



# **Analisis Nilai Tahanan Isolasi Motor Pompa Pelumasan Mesin Penggerak Kapal Adnoc Sebelum dan Setelah Submersi**

## **Tugas Akhir**

**Oleh:  
Sabrina Diniyah (4232101029)**

**Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi  
Jurusan Teknik Elektro  
Politeknik Negeri Batam  
2025**

## Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul : “Analisis Nilai Tahanan Isolasi Motor Pelumasan Mesin Penggerak Utama Kapal Adnoc Sebelum dan Setelah Submersi” adalah **hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.** Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 7 Januari 2025



---

Sabrina Diniyah  
NIM: 4232101029

# Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)  
di  
Politeknik Negeri Batam

Oleh:  
Sabrina Diniyah (4232101029)

Tanggal Sidang: 07 01, 2025



1. Budiana, S.Si., M.Si  
NIK: 117194

2. Handri Toat, S.ST., M.Tr.T  
NIK: 113114

Disetujui oleh :



1. Lalu kaisar Wisnu Kita, S.T, M.Sc.  
NIK: 123290

# Lembar Pengesahan Industri

Data laporan Tugas Akhir ini bebas dari plagiasi dan mendapat izin untuk disimpan, dikelola dan dipublikasikan untuk kepentingan akademik.

Disusun oleh: Sabrina Diniyah (4232101029)

Program Studi: Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi  
Jurusan: Teknik Elektro  
Politeknik Negeri Batam

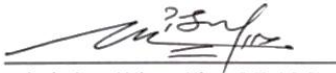
Judul Tugas Akhir: Analisis Nilai Tahanan Isolasi Motor Pompa Pelumasan  
Mesin Penggerak Kapal Adnoc Sebelum dan Setelah Submersi

Perusahaan: PT. Dok Warisan Pertama

Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing:

Pembimbing Industri:



Lalu kaisar Wisnu Kita, S.T, M.Sc.  
NIK: 123290



Mukson Arifin  
NIK: D50648

HRD:



Ainul Hayat Rahmawati, S.AB.  
NIK: D53621

# **Analisis Nilai Tahanan Isolasi Motor Pompa Pelumasan Mesin Penggerak Kapal Adnoc Sebelum dan Setelah Submersi**

## **Abstrak**

Pengujian tahanan isolasi motor induksi 3 fasa merupakan parameter yang mendominasi dalam proses perawatan motor untuk menjaga keandalan kerja motor sebagai penggerak utama suatu sistem. Peran dari tahanan isolasi ini sebagai penjaga arus listrik dari konduktor dan mencegah kontak bagian bertegangan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan nilai tahanan isolasi motor tegangan 440 V sebagai penggerak pompa pelumasan mesin penggerak kapal Adnoc dalam empat kondisi yaitu; sebelum dilakukan pemeliharaan karena lama digunakan, setelah dilakukan pemeliharaan, setelah motor mengalami submersi dan setelah motor dilakukan perawatan, yang mana data yang diperoleh dari hasil laporan kerja dan wawancara dengan pekerja. Analisis dilakukan dengan koreksi suhu menggunakan standar IEEE Std 43-2013 dengan pengolahan data secara deskriptif. Hasil menunjukkan penurunan tahanan isolasi dari 1080 M $\Omega$  menjadi 0 M $\Omega$  setelah submersi, akibat penetrasi air laut yang bersifat konduktif karena kandungan garamnya sehingga kualitas isolasi menurun. Namun nilai tahanan isolasi meningkat kembali menjadi 1080 M $\Omega$  setelah dilakukan perawatan yaitu pembersihan komponen motor, pengeringan dan pelapisan ulang isolasi menggunakan varnish. Perawatan berhasil meningkatkan nilai tahanan isolasi motor dan memenuhi standar IEEE Std 43-2013, namun pemantauan lebih lanjut dianjurkan untuk menjaga performa motor jangka panjang.

Kata kunci: motor induksi 3-fasa, tahanan isolasi, submersi

# **Analysis of Insulation Resistance Value of Lubrication Pump Motor of Adnoc Ship Machinery Before and After Submersion**

## ***Abstract***

*Testing the insulation resistance of a three-phase induction motor is a parameter that dominates in the motor maintenance process to maintain the reliability of the motor's work as the main driver of a system. The role of the insulation resistance is to keep the electric current away from the conductor and to prevent the contact of the live parts. This study aims to analyze the changes in the insulation resistance value of a 440 V voltage motor as a driver of the Adnoc ship propulsion engine lubrication pump motor in four conditions, namely; before maintenance due to long use, after maintenance, after the motor was submerged, and after the motor is maintained, which data are obtained from the result of work report and interviews with workers. The analysis was performed with temperature correction using the IEEE Std 43-2013 standard with descriptive data processing. The result showed a decrease in insulation resistance from 1080 MΩ to 0 MΩ after submersion due to its salt content, so the quality of the insulation resistance deteriorates. However the insulation resistance value increased back to 1080 MΩ after treatment, namely cleaning the motor components, drying and recoating the insulation with varnish. The treatment successfully increased the insulation resistance of the motor and met the IEEE Std 43-2013 standard but further monitoring is recommended to maintain the motor's long-term performance.*

*Keywords: three-phase induction motor, insulation resistance, submerge*

## Kata Pengantar

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat mengerjakan dan menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Nilai Tahanan Isolasi Motor Pompa Pelumasan Mesin Penggerak Kapal Adnoc Sebelum dan Setelah Submersi”. Penyelesaian Tugas Akhir ini merupakan syarat kelulusan Diploma IV dan memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi di Politeknik Negeri Batam.

Dalam pengerjaan penyusunan buku laporan tugas akhir tentu tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak yang sangat membantu. Oleh karena itu Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua ayah dan ibu penulis atas dukungan yang diberikan secara material, do’a, dan motivasi.
2. Bapak Ir. Bambang Hendrawan, ST., MSM., CIMP., CISCIP., selaku Direktur Politeknik Negeri Batam.
3. Bapak Lalu Kaisar Wisnu Kita, S.Si, M.Si., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, saran, masukan, serta motivasi dalam pengerjaan tugas akhir.
4. Bapak Irwanto Zarma Putra, S.Pd. M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Politeknik Negeri Batam.
5. Bapak Budiana, S.Si., M.Si dan Bapak Handri Toar, S.ST., M.Tr.T selaku dosen penguji sidang judul proposal dan sidang tugas akhir.
6. Bapak Mukson Arifin selaku workshop Supervisor yang telah membantu dalam pengambilan data tugas akhir.
7. Teman-teman seperjuangan terkhusus Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Angkatan 2021 untuk saling membantu, memberikan motivasi, nasehat dan semangat kepada penulis.
8. Serta seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk saat ini dan di masa yang akan datang. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan ini masih banyak terdapat kekurangan, sehingga saran dan kritik yang membangun dapat memperbaiki penulisan laporan dimasa yang datang.

Batam, 7 Januari 2025



Sabrina Diniyah

# Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir .....	i
Lembar Pengesahan .....	ii
Lembar Pengesahan Industri .....	iii
Abstrak .....	iv
<i>Abstract</i> .....	v
Kata Pengantar .....	vi
Daftar Isi .....	vii
Daftar Gambar .....	ix
Daftar Tabel .....	x
Bab 1. Pendahuluan .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan .....	2
1.4. Manfaat .....	3
1.5. Batasan .....	3
Bab 2. Tinjauan Pustaka .....	4
2.1. Penelitian terkait .....	4
2.2. Motor induksi 3 fasa .....	5
2.2.1. Prinsip kerja motor induksi 3 fasa .....	6
2.2.2. Kontruksi utama motor induksi 3 fasa .....	6
2.3. Tahanan isolasi .....	9
2.3.1. Pengertian tahanan isolasi .....	9
2.3.2. Standar tahanan isolasi .....	9
2.3.3. Faktor yang mempengaruhi tahanan isolasi .....	10
2.4. Pemeliharaan motor pasca-submersi .....	10
Bab 3. Metodologi .....	11
3.1. Metodologi penelitian .....	11
3.2. Objek penelitian .....	12

3.3. Teknis penelitian .....	13
3.3.1. Pengumpulan data .....	13
3.3.2. Pengolahan data .....	13
3.3.3. Analisis data .....	13
Bab 4. Hasil dan Pembahasan .....	17
4.1. Data nilai tahanan isolasi motor .....	17
4.2. Koreksi Suhu .....	19
4.3. Analisis tahanan isolasi motor .....	21
Bab 5. Kesimpulan dan Saran .....	23
5.1. Kesimpulan .....	23
5.2. Saran .....	23
Daftar Pustaka .....	25
Biodata .....	26
Lampiran 1: Data laporan overhaul motor sebelum submersi .....	27
Lampiran 2: Data laporan overhaul motor setelah submersi .....	28
Lampiran 3: Name plate motor main engine l.o pump .....	29
Lampiran 4: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa R sebelum submersi .....	30
Lampiran 5: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa S sebelum submersi .....	31
Lampiran 6: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa T sebelum submersi .....	32
Lampiran 7: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa R setelah pemeliharaan .....	33
Lampiran 8: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa S setelah pemeliharaan .....	34
Lampiran 9: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa T setelah pemeliharaan .....	35
Lampiran 10: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa R setelah submersi .....	36
Lampiran 11: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa S setelah submersi .....	37
Lampiran 12: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa T setelah submersi .....	38
Lampiran 13: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa R setelah perawatan pasca-submersi .....	39
Lampiran 14: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa S setelah perawatan pasca-submersi .....	40
Lampiran 15: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa T setelah perawatan pasca-submersi .....	41

