



TESIS - TE142599

**EVALUASI PERCEPATAN PENUAAN ISOLASI
PADA MOTOR INDUKSI AKIBAT KELEMBABAN
DAN KONTAMINAN MENGGUNAKAN METODE
ERROR AREA RATIO DAN ZERO CROSSING
GELOMBANG IMPULSE**

LABIB FAIZUL MUTTAQIN
07111550010002

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Dimas Anton Asfani, S.T, M.T
Dr. I Made Yulistya Negara, S.T, M.Sc

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TESIS - TE142599

**EVALUASI PERCEPATAN PENUAAN ISOLASI
PADA MOTOR INDUKSI AKIBAT KELEMBABAN
DAN KONTAMINAN MENGGUNAKAN METODE
ERROR AREA RATIO DAN ZERO CROSSING
GELOMBANG IMPULSE**

LABIB FAIZUL MUTTAQIN
07111550010002

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Dimas Anton Asfani, S.T, M.T
Dr. I Made Yulistya Negara, S.T, M.Sc

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
oleh:

Labib Faizul Muttaqin
NRP. 07111550010002

Tanggal Ujian : 19 April 2018
Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh:

1. Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.
NIP: 198109052005011002


(Pembimbing I)

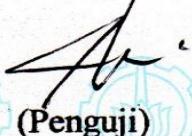
2. Dr. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
NIP: 197007121998021001


(Pembimbing II)

3. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP:196603181990101001


(Penguji)

4. Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng, Ph.D.
NIP:197311192000031001


(Penguji)

5. Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.
NIP:198006032006041003


(Penguji)

Dekan Fakultas Teknologi Elektro


Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.
NIP. 197002121995121001



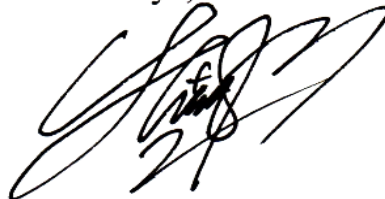
Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **“EVALUASI PERCEPATAN PENUAAN ISOLASI PADA MOTOR INDUKSI AKIBAT KELEMBABAN DAN KONTAMINAN MENGGUNAKAN METODE ERROR AREA RATIO DAN ZERO CROSSING GELOMBANG IMPULSE”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Maret 2018



Labib Faizul Muttaqin

NRP. 07111550010002

Halaman ini sengaja dikosongkan

EVALUASI PERCEPATAN PENUAAN ISOLASI PADA MOTOR INDUKSI AKIBAT KELEMBABAN DAN KONTAMINAN MENGGUNAKAN METODE ERROR AREA RATIO DAN ZERO CROSSING GELOMBANG IMPULSE

Nama mahasiswa : Labib Faizul Muttaqin
NRP : 07111550010002
Pembimbing : 1. Dr. Dimas Anton Asfani, S.T, M.T
2. Dr. I Made Yulistya Negara, S.T, M.Sc

ABSTRAK

Kekuatan isolasi pada motor induksi dapat berkurang drastis lebih tepatnya karena pengaruh lingkungan operasi yang sangat ekstrem, seperti dioperasikan dengan adanya kelembaban dan kontaminasi zat asing yang tinggi. Dengan berkurangnya kekuatan isolasi pada motor induksi, maka proses penuaan yang menyebabkan umur isolasi akan semakin tua dan memperpendek umur pakai motor induksi tersebut. Oleh karena itu, percepatan penuaan isolasi motor induksi harus bisa dideteksi lebih awal dan tepat.

Pada penelitian ini, percepatan penuaan isolasi motor induksi dilakukan di dalam chamber dengan pengaruh lingkungan operasi ekstrem yang diberi kelembaban tinggi dan pengaruh kontaminan zat asing berupa kadar garam.

Metode yang digunakan untuk mendeteksi percepatan penuaan isolasi adalah metode *Error Area Ratio* (EAR) dan *Zero Crossing Gelombang Impulse* yang digunakan untuk menganalisis gelombang osilasi atau tes surja dari belitan motor induksi. Selanjutnya dengan membandingkan kedua variabel output keluaran dari EAR dan *Zero Crossing Gelombang Impulse* didapatkan grafik kecenderungan kerusakan. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat menunjukkan sistem deteksi dini untuk percepatan penuaan isolasi.

Kata kunci: Error Area Ratio, Kelembaban, Kontaminan, Isolasi, Zero Crossing Gelombang Impulse

Halaman ini sengaja dikosongkan

EVALUATION OF ACCELERATION ISOLATION AGING IN INDUCTION MOTOR DUE TO HUMIDITY AND CONTAMINANT USING ERROR AREA RATIO AND ZERO CROSSING IMPULSE WAVES

By : Labib Faizul Muttaqin
Student Identity Number : 07111550010002
Supervisor(s) : 1. Dr. Dimas Anton Asfani, S.T, M.T
2. Dr. I Made Yulistya Negara, S.T, M.Sc

ABSTRACT

Insulation strengths of induction motors can be drastically reduced due to the extreme operating environment effects, such as those operated in the presence of high humidity and contamination of foreign substances. With the reduced power of insulation resistance on the induction motor, the aging process that causes the aging of the insulation will get older and shorten the life of the induction motor. Therefore, the acceleration of induction motor aging must be detected early and precisely.

In this research, the acceleration of aging of induction motor isolation was done in chamber with the effect of extreme operating environment which was given high humidity and the influence of foreign substance contaminant in the form of salt content.

The methods used to detect the acceleration of aging isolation are the Error Area Ratio (EAR) method and the Zero Crossing Impulse Wave used to analyze the oscillation wave or surge test of the induction motor winding. Furthermore, by comparing the two output variables of EAR and Zero Crossing Impulse Wave obtained graph of the trend of damage. It is expected that the results of this study can show an early detection system for accelerated aging isolation.

Key words: Error Area Ratio, Humidity, Contaminant, Insulation Resistance, Zero Crossing Wave Impulse

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT karena atas limpahan karunia rahmat-Nya sehingga penelitian “Evaluasi Percepatan Penuaan Isolasi pada Motor Induksi dengan menambahkan kelembaban dan Kontaminan menggunakan Metode Error Area Ratio dan Zero Crossing Gelombang Impulse” ini dapat terselesaikan dengan baik. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Ir. Joni Hermana M.Sc.ES., Ph.D., selaku Rektor Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
2. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng., selaku Kepala Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
3. Bapak Dr. Dimas Anton Asfani, S.T, M.T dan Bapak Dr. I Made Yulistya Negara, S.T, M.Sc selaku dosen pembimbing tesis saya atas kesediaan dan kesabarannya dalam memberikan bimbingan dan ilmu pada penulis.
4. Para dosen dan karyawan Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang banyak membantu dalam proses perkuliahan.
5. Seluruh keluarga besar saya, Mustofa (Bapak), Mamlukhah (Ibu), Mas Udin, Mbak Lutfi dan Adik Afan, atas segala cinta, doa, dan motivasi yang diberikan.
6. Teman-teman jurusan Teknik Sistem ITS (Restu, Rani, Daeng, Mbak ina, Mbak Eva, Belly, Evin, Ari, Pak samsudin, Samudra, Fajar, Om hedi dan Thoeurn) atas kebersamaan selama ini.
7. Seluruh rekan-rekan penelitian dengan topik surja test dan motor induksi (Wisam, yudi, Mas dapis, Angga, Farid, dan Dahlan) atas saling sharing ilmunya dan mendampingi juga selama penelitian di lab. Tegangan Tinggi.

Akhir kata, segala kritik dan saran penulis perlukan demi penyempurnaan penelitian ini, dan semoga penelitian ini bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 20 Maret 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Kontribusi	3
1.6 Metodologi Penelitian	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Motor Induksi	5
2.1.1 Prinsip Kerja Motor Induksi	5
2.1.2 Komponen Motor Induksi	6
2.2 Sistem Isolasi Stator pada Motor Induksi	8
2.3 Pembagian Kelas Material Isolasi	9
2.4 Mekanisme Penurunan Kemampuan Isolasi karena Pengaruh lingkungan	10
2.4.1 Pengaruh Kelembaban	10
2.4.2 Pengaruh Kontaminan	10
2.5 Tes Respon Gelombang Osilasi	11
2.5.1 Pengujian Surja	11
2.5.2 Pembangkit Tegangan Tinggi Searah	12
2.5.3 Metode Error Area Ratio	13

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Perencanaan Sistem	15
3.2 Flowchart Konsep Penelitian	16
3.3 Perancangan dan Pembuatan Bagian Mekanik	17
3.4 Perancangan Tangki Kelembaban dan Kontaminan	17
3.5 Perancangan dan Pembuatan Alat Kontroller	18
3.6 Pembuatan Alat Proteksi dan Module Timer	19
3.7 Ultrasonic Nebulizer	20
3.8 Kontruksi Pengujian	20
3.9 Rangkaian Switching Surja Test	22
3.10 Pengukuran Kualitas Isolasi	24
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Skema Percobaan	25
4.2 Skema Percobaan Pertama	25
4.2.1 Analisa Data Skema Percobaan Pertama	26
4.3 Skema Percobaan Kedua	28
4.3.1 Pengaruh Kelembaban dan Analisa Data	28
4.3.2 Pengaruh Kontaminan dan Analisa Data	31
4.4 Skema Percobaan Ketiga	34
4.4.1 Pengaruh Kelembaban dan Analisa Data	34
4.4.2 Pengaruh Kontaminan dan Analisa Data	38
4.5 Hasil dan Analisa Pengujian Nilai Resistansi dan Induktansi	41
4.6 Pengujian Pada Test Surja	44
4.6.1 Pengujian Rise Time Gelombang Surja	45
4.6.2 Pengujian Tegangan Puncak Gelombang Surja	46
4.7 Hasil dan Analisa Pengujian Nilai EAR Kondisi Normal	46
4.8 Hasil dan Analisa Nilai Test Ref EAR Pengujian Surja Motor Induksi ..	49
4.9 Hasil dan Analisa Zero Crossing Gelombang Impulse Perphase	56
4.10 Hasil dan Analisa Nilai Line to Line EAR Pengujian Surja Motor Induksi	57
4.11 Hasil dan Analisa Zero Crossing Gelombang Impulse Antar Phase	65

BAB 5 KESIMPULAN.....	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN.....	75
BIODATA PENULIS	95

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen dari Motor Induksi	7
Gambar 2.2 Tegangan Impuls Surja	11
Gambar 2.3 Rangkaian Cockcroft-Walton Multiplier	12
Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem secara Keseluruhan	15
Gambar 3.2 Flowchart Konsep Penelitian	16
Gambar 3.3 Bentuk Rancangan dari Hardware Chamber.....	17
Gambar 3.4 Tangki Kelembaban dan Kontaminan.....	18
Gambar 3.5 Alat Kontroller dan Sensor pada Plant.....	19
Gambar 3.6 Panel Proteksi dan Module Timer: (a) Tampak Luar (b) Tampak Dalam	19
Gambar 3.7 Ultrasonic Nebulizer Lengkap dengan Catu Daya.....	20
Gambar 3.8 Perangkat Module Beban Lampu Pijar	21
Gambar 3.9 (a) Sensor Suhu Digital Thermometer (b) Modifikasi Chasing Motor Induksi	22
Gambar 3.10 Skema Rangkaian Switching Surja Test	23
Gambar 3.11 (a) Implementasi Rangkaian Walton Cockroft (b) Implementasi Rangkaian Switch Kontroller (c) Implementasi Rangkaian Kapasitor Surja	23
Gambar 3.12 Pengujian Surja dengan Mengukur Nilai EAR terhadap Belitan ..	24
Gambar 4.1 Power Supply Nebulizer yang Mudah Panas selama Pengoperasian	27
Gambar 4.2 Kondisi Motor Induksi (a) Normal (b) Hasil Akhir dengan Menambahkan Kelembaban Skema Pertama (c) Hasil Akhir dengan Menambahkan Kontaminan Skema Pertama	27
Gambar 4.3 Bentuk Fisik Motor dari (a) Percobaan 4 dengan Menambahkan Kelembaban Skema Kedua (b) Percobaan 5 dengan Menambahkan Kelembaban Skema Kedua (c) Percobaan 6 dengan Menambahkan Kelembaban Skema Kedua	30
Gambar 4.4 Bentuk Fisik Motor dari (a) Percobaan 4 dengan Menambahkan Kontaminan Skema Kedua (b) Percobaan 5 dengan Menambahkan Kontaminan Skema Kedua (c) Percobaan 6 dengan Menambahkan Kontaminan Skema Kedua	33
Gambar 4.5 Bentuk Fisik dari Kondisi Motor Seluruh Percobaan Skema Ketiga dengan Menambahkan Kelembaban	37
Gambar 4.6 Bentuk Fisik Motor dari (a) Percobaan 7 dengan Menambahkan Kontaminan Skema Ketiga (b) Percobaan 8 dengan Menambahkan Kontaminan Skema Ketiga (c) Percobaan 9 dengan Menambahkan Kontaminan Skema Ketiga	40
Gambar 4.7 Grafik Plot Nilai Resistansi Motor Induksi	42
Gambar 4.8 (a) Pengujian Nilai Resistansi dan Induktansi Perphase (b) Pengujian Nilai Resistansi dan Induktansi Antar Phase	42

Gambar 4.9 Grafik Plot Nilai Induktansi Motor Induksi	44
Gambar 4.10 Hasil Pengujian Rise Time Gelombang Surja Motor Kondisi Normal	45
Gambar 4.11 Gelombang Surja Perphase untuk Kondisi Motor Normal.....	47
Gambar 4.12 Gelombang Surja Antar Phase untuk Kondisi Motor Normal.....	47
Gambar 4.13 Bentuk Gelombang Surja Tidak Simetris Antar Phase.....	49
Gambar 4.14 Grafik Pengujian Test-Ref EAR Perphase U1U2.....	50
Gambar 4.15 Bentuk Gelombang Surja Test-Ref U1U2 Motor Kelembaban.....	51
Gambar 4.16 Bentuk Gelombang Surja Test-Ref U1U2 Motor Kontaminan	51
Gambar 4.17 Grafik Pengujian Test-Ref EAR Perphase V1V2.....	52
Gambar 4.18 Bentuk Gelombang Surja Test-Ref V1V2 Motor Kelembaban.....	53
Gambar 4.19 Bentuk Gelombang Surja Test-Ref V1V2 Motor Kontaminan	53
Gambar 4.20 Grafik Pengujian Test-Ref EAR Perphase W1W2	54
Gambar 4.21 Bentuk Gelombang Surja Test-Ref W1W2 Motor Kelembaban.....	55
Gambar 4.22 Bentuk Gelombang Surja Test-Ref W1W2 Motor Kontaminan	55
Gambar 4.23 Setengah Cycle Zero Crossing Gelombang Impuls Surja Perphase.....	56
Gambar 4.24 Plot Zero Crossing Gelombang Impulse Perphase	57
Gambar 4.25 Grafik Pengujian Line to Line EAR Phase UVUW	58
Gambar 4.26 Bentuk Gelombang Surja Line to Line UVUW Motor Kelembaban.....	59
Gambar 4.27 Bentuk Gelombang Surja Line to Line UVUW Motor Kontaminan	59
Gambar 4.28 Grafik Pengujian Line to Line EAR Phase UWVW	61
Gambar 4.29 Bentuk Gelombang Surja Line to Line UWVW Motor Kelembaban.....	61
Gambar 4.30 Bentuk Gelombang Surja Line to Line UWVW Motor Kontaminan	62
Gambar 4.31 Grafik Pengujian Line to Line EAR Phase VWUV	63
Gambar 4.32 Bentuk Gelombang Surja Line to Line VWUV Motor Kelembaban.....	64
Gambar 4.33 Bentuk Gelombang Surja Line to Line VWUV Motor Kontaminan	64
Gambar 4.34 Setengah Cycle Zero Crossing Gelombang Impuls Surja Antar Phase.....	65
Gambar 4.35 Plot Zero Crossing Gelombang Impulse Antar Phase	65
Gambar 4.36 Kurva Perbandingan Test-ref, Line to Line, dan Zero Crossing Gelombang Impulse Seluruh Percobaan	67
Gambar 4.37 Kurva Perbandingan Test-ref, Line to Line, dan Zero Crossing Gelombang Impulse untuk Normal, H-1 Fault, dan Fault	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rating Temperature Isolasi menurut Kelas Thermal	9
Tabel 3.1 Spesifikasi Motor Induksi 3 Phase	21
Tabel 4.1 Skema Percobaan	25
Tabel 4.2 Hasil Percobaan Skema Pertama Motor Kelembaban	26
Tabel 4.3 Hasil Percobaan Skema Pertama Motor Kontaminan.....	26
Tabel 4.4 Hasil Percobaan ke-4 Skema Kedua Motor Kelembaban.....	28
Tabel 4.5 Hasil Percobaan ke-5 Skema Kedua Motor Kelembaban.....	28
Tabel 4.6 Hasil Percobaan ke-6 Skema Kedua Motor Kelembaban.....	29
Tabel 4.7 Hasil Percobaan ke-4 Skema Kedua Motor Kontaminan	31
Tabel 4.8 Hasil Percobaan ke-5 Skema Kedua Motor Kontaminan	32
Tabel 4.9 Hasil Percobaan ke-6 Skema Kedua Motor Kontaminan	32
Tabel 4.10 Hasil Percobaan ke-7 Skema Ketiga Motor Kelembaban.....	34
Tabel 4.11 Hasil Percobaan ke-8 Skema Ketiga Motor Kelembaban.....	34
Tabel 4.12 Hasil Percobaan ke-9 Skema Ketiga Motor Kelembaban.....	35
Tabel 4.13 Hasil Percobaan ke-10 Skema Ketiga Motor Kelembaban.....	35
Tabel 4.14 Hasil Percobaan ke-11 Skema Ketiga Motor Kelembaban.....	36
Tabel 4.15 Hasil Percobaan ke-7 Skema Ketiga Motor Kontaminan	38
Tabel 4.16 Hasil Percobaan ke-8 Skema Ketiga Motor Kontaminan	38
Tabel 4.17 Hasil Percobaan ke-9 Skema Ketiga Motor Kontaminan	39
Tabel 4.18 Hasil Pengujian Nilai Resistansi	41
Tabel 4.19 Hasil Pengujian Nilai Induktansi	43
Tabel 4.20 Hasil Pengujian Tegangan Puncak Gelombang Surja	46
Tabel 4.21 Pengujian Test-Ref EAR untuk Motor Induksi Kondisi Normal.....	47
Tabel 4.22 Pengujian Line to Line EAR untuk Motor Induksi Kondisi Normal..	48
Tabel 4.23 Pengujian Test-Ref U1U2.....	49
Tabel 4.24 Pengujian Test-Ref V1V2.....	51
Tabel 4.25 Pengujian Test-Ref W1W2	54
Tabel 4.26 Pengujian Line to Line EAR UVUW	58
Tabel 4.27 Pengujian Line to Line EAR UWVW.....	60
Tabel 4.28 Pengujian Line to Line EAR VWUV	62

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

Pada bab satu ini, dibahas mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat, dan kontribusi penelitian.

1.1 Latar Belakang

Pada gelombang surja terdapat beberapa metode untuk menganalisisnya, seperti metode error area ratio dan zero crossing [1]. Kerusakan motor induksi merupakan masalah yang serius dalam dunia industri. Salah satu penyebab kerusakan tersebut ialah penurunan kualitas isolasi. Pembebanan terus-menerus dan faktor lingkungan seperti menambahkan kelembaban dan kontaminan dapat mempengaruhi penurunan kualitas isolasi. Meskipun isolasi dirancang mampu bertahan dari tekanan, namun tekanan berlebihan akan mempercepat penuaan isolasi [2]. Sebagai contoh kerugian yang ditimbulkan pada industri off shore karena kegagalan motor induksi bisa mencapai \$25.000/jam. Kegagalan kerja pada motor induksi ini bisa disebabkan oleh banyak hal. Tetapi penyebab utama terjadinya kegagalan pada motor induksi ini adalah karena kegagalan bearing dan kegagalan isolasi stator [3].

Motor Induksi merupakan salah satu mesin listrik yang berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor induksi sendiri sangat banyak diaplikasikan pada sebuah industri. Dari hasil studi diketahui bahwa motor induksi mengkonsumsi 65 % seluruh energi listrik yang ada pada sebuah industri [4]. Sedangkan 80 % dari kegagalan isolasi stator sendiri disebabkan oleh isolasi antar belitan yang melemah [5]. Penghentian proses yang tidak sesuai jadwal dikarenakan kegagalan kerja pada motor induksi sangat tidak diharapkan, karena hal ini dapat menyebabkan kerugian dalam jumlah besar [6]. Kegagalan isolasi stator dapat disebabkan oleh pengaruh panas, listrik, mekanik, dan pengaruh dari lingkungan [7]. Maka dari itu digunakanlah tes surja untuk mengetahui pelemahan isolasi antar belitan [8]. Isolasi antar belitan yang melemah ini akan menimbulkan hubung singkat antar belitan dan pada akhirnya menyebabkan degradasi pada belitan hingga kegagalan isolasi seluruh belitan [9]. Untuk menghindari hal tersebut maka harus dilakukan pengujian dan pemeliharaan motor secara terjadwal.

Terdapat banyak jenis pengujian untuk isolasi motor induksi, meskipun begitu tidak ada tes yang bisa menilai secara langsung integritas isolasi antar belitan selain tes surja . Keuntungan utama dari tes surja dibandingkan tes lain yaitu tes ini dapat diaplikasikan ke berbagai macam belitan dengan desain dan level tegangan yang berbeda dan tes ini juga dapat mendeteksi degradasi isolasi pada belitan sebelum terjadi kerusakan total [10].

Pada penelitian ini, eksperimen percepatan penuaan isolasi pada motor induksi dilakukan dengan cara memberi beban terus-menerus selama 6 jam pada kondisi kelembaban tinggi dan kontaminan hingga mengalami gejala kerusakan. Selanjutnya, gejala kerusakan dievaluasi secara menyeluruh menggunakan sensor - sensor yang akan ditampilkan pada module display. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode error area ratio (EAR) dan Zero Crossing Gelombang Impulse yang digunakan untuk menganalisis gelombang osilasi atau tes surja dari belitan motor induksi tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut rumusan masalah yang akan dihadapi dalam proses pengerjaan penelitian ini adalah :

1. Program sistem otomatisasi pada sensor dan module yang nantinya akan ditampilkan pada parameter - parameter sesuai kondisi motor induksi di dalam chamber.
2. Memberikan pengaruh kelembaban dan kontaminan pada motor induksi agar isolasi dapat diketahui pola atau tren penurunannya.
3. Metode Error Area Ratio dan Zero Crossing Gelombang Impulse dalam mendiagnosa percepatan penuaan isolasi.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lingkungan operasi yang ekstrem seperti kelembaban dan kontaminan yang tinggi terhadap kondisi isolasi menggunakan metode Error Area Ratio dan Zero Crossing Gelombang Impulse. Hasil yang diperoleh dari pelaksanaan penelitian ini, diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan acuan dalam pemilihan dan perawatan isolasi motor pada industri-industri yang lingkungan kerjanya dipengaruhi oleh lingkungan operasi yang ekstrem. Dengan acuan

tersebut, dampak dari pengaruh lingkungan terhadap penurunan kemampuan isolasi dapat dikurangi melalui upaya pemeliharaan yang tepat.

1.4 Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini hendaknya bermanfaat bagi penulis sendiri dalam mengaplikasikan ilmu pengetahuan yang telah didapat selama perkuliahan. Dan manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui secara cepat dan tepat pengaruh lingkungan operasi yang ekstrem pada kemampuan isolasi motor induksi.

1.5 Kontribusi

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi sebagai berikut :

1. Membantu operator industri untuk mengetahui sistem deteksi dini percepatan penuaan isolasi motor induksi terhadap lingkungan operasi yang ekstrem.
2. Sebagai bahan referensi untuk menganalisa percepatan penuaan isolasi motor induksi menggunakan metode Error Area Ratio (EAR) dan Zero Crossing Gelombang Impulse.

1.6 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur
Melakukan pengumpulan literature yang dibutuhkan untuk pengerjaan dan penelitian - penelitian yang terkait dengan evaluasi percepatan penuaan isolasi akibat menambahkan kelembaban dan kontaminan. Literature yang digunakan meliputi jurnal, proceeding, dan text book.
2. Perancangan Sistem
Perancangan sistem melibatkan beberapa eksperimen seperti melakukan rekonstruksi percepatan penuaan isolasi pada motor induksi dengan pengaruh kelembaban, kontaminan, analisa metode error area ratio, dan zero crossing gelombang impulse.

3. Pengujian Sistem

Segala parameter yang sudah dibuat saat perancangan sistem. Akan diuji sehingga diperoleh data-data hasil percobaan dari pengaruh kelembaban dan kontaminan yang nantinya di gunakan untuk proses analisa data menentukan kondisi belitan motor induksi tersebut.

4. Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk mengidentifikasi hasil pengujian yang telah dilakukan. Analisis ini berawal dari test surja pada motor induksi yang dilakukan dengan metode error area ratio dan zero crossing gelombang impulse untuk mengetahui secara dini gejala – gejala kerusakan motor yang dipengaruhi oleh kelembaban dan kontaminan.

5. Penulisan Laporan Penelitian

Sebagai hasil akhir dari penelitian ini, dilakukan penulisan laporan sebagai hasil dari penelitian tersebut.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

Pada bab dua ini, dibahas mengenai motor induksi, isolasi, mekanisme penurunan kemampuan isolasi karena pengaruh lingkungan, dan tes respon gelombang osilasi.

2.1 Motor Induksi

Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik yang paling luas digunakan. Penanamannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan oleh arus stator.

Belitan stator yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga phase akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron. Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus dan sesuai dengan hukum Lenz, motor juga mengikuti medan putar stator. Perbedaan perputaran relatif antara rotor dan stator disebut slip.

Karakteristik dari motor induksi adalah apabila dalam rangkaian rotor dimasukkan tahanan luar yang besarnya berbeda-beda, maka akan didapatkan kopel maksimum yang berbeda pula, sehingga dengan kata lain kopel maksimum motor dapat dicapai dengan mengatur besarnya tahanan luar yang dimasukkan ke rotor. Karakteristik kopel kecepatan dari motor induksi berupa :

- Torsi terhadap kecepatan
- Kecepatan terhadap waktu
- Arus fungsi waktu pada saat start

2.1.1 Prinsip Kerja Motor Induksi

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul ggl atau tegangan induksi dan karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka akan mengalir

arus pada kumparan rotor. kumparan rotor dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator, sehingga kumparan rotor mengalami gaya Lorentz menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator.

Pada rangka stator terdapat kumparan stator yang ditempatkan pada slot - slot yang dililitkan pada sejumlah kutub tertentu. Jumlah kutub ini menentukan kecepatan berputarnya medan stator yang terjadi diinduksikan ke rotornya. Makin besar jumlah kutub akan mengakibatkan makin kecilnya kecepatan putar medan stator dan sebaliknya. Kecepatan berputarnya medan putar ini disebut kecepatan sinkron. Besarnya kecepatan sinkron ini adalah sebagai berikut :

$$\omega_{\text{sin k}} = 2\pi f \text{ (listrik, rad / dt)} \quad (2.1)$$

$$= 2\pi f / P \text{ (mekanik, rad / dt)} \quad (2.2)$$

atau

$$N_s = 120 F / P \text{ (putaran / menit, rpm)} \quad (2.3)$$

Keterangan :

F = frekuensi sumber ac (Hz)

P = jumlah pasang kutub

N_s = kecepatan putaran sinkron medan magnet stator

2.1.2 Komponen Motor Induksi

Pada aplikasi motor induksi terdapat dua komponen listrik yang paling utama adalah :

a. Rotor

Motor induksi bila ditinjau dari rotornya terdiri atas dua tipe yaitu rotor sangkar dan rotor lilit.

- **Rotor sangkar**

Motor induksi jenis rotor sangkar lebih banyak digunakan daripada jenis rotor lilit, sebab rotor sangkar mempunyai bentuk yang sederhana. Belitan rotor terdiri atas batang-batang penghantar yang ditempatkan di dalam alur rotor. Batang penghantar ini terbuat dari tembaga atau aluminium. Ujung - ujung batang penghantar dihubung singkat

oleh cincin penghubung singkat, sehingga berbentuk sangkar burung. Motor induksi yang menggunakan rotor ini disebut Motor Induksi Rotor Sangkar.

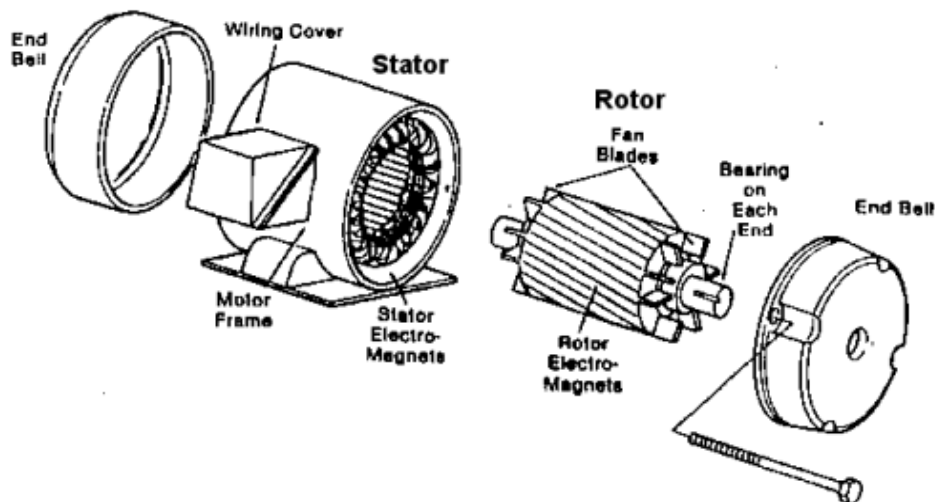
Karena batang penghantar rotor yang telah dihubung singkat, maka tidak dibutuhkan tahanan luar yang dihubungkan seri dengan rangkaian rotor pada saat awal berputar. Alur-alur rotor biasanya tidak dihubungkan sejajar dengan sumbu (poros) tetapi sedikit miring.

- **Rotor lilit**

Rotor lilit terdiri atas belitan phase banyak, belitan ini dimasukkan ke dalam alur - alur inti rotor. Belitan ini sama dengan belitan stator, tetapi belitan selalu dihubungkan secara bintang. Tiga buah ujung-ujung belitan dihubungkan ke terminal- terminal sikat/cincin seret yang terletak pada poros rotor. Pada jenis rotor lilit kita dapat mengatur kecepatan motor dengan cara mengatur tahanan belitan rotor tersebut. Pada keadaan kerja normal sikat karbon yang berhubungan dengan cincin seret tadi dihubung singkat. Motor induksi rotor lilit dikenal dengan sebutan Motor Induksi Slipring atau Motor Induksi Rotor Lilit.

b. Stator

Stator dibuat dari sejumlah stampings dengan slot untuk membawa gulungan tiga phase. Gulungan ini dilingkarkan untuk sejumlah kutub yang tertentu. Gulungan diberi spasi geometri sebesar 120 derajat.



Gambar 2.1 Komponen dari Motor Induksi

Stator motor induksi terdiri dari tiga komponen utama, antara lain : konduktor tembaga, inti stator, dan isolasi. Konduktor tembaga berfungsi sebagai penghantar arus stator yang akan menghasilkan medan magnet putar untuk memutar rotor. Konduktor ini harus memiliki luas penampang yang cukup untuk mengalirkan arus tanpa disertai panas berlebih. Inti stator tersusun dari lembaran-lembaran tipis baja magnetik yang berfungsi sebagai jalur impedansi magnetik yang rendah untuk induksi medan magnet stator menuju rotor. Komponen terakhir adalah isolasi.

Berbeda dengan konduktor dan inti stator, yang merupakan komponen aktif dalam menghasilkan putaran rotor, isolasi bersifat pasif. Dalam hal ini, isolasi tidak menghasilkan medan magnet atau mengarahkan jalur magnetik menuju rotor. Akan tetapi, tanpa isolasi, konduktor tembaga akan mengalami kontak dengan konduktor lain atau inti stator. Isolasi juga berfungsi sebagai penghantar panas, sehingga konduktor tembaga tidak mengalami overheating. Selain itu, isolasi harus mampu mempertahankan kedudukan konduktor dari pergerakan yang tidak diinginkan akibat gaya magnetik yang timbul ketika motor dalam kondisi starting atau operasi normal.

Isolasi belitan stator terbuat dari material organik sebagai komponen penyusun utamanya. Jika dibandingkan dengan konduktor tembaga, material organik tersebut melunak pada temperatur yang lebih rendah dan memiliki kekuatan mekanis yang lebih rendah. Oleh karena itu, umur belitan stator seringkali dibatasi oleh kemampuan isolasi daripada konduktor atau inti stator.

2.2 Sistem Isolasi Stator pada Motor Induksi

Sistem isolasi pada stator motor induksi terdiri dari beberapa komponen, meliputi : *strand insulation*, *turn insulation*, dan *groundwall insulation*. Ketiga komponen tersebut memiliki fungsi masing-masing untuk mencegah short circuit pada motor. Pada motor jenis random-wound stator, strand insulation juga berperan sebagai turn insulation, yaitu mencegah short circuit antar turn dalam satu koil. Pada motor form-wound stator, turn insulation mencegah short circuit antar turn sedangkan strand insulation berfungsi untuk mencegah short circuit antar strand. Komponen lainnya yaitu groundwall insulation yang memisahkan konduktor tembaga terhadap inti stator. Dalam hal ini, groundwall insulation berfungsi untuk mencegah short circuit antara konduktor dengan ground.

2.3 Pembagian Kelas Material Isolasi

Material penyusun isolasi dapat dibagi atas beberapa kelas berdasarkan batas temperatur yang diijinkan. Pada tabel 2.1 disebutkan beberapa kelas thermal isolasi motor menurut IEC 60085.

Tabel 2.1 Rating Temperature Isolasi menurut Kelas Thermal [6]

Kelas Thermal	Rating Temperature (Celcius)
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180

Berikut ini dijelaskan lebih lanjut mengenai material penyusun isolasi menurut kelas thermalnya :

1. Kelas A

Isolasi kelas A terbuat dari material organik, seperti cotton, silk, pressboard, dan paper yang telah diresapi atau direndam di dalam cairan isolasi seperti minyak. Pelapisan atau perendaman ini bertujuan untuk memastikan bahwa kandungan oksigen dari udara tidak mempengaruhi sifat isolasi atau bahkan meningkatkan penuaan secara thermal pada isolasi.

2. Kelas E

Material dasar pada isolasi kelas E dapat berupa polyvinyl, polyurethane atau epoxy-resin, dengan pengisi selulosa, plastik yang dilaminasi pada paper dan cotton, triacetate cellulose film, dan serat polyethylene terephthalate. Kombinasi material tersebut telah terbukti mampu beroperasi pada temperatur yang lebih tinggi daripada material isolasi kelas A.

