

# **TUGAS AKHIR**

**ANALISIS DAN EVALUASI SISTEM PROTEKSI PADA  
KELISTRIKAN *ELECTRIC SUBMERSIBLE PUMP* GUNA  
MITIGASI BAHAYA *ARC FLASH* DI PLATFORM PHE-  
38B PT. PERTAMINA HULU ENERGI WEST MADURA  
OFFSHORE**



**Disusun Oleh :**

**DENDY IMMANUEL**  
**1452100007**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA  
2025**

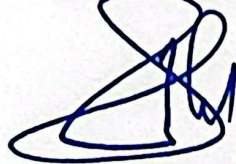
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

NAMA : DENDY IMMANUEL  
NBI : 1452100007  
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS : TEKNIK  
JUDUL : ANALISIS DAN EVALUASI SISTEM  
PROTEKSI PADA KELISTRIKAN *ELECTRIC  
SUBMERSIBLE PUMP* GUNA MITIGASI  
BAHAYA *ARC FLASH* DI PLATFORM PHE-  
38B PT. PERTAMINA HULU ENERGI WEST  
MADURA OFFSHORE

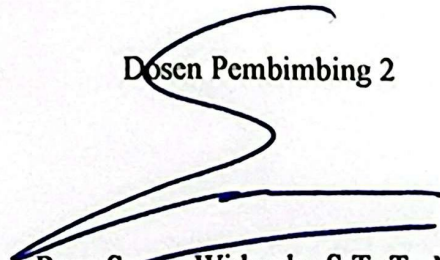
Menyetujui,

Dosen Pembimbing 1



Ir. Puji Slamet, ST., MT.  
NPP. 20450.11.0601

Dosen Pembimbing 2



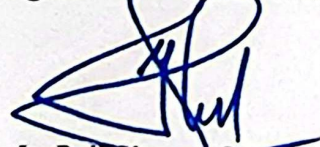
Reza Sarwo Widagdo, S.Tr.T., MT.  
NPP. 20450.22.0860

Mengetahui,



Dr. Ir. Sarwo, M.Kes., IPU., Ascan Eng.,  
NPP. 20410.90.0197

Ketua  
Program Studi Teknik Elektro



Ir. Puji Slamet, ST., MT.  
NPP. 20450.11.0601

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dendy Immanuel

NBI : 1452100007

Program Studi : TEKNIK ELEKTRO

Menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul:  
**“ANALISIS DAN EVALUASI SISTEM PROTEKSI PADA KELISTRIKAN  
*ELECTRIC SUBMERSIBLE PUMP* GUNA MITIGASI BAHAYA *ARC FLASH*  
DI PLATFORM PHE-38B PT. PERTAMINA HULU ENERGI WEST  
MADURA OFFSHORE”**

Adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip maupun yang dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 21 Juli 2025



Dendy Immanuel  
NBI.1452100007



UNIVERSITAS  
17 AGUSTUS 1945  
SURABAYA

BADAN  
PERPUSTAKAAN  
Jl.Semolowaru 45 Surabaya  
Tlp. 031 593 1800 (ex.311)  
Email: perpus@untag-sby.ac.id

**LEMBAR PERNYATAAN  
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK  
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dendy Immanuel

NBI : 1452100007

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

Jenis Karya : Tugas Akhir/Skripsi/Tesis/Disertasi/Laporan Penelitian/Makalah

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Badan Perpustakaan Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya *Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Nonexclusive Royalty-Free Right)*, atas karya saya yang berjudul:

**“ANALISIS DAN EVALUASI SISTEM PROTEKSI PADA KELISTRIKAN  
ELECTRIC SUBMERSIBLE PUMP GUNA MITIGASI BAHAYA ARC FLASH  
DI PLATFORM PHE-38B PT. PERTAMINA HULU ENERGI WEST  
MADURA OFFSHORE”**

Dengan *Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Nonexclusive Royalty-Free Right)*, Badan Perpustakaan Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya berhak menyimpan, mengalihkan media atau memformatkan, mengolah dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, mempublikasikan karya ilmiah saya selama tetap tercantum nama saya sebagai penulis.

