

**ANALISIS PENJADWALAN PEMELIHARAAN MINYAK TRAFO DI
GI KEBON AGUNG DENGAN MENGGUNAKAN METODE
MARKOV**

**SKRIPSI
TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



HENDRO SULAKSONO

NIM. 125060301111030

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2017



RINGKASAN

Hendro Sulaksono, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Mei 2017, **Analisis Penjadwalan Pemeliharaan Minyak Trafo di GI Kebon Agung Dengan Metode Markov**, Dosen Pembimbing: Mochammad Dhofir dan Mahfudz Shidiq.

Skripsi ini membahas tentang penjadwalan pemeliharaan minyak berdasarkan hasil *dissolve gas analysis* (DGA) dengan *total dissolve combustible gas* (TDCG) menggunakan metode markov. Banyak faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya pengurangan umur transformator antara lain pengaruh dari suhu sekitar, suhu minyak transformator, pola pembebanan, kualitas bahan transformator, kualitas minyak, cuaca, kadar oksigen, kelembapan udara dan pengelolaan terhadap transformator tersebut. Fungsi minyak transformator sangatlah penting untuk operasi dari transformator. Maka dari itu perawatan minyak transformator sangat penting untuk mengoptimalkan kinerja trafo. Pada penelitian ini metode yang akan digunakan adalah Metode Markov. Menurut penelitian ini penjadwalan belum optimal dapat dilihat pada tabel 4.1 yang menunjukkan bahwa hampir setiap pengujian minyak dinyatakan *overheat*. Untuk penelitian ini dibutuhkan nilai MTTF dan MTTR. Nilai tersebut dapat dicari dengan menggunakan nilai keandalan dan nilai ketersediaan pada metode Markov. Nilai keandalan dan nilai ketersediaan dihitung dengan menggunakan laju kegagalan (λ) dan laju perbaikan (μ). Dimana laju kegagalan (λ) dan laju perbaikan (μ) didapatkan dari perhitungan MTTF (*Mean Time To Failure*) dan MTTR (*Mean Time To Repair*). Nilai keandalan dan nilai ketersediaan Transformator IBT-1 merk Fuji 50 MVA 150/70 kV dalam waktu 365 hari berturut-turut 0.750 dan 0.568. Penurunan nilai keandalan dan ketersediaan pada hari ke 180 dalam kurun waktu 365 hari merupakan penurunan yang paling besar yaitu 8,388% dan 24,618%. Dengan adanya penurunan nilai keandalan dan nilai ketersediaan maka diperlukan adanya pemeliharaan yang didasarkan dari perhitungan penurunan nilai keandalan dengan waktu yang paling tepat yaitu 180 hari dalam kurun waktu 1 tahun, sehingga dalam 1 tahun dibutuhkan minimal dua kali pemeliharaan.

Kata kunci: Minyak Transformator, nilai keandalan, nilai ketersediaan, DGA, metode markov

SUMMARY

Hendro Sulaksono, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, Mei 2017, **Transformer Oil Analysis Maintenance Scheduling in Kebon Agung GI Markov Method**, Academic Supervisor: Mochammad Dhofir and Mahfudz Shidiq.

This thesis discusses maintenance scheduling based on the results dissolve oil gas analysis (DGA) to dissolve the total combustible gas (TDCG) using Markov method. Many factors can affect the reduction of the age of transformers among others the influence of the ambient temperature, the temperature of the transformer oil, loading pattern, material quality transformer oil quality, weather, oxygen content, humidity and administration of the transformer. The function of transformer oil is essential to the operation of the transformer. Thus the transformer oil treatment is very important to optimize the performance of the transformer. In this study, the method used is the method of Markov. According to this study has not been optimal scheduling can be seen in Table 4.1 which shows that almost every oil testing otherwise overheat. This penielitian required for MTTF and MTTR values. This value can be searched by using the value of the reliability and value of the availability of the Markov method. The value of reliability and availability is calculated using the value of the failure rate (λ) and the rate of improvement (μ). Where the failure rate (λ) and the rate of improvement (μ) obtained from the calculation MTTF (Mean Time To Failure) and MTTR (Mean Time To Repair). Value the reliability and value of the availability of transformers Fuji IBT-1 Fuji 50 MVA 150/70 kV within 365 days respectively 0.750 and 0.568. The decline in the value of reliability and availability on the day to 180 within a period of 365 days is the most substantial reduction is 8.388% and 24.618%. With the decline in the value of the reliability and value of the availability of the necessary existence of the maintenance that is based on the calculation of impairment reliability at the most appropriate time of 180 days within a period of one year, so that in one year it takes a minimum of two times maintenance

Keywords: Transformator Oil, reliability value, availability value, DGA, markov method



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT dengan rahmat dan hidayah-Nya skripsi berjudul “Analisis Penjadwalan Pemeliharaan Trafo di GI Kebon Agung Dengan Menggunakan Metode Markov” dapat terselesaikan. Dalam kesempatan ini diucapkan terima kasih kepada yang telah berkenan memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung kepada:

1. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
2. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. dan Bapak Ali Mustofa S.T., M.T. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Energi Elektrik dan Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Drs. Ir. Moch Dhofir, M.T. dan Bapak Ir. Mahfudz Shidiq, M.T.. atas segala bimbingan, kritik, dan saran yang telah diberikan.
4. Bapak Akhmad Zainuri, S.T, M.T. selaku dosen pembimbing akademik beserta seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro yang selalu membantu penulis selama perkuliahan.
5. Keluarga tercinta Ayah Josep Surono, Ibu Dwiek Kartika Sari dan Adik Inggar Rayi Agatha atas segala macam dukungan yang telah diberikan kepada penulis hingga terselesaikannya skripsi ini.
6. Asisten Laboratorium Elektronika Daya, yang telah turut andil memberikan memberikan waktu, tempat, tenaga, pikiran, kebersamaan, semangat, dan saling mendukung dalam pengerjaan skripsi.
7. Seluruh teman-teman Voltage 2012, terutama teman-teman konsentrasi Teknik Energi Elektrik (POWER) yang telah berbagi suka dan duka dari awal probinmaba hingga empat tahun menjalani perkuliahan.
8. Semua pihak yang telah membantu dan tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, terimakasih banyak atas semua bantuannya.

Pada akhirnya, disadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun. Dan diharapkan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi bagi masyarakat.

Malang, 27 Juli 2017

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	3
DAFTAR TABEL.....	5
DAFTAR GAMBAR.....	7
DAFTAR LAMPIRAN.....	9
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	Error! Bookmark not defined.
1.3 Batasan Masalah.....	Error! Bookmark not defined.
1.4 Tujuan.....	Error! Bookmark not defined.
1.5 Manfaat.....	Error! Bookmark not defined.
1.6 Sistematika Penulisan.....	Error! Bookmark not defined.
BAB II LANDASAN TEORI.....	Error! Bookmark not defined.
2.1 Transformator.....	Error! Bookmark not defined.
2.2 Bagian-Bagian Transformator.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.1 Bagian Utama Trafo.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.2 Bagian Peralatan Bantu Transformator.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.3 Peralatan Proteksi.....	Error! Bookmark not defined.
2.3 Bahan Isolasi Cair.....	Error! Bookmark not defined.
2.4 Minyak Transformator.....	Error! Bookmark not defined.
2.4.1 Fungsi Minyak Trafo.....	Error! Bookmark not defined.
2.4.2 Pengujian Minyak Transformator.....	Error! Bookmark not defined.
2.4.3 Pemurnian Minyak Transformator.....	Error! Bookmark not defined.
2.5 Jenis-Jenis Minyak Isolasi Transformator.....	Error! Bookmark not defined.
2.5.1 Minyak Isolasi Mineral.....	Error! Bookmark not defined.
2.5.2 Minyak Isolasi Sintesis.....	Error! Bookmark not defined.
2.6 Gas-gas penyebab gangguan.....	Error! Bookmark not defined.
2.7 Pemeriksaan Kualitas Minyak Transformator dengan Metoda DGA.....	Error! Bookmark not defined.
2.7.1 TDCG (Total Dissolved Combustible Gas).....	Error! Bookmark not defined.
2.7.2 Key Gas.....	Error! Bookmark not defined.
2.7.3 Roger's Ratio.....	Error! Bookmark not defined.