3. Kelas B

Isolasi kelas B tersusun dari material anorganik, seperti mica, glass fibre, asbestos, yang diresapi atau direkatkan dengan pernis atau komposisi yang terdiri dari zat organik yang mampu menahan temperatur tinggi, seperti resin sintetis, bitumen, shellac, dan bakelite.

4. Kelas F

Isolasi kelas F terdiri dari material anorganik, seperti mica, glass fibre, asbestos, yang diresapi atau direkatkan dengan epoxy, polyesterimide, polyurethane, atau jenis resin lainnya yang mampu menahan temperature tinggi.

5. Kelas H

Isolasi kelas H tersusun dari material komposit mica, fiber glass, dan asbestos, yang diresapi atau direkatkan dengan resin silikon atau elastomer silikon. Material-material tersebut tidak harus mengandung bahan organik berserat, seperti paper atau cloth backing yang tercakup pada isolasi kelas F dan B.

2.4 Mekanisme Penurunan Kemampuan Isolasi Karena Pengaruh Lingkungan

2.4.1 Pengaruh Kelembaban

Dampak dari pengaruh kelembaban tinggi pada motor juga bergantung pada temperatur titik embun, yaitu temperatur ketika uap air yang terkandung dalam udara terkondensasi menjadi titik-titik air. Apabila motor beroperasi di atas temperatur titik embun, isolasi tidak akan dipengaruhi oleh kelembaban. Sebaliknya, apabila temperatur motor menurun hingga di bawah titik embun, uap air yang terkondensasi menjadi embun akan menempel pada belitan. Pada akhirnya, kondisi belitan yang basah ini menyebabkan besar isolasi menurun.

2.4.2 Pengaruh Kontaminan

Belitan yang terkontaminasi menimbulkan berbagai permasalahan, seperti penurunan kemampuan isolasi karena thermal, kimia, dan electrical tracking. Electrical tracking memungkinkan arus listrik untuk mengalir pada permukaan isolasi terutama

pada bagian end-winding. Aliran arus tersebut akan mendegradasi isolasi dan pada akhirnya menyebabkan kerusakan isolasi groundwall.

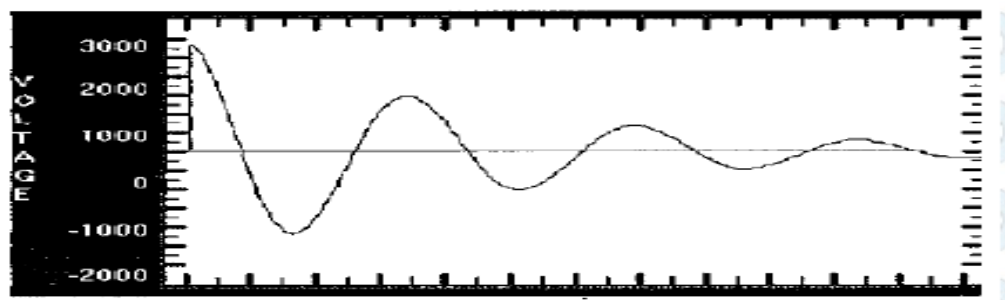
Mekanisme kegagalan isolasi bergantung pada konstruksi belitan stator motor. Pada form-wound stator, electrical tracking merupakan faktor utama kegagalan isolasi. Hal ini berbeda dengan random-wound stator yang membutuhkan lubang kecil atau retakan terlebih dahulu untuk menimbulkan penurunan kemampuan isolasi. Ketika belitan terdapat lubang kecil atau retakan, kontaminan yang bersifat konduktif akan memudahkan arus untuk mengalir antar turn. Arus tersebut juga menyebabkan kontaminan berupa debu atau minyak untuk berkarbonisasi dan menurunkan isolasi. Pada akhirnya, isolasi akan menjadi sangat rendah sehingga timbul arus sirkulasi yang besar antar turn dan hubung singkat antar turn yang diikuti dengan ground fault.

2.5 Tes Respon Gelombang Osilasi

Tes respon gelombang osilasi merupakan rangkaian pembangkit gelombang implus dengan menggunakan rangkaian seri ekivalen resistansi, induktansi dan kapasitansi. Untuk menganalisis gelombang tersebut digunakan metode-metode seperti berikut :

2.5.1 Pengujian Surja

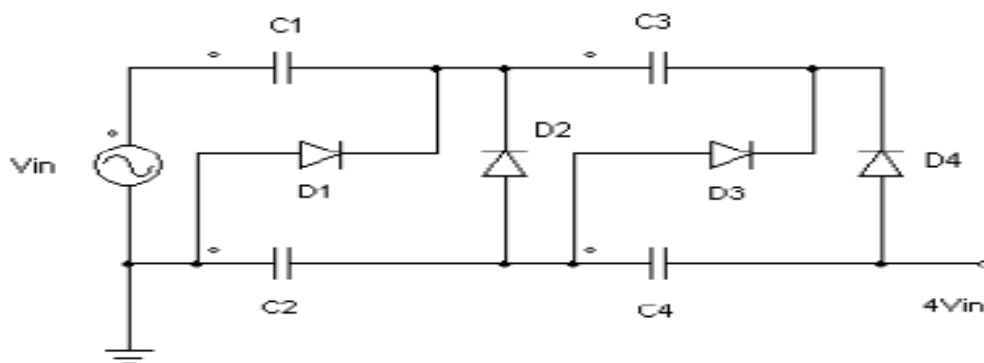
Pengujian surja adalah pengujian dengan memberikan pulsa hubung singkat dengan rise time tertentu pada belitan stator mesin listrik sehingga timbul tegangan induksi antar belitan. Jika tegangan yang diberikan melebihi batasan tegangan maksimum dari isolasi, maka akan muncul busur api dan menyebabkan perubahan nilai induktansi. Pada proses ini dapat diamati tegangan impuls surja seperti pada Gambar di bawah ini :



Gambar 2.2 Tegangan Impuls Surja

2.5.2 Pembangkit Tegangan Tinggi Searah

Secara umum pembangkitan tegangan tinggi searah dilakukan dengan penyearahan tegangan tinggi bolak balik melalui diode, kemudian dapat dilipat gandakan. Seperti pada rangkaian cockcroft-walton multiplier (CWM). Rangkaian seperti ini tersusun dari rangkaian pengali tegangan yang terdiri kapasitor dan dioda. Rangkaian tersebut mengkonversi tegangan rendah AC atau tegangan DC berpulsa menjadi tegangan DC yang lebih tinggi dengan nilai arus yang rendah. Skema rangkaian cockcroft-walton dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Rangkaian Cockcroft-Walton Multiplier

Rangkaian cockcroft-walton memiliki keunggulan berupa tegangan setiap tahap cascade mempunyai nilai yang sama dengan dua kali tegangan input puncak penyearah setengah gelombang. Dalam penyearah gelombang penuh itu adalah tiga kali tegangan input. Ini memiliki keuntungan dari memerlukan komponen biaya yang relatif rendah dan menjadi mudah untuk mengisolasi. Satu juga dapat menekan output dari setiap tahap, seperti transformator multitapped. Operasi rangkaian Cockcroft-Walton Multiplier atau pengali tegangan, cukup sederhana. Tegangan output, dengan asumsi setiap komponen bekerja dengan kondisi yang ideal, adalah dua kali tegangan input puncak dikalikan dengan jumlah stage dalam multiplier.

2.5.3 Metode Error Area Ratio

Metode error area ratio (EAR) merupakan salah satu metode paling efektif yang digunakan untuk menganalisis gelombang osilasi. Hal ini dikarenakan sensitifitas yang sangat tinggi terhadap perubahan gelombang osilasi.

Rumus dari metode EAR [11] adalah sebagai berikut :

$$EAR = \frac{\sum_{i=1}^N |F_i^{(1)} - F_i^{(2)}|}{\sum_{j=1}^N |F_j^{(1)}|} \times 100 \quad (2.4)$$

Nilai $F_i^{(1)}$ merupakan poin ke-i pada gelombang referensi dan $F_i^{(2)}$ adalah poin ke-i pada gelombang pengujian. Perbandingan perubahan gelombang tersebut maka akan didapatkan nilai EAR. Metode EAR sendiri dibagi menjadi tiga yaitu Pulse to Pulse EAR (P-P EAR), Line to Line EAR (L-L EAR), dan Test-Ref EAR (Baker, n.d.).

a. P-P EAR %

P-P EAR merupakan metode real-time untuk menganalisis gelombang surja . Metode ini dioperasikan ketika tes gelombang osilasi dijalankan. Sebagai contoh untuk mencapai tegangan tes 2500 V dengan step voltage 50 V maka akan didapat 50 tahap dari 0 s.d 2500 V. Yaitu 0 V, 50 V, 100 V, 150 V, s.d 2500 V. Lalu perbedaan antar gelombang yang berhasil, seperti contoh 1400 V dan 1450 V maka itulah P-P EAR. Metode ini tidak memiliki keterbatasan seperti metode L-L EAR yaitu tidak dipengaruhi oleh posisi rotor, kondisi rotor, konfigurasi belitan, koneksi motor, kondisi logam, dan saturasi. Metode ini merupakan metode paling modern untuk menguji integritas isolasi antar belitan dengan menggunakan tes surja . Metode ini bisa digunakan untuk pengujian dengan tegangan 1 kV s.d 30 kV.

b. L-L EAR %

Metode ini bertujuan untuk membandingkan gelombang surja hasil pengujian antarasa terhadap antar phase lain. Cara kerja dari metode ini yaitu bentuk gelombang dari ketiga Phase motor harus identik atau sama. Jika ada bentuk gelombang yang tidak

sama, maka akan dianalisis seberapa jauh perbedaan yang terjadi. Dan apa bila telah melebihi batas standar L-L EAR maka dapat disimpulkan terdapat hubung singkat antar belitan atau antar phase. Metode L-L EAR bekerja dengan baik saat rotor tidak dipasang pada motor karena setiap koil akan identik. Selain itu pengujian dengan rotor juga tidak disarankan untuk metode ini. Metode ini cocok untuk pengujian dengan tegangan uji 500 s.d 30.000 V. Terdapat beberapa kondisi yang mempengaruhi nilai dari hasil tes dengan metode ini yaitu: (1) posisi rotor, (2) konfigurasi belitan, (3) kondisi rotor, (4) koneksi motor, (5) kondisi laminasi besi (iron condition) dan (6) iron saturation.

c. Test-Ref EAR %

Metode ini digunakan ketika motor dalam jumlah banyak dengan desain konstruksi yang sama akan diuji. Dan juga untuk proses manufaktur motor dan selama rewinding motor. Metode ini sangat sensitif terhadap belitan dan kondisi motor. Pengujian metode ini hampir mirip dengan pengujian menggunakan metode L-L EAR. Perbedaan Test-Ref EAR terhadap L-L EAR menggunakan satu phase dengan lain untuk melakukan perbandingan referensi EAR. Sedangkan Test-Ref EAR menggunakan kondisi awal belitan sebagai perbandingan referensi EAR. Sehingga bentuk gelombang referensi harus disimpan untuk perbandingan selanjutnya.

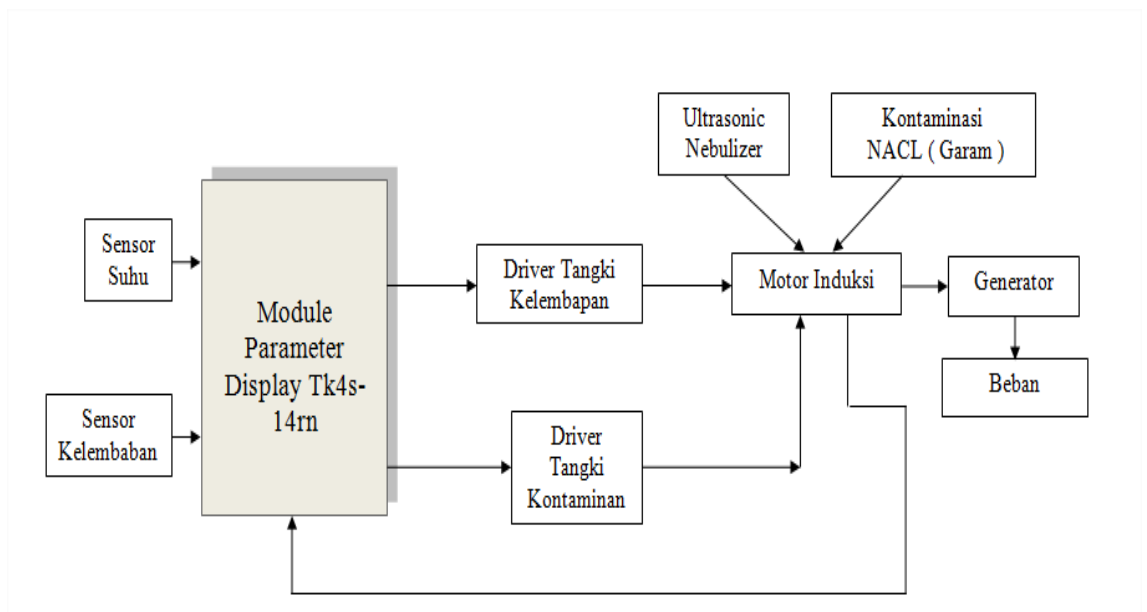
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab tiga ini, dibahas mengenai perancangan dan pembuatan alat yang meliputi: perancangan sistem; perancangan dan pembuatan bagian mekanik beserta alat controller; konstruksi pengujian, dan pengukuran kualitas osilasi.

3.1 Perencanaan Sistem

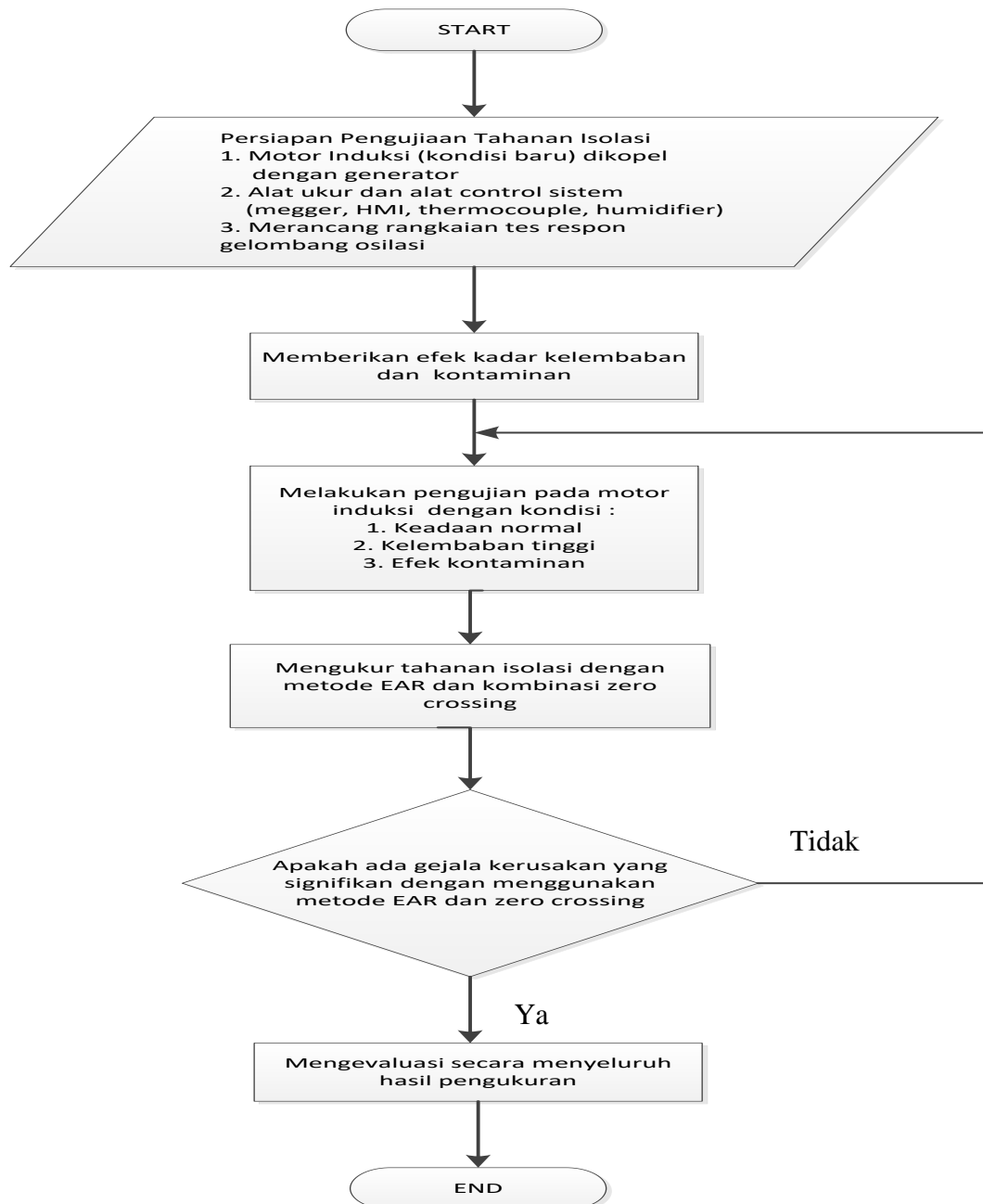
Dalam membangun sistem ini, mengenai analisa percepatan penuaan isolasi pada motor induksi akibat kelembaban dan kontaminan menggunakan metode Error Area Ratio dan Zero Crossing gelombang impulse sebagai solusi untuk mengetahui secara cepat dan tepat pengaruh lingkungan operasi yang ekstrem pada kemampuan isolasi motor induksi. Berikut ini blok diagram sistem secara keseluruhan yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem secara Keseluruhan

3.2 Flowchart Konsep Penelitian

Flowchart konsep penelitian dilakukan untuk mengetahui alur penelitian pada saat kondisi isolasi pada motor induksi berbeban yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan (*ambient stress*) yang ekstrem.



Gambar 3.2 Flowchart Konsep Penelitian

3.3 Perancangan dan Pembuatan Bagian Mekanik

Pada perancangan dan pembuatan bagian mekanik yaitu meliputi pembuatan desain chamber. Chamber dari penelitian ini berdimensi 60 cm x 50 cm x 50 cm. Dengan bahan plat besi yang sudah di lapisi cat dan perekat karet disetiap sela-sela pintu chamber agar suhu didalam ruangan tidak mudah untuk keluar.

Pada chamber ini memiliki pintu depan geser dan pintu atas ungit untuk memudahkan memasukkan ataupun mengeluarkan peralatan yang akan diuji khususnya motor induksi tiga phase. Pada bagian pintu depan dilengkapi dengan lubang pantau berupa kaca acrylic yang digunakan untuk memudahkan dalam memantau keadaan didalam ruangan chamber. Chamber ini juga memiliki dua buah lubang input untuk masuknya kelembaban dan kontaminan yang disalurkan melalui pipa flexible dari dua buah tabung tangki.



Gambar 3.3 Bentuk Rancangan dari Hardware Chamber

3.4 Perancangan Tangki Kelembaban dan Kontaminan

Pada perancangan penelitian ini, terdapat dua buah tangki yang digunakan. Pada tangki pertama digunakan untuk menyimpan air yang sebagai sumber kelembaban. Sedangkan pada tangki kedua digunakan untuk menyimpan larutan garam (NaCl) yang digunakan sebagai sumber kontaminan.

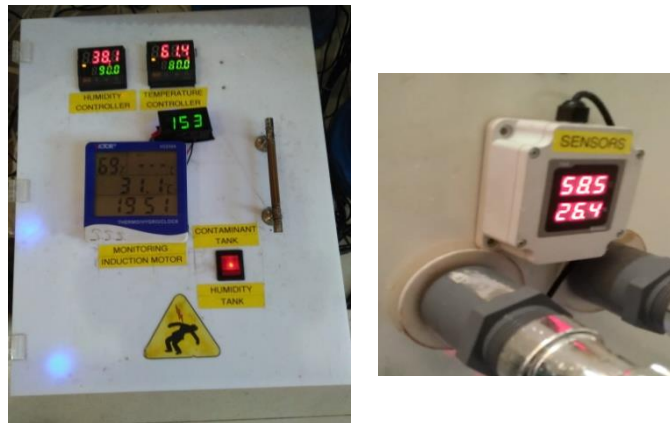
Pada tangki kelembaban dan kontaminan masing-masing memiliki kapasitas 10 liter yang dilengkapi dengan 10 buah peralatan pendukungnya yaitu 9 buah ultrasonic nebulizer dan 1 buah kipas angin dc untuk memindahkan kelembaban dan kontaminan melalui pipa flexible dari tangki ke dalam chamber yang sudah di setpoint untuk kadar kelembaban dan kontaminan.



Gambar 3.4 Tangki Kelembaban dan Kontaminan

3.5 Perancangan dan Pembuatan Alat Kontroller

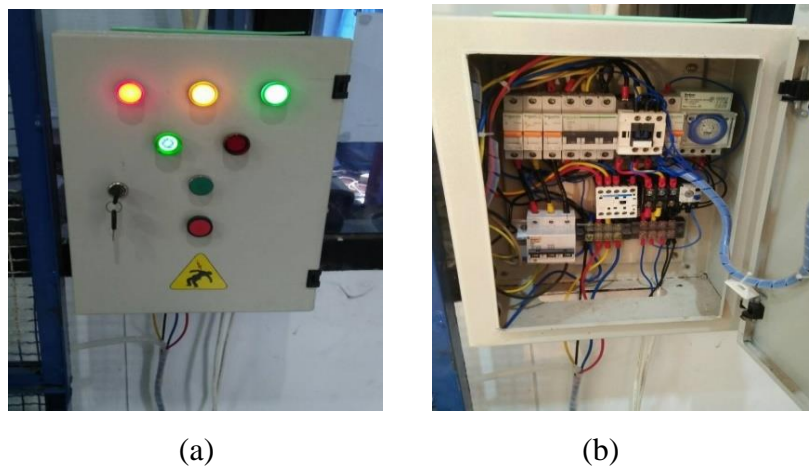
Pada perancangan dan pembuatan alat kontroller ini, terdiri dari 2 buah module display Tk4s-14rn, sensor suhu dan kelembapan (THD-dd1-c) yang merupakan produk dari autonics, hygrometer, beserta switch untuk perpindahan ke tangki kelembapan atau kontaminan. Tk4s-14rn digunakan untuk menampilkan dan mensetpoint nilai dari parameter kelembapan dan suhu yang berada di dalam chamber yang dibaca oleh sensor THD-dd1-c dengan melakukan pengaturan data melalui kalibrasi dari kedua peralatan tersebut terlebih dahulu.



Gambar 3.5 Alat Kontroller dan Sensor pada Plant

3.6 Pembuatan Alat Proteksi dan Module Timer

Pembuatan alat proteksi dan module timer ini dilakukan dengan memanfaatkan panel tegangan rendah yang ada di laboratorium tegangan tinggi dengan mengubah wiring bawaannya. Alat proteksi ini dilengkapi dengan 3 buah MCB 1 pole dengan rating 10 ampere untuk mengamankan jika motor induksi sudah mengalami kerusakan. Sedangkan 1 buah MCB 1 pole dengan rating 10 ampere untuk proteksi module timer yang dihubungkan dengan alat kontraktor 3 phase untuk memerintahkan motor induksi bekerja berdasarkan durasi waktu yang sudah ditentukan. Selain itu juga dilengkapi dengan pengaman over load jika terjadi kelebihan beban, maka bisa di proteksi untuk memerintahkan trip sesuai setting persentasi beban yang di inginkan tanpa mengganggu sistem jaringan listrik yang lain pada laboratorium tegangan tinggi.



Gambar 3.6 Panel Proteksi dan Module Timer: (a) Tampak Luar (b) Tampak Dalam

3.7 Ultrasonic Nebulizer

Ultrasonic Nebulizer yang digunakan pada penelitian ini berfungsi untuk menguapkan air dengan cara mengetarkannya pada frekuensi ultrasonik. Untuk menimbulkan kelembaban dan kontaminan di dalam ruangan chamber digunakan alat tersebut. Satu ultrasonic nebulizer yang digunakan memiliki kemampuan menguapkan air sebanyak 250 ml dalam satu jam. Masing-masing untuk menimbulkan kelembaban dan kontaminasi digunakan 9 buah ultrasonic nebulizer, sehingga kemampuannya menjadi 2250 ml dalam satu jam.

Untuk mengatur kelembaban dan kontaminan yang ditimbulkan oleh alat ini, Module parameter display Tk4s-14rn mengirimkan sinyal high (1) atau low (0) sesuai dengan kondisi kelembaban dan kontaminan yang sudah disetpoint di dalam ruangan chamber.



Gambar 3.7 Ultrasonic Nebulizer Lengkap dengan Catu Daya

3.8 Kontruksi Pengujian

Konstruksi pengujian pada percobaan ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari kondisi isolasi pada motor induksi tiga phase yang berbeban penuh dengan memberikan kondisi lingkungan yang lembab beserta dengan adanya kontaminasi garam. Pada percobaan ini terdapat dua buah motor induksi tiga phase yang dipengaruhi oleh :

- Motor induksi tiga phase dengan menambahkan kelembaban.
- Motor induksi tiga phase dengan menambahkan kelembaban disertai kontaminasi garam.

Adapun spesifikasi motor induksi yang digunakan dalam penelitian ini terlampir pada Tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.1 Spesifikasi Motor Induksi 3 Phase

Spesifikasi Motor Induksi 3 Phase	Nilai
Daya keluaran nominal	1.5 kW
Jumlah kutub	4 pole
Kecepatan nominal	1380 rpm
Indeks proteksi (IP)	55
Tegangan operasi	220 / 380 V
Arus nominal	5.94 / 3.44 A
Efisiensi	78.6 %
Daya input	1.91 kW

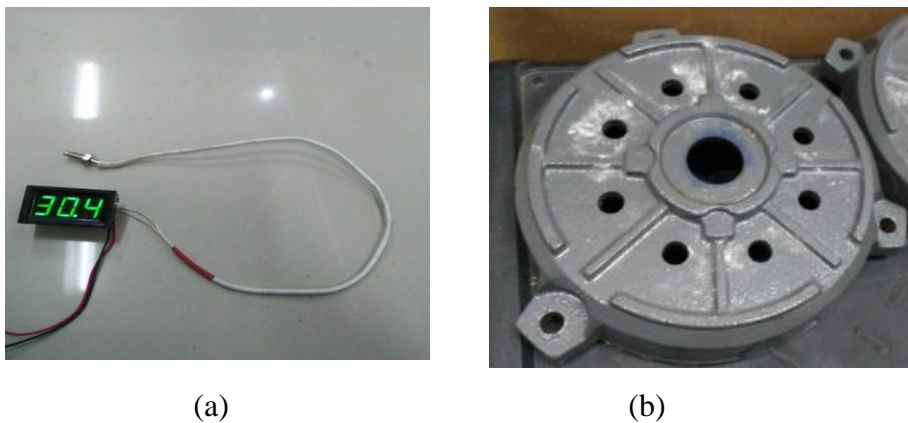
Pada pengujian ini menggunakan alat ukur LCR Meter yang digunakan untuk mengetahui resistansi dan induktansi pada motor induksi tiga phase dengan skala range pengukuran : Induktansi 20.000 μ H ~ 2000 H, dan Resistansi 20.000 Ω ~ 200 M Ω .

Sedangkan pada generator sinkron tersebut dihubungkan dengan beban lampu pijar berdaya total sebesar 1800 Watt. Pada generator dan module lampu pijar ini digunakan sebagai beban motor yang bertujuan untuk meningkatkan temperatur belitan.



Gambar 3.8 Perangkat Module Beban Lampu Pijar

Untuk mengukur suhu pada belitan motor induksi tiga phase digunakan sensor suhu digital thermometer. Pada sensor tersebut bisa membaca range suhu yang terukur pada 0 – 999 °C dengan memanfaatkan thermocouple type-K yang bekerja pada catu daya dc 12 volt. Sensor suhu ini digunakan sebagai data tambahan dalam percobaan akselerasi percepatan umur motor induksi tiga phase yang dikarenakan pembacaan pada sensor suhu hygrometer tidak bisa terjangkau karena melebihi range pembacaannya maksimal 70 °C. Kemudian untuk mengetahui besar temperatur belitan tersebut secara realtime maka sensor suhu digital thermometer dilekatkan pada bagian end-winding belitan stator motor melalui modifikasi chasing motor induksi.



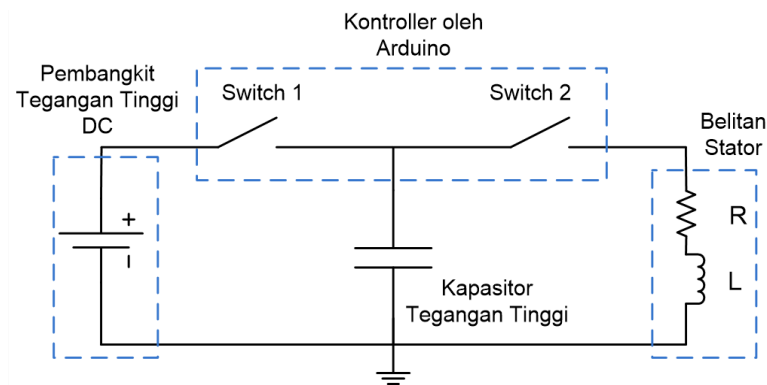
Gambar 3.9 (a) Sensor Suhu Digital Thermometer
(b) Modifikasi Chasing Motor Induksi

3.9 Rangkaian Switching Surja Test

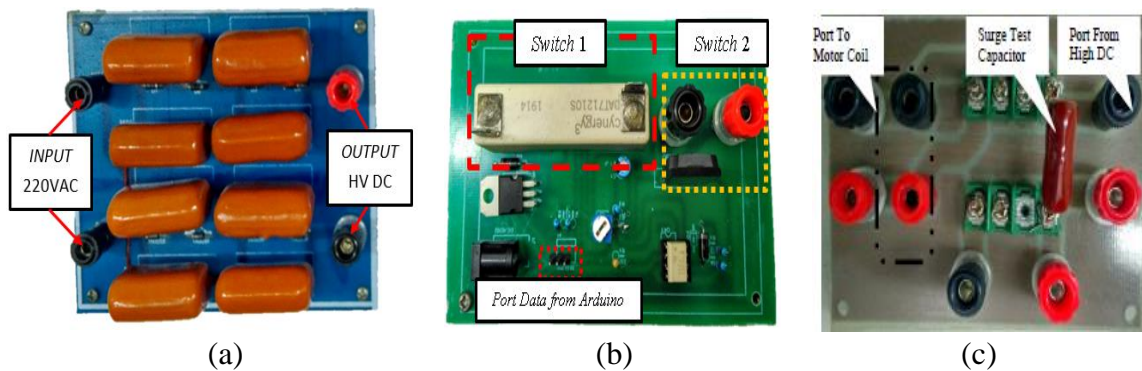
Pada rangkaian switching surja test prinsip kerjanya saat pengisian switch 1 bekerja hingga muatan dalam kapasitor tegangan tinggi penuh, maka switch 2 dalam kondisi terbuka. Setelah penuh, maka switch 1 terbuka dan switch 2 dalam kondisi tertutup yang dikendalikan oleh mikrokontroler hingga muatan dalam kapasitor mengalir ke belitan.

Dalam pemilihan komponen switching juga sangat penting untuk hasil yang maksimal. Pada switch 1 yang digunakan untuk mengisi muatan kapasitor digunakan relay tegangan tinggi dengan tegangan trigger 20 volt dan rating tegangan penghantar sebesar 10 KV. Sedangkan untuk switch 2 yang digunakan sebagai pelepasan muatan kapasitor ke belitan menggunakan IGBT dengan tipe IRGPS60B120KDP.

Pemilihan IGBT tipe ini dikarenakan pada saat transisi switching yang dihasilkannya halus dengan tegangan tembus tes surja yaitu 1.2 KV. Adapun skema rangkaian switching surja test dan implementasi rangkaiannya di tunjukkan pada gambar 3.10 dan 3.11 di bawah ini :



Gambar 3.10 Skema Rangkaian Switching Surja Test

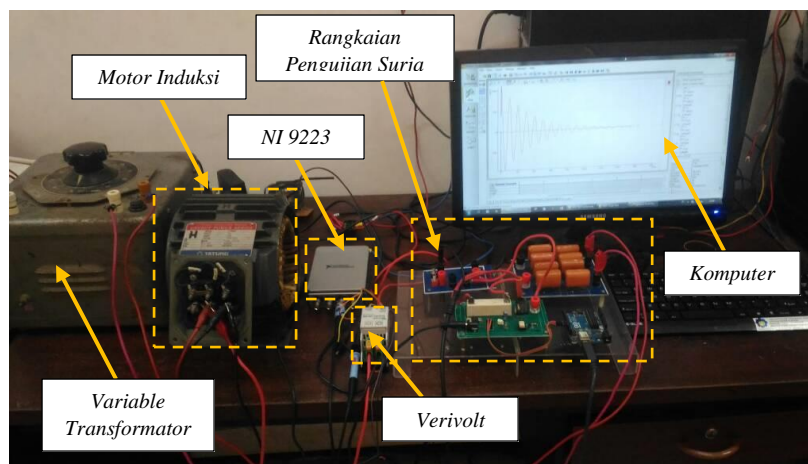


Gambar 3.11 (a) Implementasi Rangkaian Walton Cockroft (b) Implementasi Rangkaian Switch Kontroller (c) Implementasi Rangkaian Kapasitor Surja

Sedangkan pada bagian charging kapasitor tidak memerlukan switching yang presisi dan halus. Kapasitor surja digunakan untuk membangkitkan tegangan surja dengan cara melepaskan muatan kapasitor ke belitan Motor Induksi sehingga dapat diketahui respon gelombangnya. Kapasitor surja yang digunakan memiliki spesifikasi 10 nF dengan rating tegangan 1600 Volt sehingga masih diatas tegangan pengujian surja yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebesar 1000 Volt.

3.10 Pengukuran Kualitas Isolasi

Pada pengujian tes respon gelombang osilasi atau tes surja pada motor induksi tiga phase, dilakukan perbandingan hasil gelombang osilasi dengan variasi kegagalan belitan stator yaitu menggunakan metode EAR dan Zero Crossing Gelombang Impulse. Gelombang yang dihasilkan pada kondisi belitan normal inilah yang dijadikan sebagai gelombang referensi.



Gambar 3.12 Pengujian Surja dengan Mengukur Nilai EAR terhadap Belitan

Respon gelombang osilasi dari belitan yang diuji dibandingkan dengan gelombang osilasi referensi untuk mengetahui perbedaan. Dari hasil analisa respon gelombang osilasi dengan menggunakan metode EAR dapat diketahui kondisi baik atau buruknya belitan motor induksi, jika tetap dioperasikan mengakibatkan adanya kerusakan pada peralatan tersebut. Tes respon gelombang isolasi pada motor induksi dilakukan dengan mengalirkan tegangan impuls pada belitan motor tersebut, pengetesan dilakukan ketika motor dalam keadaan offline atau tidak beroperasi. Dari hasil pengujian tersebut, gelombang osilasi pada motor induksi dengan kondisi belitan normal dijadikan sebagai gelombang osilasi referensinya.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab empat ini, dibahas mengenai hasil dari penelitian yang telah dilakukan. Hasil penelitian tersebut meliputi : skema percobaan, hasil pengukuran, dan analisa data dari hasil pengukuran.