## Daftar Gambar

Gambar 1. Motor induksi 3 fasa .....	5
Gambar 2. Prinsip kerja motor induksi 3 fasa[10] .....	6
Gambar 3. Stator .....	7
Gambar 4. Rotor .....	8
Gambar 5. Celah udara[13] .....	8
Gambar 6. Diagram alir metode penelitian .....	11
Gambar 7. Objek penelitian .....	12
Gambar 8. Alat perendaman .....	14
Gambar 9. Alat pembersihan .....	14
Gambar 10. Alat pengeringan .....	15
Gambar 11. Gulungan stator setelah <i>re-varnishing</i> .....	15
Gambar 12. Alat <i>re-varnishing</i> .....	15
Gambar 13. Bantalan baru motor .....	16
Gambar 14. Alat penggantian bearing .....	16
Gambar 15. Alat perakitan dan pengujian ulang .....	16
Gambar 17. Data perbandingan kondisi nilai tahanan isolasi motor pompa setelah koreksi suhu 40°C .....	21

## Daftar Tabel

Tabel 1. Penelitian terkait .....	4
Tabel 2. Standar tahanan isolasi[6] .....	9
Tabel 3. Objek penelitian.....	12
Tabel 5. Langkah-langkah perawatan motor setelah submersi.....	14
Tabel 6. Nilai acuan tegangan pengujian tahanan isolasi.....	17
Tabel 7. Data IR sebelum submersi (sebelum pemeliharaan) .....	17
Tabel 8. Data IR sebelum submersi (setelah pemeliharaan) .....	18
Tabel 9. Data IR setelah submersi (sebelum perawatan) .....	18
Tabel 10. Data IR setelah submersi (setelah perawatan) .....	18
Tabel 11. Koreksi suhu.....	20

# Bab 1. Pendahuluan

## 1.1. Latar Belakang

Sistem kelistrikan kapal memiliki peran dalam kelangsungan operasional di kapal. Umumnya beban di kapal berkerja dengan konstan, siang hingga malam, atau dalam jangka waktu yang lama. Penggunaan listrik kapal atau beban listrik di kapal mencakup semua peralatan dan sistem yang menggunakan energi listrik, seperti motor penggerak mesin (misalnya untuk pompa), instalasi pemanas, sirkuit penerangan, dan peralatan portabel lainnya[1]. Jenis motor yang sering digunakan dalam sistem kelistrikan kapal adalah motor induksi rotor sangkar 3 fasa. Motor ini populer karena desainnya yang sederhana, kokoh, dan membutuhkan perawatan yang sedikit[2].

Motor induksi tiga fasa salah satunya digunakan sebagai tenaga penggerak pompa pelumasan mesin penggerak utama atau sistem propulsi kapal. Beberapa tujuan dari pelumasan ini antara lain melumasi bagian yang bergerak, mendinginkan mesin, membuang kotoran, menopang beban, dan mengurangi getaran[3]. Maka perlunya menjaga kelancaran kerja dari pompa dengan memastikan motor yang digunakan dalam keadaan baik, sehingga aliran oli pelumas terjaga dan operasi mesin kapal pun dapat berjalan dengan baik.

Motor induksi tiga fasa termasuk motor pompa pelumasan mesin propulsi kapal ini kerap mengalami tantangan kinerja akibat penurunan tahanan isolasi. Tujuan dari isolasi ini sebagai penjaga arus listrik dari konduktor dan mencegah kontak dengan *live wires*. Tahanan isolasi harus sangat tinggi untuk mencegah arus bocor dari konduktor. Faktor-faktor seperti kelembapan dan kontaminasi dapat mempercepat terjadinya degradasi bahan isolasi yang menjadi bersiko memicu arus bocor, korosi, korsleting antar-gulungan, hingga kerusakan selamanya[2][4]. Salah satu kondisi terburuk adalah submersi, yaitu ketika motor terendam air laut akibat kecelakaan atau kebocoran kapal. Kapal Adnoc mengalami hal tersebut dan selama satu pekan dilakukan inspeksi, yang mana kondisi motor pompa setelah inspeksi sudah mengalami korosi atau berkarat pada komponen motor, lalu proses pengujian pada motor dilakukan baik sebelum perbaikan maupun setelah perbaikan[5] salah satunya adalah pengukuran terhadap nilai tahanan isolasi.

Dalam upaya memastikan keandalan motor listrik, tahanan isolasi merupakan salah satu parameter yang harus diperhatikan[4]. Berdasarkan standar IEEE 43-2013, yang merekomendasikan praktik prosedur secara spesifik untuk pengujian tahanan isolasi mesin listrik yaitu tahanan isolasi motor listrik harus memenuhi nilai minimum tertentu, seperti 5 M $\Omega$  untuk motor yang tegangan kerjanya di bawah 1 kV setelah koreksi suhu ke 40°C. Koreksi suhu dilakukan karena tahanan isolasi cenderung menurun seiring dengan peningkatan suhu gulungan motor. Prosedur pengujian ini menjadi bagian dari *preventive maintenance* yang

bertujuan untuk mendeteksi dini potensi kerusakan pada isolasi motor akibat kontaminasi, kelembapan, atau degradasi bahan isolasi[6].

Penelitian yang dilakukan oleh Asep Ahmad Ruri Irwanto tahun 2024, metode pengujian tahanan isolasi menggunakan megger (mega ohm meter) yang dilakukan dengan mengacu pada standar IEEE 43-2013, di mana nilai tahanan isolasi minimum ditentukan sesuai dengan level tegangan kerja motor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengujian tahanan isolasi secara berkala mampu mendeteksi dini potensi kerusakan isolasi akibat faktor lingkungan seperti kelembapan dan kontaminasi[7]. Langkah ini menjadi dasar dalam pemulihan nilai isolasi pada motor yang mengalami kondisi ekstrim, seperti submersi untuk mencegah risiko gangguan listrik dan kegagalan sistem.

Dalam buku *Practical Marine Electrical knowledge* dibahas kasus motor induksi rotor sangkar yang terendam air laut hingga nilai tahanan isolasinya turun ke 0 MΩ. Pertanyaan yang diajukan adalah bagaimana prosedur untuk mengembalikan motor tersebut ke kondisi operasional. Solusi yang diberikan meliputi tiga tahapan utama, yaitu; *cleaning* (pembersihan), *drying* (pengeringan), dan *re-varnishing* (pelapisan ulang isolasi). Pembersihan dilakukan dengan mencuci belitan menggunakan *fresh water* (air tawar) untuk menghilangkan garam dan menggunakan cairan pembersih untuk menghilangkan minyak. Pengeringan dapat dilakukan menggunakan pemanas daya rendah atau injeksi arus rendah agar tidak merusak belitan. Terakhir pengaplikasian lapisan isolasi baru dengan air *drying insulation varnish* memastikan motor kembali memiliki nilai tahanan isolasi yang baik. Prosedur ini menunjukkan langkah dalam pemulihan motor listrik setelah mengalami submersi[2].

Berdasarkan uraian di atas dan melalui hasil observasi ketika magang di PT. Dok Warisan Pertama, maka penulis mengambil judul Tugas Akhir “Analisis Nilai Tahanan Isolasi Motor Pompa Pelumasan Mesin Penggerak Kapal Adnoc Setelah Submersi”.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan di atas, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Apa penyebab nilai tahanan isolasi motor induksi 3 -fasa menurun?
2. Bagaimana menganalisis nilai tahanan isolasi sebelum dan setelah dilakukan pemeliharaan pada motor induksi 3-fasa sebelum submersi?
3. Bagaimana menganalisis nilai tahanan isolasi sebelum dan setelah dilakukan perawatan pada motor induksi 3-fasa setelah submersi?