2.7.4 Duval's Triangle	Error! Bookmark not defined.
2.8 Gas Terlarut Pada Minyak Transformator	Error! Bookmark not defined.
2.9 Analisis Keandalan dan Ketersediaan.....	Error! Bookmark not defined.
2.10 Proses Markov	Error! Bookmark not defined.
2.10.1 Kurva Keandalan dan Kurva Ketersediaan	Error! Bookmark not defined.
2.10.2 Matriks Transisi	Error! Bookmark not defined.
2.11 Peluang Kejadian <i>Steady-State</i>	Error! Bookmark not defined.
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	Error! Bookmark not defined.
3.1 Objek Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
3.2 Tempat Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.3 Jenis Data Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.4 Pengambilan Data	Error! Bookmark not defined.
3.5 Metode Analisis Data.....	Error! Bookmark not defined.
3.5.1 Analisis Temperatur Minyak Trafo.....	Error! Bookmark not defined.
3.5.2 Pemodelan Markov	Error! Bookmark not defined.
3.5.3 Perhitungan Nilai Keandalan dan Nilai Ketersediaan dengan MATLAB.....	Error! Bookmark not defined.
3.6 Pengambilan Kesimpulan	Error! Bookmark not defined.
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	Error! Bookmark not defined.
4.1 Data Hasil Pengujian Minyak Trafo	Error! Bookmark not defined.
4.2 Analisis Temperatur.....	Error! Bookmark not defined.
4.3 Pemodelan Markov untuk Analisis DGA dan TDCG.....	Error! Bookmark not defined.
4.3.1 Pemodelan Markov Untuk Kurva Keandalan	Error! Bookmark not defined.
4.3.2 Pemodelan Markov Untuk Kurva Ketersediaan	Error! Bookmark not defined.
4.4 Kurva Keandalan dan Ketersediaan Gas DGA	Error! Bookmark not defined.
4.4.1 Kurva Keandalan Gas DGA.....	Error! Bookmark not defined.
4.4.2 Kurva Ketersediaan Gas DGA	Error! Bookmark not defined.
4.5 Peluang <i>Steady-State</i>	Error! Bookmark not defined.
4.6 Kurva Keandalan dan Ketersediaan Analisis <i>TDCG</i>	Error! Bookmark not defined.
4.6.1 Kurva Keandalan <i>TDCG</i>	Error! Bookmark not defined.
4.6.2 Kurva ketersediaan <i>TDCG</i>	Error! Bookmark not defined.
4.7 Pengaruh Penjadwalan Pemeliharaan	Error! Bookmark not defined.
BAB V PENUTUP	Error! Bookmark not defined.
5.1 Kesimpulan	Error! Bookmark not defined.
5.2 Saran	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR PUSTAKA **Error! Bookmark not defined.**

LAMPIRAN..... **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Hal
Tabel 2.1	Batas Konsentrasi Gas Terlarut dalam Satuan ppm (part per million)	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.2	Analisis Dengan Menggunakan Metode Roger's Ratio	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.3	Nilai range kode	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.4	Syarat Menggunakan Metode Segitiga Duval	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.5	Struktur Kimia Minyak Isolator dan Gas-gas Terlarut pada Minyak Isolator .	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3.1	Tabel temperatur Minyak	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3.2	Tabel Kurva Keandalan.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3.3	Tabel Kurva Ketersediaan	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.1	Hasil Perbandingan Gas	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.2	Perhitungan MTTF (Mean Time To Failure)	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.3	Data Laju Kegagalan Kondisi Gas H ₂	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.4	Data Laju Kegagalan Kondisi Gas CH ₄	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.5	Data Laju Kegagalan Kondisi Gas CO	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.6	Data Laju Kegagalan Kondisi Gas CO ₂	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.7	Data Laju Kegagalan Kondisi Gas C ₂ H ₄	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.8	Data Laju Perubahan Kondisi Gas C ₂ H ₆	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.9	Data Laju Kegagalan Kondisi Gas C ₂ H ₂	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.10	Data Laju Kegagalan Kondisi TDCG	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.11	Perhitungan MTTF (Mean Time To Failure) dan MTTR (Mean Time To Repair)	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.12	Data Laju Kegagalan dan Perbaikan Kondisi Gas H ₂ .	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.13	Data Laju Kegagalan dan Perbaikan Kondisi Gas CH ₄	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.14	Data Laju Kegagalan dan Perbaikan Kondisi Gas CO	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.15	Data Laju Kegagalan dan Perbaikan Kondisi Gas CO ₂	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.16	Data Laju Kegagalan dan Perbaikan Kondisi Gas C ₂ H ₄	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.17	Data Laju Kegagalan dan Perbaikan Kondisi Gas C ₂ H ₆	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.18	Data Laju Kegagalan dan Perbaikan Kondisi Gas C ₂ H ₂	Error! Bookmark not defined.



Tabel 4.19	Data Laju Kegagalan dan Perbaikan Kondisi TDCG.. Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.20	Nilai Keandalan Untuk Setiap Kandungan Gas Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.21	Penurunan Nilai Keandalan Fasa R Dari 30 Hari ke-365 Hari Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.22	Peluang Steady-State Tiap Kondisi Gas..... Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.23	Nilai Keandalan TDCG Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.24	Nilai Steady State TDCG Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.25	Hasil Perhitungan Keandalan dan Ketersediaan TDCG Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.26	Perubahan Nilai Keandalan dan Nilai Ketersediaan ... Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.27	Hasil Perhitungan Penurunan Nilai Keandalan dan Nilai Ketersediaan Error! Bookmark not defined.



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Hal
Gambar 2.1	Konstruksi Transformator	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.2	Fungsi Keandalan sebagai Fungsi Waktu	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.3	Rantai Markov Kurva Keandalan.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.4	Rantai Markov Kurva Ketersediaan	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.1	Diagram Model Markov Untuk Keandalan Gas H ₂	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.2	Diagram Model Markov Untuk Keandalan Gas CH ₄ ..	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.3	Diagram Model Markov Untuk Keandalan Gas CO...	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.4	Diagram Model Markov Untuk Keandalan Gas CO ₂ .	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.5	Diagram Model Markov Untuk Keandalan Gas C ₂ H ₄	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.6	Diagram Model Markov Untuk Keandalan Gas C ₂ H ₆	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.7	Diagram Model Markov Untuk Keandalan Gas C ₂ H ₂	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.8	Diagram Model Markov Untuk Keandalan TDCG	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.9	Diagram Model Markov Untuk Ketersediaan Gas H ₂	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.10	Diagram Model Markov Untuk Ketersediaan Gas CH ₄	Error! Bookmark not defined.

Gambar 4.11 Diagram Model Markov Untuk Ketersediaan Gas CO₂ **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.12 Diagram Model Markov Untuk Ketersediaan Gas CO₂ **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.13 Diagram Model Markov Untuk Ketersediaan Gas C₂H₄ **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.14 Diagram Model Markov Untuk Ketersediaan Gas C₂H₆ **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.15 Diagram Model Markov Untuk Ketersediaan Gas C₂H₂ **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.16 Diagram Model Markov Untuk Ketersediaan Gas TDCG **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.17 Kurva Keandalan Gas Pada Minyak Tranformator 365 Hari **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.18 Kurva Keandalan Gas Pada Minyak Tranformator 30 Hari **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.19 Kurva Ketersediaan Gas H₂ **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.20 Kurva Ketersediaan Gas CH₄ **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.21 Kurva Ketersediaan Gas CO **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.22 Kurva Ketersediaan Gas CO₂ **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.23 Kurva Ketersediaan Gas C₂H₄ **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.24 Kurva Ketersediaan Gas C₂H₆ **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.25 Kurva Ketersediaan Gas C₂H₂ **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.26 Kurva Keandalan TDCG **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.27 Nilai Ketersediaan TDCG **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.28 Pengaruh Perubahan Jadwal Pemeliharaan Terhadap Nilai Keandalan **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.29 Pengaruh Perubahan Jadwal Pemeliharaan Terhadap Nilai Ketersediaan **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR LAMPIRAN		
No.	Judul	Hal
	Lampiran 1. Data Hasil Tes DGA Transformator <i>IBT-1</i> Kebon Agung.....	86

Lampiran 2. Perhitungan Kondisi Minyak.....87



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Mayjend. Haryono no. 167, Malang, 65145, Indonesia
Telp. : +62-341-587710, 587711; Fax : +62-341-551430
http://teknik.ub.ac.id E-mail : teknik@ub.ac.id

FORMULIR BIODATA SARJANA
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

I. DATA SARJANA BARU

1. Nama : Hendro Sulaksono
2. NIM : 125060301111030
3. Tempat/Tanggal Lahir : Jakarta, 10 Oktober 1994
4. Jenis Kelamin : Laki-laki
5. Agama : Katolik
6. Status Perkawinan : Belum kawin
7. Alamat : Perumahan Pondok Kopi Arabika Blok AB 4 No 3 Rt
009 Rw 004, Jakarta Timur
8. Nama Orang Tua : Josep Surono
9. Pekerjaan Orang Tua : Karyawan Swasta
10. Alamat Orang Tua : Perumahan Pondok Kopi Arabika Blok AB 4 No 3 Rt
009 Rw 004, Jakarta Timur

II. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Tahun Masuk Perguruan Tinggi : 2012
2. Pindahan dari *) : -
3. Jumlah sks yang dibebaskan *) : -
4. Tanggal Tahun Lulus : 19 Mei 2017
5. Gelar yang diperoleh : Sarjana Teknik
6. Fakultas : Teknik Universitas Brawijaya
7. Jurusan : Teknik Elektro
8. Konsentrasi : Teknik Energi Elektrik
9. Nomor Ijazah :

III. DATA AKHIR PENDIDIKAN ST

1. Judul Skripsi (Indonesia) : Analisis Penjadwalan Pemeliharaan Minyak Trafo Di Gi
Kebon Agung Dengan Menggunakan Metode Markov
2. Judul Skripsi (Inggris) : *Analysis of Oil Trafo Maintenance Scheduling At Gi
Kebon Agung Using Markov Method*
3. Dosen Pembimbing : 1. Drs. Ir. Moch Dhofir, M.T.
2. Ir. Mahfudz Shidiq, M.T.
4. Hasil Akhir Skripsi : **B+**
5. IP Kumulatif : 3,24
6. Predikat Kelulusan : Sangat Memuaskan
7. Lama Studi : 4,9 Tahun
8. Alumni ke :



Malang, 3 Agustus 2017
An. Dekan
Wakil Dekan Bidang Akademik

Dr. Ir. Surjono, MTP.
NIP. 19650518 199002 1 001

Catatan :

Data NAMA, TEMPAT/TANGGAL LAHIR, sesuaikan dengan ijazah terakhir.

