MESTRO JURNAL ILMIAH
Jurnal homepage: https://jurnal.publikasi-untagcirebon.ac.id/

Comparative Analysis of DOL Starting Method with VFD on 630 kW/3 kV SWRO PUMP Induction Motor

Analisa Perbandingan Metode Starting DOL Dengan VFD Pada Motor Induksi 630 kW/3 kV SWRO PUMP

* Safrizal[1], Muhammad Sagaf[2]

[1)]Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Nahdlatul Ulama Jepara, Jawa Tengah, INDONESIA.

[2)]Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang, Jawa Tengah, INDONESIA

INFORMASI ARTIKEL

NASKAH DITERIMA: 16 Oktober 2024
DIREVISI: 14 November 2024
DISETUJUI: 17 Desember 2024

***KORESPODENSI PENULIS :**
safrizal27@unisnu.ac.id

Abstract

Operational starting current of an induction motor can reach 5-7 times the nominal current (FLA) in steady state conditions. This is due to the small impedance and high Locked Rotor Current (LRC). During starting, the terminal voltage experiences a voltage drop with a duration of 0.5 cycles to 1 minute, known as voltage dip or voltage sag. High current will generate heat that can damage the motor itself, cause voltage drop in an electrical power system, and if the voltage drop exceeds the allowed tolerance, it can disrupt other systems. To determine the starting current of a 630 kW/3 kV induction motor, a simulation can be performed using the ETAP Power Station software. From the simulation results, the starting motor SWRO Pump using the DOL method had a current surge of 440% (4.4 times) of the FLA (Full Load Ampere) 726 A, resulting in a voltage drop of 6%, while the VFD (Variable Frequency Drive) method had a current surge of 110% of the FLA (Full Load Ampere) 181.5 A with a voltage drop of 0.2%. Both methods experienced similar voltage drops within the acceptable limit (<20%), but had different current surges. The research concluded that VFD is safer because high starting current can cause interference with other equipment and affect the life of the motor's windings. The choice of starting method should be appropriate for the specific application.

Keywords: *DOL, Induction Motor 630 kW/3 kV, VFD.*

Abstrak

Operasional starting Direct On line (DOL) pada sebuah motor induksi dapat mencapai 5-7 kali arus nominal (FLA=Full Load Ampere) pada kondisi steady state. Hal itu disebabkan karena kecilnya nilai impedansi dan Locked Rotor Current (LRC) yang besar. Selama pengasutan, tegangan terminal mengalami penurunan tegangan dengan durasi 0,5 siklus sampai 1 menit, fenomena ini disebut dengan tegangan dip atau tegangan sag. Arus yang besar akan menghasilkan panas dapat merusak motor itu sendiri bahkan mengakibatkan jatuh tegangan pada suatu sistem tenaga listrik dan jika drop tegangan melebihi batas toleransi yang dizinkan ini bisa mengganggu sistem lain. Untuk dapat mengetahui arus starting motor induksi 630 kW/3 kV dapat menggunakan simulasi dengan software ETAP Power Station, dari hasil simulasi yang dilakukan Starting motor SWRO Pump dengan metode DOL terjadi lonjakan arus sebesar 440% (4,4 kali) dari FLA (Full Load Ampare) 726 A yang mengakibatkan drop tegangan 6%, menggunakan metode VFD (Variabel Frequency Drive) terjadi lonjakan arus sebesar 110% dari FLA (Full Load Ampare) 181,5 A dengan drop tegangan 0,2%. Hasil simulasi keduanya mengalami drop tegangan yang sama-sama masih dalam batas (<20%) akan tetapi mengalami lonjakan arus yang berbeda. Penelitian ini menyimpulkan VFD lebih aman karena arus start yang tinggi memicu gangguan pada peralatan lain dan juga mempengaruhi usia gulungan motor tersebut dan pemilihan metode starting yang tepat sesuai peruntukannya.

Kata kunci: DOL, Motor Induksi 630 kW/3 kV, VFD.