4.1 Skema Percobaan

Pada skema ini hasil pengujian dengan menambahkan kelembaban atau kontaminan kadar garam menggunakan variasi beban lampu pijar 1200 watt, 1500 watt, dan 1800 watt.

Tabel 4.1 Skema Percobaan

Parameter	Skema Percobaan 1	Skema Percobaan 2	Skema Percobaan 3
Beban Motor	Generator dengan beban lampu pijar 1200 W	Generator dengan beban lampu pijar 1500 W	Generator dengan beban lampu pijar 1800 W
Alat Kontroller untuk Pengaruh Kelembaban / Kontaminan setelah Running 6 Jam	Tidak dioperasikan lagi	Tetap dioperasikan kembali	Tetap dioperasikan kembali

4.2 Skema Percobaan Pertama

Pada skema percobaan ini, motor yang dipengaruhi dengan menambahkan kelembaban atau kontaminan dioperasikan selama sekitar 6 jam tiap percobaan. Setelah pengoperasian motor dihentikan sementara untuk dilakukan pengukuran. Sebelum dilakukan pengukuran terlebih dahulu stator motor didinginkan dan pengaruh dari alat kontroller untuk pemberian kelembaban atau kontaminan juga dihentikan. Hal ini dimaksudkan agar pengaruh suhu yang tinggi pada belitan stator tidak mempengaruhi akurasi pengukuran.

Tabel 4.2 Hasil Percobaan Skema Pertama Motor Kelembaban

Periode Percobaan 1 x 6 jam	Suhu Chamber (°C)	Kelembaban Chamber (%)	Suhu Belitan (°C)	Suhu Alat Kontroller (°C)	Kelembaban Alat Kontroller (%)
Percobaan 1	58.0	49.4	> 70	36.4	57
Percobaan 2	56.2	46,6	> 70	48.5	27
Percobaan 3	55.1	48,8	> 70	48.0	30

Tabel 4.3 Hasil Percobaan Skema Pertama Motor Kontaminan

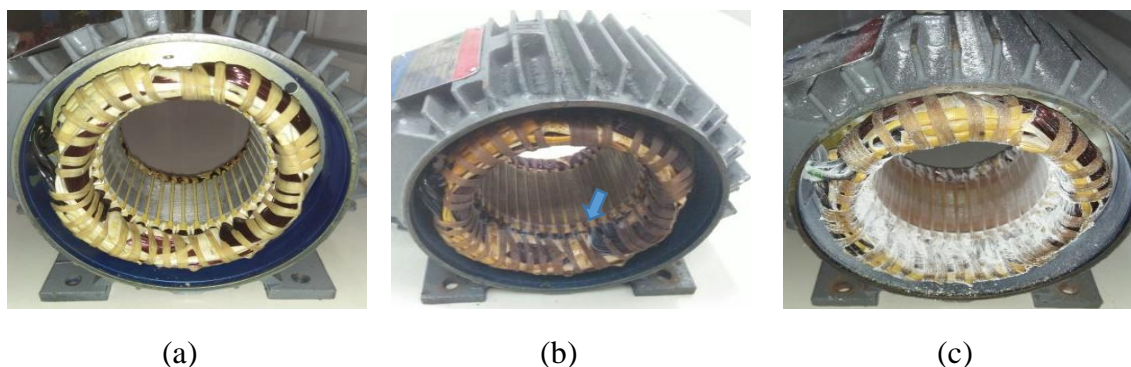
Periode Percobaan 1 x 6 jam	Suhu Chamber (°C)	Kelembaban Chamber (%)	Suhu Belitan (°C)	Suhu Alat Kontroller (°C)	Kelembaban Alat Kontroller (%)
Percobaan 1	54.1	49.2	> 70	45.6	31
Percobaan 2	51.1	55.0	> 70	43.6	27
Percobaan 3	52.1	51.9	> 70	38.1	36

4.2.1 Analisa Data Skema Percobaan Pertama

Dengan menggunakan skema yang pertama, motor induksi yang dipengaruhi oleh kelembaban atau kontaminan hanya di ambil datanya pada hasil akhir setelah proses mengoperasikan motor induksi tersebut selama sekitar 6 jam. Berdasarkan tabel 4.2 dan tabel 4.3 motor induksi dengan menambahkan kelembaban maupun kontaminan menunjukkan bahwa nilai dari hasil akhir selama 3 x percobaan suhu chamber paling tinggi yaitu 58.0 °C motor kelembaban; 54.1 °C motor kontaminan, dan kelembaban chamber paling tinggi adalah 49.4 % motor kelembaban; 55.0 % motor kontaminan. Akan tetapi pada panasnya belitan pada motor induksi melebihi dari batas peralatan range dari hygrometer yang hanya mampu membaca 70 °C. Sedangkan penempatan hygrometer pada toolbox alat kontroller mengindikasikan kalau pembacaan dari suhu dan kelembaban tersebut yang terukur adalah daerah dari sekitar panasnya alat power supply dari nebulizer yang dioperasikan selama sekitar 36 jam pengoperasian yang dilakukan, dikarenakan pembacaan tersebut melebihi suhu yang umumnya di daerah ruangan yaitu sekitar 27 - 33 °C dan kelembaban ruangan diantara 60 – 80 %. Hal itu bisa didukung dari gambar 4.1 yang menunjukkan selama proses running alat power supply tersebut mudah panas menyebabkan daerah sekitar alat kontroller nilai suhunya paling besar 48.5 °C motor kelembaban dan 45.6 °C motor kontaminan.



Gambar 4.1 Power Supply Nebulizer yang Mudah Panas selama Pengoperasian



Gambar 4.2 Kondisi Motor Induksi (A) Normal (B) Hasil Akhir dengan Menambahkan Kelembaban Skema Pertama (C) Hasil Akhir dengan Menambahkan Kontaminan Skema Pertama

Berdasarkan dari gambar 4.2 skema pertama dengan pembebanan 1200 watt beban penuh / fullload yang terbaca pada nilai arus melebihi sedikit dari spesifikasi nilai arus motor induksi pada tabel 3.1 yang pada tiap phasanya di ukur menggunakan tang amper meter sekitar phase R = 3.47 ampere; S = 3.49 ampere; T = 3.52 ampere; dan N = 1.05 ampere. Hal itu bisa dilihat bahwa dengan menambahkan kelembaban hanya menunjukkan adanya sedikit tanda kerak putih dari embun air yang hanya digosok pada tangan bisa sedikit memudar tanda dari kerak putih tersebut, dan filamen-filamen besi pada stator motor menunjukkan adanya mengalami sedikit lembab. Akan tetapi sedikit berbeda dengan menambahkan kontaminan yang menunjukkan adanya partikel-partikel putih dari kontaminasi garam (NaCl) dan juga filamen-filamen besi pada stator motor induksi terlihat agak mengalami sedikit korosi.

4.3 Skema Percobaan Kedua

4.3.1 Pengaruh Kelembaban dan Analisa Data

Pada skema ini, motor yang dipengaruhi dengan menambahkan kelembaban dioperasikan selama sekitar 6 jam tiap percobaan. Setelah itu pengaruh dari alat kontroller untuk pemberian kelembaban tetap dioperasikan kembali sampai kondisi stator motor dingin. Dengan demikian kondisi panas pada belitan akan saling bertabrakan dengan kondisi dingin agar mempercepat proses penuaan isolasi motor.

Tabel 4.4 Hasil Percobaan ke-4 Skema Kedua Motor Kelembaban

Percobaan 4 (30 – 40) menit	Suhu Chamber (°C)	Kelembaban Chamber (%)	Suhu Belitan (°C)	Suhu Alat Kontroller (°C)	Kelembaban Alat Kontroller (%)
Periode 1	38.1	78.6	> 70	38.8	47
Periode 2	41.8	71.1	> 70	40.4	40
Periode 3	45.8	61.6	> 70	42.5	37
Periode 4	49.5	60.5	> 70	44.0	32
Periode 5	51.5	56.6	> 70	45.4	30
Periode 6	50.8	57.7	> 70	46.4	28
Periode 7	52.2	54.4	> 70	47.1	27
Periode 8	53.3	51.7	> 70	50.0	24
Periode 9	54.4	50.0	> 70	51.7	21
Periode 10	54.3	50.2	> 70	49.3	21
Periode 11	54.0	42.9	> 70	43.2	21
Periode 12	52.4	40.4	> 70	49.2	20

Tabel 4.5 Hasil Percobaan ke-5 Skema Kedua Motor Kelembaban

Percobaan 5 (30 – 40) menit	Suhu Chamber (°C)	Kelembaban Chamber (%)	Suhu Belitan (°C)	Suhu Ruangan (°C)	Kelembaban Ruangan (%)
Periode 1	39.6	71.6	91.8	30.1	58
Periode 2	48.4	58.6	116	30.2	61
Periode 3	53.2	49.7	130	30.1	61
Periode 4	56.6	41.1	139	30.1	59
Periode 5	58.7	39.4	145	30.1	59
Periode 6	59.5	37.7	147	30.0	60
Periode 7	59.9	37.6	147	30.0	60
Periode 8	60.4	37.4	148	30.0	60
Periode 9	61.1	37.9	148	30.2	60
Periode 10	61.2	36.7	151	30.4	57
Periode 11	61.5	36.3	153	30.5	57
Periode 12	61.1	39.4	154	30.5	56

Tabel 4.6 Hasil Percobaan ke-6 Skema Kedua Motor Kelembaban

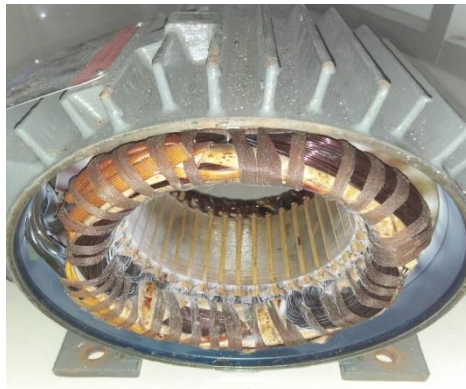
Percobaan 6 (30 – 40) menit	Suhu Chamber (°C)	Kelembaban Chamber (%)	Suhu Belitan (°C)	Suhu Ruangan (°C)	Kelembaban Ruangan (%)
Periode 1	37.7	75.0	85.1	29.5	66
Periode 2	47.4	60.7	120	29.8	66
Periode 3	52.0	51.8	132	30.0	66
Periode 4	56.9	42.3	143	30.2	65
Periode 5	57.7	39.7	150	30.4	64
Periode 6	59.4	39.8	148	30.4	64
*Periode 7	57.8	41.5	146	30.2	66

*Pada percobaan ke-6 periode 7 setelah durasi sekitar 3.5 jam pengoperasian, peralatan generator mengalami kehilangan eksitasi dc.

Dengan mengacu pada hasil dari skema yang pertama, menunjukkan bahwa pengaruh dari skema tersebut tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Oleh sebab itu pada skema yang kedua memberikan penambahan beban sebesar 300 watt yang menjadi total beban pada skema yang kedua 1500 watt. Namun demikian, jika menambahkan beban di lakukan berakibat dari semakin menurunnya kelembaban untuk mempengaruhi percepatan penuaan isolasi. Sehingga pada skema yang kedua ini, agar pengaruh dari kelembaban tidak kalah dominan oleh temperature yang meningkat, maka setelah pengoperasian selama 6 jam percobaan alat kontroller yang memberikan pengaruh kelembaban di operasikan agar proses perpindahan dari kondisi panas ke kondisi dingin saling berbenturan untuk mempercepat proses penuaan isolasi.

Berdasarkan dari tabel 4.4 pembacaan sensor suhu untuk mendeteksi suhu pada belitan motor induksi masih menggunakan hygrometer yang hanya membaca di range 70 °C. Dan juga pada tabel 4.4 dengan menambahkan kelembaban percobaan ke-4 peralatan hygrometer masih diletakkan pada toolbox alat kontroller. Sedangkan dimulai dari tabel 4.5 hingga tabel 4.6 alat hygrometer dipindahkan di daerah sekitar ruangan laboratorium tegangan tinggi agar yang di ukur pada percobaan seterusnya suhu dan kelembaban ruangan. Hal itu bisa dilihat bahwa pada tabel 4.5 dan tabel 4.6 suhu yang terukur yaitu suhu ruangan diantara 29 - 30 °C dan kelembaban ruangan diantara 50 – 70 %. Pada tabel 4.5 dan tabel 4.6 sensor suhu untuk belitan motor induksi sudah diganti dengan sensor suhu digital thermometer yang mampu hingga membaca suhu diatas range 200 °C. Dengan demikian kenaikan suhu yang tinggi pada belitan motor induksi bisa terukur pada

percobaan ke-5 hasil akhir selama pengoperasian yaitu 154 °C dan percobaan ke-6 bernilai 146 °C. Namun demikian pada percobaan ke-6 dengan menambahkan kelembaban, tiba-tiba saja peralatan generator kehilangan eksitasi dc pada waktu pengambilan data (30 – 40) menit periode ke-8 yang menyebabkan motor induksi masih tetap beroperasi, tetapi tidak dapat mengeluarkan tegangan output pada sisi generator yang digunakan. Sehingga pengujian tidak bisa dilanjutkan. untuk sementara waktu dilakukan perbaikan.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.3 Bentuk Fisik Motor dari (a) Percobaan 4 dengan Menambahkan Kelembaban Skema Kedua (b) Percobaan 5 dengan Menambahkan Kelembaban Skema Kedua (c) Percobaan 6 dengan Menambahkan Kelembaban Skema Kedua

Berdasarkan dari gambar 4.3 skema kedua dengan pembebanan 1500 watt mengindikasikan bahwa proses penuaan isolasi masih terlihat tidak terlalu signifikan proses kerusakan pada belitan dengan bentuk fisik dari belitan motor tersebut kecoklatan tua. Ada juga perbedaan dari proses percobaan ke-4 hingga ke-6 yang terdapat hanya dipercobaan ke-6 saja yang terlihat dominan terdapat bercak kerak putih titik embun yang mengelilingi hampir semua filamen dari belitan motor induksi.

4.3.2 Pengaruh Kontaminan dan Analisa Data

Pada skema kedua ini, motor yang dipengaruhi dengan menambahkan kontaminan cara mengoperasikannya hampir sama dengan skema kedua motor yang dipengaruhi dengan menambahkan kelembaban. Hanya saja penambahan kelembaban yang dihasilkan, disertai dengan kontaminasi kadar garam yang dilarutkan pada air menjadi uap melalui aplikasi dari peralatan nebulizer. Uap air yang dihasilkan nantinya akan didorong oleh blower ke arah belitan motor.

Tabel 4.7 Hasil Percobaan ke-4 Skema Kedua Motor Kontaminan

Percobaan 4 (30 – 40) menit	Suhu Chamber (°C)	Kelembaban Chamber (%)	Suhu Belitan (°C)	Suhu Ruangan (°C)	Kelembaban Ruangan (%)
Periode 1	40.9	77.6	> 70	30.6	66
Periode 2	48.5	64.8	> 70	30.8	58
Periode 3	53.1	56.3	> 70	30.9	59
Periode 4	56.7	50.0	> 70	31.1	56
Periode 5	59.5	44.9	> 70	31.3	57
Periode 6	61.3	41.5	> 70	31.4	57
Periode 7	61.4	40.3	> 70	31.4	56
Periode 8	60.4	42.2	> 70	31.4	56
Periode 9	61.5	40.4	> 70	32.9	54
Periode 10	61.3	41.8	> 70	32.3	54
Periode 11	58.2	44.5	> 70	32.4	55
Periode 12	60.4	40.8	> 70	31.2	57

Tabel 4.8 Hasil Percobaan ke-5 Skema Kedua Motor Kontaminan

Percobaan 5 (30 – 40) menit	Suhu Chamber (°C)	Kelembaban Chamber (%)	Suhu Belitan (°C)	Suhu Ruangan (°C)	Kelembaban Ruangan (%)
Periode 1	38.4	76.9	83.4	29.2	56
Periode 2	46.0	67.7	101	29.4	60
Periode 3	50.3	60.4	115	29.4	60
Periode 4	54.4	53.3	126	29.5	60
Periode 5	54.6	53.0	134	29.6	60
Periode 6	56.7	48.4	140	29.7	61
Periode 7	55.1	50.5	138	29.6	62
Periode 8	56.5	48.3	139	29.6	62
Periode 9	55.2	48.9	140	29.4	61
Periode 10	55.6	47.5	142	29.3	62
Periode 11	55.8	46.5	140	29.0	62
Periode 12	58.8	42.9	140	29.1	63

Tabel 4.9 Hasil Percobaan ke-6 Skema Kedua Motor Kontaminan

Percobaan 6 (30 – 40) menit	Suhu Chamber (°C)	Kelembaban Chamber (%)	Suhu Belitan (°C)	Suhu Ruangan (°C)	Kelembaban Ruangan (%)
Periode 1	40.4	68.3	82.8	30.2	56
Periode 2	48.6	57.2	112	30.4	55
Periode 3	53.6	50.4	133	30.4	55
Periode 4	56.7	45.4	135	30.5	56
Periode 5	59.7	41.8	140	30.5	56
Periode 6	61.2	40.5	146	30.5	56
Periode 7	61.4	41.5	147	30.5	61
Periode 8	61.4	40.4	150	30.5	64
Periode 9	61.4	38.4	151	30.5	65
Periode 10	61.3	38.6	149	30.5	66
Periode 11	61.3	38.8	150	30.5	67
Periode 12	61.3	38.6	150	30.6	67

Pada tabel 4.7 percobaan tersebut masih menggunakan sensor dari hygrometer untuk pembacaan suhu di belitan motor induksi. Akan tetapi, untuk pada tabel 4.8 dan tabel 4.9 sudah menggunakan sensor suhu dari digital thermometer yang sudah dapat terukur nilai dari suhu tertinggi pada percobaan ke-5 dengan menambahkan kontaminan yaitu 140 °C dan percobaan ke-6 dengan menambahkan kontaminan 151 °C mendekati

spesifikasi thermal isolasi motor induksi yang digunakan dengan jenis rotor sangkar tupai (squirrel cage). Kelas thermal isolasi dari belitan stator motor tersebut tergolong pada kelas F (155 °C). Adapun spesifikasi yang lebih lengkap dari kelas klasifikasi motor induksi yang digunakan dapat ditunjukkan pada tabel 2.1 sebelumnya.

Pada skema ini dengan pembebanan 1500 watt beban lebih / overload nilai arus yang terbaca pada motor induksi yaitu sekitar phase R = 4.15 ampere; S = 3.63 ampere; T = 4.14 ampere; dan N = 1.20 ampere mengindikasikan bahwa terdapat proses penuaan isolasi yang lebih cepat. Berikut ini adalah tampak bentuk fisik dari percobaan ke-4 hingga percobaan ke-6 yang dipengaruhi oleh kontaminan kadar garam :



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.4 Bentuk Fisik Motor dari (a) Percobaan 4 dengan Menambahkan Kontaminan Skema Kedua (b) Percobaan 5 dengan Menambahkan Kontaminan Skema Kedua (c) Percobaan 6 dengan Menambahkan Kontaminan Skema Kedua

Berdasarkan dari gambar 4.4 skema kedua pengaruh kontaminan dengan pembebanan 1500 watt mengindikasikan bahwa proses penuaan isolasi mengalami proses penuaan isolasi yang lebih dominan. Hal itu bisa dilihat dari percobaan ke-4 hingga ke-6 yang pada filamen besi mengalami korosi. Dapat dilihat juga bahwa bentuk belitan yang awalnya berwarna coklat muda menjadi berwarna coklat agak tua yang disebabkan oleh temperature tinggi yaitu diantara 82.8 – 150 °C selama proses pengoperasian.

4.4 Skema Percobaan Ketiga

4.4.1 Pengaruh Kelembaban dan Analisa Data

Pada skema ini, motor yang dipengaruhi dengan menambahkan kelembaban beroperasi selama sekitar 6 jam tiap percobaan. Kemudian dari alat kontroller untuk pemberian kelembaban tetap dioperasikan sampai kondisi stator dingin. Akan tetapi, sumber eksitasi dc internal genset mengalami kerusakan sehingga menggunakan power supply dc eksternal.

Tabel 4.10 Hasil Percobaan ke-7 Skema Ketiga Motor Kelembaban

Percobaan 7 (30 – 40) menit	Suhu Chamber (°C)	Kelembaban Chamber (%)	Suhu Belitan (°C)	Suhu Ruangan (°C)	Kelembaban Ruangan (%)
Periode 1	42.6	69.6	111	27.9	64
Periode 2	49.7	60.4	120	28.2	63
Periode 3	52.4	53.4	127	28.3	63
Periode 4	Tak terukur	Tak terukur	Tak terukur	Tak terukur	Tak terukur
Periode 5	Tak terukur	Tak terukur	Tak terukur	Tak terukur	Tak terukur
Periode 6	57.1	45.2	150	28.6	61
Periode 7	56.9	44.0	154	28.4	61
Periode 8	58.2	43.5	154	29	60
Periode 9	58.7	43.2	154	28.8	60
Periode 10	58.7	44.4	155	29.1	59
Periode 11	59.2	43.4	155	29.1	58
Periode 12	59.7	42.6	156	29.5	58

Tabel 4.11 Hasil Percobaan ke-8 Skema Ketiga Motor Kelembaban

Percobaan 8 (30 – 40) menit	Suhu Chamber (°C)	Kelembaban Chamber (%)	Suhu Belitan (°C)	Suhu Ruangan (°C)	Kelembaban Ruangan (%)
Periode 1	38.5	80.2	79.1	29.9	64
Periode 2	46.4	73.9	103	30.1	61
Periode 3	50.8	63.1	111	30.2	60
Periode 4	55.4	52.6	120	30.3	61
Periode 5	55.8	51.8	123	30.8	63
Periode 6	56.8	48.1	125	30.5	62
Periode 7	Tak terukur	Tak terukur	Tak terukur	Tak terukur	Tak terukur
Periode 8	Tak terukur	Tak terukur	Tak terukur	Tak terukur	Tak terukur
Periode 9	58.9	45.6	126	31.0	64
Periode 10	59.2	44.5	127	31.1	63
Periode 11	59.7	44.1	130	31.1	64
Periode 12	61.0	41.2	130	30.9	64

Tabel 4.12 Hasil Percobaan ke-9 Skema Ketiga Motor Kelembaban

Percobaan 9 (30 – 40) menit	Suhu Chamber (°C)	Kelembaban Chamber (%)	Suhu Belitan (°C)	Suhu Ruangan (°C)	Kelembaban Ruangan (%)
Periode 1	39.2	70.9	82.3	28.9	68
Periode 2	47.1	61.5	101	29.1	69
Periode 3	54.0	51.2	113	29.3	71
Periode 4	58.9	43.1	126	29.5	72
Periode 5	61.4	39.7	126	30.4	72
Periode 6	61.5	39.2	137	30.4	72
Periode 7	61.5	38.5	125	30.4	74
Periode 8	61.4	37.6	138	30.4	72
Periode 9	61.4	36.8	136	30.4	74
Periode 10	61.5	36.8	141	30.4	73
Periode 11	61.5	36.0	143	30.3	74
Periode 12	61.5	36.1	145	30.4	71

Tabel 4.13 Hasil Percobaan ke-10 Skema Ketiga Motor Kelembaban

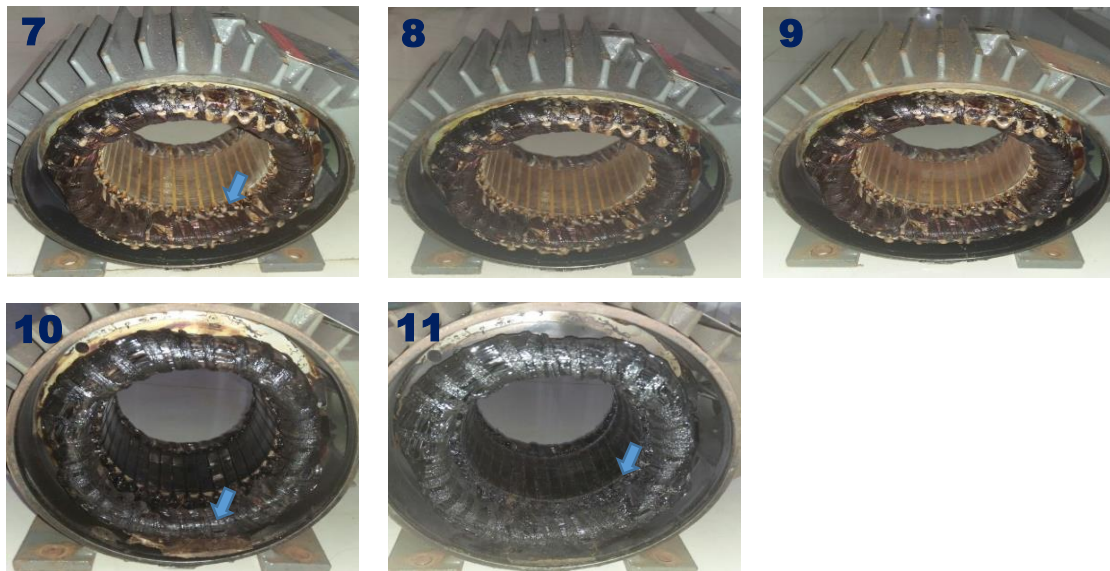
Percobaan 10 (30 – 40) menit	Suhu Chamber (°C)	Kelembaban Chamber (%)	Suhu Belitan (°C)	Suhu Ruangan (°C)	Kelembaban Ruangan (%)
Periode 1	51.3	52.8	116	30.7	65
Periode 2	56.0	45.1	Tak terukur	30.9	67
Periode 3	58.1	44.7	134	30.9	67
Periode 4	59.9	43.9	149	31	66
Periode 5	59.2	44.7	150	31.1	69
Periode 6	59.5	45.3	148	30.9	70
Periode 7	60.5	44.6	150	30.8	69
Periode 8	60.6	44.4	155	30.9	67
Periode 9	60.8	44.5	155	30.6	67
Periode 10	61.1	44.3	156	30.8	67
Periode 11	61.1	44.0	158	30.6	67
Periode 12	60.9	45.0	151	30.5	68

Tabel 4.14 Hasil Percobaan ke-11 Skema Ketiga Motor Kelembaban

Percobaan 11 (30 – 40) menit	Suhu Chamber (°C)	Kelembaban Chamber (%)	Suhu Belitan (°C)	Suhu Ruangan (°C)	Kelembaban Ruangan (%)
Periode 1	42.2	64.9	84.1	30.5	48
Periode 2	58.4	36.0	117	33.1	45
Periode 3	61.4	28.2	135	35.4	42
Periode 4	61.4	25.8	159	36.0	42
Periode 5	61.4	24.6	178	35.7	42
Periode 6	61.4	24.8	194	36.1	42

Dengan mengacu pada data seluruh hasil percobaan skema ketiga yang diberi pembebanan 1800 watt mengindikasikan bahwa proses penuaan isolasi lebih cepat terjadi kerusakan. Pada percobaan skema ketiga ini, pernah mengalami tidak dapat terukur dikarenakan adanya getaran yang lumayan kencang, sehingga pembacaan pada sensor ada yang terlepas dan juga pembacaan dari sensor lainnya berjalan-jalan / tidak stabil sehingga agak sulit untuk diambil data buat referensi. Dengan menaikkan beban 1800 watt, skema dari naiknya nilai temperature pada belitan motor induksi hampir sama dengan beban 1500 watt. Akan tetapi proses untuk mencapai nilai di range 150 °C yang mendekati standard thermal isolasi motor kelas F lebih cepat yaitu pada (30 – 40) menit ke-6 pada percobaan 7; menit ke-5 percobaan 10; dan menit ke-4 percobaan 11. Dapat terukur jika nilai dari hasil akhir suhu belitan motor induksi masing-masing percobaan yaitu: percobaan ke-7 = 156 °C; percobaan ke-8 = 130 °C; percobaan ke-9 = 145 °C; percobaan ke-10 = 151 °C; dan percobaan ke-11 = 194 °C. Pada tabel 4.14 merupakan data percobaan terakhir dari pengaruh kelembaban yang mengalami kecenderungan stabil pada suhu chamber diantara 61.4 °C dan kelembaban chamber diantara 24 - 28 %.

Pada percobaan ke-11 merupakan data yang terpenting untuk mendeteksi dini, jika terjadinya gejala – gejala kerusakan akibat hubung singkat pada belitan. Dengan diawali adanya getaran pada ruang chamber yang disebabkan oleh motor induksi makin lama makin kencang. Dan juga diiringi pula akan adanya asap hitam dari motor yang memenuhi ruangan chamber hingga menguap juga di sekitar ruangan. Hal itu bisa terbaca juga pada alat ukur hygrometer sebesar 36.1 °C suhu sekitar ruangan. Beserta juga terdeteksi suhu belitan motor sekitar 30 menit sebelum terjadinya hubung singkat sebesar 178 °C, dan hasil akhir suhu dari motor jika mengalami hubung singkat sebesar 194 °C.



Gambar 4.5 Bentuk Fisik dari Kondisi Motor Seluruh Percobaan Skema Ketiga dengan Menambahkan Kelembaban

Berdasarkan dari gambar 4.5 skema ketiga dengan menambahkan kelembaban mengindikasikan bahwa proses penuaan isolasi mengalami proses kerusakan yang besar. Hal itu bisa dilihat dari percobaan ke-7 hingga ke-9 yang pada awalnya pada skema pertama dan kedua banyaknya tanda kerak putih hanya terdapat sedikit di ujung filamen besi. Namun demikian pada percobaan ke-7 sampai percobaan ke-9 mulai timbul dengan adanya lelehan-lelehan dari semacam perekat lapisan isolasi dari belitan tembaga. Hal itu bisa diakibatkan oleh proses tabrakannya dari kondisi panas dengan kondisi dingin yang merusakkan perekat dari belitan tembaga tersebut.

Akan tetapi berbeda dengan kondisi motor induksi pada percobaan ke-10 dan percobaan ke-11 yang secara bentuk fisik mengalami bentuk fisik lebih hitam dengan perekatnya mulai mencair dan jatuh dibawah daerah lingkaran besi stator. Walaupun bentuk fisik yang mulai menghitam pada percobaan ke-10 motor induksi masih bisa dioperasikan kembali pada percobaan yang ke-11 hingga lamanya pengoperasian motor sekitar 3 jam saja yang setelah itu motor mengeluarkan asap hitam dan mengetrikan proteksi dari pada panel tegangan rendah di laboratorium tegangan tinggi. Dengan demikian mengindikasikan bahwa motor induksi mengalami hubung singkat antar belitan. Hal itu bisa di mungkinkan dengan adanya patahan / retakan pada belitannya yang dilihat dari bentuk fisik motor pada percobaan yang ke-11 sangat hitam.

4.4.2 Pengaruh Kontaminan dan Analisa Data

Pada skema ini, motor yang dipengaruhi dengan menambahkan kontaminan dioperasikan selama sekitar 6 jam tiap percobaan. Hanya saja pengaruh dari alat kontroller untuk pemberian kontaminan tetap dioperasikan sampai kondisi stator dingin agar proses penuaan isolasi lebih cepat. Tetapi pada skema ini, sumber eksitasi dc internal genset mengalami kerusakan sehingga menggunakan power supply dc eksternal.

Tabel 4.15 Hasil Percobaan ke-7 Skema Ketiga Motor Kontaminan

Percobaan 7 (30 – 40) menit	Suhu Chamber (°C)	Kelembaban Chamber (%)	Suhu Belitan (°C)	Suhu Ruangan (°C)	Kelembaban Ruangan (%)
Periode 1	39.7	68.4	88.4	29.6	74
Periode 2	49.0	58.4	125	29.8	75
Periode 3	55.3	48.5	138	30.0	73
Periode 4	61.4	38.9	150	30.1	71
Periode 5	61.4	37.7	151	30.2	70
Periode 6	61.4	38.1	150	31.4	69
Periode 7	61.4	38.3	151	31.1	68
Periode 8	61.4	38.9	153	31.0	66
Periode 9	61.4	36.2	154	31.1	64
Periode 10	61.4	34.9	154	32.0	51
Periode 11	61.4	34.3	155	33.2	51
Periode 12	61.3	33.9	157	31.9	59

Tabel 4.16 Hasil Percobaan ke-8 Skema Ketiga Motor Kontaminan

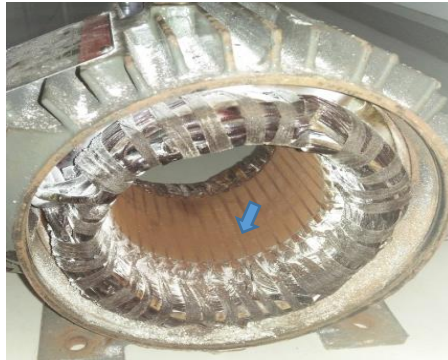
Percobaan 8 (30 – 40) menit	Suhu Chamber (°C)	Kelembaban Chamber (%)	Suhu Belitan (°C)	Suhu Ruangan (°C)	Kelembaban Ruangan (%)
Periode 1	37.5	76.4	84.2	27.4	85
Periode 2	44.4	67.4	116	27.9	84
Periode 3	49.4	62.0	135	28.1	87
Periode 4	53.2	55.6	146	28.7	89
Periode 5	56.8	51.0	157	28.9	86
Periode 6	56.5	54.9	158	28.8	87
Periode 7	56.6	54.2	160	28.8	90
Periode 8	57.1	48.5	162	28.7	89
Periode 9	57.6	47.4	162	28.5	87
Periode 10	57.7	47.6	164	28.5	85
Periode 11	58.5	46.5	164	28.7	83
Periode 12	58.5	46.3	165	30.8	80

Tabel 4.17 Hasil Percobaan ke-9 Skema Ketiga Motor Kontaminan

Percobaan 9 (30 – 40) menit	Suhu Chamber (°C)	Kelembaban Chamber (%)	Suhu Belitan (°C)	Suhu Ruangan (°C)	Kelembaban Ruangan (%)
Periode 1	40.8	71.4	96.8	28.7	71
Periode 2	48.6	60.2	130	29.9	73
Periode 3	52.9	52.7	127	32.1	69
Periode 4	55.3	47.4	135	33.4	63
Periode 5	57.6	45.6	144	34.1	59
Periode 6	61.3	36.6	161	34.7	56
Periode 7	61.3	33.8	167	34.9	56
Periode 8	61.3	32.3	169	35.3	51
Periode 9	61.5	31.7	197	35.9	48

Berdasarkan data tabel seluruh hasil percobaan skema ketiga dengan pembebanan 1800 watt pengaruh kontaminan mengindikasikan bahwa proses penuaan isolasi lebih cepat terjadi kerusakan antar belitan. Pada skema ini, tepatnya pada percobaan yang ke-7 dan ke-8 belitan pada motor induksi nilai temperaturnya mendekati angka 150 °C hanya pada (30-40) menit ke-4 yang mendekati standard thermal isolasi motor kelas F. Nilai tertinggi pada belitan yaitu mencapai 157 °C percobaan ke-7; 165 °C percobaan ke-8; dan 197 °C percobaan ke-9 yang rata-rata dari percobaan skema ke-3 ini sudah melewati batas aman yang direkomendasikan pada motor jenis kelas F 155 °C.