*) Khusus bagi mahasiswa Alih Program dan harus diisi

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN
TINGGI****UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK**

Jl. Mayjend. Haryono no. 167, Malang, 65145, Indonesia

Telp. : +62-341-587710, 587711; Fax : +62-341-551430

<http://teknik.ub.ac.id>E-mail : teknik@ub.ac.id**DATA MAHASISWA**

Nama : Hendro Sulaksono

Nomor Induk : 125060301111030

Tahun Masuk : 2012

Lulus (tgl/bln/tahun) : 19/05/2017

Alamat asal : Perumahan Pondok Kopi Arabika Blok AB 4 No 3 Rt 009
Rw 004, Jakarta Timur

Tempat/Tgl lahir : Jakarta / 10 Oktober 1994

Nama Orang tua : J Surono

Pekerjaan Orang tua : Karyawan Swasta

Alamat Orang tua : Perumahan Pondok Kopi Arabika Blok AB 4 No 3 Rt 009
Rw 004, Jakarta Timur

Indeks Prestasi / IP : 3,24

Konsentrasi : Teknik Energi Elektrik

Malang, 3 Agustus 2017

Hendro Sulaksono
NIM. 125060301111030



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN
TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK**

Jl. Mayjend. Haryono no. 167, Malang, 65145, Indonesia
Telp. : +62-341-587710, 587711; Fax : +62-341-551430
<http://teknik.ub.ac.id> E-mail : teknik@ub.ac.id

Curriculum Vitae

Nama lengkap : Hendro Sulaksono
Jurusan/ Prog. Studi/ Fakultas : Teknik Elektro/Fakultas Teknik
Bidang Keahlian : Teknik Energi Elektrik
Tahun Kelulusan : 2017
Alamat

- Di Malang : Jalan Candisari Utara No 19, Malang
- Alamat Asal : Perumahan Pondok Kopi Arabika Blok AB 4 No 3 Rt 009 Rw 004, Jakarta Timur
- No Telp Rumah : -

No Telp HP : +6285704444594



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Mayjend. Haryono no. 167, Malang, 65145, Indonesia

Telp. : +62-341-587710, 587711; Fax : +62-341-551430

<http://teknik.ub.ac.id>

E-mail : teknik@ub.ac.id

DATA ALUMNI

Data Alumni

Nama Alumni : Hendro Sulaksono
 NIM saat mahasiswa : 125060301111030
 Minat Bid. Studi : Teknik Elektro
 Tempat/Tgl. Lahir : Jakarta/10 Oktober 1994
 Tahun Masuk : 2012
 Tahun Lulus : 2017
 Tahun Wisuda : 2017
 Masa Studi : 4,9 Tahun
 IPK Lulus : 3,24
 Alamat saat ini : Perumahan Pondok Kopi Arabika Blok AB 4 No 3 Rt 009 Rw 004,
 Jakarta Timur
 Alamat Surat Menyurat : Perumahan Pondok Kopi Arabika Blok AB 4 No 3Rt 009 Rw
 004, Jakarta Timur
 Email Aktif : hendrosulaksono94@gmail.com
 Telepon rumah : -
 Telepon Genggam : +6285704444594

Data Orang Tua

Nama Bapak : Hendro Sulaksono *)
 Nama Ibu : Dwiek Kartika Sari *)
 Alamat Lengkap : Perumahan Pondok Kopi Arabika Blok AB 4 No 3 Rt 009 Rw 004,
 Jakarta Timur
 Telepon rumah : 021-4805221

*) . Mohon diberi keterangan jika sudah wafat.

Data Tempat Kerja/Perusahaan

Nama Lengkap Instansi : -
 Alamat Lengkap : -
 Kode Pos/RT & RW : -
 Tahun Masuk : -
 Masa Kerja : -
 Informasi Kerja : -
 (Koran, Media Elektronik-Mohon disebutkan, Teman, Pengumuman Resmi)
 Departemen : -
 Jabatan : -
 Gaji I : -



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN
TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK**

Jl. Mayjend. Haryono no. 167, Malang, 65145, Indonesia
Telp. : +62-341-587710, 587711; Fax : +62-341-551430
<http://teknik.ub.ac.id> E-mail : teknik@ub.ac.id

Tempat Kerja Sebelumnya :Tahuns/d.....
.....Tahuns/d.....
.....Tahuns/d.....
.....Tahuns/d.....

Demikian Data Alumni ini saya buat sebenarnya untuk menjalin komunikasi dan informasi almamater khususnya Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Malang, 3 Agustus 2017

(Hendro Sulaksono, S.T.)

*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada:
Bapak dan Ibu Adik tercinta*



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

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

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

Malang, 27 Juli 2017

Mahasiswa,

HENDRO SULAKSONO

NIM. 125060301111030



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transformator daya merupakan peralatan yang vital dalam penyaluran energi listrik. Ada banyak faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya pengurangan umur transformator antara lain pengaruh dari suhu sekitar (ambient temperatur), suhu minyak transformator, pola pembebanan, kualitas bahan transformator, kualitas minyak, cuaca, kadar oksigen, kelembapan udara dan pengelolaan terhadap transformator tersebut.

Perawatan merupakan salah satu hal terpenting yang harus diperhatikan secara serius dalam sistem tenaga listrik. Pemeliharaan transformator daya dilakukan untuk menjaga efektifitas dan daya tahan peralatan sistem tenaga listrik, khususnya transformator daya agar dapat bekerja dengan baik. Faktor-faktor yang harus diperhatikan untuk kualitas minyak transformator adalah kekuatan isolasi harus tinggi, kejernihan penampilan, viskositas, massa jenis, titik nyala, titik tuang, angka kenetralan, kemampuan oksidasi, kandungan air, tegangan tembus, faktor kebocoran dielektrik dan tahanan jenis (Meshkatoddini, 2008:384). Oleh karena itu diperlukan pemeliharaan secara terjadwal sesuai dengan buku panduan dari pabrik. Jika terjadi ketidaknormalan dari suatu hasil pemeliharaan transformator maka perlu dilakukan tindakan yang lebih lanjut agar tidak terjadi gangguan pada saat transformator beroperasi.

Baik dan buruknya perawatan pada transformator tenaga dapat dilihat dari umur transformator itu sendiri. Umur operasi suatu transformator dapat dijadikan tolak ukur keberhasilan suatu sistem perawatan. Semakin lama umur operasi transformator maka dapat dikatakan baik pula sistem perawatan yang dilakukan. Oleh karena itu akan berdampak pada komponen yang ada di dalamnya. Transformator bekerja dalam keadaan yang cukup berat dikarenakan harus menyuplai beban yang besar, maka arus yang dihasilkan juga akan semakin besar. Kenaikan arus ini akan berdampak pada daya yang hilang pada lilitan berupa panas. Panas yang timbul pada winding ini secara tidak langsung akan mengakibatkan perpindahan panas pada minyak transformator. Panas yang timbul secara terus menerus ini akan mengakibatkan minyak transformator tersebut mendidih. Pada saat mendidih, minyak akan menghasilkan gelembung gelembung gas dan partikel karbon. Gelembung gas akan menghasilkan uap air pada bagian langit langit transformator yang sesekali dapat jatuh ke



dalam minyak dan mengendap. Partikel karbon juga akan mengendap dan menumpuk pada bagian dasar dari transformator. Semua hal ini dapat menimbulkan minyak transformator tadi menjadi terkontaminasi dan tidak murni sehingga kemampuan isolasinya menjadi berkurang (Simamora, 2011:28).

Dilihat dari fungsi minyak transformator diatas maka fungsi minyak tersebut sangatlah penting untuk operasi dari transformator. Karena banyak gangguan yang akan dapat diatasi dengan menggunakan minyak trafo ini. Maka dari itu perawatan minyak transformator sangat penting untuk mengoptimalkan kinerja trafo. Pentingnya perawatan dan fungsi dari minyak transformator maka penulis mengangkat judul analisis umur transformator daya di GI Kebon Agung. Tujuan skripsi ini adalah menunjukkan penjadwalan pemeliharaan minyak transformator yang efektif.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan masalah yang telah dijelaskan pada latar belakang, dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana temperatur dalam minyak trafo berdasarkan hasil tes DGA.
2. Berapa penurunan nilai keandalan trafo berdasarkan hasil *dissolved gas analysis* (DGA) dengan menggunakan metode Markov.
3. Bagaimana penjadwalan pemeliharaan atau perawatan minyak trafo secara optimal.