I. PENDAHULUAN

PLTU Tanjung Jati B unit 5 & 6 berkapasitas 2x1000 MW dengan konsumsi batu bara 7,5 ton/tahun, menjadi komplek PLTU dengan kapasitas terbesar di Asia Tenggara. PLTU mengadopsi teknologi *ultra super critical* (USC). Teknologi USC ini dapat meningkatkan efisiensi pembangkit listrik hingga 15 %, dibandingkan dengan teknologi subcritical. Teknologi *subcritical* memanaskan air untuk membentuk uap pada tekanan dan suhu di bawah titik kritis air 530-540 ^{o}C. Teknologi *subcritical* membutuhkan *steam drum*. Operasional subcritical boiler sekitar <22,1 Mpa dan memiliki efisiensi 38-38%. PLTU dengan teknologi *subcritical* dengan Biaya Pokok Produksi (BPP) US $5 sen 6 sen/kwh. - Teknologi *ultra super critical* (USC) akan meningkatkan efiensi yang berakibat pada pengurangan konsumsi bahan bakar dan emisi CO_2 misalnya pada pembangkit supercritical emisi CO_2 sebesar 800 kg/MWh. tidak menggunakan *steam drum* mampu meningkatkan efisiensi pembangkit listrik melalui proses pengaturan tekanan

 © MESTRO E-ISSN 2657 – 1072, All rights reserved

dan suhu pembakaran semakin tinggi, sehingga efisiensi termal menjadi 45%, hal ini mengakibatkan konsumsi batu bara juga berkurang. Biaya Pokok Produksi (BPP) US$ 4,2 sen/kWh. [1] Pada kondisi supercritical dimana tekanan steam berada di atas titik kritis air, air umpan yang masuk ke boiler akan langsung menjadi uap panas tanpa melalui fase campuran antara uap jenuh dan air, sehingga tidak ada lagi pemisahan antara uap jenuh dengan air lagi. Hal itu berarti proses pembentukan steam yang menuju turbin membutuhkan waktu yang lebih cepat, sehingga akan berakibat pada konsumsi bahan bakar yang lebih sedikit.

Konsumsi bahan bakar dapat dinyatakan sebagai konsumsi spesifik bahan bakar (SFC), yang menggambarkan kebutuhan bahan bakar untuk membangkitkan energi listrik. Pada kondisi subcritical tekanan steam 166,9 bar laju konsumsi bahan bakar adalah 72,8 kg/s. Konsumsi spesifik bahan bakar sebesar 0,375 kg/kWh, berarti untuk menghasilkan listrik sebesar 1 kWh membutuhkan batubara sebanyak 0,375 kg. Kebutuhan bahan bakar akan menurun ketika tekanan steam dinaikkan ke kondisi supercritical. Pada tekanan supercritical 240 bar, konsumsi bahan bakar turun menjadi 70,1 kg/s dengan nilai konsumsi spesifik bahan bakar menjadi 0,361 kg/kWh. Peningkatan efisiensi itu akan berakibat pada penghematan penggunaan bahan bakar sebesar 9,72 ton/jam, yang berarti dalam 1 tahun terjadi penghematan sebesar 83.980 ton. Jika mengacu pada harga tertinggi atau ceiling price batu bara untuk pembangkit yang diatur dalam Keputusan Menteri ESDM No. 1395 K/30/MEM/2018 tentang Harga Batu Bara untuk Penyedian Tenaga Listrik untuk Kepentingan Umum sebesar US$ 70 per ton, maka potensi penghematan biaya bahan bakar sebesar US$ 5.878.656 atau sekitar 82 milyar rupiah per tahun (dengan asumsi kurs dolar Rp 14.000/ US$). [2]