Dibuat di : Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Pada Tanggal :

Yang Menyatakan  
  
METERAI TEMPEL  
9D2D2ANX019677574  
(Dendy Immanuel)

## ABSTRAK

*Electric Submersible Pump* (ESP) merupakan salah satu teknologi pengangkatan buatan yang banyak digunakan dalam industri perminyakan untuk meningkatkan produksi minyak mentah. Di platform offshore PHE-38B PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore, sistem ESP bekerja dalam lingkungan ekstrem yang sarat risiko termasuk potensi terjadinya bahaya arc flash. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem kelistrikan pada ESP, khususnya terkait pengaturan kecepatan motor menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD) serta evaluasi sistem proteksi terhadap kejadian overload dan hubung singkat. Metode penelitian melibatkan studi literatur, pengumpulan data teknis lapangan, serta simulasi sistem menggunakan perangkat lunak ETAP. Analisis dilakukan dengan menghitung nilai arus gangguan, arus arc, dan energi insiden arc flash untuk menilai tingkat bahaya serta efektivitas koordinasi proteksi yang diterapkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem proteksi eksisting perlu penyesuaian *setting overcurrent relay* untuk memastikan waktu pemutusan gangguan yang lebih cepat, sehingga dapat menurunkan tingkat energi arc flash ke dalam kategori aman sesuai standar NFPA 70E. Selain itu, optimasi pengaturan frekuensi VSD juga mendukung kestabilan operasional motor dan efisiensi daya. Kesimpulannya, penerapan strategi proteksi berbasis analisis teknis dan simulasi mampu meningkatkan keselamatan kerja dan keandalan sistem kelistrikan pada unit ESP di lingkungan offshore yang berisiko tinggi.

**Kata kunci:** *Electric Submersible Pump* (ESP), *Arc Flash*, Proteksi Kelistrikan, *Variable Speed Drive* (VSD), *Overcurrent Relay*, NFPA 70E, ETAP.

## **ABSTRACT**

*Electric Submersible Pump (ESP) is one of the artificial lift technologies widely used in the oil industry to increase crude oil production. On the PHE-38B offshore platform of PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore, the ESP system operates in an extreme environment full of risks, including the potential for arc flash hazards. This study aims to analyze the electrical system in the ESP, specifically related to motor speed control using a Variable Speed Drive (VSD) and evaluate the protection system against overload and short circuit events. The research methods include literature studies, field technical data collection, and system simulation using ETAP software. The analysis was carried out by calculating the values of fault current, arc current, and arc flash event energy to assess the level of danger and the effectiveness of the applied protection coordination. The results of the study indicate that the existing protection system needs to be adjusted to the overcurrent relay settings to ensure a faster fault disconnection time, thereby reducing the arc flash energy level to a safe category according to the NFPA 70E standard. In addition, optimizing the VSD frequency setting also supports motor operational stability and power efficiency. In conclusion, the implementation of technical analysis and simulation-based protection strategies can improve work safety and the confidentiality of electrical systems in ESP units in high-risk offshore environments.*

**Keywords:** *Electric Submersible Pump (ESP), Arc Flash, Electrical Protection, Variable Speed Drive (VSD), Overcurrent Relay, NFPA 70E, ETAP.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya sehingga saya dapat menyelesaikan laporan Tugas akhir ini penuh dengan kebanggaan. Tugas Akhir yang berjudul **“ANALISIS DAN EVALUASI SISTEM PROTEKSI PADA KELISTRIKAN ELECTRIC SUBMERSIBLE PUMP GUNA MITIGASI BAHAYA ARC FLASH DI PLATFROM PHE-38B PT. PERTAMINA HULU ENERGI WEST MADURA OFFSHORE”** ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Pendidikan kuliah di Program Studi Teknik Elektro Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya dan untuk memperoleh gelar Strata satu (S1).