## 1.3. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya maka tujuannya sebagai berikut:

1. Dapat menganalisis penyebab turunnya nilai tahanan isolasi motor induksi 3-fasa.
2. Dapat menganalisis nilai tahanan isolasi sebelum dan setelah dilakukan pemeliharaan pada motor induksi 3-fasa.
3. Dapat menganalisis nilai tahanan isolasi sebelum dan setelah dilakukan perawatan pada motor induksi 3-fasa pasca submersi

## 1.4. Manfaat

Adapun manfaat dari pembuatan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pembahasan mengenai tahanan isolasi motor yang mengalami submersi dapat menjadi referensi penelitian selanjutnya mengenai kualitas tahanan isolasi motor.
2. Hasil penelitian dapat menjadi dokumentasi teknis yang bermanfaat bagi tim maintenance di industri untuk menyusun langkah-langkah perawatan *preventive*.
3. Dengan memastikan motor yang digunakan memiliki tahanan isolasi yang baik, dapat meminimalkan kerusakan atau kecelakaan kerja akibat dari risiko kegagalan listrik.

## 1.5. Batasan

Dalam Menyusun tugas akhir ini diberikan Batasan masalah untuk memperoleh hasil yang diharapkan, sebagai berikut:

1. Penelitian hanya mencakup pengujian resistansi isolasi (*insulation resistance*) pada motor induksi tiga fasa ABB Marine Motor model M2QA160L4A.
2. Standar referensi yang digunakan untuk menganalisis hasil pengukuran mengacu pada IEEE Std 43-2013 untuk penilaian tahanan isolasi.
3. Penelitian ini tidak menggunakan indeks polarisasi karena pengujian yang dilakukan terbatas pada pengukuran resistansi isolasi selama 1 menit.
4. Pembahasan hanya meliputi langkah-langkah perawatan yang dilakukan oleh pihak pekerja lapangan tanpa modifikasi atau uji lebih lanjut diluar parameter pengukuran awal.
5. Tidak membahas performa operasional motor setelah proses perawatan atau parameter lainnya seperti daya, efisiensi, atau harmonisa arus.

## Bab 2. Tinjauan Pustaka

Pada bab ini disajikan pembahasan mengenai penelitian-penelitian relevan yang telah dilakukan sebelumnya serta penjelasan mengenai landasan teori yang mendukung penyelesaian tugas akhir ini.

### 2.1. Penelitian terkait

Adapun penelitian yang membahas nilai tahanan isolasi motor induksi tiga fasa sebelumnya oleh beberapa peneliti diantaranya pada tabel 1:

**Tabel 1. Penelitian terkait**

No	Judul	Nama Penulis	Hasil	Tahun
1	Analisis Kelayakan Motor Induksi 3 Fasa Berdasarkan Tahanan Isolasi dan Indeks Polarisasi di PT. PLN Indonesia Power Grati PGU	Alfian Oktaviano et al.	Penurunan nilai tahanan isolasi pada motor <i>Condensate Extraction Pump</i> (CEP) menunjukkan degradasi isolasi akibat pengaruh kelembapan dan beban operasi tinggi. Nilai PI juga rendah, mengindikasikan bahwa reinsulasi diperlukan untuk mengembalikan performa motor ke kondisi optimal.	2024
2	Metoda Sederhana untuk Memperbaiki Kinerja Motor Listrik 3 Fasa berdasarkan <i>Insulation Resistance Test</i>	Asep Ahmad Ruri Irwanto	Pengujian berbasis pengujian <i>Insulation Resistance</i> (IR) atau tahanan isolasi menggunakan tegangan searah dari <i>insulation tester</i> dengan standar IEEE 43-2013, di mana nilai tahanan isolasi minimum ditentukan sesuai dengan level tegangan kerja motor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengujian tahanan isolasi aman menurut standar yang mana untuk motor induksi dengan tegangan di bawah 1 kV minimal IR 5 MΩ	2024

			maka motor masih aman untuk dioperasikan.	
3	Analisis Pengukuran Tahanan Isolasi dan Indeks Polaritas pada Motor 3 Fasa	Hartawan Abdillah et al.	Pengukuran tahanan isolasi dan juga indeks polarisasi pada motor 3-fasa ini menggunakan megger dengan tegangan 500 V. Didapatkan nilai U-ground sebesar 318 M $\Omega$ , 356 M $\Omega$ , dan 588 M $\Omega$ menunjukkan isolasi dalam kondisi baik sesuai standar IEEE Std 43-2000.	2023

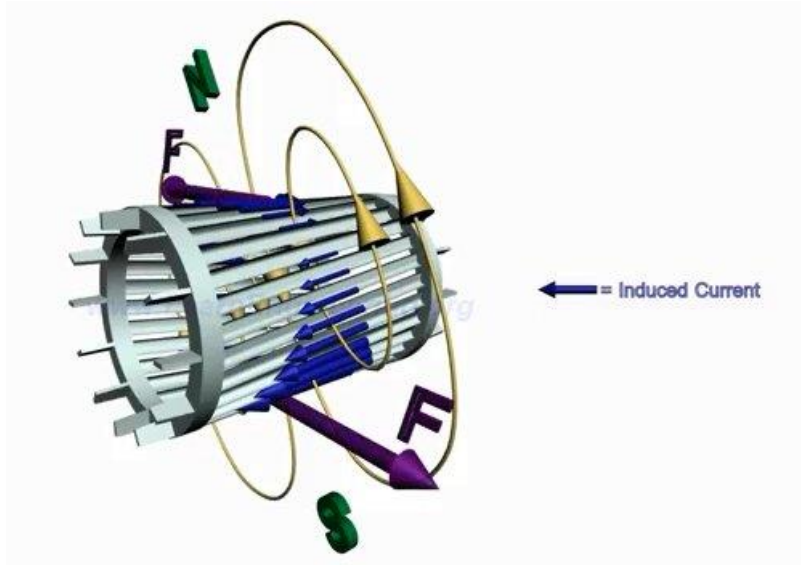
## 2.2. Motor induksi 3 fasa



**Gambar 1. Motor induksi 3 fasa**

Motor induksi adalah motor listrik yang digunakan sebagai penggerak utama pada suatu sistem. Motor induksi mengonversi energi listrik ke energi gerak atau putar. Secara umum menurut jumlah fasa yang digunakan, motor induksi dibagi menjadi dua macam yaitu motor induksi 1-fasa dan motor induksi 3-fasa. Saat ini motor induksi 3-fasa dengan rotor sangkar tupai paling banyak digunakan dalam aplikasi maritim[8][9]. Motor induksi menghasilkan torsi pada rotor menggunakan arus, yang mana torsi diperoleh melalui proses induksi elektromagnetis. Karena itu, motor ini dikenal dengan sebutan motor induksi[10].

### 2.2.1. Prinsip kerja motor induksi 3 fasa



**Gambar 2. Prinsip kerja motor induksi 3 fasa[10]**

Motor induksi 3 fasa yang dihubungkan ke sumber listrik 3 fasa akan menghasilkan medan magnet berputar pada kumparan stator (*rotating magnetic field*). Kecepatan medan magnet berputar ini sama dengan kecepatan sinkron. Ketika medan magnet berputar dengan kecepatan sinkron, medan tersebut akan memotong batang-batang penghantar yang terdapat pada rotor. Berdasarkan prinsip hukum Faraday dan hukum Lorentz perubahan medan magnet yang berputar akan menghasilkan gaya gerak listrik (GGL) pada ujung-ujung batang penghantar rotor. GGL ini diinduksikan dari interaksi medan magnet putar yang dihasilkan oleh stator. Karena ujung-ujung batang penghantar rotor dihubungkan singkat, tegangan induksi yang terjadi pada rotor menghasilkan arus di dalam batang rotor tersebut, yang juga menciptakan medan magnet pada inti rotor. Interaksi antara medan magnet yang dihasilkan oleh rotor dan medan magnet stator menghasilkan torsi, yang menyebabkan rotor berputar, meskipun kecepatan rotor selalu lebih rendah dari kecepatan sinkron karena adanya slip[10].

### 2.2.2. Kontruksi utama motor induksi 3 fasa

#### A. Stator



**Gambar 3. Stator**

Stator merupakan bagian motor yang tidak bergerak (statis) fungsi utamanya untuk menghasilkan medan magnet melalui lilitan kawat tembaga di dalam slot stator. Ujung lilitan ini dihubungkan ke terminal box, tempat kabel suplai daya listrik 3 fasa, lilitan ini dapat dihubungkan dalam konfigurasi wye atau delta[11]. Stator memiliki 3 lilitan fasa terisolasi yang dipasang dalam slot-slot inti baja berlapis untuk meningkatkan efisiensi magnetik, dengan setiap fasa berjarak 120° satu sama lain. Kontruksi stator ini mirip dengan kontruksi pada generator arus bolak balik[2]. Tiap kumparan stator memiliki beberapa kutub, yang mana jumlah kutub ini menentukan kecepatan motor tersebut. Semakin banyak kutub, kecepatan putar motor semakin rendah[12].

Rumus kecepatan putar motor dapat dilihat pada persamaan 1:

$$n_s = \frac{120 \times f}{n} \quad (1)$$

Yang mana:

$N_s$  = Kecepatan putar (Rpm).

$F$  = Frekuensi (Hz).

$P$  = Pole atau jumlah kutub.