Water Treatment Plant merupakan bagian dari power plant yang berfungsi untuk menyediakan air pengisi boiler dalam sebuah powerplant, juga bagian dari sistem pengolahan air dalam pembangkit. Air yang dihasilkan oleh bagian pengolah air digunakan sebagai air penambah (make-up water) dalam siklus pembangkit, pendingin peralatan (seperti: pelumas turbin, pompa-pompa kapasitas besar, kompresor) sebagai bahan baku pada hydrogen dan chlorination plant serta untuk kebutuhan sehari-hari (utilitas) atau biasa disebut service water. Pada sistem inilah air laut akan diproses untuk menghilangkan kesadahan dan partikel-partikel asing dalam air. Pengolahan ini berupa pemberian kimia atau pengolahan yang bersifat mekanis yang dilakukan terhadap air sebelum air masuk ke dalam boiler. Tujuan dari pengolahan ini adalah untuk menghilangkan zat-zat padat yang terkandung didalam air, menghilangkan gas-gas korosif, dan untuk menghilangkan zat-zat yang larut dan dapat membahayakan boiler sampai dengan menghasilkan standard parameter boiler feed water[3].[4] Motor induksi berkapasitas 630 kW/3 kV dipakai oleh pompa SWRO (*Sea Water Reverse Osmosis*) High Pressure Pump yang menggunakan metode starting VFD (*Variable Frequency Drive*), penulis akan melakukan simulasi perbandingan starting motor metode VFD dengan (DOL) *Direct On Line* karena pada dasarnya motor induksi pada saat starting memerlukan arus yang cukup besar bisa mencapai 7 kali FLA (*full load ampare*) dan bisa mengakibatkan jatuh tegangan pada suatu sistem tenaga listrik dan jika drop tegangan melebihi batas toleransi ini bisa mengganggu sistem utility unit lainnya.[5]

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Motor Induksi 3 Phasa

Motor induksi adalah motor listrik arus bolak-balik (AC) yang putaran rotornya tidak sama dengan putaran medan putar pada stator, atau kata lain, putaran rotor dengan putaran medan pada stator terdapat selisih putaran yang disebut slip. Motor induksi memiliki konstruksi yang kuat, kokoh, harga murah, biaya perawatan rendah, mudah dalam pengaturan kecepatannya, stabil ketika berbeban, dan mempunyai efisiensi tinggi. Hal ini membuat motor induksi banyak digunakan dalam industri dengan skala besar maupun kecil, baik 1 phase maupun 3 phase. Motor induksi ini hanya memiliki satu suplai tenaga yang mengeksitasi belitan stator. Belitan rotornya tidak terhubung langsung dengan sumber tenaga listrik, melainkan belitan ini dieksitasi oleh induksi dari perubahan medan magnetik yang disebabkan oleh arus pada belitan stator. Motor induksi memiliki starting yang dapat mencapai 5-7 kali arus nominal (FLA=*Full Load Ampere*) pada kondisi steady state, yang disebabkan oleh kecilnya nilai impedansi dan Locked Rotor Current (LRC) yang besar. Untuk menghindari gangguan pada saat operasional unit utility system lainya, perlu dilakukan metode starting yang sesuai. [5] [6]



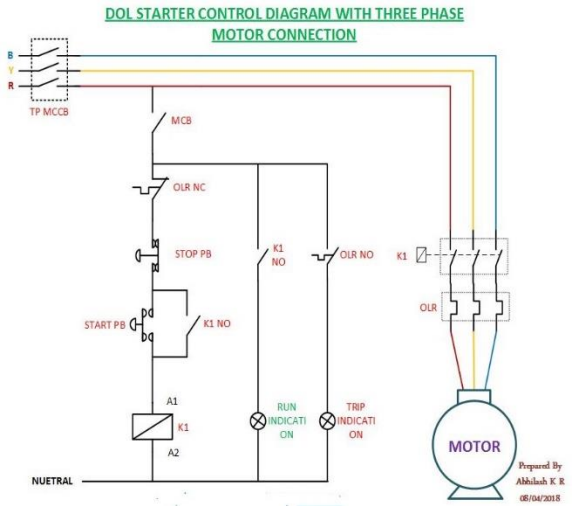
Gambar 1. PLTU Tanjung Jati B

B. Metode Starting DOL [7] [8]

Salah satu metode starter yang paling umum untuk motor listrik adalah start online langsung (DOL). di mana stator langsung dihubungkan langsung ke sumber daya, yang berarti tidak perlu mengubah atau menurunkan tegangan saat memulai. Ketika motor induksi dihidupkan, dia menarik arus yang cukup besar . Ini disebabkan oleh nilai total impedansi yang rendah dan arus kunci rotor (LRC%) yang besar. Selain itu, karena motor listrik membutuhkan torsi yang besar saat dihidupkan agar dapat menahan inersia beban dalam keadaan diam (2). Karena slip motor sama dengan satu, reaktansi rotor tinggi saat start. Ketika motor induksi dihidupkan, reaktansi rotor lebih