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini mencapai sasaran yang diharapkan, maka batasan masalah yang perlu diberikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak membahas masalah sistem proteksi dan ekonomi
2. Transformator yang diteliti adalah transformator daya di GI Kebon Agung.
3. Tidak melakukan pengujian minyak transformator secara langsung.
4. Data yang digunakan untuk penentuan umur transformator adalah hasil pengujian DGA, berupa gas-gas yang terkandung dalam minyak transformator yang dihitung dengan menggunakan metode Markov.
5. Tidak melakukan penelitian terhadap sistem pendingin, viskositas, kelembaban, serta kandungan air pada minyak transformator.

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis penjadwalan pemeliharaan minyak transformator dengan menggunakan Metode Markov.

1.5 Manfaat

Penelitian ini mempunyai manfaat yaitu untuk mengetahui dan pengaruhnya proses filterasi minyak pada transformator yang ada pada GI Kebon Agung. Sehingga mendapatkan kinerja yang lebih baik.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan yang digunakan dalam penyusunan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi pendahuluan yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika pembahasan.

BAB II : LANDASAN TEORI

Berisi tinjauan pustaka atau dasar teori yang digunakan untuk dasar penelitian yang dilakukan..

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Membahas tentang metode yang digunakan dalam penelitian ini seperti, studi literatur, obyek penelitian, variabel penelitian, pengumpulan data, analisis, serta penarikan kesimpulan.

BAB IV : HASIL dan PEMBAHASAN

Berisi pembahasan mengenai perhitungan dan analisa data

BAB V : PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran dari analisis dalam penelitian.

DAFTAR PUSTAKA



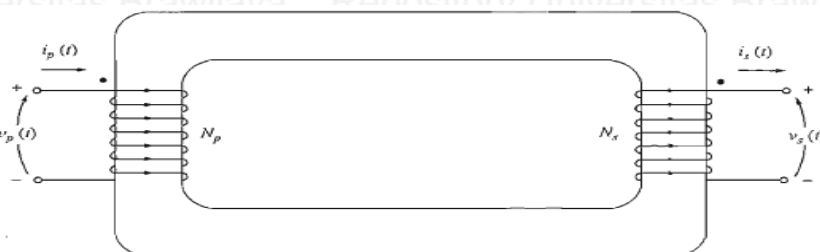
BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Transformator

Transformator merupakan peralatan mesin listrik statis yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik mentransformasikan tegangan dan arus bolak-balik diantara dua belitan, atau lebih pada frekuensi yang sama besar dan biasanya pada nilai arus dan tegangan yang berbeda. Transformator merupakan peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya/tenaga dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya (Sumanto, 1996:1). Transformator menggunakan prinsip hukum induksi faraday dan hukum lorentz dalam menyalurkan daya. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan suber, maka akan mengalir arus bolak-balik pada kumparan tersebut. Sehingga arus primer akan menimbulkan fluks magnet yang berubah-ubah pada intinya.maka pada kumparan primer akan timbul GGL ksrena adanya fluks magnet yang berubah-ubah. Lalu fluks magnet tersebut akan dialami juga oleh kumparan sekunder (Sumanto, 1991:2). Jenis-jenis transformator tenaga dapat dibedakan menjadi transformator pembangkit, gardu induk/penyaluran dan distribusi. Sedangkan berdasarkan fungsi penyaluran dibagi menjadi 3 yaitu Transformator penaik tegangan (*Step up*), Transformator penurun tegangan (*Step down*), Transformator instrumen.

Secara sederhana transformator dibagi menjadi 3 bagian, yaitu lilitan primer, lilitan sekunder, dan inti besi. Lilitan primer merupakan bagian transformator yang terhubung dengan rangkaian sumber energi. Lilitan sekunder merupakan bagian transformator yang bertujuan untuk mengarahkan keseluruhan fluks magnet yang dihasilkan oleh lilitan primer agar masuk ke lilitan sekunder. Dibawah ini akan ditampilkan gambar sederhana sebuah transformator.



Gambar 2.1 Konstruksi Trasnformator

Sumber: Chapman (2012; 70)

Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 yang sinusoidal, akan mengalirkan arus primer I_o yang juga sinusoid dan dengan menganggap belitan N_1 reaktif murni. I_o akan tertinggal 90° dari V_1 . Arus primer I_o menimbulkan fluks (Φ) yang sefasa dan juga berbentuk sinusoid. Pada Gambar 2.3 dapat dilihat suatu transformator tanpa beban.

2.2 Bagian-Bagian Transformator

Transformator daya memiliki beberapa komponen penting untuk dapat beroperasi. Bagian trafo dibagi menjadi 4 yaitu bagian utama, peralatan bantu, peralatan proteksi, peralatan tambahan untuk pengamanan trafo.

2.2.1 Bagian Utama Trafo

Bagian utama ini berfungsi untuk membantu kinerja trafo agar bekerja dengan maksimal. Bagian utama transformator meliputi:

1. Inti Besi

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, magnetik yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh Eddy Current (Efendi, 2011: 3).

2. Kumparan Transformator

Kumparan transformator adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan atau gulungan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain. Kumparan tersebut sebagai alat transformasi tegangan dan arus (Efendi, 2011: 3).

3. Minyak Transformator

Minyak transformator merupakan salah satu bahan isolasi cair yang dipergunakan sebagai isolasi dan pendingin pada transformator.

4. Bushing

Hubungan antara kumparan transformator dengan jaringan luar melalui sebuah bushing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. Bushing sekaligus berfungsi sebagai penyekat/isolator antara konduktor tersebut dengan tangki transformator. Pada bushing dilengkapi fasilitas untuk pengujian kondisi bushing yang sering disebut *center tap* (PT PLN, 2003:19)

5. Tangki Konservator



Tangki Konservator berfungsi untuk menampung minyak cadangan dan uap/udara akibat pemanasan trafo karena arus beban. Diantara tangki dan trafo dipasangkan relai bucholtz yang akan menyerap gas produksi akibat kerusakan minyak. Untuk menjaga agar minyak tidak terkontaminasi dengan air, ujung masuk saluran udara melalui saluran pelepasan/venting dilengkapi media penyerap uap air pada udara, sering disebut dengan silica gel dan dia tidak keluar mencemari udara disekitarnya.

2.2.2 Bagian Peralatan Bantu Transformator

Bagian alat bantu ini berfungsi untuk membantu kinerja trafo agar bekerja dengan maksimal. Bagian peralatan bantu transformator meliputi:

1. Pendingin

Mempunyai dua fungsi yaitu sebagai media isolasi dan sebagai pendingin. Pendingin berkerja ketika minyak bersirkulasi, panas yang berasal dari belitan akan dibawa oleh minyak sesuai jalur sirkulasinya dan akan didinginkan pada sirip – sirip radiator (Lestari, 2013, 2).

2. Tap changer

Berfungsi untuk menyesuaikan rasio dengan mengubah belitan sisi primer yang diharapkan dengan mengubah rasio antar belitan primer dan sekunder dengan begitu tegangan output atau sekunder dapat disesuaikan dengan kebutuhan tegangan input ataupun primernya.

3. Alat pernapasan (*Silica gel*)

Kontaminasi udara luar yang lembab akan menurunkan tegangan tembus. Untuk mencegah hal itu, pada ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi alat pernafasan berupa tabung berisi kristal zat higroskopis (silica gel).

4. Indikator

Untuk mengawasi selama transformator beroperasi, maka perlu adanya indikator pada transformator yang antara lain sebagai berikut: (PT PLN, 2003: 31)

1. Indikator suhu minyak
2. Indikator permukaan minyak
3. Indikator sistem pendingin
4. Indikator kedudukan tap

2.2.3 Peralatan Proteksi

Peralatan proteksi berfungsi untuk mengamankan agar tidak terjadi hal-hal yang tidak diinginkan. Peralatan proteksi pada trafo yaitu:

a. *Relai Bucholtz*

Penggunaan relai deteksi gas (Bucholtz) pada Transformator terendam minyak yaitu untuk mengamankan transformator yang didasarkan pada gangguan Transformator seperti : arcing, partial discharge dan over heating yang umumnya menghasilkan gas. Gas-gas tersebut dikumpulkan pada ruangan relai dan akan mengerjakan kontak-kontak alarm. Relai deteksi gas juga terdiri dari suatu peralatan yang tanggap terhadap ketidaknormalan aliran minyak yang tinggi yang timbul pada waktu transformator terjadi gangguan serius. Peralatan ini akan menggerakkan kontak trip yang pada umumnya terhubung dengan rangkaian trip Pemutus Arus dari instalasi transformator tersebut. Ada beberapa jenis relai bucholtz yang terpasang pada transformator, Relai sejenis tapi digunakan untuk mengamankan ruang *On Load Tap Changer (OLTC)* dengan prinsip kerja yang sama sering disebut dengan Relai Jansen. Terdapat beberapa jenis antara lain sama seperti relai buhcoltz tetapi tidak ada kontrol gas, jenis tekanan ada yang menggunakan membran/selaput timah yang lentur sehingga bila terjadi perubahan tekanan karena gangguan akan bekerja, disini tidak ada alarm akan tetapi langsung trip dan dengan prinsip yang sama hanya menggunakan pengaman tekanan atau saklar tekanan.