Persamaan 1 digunakan untuk menentukan kecepatan sinkron pada motor induksi berdasarkan jumlah kutub dan frekuensi suplai.

## B. Rotor



Gambar 4. Rotor

Berdasarkan bentuk konstruksinya terbagi menjadi dua jenis, yaitu rotor sangkar tupai (*squirrel cage*) dan rotor belitan (*wound rotor*). Rotor sangkar tupai terbuat dari batang konduktor tembaga yang dihubungkan dari kedua ujungnya oleh cincin hubung singkat (*short circuit rings*), sehingga pada lilitan rotor tersebut mengalirkan arus yang besar, membentuk lilitan sangkar (*cage winding*). Batang konduksi ini ditempatkan dalam inti baja berlapis. Keunggulan utama motor induksi terletak pada keandalan rotornya yang sederhana dan kokoh. Rotor ini umumnya tidak memerlukan isolasi pada konduktor dan tidak menggunakan komponen berputar yang rentan terhadap gangguan, seperti sikat (*brush*), komutator, atau *slip rings*[2]. Berdasarkan Hukum Lorentz maka pada lilitan rotor akan timbul gaya yang memutar rotor, yang mana rotor selalu sama dengan arah putaran Gaya Gerak Magnet (GGM) stator[12].

## C. Celah udara



Gambar 5. Celah udara[13]

Antara stator dan rotor pada motor induksi terdapat celah udara, yaitu ruang kosong yang memisahkan kedua komponen utama ini. Celah Udara ini untuk proses kerja motor sebagai jalur bagi fluks magnetik yang dihasilkan oleh stator untuk memotong kumparan pada rotor. Proses pemotongan fluks magnetik ini akan menghasilkan gaya elektromagnetik yang menyebabkan rotor berputar. Ukuran celah udara dirancang sedemikian rupa agar motor dapat bekerja secara optimal. Jika celah udara terlalu besar, jumlah fluks magnetik yang mencapai rotor akan berkurang, sehingga mengurangi torsi dan merunkan efisiensi motor induksi. Di sisi lain, jika celah udara terlalu kecil atau sempit dapat menimbulkan masalah mekanis, seperti gesekan antara stator dan rotor, yang berpotensi merusak komponen motor atau menghambat kinerja motor secara keseluruhan. Karena nya penentuan ukuran celah udara harus dilakukan dengan sangat hati-hati. Celah ini harus cukup besar untuk memungkinkan rotor berputar dengan lancar tanpa hambatan mekanis, tetapi juga cukup kecil agar efisiensi motor tetap tinggi dan motor dapat bekerja dengan stabil sesuai desainnya[14].

## 2.3. Tahanan isolasi

### 2.3.1. Pengertian tahanan isolasi

Tahanan isolasi adalah kemampuan sistem isolasi motor untuk menahan aliran arus bocor. Tujuannya untuk menjaga arus listrik tetap berada pada konduktor dan mencegah terjadinya kontak dengan bagian bertegangan. Nilai tahanan isolasi yang tinggi sangat penting untuk menghindari kebocoran arus listrik, yang diukur antara konduktor dan bumi. Nilai resistansi isolasi yang rendah dapat menunjukkan kerusakan pada isolasi gulungan akibat kelembapan, kontaminasi atau degradasi material isolasi. tahanan isolasi diukur menggunakan tegangan DC menggunakan alat yaitu megger. Hasil pengukuran dikoreksi ke suhu standar 40°C, sesuai panduan standar IEEE 43-2013[6]

### 2.3.2. Standar tahanan isolasi

Menurut IEEE 43-2013, nilai minimum tahanan isolasi untuk motor baru atau setelah perawatan dapat dilihat pada tabel 2:

**Tabel 2. Standar tahanan isolasi[6]**

Tahanan isolasi minimum	Spesifikasi motor induksi 3-fasa
IR (1 menit) = (KV + 1) MΩ	Winding yang dibuat dibawah tahun 1970
IR (1 menit) = 100 MΩ	Armature DC atau winding AC yang dibuat diatas 1970
IR (1 menit) = 5 MΩ	Untuk motor dibawah tegangan operasi 1000 V

Keterangan: IR= *Insulation Resistance* (Tahanan Isolasi)

### **2.3.3. Faktor yang mempengaruhi tahanan isolasi**

Resistansi isolasi dipengaruhi oleh:

1. Suhu: suhu tinggi dapat menurunkan nilai tahanan isolasi.
2. Kelembapan: Air yang terperangkap dalam gulungan motor dapat menyebabkan penurunan resistansi.
3. kontaminasi: kotoran seperti debu, minyak, atau garam dapat mempengaruhi penurunan kualitas isolasi.

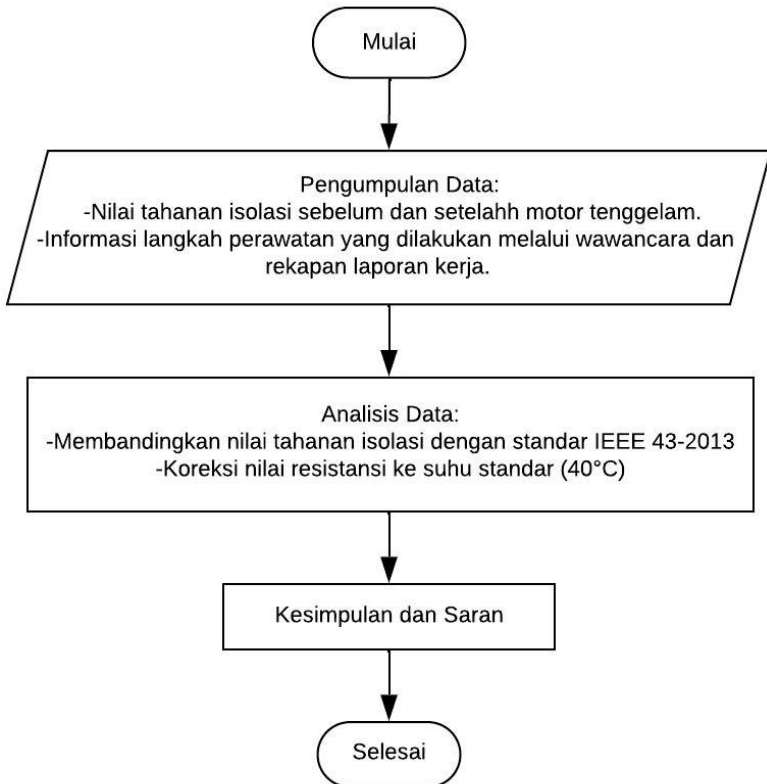
### **2.4. Pemeliharaan motor pasca-submersi**

Pemeliharaan motor pasca-submersi bertujuan untuk menghilangkan kontaminasi dan memulihkan kualitas isolasi. Langkah-langkah perawatan meliputi:

1. Perendaman (*Soaking*)  
Bagian motor yaitu stator, direndam untuk menghilangkan residu kotoran yaitu garam laut yang melekat pada bagian motor.
2. Pembersihan Kimia (*Chemical Cleaning*)  
Untuk menghilangkan korosi dan kontaminasi.
3. Pengeringan (*Drying*)  
Menggunakan oven untuk menghilangkan air juga kelembapan motor.
4. Pelapisan Ulang isolasi (*Re-varnishing*)  
Untuk memperbaiki isolasi gulungan stator.
5. Penggantian Bantalan (*Bearing Renewal*)  
Bantalan yang rusak diganti untuk memastikan kinerja mekanis.

## Bab 3. Metodologi

Dalam proses pengerjaan tugas akhir ini dilakukan dengan tahapan yang digambarkan pada diagram alir berikut.



Gambar 6. Diagram alir metode penelitian

### 3.1. Metodologi penelitian

Penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan deskriptif-kuantitatif. Pendekatan deskriptif digunakan untuk menyajikan data nilai tahanan isolasi motor induksi 3-fasa sebelum dan setelah terendam air laut, serta setelah

dilakukan perawatan, dalam bentuk tabel. Analisis kuantitatif dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran nilai tahanan isolasi terhadap standar minimum yang ditetapkan oleh IEEE Std 43-2013, untuk menentukan kelayakan operasional motor setelah perawatan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan nilai tahanan isolasi motor akibat submersi dan mengetahui langkah-langkah perawatan yang dilakukan dalam pemulihan kualitas isolasi motor.