© MESTRO E-ISSN 2657 – 1072, All rights reserved

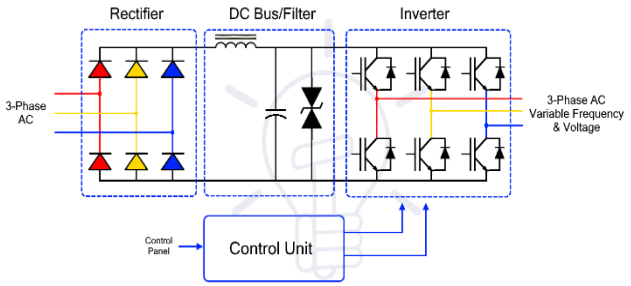
besar daripada resistansi rotor, dan karena rasio Xr/Rr yang lebih besar, nilai Rr/s meningkat seiring dengan penurunan slip.



Gambar 2. Wiring Diagram Starting DOL

C. Metode Starting VFD [9]

Variable Frequency Drive (VFD) atau Variable Speed Drive (VSD) atau inverter adalah metode pengendalian yang mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC) melalui penyearah yang dikendalikan, kemudian mengubahnya kembali menjadi AC dengan frekuensi yang dapat diatur untuk memberikan tegangan pada motor dengan kecepatan yang bisa disesuaikan. VFD terdiri dari dua bagian utama, yaitu penyearah tegangan AC (50 atau 60 Hz) menjadi DC, dan bagian kedua yaitu mengonversi arus searah (DC) kembali menjadi tegangan AC dengan frekuensi yang diinginkan. Penggunaan inverter adalah untuk mengubah daya arus searah menjadi arus bolak-balik, sehingga frekuensinya dapat disesuaikan. Selain itu, fungsi Inverter juga mencakup pengaturan kecepatan motor AC dengan mengubah frekuensi outputnya. Perubahan frekuensi arus bolak-balik dari inverter ditentukan oleh periode pulsa yang mengendalikan penyearah yang digunakan. Dengan mengatur periode pulsa yang memicu thyristor, frekuensi dan kecepatan motor dapat disesuaikan. Inverter merupakan rangkaian elektronika yang menggunakan dioda, kapasitor, dan transistor untuk mengonversi arus AC menjadi DC, kemudian menghasilkan AC kembali untuk menggerakkan motor listrik. Kelebihan dari Inverter meliputi pengaturan kecepatan RPM motor, efisiensi energi listrik yang lebih baik, perlindungan lengkap untuk motor listrik, serta kemampuan untuk diintegrasikan dengan PLC atau kontroler lainnya. Namun, terdapat beberapa kekurangan dari penggunaan inverter, seperti harga yang tinggi, memerlukan pendinginan yang efisien agar tahan lama, dan membutuhkan keahlian khusus untuk pengaturannya.



Gambar 3. Wiring Diagram Starting VFD

III. METODE

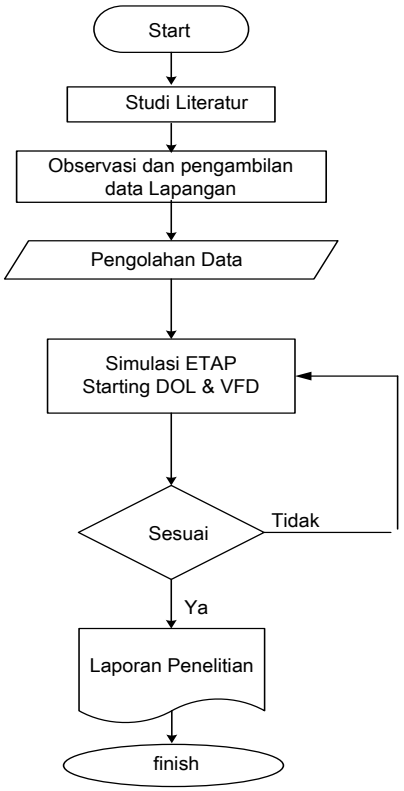
Untuk melakukan penelitian ini, penulis menggunakan observasi lapangan dan wawancara dengan narasumber yang didampingi langsung oleh pembimbing industri. Selain itu, penulis mendapatkan sumber literatur tentang topik penelitian dari berbagai jurnal nasional dan internasional, buku referensi, skripsi, dan artikel lainnya yang relevan dengan topik penelitian. Selanjutnya, data diolah menggunakan simulasi software ETAP. Parameter yang dimasukkan sesuai dengan spesifikasi SWRO motor pump, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Spesifikasi SWRO Motor Pump