Dalam Menyusun laporan ini saya banyak mendapat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini saya mengucapkan banyak terimakasih yang sebesar – besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberi kemudahan dan kelancaran serta rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Kedua orang tua, yang telah memberikan restu serta dukungan dan semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Sajiyo, M.Kes., IPU., ASEAN Eng., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
4. Bapak Puji Slamet, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, serta selaku Dosen Pembimbing 1 Tugas Akhir Fakultas Teknik Elektro Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya yang telah meluangkan waktu ditengah kesibukan beliau, memberikan kritik, saran dan pengarahannya kepada penulis dalam proses penulisan tugas akhir.
5. Bapak Reza Sarwo Widagdo, S.Tr.T.,M.T selaku dosen pembimbing 2 Program Studi Teknik Elektro Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya yang telah meluangkan waktu ditengah kesibukan beliau, memberikan kritik, saran dan pengarahannya kepada penulis dalam proses penulisan tugas akhir ini.
6. Bapak Ir. Gatut Budiono, M.Sc. selaku Staf Ahli Bidang Sistem Tenaga Prodi Teknik Elektro Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
7. Terima kasih kepada seluruh dosen dan staff pengajar program studi Teknik Elektro Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
8. Pasangan hidup saya Sonia Nofitasari yang senantiasa memberikan dukungan dalam segala hal sehingga saya mampu menyelesaikan studi di Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.

9. Teman dan sahabat S1 Teknik Elektro 2021 kelas sore dan pagi yang sudah membantu penulis selama mengenyam pendidikan di Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
10. Dan semua pihak yang telah membantu.

Penyusun menyadari dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat ketidaksempurnaan, untuk itu kritik dan saran pembaca kami perlukan dalam penyempurnaan laporan ini. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat berguna bagi pribadi dan pembaca, khususnya Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.

Surabaya, 21 Juli 2025



Dendy Immanuel

1452100007

## DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR.....	I
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	II
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....	III
ABSTRAK .....	V
KATA PENGANTAR .....	VII
DAFTAR ISI.....	IX
DAFTAR GAMBAR .....	XII
DAFTAR TABEL.....	XIII
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
<i>Halaman ini sengaja dikosongkan .....</i>	<i>6</i>
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Penelitian Terdahulu .....	7
2.2 Tinjauan Umum Prinsip Kerja Motor Listrik AC Induksi .....	13
2.3 Tinjauan Umum <i>Variable Frequency Drive</i> (VFD).....	14
2.4 Tinjauan Umum Gangguan Sistem Tenaga Listrik .....	16
2.5 Tinjauan Umum Koordinasi Relay Proteksi .....	18
2.6 Tinjauan Umum Gangguan Hubung Singkat (Short Circuit) .....	19
2.7 Tinjauan Umum Relay Pengaman Sistem Tenaga Listrik .....	22
2.8 Tinjauan Umum Busur Api ( <i>Arc flash</i> ).....	24

2.9 Pengertian <i>Arcing Current</i> .....	27
2.10 Pengertian Incident Energy .....	28
2.11 Fault Clearing Time (FCT) .....	29
2.12 Pengelompokan Kategori Energi Busur Api .....	30
2.13 Permasalahan Akibat Kondisi Sumur.....	35
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>37</b>
3.1 METODE PENELITIAN .....	37
3.2 Diagram Alir .....	38
3.3 Pengumpulan Data .....	39
3.4 Alat <i>Short Circuit</i> .....	40
3.5 Studi Koordinasi Proteksi.....	41
3.6 Analisa Arcing Current dan Incident Energy .....	43
3.6.1 Perhitungan <i>Arcing Current</i> .....	43
3.6.2 Perhitungan Incident Energy .....	43
3.6.3 Pengaruh Fault Clearing Time .....	44
3.7 Fault Clearing Time (FCT) .....	44
3.8 Penentuan Kategori Energi Busur Api dan PPE .....	45
3.9 Pengaturan Kecepatan Motor .....	46
3.10 Perencanaan Pengukuran.....	48
<b>BAB IV .....</b>	<b>49</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>49</b>
4.1 Analisa Hasil Simulasi Perhitungan Tegangan Dan Arus ESP .....	49
4.2 Analisis Pengaturan Kecepatan Electrical Submersible Pump .....	49
4.2.1 Pengaturan Kecepatan 3540 Rpm (~ <b>60Hz</b> ) .....	50
4.2.2 Pengaturan kecepatan dengan target 2950 RPM (~ <b>50Hz</b> ) .....	52
4.2.3 Penentuan Tuning PID (Propositional Integral Differensial) .....	54
4.2.4 Evaluasi kurva step response untuk kecepatan 3540 rpm .....	55
4.2.5 Evaluasi Kurva step response untuk kecepatan 2950 rpm .....	56
4.2.6 Perhitungan Rugi-Rugi listrik dan Efisiensi <i>Electrical Submersible Pump</i> .....	57
4.2.7 Efisiensi Electrical Submersible Pump .....	58