### 3.2. Objek penelitian



**Gambar 7. Objek penelitian**

Gambar 7 menunjukkan motor induksi 3-fasa tipe *Totally Enclose Fan Cooled* (TEFC) motor ini menggunakan pendingin kipas tertutup. Motor ini digunakan sebagai penggerak pompa pelumasan mesin penggerak utama. Spesifikasi utama motor dapat dilihat pada tabel 3:

**Tabel 3. Objek penelitian**

Parameter	Nilai
Tegangan Operasi	440 V
Arus Nominal	32,3 A
Frekuensi	60 Hz
Kecepatan Putar	1180 Rpm
Klasifikasi Insulasi	F
Jenis Motor	Induksi 3 fasa

Motor pompa ini mengalami dua kali perawatan, pertama pemeliharaan dilakukan karena motor telah lama digunakan dan membutuhkan pemeliharaan rutin seperti pembersihan komponen, pelapisan insulasi ulang, dan penggantian bearing. Perawatan kedua dilakukan karena motor tersebut mengalami submersi akibat insiden tenggelamnya kapal yang hanya pada area ruang mesin. Motor ini dibiarkan selama seminggu di ruang mesin selagi inspeksi dari penyebab kapal tenggelam, lalu dilakukan pemeriksaan pada motor tersebut. Kondisi awal motor

setelah submersi menunjukkan penurunan nilai resistansi isolasi akibat kelembapan, kontaminasi, karat pada bagian-bagian motor. Perawatan dilakukan untuk memulihkan kualitas isolasi motor yang melibatkan beberapa langkah pemulihan sesuai standar yang berlaku di perusahaan.

### 3.3. Teknis penelitian

Teknis penelitian ini menggunakan referensi standar IEEE Std 43-2013 yang merekomendasikan nilai resistansi isolasi minimum untuk motor listrik berdasarkan tegangan operasi. Nilai standar yang digunakan untuk motor 440 V adalah 5 M $\Omega$ , untuk motor yang memiliki nilai tegangan operasi dibawah 1000 V. teknis penelitian ini terdiri dari tiga tahap utama yaitu, pengumpulan data, pengolahan data, dan analisis data. Berikut adalah tahapan yang dilakukan:

#### 3.3.1. Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan dengan memeriksa catatan pekerja terkait hasil pengukuran resistansi isolasi sebelum dan sesudah perawatan, serta melakukan wawancara untuk mendapatkan informasi mengenai prosedur perawatan yang dilakukan pada motor. Selain itu dokumentasi hasil pengukuran juga diambil sebagai bagian dari proses pengumpulan data yang dapat dilihat pada lampiran.

#### 3.3.2. Pengolahan data

Data yang dikumpulkan diolah dengan melakukan koreksi nilai tahanan isolasi ke suhu standar IEEE Std 43-2013 yaitu 40°C. Tegangan yang digunakan untuk melakukan pengujian tahanan isolasi berdasarkan standar IEEE Std 43-2013, tegangan uji memiliki variasi sesuai dengan rating tegangan lilitan motor listrik. Pengujian tahanan isolasi selama 1 menit harus dikoreksi pada suhu 40°C sesuai dengan persamaan 2:

$$R_c = K_T R_T \quad (2)$$

$$K_T = (0,5)^{(40-T)/10} \quad (3)$$

Yang mana:

$R_c$  = nilai tahanan isolasi setelah terkoreksi temperatur 40°C

$K_T$  = koefisien temperatur tahanan isolasi pada T°C

$R_T$  = tahanan isolasi terukur saat pengujian pada T°C

#### 3.3.3. Analisis data




Analisis data dilakukan untuk menjelaskan hasil dari pengolahan data yaitu perhitungan dari koreksi suhu nilai tahanan isolasi dengan memberikan perbandingan hasil koreksi suhu dengan standar IEEE Std 43-2013. Tabel 5 berikut merupakan langkah-langkah perawatan yang dilakukan setelah motor mengalami

submersi, langkah-langkah yang dilakukan merupakan arahan dari prosedur yang ada di perusahaan. Informasi ini diperoleh dari wawancara dengan pekerja yang melakukan perawatan motor pompa pelumasan mesin penggerak kapal.

**Tabel 4. Langkah-langkah perawatan motor setelah submersi**

Langkah	Deskripsi	Alat yang digunakan
Perendaman ( <i>soaking</i> )	Stator direndam menggunakan air tawar selama 1 jam dengan suhu 70°C untuk menghilangkan sisa-sisa garam dan kotoran.	 <p><b>Gambar 8. Alat perendaman</b> Selang, tanki dan <i>heater</i></p>
Pembersihan kimia ( <i>chemical cleaning</i> )	Bagian stator dan rotor dibersihkan menggunakan air tawar bertekanan dan cairan kimia khusus mesin listrik untuk menghilangkan korosi dan kontaminasi pada stator dan rotor.	 <p><b>Gambar 9. Alat pembersihan</b> Mesin cuci bertekanan, selang, dan penyemprot</p>

<p>Pengeringan (<i>drying</i>)</p>	<p>Stator dikeringkan menggunakan <i>curing oven</i> dengan suhu 120°C selama 10-12 jam untuk menghilangkan kadar air juga memastikan tidak ada kelembapan yang tersisa.</p>	 <p><b>Gambar 10. Alat pengeringan</b> Curing Oven</p>
<p>Pelapisan ulang isolasi (<i>re-varnishing</i>)</p>	 <p><b>Gambar 11. Gulungan stator setelah re-varnishing</b></p> <p>Stator dilapisi ulang isolasi nya setelah dibersihkan dan di oven yang mana temperatur belitan rotor harus di suhu ruangan maksimal 50°C saat menggunakan pernis semprot untuk memperbaiki kualitas isolasi gulungan stator.</p>	 <p><b>Gambar 12. Alat re-varnishing</b> Tanki varnish</p>

<p>Penggantian bantalan (<i>bearing renewal</i>)</p>	 <p><b>Gambar 13. Bantalan baru motor</b></p> <p>Bantalan motor yang berkarat diganti dengan bantalan baru untuk memastikan kinerja mekanis.</p>	 <p><b>Gambar 14. Alat penggantian bearing</b></p> <p><i>Induction heater</i></p>
<p>Perakitan dan pengujian ulang (<i>reassembly and testing</i>)</p>	<p>Motor dirakit dan diuji kembali di <i>testing bay</i> untuk memastikan operasionalnya. Adapun pengujian yang dilakukan adalah uji coba tanpa beban meliputi; pengukuran suhu pada <i>body</i> dan bantalan (<i>Drive End side dan Opp. Drive End side</i>) saat motor <i>running</i> selama 60 menit ditiap 10 menitnya, pengukuran vibrasi atau getaran motor (<i>Drive End side dan Opp. Drive End side</i>), dan pengukuran nilai arus ditiap fasa motor.</p>	 <p><b>Gambar 15. Alat perakitan dan pengujian ulang</b></p> <p><i>Power input, tang ampere, vibration meter, pengukuran suhu</i></p>
<p>Pengecatan pada body motor (<i>Typical colour painting</i>)</p>	<p>Pengecatan ulang <i>body</i> motor sesuai dengan warna motor sebelumnya untuk mencegah atau melindungi cepatnya <i>body</i> motor berkarat.</p>	<p>Penyemprot cat</p>

## Bab 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Data nilai tahanan isolasi motor

Data nilai tahanan isolasi motor berikut diperoleh melalui catatan hasil pengukuran laporan kerja. Pekerja menggunakan alat ukur megger kyoritsu model 3007A dengan tegangan DC 500V ketika suhu ruang saat itu sebesar 31°C. Mengikuti panduan dari standar IEEE Std 43-2013 untuk tegangan langsung yang ditetapkan pada pengujian nilai tahanan isolasi. Panduannya pada tabel 6:

**Tabel 5. Nilai acuan tegangan pengujian tahanan isolasi**

Rating tegangan lilitan (V)	Tegangan uji tahanan isolasi (V)
<1000	500
1000-2500	500-1000
2501-5000	1000-2500
5001-12000	2500-5000
>12000	5000-10000

Berikut adalah data nilai tahanan isolasi motor sebelum mengalami submersi dan setelah mengalami submersi:

**a. Sebelum motor mengalami submersi**

Data pengukuran pada tabel 6 dan tabel 7 merupakan hasil pengukuran yang diambil sebelum motor dilakukan pemeliharaan, motor tersebut diminta untuk dilakukan pemeriksaan karena telah melewati batas *running hour* motor maka, membutuhkan pemeliharaan yang mana salah satunya dilakukan pengujian nilai tahanan resistansi.

**Tabel 6. Data IR sebelum submersi (sebelum pemeliharaan)**

Fasa	Nilai tahanan isolasi (M $\Omega$ )
R	105
S	105
T	106

Data pengukuran berikut merupakan hasil pengukuran setelah motor dilakukan pemeliharaan, diperlukan pengukuran nilai tahanan isolasi ini sebagai salah satu indikator untuk memastikan kualitas nilai tahanan isolasi setelah motor dilakukan perawatan.

**Tabel 7. Data IR sebelum submersi (setelah pemeliharaan)**

Fasa	Nilai tahanan isolasi (M $\Omega$ )
R	2000
S	2000
T	2000

**b. Setelah mengalami submersi**

Data pengukuran pada tabel 8 dan tabel 9 menunjukkan hasil pengukuran setelah motor mengalami submersi. Diperlukan pemeriksaan awal dari nilai tahanan isolasi pada motor untuk menentukan pemeriksaan bisa atau tidaknya pengujian motor untuk mengetahui kondisi kerja motor dan pemeriksaan lanjutan lainnya.