Deskripsi	Nilai	Satuan
Daya	630	kW
Tegangan	3000	V
Kecepatan	493	RPM
Faktor Daya	0,77	Lag
Frekuensi	50	Hz
Arus Pengasutan	660	A
Arus Beban Penuh	165	A

Sebelum simulasi dilakukan, satu baris diagram dibuat untuk menganalisis sistem pengasutan penelitian. Metode DOL dan VFD digunakan sebagai tahapan penelitian untuk mencapai tujuan penelitian. Diagram alir metode penelitian terlihat pada Gambar 3.

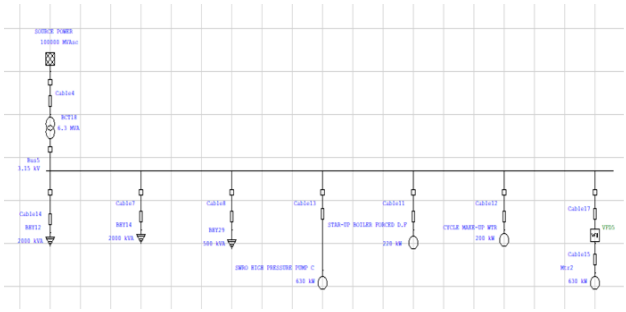
© MESTRO E-ISSN 2657 – 1072, All rights reserved



Gambar 3. Flow Chart Penelitian

IV. HASL DAN PEMBAHASAN

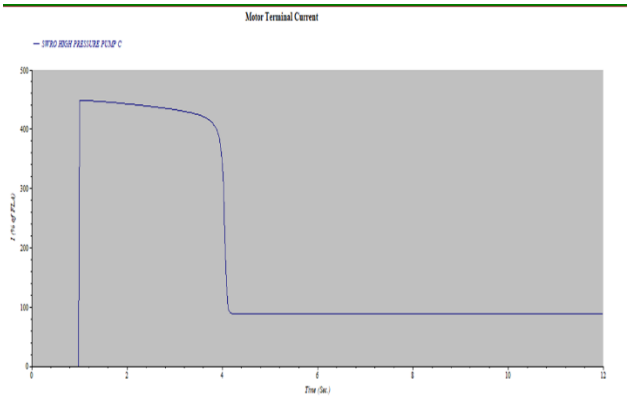
Karena motor induksi adalah peralatan penting di industri, perhitungan yang cermat harus diperhatikan saat memulai. Metode DOL memulai dengan arus yang lebih besar hingga lima hingga tujuh kali lipat dari arus nominal. Karena fakta bahwa motor induksi akan menarik arus listrik yang besar saat dihidupkan, hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan itu sendiri dan peralatan lainnya. Arus start yang besar ini dapat menyebabkan drop tegangan pada sistem, yang dapat mengganggu sistem lain.



Gambar 4. Single Line Diagram SWRO-HP ETAP

A. Simulasi Starting DOL

Hasil simulasi software ETAP Starting motor SWRO-HP dengan metode DOL terjadi lonjakan arus starting sebesar 440% dari FLA (Full Load Ampare) 726 A dengan drop tegangan 6%.



Gambar 5. Grafik Current DOL

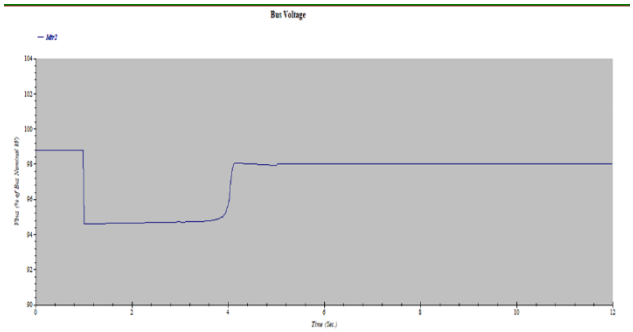
Dari Gambar 5. grafik current DOL menunjukan lonjakan arus terjadi selama 4 detik, sehingga untuk mengetahui arusnya harus dihitung sesuai presentase yaitu mulai detik 0-4 atau sampai ke arus steady state.