Pada tabel 4.17 merupakan data yang terpenting, dikarenakan merupakan informasi dini untuk mendeteksi dari gejala-gejala awal kerusakan motor dengan menambahkan kontaminan yang mengalami kecenderungan stabil pada suhu chamber diantara 61.3 °C dan kelembaban chamber diantara 31 - 33 %. Tanda-tanda proses terjadinya kerusakan pada belitan, diawali dengan adanya getaran yang dihasilkan pada motor induksi selama pengoperasian yang suaranya makin kencang, dan mengeluarkan bau yang menyengat akibat perpaduan dari bau kontaminasi kadar garam dan panas di belitan. Dan juga tidak lama setelah gejala awal tersebut, adanya asap hitam yang keluar dari motor memenuhi ruangan chamber hingga menguap juga di area sekitar. Hal itu bisa terbaca juga pada alat ukur hygrometer yang ikut naik sebesar 35.9 °C suhu sekitar ruangan. Beserta juga terdeteksi suhu belitan motor sekitar 30 menit sebelum terjadinya hubung singkat sebesar 169 °C, dan hasil akhir suhu dari motor jika mengalami hubung singkat sebesar 197 °C.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.6 Bentuk Fisik Motor dari (a) Percobaan 7 dengan Menambahkan Kontaminan Skema Ketiga (b) Percobaan 8 dengan Menambahkan Kontaminan Skema Ketiga (c) Percobaan 9 dengan Menambahkan Kontaminan Skema Ketiga

Berdasarkan dari gambar 4.6 skema ketiga dengan menambahkan kontaminan mengindikasikan bahwa proses penuaan isolasi mengalami proses kerusakan yang besar. Hal itu bisa dilihat dari percobaan ke-7 yang pada filamen besinya semakin korosi. akan tetapi partikel-partikel putih dari kadar garamnya semakin berkurang di belitan. Pada percobaan yang ke-8 belitan tembaga semakin tampak coklat tua mengelilinginya di area lingkaran pada stator motor, beserta adanya bercak warna orange di isolasi belitan tersebut. Namun demikian berbeda dengan percobaan ke-9 partikel-partikel putih dari kadar garam berubah menjadi serbuk dominan berwarna hitam yang diakibatkan oleh sangat panasnya belitan stator mencapai $197\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pada percobaan ini, motor hanya beroperasi selama 4.5 jam saja. Setelah itu motor bergetar semakin lama makin kencang dengan mengeluarkan asap hitam dan tidak lama setelah itu mengetrikan proteksi dari pada panel tegangan rendah di laboratorium yang mengindikasikan bahwa motor induksi mengalami hubung singkat antar belitan.

4.5 Hasil dan Analisa Pengujian Nilai Resistansi dan Induktansi

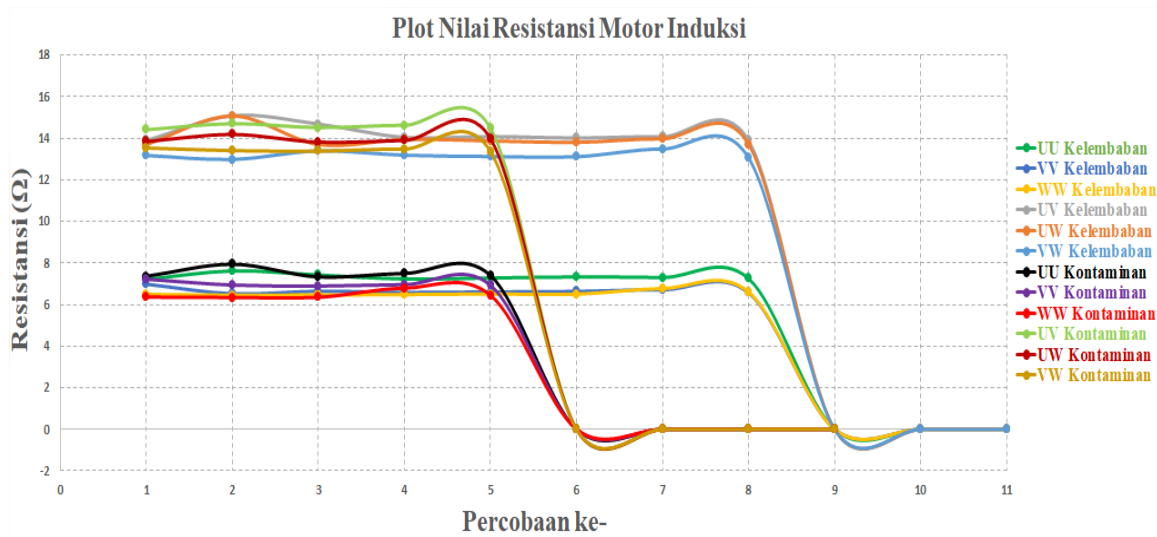
Pada pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai resistansi dan induktansi belitan, serta pengaruhnya pada frekuensi isolasi yang terbentuk akibat gelombang yang dibangkitkan pada surja . Berdasarkan rumus frekuensi resonansi, sebagai berikut :

$$fr = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{1}{LC}\right)} \quad (4.1)$$

Dari persamaan tersebut, nilai frekuensi resonansi bergantung pada nilai C dan nilai L. Sedangkan nilai C peralatan surja selalu sama yaitu sebesar 10 nf maka dilakukan pengambilan pada nilai Leq belitan motor induksi menggunakan LCR meter.

Tabel 4.18 Hasil Pengujian Nilai Resistansi

Nilai resistansi motor induksi yang dipengaruhi dengan menambahkan kelembaban (Ω)						
Pengujian	UU	VV	WW	UV	UW	VW
P1	7.21	6.98	6.49	13.89	13.70	13.17
P2	7.62	6.52	6.45	15.08	15.07	12.98
P3	7.42	6.64	6.46	14.68	13.70	13.39
P4	7.23	6.58	6.48	14.04	13.94	13.18
P5	7.28	6.61	6.51	14.08	13.87	13.12
P6	7.33	6.63	6.50	14.01	13.80	13.11
P7	7.30	6.71	6.77	14.07	13.97	13.48
P8	7.25	6.57	6.61	13.89	13.71	13.06
P9	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil
P10	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil
P11	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil
Nilai resistansi motor induksi yang dipengaruhi dengan menambahkan kontaminan (Ω)						
Pengujian	UU	VV	WW	UV	UW	VW
P1	7.36	7.22	6.36	14.41	13.84	13.53
P2	7.94	6.94	6.34	14.70	14.18	13.40
P3	7.33	6.89	6.35	14.51	13.81	13.38
P4	7.50	6.96	6.79	14.62	13.89	13.48
P5	7.40	6.93	6.45	14.48	13.98	13.36
P6	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil
P7	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil
P8	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil
P9	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil	Tak stabil



Gambar 4.7 Grafik Plot Nilai Resistansi Motor Induksi



Gambar 4.8 (a) Pengujian Nilai Resistansi dan Induktansi Perphase
(b) Pengujian Nilai Resistansi dan Induktansi Antar Phase

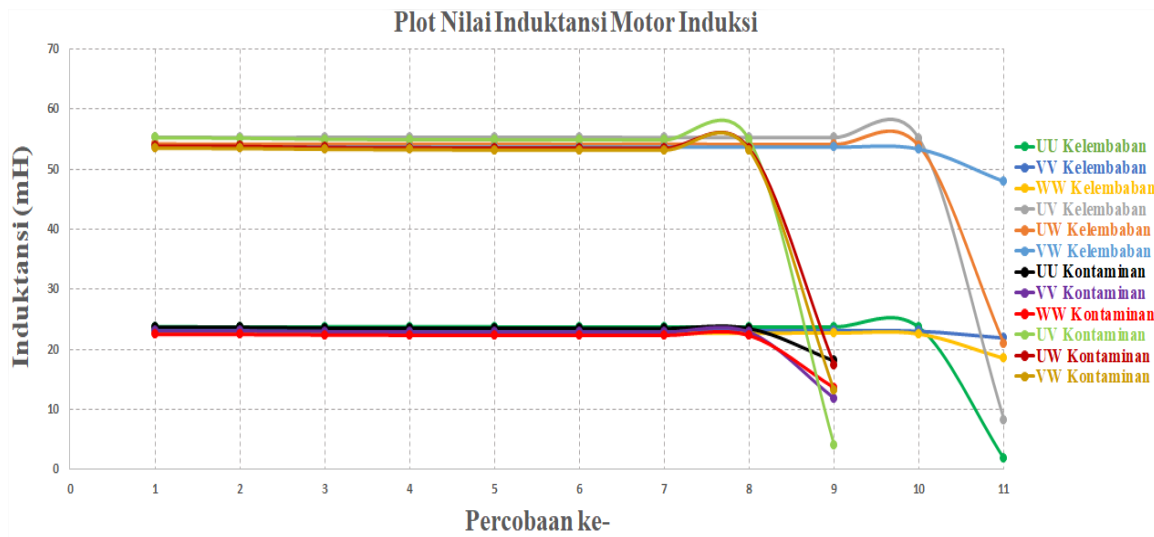
Pada gambar 4.8 merupakan pengujian dari nilai resistansi dan juga induktansi belitan motor induksi. Pengujian ini, diharuskan rotor pada motor induksi harus dilepas agar tidak adanya pengaruh flux rotor supaya pengujian nilai dari R dan L pada belitan motor induksi lebih akurat. Untuk nilai R dan L diukur pada sambungan perphase dan juga sambungan antar phase yang dimana diperlukan konektor tembaga lagi untuk menghubungkan kedua belitan yang ditunjukkan pada gambar 4.8 (b).

Dari tabel 4.18 dapat dilihat bahwa untuk pengujian nilai resistansi pada belitan motor induksi dalam kondisi normal yang dipengaruhi dengan menambahkan kelembaban maupun kontaminan bisa diukur berapa nilai resistansinya yang cenderung hanya berubah pada awal pengujian yang pertama saja yang mengalami peningkatan nilai lumayan besar. Namun demikian pada pengujian yang ke-2 sampai pengujian ke-8 untuk pengaruh kelembaban dan sampai pengujian ke-5 untuk pengaruh kontaminan hanya bisa

diukur berapa nilai resistansi yang cenderung mengalami perubahan nilai sangat kecil yaitu diantara 0 – 1.3 Ω yang menunjukkan tidak adanya pengaruh yang signifikan. Akan tetapi, pada pengujian yang ke-9 sampai pengujian ke-11 pengaruh kelembaban dan pada pengujian ke-6 sampai pengujian ke-9 pengaruh kontaminan nilai dari resistansi keduanya tersebut sangat tidak beraturan / tidak stabil yang setiap berapa detik nilainya berubah – ubah sehingga sangat sulit untuk dijadikan referensi data pengujian. Hal itu bisa di sebabkan oleh adanya kondisi belitan motor induksi yang sudah mulai mengalami penuaan isolasi yang diakibatkan oleh pengaruh kelembaban tinggi dan juga pengaruh dari kontaminasi kadar garam.

Tabel 4.19 Hasil Pengujian Nilai Induktansi

Nilai induktansi motor induksi yang dipengaruhi dengan menambahkan kelembaban (mH)						
Pengujian	UU	VV	WW	UV	UW	VW
P1	23.77	23.18	22.74	55.35	54.22	53.74
P2	23.72	23.16	22.71	55.28	54.17	53.69
P3	23.74	23.17	22.70	55.31	54.19	53.70
P4	23.75	23.15	22.72	55.33	54.18	53.70
P5	23.74	23.15	22.72	55.30	54.18	53.68
P6	23.73	23.15	22.69	55.31	54.15	53.68
P7	23.73	23.15	22.70	55.29	54.17	53.66
P8	23.73	23.14	22.69	55.27	54.14	53.67
P9	23.73	23.13	22.70	55.27	54.12	53.66
P10	23.63	23.01	22.54	55.03	53.83	53.35
P11	1.76	21.86	18.47	8.22	20.88	47.94
Nilai induktansi motor induksi yang dipengaruhi dengan menambahkan kontaminan (mH)						
Pengujian	UU	VV	WW	UV	UW	VW
P1	23.68	23.02	22.48	55.24	53.86	53.49
P2	23.65	23.01	22.46	55.18	53.81	53.45
P3	23.54	22.94	22.39	54.99	53.62	53.31
P4	23.51	22.89	22.34	54.92	53.58	53.23
P5	23.50	22.87	22.34	54.90	53.53	53.20
P6	23.49	22.87	22.32	54.89	53.51	53.18
P7	23.47	22.85	22.32	54.85	53.49	53.16
P8	23.45	22.84	22.30	54.85	53.46	53.13
P9	18.05	11.82	13.57	3.94	17.41	13.08



Gambar 4.9 Grafik Plot Nilai Induktansi Motor Induksi

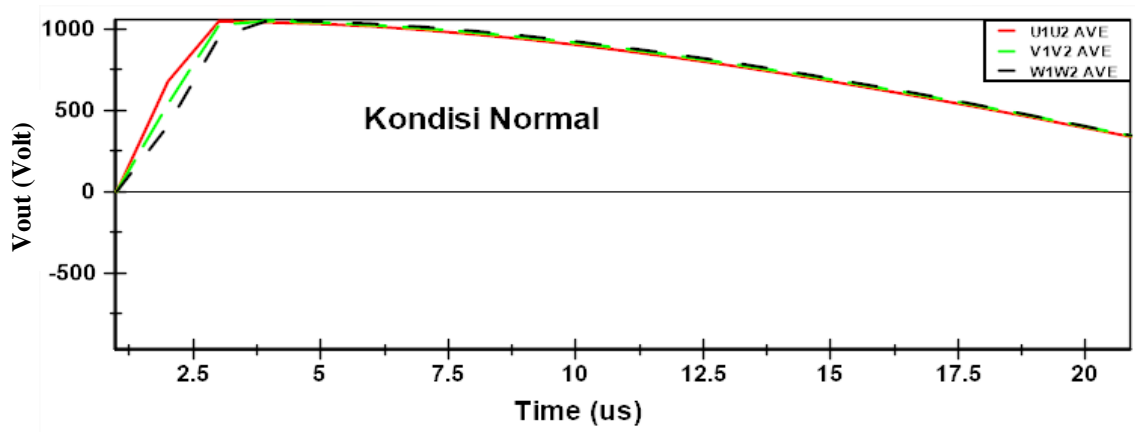
Berdasarkan dari tabel 4.19 dapat dilihat bahwa untuk pengujian nilai induktansi pada belitan motor induksi dalam kondisi normal yang dipengaruhi oleh kelembaban maupun kontaminan bisa diukur semua sampai kondisi rusak. Akan tetapi untuk mendeteksi track record perubahan tanda-tanda akan adanya mulai mengalami kerusakan / patahan di filamen pada belitan motor induksi tidak dapat di ketahui. Hal itu dikarenakan tidak adanya perubahan nilai yang sangat signifikan dari awal kondisi normal hingga pengujian sehari sebelum terjadi kerusakan dengan nilai yang terukur hampir sama. Namun demikian jika terjadi patahan pada belitan motor induksi, dapat terukur dengan menunjukkan perubahan nilai yang turun drastis pada pengaruh kelembaban yaitu nilai terkecil 1.76 mH dan nilai terkecil pengaruh kontaminan 3.94 mH.

4.6 Pengujian Pada Test Surja

Pada pengujian ini dilakukan terhadap test gelombang surja yang dibangkitkan, kemudian di analisa gelombang surja yang dibangkitkan untuk mengetahui nilai rise time dan tegangan puncak dari gelombang surja yang dihasilkan. Selama proses pengujian ini, motor induksi tanpa rotor dengan nilai kapasitor surja sebesar 10 nf yang digunakan.

4.6.1 Pengujian Rise Time Gelombang Surja

Proses pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai rise time dari gelombang surja yang dibangkitkan. Nilai rise time dari gelombang surja digunakan untuk menentukan berapa nilai tegangan yang harus digunakan menurut standat IEEE 522. Berdasarkan hasil pengujian pada gambar 4.10 didapatkan nilai rise time yaitu sebesar 2,94 μ s rise time :



Gambar 4.10 Hasil Pengujian Rise Time Gelombang Surja Motor Kondisi Normal

Dari gambar 4.10 menunjukkan bahwa pengujian rise time pada motor induksi tanpa rotor, yang diambil dari belitan perphase sebanyak 3 kali pengujian. Kemudian hasil dari rata-rata tersebut dijadikan acuan untuk menghasilkan rise time. Berdasarkan standar IEEE 522 untuk rise time dengan nilai lebih besar dari 1,2 μ s maka tegangan yang digunakan adalah 5 p.u. dan maksimal tegangan yang diperbolehkan adalah sebesar 75% dari tegangan uji. Sehingga nilai tegangan uji yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned}
 V_{uji} &= 5 \times \sqrt{2/3} \times V_{LL} \\
 &= 5 \times \sqrt{2/3} \times 380 \\
 V_{uji} &= 1551V \times 75\% \\
 V_{uji} &= 1163V
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

Untuk keamanan dari isolasi rangkaian test surja , maka tegangan uji yang digunakan adalah sebesar 1100 V.

4.6.2 Pengujian Tegangan Puncak Gelombang Surja

Pada pengujian tegangan puncak gelombang surja dilakukan untuk memastikan bahwa nilai tegangan puncak sesuai dengan nilai tegangan uji yang ingin dibangkitkan. Tegangan uji yang digunakan adalah sebesar 1100 V. Berdasarkan dari gambar 4.8 dapat dilihat juga untuk nilai dari tegangan puncak gelombang surja ternyata kurang dari 1100 V, yaitu hanya sekitar 1040 Volt. Oleh karena itu dilakukan kembali pengujian sebanyak 5 kali untuk memastikan nilai rata-rata dari tegangan puncak yang terukur.

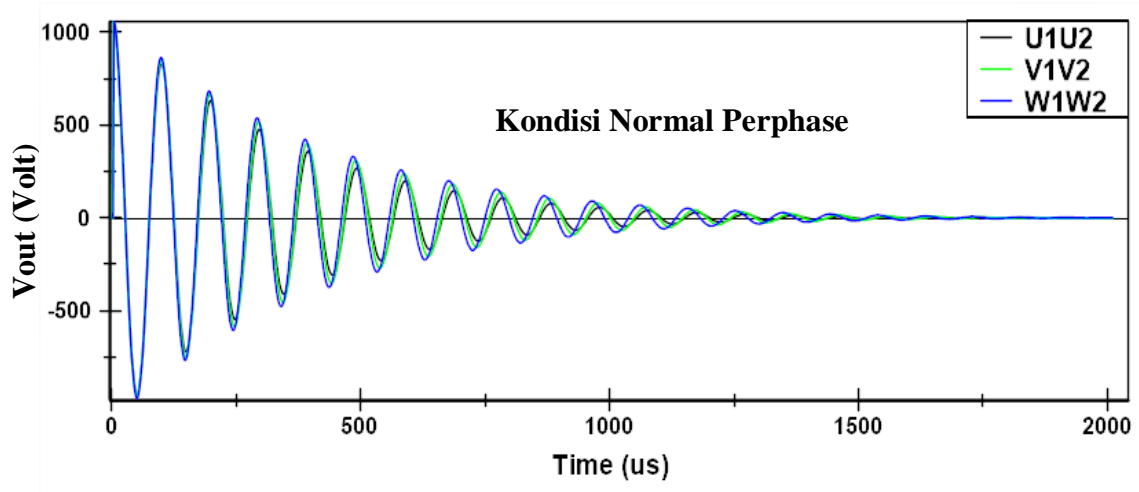
Tabel 4.20 Hasil Pengujian Tegangan Puncak Gelombang Surja

Pengujian Ke-	Tegangan Puncak Gelombang Surja (Volt)
1	1038
2	1026
3	1034
4	1041
5	1033

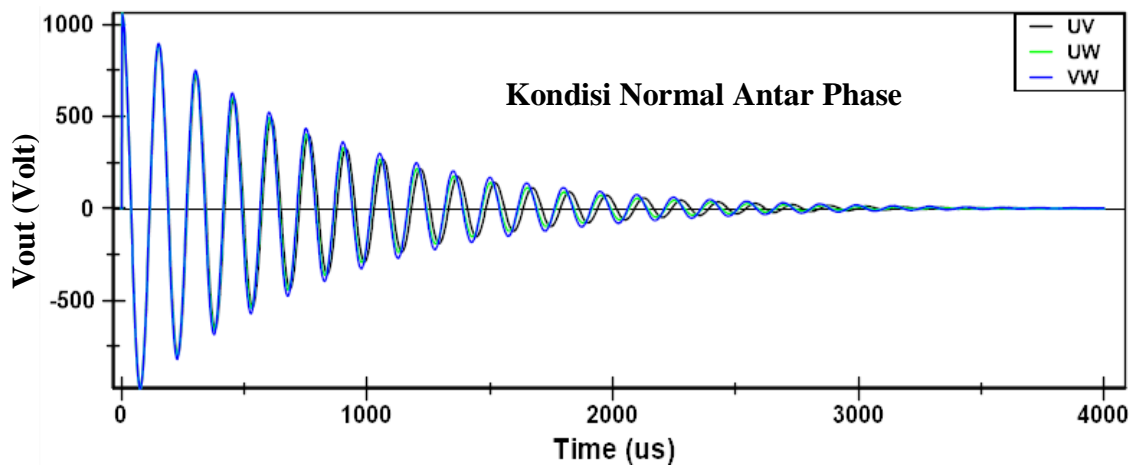
Dari pengambilan data sebanyak 5 kali didapatkan bahwa hasil tegangan puncak memiliki range nilai antara 1026 V sampai 1041 V. Berkurangnya nilai tegangan ini dapat disebabkan karena adanya rugi-rugi pada belitan stator dan rugi-rugi pada rotor.

4.7 Hasil dan Analisa Pengujian Nilai EAR Kondisi Normal

Berdasarkan hasil pengujian test surja bisa didapatkan nilai EAR luasan area perphase dan antar phase. Untuk melihat perbedaan luasan, pada penelitian ini digunakan dua analisis yaitu *test ref* EAR dan *Line to line* EAR. Pengujian test surja pada motor induksi dengan kondisi normal bertujuan untuk mengetahui nilai referensi awal sebagai acuan untuk diagnosa kerusakan motor induksi dengan menggunakan pengujian test surja. Pengujian test surja dilakukan sebanyak 3 kali dalam kondisi motor induksi normal. Kemudian nilai EAR di dapat dari hasil rata - rata pengujian tersebut sebagai batasan nilai (*threshold*) nilai EAR disaat motor induksi kondisi normal. Berikut ini hasil pengukuran luasan gelombang nilai EAR yang telah terbentuk disetiap skema percobaan yang telah dilakukan.



Gambar 4.11 Gelombang Surja Perphase untuk Kondisi Motor Normal



Gambar 4.12 Gelombang Surja Antar Phase untuk Kondisi Motor Normal

Tabel 4.21 Pengujian Test-Ref EAR untuk Motor Induksi Kondisi Normal

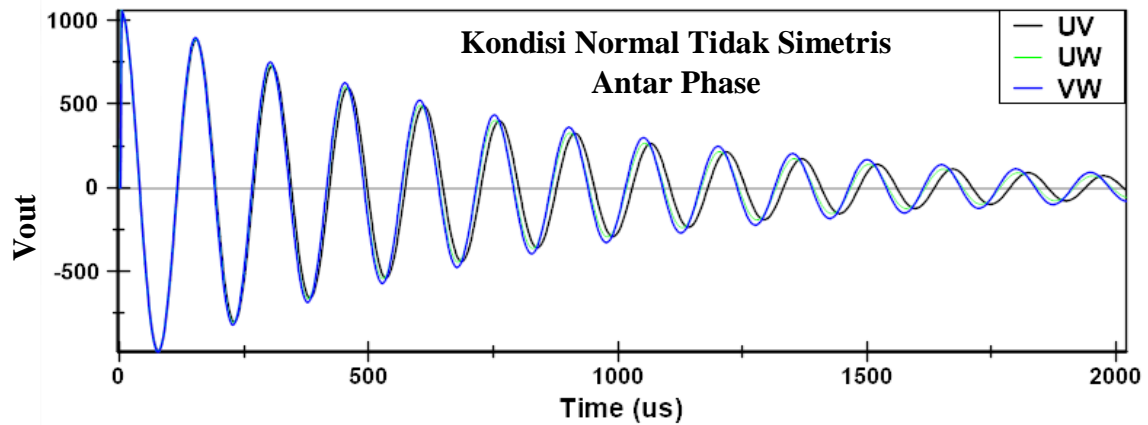
Test-ref EAR kondisi normal yang dipengaruhi dengan menambahkan kelembaban (%)			
Phase	MIN	AVG	MAX
U1U2	3.718	5.252	7.828
V1V2	0.222	1.317	1.877
W1W2	0.750	2.630	3.892
Test-ref EAR kondisi normal yang dipengaruhi dengan menambahkan kontaminan (%)			
Phase	MIN	AVG	MAX
U1U2	0.827	2.134	3.080
V1V2	0.309	0.801	1.195
W1W2	1.620	2.106	3.026

Berdasarkan dari tabel diatas dapat di analisa bahwa pada keadaan normal, *threshold* dari sebuah nilai EAR pada phase V1V2 yang dipengaruhi dengan menambahkan kelembaban berkisar pada 1.317 %. Artinya, jika pada phase V1V2 diuji dan memiliki nilai Test-ref EAR dibawah nilai 1.317 %, maka phase tersebut dapat didiagnosa masih dalam keadaan baik. Namun, menurut Baker Instrument nilai *threshold* untuk Test-ref EAR pada motor dalam kondisi normal berkisar 15 %. Jika lebih dari 15 %, maka motor dapat didiagnosa mengalami gangguan atau terjadi kerusakan. Sedangkan untuk EAR phase V1V2 yang dipengaruhi dengan menambahkan kontaminan berkisar 0.801 %.

Tabel 4.22 Pengujian Line to Line EAR untuk Motor Induksi Kondisi Normal

Line to line EAR kondisi normal yang dipengaruhi dengan menambahkan kelembaban (%)			
Phase	MIN	AVG	MAX
UVUW	18.264	31.128	37.855
UWVW	7.012	7.764	9.390
VWUV	36.943	37.701	38.754
Line to line EAR kondisi normal yang dipengaruhi dengan menambahkan kontaminan (%)			
Phase	MIN	AVG	MAX
UVUW	39.089	39.864	40.306
UWVW	6.352	7.072	7.788
VWUV	42.362	42.838	43.152

Dengan mengacu pada data line to line EAR diatas menunjukkan hasil pengujian L-L EAR motor induksi pada keadaan normal. Dari data tersebut dapat dilihat untuk L-L EAR memiliki nilai maksimal yang lebih besar dari 10 % pada phase UVUW dan VWUV yang karena pada perbandingan bentuk gelombang surja diantara kedua tersebut tidak identik / simetris. Hal ini disebabkan oleh nilai induktansi antar phase yang berbeda, sehingga gelombang surja antar phase yang dihasilkan bernilai sangat besar. Untuk acuan line to line EAR yang digunakan sebagai dasar menentukan kerusakan motor induksi yaitu pada phase UWVW pengaruh kelembaban di antara 7.764 % dan pengaruh kontaminan di antara 7.072 % karena perbandingan dari kedua phase tersebut identik. Nilai diatas sudah memenuhi dari rekomendasi Baker yang merekomendasikan nilai L-L EAR dibawah 15 %.



Gambar 4.13 Bentuk Gelombang Surja Tidak Simetris Antar Phase

4.8 Hasil dan Analisa Nilai Test Ref EAR Pengujian Surja Motor Induksi

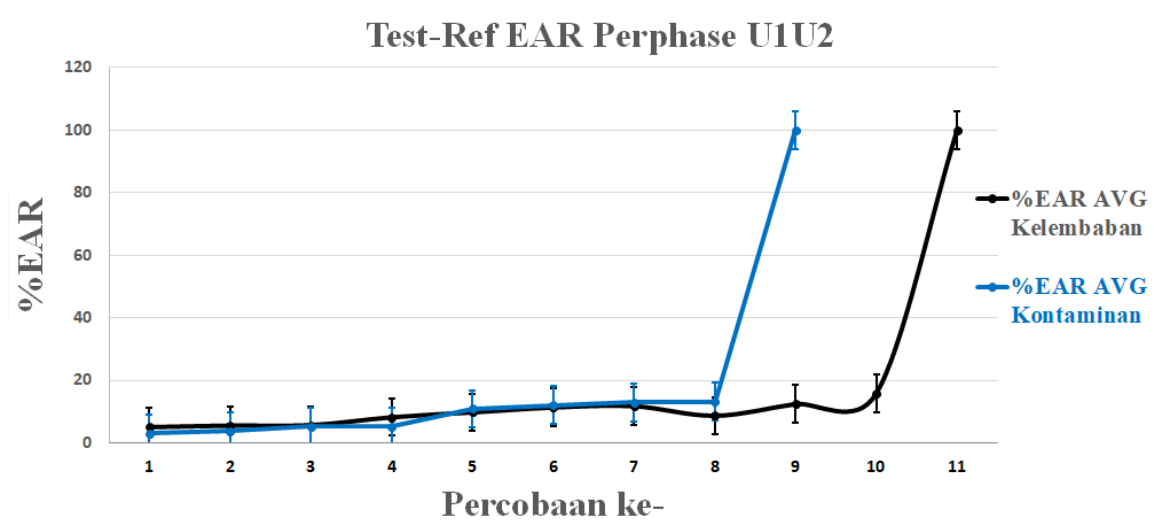
Pengujian surja pada motor induksi dengan test ref EAR yang dilakukan maksimal 5 kali tiap pengambilan data sehingga dapat memberikan data yang lebih akurat. Setelah itu dicari nilai EAR diantara kelima gelombang dan nilai rata-rata EAR yang terhitung. Data tersebut nantinya akan digunakan sebagai acuan (threshold) untuk proses diagnosa motor induksi yang rusak akibat hubung singkat perphase.

Tabel 4.23 Pengujian Test-Ref U1U2

Test-ref EAR U1U2 yang dipengaruhi penambahan kelembaban sampai motor rusak (%)			
Pengujian	MIN	AVE	MAX
P1	3.787	5.065	6.263
P2	5.264	5.561	6.002
P3	4.435	5.708	7.041
P4	4.655	8.230	11.969
P5	2.096	9.786	13.234
P6	10.374	11.356	13.562
P7	11.232	11.775	12.519
P8	7.173	8.698	11.131
P9	10.494	12.447	14.497
P10	14.871	15.764	17.643
P11	99.905	99.925	99.943
Test-ref EAR U1U2 yang dipengaruhi penambahan kontaminan sampai motor rusak (%)			
Pengujian	MIN	AVE	MAX
P1	2.082	3.082	3.916
P2	3.072	3.793	5.520

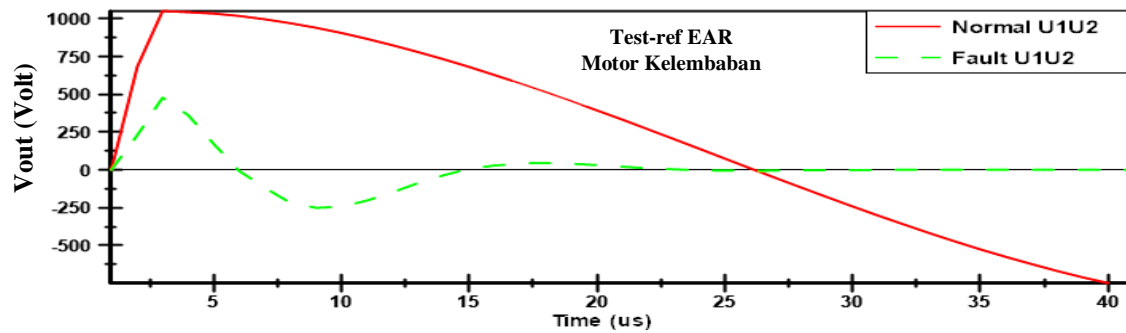
Tabel 4.23 Pengujian Test-Ref U1U2 (Lanjutan)

P3	3.617	5.194	6.732
P4	4.678	5.165	5.554
P5	5.413	10.859	13.242
P6	10.303	12.087	13.341
P7	11.360	12.976	15.825
P8	12.209	13.170	15.229
P9	99.291	100	100

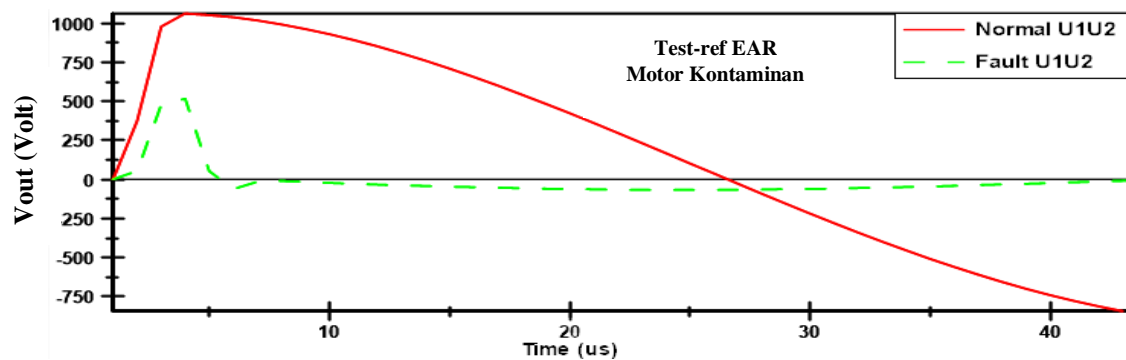


Gambar 4.14 Grafik Pengujian Test-Ref EAR Perphase U1U2

Berdasarkan dari data diatas, dapat disimpulkan bahwa semakin lama nilai test ref EAR cenderung mengalami kenaikan. Seiring dengan besarnya kerusakan yang diakibatkan selama proses pengoperasian yang dipengaruhi oleh kelembaban maupun kontaminan. Namun demikian juga kadang kalanya nilai test-ref EAR turun kemudian naik lagi. Hal itu dikarenakan juga kepresisian dari pengukuran surja test yang selalu bervariasi tiap 5 x pengujian. Oleh sebab itu yang dibuat acuannya yaitu nilai rata-rata pengujian. Untuk motor yang dipengaruhi dengan menambahkan kelembaban lamanya pengujian dari motor normal sampai rusak yaitu pada pengujian ke-11 yang berkisar rata-rata pada 99.925 %. Sedangkan motor yang dipengaruhi dengan menambahkan kontaminan lamanya pengujian sampai rusak yaitu pada pengujian ke-9 dengan nilai rata-rata berkisar 100 %.