b. *Jansen membrane*

Alat ini berfungsi untuk pengaman tekanan lebih (*Explosive Membrane*) / *Bursting Plate*. Relai ini bekerja karena tekanan lebih akibat gangguan didalam transformator, karena tekanan melebihi kemampuan membran/selaput yang terpasang, maka membran akan pecah dan minyak akan keluar dari dalam transformator yang disebabkan oleh tekanan minyak.

c. *Relai tekanan lebih (Sudden Pressure Relay)*

Suatu *flash over* atau hubung singkat yang timbul pada suatu transformator terendam minyak, umumnya akan berkaitan dengan suatu tekanan lebih didalam tangki, karena gas yang dibentuk oleh dekomposisi dan evaporasi minyak. Dengan melengkapi sebuah relai pelepasan tekanan lebih pada trafo, maka tekanan lebih yang membahayakan tangki trafo dapat dibatasi besarnya. Apabila tekanan lebih ini tidak dapat dieliminasi dalam waktu beberapa millidetik, maka terjadi panas lebih pada cairan tangki dan trafo akan meledak. Peralatan pengaman harus cepat bekerja mengevakuasi tekanan tersebut.

d. *Relai pengaman tangka*



Relai bekerja sebagai pengaman jika terjadi arus mengalir pada tangki, akibat gangguan fasa ke tangki atau dari instalasi bantu seperti motor kipas, sirkulasi dan motor-motor bantu yang lain, pemanas dll. Arus ini sebagai pengganti relai diferensial sebab sistem relai pengaman tangki biasanya dipasang pada trafo yang tidak dilengkapi trafo arus disisi primer dan biasanya pada trafo dengan kapasitas kecil. Trafo dipasang diatas isolator sehingga tidak terhubung ke tanah kemudian dengan menggunakan kabel pentanahan yang dilewatkan melali trafo arus dengan tingkat isolasi dan ratio yang kecil kemudian tersambung pada relai tangki tanah dengan ratio Trafo arus antara 300 s/d 500 dengan sisi sekunder hanya 1 Amp.

e. *Neutral Grounding Resistance*

NGR atau resistansi pentanahan trafo, adalah tahanan yang dipasang antara titik netral trafo dengan pentanahan, dimana berfungsi untuk memperkecil arus gangguan. Resistance dipasang pada titik neutral trafo yang dihubungkan Y (bintang). NGR biasanya dipasang pada titik netral trafo 70 kV atau 20 kV, sedangkan pada titik netral trafo 150 kV dan 500 kV digrounding langsung (solid)

Nilai NGR:

Tegangan 70 kV = 40 Ohm

Tegangan 20 kV = 12 Ohm, 40 Ohm, 200 Ohm dan 500 Ohm

Jenis Neutral Grounding Resistance

- *Resistance Liquid* (Air), yaitu bahan resistance-nya adalah air murni. Untuk memperoleh nilai Resistance yang diinginkan ditambahkan garam KOH .
- *Resistance Logam*, yaitu bahannya terbuat dari logam nekelin dan dibuat dalam panel dengan nilai resistance yang sudah ditentukan

2.3 **Bahan Isolasi Cair**

Fungsi dari isolasi cair adalah untuk memisahkan bagian-bagian yang mempunyai beda potensial/tegangan agar diantara bagian-bagian tersebut tidak terjadi lompatan atau percikan bunga api. Selain itu isolasi cair jg dapat berfungsi sebagai media pendingin. Isolasi cair biasanya digunakan pada peralatan listrik, seperti pemutus tenaga, transformator dan lain sebagainya.

Pada transformator, akan timbul panas, baik yang dibangkitkan oleh kumparan tembaga maupun inti besi. Jika panas tersebut tidak disalurkan atau tidak dilakukan pendinginan, maka akan ada bagian dari peralatan yang akan rusak apabila panas yang timbul melampaui suhu maksimum yang diperbolehkan. Untuk mengatasi hal ini maka inti

dan kumparan dari transformator dicelupkan ke dalam suatu isolasi cair (minyak diala), yang berfungsi sebagai media pendingin dan media isolasi.

Beberapa sifat yang harus terdapat pada minyak transformator antara lain sebagai berikut (Simamora, 2011:16):

1. Tegangan tembus yang tinggi

Tegangan tembus minyak transformator perlu diukur dikarenakan menyangkut kesanggupan minyak untuk menahan electric stress, tanpa kerusakan. Tegangan tembus dapat diukur dengan cara memasukkan dua buah elektroda bola (setengah bola) kedalam minyak yang hendak diukur. Jika diperoleh tegangan tembus yang rendah, maka dapat dikatakan kalau minyak transformator telah terkontaminasi.

2. Faktor kebocoran dielektrik yang rendah

Daya yang hilang dalam operasi suatu transformator disebabkan kehilangan energi menjadi panas, akibat pemecahan molekul-molekul. Harga faktor kehilangan dielektrik yang tinggi menunjukkan adanya kontaminasi atau terjadinya oksidasi yang mengakibatkan minyak menjadi kotor atau menghasilkan kotoran berupa logam alkali, koloid bermuatan, dan sebagainya.

3. Viskositas yang rendah

Viskositas merupakan tahanan dari cairan untuk mengalir kontinu dan merata, tanpa adanya turbulensi dan gaya-gaya lain. Viskositas minyak biasanya diukur dari waktu alir minyak dengan volume tertentu dan pada kondisi yang diatur. Sebagai media pendingin maka viskositas minyak transformator merupakan faktor penting dalam aliran konveksi untuk memindahkan panas. Viskositas juga dipakai sebagai dasar pembagian kelas minyak.

4. Titik nyala yang tinggi

Ini menunjukkan bahwa minyak dapat dipanaskan sampai suhu tertentu sebelum uap yang timbul menjadi api yang berbahaya. Titik nyala yang rendah juga menunjukkan bahwa minyak mengandung zat yang berbahaya seperti zap yang mudah menguap dan terbakar.

5. Massa jenis yang rendah

Massa jenis adalah perbandingan massa suatu volume cairan pada 15,56°C dengan massa air pada volume dan suhu yang sama. Massa jenis minyak transformator lebih kecil dibanding air, oleh karena itu, adanya air dalam minyak transformator akan mudah dipisahkan, karena air akan turun ke bawah sehingga akan lebih mudah dikeluarkan dari tangki minyak transformator dan atau tangki pemutus tenaga.

6. Kestabilan kimia dan penyerapan gas yang baik

Kestabilan ini penting terutama terhadap oksidasi, sehingga dapat dievaluasi kecenderungan minyak membentuk asam dan kotoran zat padat. Asam dan kotoran zat padat yang terbentuk akibat oksidasi akan menurunkan tegangan tembus. Selain itu air dan asam menyebabkan korosi terhadap logam yang ada dalam transformator, sedang kotoran zat padat akan menyebabkan perpindahan panas (heat transfer) dalam proses pendinginan transformator menjadi terganggu.

7. Angka kenetralan

Angka kenetralan dinyatakan dalam mg KOH yang dibutuhkan pada titrasi satu gram minyak. Angka kenetralan merupakan angka yang menunjukkan penyusun asam dan dapat mendeteksi adanya kontaminasi di dalam minyak, kecenderungan perubahan kimia atau cacat atau indikasi perubahan kimia bahan tambahan. Selain itu angka kenetralan merupakan petunjuk umum untuk menentukan apakah minyak yang sedang dipakai harus diganti atau diolah kembali dengan melakukan penyaringan (filtrasi)

8. Korosi belerang

Dalam pemakaian minyak transformator, baik secara kontinu ataupun terus menerus, akan mengalami kontak/terhubung langsung dengan bahan-bahan logam seperti tembaga, besi yang dapat mengalami korosi. Uji korosi belerang perlu untuk melihat kemungkinan adanya korosif minyak sebagai akibat adanya belerang bebas atau senyawa belerang lainnya dalam minyak

9. Resistivitas

Resistivitas erat hubungannya dengan partikel zat yang bersifat penghantar. Resistivitas yang rendah menunjukkan bahwa minyak tersebut sudah mengalami kontaminasi oleh bahan/zat yang bersifat konduktif, seperti air, asam, partikel bermuatan lainnya.

2.4 Minyak Transformator

Minyak transformator adalah minyak mineral yang diperoleh dengan pemurnian minyak mentah. Sebagai bahan isolasi, minyak transformator harus mempunyai tegangan tembus yang tinggi. Selain itu minyak ini berfungsi sebagai media pendingin yaitu untuk mengantisipasi kenaikan temperatur (suhu) pada transformator, adanya kenaikan temperatur yang terlalu tinggi bisa merusak isolasi kertas pada gulungan (*coil*) di dalam transformator, dan suhu yang terlalu panas dapat menurunkan tahanan isolasi yang dapat mengakibatkan hubung singkat antara fasa dengan fasa dan fasa dengan *body* di dalam transformator sehingga dapat merusak transformator. Sedangkan fungsi minyak sebagai media isolasi adalah merupakan sesuatu yang mutlak untuk menghindari terjadinya *short circuit* atau

hubung singkat di dalam transformator baik antara fasa maupun sisi fasa dengan *body*, dimana hubung singkat tersebut akan mengakibatkan transformator meledak.