Tabel 2. Presentase Arus DOL

PERHITUNGAN	WAKTU/detik
$I_{DOL} = \frac{440\%}{100\%}$ x 165 = 726 Ampare	Simulasi Pada detik 0-1
$I_{DOL} = \frac{430\%}{100\%}$ x 165 = 709,5 Ampare	Simulasi Pada detik 1-2
$I_{DOL} = \frac{415\%}{100\%}$ x 165 = 684,75 Ampare	Simulasi Pada detik 2-3
$I_{DOL} = \frac{100\%}{100\%}$ x 165 = 165 Ampare	Simulasi Pada detik 3-4

Hasil simulasi yang mendekati teori yaitu arus melonjak sampai 726A atau 4.4 kali dari nilai FLA. Dari lonjakan arus start mengakibatkan drop tegangan sebesar 6% pada Gambar tersebut nilai drop masih bisa di toleransi karena tidak berpengaruh ke peralatan lain. Gambar 6. grafik tegangan starting DOL

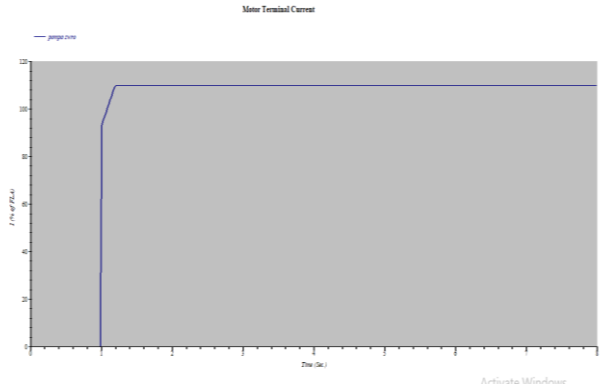
© MESTRO E-ISSN 2657 – 1072, All rights reserved



Gambar 6. Grafik Tegangan Starting DOL

A. Simulasi Starting VFD

Pada simulasi ini, metode VFD adalah pengontrol gerak (drive) yang bekerja dengan mengubah frekuensi sebuah motor AC. Saat start, terjadi lonjakan sebesar 110%, yang jauh lebih kecil daripada arus start DOL. Gambar grafik arus start VFD di bawah ini.



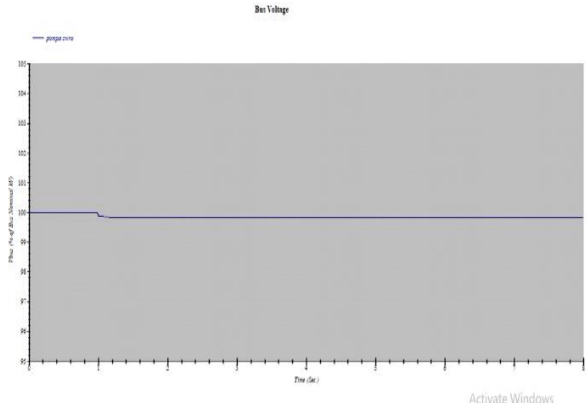
Gambar 7. Grafik Arus Starting VFD

Dari Gambar 7. grafik current VFD menunjukan lonjakan arus terjadi selama 1.2 detik, sehingga untuk mengetahui arusnya harus dihitung sesuai presentase yaitu mulai detik 0-4 atau sampai ke arus steady state

Tabel 3. Presentase Arus VFD

PERHITUNGAN	WAKTU/detik
$I_{VFD} = \frac{0\%}{100\%}$ x 165 = 0 Ampare	Simulasi Pada detik 0-0.5
$I_{DOL} = \frac{90\%}{100\%}$ x 165 = 148.5 Ampare	Simulasi Pada detik 0.5-1
$I_{DOL} = \frac{110\%}{100\%}$ x 165 = 181,5 Ampare	Simulasi Pada detik 1-1.5

Hasil simulasi menunjukan puncak arus start VFD adalah 110% dari FLA sehingga lonjakan ini hanya membuat drop tegangan 0.2%. Drop tegangan yang terjadi karena start VFD masih sangat jauh dari batas yang di izinkan (< 20%) berikut grafik jatuh tegangan saat starting motor 630 kw/3 kV menggunakan VFD. Gambar 8. di bawah ini merupakan gambar grafik tegangan starting VFD.