Gambar 4.15 Bentuk Gelombang Surja Test-Ref U1U2 Motor Kelembaban



Gambar 4.16 Bentuk Gelombang Surja Test-Ref U1U2 Motor Kontaminan

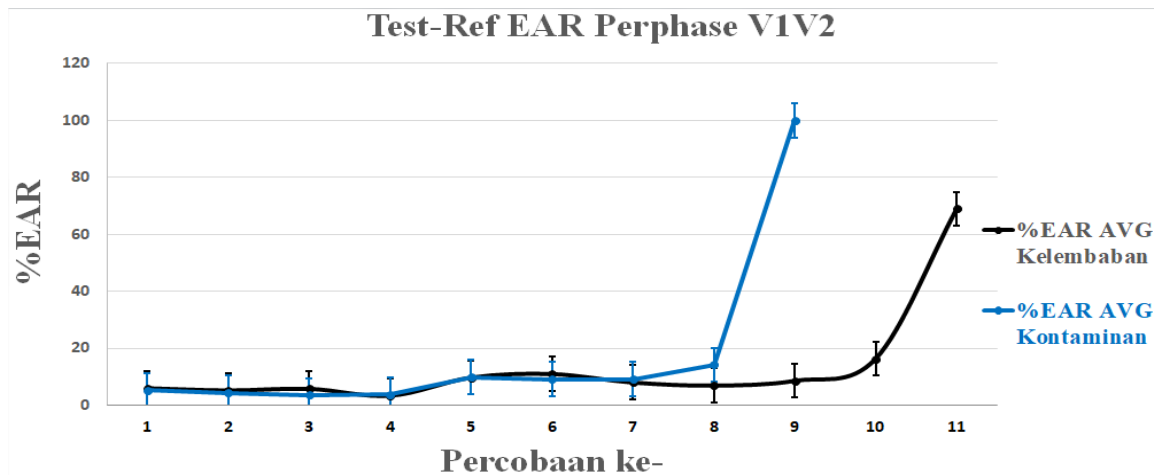
Berdasarkan dari gambar 4.15 dan gambar 4.16 untuk test-ref EAR U1U2 dengan menambahkan kelembaban dan kontaminan bahwa pada kondisi normal tegangan puncak berada sekitar 1000 volt, akan tetapi jika terjadi fault pada dengan menambahkan kelembaban turun diantara 500 volt dengan panjang satu cycle 15 μ s dengan kondisi steady state gelombang surja berada pada 20 μ s. Sedangkan untuk dengan menambahkan kontaminan jika terjadinya fault juga turun pada tegangan puncaknya sekitar 500 volt berada pada satu cycle dan kondisi steady state gelombang surja diantara 8 μ s.

Tabel 4.24 Pengujian Test-Ref V1V2

Test-ref EAR V1V2 yang dipengaruhi penambahan kelembaban sampai motor rusak (%)			
Pengujian	MIN	AVE	MAX
P1	4.725	5.971	7.443
P2	4.282	5.218	5.887
P3	4.441	5.784	7.642
P4	2.003	3.376	4.265
P5	8.594	9.748	14.090
P6	8.436	10.976	13.653
P7	7.310	8.000	9.953

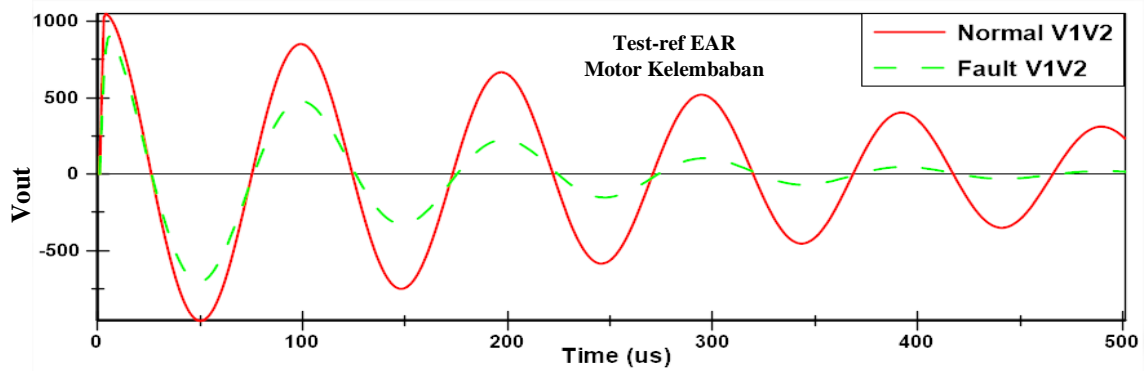
Tabel 4.24 Pengujian Test-Ref V1V2 (Lanjutan)

P8	5.666	6.910	8.456
P9	7.158	8.617	10.911
P10	15.079	16.359	18.848
P11	67.765	68.868	70.565
Test-ref EAR V1V2 yang dipengaruhi penambahan kontaminan sampai motor rusak (%)			
Pengujian	MIN	AVE	MAX
P1	4.145	5.220	6.839
P2	4.252	4.404	4.644
P3	2.728	3.534	5.759
P4	3.132	3.802	4.107
P5	6.868	9.859	11.182
P6	6.066	9.106	14.576
P7	8.733	9.162	9.529
P8	13.386	14.201	16.341
P9	99.700	99.974	100

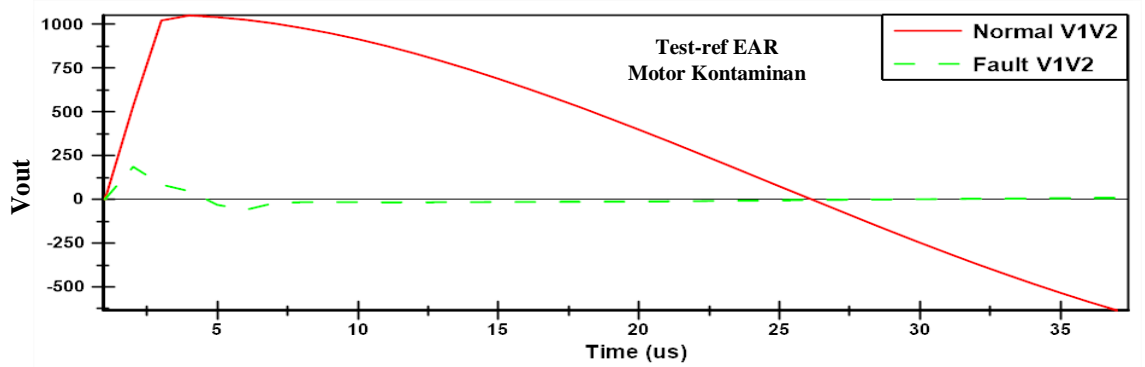


Gambar 4.17 Grafik Pengujian Test-Ref EAR Perphase V1V2

Dengan mengacu pada data pengujian diatas, bahwa motor induksi yang dipengaruhi dengan menambahkan kelembaban dari motor kondisi normal sampai rusak pada test-ref V1V2 hanya di pengujian ke-11 nilai rata-rata berkisar pada 68.868 % motor sudah mengalami kerusakan belitan. Namun demikian hal itu berbeda dengan motor induksi yang dipengaruhi dengan menambahkan kontaminan yang dari kondisi normal sampai mengalami kerusakan belitan yang parah hingga mencapai nilai rata-rata berkisar 99.974 %.



Gambar 4.18 Bentuk Gelombang Surja Test-Ref V1V2 Motor Kelembaban



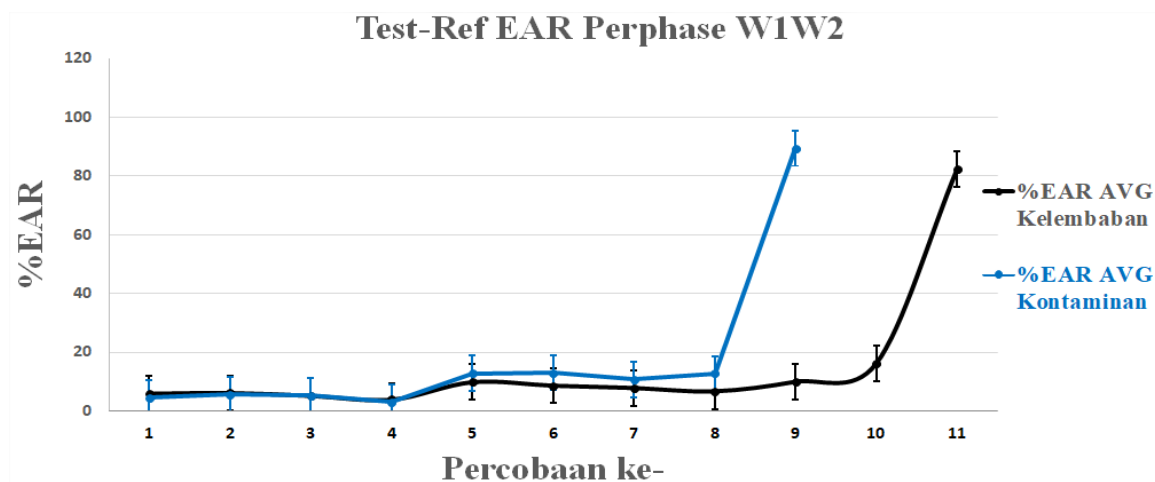
Gambar 4.19 Bentuk Gelombang Surja Test-Ref V1V2 Motor Kontaminan

Berdasarkan dari gambar 4.18 dan gambar 4.19 untuk test-ref EAR V1V2 yang dipengaruhi dengan menambahkan kelembaban dan kontaminan bahwa pada kondisi normal tegangan puncak berada sekitar 1000 volt, akan tetapi jika terjadi fault turun sedikit diantara 800 volt pada pengaruh kelembaban dengan panjang satu cycle gelombang surja berada pada range yang sama dengan kondisi normal, dan steady state di 450 μs fault, sedangkan normal 2000 μs . Hal itu mengindikasikan untuk belitan V1V2 pengaruh kelembaban tidak terlalu besar terjadinya fault perphasenya. Akan tetapi berbeda dengan pengaruh kontaminan dengan tegangan puncaknya turun drastis sekitar 230 volt berada pada kondisi satu cycle dan steady state gelombang surja diantara 7.5 μs .

Tabel 4.25 Pengujian Test-Ref W1W2

Test-ref EAR W1W2 yang dipengaruhi penambahan kelembaban sampai motor rusak (%)			
Pengujian	MIN	AVE	MAX
P1	4.974	5.885	6.739
P2	4.334	6.131	7.713
P3	3.699	5.166	6.945
P4	2.106	3.880	5.816
P5	9.684	9.823	9.987
P6	7.232	8.638	10.795
P7	7.499	7.853	8.638
P8	5.849	6.741	8.057
P9	8.955	9.986	11.649
P10	15.220	16.134	17.717
P11	80.764	82.172	84.912

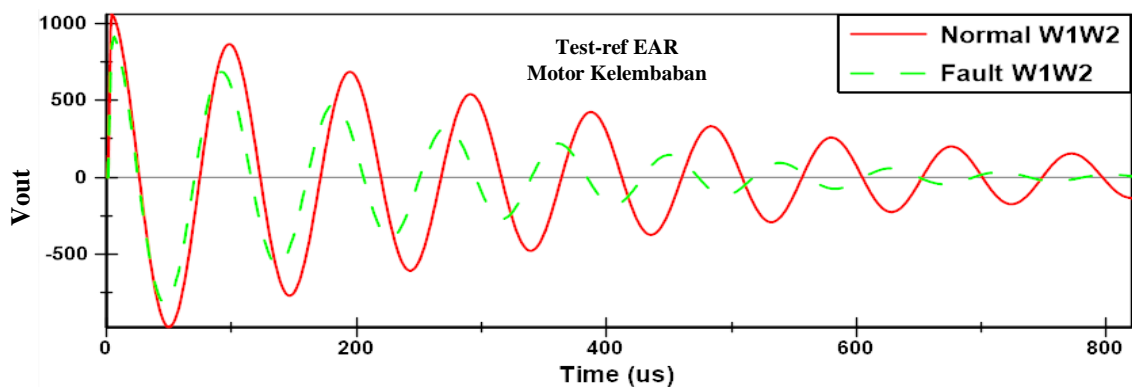
Test-ref EAR W1W2 yang dipengaruhi penambahan kontaminan sampai motor rusak (%)			
Pengujian	MIN	AVE	MAX
P1	3.785	4.590	6.063
P2	3.539	5.665	7.557
P3	3.511	5.344	6.780
P4	2.195	3.145	4.017
P5	10.487	12.786	14.455
P6	12.407	13.010	13.592
P7	7.989	10.794	12.037
P8	10.953	12.710	13.870
P9	87.631	89.231	91.978



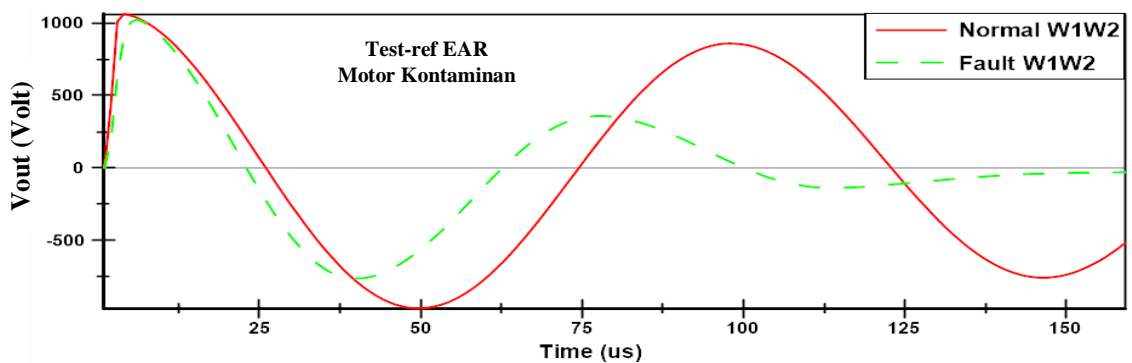
Gambar 4.20 Grafik Pengujian Test-Ref EAR Perphase W1W2

Berdasarkan track record lamanya pengujian dari motor induksi kondisi normal hingga mengalami kerusakan, bahwa pada 1 hari sebelum kerusakan pada motor induksi pernah mengalami kelonjakan nilai test-ref EAR yang tidak di rekomendasikan oleh Baker yang melebihi 15 %. Hal itu bisa di lihat pada pengujian ke-10 pengaruh kelembaban yang nilai test-ref maksimal berkisar pada 17.717 % dan pada pengujian ke-8 pengaruh kontaminan yang test-ref maksimal sebesar 13.870 % yang masih di bawah rekomendasi baker tetapi sudah mengalami kerusakan. Hal itu bisa juga di pengaruhi oleh kondisi rotor, koneksi motor, kondisi laminasi besi (*iron condition*) dan juga *iron saturation*.

Dengan mengacu pada data pengujian diatas, bahwa pada motor induksi yang dipengaruhi dengan menambahkan kelembaban dari motor kondisi normal sampai rusak pada test-ref W1W2 hanya pada nilai rata-rata berkisar 82.172 % motor sudah mengalami kerusakan belitan. Namun, hal itu berbeda dengan motor induksi yang dipengaruhi dengan menambahkan kontaminan yang dari kondisi normal sampai mengalami kerusakan belitan yang parah hingga mencapai nilai rata-rata berkisar 89.231 %.



Gambar 4.21 Bentuk Gelombang Surja Test-Ref W1W2 Motor Kelembaban

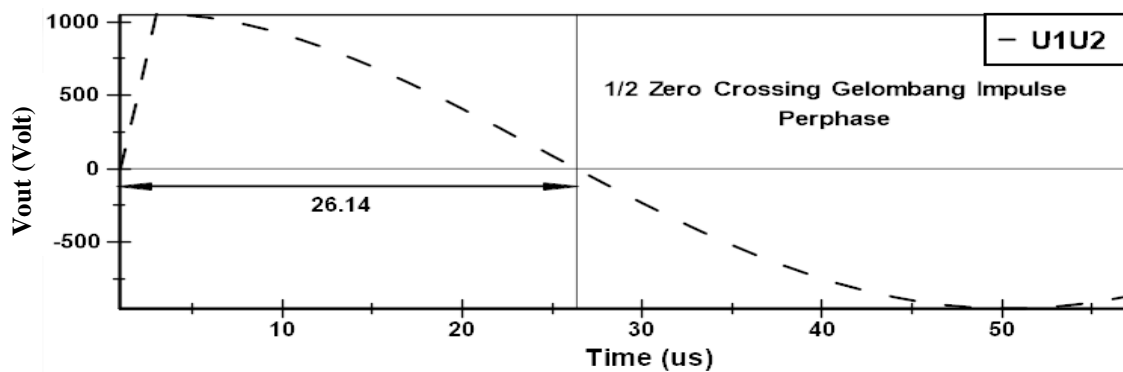


Gambar 4.22 Bentuk Gelombang Surja Test-Ref W1W2 Motor Kontaminan

Berdasarkan dari gambar 4.21 dan gambar 4.22 untuk test-ref EAR W1W2 pengaruh kelembaban dan kontaminan bahwa pada kondisi normal tegangan puncak berada di sekitar 1000 volt. Akan tetapi, jika terjadi fault turun sedikit diantara 900 volt pada pengaruh kelembaban dengan panjang 1 cycle gelombang surja berada pada range yang sama dengan kondisi normal, namun steady state di 800 μ s dengan perbandingan kondisi normal 2000 μ s. Hal itu mengindikasikan untuk belitan W1W2 pengaruh kelembaban tidak terlalu besar terjadinya fault perphasenya. Dan juga pada pengaruh kontaminan dengan tegangan puncaknya hampir sama dengan kondisi normal. Namun perbandingan kondisi steady state antara normal dengan fault, yaitu normal 2000 μ s dan fault hanya 150 μ s.

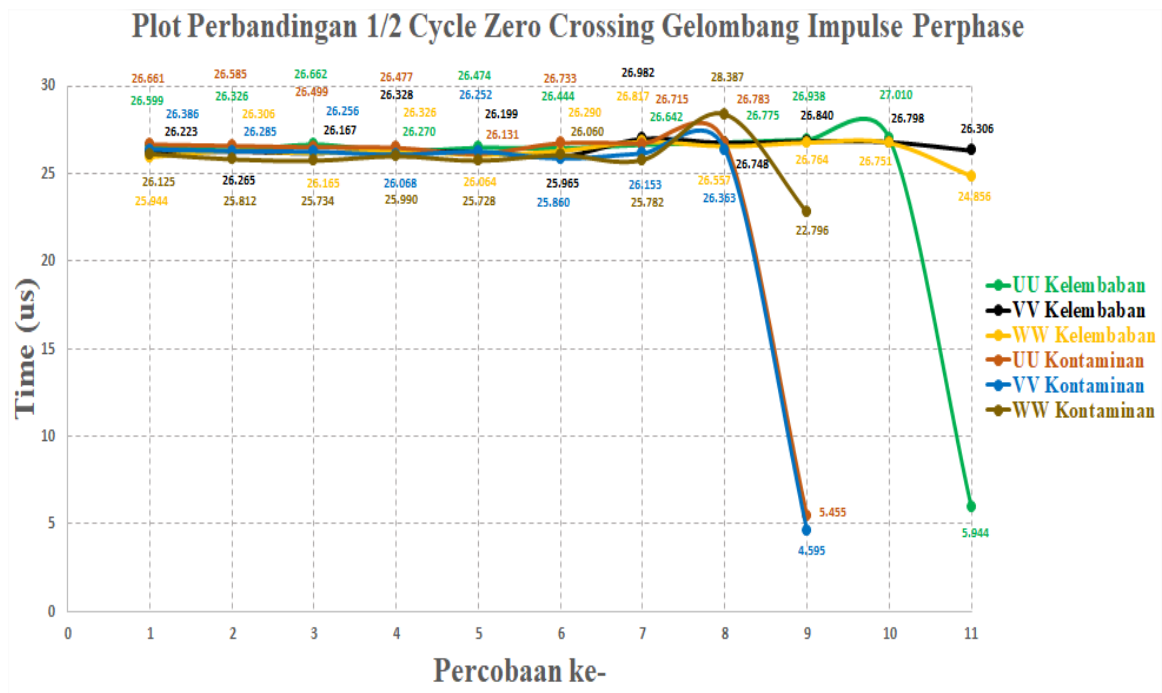
4.9 Hasil dan Analisa Zero Crossing Gelombang Impulse Perphase

Zero crossing gelombang impulse dalam penelitian ini yaitu mencari perpotongan dari bentuk gelombang impulse surja antara sumbu X dengan sumbu Y yang melewati garis nol dengan menggunakan software diadem. Seperti ditunjukkan pada gambar 4.23.



Gambar 4.23 Setengah Cycle Zero Crossing Gelombang Impuls Surja Perphase

Untuk mendapatkan nilai dari zero crossing dalam penelitian ini yaitu dengan cara mengambil setengah cycle bentuk gelombang dari pengujian surja perphase meliputi U1U2; V1V2; dan W1W2 dengan mencari seberapa jauh titik koordinat perpotongan sumbu horizontal (X) terhadap sumbu vertikal (Y) yang di setpoint dengan angka nol.



Gambar 4.24 Plot Zero Crossing Gelombang Impulse Perphase

Dari hasil plot zero crossing gelombang impulse pada gambar 4.24 di atas dapat dianalisa bahwa untuk pengujian nilai dari zero crossing gelombang impulse perphase pada motor yang mengalami percepatan penuaan isolasi pengaruh kelembaban cenderung stabil untuk fault pada phase V1V2 dan W1W2. Namun turun drastis pada belitan yang U1U2 yang mengalami fault pada belitan perphasenya dengan nilai 5.944 μ s. Sedangkan untuk motor yang mengalami kerusakan pengaruh kontaminan hanya stabil pada belitan W1W2, tetapi pada belitan yang mengalami fault pada U1U2 dan V1V2 sangat turun drastis dengan nilai setengah cycle panjang gelombang 5.455 μ s dan 4.595 μ s.

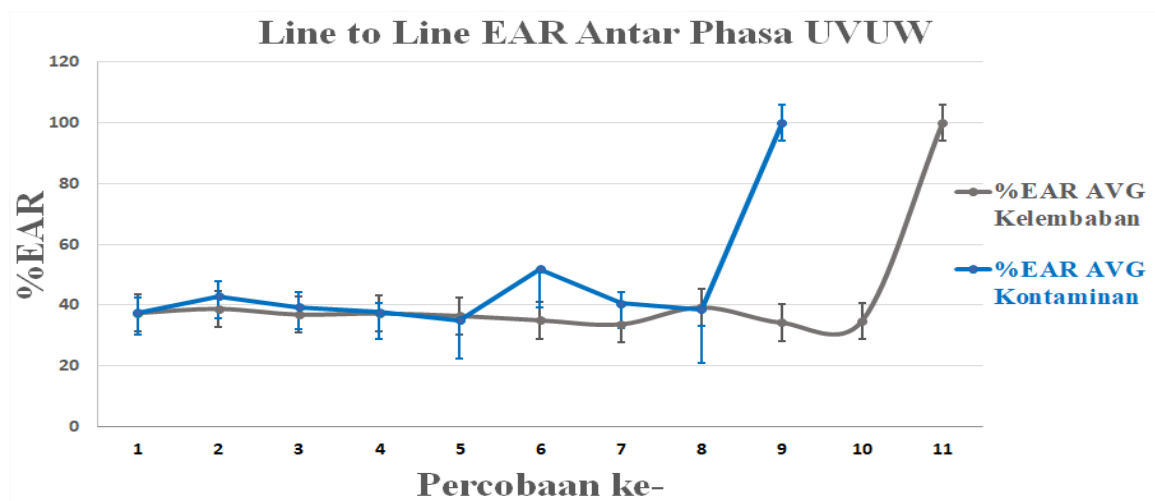
4.10 Hasil dan Analisa Nilai Line to Line EAR Pengujian Surja Motor Induksi

Pengujian surja pada motor induksi dengan line to line EAR yang dilakukan maksimal 5 kali tiap pengambilan data sehingga dapat memberikan data yang akurat. Setelah itu dicari nilai EAR diantara kelima gelombang tersebut dan rata-rata EAR yang terhitung. Data tersebut nantinya akan digunakan sebagai acuan (threshold) untuk proses diagnosa motor induksi yang rusak akibat hubung singkat antar belitan / antar phase.

Tabel 4.26 Pengujian Line to Line EAR UVUW

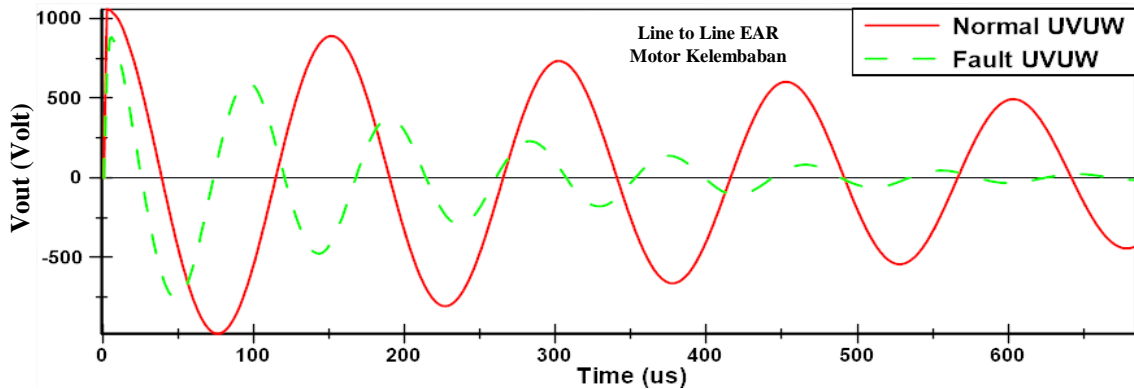
Line to line EAR UVUW yang dipengaruhi penambahan kelembaban sampai motor rusak (%)			
Pengujian	MIN	AVE	MAX
P1	35.610	37.459	38.834
P2	37.015	38.824	40.782
P3	35.746	36.934	38.163
P4	36.542	37.326	38.794
P5	13.648	36.478	43.916
P6	33.934	35.058	36.681
P7	32.088	33.726	36.021
P8	30.373	39.308	44.458
P9	33.214	34.275	36.573
P10	32.664	34.846	36.528
P11	100	100	100

Line to line EAR UVUW yang dipengaruhi penambahan kontaminan sampai motor rusak (%)			
Pengujian	MIN	AVE	MAX
P1	36.387	37.551	39.101
P2	41.838	43.022	44.209
P3	38.141	39.451	40.568
P4	34.802	37.806	44.455
P5	28.457	35.011	38.777
P6	45.454	51.909	59.639
P7	38.422	40.534	43.644
P8	27.133	38.729	52.087
P9	100	100	100

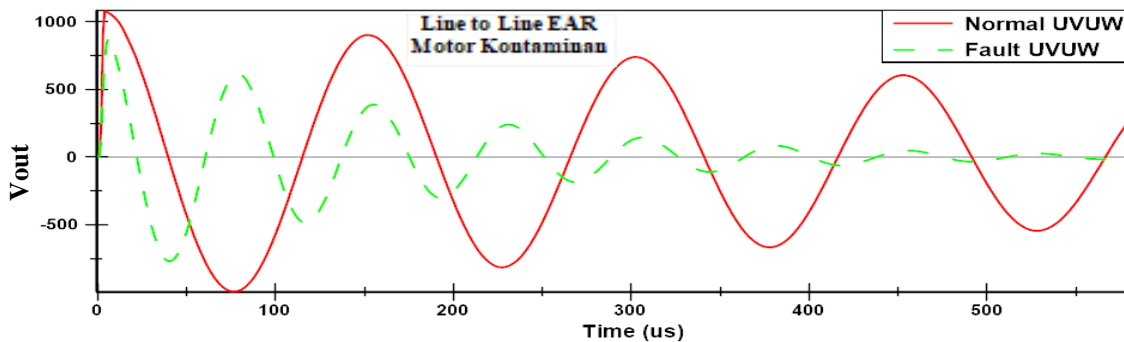


Gambar 4.25 Grafik Pengujian Line to Line EAR Phase UVUW

Dengan mengacu pada perbandingan kedua gelombang antar phase UV dengan UW yang tidak identik sehingga pada kondisi normal saja sudah cukup besar nilainya EAR rata-rata pengaruh kelembaban 31.128 % dan kontaminan 39.864 % yang dibuat sebagai threshold / batasan nilainya. Berdasarkan track record dari tabel 4.26 bahwa selama proses pengoperasian menjalankan motor dan pengujian nilai line to line EAR data yang di peroleh dari kondisi motor normal hingga pengujian ke-10 pengaruh kelembaban dan pengujian ke-8 pengaruh kontaminan mengalami naik turun sehingga sulit dijadikan referensi. Akan tetapi pada saat motor induksi mengalami kerusakan / hubung singkat pada pengujian yang terakhir pengaruh kelembaban maupun kontaminan bernilai 100 %.



Gambar 4.26 Bentuk Gelombang Surja Line to Line UVUW Motor Kelembaban



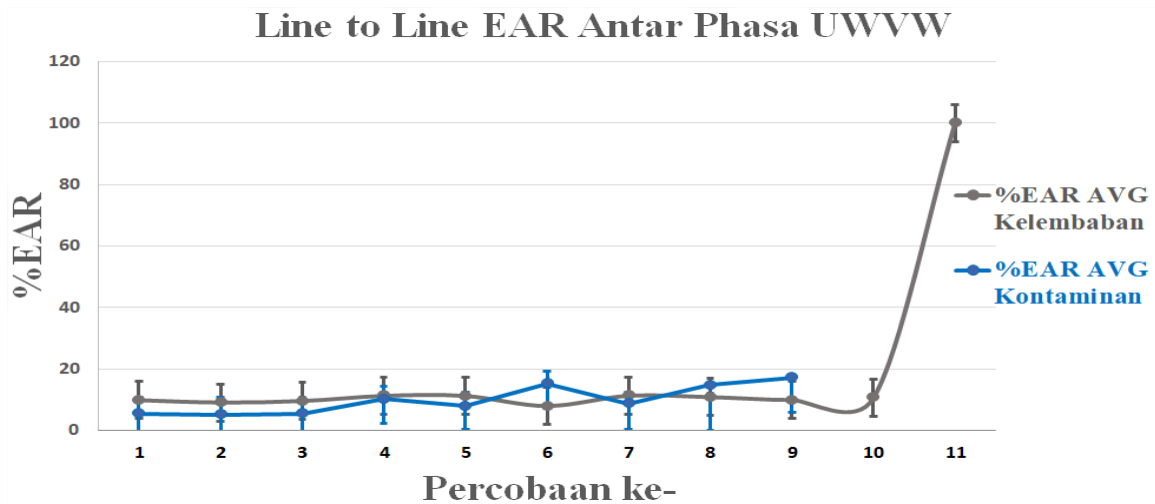
Gambar 4.27 Bentuk Gelombang Surja Line to Line UVUW Motor Kontaminan

Berdasarkan dari gambar 4.26 dan gambar 4.27 untuk line to line EAR UVUW yang dipengaruhi dengan menambahkan kelembaban dan kontaminan bahwa pada kondisi normal tegangan puncak berada sekitar 1000 volt dan steady state 4000 μs. Akan tetapi terjadi fault pada pengaruh kelembaban turun sedikit diantara 900 volt dengan panjang satu cycle gelombang surja berada pada 75 μs dengan steady state 650 μs.

Sedangkan untuk pengaruh kontaminan jika terjadinya fault juga turun pada tegangan puncaknya sekitar 900 volt berada pada panjang satu cycle gelombang surja diantara 60 μ s dengan steady state 530 μ s.

Tabel 4.27 Pengujian Line to Line EAR UWVW

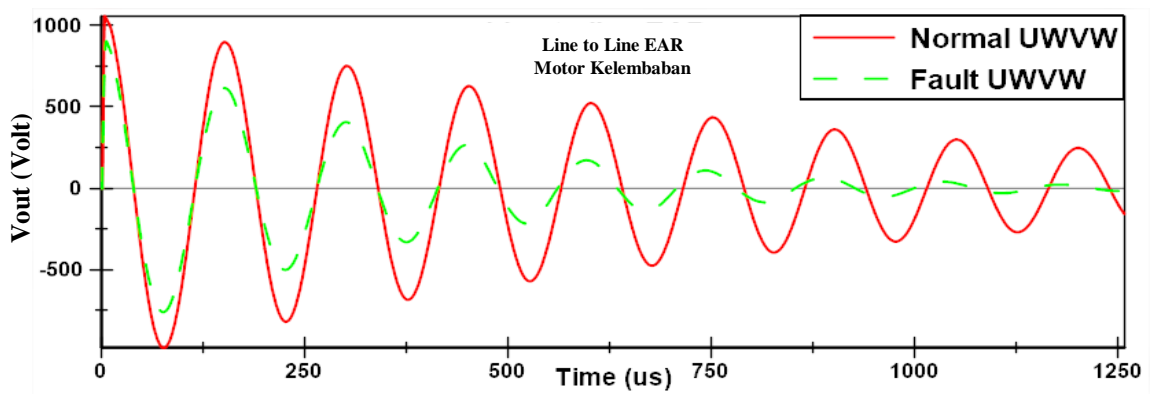
Line to line EAR UWVW yang dipengaruhi penambahan kelembaban sampai motor rusak (%)			
Pengujian	MIN	AVE	MAX
P1	9.135	9.872	10.318
P2	8.475	9.128	9.604
P3	8.282	9.611	11.194
P4	9.173	11.293	12.605
P5	9.408	11.268	12.589
P6	7.477	8.000	8.531
P7	10.562	11.335	11.944
P8	9.432	10.878	11.720
P9	7.386	9.947	12.489
P10	9.944	10.661	12.209
P11	100	100	100
Line to line EAR UWVW yang dipengaruhi penambahan kontaminan sampai motor rusak (%)			
Pengujian	MIN	AVE	MAX
P1	4.717	5.480	6.497
P2	4.761	5.212	5.763
P3	4.858	5.448	6.344
P4	8.307	10.159	14.036
P5	6.301	7.903	9.809
P6	13.223	15.344	17.019
P7	6.268	8.683	11.466
P8	6.018	14.792	29.613
P9	11.920	17.206	20.631



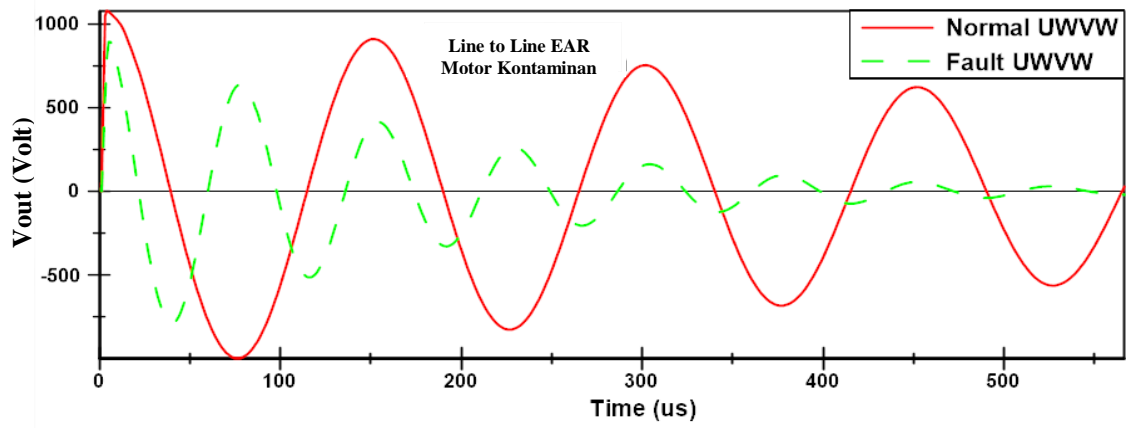
Gambar 4.28 Grafik Pengujian Line to Line EAR Phase UWWW

Dengan berdasarkan pada data pengujian diatas, bahwa pada motor induksi yang dipengaruhi dengan menambahkan kelembaban dari motor kondisi normal sampai rusak pada line to line EAR hanya pada pengujian ke-11 nilai rata-rata 100 % motor sudah mengalami kerusakan belitan. Namun, hal itu berbeda dengan motor induksi yang dipengaruhi dengan menambahkan kontaminan yang dari kondisi normal sampai mengalami kerusakan belitan yang hanya mencapai nilai rata-rata berkisar 17.206 %.