Sifat-sifat minyak transformator akan dikatakan baik jika memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- Kekuatan isolasi harus tinggi, sesuai IEC 296 minyak transformator harus kelas 1 dan 2 untuk minyak baru dan belum di filter $> 30\text{kV}/2.5\text{ mm}$ dan setelah difilter yaitu $> 50\text{ kV}/2.5\text{ mm}$.
- Penyalur panas yang baik, berat jenis yang kecil, sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.
- Viskositas yang rendah, agar lebih mudah bersirkulasi dan memiliki kemampuan pendinginan menjadi lebih baik. Pada IEC 296 viskositas minyak kelas 1 saat suhu 40°C adalah $< 16,5\text{ cSt}$.
- Titik nyala yang tinggi dan tidak menguap yang dapat menimbulkan bahaya
- Tidak merusak bahan isolasi padat
- Sifat kimia yang stabil

Jika minyak isolasi transformator didatangkan dengan tangki tersendiri, besar embun (*moisture*) yang terdapat dalam minyak tidak boleh melebihi 10 ppm dan dalam masa pengangkutan minyak tidak boleh terkontaminasi oleh udara. Maka sebelum minyak dipompakan kedalam tangka transformator perlu dilakukan penyaringan dan pemurnian (*treatment*).

2.4.1 Fungsi Minyak Trafo

Jika kita ketahui bahwa minyak trafo memegang peranan yang sangat penting. Adapun peranan dari minyak trafo tersebut antara lain :

a. Sebagai Insulator

Disini, minyak transformator berfungsi sebagai bahan untuk mengisolasi antara kumparan yang terdapat di dalam transformator. Hal ini bertujuan agar tidak terjadi percikan api listrik (*Spark Over*) akibat tegangan yang sangat tinggi.

b. Sebagai Pendingin

Minyak transformator juga dapat digunakan sebagai pendingin yaitu dengan menyerap panas tersebut kemudian melepaskan melalui saluran udara.

c. Sebagai Pelindung Komponen-Komponen di dalam Trafo



Minyak transformator juga dapat berperan sebagai pelumas untuk melindungi komponen-komponen yang berada di dalam transformator.

2.4.2 Pengujian Minyak Transformator

Minyak transformator harus selalu diuji kemampuannya secara periodik (biasanya setiap enam bulan) baik untuk minyak baru maupun sudah/sedang dipakai terutama kekuatan tegangan tembusnya. Pengujian biasanya dilakukan dengan mencelupkan dua buah elektroda kedalam minyak yang akan diuji, selain itu dapat juga dilakukan *Acidity Test*.

2.4.3 Pemurnian Minyak Transformator

Minyak transformator dapat terkontaminasi oleh berbagai macam pengotor seperti kelembaban, serat, resin dan sebagainya. Ketidakmurnian dapat tinggal di dalam minyak karena pemurnian yang tidak sempurna. Pengotoran dapat terjadi saat pengangkutan dan penyimpanan, ketika pemakaian, dan minyak itu sendiri pun dapat membuat pengotoran pada dirinya sendiri

Beberapa metode pemurnian minyak transformator dijelaskan dalam bagian berikut ini (Effendi, 2011: 28) :

A. Mendidihkan (*boiling*)

Minyak dipanaskan hingga titik didih air dalam alat yang disebut *boiler*. Air yang ada dalam minyak akan menguap karena titik didih minyak lebih tinggi dari pada titik didih air. Metode ini merupakan metode yang paling sederhana namun memiliki kekurangan. Pertama hanya air yang dipindahkan dari minyak, sedangkan serat, arang dan pengotor lainnya tetap tinggal. Kedua minyak dapat menua dengan cepat karena suhu tinggi dan adanya udara. Kekurangan yang kedua dapat diatasi dengan sebuah *boiler* minyak hampa udara (*vacum oil boiler*). Alat ini dipakai dengan minyak yang dipanaskan dalam bejana udara sempit (*air tight vessel*) dimana udara dipindahkan bersama dengan air yang menguap dari minyak. Air mendidih pada suhu rendah dalam ruang hampa oleh sebab itu menguap lebih cepat ketika minyak dididihkan dalam alat ini pada suhu yang relatif rendah. Alat ini tidak menghilangkan kotoran pada kendala pertama, sehingga pengotor tetap tinggal

B. Alat Sentrifugal (*Centrifuge reclaiming*)

Air serat, karbon dan lumpur yang lebih berat dari minyak dapat dipindahkan minyak setelah mengendap. Untuk masalah ini memerlukan waktu lama, sehingga untuk mempercepatnya minyak dipanaskan hingga 45 - 55 oC dan diputar dengan cepat dalam alat sentrifugal. Pengotor akan tertekan ke sisi bejana oleh gaya sentrifugal, sedangkan minyak yang bersih akan tetap berada ditengah bejana. Alat ini mempunyai efesiensi yang tinggi.

Alat sentrifugal hampa merupakan pengembangannya. Bagian utama dari drum adalah drum dengan sejumlah besar piring / pelat (hingga 50) yang dipasang pada poros vertikal dan berputar bersama-sama. Karena piring mempunyai spasi sepersepuluh millimeter, piring piring ini membawa minyak karena gesekan dan pengotor berat ditekan keluar.

C. Penyaringan (*Filtering*)

Penyaringan dapat melalui pori-pori penyaring yang kecil, sementara embun atau uap telah diserap oleh kertas yang mempunyai hygrosopicity yang tinggi. Jadi filter press ini sangat efisien memindahkan pengotor padat dan uap dari minyak yang merupakan kelebihan dari pada alat sentrifugal. Walaupun cara ini sederhana dan lebih mudah untuk dilakukan, keluaran yang dihasilkan lebih sedikit jika dibandingkan dengan alat sentrifugal yang menggunakan kapasitas motor penggerak yang sama. Filter press ini cocok digunakan untuk memisahkan minyak dalam circuit breaker (CB), yang biasanya tercemari oleh partikel jelaga (arang) yang kecil dan sulit dipisahkan dengan menggunakan alat sentrifugal.

D. Regenerasi (*Regeneration*)

Produk-produk penuaan tidak dapat dipindahkan dari minyak dengan cara sebelumnya. Penyaringan hanya baik untuk memindahkan bagian endapan yang masih tersisa dalam minyak. Semua sifat sifat minyak yang tercemar dapat dipindahkan dengan pemurnian menyeluruh yang khusus yang disebut regenerasi. Dalam dengan menggunakan adsorben untuk regenerasi minyak transformator sering dipakai di gardu induk dan pembangkit. Adsorben adalah substansi yang partikel partikelnya dapat menyerap produk produk penuaan dan kelembaban pada permukaannya. Hal yang sama dilakukan adsorben dalam ruang penyaring tabung gas yang menyerap gas beracun dan membiarkan udara bersih mengalir. Regenerasi dengan adsorben dapat dilakukan lebih menyeluruh bila minyak dicampur dengan asam sulfur.

2.5 Jenis-Jenis Minyak Isolasi Transformator

Minyak isolasi terdiri dari beberapa jenis, baik dari segi pembuatannya maupun jenis bahannya. Minyak isolasi yang sering digunakan adalah :

- Minyak isolasi mineral
- Minyak isolasi sintesis

2.5.1 Minyak Isolasi Mineral

Minyak transformator mineral adalah minyak yang berbahan dasar dari pengolahan minyak bumi yaitu antara fraksi minyak diesel dan turbin yang mempunyai struktur kimia yang sangat kompleks. Minyak isolasi hasil distilasi ini masih harus dimodifikasi agar

tahanan isolasinya tinggi, stabilitas panasnya baik, serta memenuhi syarat-syarat teknis lainnya. Selain pada transformator daya minyak isolasi bahan mineral ini banyak digunakan pada pemutus tenaga (CB), dan kapasitor, dimana selain berfungsi sebagai bahan dielektrik dan sebagai pendingin (penyerap panas) (Sinuhaji, 2012:13) .

2.5.2 Minyak Isolasi Sintesis

Minyak jenis ini mempunyai sifat lebih menguntungkan antara lain tidak mudah terbakar dan tidak mudah teroksidasi. Namun beracun dan dapat melukai kulit. Penggunaan minyak isolasi mineral masih mengalami keterbatasan, karena sifatnya yang mudah beroksidasi dengan udara, mengalami pemburukan yang cepat dan sifat kimia dapat berubah akibat kenaikan temperatur yang terjadi akibat pemadaman busur api atau saat peralatan beroperasi. Minyak isolasi sintesis adalah minyak isolasi yang diolah dengan proses kimia yang tepat untuk mendapatkan karakteristik yang bila dibandingkan dengan minyak isolasi bahan mineral (Sinuhaji, 2012: 13). Sifat minyak isolasi sintesis bila dibandingkan dengan minyak isolasi bahan mineral adalah:

1. Kekuatan dielektriknya di atas 40 kV
2. Harganya lebih murah
3. Berat jenisnya 1,56 dan jika bercampur dengan air, minyak isolasi sintesis berada dibawah permukaan air
4. Untuk kondisi pemakaian pemakaian yang sama dengan minyak mineral, uap lembab akan menyebabkan oksidasi yang lebih pada minyak isolasi sintesis dan penurunan dielektrik yang lebih cepat dibandingkan dengan minyak isolasi mineral tetapi karena umurnya panjang dan sifat pendinginnya lebih baik maka pada beberapa pemakaian minyak isolasi sintesis banyak digunakan.