Gambar 8. Grafik tegangan starting VFD.

Starting motor SWRO Pump dengan metode VFD terjadi lonjakan arus sebesar 110% dari FLA (Full Load Ampare) 181,5 A dengan drop tegangan 0,2%.

V. KESIMPULAN

1. Hasil simulasi starting motor induksi menggunakan software ETAP, starting yang tepat untuk SWRO-HP adalah VFD karena :
   a. Lonjakan arus start lebih kecil (aman terhadap winding)
   b. Drop tegangan lebih rendah (aman terhadap sistem/tidak akan trip)
   c. Lebih mudah untuk mengatur rpm (karena SWRO Filtration harus menjaga pressure pada tekanan 29 bar untuk mendapat air kualitas maksimal)
2. Untuk masalah effisiensi budget DOL lebih unggul, tetapi untuk menjaga pressure yg stabil VFD lebih unggul. Masing" memiliki kelebihan dan kekurangan yg berbeda, untuk penerapan dilapangan menyesuaikan budget dan keperluan sistem.

A. Saran

1. Penelitian lebih lanjut untuk menelaah dampak negative harmonisa yang ditimbulkan akibat pemasangan VFD

© MESTRO E-ISSN 2657 – 1072, All rights reserved

REFERENSI

[1] S. Moazzem, M. G. Rasul, and M. M. K. Kh, "A Review on Technologies for Reducing CO2 Emission from Coal Fired Power Plants," 2012. doi: 10.5772/31876.

[2] [2] M. (Universitas G. Ir. Frisa Yugi Hermawan, ST., "Program Magister Teknik Elektro," p. 6099, 2011.

[3] [3] A. A. Ragetisvara and H. S. Titah, "Studi Kemampuan Desalinasi Air Laut Menggunakan Sistem Sea Water Reverse Osmosis (SWRO) pada Kapal Pesiar," *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 2, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v10i2.63933.

[4] [4] "Communication Book2020," *Sumitomo*. [Online]. Available: https://www.sumitomocorp.com/en/jp/sustainability/communication/asset/pdf/esg-2020.pdf

[5] [5] M. Ivan Putra Naibaho, I. K. Wijaya, and I. M. Mataram, "Studi Analisis Perbandingan Metode Starting Direct on Line (Dol) Dan Variabel Speed Drive (Vsd) Pada Motor Fan Untuk Cooling Tower Di Pt. Rapp (Riau Andalan Pulp Paper)," *J. SPEKTRUM*, vol. 8, no. 1, p. 268, 2021, doi: 10.24843/spektrum.2021.v08.i01.p30.

[6] [6] J. Malemba, K. Karnoto, and T. Sukmadi, "Analisis Pemilihan Metode Pengasutan Motor Induksi 3 Fasa Sebagai Penggerak Pompa Pengendali Banjir Bandara Ahmad Yani Menggunakan Software Etap 12.6," *Transient*, vol. 7, no. 4, p. 1010, 2019, doi: 10.14710/transient.7.4.1010-1017.

[7] [7] M. D. Azum and I. Harjanta, "RANGKAIAN DOL (Direct Online) DI PT URIP GUMULYA," *Sci. Eng. Natl. Semin.*, vol. 7, no. 7, pp. 1–8, 2022, [Online]. Available: https://conference.upgris.ac.id/index.php/sens/article/view/3571

[8] [8] 2014) Aztrid Nurmalitawati; Amien Rahardjo, supervisor; Rudy Setiabudy, examiner; Agus R. Utomo, examiner (Fakultas Teknik Universitas Indonesia, "No Title."

[9] [9] O. El-Sayed, M. Youssef, O. E. M. Youssef, and a Shaltout, "Starting of Loaded Induction Motors Using Variable-Frequency Drives," no. 6, 2014.

© MESTRO E-ISSN 2657 – 1072, All rights reserved