4.3 Analisis Perhitungan Beban Relay dan Menentukan Relay Beban Lebih...	60
4.4 Hasil Simulasi Hubung Singkat Sistem Proteksi ESP.....	61
4.4.1 Konfigurasi Sistem Proteksi.....	62
4.4.2 Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat .....	62
4.4.3 Estimasi Perhitungan Manual (Opsional untuk Memperkuat Validasi) .....	62
4.5 Analisis Arus Gangguan dan Arc Flash .....	63
4.5.1 Analisis Potensi Arc Flash .....	64
4.5.2 Interpretasi Hasil .....	64
4.6 Evaluasi Koordinasi Proteksi .....	64
4.6.1 Analisis Waktu Pemutusan.....	65
4.6.2 Ketidaksempurnaan Koordinasi .....	65
4.6.3 Implikasi terhadap Risiko Arc Flash.....	65
4.6.4 Rekomendasi Evaluasi Proteksi .....	66
4.7 Kategori Energi Arc Flash dan Implikasi PPE.....	66
4.7.1 Kategori PPE Berdasarkan NFPA 70E .....	66
4.7.2 Hasil Simulasi <i>Incident Energy</i> .....	67
4.7.3 Implikasi terhadap Keselamatan Personel.....	67
4.8 Pembahasan Temuan dan Perbandingan dengan Teori.....	67
4.9 Rekomendasi Teknis dan Mitigasi Bahaya .....	68
BAB V.....	71
KESIMPULAN DAN SARAN.....	71
5.1 Kesimpulan .....	71
5.2 Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA .....	73
LAMPIRAN.....	75

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Wiring Diagram VSD .....	15
<b>Gambar 2.2</b> Diagram blok skematik sistem tenaga listrik .....	23
<b>Gambar 2.3</b> Zona Batas Keselamatan.....	26
<b>Gambar 2.4</b> Label Peringatan Bahaya Kelistrikan Yang Menunjukkan Risiko Arc Flash Dan Shock Hazard.....	34
<b>Gambar 3.1</b> Flowchart .....	38
<b>Gambar 4.1</b> hasil analisis terhadap pengaturan frekuensi oleh Variable Speed Drive (VSD) pada sistem Electric Submersible Pump (ESP) .....	51
<b>Gambar 4.2</b> Perintah frekuensi yang diberikan oleh Variable Speed Drive (VSD) kepada motor Electric Submersible Pump (ESP).....	53
<b>Gambar 4.3</b> Kurva step response dari motor <i>Electric Submersible Pump</i> (ESP) terhadap perintah kecepatan tetap (setpoint).....	55
<b>Gambar 4.4</b> Grafik step response.....	56
<b>Gambar 4.5</b> Perhitungan Rugi – Rugi elektris dan Efisiensi Electrical Submersible Pump .....	58
<b>Gambar 4.6</b> Efisiensi Electrical Submersible Pump.....	59
<b>Gambar 4.7</b> Efisiensi Electrical Submersible Pump.....	60
<b>Gambar 4.8</b> Diagram Single Line.....	61