Nilai diatas sudah sangat jauh untuk motor pengaruh kelembaban dari rekomendasi Baker yang merekomendasikan nilai line to line EAR dibawah 15 %. Namun tidak untuk kondisi motor pengaruh kontaminan yang hanya melebihi sedikit dari rekomendasi baker yang terdeteksi di pengujian ke-9 pada phase UWWW nilai line to line EAR maksimalnya sebesar 20.631 %.



Gambar 4.29 Bentuk Gelombang Surja Line to Line UWWW Motor Kelembaban



Gambar 4.30 Bentuk Gelombang Surja Line to Line UWVW Motor Kontaminan

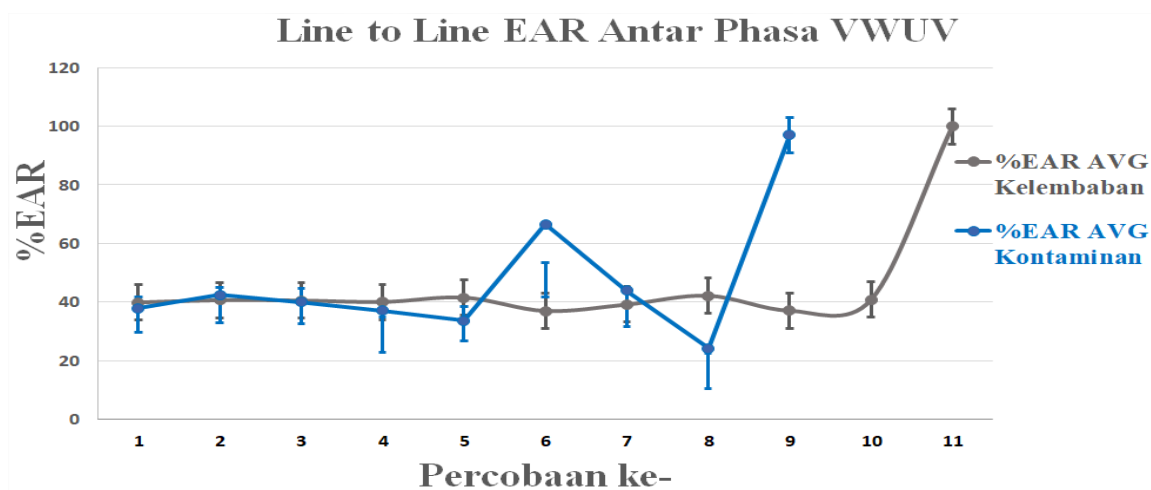
Berdasarkan dari gambar 4.29 dan gambar 4.30 untuk line to line EAR UWVW pengaruh kelembaban dan kontaminan bahwa pada kondisi normal tegangan puncak berada sekitar 1000 volt dan steady state 4000 μ s, akan tetapi adanya fault pada pengaruh kelembaban turun sedikit diantara 900 volt dengan panjang satu cycle gelombang surja berada pada 75 μ s dengan steady state 650 μ s. Sedangkan untuk pengaruh kontaminan jika terjadinya fault juga turun pada tegangan puncaknya sekitar 900 volt berada pada panjang satu cycle gelombang surja diantara 60 μ s dengan steady state 530 μ s.

Tabel 4.28 Pengujian Line to Line EAR VWUV

Line to line EAR VWUV yang dipengaruhi penambahan kelembaban sampai motor rusak (%)			
Pengujian	MIN	AVE	MAX
P1	38.888	39.891	41.492
P2	39.609	40.656	41.393
P3	38.643	40.536	41.602
P4	38.791	40.052	41.266
P5	36.024	41.557	59.572
P6	31.176	36.989	42.708
P7	37.565	39.187	40.901
P8	35.282	42.199	46.562
P9	35.724	37.088	38.397
P10	39.536	40.764	42.484
P11	100	100	100

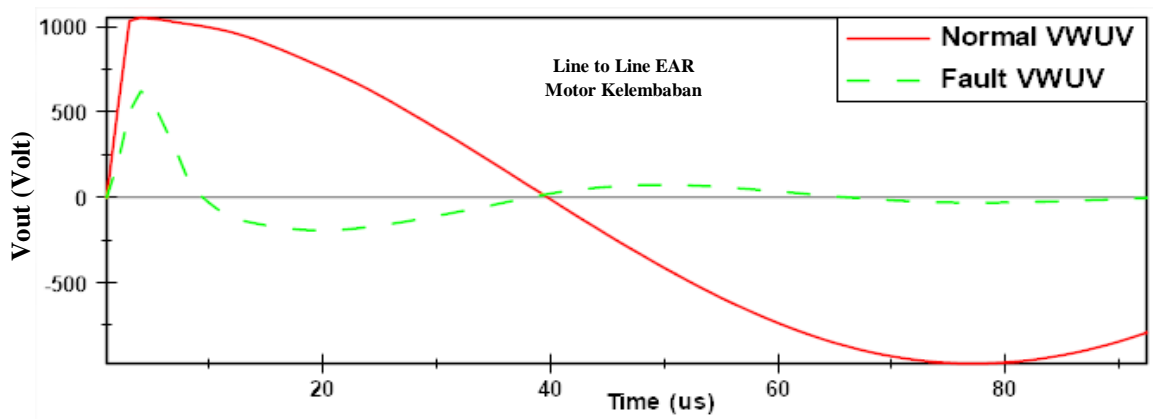
Tabel 4.28 Pengujian Line to Line EAR VWUV (Lanjutan)

Line to line EAR VWUV yang dipengaruhi penambahan kontaminan sampai motor rusak (%)			
Pengujian	MIN	AVE	MAX
P1	35.731	37.952	39.565
P2	39.010	42.375	52.356
P3	38.662	40.076	40.996
P4	28.964	37.152	41.173
P5	32.581	33.581	34.735
P6	47.581	66.616	72.173
P7	37.678	43.882	55.729
P8	16.372	24.253	40.976
P9	96.923	96.949	96.976

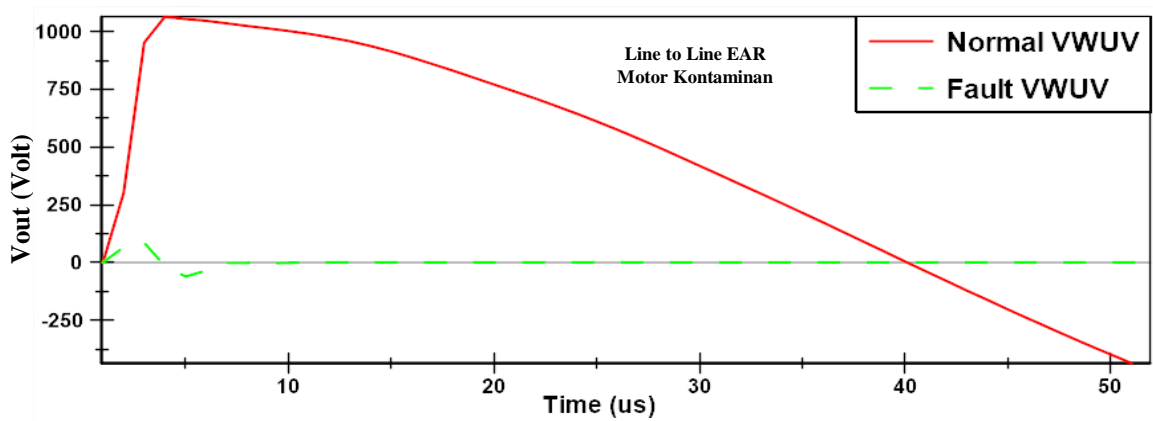


Gambar 4.31 Grafik Pengujian Line to Line EAR Phase VWUV

Dengan mengacu pada data pengujian kondisi normal antar phase yang sudah dijelaskan sebelumnya, bahwa pada perbandingan kedua gelombang antar phase VW dengan UV tidak sama / identik sehingga pada kondisi normal sudah cukup besar nilainya EAR rata-rata pengaruh kelembaban 37.701 % dan kontaminan 42.838 % yang dibuat sebagai threshold / batasan nilainya. Berdasarkan track record dari tabel 4.28 bahwa selama proses pengoperasian menjalankan motor dan pengujian nilai line to line EAR data yang di peroleh dari kondisi motor normal hingga pengujian ke-10 pengaruh kelembaban dan pengujian ke-8 pengaruh kontaminan mengalami naik turun sehingga sulit dijadikan referensi. Akan tetapi di saat motor induksi mengalami kerusakan / hubung singkat pada pengujian yang terakhir motor kelembaban bernilai line to line EAR rata-rata 100 %, dan motor kontaminan line to line EAR rata-rata 96.949 %.



Gambar 4.32 Bentuk Gelombang Surja Line to Line VWUV Motor Kelembaban

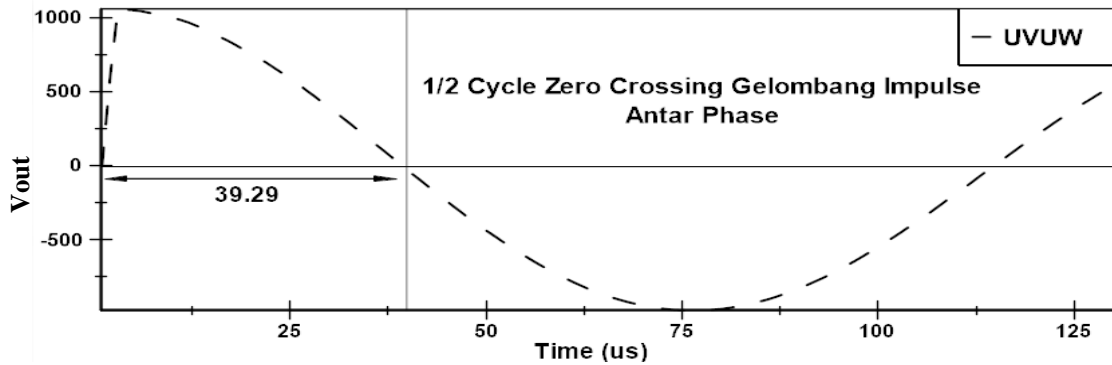


Gambar 4.33 Bentuk Gelombang Surja Line to Line VWUV Motor Kontaminan

Berdasarkan dari gambar 4.32 dan gambar 4.33 untuk line to line EAR VWUV pengaruh kelembaban dan kontaminan bahwa pada kondisi normal tegangan puncak berada sekitar 1000 volt dan steady state 4000 μ s, akan tetapi adanya fault pada pengaruh kelembaban turun diantara 600 volt dengan panjang satu cycle gelombang surja berada pada 40 μ s dengan steady state 65 μ s. Sedangkan untuk pengaruh kontaminan dengan adanya fault mengalami penurunan yang sangat drastis dengan tegangan puncaknya sekitar 100 volt berada pada panjang satu cycle dan steady state gelombang surja diantara nilai 8 μ s.

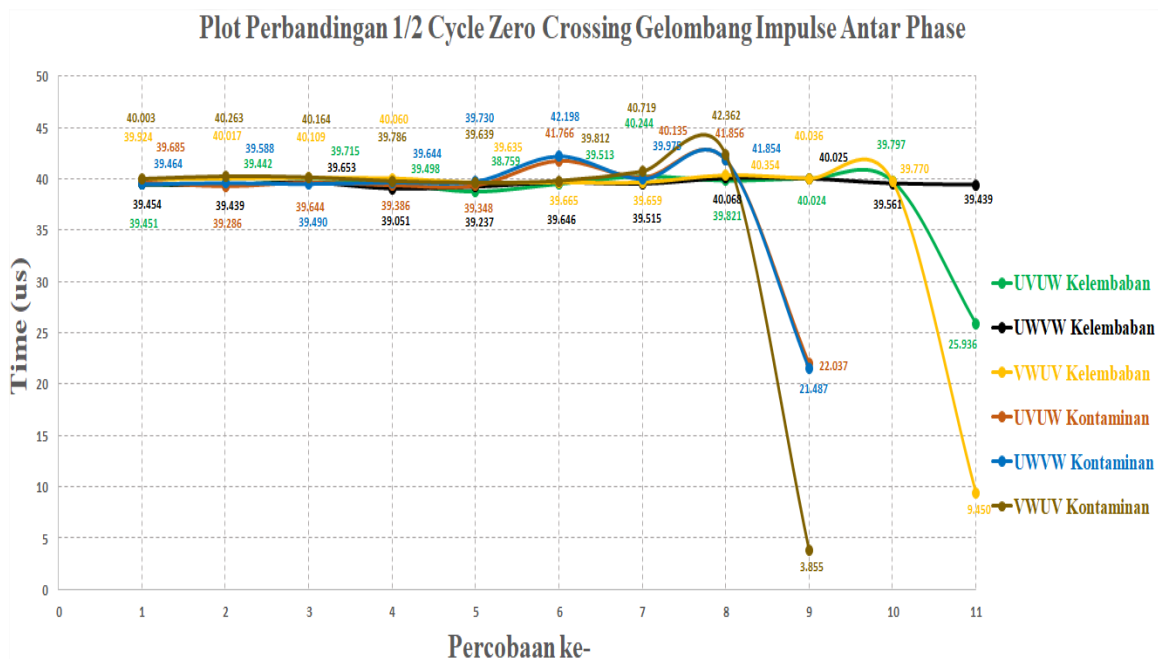
4.11 Hasil dan analisa zero crossing gelombang impulse antar phase

Untuk mendapatkan hasil zero crossing gelombang impulse antar phase sama dengan yang perphase, hanya saja letak perbedaannya yaitu pada objek belitan yang di teliti menggunakan belitan antar phase pada motor induksi. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.34 di bawah ini :



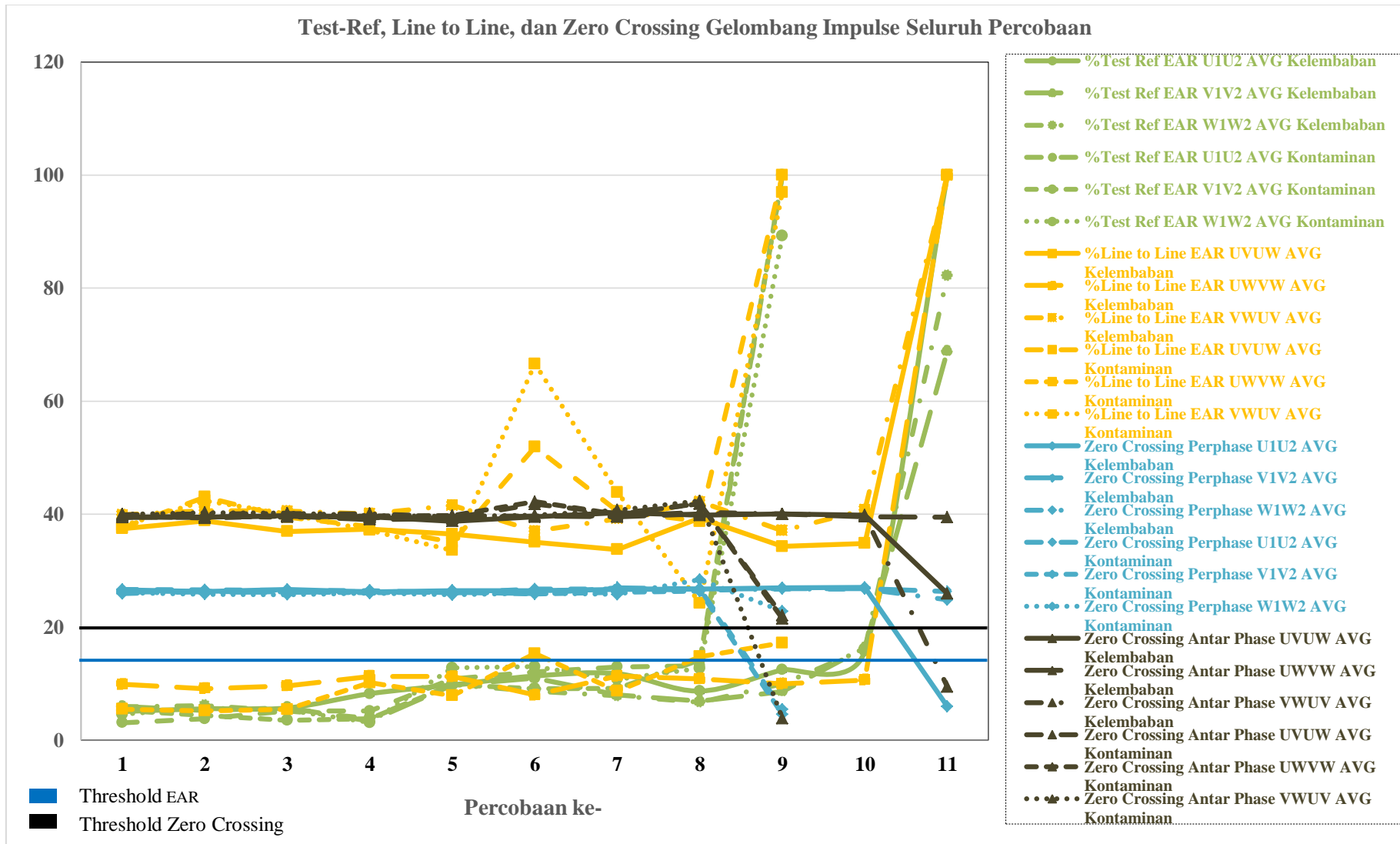
Gambar 4.34 Setengah Cycle Zero Crossing Gelombang Impuls Surja Antar Phase

Untuk mendapatkan nilai dari zero crossing dalam penelitian ini yaitu dengan cara mengambil setengah cycle bentuk gelombang dari pengujian surja antar phase meliputi UVUW; UWVW; dan VWUV dengan mencari seberapa jauh titik koordinat perpotongan sumbu horizontal (X) terhadap sumbu vertikal (Y) yang di setpoint dengan angka nol.



Gambar 4.35 Plot Zero Crossing Gelombang Impulse Antar Phase

Dari hasil plot zero crossing gelombang impulse pada gambar di atas, dapat dianalisa bahwa pada belitan antar phase motor yang mengalami proses percepatan penuaan isolasi pengaruh kelembaban cenderung stabil untuk fault pada antar phase UVUW dan UWVW yang hanya turun di pengujian terakhir yaitu 25.936 μ s, dan 39.439 μ s. Akan tetapi pada phase VWUV mengalami penurunan drastis hingga 9.450 μ s. Sedangkan pada motor pengaruh kontaminan antar phase UVUW dan UWVW mengalami penurunan sebesar 22.037 μ s dan 21.487 μ s. Namun, hal itu berbeda dengan antar phase VWUV yang sangat turun drastis hingga 3.855 μ s dengan adanya proses kerusakan / fault selama pengoperasian motor induksi tersebut.

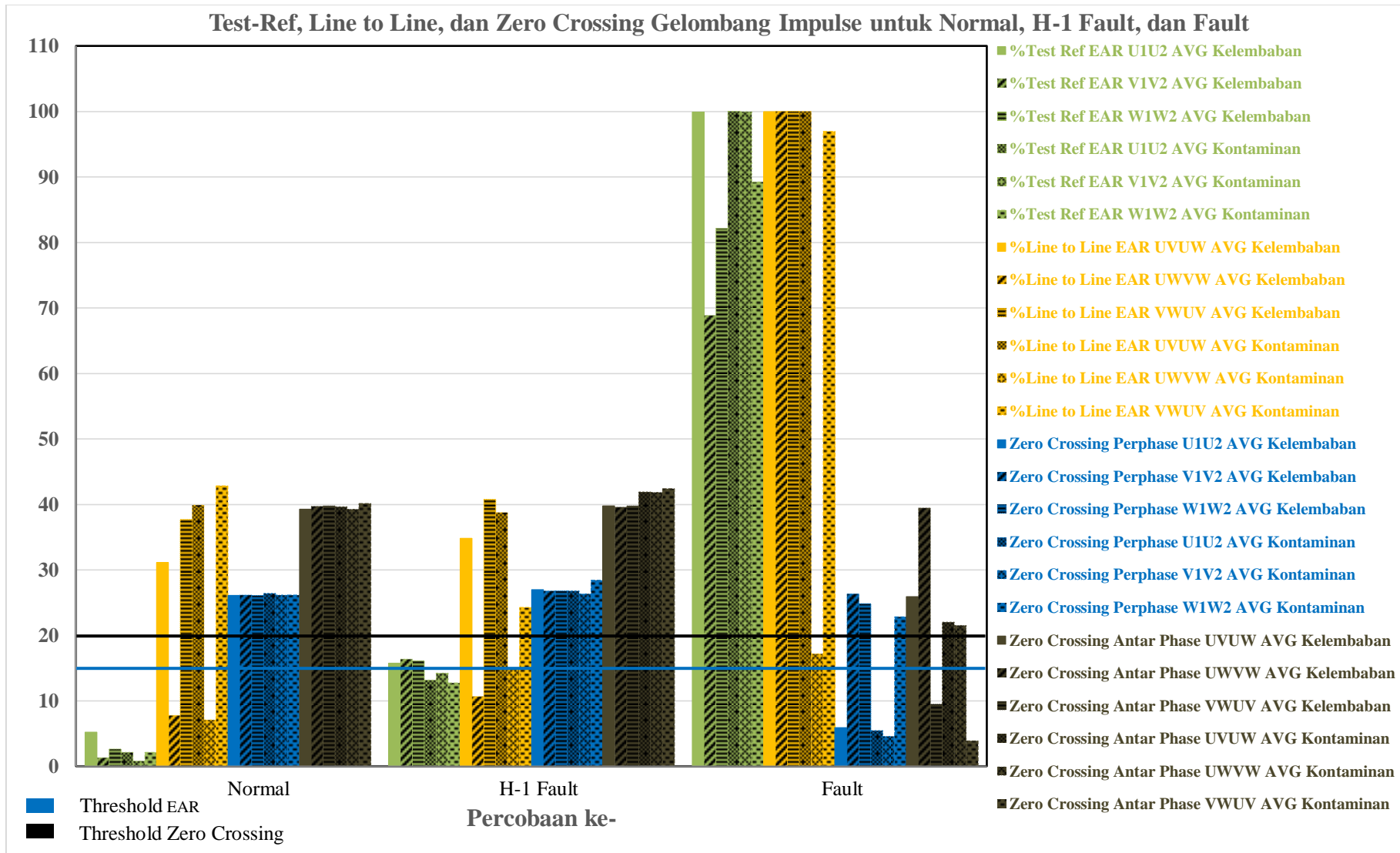


Gambar 4.36 Kurva Perbandingan Test-ref, Line to Line, dan Zero Crossing Gelombang Impulse Seluruh Percobaan

Berdasarkan dari kurva diatas, dapat dianalisa bahwa pada metode test-ref EAR nilai pengujiannya rata-rata mengalami tren kenaikan kerusakan belitan cenderung linier. Hal itu bisa dilihat, sehari sebelum terjadinya fault pada belitan motor induksi dengan batasan nilai threshold terendah 12.710 %, dan tertinggi 16.359 %. Sebagai referensi penunjang, bahwa pada tabel baker AWA surge test pass/fail criteria batasan nilai maksimal sebelum terjadinya kerusakan pada belitan yaitu 15 %.

Pada metode line to line EAR nilai pengujian rata-rata mengalami kenaikan tren kerusakan belitan, hingga sehari sebelum terjadinya kerusakan cenderung mengalami variasi naik / turun seiring dengan lamanya pengujian penuaan isolasi. Namun demikian, sehari sebelum terjadinya fault pada belitan mengalami nilai threshold yang sangat besar antara phase UVUW kelembaban 34.846 % ; UVUW kontaminan 38.729 % dengan phase UWVW kelembaban 10.661 % ; UWVW kontaminan 14.792 %. Sebagai referensi penunjang, pada tabel baker AWA surge test pass/fail criteria batasan nilai maksimal sebelum terjadinya kerusakan dengan metode line to line EAR tanpa pengujian pemasangan rotor yaitu 15 %.

Akan tetapi berbeda dengan metode zero crossing gelombang impulse pada kelembaban maupun kontaminan mengalami kestabilan nilai hingga sehari sebelum terjadinya kerusakan. Pada metode zero crossing gelombang impulse ini, hanya bisa mendeteksi untuk membedakan antara motor induksi kondisi normal dengan motor induksi kondisi mengalami kerusakan belitan tanpa bisa mengetahui pola atau tren dari sebelum terjadinya kerusakan pada belitan tersebut.



Gambar 4.37 Kurva Perbandingan Test-ref, Line to Line, dan Zero Crossing Gelombang Impulse untuk Normal, H-1 Fault, dan Fault

Berdasarkan dari kurva diatas, dapat di analisa bahwa pada kondisi normal hanya metode test-ref EAR dan sebagian metode line to line EAR yang pada belitan UWVW kondisi kelembaban dan kontaminan nilainya dibawah threshold yang direkomendasikan oleh baker AWA surge test pass/fail criteria yaitu 15 %. Akan tetapi, tidak pada metode zero crossing gelombang impulse perphase / antarphase yang pada kondisi normal sudah diatas nilai threshold dari rekomendasi baker. Seiring dengan lamanya pengujian hingga sehari sebelum terjadinya kerusakan atau (H-1 Fault), pada metode test-ref EAR dan sebagian metode line to line EAR pada belitan UWVW mengalami tren kenaikan hingga rata-rata mendekati nilai ambang batas threshold 15 %. Namun demikian, metode zero crossing gelombang impulse perphase / antarphase rata-rata mengalami kestabilan nilai.

Sedangkan pada kondisi fault / kerusakan di belitan motor induksi, kurva dari metode test-ref EAR rata-rata mengalami kenaikan yang drastis hingga nilai terendah 68.868 % ; dan terbesar 100 %. Pada metode line to line EAR belitan UWVW dengan pengaruh kelembaban mengalami kenaikan yang drastis pada kondisi fault hingga mencapai nilai rata-rata 100 %. Hal itu, berbeda dengan metode line to line EAR belitan UWVW yang dipengaruhi oleh kontaminan hanya mengalami kenaikan nilai diatas threshold sedikit yaitu mencapai nilai rata-rata 17.206 %, dan metode zero crossing gelombang impulse perphase atau antarphase rata-rata mengalami penurunan nilai yang jauh direkomendasikan oleh baker dengan threshold 20 %.

Dengan demikian bisa disimpulkan bahwa metode test-ref EAR yang mempunyai sensitifitas yang paling tinggi, jika dibandingkan dengan metode line to line EAR dan zero crossing gelombang impulse. Hal itu, dikarenakan metode test-ref EAR pada semua belitannya U1U2; V1V2; W1W2 yang dipengaruhi oleh kelembaban maupun kontaminan bisa mendeteksi track record dari kondisi normal hingga fault yang tren nilai dari test-ref EAR mengalami kenaikan nilai yang linier seiring dengan lamanya pengujian atau besarnya kerusakan dari motor induksi tersebut.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Hasil dari penelitian mengenai evaluasi percepatan penuaan isolasi akibat menambahkan kelembaban dan kontaminan dapat disimpulkan bahwa :

1. Percobaan dengan adanya percepatan penuaan isolasi dengan menambahkan kelembaban menyebabkan kerusakan pada motor induksi dengan gejala awal terdapatnya lapisan-lapisan kerak putih di belitan. Serta dapat merusakkan hingga membuat mencairnya semacam perekat-perekat pada filamen motor. Dan juga terdapat patahan serta retakan pada kondisi fisik belitan saat terjadinya fault sampai lelehan-lelehan dari perekat filamen tersebut menumpuk di bawah area stator motor induksi.
2. Percobaan dengan adanya percepatan penuaan isolasi dengan menambahkan kontaminan menyebabkan kerusakan pada motor induksi dengan gejala awal terdapatnya butiran-butiran putih kadar garam yang menempel di belitan dan filamen. Sehingga membuat cepat terjadinya korosi pada filamen. Dan juga terdapat patahan serta retakan pada kondisi fisik belitan saat terjadinya fault sampai butiran-butiran putih kadar garam berubah menjadi serbuk hitam yang menempel di belitan.
3. Dengan melakukan pengujian test-ref EAR pada motor dengan menambahkan kelembaban didapatkan nilai ambang batas sehari sebelum terjadinya kerusakan yaitu rata-rata diatas 15 %, hal itu bisa didukung pada nilai rata-rata pengujian di belitan perphase $U1U2 = 15.764 \%$; $V1V2 = 16.359 \%$; dan $W1W2 = 16.134 \%$. Sedangkan untuk dengan menambahkan kontaminan didapatkan nilai ambang batas sehari sebelum terjadinya kerusakan yaitu rata-rata diatas 12 % dengan nilai rata-rata di belitan perphase $U1U2 = 13.170 \%$; $V1V2 = 14.201 \%$; dan $W1W2 = 12.710 \%$.

4. Dengan melakukan pengujian line to line EAR pada motor dengan menambahkan kelembaban dan kontaminan sangat sensitif terhadap perbandingan belitan antar phase yang mengalami tidak identik / mirip pada motor type “TATUNG” di belitan antar phase UV terhadap UW, dan VW terhadap UV sehingga tidak bisa dilihat acuan referensi di perbandingan antar phase belitan tersebut. Namun untuk di belitan antar phase UW terhadap VW identik sehingga track record sehari sebelum terjadinya kerusakan yaitu rata-rata diatas 10 % dengan nilai di pengujian 10.661 % pada dengan menambahkan kelembaban dan nilai di pengujian 14.792 % pada dengan menambahkan kontaminan.
5. Pada pengujian zero crossing gelombang impulse surja sulit untuk mendeteksi track record maupun nilai ambang batas sebelum terjadinya kerusakan pada motor. Hal itu dikarenakan selama proses pengujian yang dilakukan dalam kondisi normal hingga sehari sebelum terjadinya kerusakan cenderung stabil. Sehingga zero crossing gelombang impulse hanya bisa mengetahui kondisi motor normal dengan motor yang sudah fault di belitan yang mengalami perubahan nilai yang drastis.
6. Dengan mengacu pada perbandingan data hasil pengujian EAR dan zero crossing gelombang impulse didapatkan hasil yang sama dan sangat drastis penurunan ambang batas nilainya pada motor dengan menambahkan kelembaban di belitan perphase U1U2 dan antar phase UVUW; VWUV. Sedangkan pada motor dengan menambahkan kontaminan di belitan perphase U1U2; V1V2 dan antar phase UVUW; UWW; VWUV.

5.2 Saran

1. Untuk peralatan hardware surja test membuat lagi yang mampu digunakan untuk metode pulse to pulse EAR (P-P EAR)
2. Pada generator set yang digunakan sebaiknya menggunakan jenis generator yang type silent mode, dikarenakan sedikit bising selama proses pengoperasian.
3. Menambahi pada sistem alat kontroller yang terintegrasi melalui Human Machine Interface (HMI) sehingga track record bisa tersimpan pada database.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. C. Gjaerde. (1997), “Multifactor Ageing Models – Origin and Similarities”, IEEE El. Ins. Mag., vol. 13. no. 1, pp.6-13.
- [2] Dapis. (2015), Analisis Percepatan Penuaan Isolasi Akibat Menambahkan Kelembaban dan Kontaminan pada Motor Induksi Berbeban, Tesis., Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya.
- [3] E. Wiedenbrug, G. Frey, and J. Wilson. (2003), “Impulse testing and turn insulation deterioration in electric motors”, Conf. Rec. Annu. IEEE Pulp Paper Ind. Tech. Conf., pp. 50–55.
- [4] Hanif, Mohammed. (2005), “Principle & Application of Insulation Testing with DC”, IEP-SAC Journal.
- [5] IEEE Std 43–2000. (2000), “Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery”, IEEE Standards Association.
- [6] Deshpande, M.V., “Electric Motor : Application & Control”, A. H. Wheeler and Co. Ltd, 1990.
- [7] McKinnon, David L. (2012), “Simulating Insulation System Under Various Environmental Conditions in Laboratory”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation.
- [8] McKinnon, David L. (2010), “Insulation Resistance Profile (IRP) And Its Use For Assessing Insulation Systems”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation.
- [9] Baker Instrument Company, “SKF Static Motor Analyzer User manual.” Baker Instrument Company, 2013.
- [10] M. Fenger and G.C. Stone. (2012), Investigations into the Effect of Humidity on Stator Winding Partial Discharges, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation.
- [11] Stefan Grubic, Jose Restrepo, Jose M. Aller, Bin Lu and Thomas G. Habetler. (2011), A New Concept for Online Surja Testing for the Detection of Winding Insulation Deterioration in Low Voltage Induction Machines, IEEE Transactions on Industry Applications.
- [12] National Instruments, “Technical Sales.” National Instruments.
- [13] Verivolt, “Specification Sheet for Verivolt Ultra-Compact, High-Bandwidth, Differential Voltage Sensor.” Verivolt.

- [14] Baker, "AWA Surja Test Pass/Fail Criteria." SKF.
- [15] John Wilson. (2003), "Current State Of Surja Testing Induction Machines",Iris Rotating Machine Conference.
- [16] IEEE Standart 522. (2004), "IEEE Guide for Testing Turn Insulation of Form-Wound Stator Coils for Alternating-Current Electric Machines", Aron.