**Tabel 8. Data IR setelah submersi (sebelum perawatan)**

Fasa	Nilai tahanan isolasi (M $\Omega$ )
R	0
S	0
T	0

Data pengukuran berikut merupakan hasil pengukuran setelah motor dilakukan perawatan untuk meningkatkan nilai tahanan isolasi motor. Pengukuran ini dilakukan sebagai salah satu indikator untuk memastikan kualitas tahanan isolasi setelah motor dilakukan perawatan.

**Tabel 9. Data IR setelah submersi (setelah perawatan)**

Fasa	Nilai tahanan isolasi (M $\Omega$ )
R	2000
S	2000
T	2000

Dalam penelitian ini, data nilai tahanan isolasi motor induksi 3-fasa yang digunakan sebagai penggerak pompa memiliki tegangan sebesar 440 V, berasal dari hasil pengukuran yang dilakukan oleh perusahaan tempat penulis melakukan magang. Meskipun pengukuran tidak dilakukan secara langsung oleh penulis, metode yang digunakan dalam pengambilan data oleh perusahaan mengikuti prosedur standar IEEE Std 43-2013, yang memberikan panduan secara spesifik mengenai pengujian tahanan isolasi mesin listrik.

Standar IEEE Std 43-2013 memberikan rekomendasi yang jelas mengenai prosedur pengujian tahanan isolasi seperti tegangan pengujian yang diterapkan, interval waktu pengukuran, serta interpretasi hasil pengujian untuk berbagai jenis mesin listrik, baik AC maupun DC. Pengujian ini mencakup empat kondisi motor

pompa dari pengukuran tahanan isolasi sebelum dan setelah motor mengalami submersi. Maka tegangan pengujian dari alat *insulation tester* yang digunakan untuk motor pompa pelumasan mesin penggerak kapal Adnoc berdasarkan rekomendasi standar IEEE Std 43-2013 adalah 500 MΩ karena motor memiliki tegangan dibawah dari 1000 V.

## 4.2. Koreksi Suhu

Nilai tahanan isolasi sangat dipengaruhi oleh suhu. Berdasarkan standar IEEE Std 43-2013, suhu dapat mempengaruhi nilai tahanan isolasi sehingga perlu di lakukan koreksi suhu untuk mendapatkan hasil yang tepat. Standar ini mengatur pengujian untuk dilakukan pada suhu 40°C. Jika pengujian dilakukan pada suhu yang berbeda, hasil pengukuran tahanan isolasi perlu dikoreksi dengan menggunakan faktor koreksi suhu yang sesuai. Koreksi suhu ini bertujuan untuk menghilangkan pengaruh perubahan suhu yang dapat menyebabkan variasi dalam tahanan isolasi, sehingga hasil pengukuran dapat dibandingkan dengan standar yang berlaku untuk kondisi suhu yang lebih stabil. Koreksi suhu yang tepat akan membantu memastikan keakuratan data dan pemeliharaan motor dalam kondisi operasional yang aman. Pada motor pompa pelumasan mesin penggerak kapal Adnoc ini nilai yang diukur pada waktu pengujian adalah selama 1 menit ketika suhu di 31°C maka, dapat dikoreksi ke 40°C menggunakan persamaan 2 dan 3.

Dengan itu dilakukan perhitungan koreksi suhu menggunakan persamaan 3 untuk mendapatkan nilai koefisien temperature motor pompa tersebut.

$$K_T = (0,5)^{(40-T)/10}$$

$$K_T = (0,5)^{(40-31)/10}$$

$$K_T = (0,5)^{9/10}$$

$$K_T = (0,5)^{0,9}$$

$$K_T = 0,54$$

Selanjutnya nilai hasil pengujian tahanan isolasi pada motor pompa dikalikan dengan koefisien temperatur dengan menggunakan persamaan 2:

- Diketahui pada tabel 7 nilai tahanan isolasi fasa R dan S nya adalah 105 MΩ, dan fasa T adalah 106 MΩ maka dapat dihitung menggunakan persamaan 2:

$$R_C = K_T \cdot R_T$$

$$R_C = 0,54 \cdot 105 \text{ M}\Omega$$

$$R_C = 56,7 \text{ M}\Omega$$

$$R_C = K_T \cdot R_T$$

$$R_C = 0,54 \cdot 106 \text{ M}\Omega$$

$$R_C = 57,2 \text{ M}\Omega$$

- Diketahui pada tabel 8 nilai tahanan isolasi fasa R, S dan T adalah 2000 MΩ maka, dapat dihitung menggunakan persamaan 2:

$$R_C = K_T \cdot R_T$$

$$R_C = 0,9 \cdot 2000 \text{ M}\Omega$$

$$R_C = 1080 \text{ M}\Omega$$

- Diketahui pada tabel 9 nilai tahanan isolasi fasa R, S dan T adalah 0 MΩ maka, dapat dihitung menggunakan persamaan 2:

$$R_C = K_T \cdot R_T$$

$$R_C = 0,9 \cdot 0 \text{ M}\Omega$$

$$R_C = 0 \text{ M}\Omega$$

- Diketahui pada tabel 10 nilai tahanan isolasi fasa R, S dan T adalah 2000 MΩ maka, dapat dihitung menggunakan persamaan 2:

$$R_C = K_T \cdot R_T$$

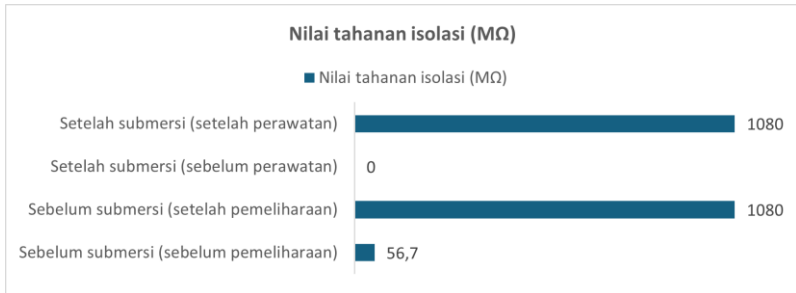
$$R_C = 0,9 \cdot 2000 \text{ M}\Omega$$

$$R_C = 1080 \text{ M}\Omega$$

**Tabel 10. Hasil koreksi suhu**

Kondisi pengujian	Nilai tahanan isolasi (MΩ)	Nilai tahanan isolasi setelah koreksi suhu 40°C (MΩ)	Standard IEEE Std 43-2013	Hasil
Sebelum submersi (sebelum pemeliharaan)	105	56,7	<5 MΩ	Memenuhi
Sebelum submersi (setelah pemeliharaan)	2000	1080		Memenuhi
Setelah submersi (sebelum perawatan)	0	0		Tidak memenuhi
Setelah submersi (setelah perawatan)	2000	1080		Memenuhi

### 4.3. Analisis tahanan isolasi motor



**Gambar 16. Data perbandingan kondisi nilai tahanan isolasi motor pompa setelah koreksi suhu 40°C**

Terdapat empat kondisi yang ditampilkan dalam grafik ini yaitu; sebelum pemeliharaan, setelah pemeliharaan, setelah submersi, dan setelah perawatan. Gambar 17 menunjukkan perbandingan nilai tahanan isolasi motor pompa setelah dilakukan koreksi suhu ke 40°C. Pengukuran ini dilakukan pada suhu lingkungan sebesar 31°C dan waktu pengujian adalah selama 1 menit.

Pada kondisi awal sebelum submersi, nilai tahanan isolasi menunjukkan hasil yang cukup baik yaitu 56,7 MΩ, menandakan untuk tahanan isolasi saat kondisi motor sebelum dilakukan pemeliharaan sebelum submersi masih dalam kondisi batas aman dari standar IEEE Std 43-2013 yaitu minimal 5 MΩ untuk motor yang bertegangan di bawah 1000 V. Namun nilai tersebut cukup rendah dibandingkan dengan nilai setelah perawatan, yaitu 1080 MΩ. Kenaikan signifikan ini memperlihatkan efektivitas langkah pemeliharaan seperti pembersihan stator dan pelapisan ulang isolasi belitan stator dengan varnish yang dilakukan. Langkah ini mampu mengembalikan kualitas isolasi motor sesuai standar IEEE Std 43-2013. Hal ini biasa dihadapi oleh pihak perusahaan, yang mana pemeliharaan pada motor ini dilakukan karena masa *running hour* motor telah melewati batas untuk dilakukan penggantian bearing. Tetapi dalam pemeliharaan rutin motor kapal juga dilakukan pembersihan stator dan *re-varnishing* sebagai langkah *preventive maintenance* motor agar motor dapat lebih lama digunakan. Oleh karena itu, nilai tahanan antara fasa dengan *body*, menggunakan megger menunjuk *overload* (OL) atau tak terhingga yaitu lebih dari 2000 MΩ, yang merupakan batas maksimal dari alat ukur megger yang digunakan. Hasil pengukuran yang menunjukkan *overload* (OL) menandakan baik dari segi pengukuran tahanan setelah dilakukan perawatan.