2.6 Gas-gas penyebab gangguan

Jenis gas-gas yang terkontaminasi dalam minyak isolasi adalah sebagai berikut:

- a. Gas Atmosferik : hidrogen, nitrogen, dan oksigen.
- b. Karbon Oksida : karbon monoksida dan karbondioksida.
- c. Hidro karbon : asetilena, etilena, metana, dan etana.

2.7 Pemeriksaan Kualitas Minyak Transformator dengan Metoda DGA

Salah satu metoda untuk mengetahui ada tidaknya ketidaknormalan pada transformator adalah dengan mengetahui dampak dari ketidaknormalan transformator itu

sendiri. Untuk mengetahui dampak ketidaknormalan pada transformator digunakan metoda DGA (*Dissolved Gas Analysis*) (Widodo, 2014:2).

Pada saat terjadi ketidaknormalan pada transformator, minyak isolasi sebagai rantai hidrokarbon akan terurai akibat besarnya ketidaknormalan dan akan membentuk gas-gas hidrokarbon yang larut dalam minyak isolasi itu sendiri. Pada dasarnya DGA adalah proses untuk menghitung kadar/nilai dari gas-gas hidrokarbon yang terbentuk akibat ketidaknormalan. Dari komposisi kadar gas-gas itulah dapat diprediksi dampak-dampak ketidaknormalan apa yang ada di dalam transformator, apakah *overheat*, *arcing* atau *corona*.

DGA secara harfiah dapat diartikan sebagai analisis kondisi transformator yang dilakukan berdasarkan jumlah gas terlarut pada minyak transformator. Pengujian kandungan gas terlarut pada minyak transformator akan memberi informasi terkait dengan kondisi dan kualitas kerja transformator. Uji DGA dilakukan pada sampel minyak yang diambil dari transformator, kemudian gas-gas terlarut (*dissolved gas*) tersebut diekstrak. Gas yang telah diekstrak lalu dipisahkan, diidentifikasi komponen-komponen individualnya, selanjutnya dihitung kuantitasnya (dalam satuan *part per million* – ppm).

Analisis kondisi transformator berdasarkan hasil pengujian DGA, setelah diketahui karakteristik dan jumlah dari gas-gas terlarut yang diperoleh dari sampel minyak, selanjutnya dilakukan analisis kondisi transformator. Metode interpretasi untuk melakukan implementasi data dan analisis seperti yang tercantum pada IEEE, yaitu: (Stefani, 2015:13)

1. TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*)
2. *Key Gas*
3. *Roger's Ratio*
4. *Duval's Triangle*

2.7.1 TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*)

Analisa jumlah total gas terlarut yang mudah terbakar/TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*) akan menunjukkan keadaan transformator berdasarkan jumlah kandungan gas yang mudah terbakar dalam minyak transformator. Berikut dapat dilihat pada Tabel 2.1 batas konsentrasi gas terlarut.

Jumlah gas terlarut yang mudah terbakar atau TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*) akan menunjukkan apakah transformator yang diujikan masih berada pada kondisi operasi normal, waspada, peringatan atau kondisi kritis. Hanya gas karbon dioksida (CO_2) saja yang tidak termasuk kategori TDCG. Berikut adalah Tabel 2.1 :

Tabel 2.1 Batas Konsentrasi Gas Terlarut dalam Satuan ppm (part per million)

Table 1— Dissolved Gas Concentrations

Status	Dissolved Key Gas Concentration Limits (ppm) [†]							
	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂	TDCG [‡]
Condition 1	100	120	35	50	65	350	2500	720
Condition 2	101–700	121–400	36–50	51–100	66–100	351–570	2500–4000	721–1920
Condition 3	701–1800	401–1000	51–80	101–200	101–150	571–1400	4001–10000	1921–4630
Condition 4	>1800	>1000	>80	>200	>150	>1400	>10000	>4630

Sumber: IEEE Std. C57 104-1991

Pada kondisi 1, transformator beroperasi normal. Namun, tetap perlu dilakukan pemantauan kondisi gas-gas tersebut.

Pada kondisi 2, tingkat TDCG mulai tinggi. Ada kemungkinan timbul gejala-gejala kegagalan yang harus mulai diwaspadai, perlu dilakukan pengambilan sampel minyak yang lebih rutin dan sering.

Pada kondisi 3, TDCG menunjukkan adanya dekomposisi dari isolasi kertas minyak transformator. Berbagai kegagalan pada kondisi ini mungkin sudah terjadi dan transformator harus sudah diwaspadai dan diperlukan perawatan yang lebih lanjut.

Pada kondisi 4, TDCG pada tingkat ini menunjukkan adanya kerusakan pada isolator kertas dan kerusakan minyak transformator pada kondisi ini sudah meluas.

2.7.2 Key Gas

Gas-gas yang dilihat pada metode ini adalah gas-gas yang terbentuk dari proses penurunan kualitas minyak dan kertas selulosa yaitu H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, CO. Kecuali CO dan CO₂ semua gas terbentuk dari pemburukan minyak itu sendiri sedangkan CO dan CO₂ terbentuk dari pemburukan isolasi kertas.

2.7.3 Roger's Ratio

Magnitude rasio empat jenis *fault gas* digunakan untuk menciptakan empat digit kode. Kode-kode tersebut menunjukkan indikasi dari penyebab munculnya *fault gas*. Beberapa catatan mengenai interpretasi dari tabel *roger's ratio*: (Widodo, 2014:29)

1. Ada kecenderungan rasio C₂H₂/C₂H₄ naik dari 0.1 s.d >3 dan rasio C₂H₄/C₂H₆ untuk naik dari 1-3 s.d >3 karena meningkatnya intensitas percikan (*spark*). Sehingga kode awalnya bukan lagi 0 0 0 melainkan 1 0 1.

2. Gas-gas yang timbul mayoritas dihasilkan oleh proses dekomposisi kertas, sehingga muncul angka 0 pada kode rasio roger.
3. Kondisi kegagalan ini terindikasi dari naiknya konsentrasinya fault gas CH_4/CH_2 normalnya bernilai 1, namun nilai ini tergantung dari berbagai faktor seperti kondisi konservator, selimut N_2 , temperatur minyak dan kualitas minyak.
4. Naiknya nilai C_2H_2 (lebih dari nilai yang terdeteksi), pada umumnya menunjukkan adanya hot-spot dengan temperatur lebih dari 700°C , sehingga timbul *arcing* pada transformator. Jika konsentrasi dan rata-rata pembentukan gas asetilen naik, maka transformator harus segera diperbaiki. Jika dioperasikan lebih lanjut, kondisinya akan sangat berbahaya.
5. Transformator dengan OLTC (*on-load tap changer*) bisa saja menunjukkan kode 2 0 2 ataupun 1 0 2 tergantung jumlah dari pertukaran minyak antara tangki tap changer dan tangki utama. Seperti terlihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Analisis Dengan Menggunakan Metode Roger's Ratio

Rasio Gas				Diagnosis
$\text{CH}_4:\text{H}_2$	$\text{C}_2\text{H}_6:\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_4:\text{C}_2\text{H}_2$	$\text{C}_2\text{H}_2:\text{C}_2\text{H}_4$	
2	4	H ₆		
0	0	0	0	Normal
5	0	0	0	<i>Partial Discharge</i>
1-2	0	0	0	<i>Over heating</i> ringan ($>150^\circ\text{C}$)
1-2	1	0	0	<i>Over heating</i> (150°C - 200°C)
0	1	0	0	<i>Over heating</i> (200°C - 300°C)
0	0	1	0	<i>Over heating</i> pada konduktor secara umum
1	0	0	0	Arus pusar pada belitan
1	0	2	0	Arus pusar pada tangki dan inti, <i>over heating</i> pada sambungan
0	0	0	1	<i>Flash over</i> tanpa diikuti daya
0	0	1-2	1-2	<i>Arcing</i> dengan diikuti daya
0	0	2	2	Adanya <i>sparking</i> yang kontinyu
5	0	0	1-2	<i>Partial discharge</i> berkaitan dengan gas CO

Sumber: Widodo (2014:30)

Selain rasio pada Tabel 2.2, seringkali digunakan rasio lain seperti rasio CO/CO_2 . Rasio ini digunakan untuk mendeteksi keterlibatan isolasi kertas pada fenomena kegagalan. normalnya rasio CO/CO_2 bernilai sekitar 7. Jika rasio <3 , ada indikasi yang kuat akan adanya kegagalan elektrik sehingga menimbulkan karbonasi pada kertas (*hot-spot* atau

arcing dengan temperatur $> 200^{\circ}\text{C}$. Jika rasio > 10 , mengindikasikan adanya kegagalan thermal pada isolasi kertas pada belitan.