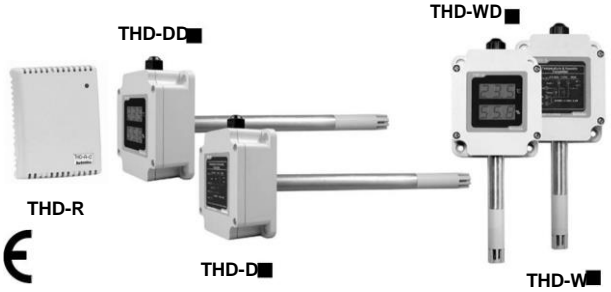
LAMPIRAN A DATASHEET SENSOR PLANT

THD Series

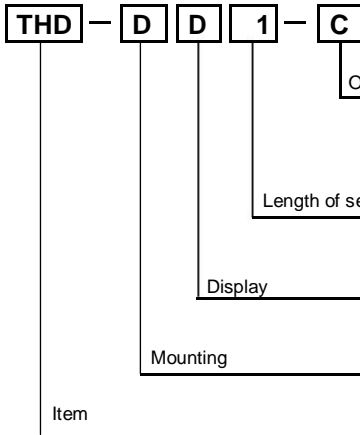
Indoor, Duct & Wall mounting type Temperature/Humidity transducer

Features

- Compact design
- Built-in temp./humidity sensor
- 7 Segment LED Display(THD-DD/THD-WD)
- Various output modes
DC4-20mA, 1-5VDC, RS485(Modbus RTU)
- Wide range of temp./humidity measurement -19.9 to 60.0°C / 0.0 to 99.9%RH
- Communication speed: 115200bps



Ordering information



※ PT	DPT100Ω resistance value(Temp.)
※ PT/C	DPT100Ω resistance value(Temp.) / DC4-20mA current output(Humidity)
C	DC4-20mA current output(Temp./Humidity)
V	1-5VDC voltage output(Temp./Humidity)
T	RS485 communication output Modbus RTU(Temp./Humidity)
※ No mark	Built-in
1	100mm
2	200mm
No mark	Non-Display type
D	Display type
R	Room type(For indoor)
D	Duct mounting type
W	Wall mounting type
THD	Temperature Humidity Double

※It is only for THD-R.

Specifications

Model	THD-R-PT	THD-R-PT/C	THD-R-C THD-R-V THD-R-T	THD-D ■ - ■ THD-W ■ - ■	THD-DD ■ - ■ THD-WD ■ - ■
Power supply	-	24VDC			
Allowable voltage range	90 to 110% of rated voltage				
Power consumption	-	Max. 2.4W			
Measuring input	Temperature (Built-in sensor)	Temperature, Humidity(Built-in sensor)			
Display type	Non-indicating type				7 Segment LED display
Display digit	-				Each 3digits for temp./humidity
Character size	-				W6.2xH10.0mm
Measurement range	Temp.	-19.9 to 60.0°C			
	Humidity	-	0.0 to 99.9%RH(THD-R is required to attend for using over 90%RH.)		
Accuracy※ ¹	Temp.	Max. ±0.8°C	+1.0°C (at room temperature)		
	Humidity	-	±3%RH (30 to 70%RH, at room temp.), ±4%RH (10 to 90%RH)		±2%RH (10 to 90%RH, at room temp.)
		-			
Output※ ²	Temp.	DPT100Ω resistance value	DC4-20mA, 1-5VDC, RS485 communication output(Modbus RTU)		
	Humidity	-	DC4-20mA		
Sampling cycle	-	Fixed in 0.5 sec.			
Insulation resistance	-	Min. 100MΩ(at 500VDC megger)			
Dielectric strength	-	500VAC 50/60Hz for 1 minute			
Noise resistance	-	±0.3kV the square wave noise(pulse width:1μs) by the noise simulator			

Temperature/Humidity Transducer

Specifications

Model	THD-R-PT	THD-R-PT/C	THD-R-C THD-R-V THD-R-T	THD-D■-■ THD-W■-■	THD-DD■-■ THD-WD■-■
Vibration	Mechanical	-	0.75mm amplitude at frequency of 10 to 55Hz(for 1 min.) in each of X, Y, Z directions for 1hour		
	Malfunction	-	0.5mm amplitude at frequency of 10 to 55Hz(for 1 min.) in each of X, Y, Z directions for 10min.		
Shock	Mechanical	-	300m/s ² (approx. 30G) in each of X, Y, Z directions for 3 times		
	Malfunction	-	100m/s ² (approx. 10G) in each of X, Y, Z directions for 3 times		
Protection	IP10			IP65(except sensing part)	
Ambient temperature	-20 to 60°C, storage: -20 to 60°C				
Cable	Terminal type			Ø4mm, 4-wire, Length: 2m	
Approval	CE				
Unit weight	Approx. 55g			Approx. 160g	

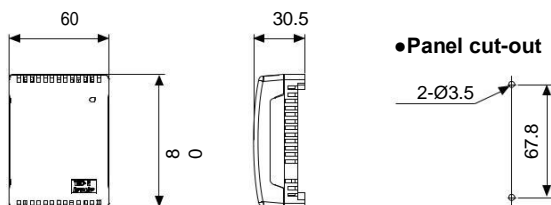
※3: The weight is with packaging and the weight in parentheses is only unit weight.

※Environment resistance is rated at no freezing or condensation.

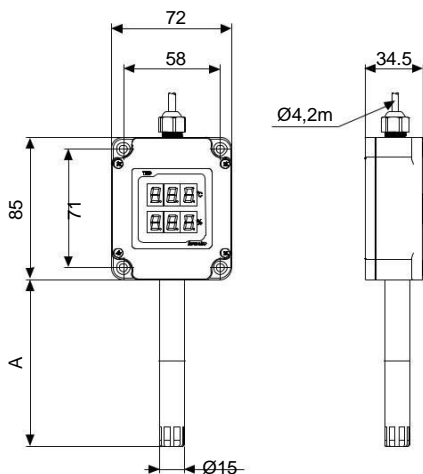
Dimensions

(unit: mm)

● THD-R

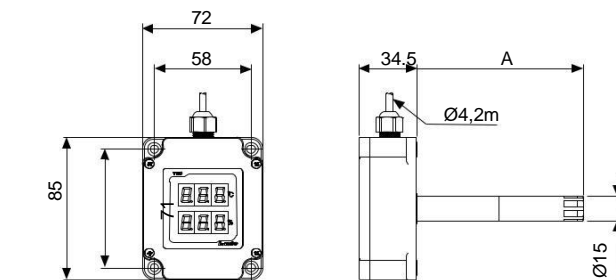


● THD-W

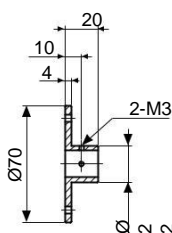


Model	Length of sensor pole(A)
THD■ ■	100mm
THD■ ■	200mm

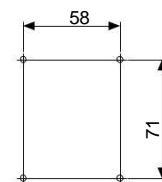
● THD-D



● Bracket



● Panel cut-out



(A) Photo electric sensor

(B) Fiber optic sensor

(C) Door/Area sensor

(D) Proximity sensor

(E) Pressure sensor

(F) Rotary encoder

(G) Connector/Socket

(H) Temp. controller

(I) SSR/Power controller

(J) Counter

(K) Timer

(L) Panel meter

(M) Tacho/Speed/Pulse meter

(N) Display unit

(O) Sensor controller

(P) Switching mode power supply

(Q) Stepper motor& Driver&Controller

(R) Graphic/Logic panel

(S) Field network device

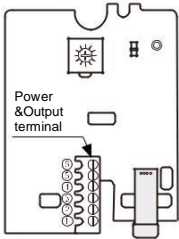
(T) Software

(U) Other

THD Series

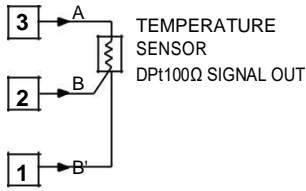
Connections

THD-R

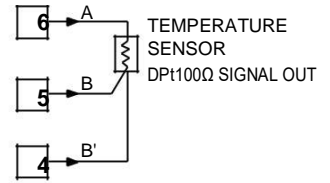


※Check the terminal connection diagram and be sure that when connecting the power.

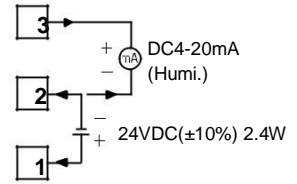
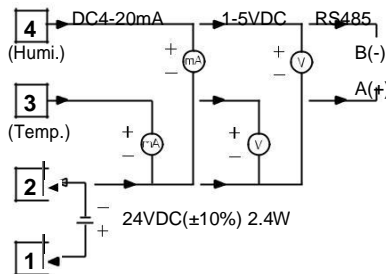
THD-R-PT



THD-R-PT/C

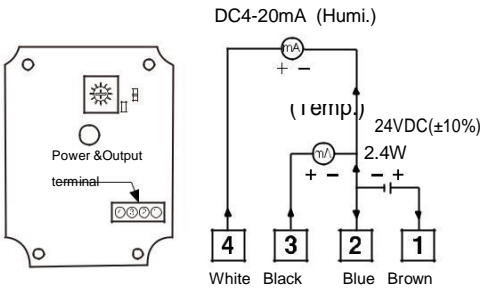


THD-R-C, V, T

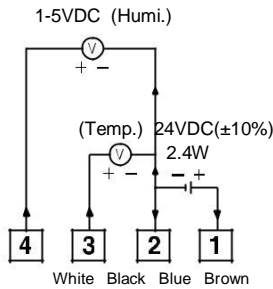


THD-D / THD-W

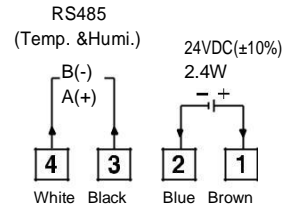
Current output type



Voltage output type



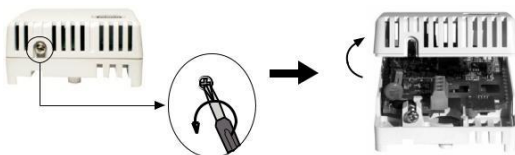
Comm. output type



Case detachment

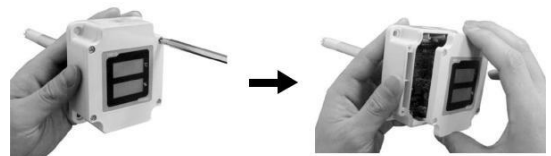
THD-R

Unfasten the bolt on the bottom of the product, separate the case from it.



THD-D / THD-W

Unfasten 4 bolts on the top of the product, separate the case cover from it.



Temperature/Humidity Transducer

■ Functions

⊙ Voltage output

It transmits current temperature/humidity to other devices(PC, recorder, etc.) and outputs 1-5VDC. It outputs 1VDC at -19.9°C of temperature and 0%RH of humidity, 5VDC at 60°C of temperature and 99.9%RH of humidity. The temperature and humidity output are separated and the resolution is divisible by 1,000.

⊙ Current output

It transmits current temperature/humidity to other devices(PC, recorder, etc.) and outputs DC4-20mA. It outputs DC4mA at -19.9°C of temperature and 0%RH of humidity, DC20mA at 60°C of temperature and 99.9%RH of humidity. The temperature and humidity output are separated and the resolution is divisible by 1,000.

⊙ Temperature sensor output(DPt 100Ω resistance value output)

It transmits current temperature to other devices(recorder, thermometer, etc.). It outputs 100Ω at 0°C and 119.40Ω at 50°C. (TCR=3850 ppm/°C)

■ Integrated device management program [DAQMaster]

DAQMaster is an integrated device management program for convenient management of parameters and multiple device data monitoring. Visit our website (www.autonics.com) to download user manual and integrated device management program.

■ RS485 communication output

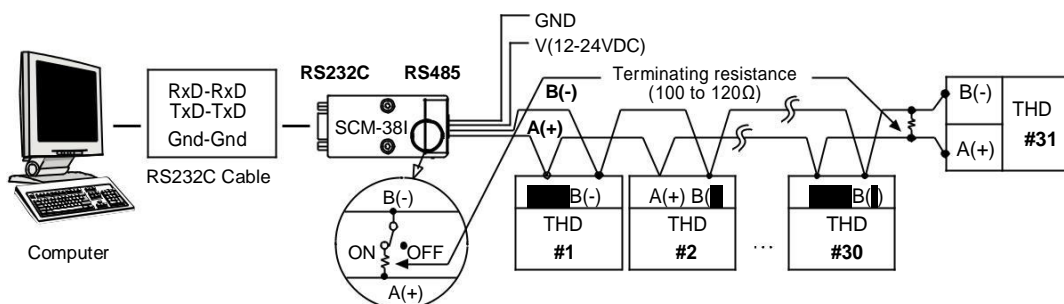
It is output transmit current temperature and humidity to other devices by communication.

⊙ Interface

Standard	EIA RS485
Maximum connections	31(Address setting: 01 to 31)
Communication method	2-wire half duplex
Synchronous method	Asynchronous
Effective communication distance	Max. 800m
Communication speed	1200 to 115200bps(Setting)
Start bit	1bit(Fixed)
Stop bit	1bit(Fixed)
Parity bit	None(Fixed)
Data bit	8bit(Fixed)
Protocol	Modbus RTU

- ※It is not possible to change parameter related to communication of THD under the communication with high order system.
- ※Match the parameter of THD communication to be same as the high order system.
- ※It is not allowed to set overlapping communication address at the same communication line.
- ※Please use a proper twist pair for RS485 communication.

⊙ Application of system organization



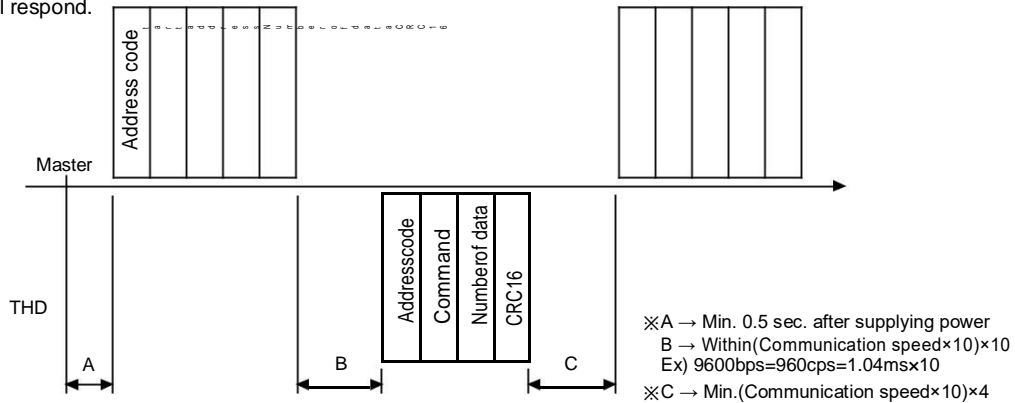
- ※It is recommended to use communication converter, RS232C to RS485 converter(SCM-381, sold separately), USB to RS485 converter(SCM-US481, sold separately).

(A)	Photo electric sensor
(B)	Fiber optic sensor
(C)	Door/Area sensor
(D)	Proximity sensor
(E)	Pressure sensor
(F)	Rotary encoder
(G)	Connector/Socket
(H)	Temp. controller
(I)	SSR/Power controller
(J)	Counter
(K)	Timer
(L)	Panel meter
(M)	Tacho/Speed/Pulse meter
(N)	Display unit
(O)	Sensor controller
(P)	Switching mode power supply
(Q)	Stepper motor& Driver&Controller
(R)	Graphic/Logic panel
(S)	Field network device
(T)	Software
(U)	Other

THD Series

◎ Ordering of communication control

- The communication method is Modbus RTU.
- After 0.5sec. being supplied the power into master system, it is able to start communication.
- The initial communication is started by master system. When a command comes out from the master system, THD will respond.



● Communication command and block

The format of query and response.

Query

Address code	Command	Start address	Number of data	CRC16
Calculation range of CRC16				

- ①Address code: This address code is for identifying THD by master system and able to set within range of 01 to 31.
- ②Command: Read command for input register
- ③Start address: The start address of input register to read(Start address). It is available to select 0000 and 0001 for start address. 16bit data in the address 0000 indicates temperature value, 16bit data in the address 0001 indicates humidity value.(Refer to Modbus Mapping table.)
- ④Number of data: The number of 16bit data from start address(No. of Points). When start address is 0000, it is available to read 2 of 16 bit data, or when start address is 0001, it is available to read 1 of 16 bit data.
- ⑤CRC16: Checksum for checking the whole frame and it is used for more reliable transmit/receive to check the error between transmitter and receiver.

Response

Address code	Command	Number of data	Temperature data	Humidity data	CRC16
Calculation range of CRC16					

- ①Address code: This address code is for identifying THD by master system and able to set within range of 01 to 31.
- ②Command: A response for read command of input register
- ③Number of data: The number of 8 bit data to send from start address(No. of bytes). When start address is 0000, it is available to read 4 of 8 bit data, or when start address is 0001, it is available to read 2 of 8 bit data.
- ④Temperature data: This is the value of 16bit. To get a current temperature value, divide read value by 100.
Ex)When read data is 0x09B0, decimal value is 2480, the current value is 2480/100=24.80°C.
- ⑤Humidity data: This is the value of 16bit. To get a current humidity value, divide read value by 100.
Ex)When read data is 0x0B68, decimal value is 2920, the current value is 2920/100=29.20%RH.
- ⑥CRC16: Checksum for checking the whole frame.

● Application for communication command

(Query): Address code(01), Start address(0000), The number of 16 bit data to read(2) CRC16(0x71CB)

01	04	00	00	00	02	71	CB
Address code	Command	Start address		Amount of data		CRC16	
		High	Low	High	Low	High	Low

(Response): Address code(01), The number of 8 Bit data to read(4), Temperature(0x09B0), Humidity(0x0B68) CRC(0x94DE)

01	04	04	09	B0	0B	68	94	DE
Address code	Response command	Amount of data	Temperature data		Humidity data		CRC16	
			High	Low	High	Low	High	Low

Temperature/Humidity Transducer

● Error processing(Slave → Master)

1. Not supported command

01	8X	01	XX	XX
Address code	Response command	Exception code	CRC16	

※Set a received highest bit and send it to response command and exception code 01.

2. The start address of queried data is inconsistent with the transmittable address or the requested number of data is bigger than the transmittable address.

01	84	02	C2	C1
Address code	Response command	Exception code	CRC16	

※Set a received highest bit and send it to response command and exception code 02.

◎ Setting communication speed

- 1) Set SW1 to 0 and apply the power.
- 2) Operation indicator LED is flashing.
- 3) Set a communication speed after choose SW1 within the range 1 to 8 and hold it for 3sec.
- 4) After setting a communication speed, the LED will be ON. At the moment turn OFF the power.

※Factory default communication speed is 9600bps.

※In order to change the communication speed, please turn off the power and repeat step 1 to 4.

<Setting table for communication speed(bps)>

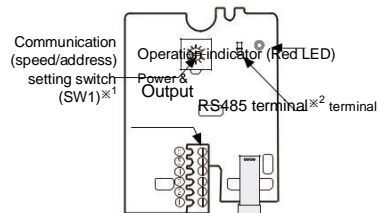
SW1	Communication speed(bps)
1	1200
2	2400
3	4800
4	9600
5	19200
6	38400
7	57600
8	115200

◎ Change the communication address

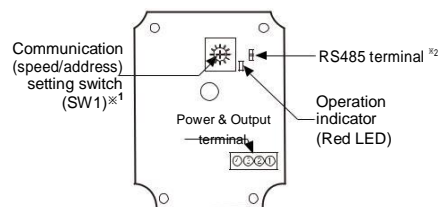
- 1) Set RS485 terminal and SW1 at new address, apply the power.
 - 2) The communication address is changed automatically.
- ※Factory default communication address is 01.(SW1: 1, RS485 terminal: Open)
 ※In order to change the communication address, please turn off the power and repeat step 1) to 2).
 ※Setting table of communication address

RS485 terminal	SW1	Add no.	RS485 terminal	SW1	Add no.
OPEN	1	01	SHORT	0	16
OPEN	2	02	SHORT	1	17
OPEN	3	03	SHORT	2	18
OPEN	4	04	SHORT	3	19
OPEN	5	05	SHORT	4	20
OPEN	6	06	SHORT	5	21
OPEN	7	07	SHORT	6	22
OPEN	8	08	SHORT	7	23
OPEN	9	09	SHORT	8	24
OPEN	A	10	SHORT	9	25
OPEN	B	11	SHORT	A	26
OPEN	C	12	SHORT	B	27
OPEN	D	13	SHORT	C	28
OPEN	E	14	SHORT	D	29
OPEN	F	15	SHORT	E	30
-	-	-	SHORT	F	31

<Inner PCB of THD-R>



<Inner PCB of THD-D/THD-W>



※1. Only when communication setting, remove the case cover and adjust the communication setting switch to set address and communication speed.

※2. Short terminal as upper address setting terminal, the lower address setting is available.

◎ Modbus Mapping Table

Address	Item	Remark
30001(0000)	Temperature value	Temperature value × 0.01
30002(0001)	Humidity value	Humidity value × 0.01

※Visit our website(www.autonics.com) to download monitoring program for RS485 communication output.

(A) Photo electric sensor

(B) Fiber optic sensor

(C) Door/Area sensor

(D) Proximity sensor

(E) Pressure sensor

(F) Rotary encoder

(G) Connector/Socket

(H) Temp. controller

(I) SSR/Power controller

(J) Counter

(K) Timer

(L) Panel meter

(M) Tacho/Speed/Pulse meter

(N) Display unit

(O) Sensor controller

(P) Switching mode power supply

(Q) Stepper motor& Driver&Controller

(R) Graphic/Logic panel

(S) Field network device

(T) Software

(U) Other

THD Series

■ Caution for using

- After checking the input specification, terminal polarity, connect the wires correctly.
- Do not connect a wire, examine and repair when the power is applying.
- Do not touch the temperature/humidity sensor by hands.
- When removing a packing box, do not store this unit at the high temperature/humidity environment.
- Do not use or storage this unit at over the 90%RH for a long time.
- This unit must be mounted on the wall.(THD-R)
- Caution for cleaning
 - Use dry towel.
 - Do not use acid, chrome acid, solvent but alcohol.
 - Turn off the power before cleaning the unit. After 30min. of cleaning, supply the power to the unit.
- Do not inflow dust or wire dregs into the unit.
- The connection wire of this unit should be separated from the power line and high voltage line in order to prevent from inductive noise.
- Keep away from the high frequency instruments.(High frequency welding machine & sewing machine, big capacitive SCR controller)
- The switch or circuit-breaker should be installed near by users.
- Installation environment
 - It shall be used indoor.
 - Altitude Max. 2000m.
 - Pollution Degree 2
 - Installation Category II.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN B DATASHEET CONTROLLER PLANT

TK Series

High Function/High Performance PID Control

Line-up

■ Features

- **Convenient parameter setting (by DAQMaster)**

- **Parameter mask**
Hides unnecessary and seldom used parameters
- **User parameter group**
Groups usually used parameters to set parameters fast and conveniently

- **Line-up AC/DC voltage type (except TK4N)**

- Super high-speed sampling cycle
(10 times faster compared to previous models)
: 50ms sampling cycle and $\pm 0.3\%$ display-accuracy.
- Improved visibility with wide display part and high luminance LED
- High performance controlling with heating/cooling control and automatic/manual control modes.
- Communication function supported: RS485 (Modbus RTU) ● Allows parameter setting by USB port of PC.
: Free download the comprehensive device management program (DAQMaster)
×Communication converter, sold separately.
: SCM-US (USB to Serial converter), SCM-38I (RS-232C to RS485 converter), SCM-US48I (USB to RS485 converter)
- SSR drive output or Current output selectable
- SSRP output (standard/phase/cycle control selectable)
- Heater burn-out alarm (CT input) (except TK4SP) (×CT, sold separately: CSTC-E80LN, CSTC-E200LN)
- Multi SV setting function (Max. 4) - selectable via digital input terminals.
- Mounting space saving with compact design
: downsized by approx. 38% (60mm) in depth compared to previous models.
×Terminal cover, sold separately: R■A -COVER (except TK4N, TK4SP)
- Multi input / Multi range



AC/DC voltage type

Please read "Caution for your safety" in operation manual before using.



■ Manual

- Visit our website (www.autonics.com) to download user manual and communication manual.
- User manual describes for specifications and function, and communication manual describes for RS485 communication (Modbus RTU protocol) and parameter address map data.

■ Comprehensive Device Management Program (DAQMaster)

- DAQMaster is comprehensive device management program. It is available for parameter setting, monitoring, and user parameter group setting, parameter mask setting for only TK4 Series.
- Visit our website (www.autonics.com) to download user manual and comprehensive device management program.

< Computer specification for using software >




Item	Minimum requirements
System	IBM PC compatible computer with Intel Pentium III or above
Operating system	Microsoft Windows 98/NT/XP/Vista/7/8/10
Memory	256MB or more
Hard disk	More than 1GB of free hard disk space
VGA	1024×768 or higher resolution display
Others	RS-232 serial port (9-pin), USB port









< DAQMaster screen >



TK Series

Specifications

Series		TK4N	TK4SP	TK4S	TK4M	TK4W	TK4H	TK4L
Power supply	AC voltage	100-240VAC 50/60Hz						
	AC/DC voltage	24VAC 50/60Hz, 24-48VDC						
Allowable voltage range		90 to 110% of rated voltage						
Power consumption	AC voltage	Max. 6VA	Max. 8VA					
	AC/DC voltage	Max. 8VA(24VAC 50/60Hz), Max. 5W(24-48VDC)						
Display method		7 Segment (PV: red, SV: green), Other display part (green, yellow, red) LED method						
Character size	PV (W×H)	4.5×7.2mm	7.0×14.0mm	9.5×20.0mm	8.5×17.0mm	7.0×14.6mm	11.0×22.0mm	
	SV (W×H)	3.5×5.8mm	5.0×10.0mm	7.5×15.0mm	6.0×12.0mm	6.0×12.0mm	7.0×14.0mm	
Input type	RTD	JPt100Ω, DPt100Ω, DPt50Ω, Cu100Ω, Cu50Ω, Nickel 120Ω (6 types)						
	Thermocouple	K, J, E, T, L, N, U, R, S, B, C, G, PLII (13 types)						
	Analog	Voltage: 0-100mV, 0-5V, 1-5V, 0-10V (4 types) / Current: 0-20mA, 4-20mA (2 types)						
Display accuracy	RTD	At room temperature (23°C±5°C): (PV ±0.3% or ±1°C, select the higher one) ±1digit ※ ¹ Out of room temperature range: (PV ±0.5% or ±2°C, select the higher one) ±1digit						
	Thermocouple	※In case of TK4SP Series, ±1°C will be added.						
	Analog	At room temperature (23°C±5°C): ±0.3% F.S. ±1digit Out of range of room temperature: ±0.5°C% F.S. ±1digit						
	CT input	±5% F.S. ±1digit						
Control output	Relay	OUT1, OUT2: 250VAC 3A 1a						
	SSR	11VDC±2V 20mA Max.						
	Current	DC4-20mA or DC0-20mA selectable (load 500Ω Max.)						
Alarm output	Relay	AL1, AL2 Relay: 250VAC 3A 1a ※TK4N AL2: 250VAC 0.5A 1a (Max.125VA), TK4SP has only AL1.						
Option output	Transmission	DC4-20mA (load 500Ω Max., Accuracy: ±0.3% F.S.)						
	Communication	RS485 communication output (Modbus RTU)						
Option input	CT input	0.0-50.0A (primary heater current value measuring range) ※CT ratio = 1/1000 (except TK4SP)						
	Digital input	Contact Input: ON - Max. 2kΩ, OFF - Min. 90kΩ Non-contact Input: ON - Residual voltage max. 1.0V, OFF - Leakage current max. 0.1mA Outflow current: Approx. 0.5mA ※TK4S/M-1EA (TK4S-D-2EA, TK4SP-None), TK4N/H/W/L-2EA						
Control type	Heating, cooling Heating&cooling	ON/OFF, P, PI, PD, PID control						
Hysteresis		Thermocouples / RTD: 1 to 100°C/°F (0.1 to 100.0°C/°F) variable Analog: 1 to 100digit						
Proportional band (P)		0.1 to 999.9°C/°F (0.1 to 999.9%)						
Integral time (I)		0 to 9999 sec.						
Derivative time (D)		0 to 9999 sec.						
Control period (T)		Relay output, SSR drive output: 0.1 to 120.0 sec., Current output or SSR drive output selectable: 1.0 to 120.0 sec.						
Manual reset value		0.0 to 100.0%						
Sampling period		50ms						
Dielectric strength		2,000VAC 50/60Hz for 1min. (between power source terminal and input terminal)						
Vibration		0.75mm amplitude at frequency of 5 to 55Hz (for 1min.) in each X, Y, Z direction for 2 hours						
Relay life cycle	Mechanical	OUT1/2: Over 5,000,000 times, AL1/2: Over 20,000,000 times (TK4H/W/L: Over 5,000,000 times)						
	Electrical	OUT1/2: Over 200,000 times, AL1/2: Over 100,000 times (TK4H/W/L: Over 200,000 times)						
Insulation resistance		Min. 100MΩ (at 500VDC megger)						
Noise resistance		±2kV R-phase, S-phase the square wave noise (pulse width: 1us) by the noise simulator						
Memory retention		Approx. 10 years (when using non-volatile semiconductor memory type)						
Environment	Ambient temperature	-10 to 50°C, storage: -20 to 60°C						
	Ambient humidity	35 to 85%RH, storage: 35 to 85%RH						
Protection structure		IP65 (Front panel) ※TK4SP: IP50 (Front panel)						
Insulation type		Double insulation or reinforced insulation (Mark: ) Dielectric strength between the measuring input part and the power part: 2kV)						
Approval		  						
Weight※ ²		Approx. 140g (Approx. 70g)	Approx. 130g (Approx. 85g)	Approx. 150g (Approx. 105g)	Approx. 210g (Approx. 140g)	Approx. 211g (Approx. 141g)	Approx. 294g (Approx. 198g)	

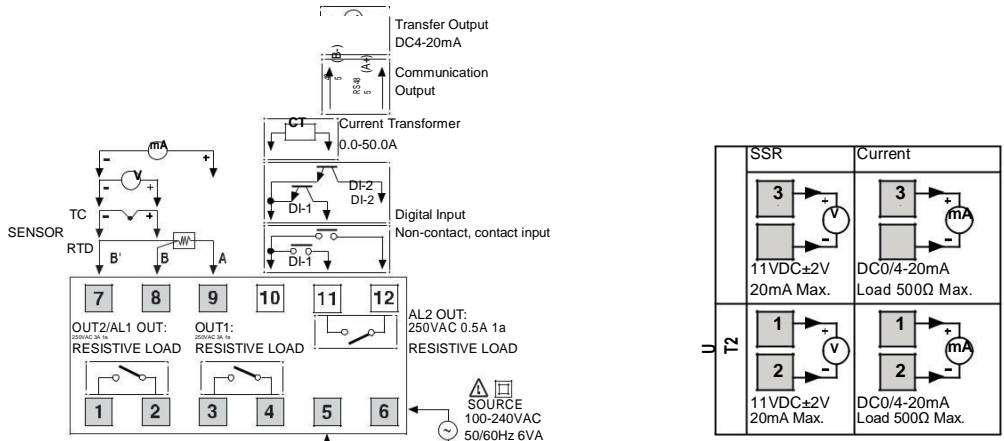
- ※1:  At room temperature (23°C±5°C)
 Thermocouple K, J, T, N, E type, below -100°C / Thermocouple L, U, PLII type, RTD Cu50Ω, DPt50Ω : (PV ±0.3% or ±2°C, select the higher one) ±1digit
 Thermocouple C, G, R, S type, below 200°C: (PV ±0.3% or ±3°C, select the higher one) ±1digit
 Thermocouple B type, below 400°C: There is no accuracy standards.
 Out of room temperature range
 RTD Cu50Ω, DPt50Ω: (PV ±0.5% or ±3°C, select the higher one) ±1digit
 Thermocouple R, S, B, C, G type: (PV ±0.5% or ±5°C, select the higher one) ±1digit
 Others, Below -100°C: Within ±5°C
 In case of TK4SP Series, ±1°C will be added to the degree standard.
 ※2: The weight includes packaging. The weight in parentheses is for unit only.
 ※Environment resistance is rated at no freezing or condensation.

High Accuracy Standard PID Control

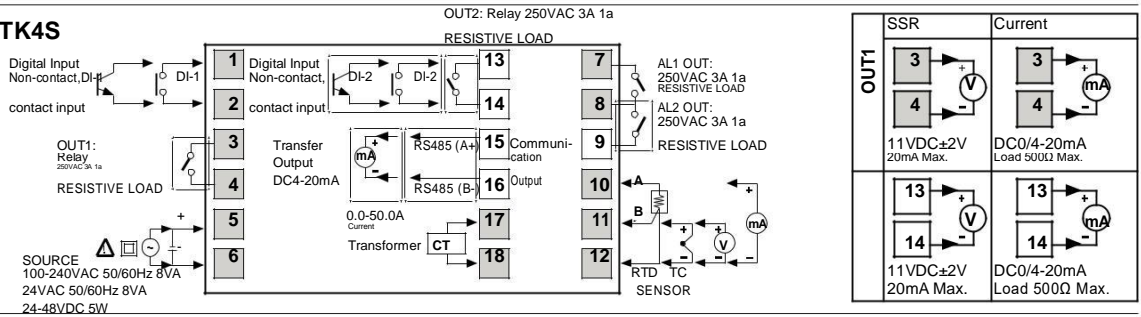
Connections

- ※Please check the polarity when connecting temperature sensor or analog input.
- ※Standard model has shaded terminals only.
- ※Operation mode of heating&cooling OUT 2 relay output model is heating or cooling, OUT 2 is available as alarm output 3. (except TK4N Series).
- ※Operation mode of heating&cooling OUT 2 current output model is heating or cooling, OUT 2 is available as transmission output 2.