Penurunan nilai tahanan isolasi didapati 0 MΩ setelah submersi ini merupakan nilai tahanan isolasi yang di bawah standar, menunjukkan adanya penurunan signifikan pada isolasi akibat penetrasi air ke dalam gulungan stator motor. Nilai 0 MΩ pada semua fasa menunjukkan bahwa isolasi mengalami penurunan jauh

akibat dari penetrasi air laut, yang bersifat konduktif karena kandungan garamnya sehingga kualitas bahan isolasi menurun. Nilai seperti ini sudah pernah didapati pada kasus pengujian lain yang dijadikan pertanyaan dan dijawab pada buku "Practical Marine Electrical knowledge 2nd edition" dan di kasus tempat penulis magang, hal ini juga terjadi yang mana nilai ini merupakan hal yang sudah biasa dihadapi oleh perusahaan. Nilai tahanan sebesar 0 MΩ menandakan bahwa isolasi motor tidak lagi mampu menahan kebocoran arus listrik, sehingga diperlukan perbaikan segera. Kondisi ini mengindikasikan perlunya proteksi tambahan, seperti penggunaan pelapisan tahan air atau penyempurnaan teknik penyegelan pada motor agar kerusakan akibat lingkungan operasi dapat diminimalkan.

Kondisi kembali naiknya nilai tahanan isolasi setelah perawatan setelah submersi (1080 MΩ) membuktikan bahwa langkah-langkah perawatan yang dilakukan efektif memulihkan kembali kualitas tahanan isolasi motor akibat submersi. Perawatan yang dilakukan mengembalikan motor ke kondisi aman dan memungkinkan penggunaannya kembali tanpa resiko gangguan operasional. Proses perawatan motor dimulai dengan langkah perendaman (*soaking*), di mana stator direndam dalam air tawar dengan suhu 70°C selama 1 jam untuk menghilangkan sisa-sisa garam dan kotoran. Setelah itu, dilakukan pembersihan kimia (*chemical cleaning*), di mana stator dan rotor dibersihkan dengan air tawar bertekanan dan cairan kimia khusus mesin listrik untuk menghilangkan korosi dan kontaminasi pada kedua komponen. Selanjutnya, motor dikeringkan menggunakan *curing oven* dengan suhu 120°C selama 10-12 jam untuk menghilangkan kadar air dan memastikan tidak ada kelembapan yang tersisa. Setelah pengeringan, dilakukan pelapisan ulang isolasi (*re-varnishing*) pada stator dimana temperatur belitan stator harus dijaga maksimal 50°C saat menggunakan pennis semprot untuk memperbaiki kualitas isolasi gulungan stator. Bantalan motor yang berkarat kemudian diganti dengan bantalan baru untuk memastikan kinerja mekanis motor yang optimal. Setelah semua proses selesai, motor dirakit kembali dan diuji di *testing bay* untuk memastikan operasionalnya. Nilai tahanan pun meningkat ke *overload*. Ini menunjukkan bahwa motor telah pulih ke kondisi operasi aman dan memiliki kualitas isolasi yang memenuhi standar internasional.

Dengan demikian, dari hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa perawatan yang dilakukan terhadap motor pompa berhasil secara efektif memperbaiki kualitas isolasi, sehingga motor dapat kembali digunakan dengan aman.

## Bab 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan, berikut adalah beberapa kesimpulan yang dapat diambil:

1. Penurunan nilai tahanan isolasi pada motor induksi 3-fasa hingga didapati nilai tahanan isolasi 0 M $\Omega$  karena setelah mengalami submersi disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kontaminasi kelembapan dari air laut dan cepat terjadi korosi pada komponen stator dan rotor karena kandungan garam dari air laut dan lama dibiarkan seminggu menunggu inspeksi kapal Adnoc yang tenggelam. Kondisi ini dapat menyebabkan terjadinya arus bocor dan potensi kerusakan pada sistem kelistrikan motor.
2. Pemeliharaan yang dilakukan pada motor yang telah melewati batas *running hour* nya dapat meningkatkan nilai tahanan isolasi motor induksi 3-fasa yaitu dengan melakukan pembersihan, pengeringan, dan pelapisan ulang isolasi pada gulungan stator. Menunjukkan peningkatan yang signifikan dari nilai tahanan dari 56,7 M $\Omega$  ke *overload* atau melampaui batas ukur megger yang digunakan (>2000 M $\Omega$  dengan koreksi suhu menjadi 1080M $\Omega$ ), menandakan kualitas isolasi yang baik yaitu di atas 5 M $\Omega$  dari standar IEEE 43-2013.
3. Setelah motor terendam air laut atau mengalami submersi, nilai tahanan isolasi motor induksi 3-fasa menurun drastis, yang disebabkan oleh kerusakan isolasi akibat pengaruh air dan garam. Namun, setelah dilakukan perawatan yang meliputi perendaman dengan air tawar di suhu 70°C selama 1 jam, pembersihan komponen motor rotor dan stator menggunakan cairan pembersih kimia khusus mesin listrik, pengeringan, dan pelapisan ulang isolasi, nilai tahanan isolasi meningkat kembali menjadi OL atau *overload*, mengembalikan motor ke kondisi operasional yang aman sesuai standar IEEE Std 43-2013 yaitu lebih dari 5 M $\Omega$ . Juga koreksi suhu pada pengujian tahanan isolasi penting untuk mendapatkan hasil yang akurat, karena suhu dapat mempengaruhi nilai tahanan. Dengan melakukan koreksi suhu, hasil pengujian akan mencerminkan kondisi operasional yang sebenarnya, membantu dalam penilaian kualitas isolasi yang lebih tepat dan menghindari kesalahan dalam diagnosis masalah isolasi motor.

### 5.2. Saran

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diajukan untuk penelitian selanjutnya:

1. Lakukan pengujian rutin tahanan isolasi untuk memastikan motor tetap dalam kondisi baik, terutama jika digunakan di lingkungan laut yang korosif.

2. Untuk analisis mendalam, pertimbangkan pengujian seperti Polarization Index (PI) atau tan-delta di masa depan. Polarization Index (PI) mengukur rasio tahanan isolasi motor pada 10 menit dan 1 menit untuk menilai kualitas isolasi. Nilai PI yang rendah menunjukkan degradasi isolasi. Tan-delta mengukur disipasi energi dalam isolasi, dengan nilai tinggi menunjukkan penurunan kualitas isolasi.
3. Kembangkan prosedur untuk menangani motor yang terendam, termasuk pengeringan cepat dan inspeksi visual awal sebelum pengujian.

## Daftar Pustaka

- [1] E. A. Fernandez, *Marine Electrical Technology*, 5th Edition., vol. 1205. India: Shroff Publishers and Distributors Pvt., 2010.
- [2] D. T. Hall, *PRACTICAL MARINE ELECTRICAL KNOWLEDGE*, Second. Witheby, 1999.
- [3] B. A. Baran, "Engine Lubrication Oil Aeration," Massachusetts Institute of Technology, 2007.
- [4] Siti Nur Zalimah Shely, "Analisa Uji Tahanan Insulasi Motor Pompa Oli No. 1 Pada Mesin Boiler Motor Coalmill A 6KV," Politeknik Negeri Batam, Batam, 2022.
- [5] D. Sulastri and I. Akbar Darmawan, "PENGUJIAN ELEKTRIK MOTOR INDUKSI 3 PHASE ROTOR SANGKAR 75 KW DI PT MESINDO TEKNINESIA," Mar. 2022.
- [6] IEEE Power and Energy Society, "IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery," in *IEEE Std 43<sup>TM</sup>-2013*, New York: IEEE, 2013.
- [7] A. A. R. Irwanto and Hermawan, "Metoda Sederhana untuk Memperbaiki Kinerja Motor Listrik 3 Fasa berdasarkan Insulation Resistance Test," *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, Jan. 2024.
- [8] A. R. R. Darma and I. A. Bangsa, "PREVENTIVE MAINTENANCE MOTOR INDUKSI 3 FASA PADA SISTEM FLY ASH DAN BOTTOM ASH (FABA) DI PLTSa BANTARGEBAANG," *Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering*, 2023.
- [9] W. Maes, *Marine Electrical Knowledge*. Antwerpen, Belgia: Antwerp Maritime Academy, Navale Engineering, 2014. Accessed: Dec. 18, 2024. [Online]. Available: [https://www.academia.edu/25054285/Antwerp\\_Maritime\\_Academy\\_Marine\\_Electrical\\_Knowledge](https://www.academia.edu/25054285/Antwerp_Maritime_Academy_Marine_Electrical_Knowledge)
- [10] F. Atabiq, "Prinsip Kerja Penggerak motor listrik AC."
- [11] J. Keljik, *ELECTRICITY AC/DC MOTOR, CONTROL, AND MAINTENANCE*, 10th ed., vol. 4. USA: Delmar Cengage Learning, 2013.
- [12] M. Ali, "Kuliah Teknik Elektro Mesin Listrik Pokok Bahasan Motor Induksi." Accessed: Dec. 23, 2024. [Online]. Available: <https://youtu.be/1FkrEnh1zRA?feature=shared>
- [13] S. J. Chapman, *Electric Machinery Fundamental*, 4th ed. United States: McGraw-Hill, 2005.
- [14] I. N. Bagia and I. M. Parsa, *MOTOR-MOTOR LISTRIK*, 1st ed. Kupang: CV. Rasi Terbit, 2018.

