy Logic Control. Journal of Power Electronics, 21(4), 842-854

Fiorucci, F. (2013). *Variable Speed Drive* Characterization: Review of Measurement Techniques. Advances in Power Electronics, 2013, 1–12.

Chatterjee, A., Joshi, S., & Kruger, P. (2022). Achieving energy efficiency with *Medium Voltage Variable Speed Drive*s for ventilation on demand in South African mines. Journal of Mining Technology, 45(3), 78–92.

Paes, R. (2020). An Overview of *Medium Voltage* AC Adjustable Speed Drives and IEEE Std. 1566 – Standard for Performance of Adjustable Speed AC Drives Rated 375 kW and Larger. IEEE Transactions on Industry Applications, 56(4), 3456–3468.

Romberger, J. (2019). Chapter 18 - Variable Frequency. In Power Electronics Handbook (3rd ed., pp. 456–489). Academic Press.

Khalid, N. (2021). Efficient energy management: Is variable frequency drives the solution? Energy Efficiency Journal, 12(2), 112–125.

Sequeira, M., & Alahakoon, S. (2023). Energy efficient *Variable Speed Drive*s empowered with torque estimation. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 70(5), 4321–4332.

Housh, M., & Salomons, E. (2022). Energy-efficient local control strategies for pumping stations with variable-speed pumps: A practical model-based approach. Control Engineering Practice, 120, 104567.

Alves, J. A., & Torri, P. (2020). Harmonic measurement and analysis system for characterization of adjustable speed drives. Electric Power Systems Research, 178, 106034.

Romero, A., Johnson, B., & Liu, Y. (2021). Harmonic mitigation for AC Variable Frequency pump drives. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 129, 106745.

Prasetia, A. M., Sartika, L., Samanta, R., & Sanjaya, D. (2018). Implementation of *Variable Speed Drive*s as Starting Control of Three Phase Induction Motor. International Journal of Engineering Research & Technology, 7(5), 234–241.

Mahmood, S., Iqbal, M. T., & Zhang, Q. (2023). Innovations in Variable Frequency Drives and its implication in reducing carbon footprint. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 136, 110432.

Al-Hakeem, A., & Liao, Y. (2019). *Medium Voltage* drives improve life cycle cost. IEEE Industry Applications Magazine, 25(4), 56–64.

Medium-voltage-drives-challenges-and-existing-technology. (2020). IEEE Transactions on Industrial Electronics, 67(8), 6456-6466.

Pontt, J., Vargas, R.,&Ibacache, R.(2021). Medium-Voltage Adjustable-Speed Drives—Users and manufacturers experiences.IEEETransactions on Industry Applications,57(3),2345–2356.

Li, Y., Yang, H., & Hu, Y. (2022). On lifetime evaluation of *Medium Voltage* drives based on modular multilevel converter. IEEE Transactions on Power Electronics, 37(6), 6789–6801.

Herrera, C., Reyes, L., & Schmidt, D. (2020). Operational energy-efficiency improvement of municipal water pumping in California. Applied Energy, 262, 114521.

Nguyen, T. H., & Patel, N. (2021). Simplified variable frequency induction-motor drive model for power system stability studies and control. Electric Power Systems Research, 192, 106976.

Johnson, M., Kim, S., & Lee, D. (2022). Speed and torque estimation of variable frequency drives with effective values of stator currents. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 18(7), 4532–4541.

Nguyen, M. L., Thang, P. T., & Inoue, Y. (2023). Synchronous transfer control of *Medium Voltage* pump in water treatment: A multilevel cascaded H-bridge inverter-based solution. IEEE Transactions on Industry Applications, 59(2), 1567–1578.

Torres, R., Carvalho, M., & Dominguez, A. (2021). The impact of eco-energy design in energy consumption of water pumping plants. Journal of Cleaner Production, 280, 124321.

Garcia, P., Oliveira, F., & Wilson, T. (2022). Vibration, current, torque, RPM dataset for multiple fault conditions in industrial-scale electric motors under randomized speed and load variations. Data in Brief, 41, 107890.

Alves, J. A., da Cunha, G., & Torri, P. (2019). WEG medium-voltage industrial variable-speed drives technical article. WEG Technical Articles, 1–16.

Yaskawa Electric Corporation, Super Energy-Saving Medium-Voltage AC Drive FSDrive-MV1000, Product Catalog, Japan, 2014.

Yaskawa Electric Corporation. Super Energy-Saving Medium-Voltage AC Drive FSDrive-MV1000, Product catalog. Japan, 2013

Yaskawa Electric Corporation, Super Energy-Saving Medium-Voltage AC Drive FSDrive-MV1000 Instructions, Manual No. TOEP C710687 02A, Yaskawa Electric Corporation, Kitakyushu, Japan, 2012.