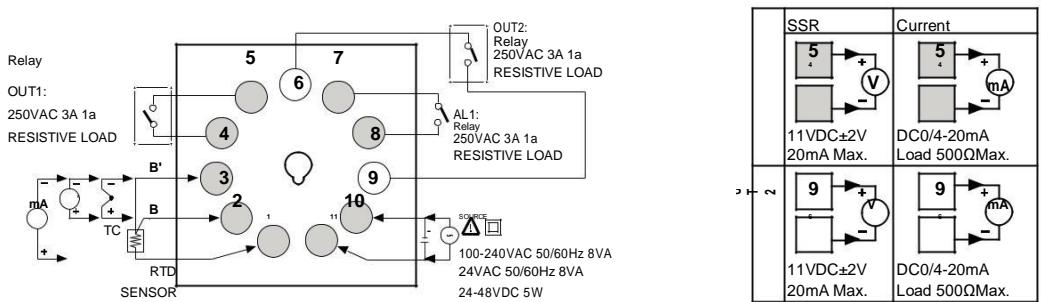
TK4N



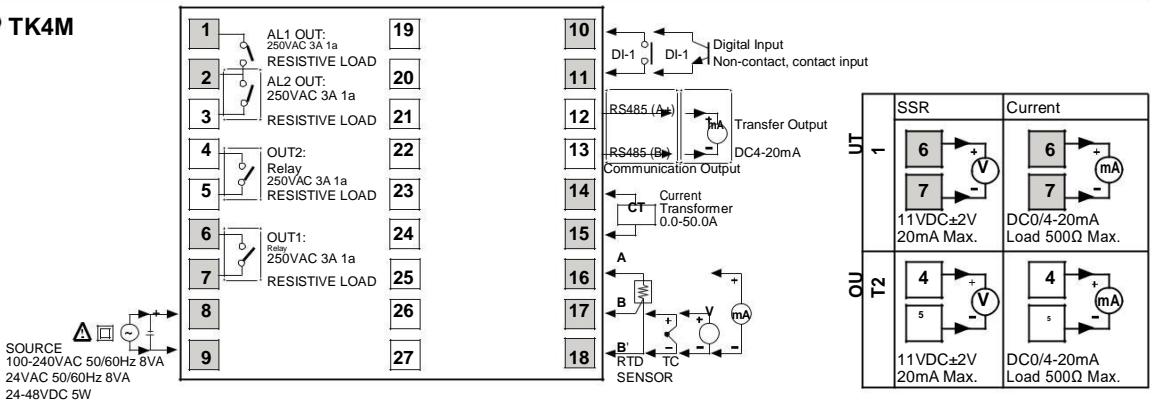
TK4S



TK4SP



TK4M



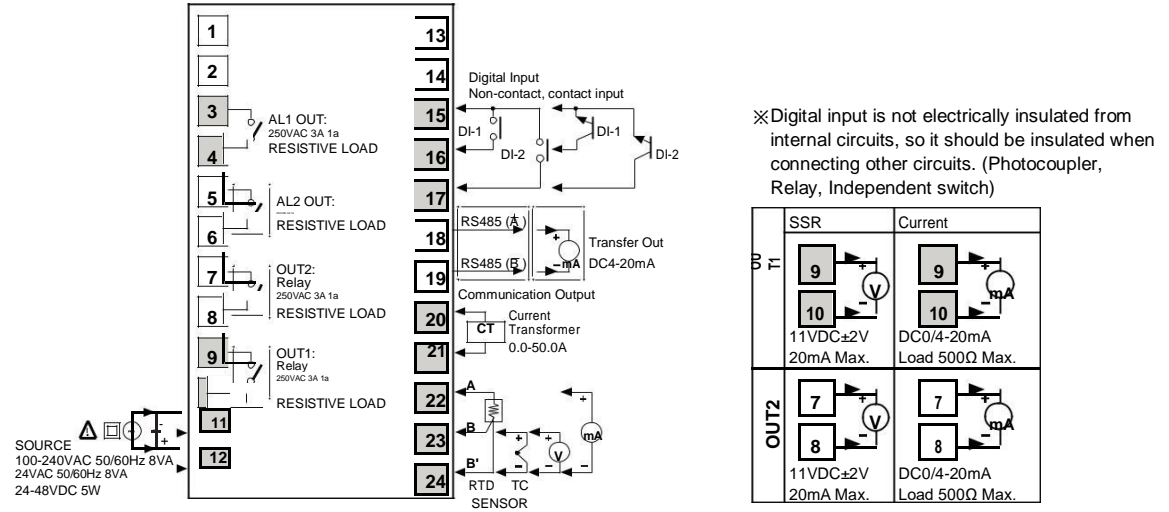
- (A) Photoelectric Sensors
- (B) Fiber Optic Sensors
- (C) Door/Area Sensors
- (D) Proximity Sensors
- (E) Pressure Sensors
- (F) Rotary Encoders
- (G) Connectors/ Sockets
- (H) Temperature Controllers
- (I) SSRs / Power Controllers
- (J) Counters
- (K) Timers
- (L) Panel Meters
- (M) Tacho / Speed / Pulse Meters
- (N) Display Units
- (O) Sensor Controllers
- (P) Switching Mode Power Supplies
- (Q) Stepper Motors & Drivers & Controllers
- (R) Graphic/ Logic Panels
- (S) Field Network Devices
- (T) Software

TK Series

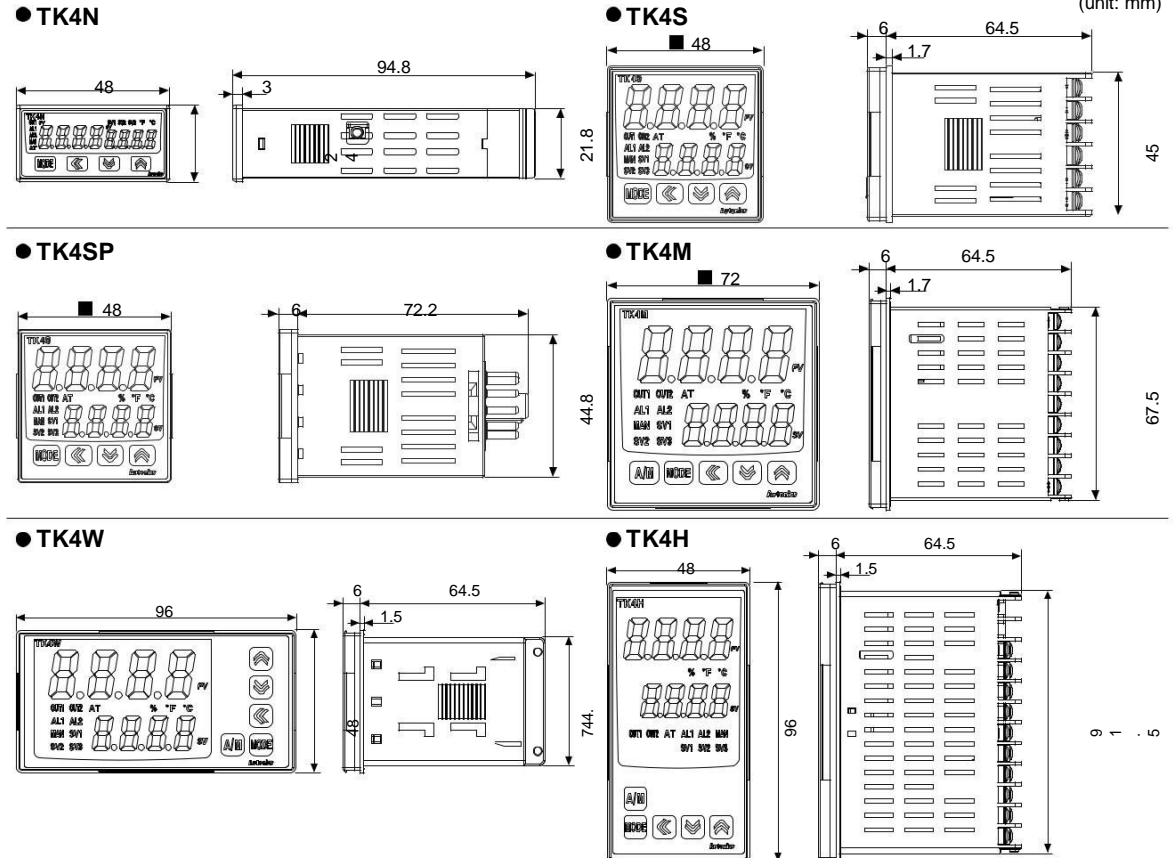
Connections

- ※Please check the polarity when connecting temperature sensor or analog input.
- ※Standard model has shaded terminals only.
- ※Operation mode of heating&cooling OUT2 relay output model is heating or cooling, OUT2 is available as alarm output 3. (except TK4N Series).
- ※Operation mode of heating&cooling OUT2 current output model is heating or cooling, OUT2 is available as transmission output 2.

TK4H / TK4W / TK4L



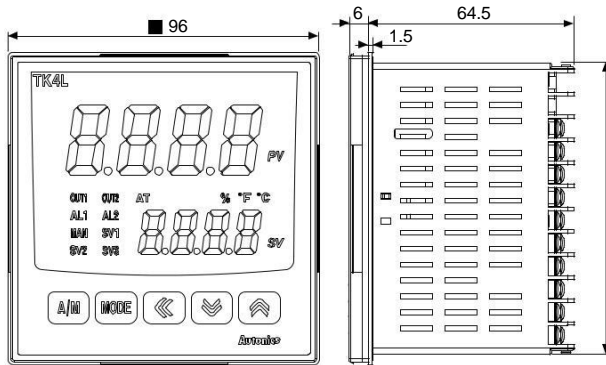
Dimensions



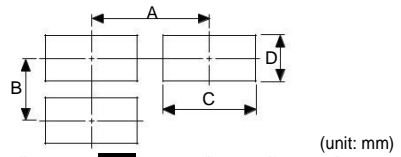
High Accuracy Standard PID Control

Dimensions

TK4L



Panel cut-out

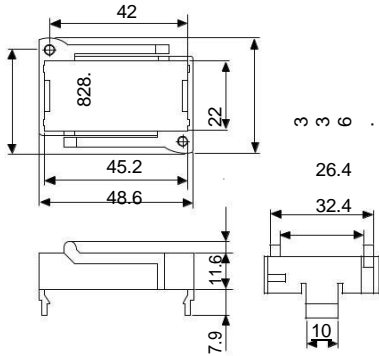


(unit: mm)

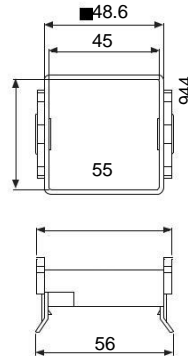
	A	B	C	D
TK4N	Min. 55	Min. 37	45* _{0.1}	22.2* _{0.3}
TK4S	Min. 65	Min. 65	45* _{0.1}	45* _{0.1}
TK4SP	Min. 65	Min. 65	45* _{0.1}	45* _{0.1}
TK4M	Min. 90	Min. 90	68* _{0.1}	68* _{0.1}
TK4H	Min. 65	Min. 115	45* _{0.1}	92* _{0.1}
TK4W	Min. 115	Min. 65	92* _{0.1}	45* _{0.1}
TK4L	Min. 115	Min. 115	92* _{0.1}	92* _{0.1}

Bracket

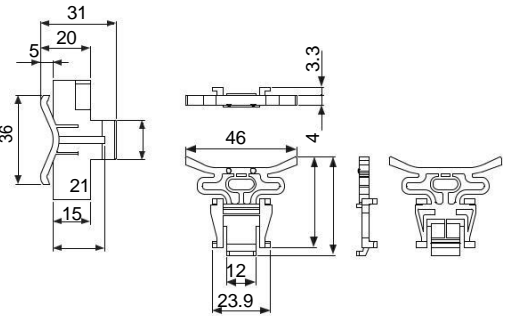
TK4N Series



TK4S, TK4SP Series

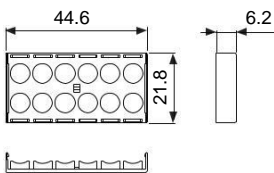


TK4M/W/H/L Series



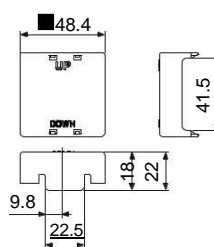
Terminal cover (sold separately)

TK4N Cover (48x24mm)

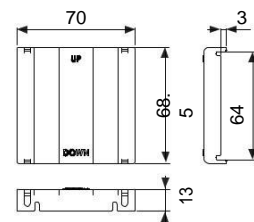


※TK4N COVER is accessory.

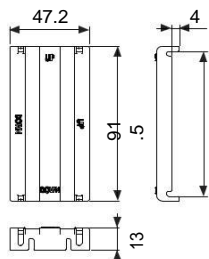
RSA Cover (48x48mm)



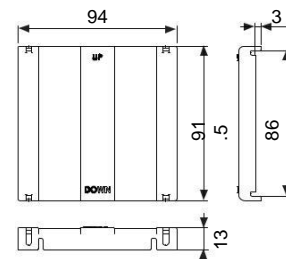
RMA Cover (72x72mm)



RHA Cover (48x96mm, 96x48mm)



RLA Cover (96x96mm)

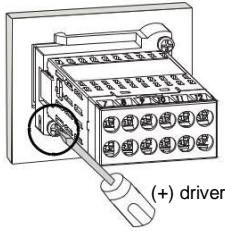


- (A) Photoelectric Sensors
- (B) Fiber Optic Sensors
- (C) Door/Area Sensors
- (D) Proximity Sensors
- (E) Pressure Sensors
- (F) Rotary Encoders
- (G) Connectors/Sockets
- (H) Temperature Controllers
- (I) SSRs / Power Controllers
- (J) Counters
- (K) Timers
- (L) Panel Meters
- (M) Tacho / Speed / Pulse Meters
- (N) Display Units
- (O) Sensor Controllers
- (P) Switching Mode Power Supplies
- (Q) Stepper Motors & Drivers & Controllers
- (R) Graphic/ Logic Panels
- (S) Field Network Devices
- (T) Software

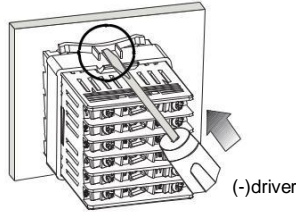
TK Series

Product Mounting

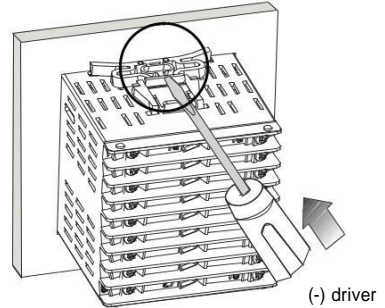
- TK4N (48x24mm) Series
- TK4S/SP (48x48mm) Series
- Other Series



※Insert the unit into a panel, fasten the bolt with a (+) driver.



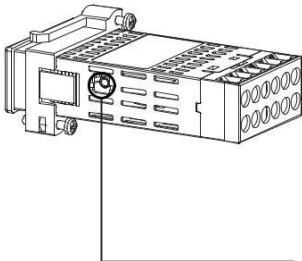
※Insert the unit into a panel, fasten the bracket by pushing with tools with a (-) driver.



Unit Description

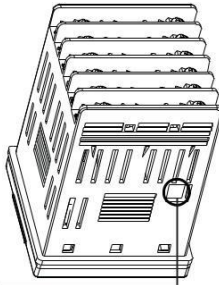


TK4N Series

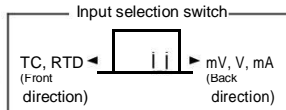
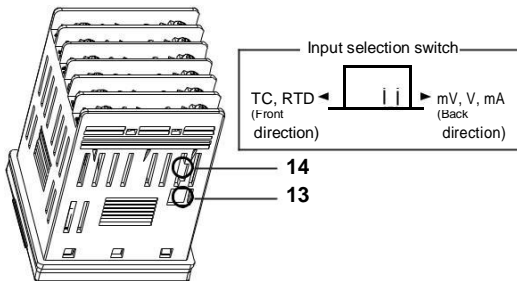


※The input selection switch (TC, RTD/mV, V, mA) switch disappears. Select input type [IN-T] in parameter 3 group.

Other Series



The previous model



1. Measured value (PV) display part:

- RUN mode: It displays currently measured value (PV).
- Setting mode: It displays the parameter.

2. Set value (SV) display part:

- RUN mode: It displays the set value (SV).
- Setting mode: It displays the set value of the parameter.

3. Unit (°C / °F / %) indicator:

It displays the unit set at display unit [UNT] in parameter 3 group. (In case of TK4N, % is not supported)

4. Manual control indicator:

It turns ON during manual controlling.

5. Multi SV indicator:

One of SV1 to 3 indicators will be ON in case of selecting multi SV function.

6. Auto tuning indicator:

It flashes by 1 sec. when executing auto tuning.

7. Alarm output (AL 1, AL 2) indicator:

It turns ON when the alarm output is ON.

8. Control output (OUT 1, OUT 2) indicator:

It turns ON when the control output is ON.

※During cycle/phase controlling in SSRP function model (TK4■-■4S■) when MV is over 5.0%, it turns ON.

※To use current output, when MV is 0.0% in manual control, it turns OFF. Otherwise, it always turns ON. When MV is over 3.0% in auto control, it turns ON and when MV is below 2.0%, it turns OFF.

9. AM key:

It is used when switching auto control to manual control.

※TK4N/S/SP do not have AM key. MODE key operates switching simultaneously.

10. MODE key:

It is used when entering parameter setting group, returning to RUN mode, moving parameter, saving the set value.

11. ←, →, ↑, ↓ key:

It is used when entering the set value changing mode and moving or changing up/down digit.

12. Digital input key:

When pressing ← + ↑ keys for 3 sec. at the same time, it operates the function (RUN/STOP, alarm clear, auto tuning) set at digital input key [DI-K] in parameter 5 group.

13. PC loader port:

It is the PC loader port for serial communication to set parameter and monitoring by DAQMaster installed in PC. Use this for connecting SCM-US (USB to Serial converter, sold separately).

14. Input selection switch:

Used when switching sensor (TC, RTD) input ↔ analog input (mV, V, mA). (only the previous model)

High Accuracy Standard PID Control

■ Sold Separately

◎ Communication converter

● SCM-38I ● SCM-US48I ● SCM-US
(RS232C to RS485 converter)



(USB to RS485 converter)

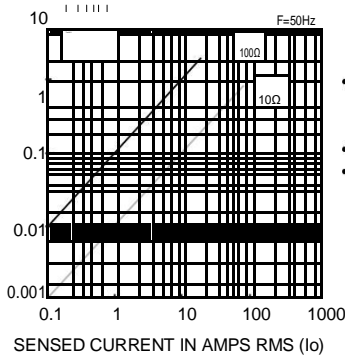
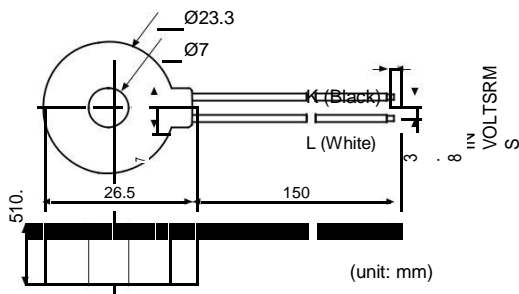


(USB to Serial converter)



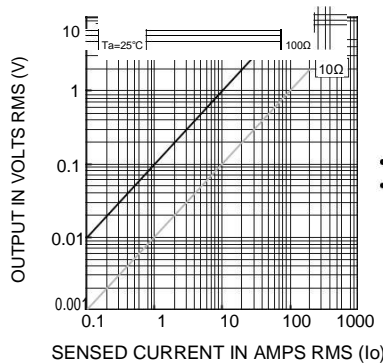
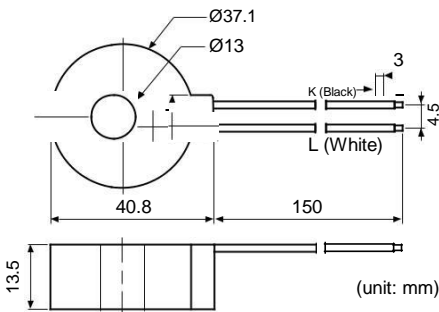
◎ Current transformer (CT)

● CSTC-E80LN



- Max. load current: 80A (50/60Hz) is 50A.
- Current ratio: 1/1000
- Wire wound resistance: 31Ω±10%

● CSTC-E200LN



- Max. load current: 200A (50/60Hz)
- ※ Max. load current for TK4 Series is 50A.
- Current ratio: 1/1000
- Wire wound resistance: 20Ω±10%

※Do not supply primary current in case that CT output is open. High voltage will be generated in CT output.
 ※The current for above two CTs is 50A same but inner hole sizes are different. Please use this for your environment.

◎ Display units (DS/DA-T Series)

● DS/DA-T Series (RS485 communication input type display unit)



DS16-DA16-T



DS22-DA22-T



DS40-DA40-T



DS60-DA60-T

※Connect RS485 communication input type display unit (DS/DA-T Series) and RS485 communication output model of TK Series, the display unit displays present value of the device without PC/PLC.

(A) Photoelectric Sensors

(B) Fiber Optic Sensors

(C) Door/Area Sensors

(D) Proximity Sensors

(E) Pressure Sensors

(F) Rotary Encoders

(G) Connectors/Sockets

(H) Temperature Controllers

(I) SSRs / Power Controllers

(J) Counters

(K) Timers

(L) Panel Meters

(M) Tacho / Speed / Pulse Meters

(N) Display Units

(O) Sensor Controllers

(P) Switching Mode Power Supplies

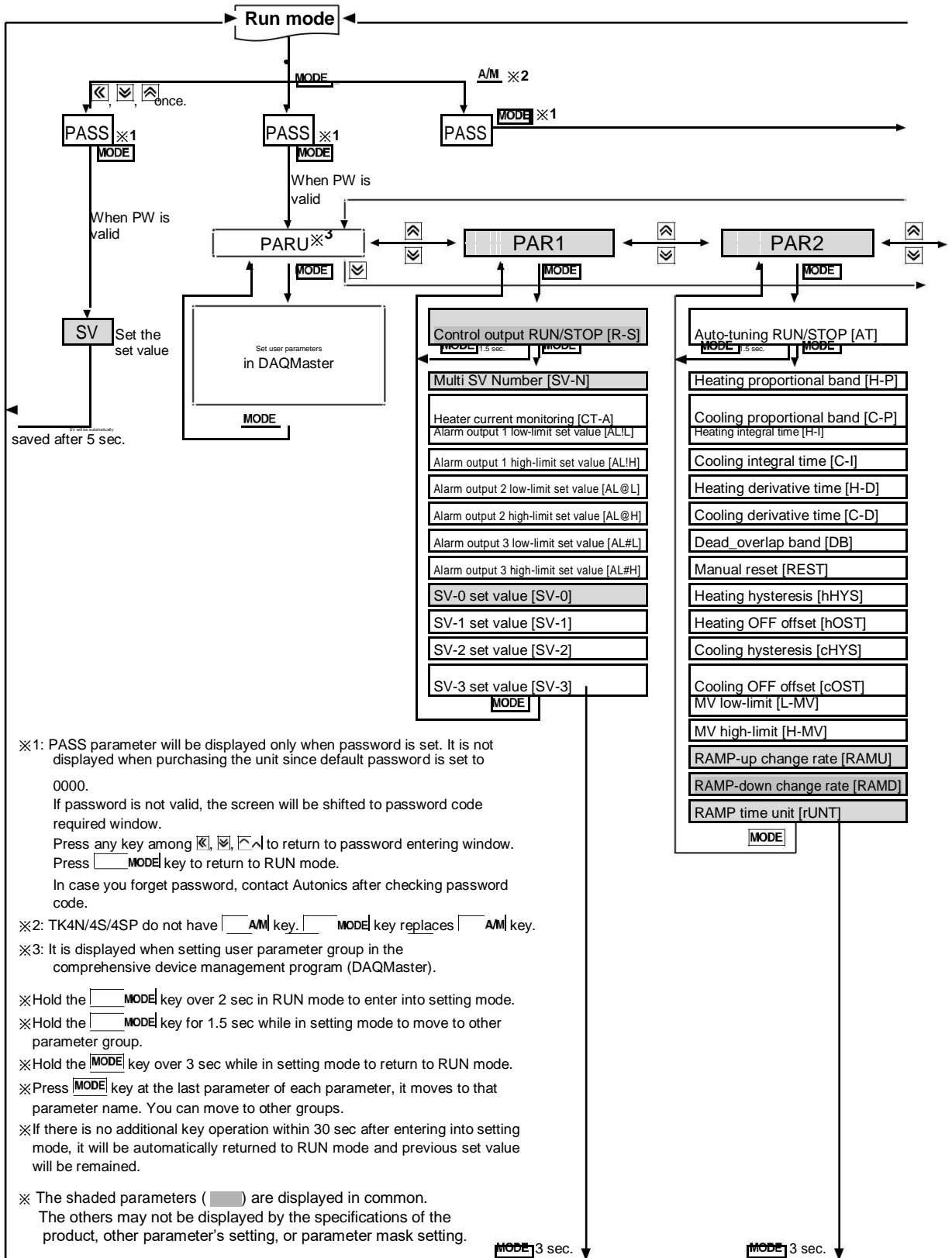
(Q) Stepper Motors & Drivers & Controllers

(R) Graphic/Logic Panels

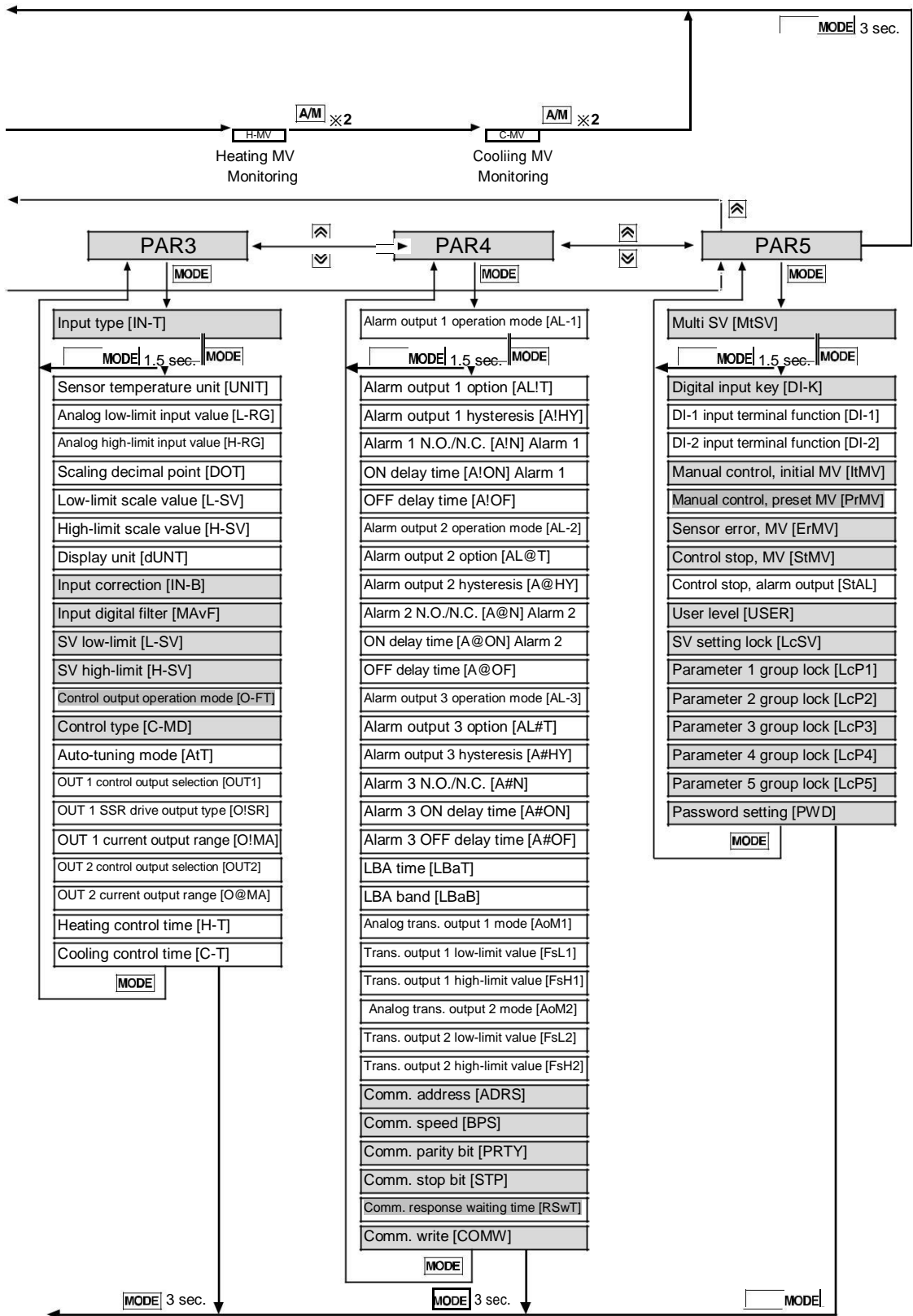
(S) Field Network Devices

(T) Software

Parameter Group



High Accuracy Standard PID Control



- (A) Photoelectric Sensors
- (B) Fiber Optic Sensors
- (C) Door/Area Sensors
- (D) Proximity Sensors
- (E) Pressure Sensors
- (F) Rotary Encoders
- (G) Connectors/Sockets
- (H) Temperature Controllers
- (I) SSRs / Power Controllers
- (J) Counters
- (K) Timers
- (L) Panel Meters
- (M) Tacho / Speed / Pulse Meters
- (N) Display Units
- (O) Sensor Controllers
- (P) Switching Mode Power Supplies
- (Q) Stepper Motors & Drivers & Controllers
- (R) Graphic/ Logic Panels
- (S) Field Network Devices
- (T) Software

LAMPIRAN C

LISTING PROGRAM ALAT SURJA TEST

1. *Bahasa C untuk Program Arduino pada Alat Surja Test*

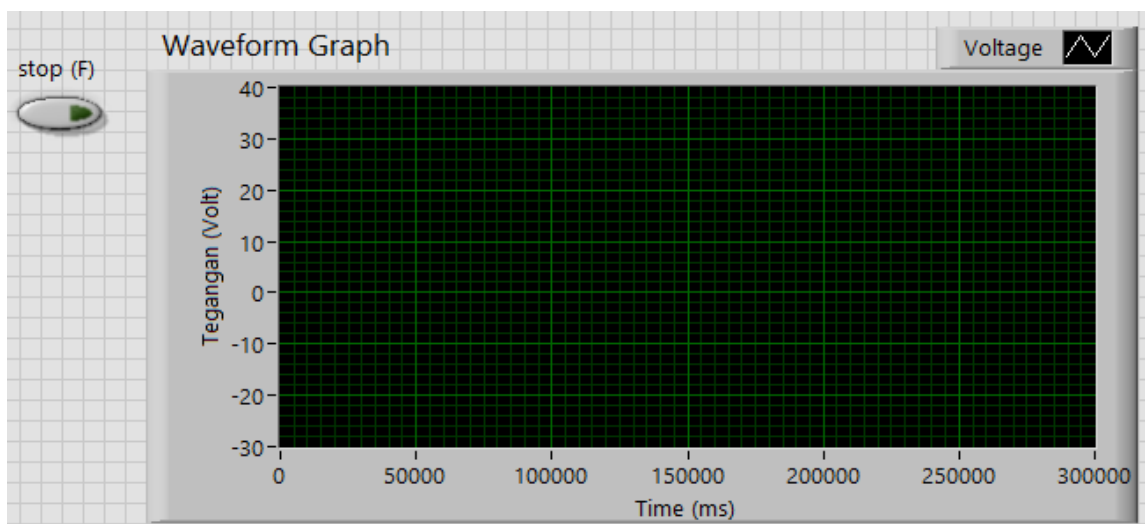
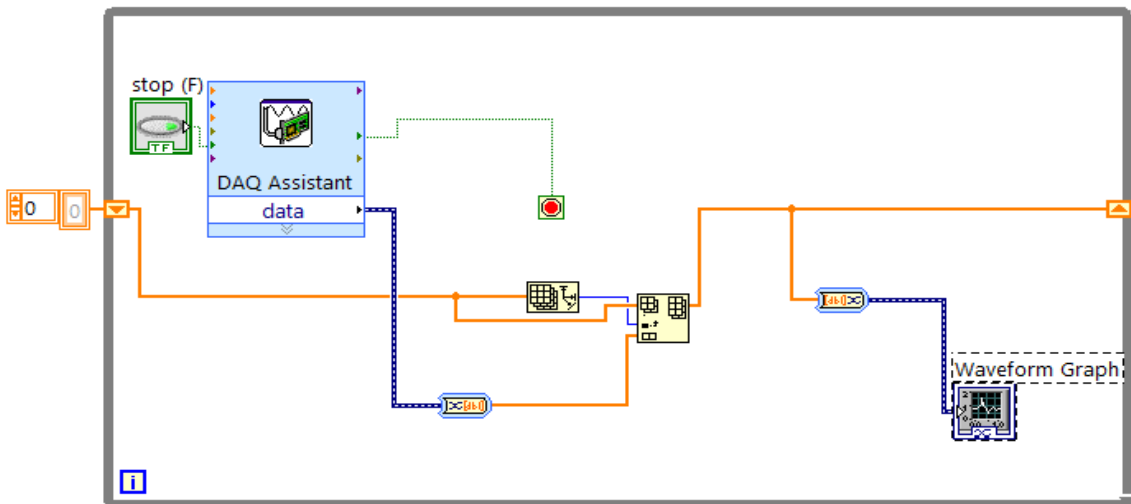
```
int pin_out = 13;
int pin_out2 = 12;
//12 ke relay, 13 ke IGBT
void setup()
{
// put your setup code here, to run once:
Serial.begin(9600);
pinMode(pin_out,OUTPUT);
pinMode(pin_out2,OUTPUT);
Serial.println("pilih saklar");
Serial.println("1. saklar 1 ");
Serial.println("2. saklar 2 ");
}
void lcd()
{
Serial.println("pilih saklar");
Serial.println("1. saklar 1 ");
Serial.println("2. saklar 2 ");
}
void loop()
{
unsigned int data;
int coba;
if(Serial.available(>0)
{
data=Serial.read();
if(data==52)//4
{
Serial.println("saklar 2 on.....");
digitalWrite(pin_out2,HIGH);
delay(5000);
digitalWrite(pin_out2,LOW);
delay(1); 56
```

```

digitalWrite(pin_out,HIGH);
Serial.println("saklar 2 off.....");
delay(3000);
digitalWrite(pin_out,LOW);
Serial.println("saklar 1 off.....");
lcd();
}
}
// put your main code here, to run repeatedly:
}

```

2. Block Diagram Program Labview pada Alat Surja Test



BIODATA PENULIS



Labib Faizul Muttaqin, lahir dikota Sidoarjo pada tanggal 23 Januari 1990. Penulis memulai pendidikannya dari TK. Salafiyah Tanggulangin, kemudian melanjutkan studi di MI Ketapang Tanggulangin, SMP Negeri 1 Tanggulangin, dan Madrasah Aliyah Negeri Sidoarjo. Setelah lulus dari Madrasah Aliyah Negeri pada tahun 2008, penulis melanjutkan studi di PENS - ITS, program studi Teknik Elektro Industri, dan lulus pada tahun 2012. Kemudian penulis melanjutkan studi S2 pada tahun 2015 di Jurusan Teknik Elektro, program studi Teknik Sistem Tenaga, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya hingga saat ini. Penulis selama kuliah S2 juga sering menangani pekerjaan di industri dalam bidang perakitan panel maker, panel cubicle, konsultant elektrikal dan pengaman industri khususnya di spesialis tegangan 20 KV. Penulis merupakan member di Laboratorium Tegangan Tinggi dan dapat dihubungi melalui contact person 085730500089 dan alamat email : *labibmuttaqin@gmail.com*.

Proyek Akhir

Rancang Bangun Sistem Otomatisasi Pengisi Gula Pasir Pada Kemasan Berdasarkan Nilai Berat Gula Berbasis Mikrokontroler.



TESIS

Evaluasi Percepatan Penuaan Isolasi Pada Motor Induksi Akibat Kelembaban dan Kontaminan Menggunakan Metode Error Area Ratio dan Zero Crossing Gelombang Impulse.



Halaman ini sengaja dikosongkan