## Biodata



Nama : Sabrina Diniyah  
TTL : Batam, 13 Maret 2003  
Agama : Islam  
Alamat : Masyeba Indah Blok C No.8  
Email : sabrinadiniyah21@gmail.com  
Riwayat Pendidikan SMA/SMK : SMA Cahaya Islam  
Payakumbuh  
SMP : SMP BP Tahfidz At-Taubah  
Batam





**Lampiran 3: Name plate motor main engine I.o pump**



**Lampiran 4: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa R sebelum submersi**



**Lampiran 5: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa S sebelum submersi**



**Lampiran 6: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa T sebelum submersi**



**Lampiran 7: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa R setelah pemeliharaan**



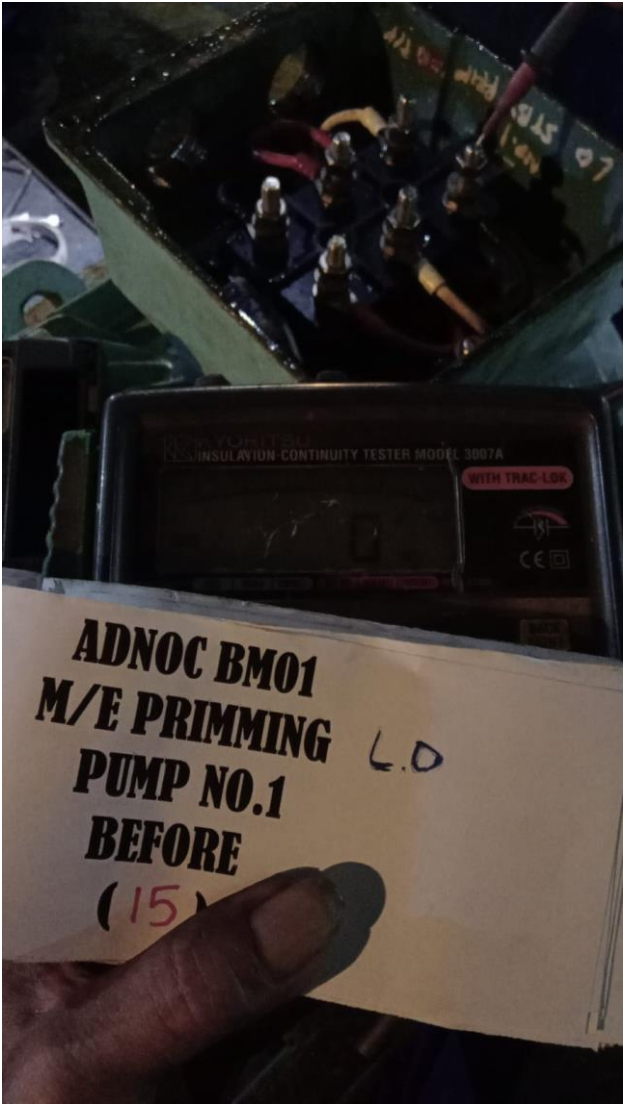
**Lampiran 8: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa S setelah pemeliharaan**



**Lampiran 9: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa T setelah pemeliharaan**



**Lampiran 10: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa R setelah submersi**



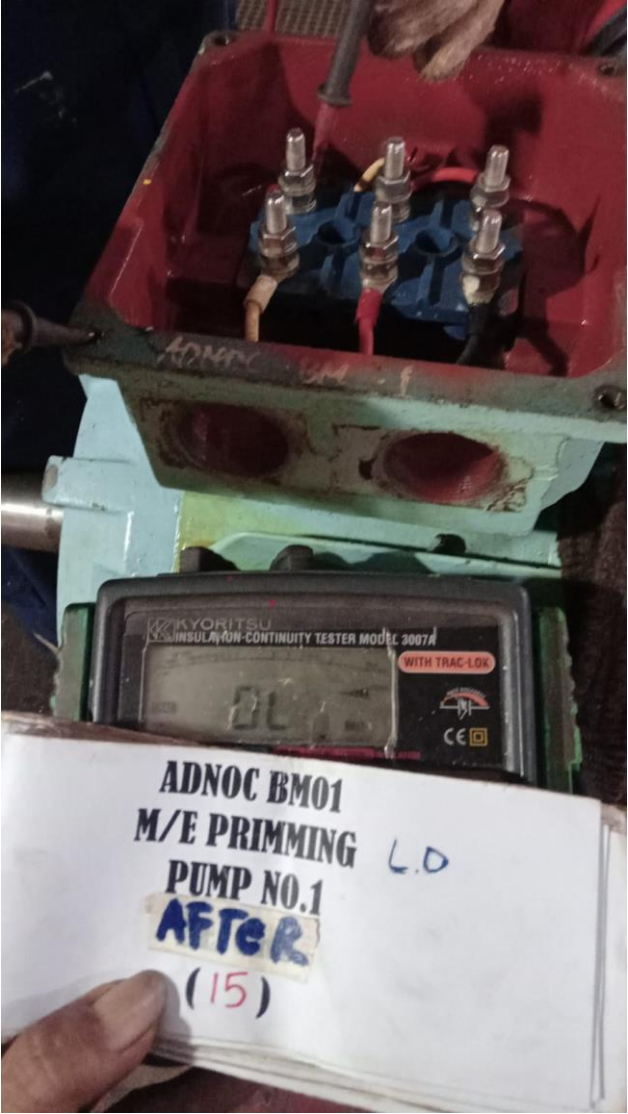
**Lampiran 11: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa S setelah submersi**



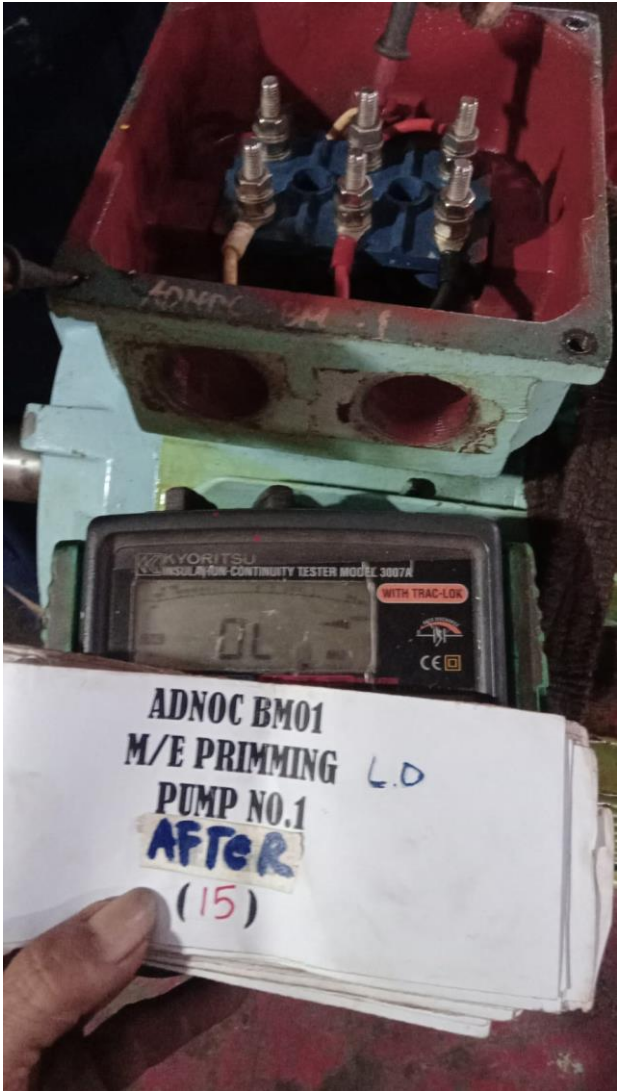
**Lampiran 12: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa T setelah submersi**



**Lampiran 13: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa R setelah perawatan pasca-submersi**



**Lampiran 14: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa S setelah perawatan pasca-submersi**



**Lampiran 15: Dokumentasi pengukuran nilai IR fasa T setelah perawatan pasca-submersi**