Untuk menentukan kode yang pada metode roger's ratio pada tabel 2.2 maka harus menghitung perbandingan setiap gas. Tidak semua gas yang ada pada hasil tes DGA di hitung perbandingannya. Perhitungan perbandingan gas-gas hasil tes DGA tersebut menggunakan tabel 2.3. Berikut adalah tabel 2.3:

Tabel 2.3 Nilai range kode

Perbandingan Gas	Ranges	Kode
CH_4/H_2	≤ 0.1	5
	0.1 - 1.0	0
	1.0 - 3.0	1
	≤ 3.0	2
$\text{C}_2\text{H}_6/\text{CH}_4$	< 1.0	0
	≥ 1.0	1
$\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$	< 1.0	0
	1.0 - 3.0	1
	≥ 3.0	2
$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$	< 0.5	0
	0.5 - 3.0	1
	≥ 3.0	2

2.7.4 Duval's Triangle

Sama halnya dengan Roger, metode ini menggunakan perbandingan yang memanfaatkan gas hidrokarbon. Namun pada metode ini hanya tiga senyawa gas yang dibandingkan. Gas-gas metana, etilen dan asetilen dibandingkan terhadap jumlah akumulasi dari ketiga gas-gas tersebut.

Metode Duval ini dilengkapi dengan grafik tiga koordinat yang berbentuk segitiga sama sisi, dimana nilai dari setiap koordinat adalah persentase tiap gas terhadap total ketiga gas. Berapa pun koordinatnya pasti akan menunjuk ke salah satu jenis gangguan. Terdapat tujuh gangguan yang menjadi interpretasi dari komposisi ketiga gas tersebut, yaitu:

PD = *Partial Discharge*

T1 = *Thermal Fault Less than 300 °C*

T2 = *Thermal Fault Between 300 °C and 700 °C*

T3 = *Thermal Fault Greater than 700 °C*

D1 = *Low Energy Discharge (Sparking)*

D2 = *High Energy Discharge (Arcing)*

DT = *Mix of Thermal and Electrical Faults*

Segitiga Duval tidak bisa menginterpretasi semua data. Syarat menggunakan metode ini adalah setidaknya satu dari ketiga gas hidrokarbon harus berada pada kondisi diatas kondisi 1 (metode TDCG) dan peningkatan gasnya berada pada status G2. Tabel 2.4 menunjukkan syarat menggunakan metode segitiga duval.

Tabel 2.4 Syarat Menggunakan Metode Segitiga Duval

Gas	L1 Limits	G1 Limits (ppm per month)	G2 Limits (ppm per month)
H ₂	100	10	50
CH ₄	75	8	38
C ₂ H ₂	3	3	3
C ₂ H ₄	75	8	38
C ₂ H ₆	75	8	38
CO	700	70	350
CO ₂	7000	700	3500

Sumber: IEEE. Duval, Michel and James Dukarm (2005:24)

2.8 Gas Terlarut Pada Minyak Transformator

Minyak transformator merupakan sebuah campuran kompleks dari molekul-molekul hidrokarbon, dalam bentuk linier atau siklis, yang mengandung kelompok molekul CH₃, CH₂, dan CH yang terikat. Pemecahan beberapa ikatan antara unsur C-H dan C-C sebagai hasil dari kegagalan termal ataupun listrik akan menghasilkan fragmen-fragmen ion seperti H, CH₃, CH₂, CH, dan C yang nantinya akan berkombinasi dan menghasilkan molekul-molekul gas seperti hydrogen (H-H), metana (CH₃-H), etana (CH₃-CH₃), etilen (CH₂=CH₂) ataupun asetilen (CH=CH). Gas-gas ini dikenal dengan istilah *fault gas*. Dapat dilihat pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 Struktur Kimia Minyak Isolator dan Gas-gas Terlarut pada Minyak Isolator

Mineral Oil	$\begin{array}{cccccccc} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & & & & & & \\ \text{H} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & & & & & & & \\ & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$	$\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$	Ethylene	$\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{C} & = & \text{C} \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$	C_2H_4
Hydrogen	$\text{H}-\text{H}$	H_2	Acetylene	$\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{C} & = & \text{C} \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$	C_2H_2
Methane	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	CH_4	Carbon Dioxide	$\text{O}=\text{C}=\text{O}$	CO_2
Ethane	$\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$	C_2H_6	Carbon Monoxide	$\text{C}\equiv\text{O}$	CO
			Oxygen	$\text{O}=\text{O}$	O_2
			Nitrogen	$\text{N}\equiv\text{N}$	N_2

Sumber : Rahmad Hardityo (2008 ; 13)

Penyebab utama terbentuknya gas-gas dalam kondisi operasi transformator adalah adanya gangguan-gangguan seperti :

- *Thermal degradation* (indikasi gas : C_2H_4 , CH_4 , H_2 , C_2H_6)
- *Arching* (indikasi gas : H_2 , C_2H_2)
- Tegangan Tembus (indikasi gas : H_2)

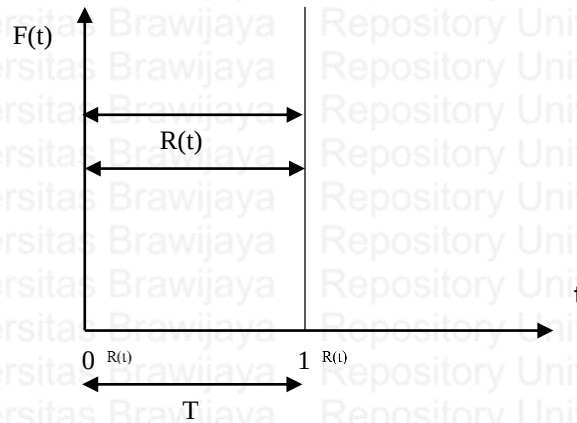
Semakin banyak jumlah ikatan karbon (ikatan tunggal, ganda, rangkap tiga) maka semakin banyak pula energy yang dibutuhkan untuk menghasilkannya. Hidrogen (H_2), metana (CH_4) dan etana (C_2H_6) terbentuk oleh fenomena kegagalan dengan tingkat energi yang rendah. Etilen (C_2H_4) terbentuk oleh pemanasan minyak pada temperatur menengah, dan asetilen (C_2H_2) terbentuk pada temperatur yang sangat tinggi.

Gas etana dan etilen sering disebut sebagai “gas logam panas”. Hal ini terjadi akibat adanya kontak yang buruk pada *tap-changer* atau sambungan yang jelek pada suatu titik pada rangkaian dalam transformator. Penyebab lainnya adalah kerusakan pada pentanahan rangkaian sehingga muncul arus lebih yang bersirkulasi karena tidak bisa dibuang ke tanah. Gas-gas lain seperti nitrogen dan oksigen juga dapat muncul pada minyak. Nitrogen muncul akibat sisa N_2 pada saat pengiriman transformator ataupun oleh selimut nitrogen. Munculnya oksigen pada transformator umumnya diakibatkan oleh kebocoran tangki transformator.

2.9 Analisis Keandalan dan Ketersediaan

Keandalan adalah sebagai peluang suatu komponen atau sistem memenuhi fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu yang diberikan selama digunakan dalam kondisi beroperasi. Dengan kata lain keandalan berarti peluang tidak terjadi kegagalan selama masa beroperasi. Ketersediaan adalah sebagai peluang suatu komponen atau sistem berfungsi menurut kebutuhan pada waktu tertentu saat digunakan dalam kondisi beroperasi. Ketersediaan diinterpretasikan sebagai peluang beroperasinya komponen atau sistem dalam waktu yang ditentukan.

Suatu peralatan dinyatakan memiliki dua *state* yaitu “baik” dan “rusak” yang merupakan proses probabilitas, sehingga jika keandalan berharga 1, maka sistem dapat dipastikan dalam keadaan baik dan jika berharga 0 maka dipastikan sistem dalam keadaan rusak. Jika keandalan adalah $R(t)$ maka keandalan berkisar $0 \leq R(t) \leq 1$ sehingga dapat digambarkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Fungsi Keandalan sebagai Fungsi Waktu

Sumber: Ansori (2013:16)

Dimana:

$R(t)$ = Fungsi keandalan

$F(t)$ = Probabilitas kegagalan

T = Lamanya suatu peralatan beroperasi sampai dengan rusak yang merupakan variabel acak

$P\{\}$ = Himpunan alat

$R(t)$ = $P\{\text{alat dapat berfungsi}\}$ pada saat t

$= P\{T\} \{\text{mesin dapat berfungsi}\}$

$= 1 - P\{T > t\}$

$= 1 - F(t)$

Fungsi keandalan dapat dihitung dengan rumus: (Ansori, 2013:16)

$$R(t) = \int_1^{\infty} f(t)dt \quad (2.1)$$

$$= 1 - F(t) \text{ untuk } 0 \leq R(t) \leq 1 \quad (2.2)$$

Sehingga:

Untuk $t \rightarrow 0$, $R(t) \rightarrow 1$, berarti sistem dalam keadaan baik

Untuk $t \rightarrow \infty$, $R(t) \rightarrow 0$, berarti sistem dalam keadaan rusak

Fungsi keandalan merupakan suatu fungsi matematis yang menggambarkan fungsi laju kegagalan. Laju kegagalan didefinisikan probabilitas banyaknya komponen yang mengalami kegagalan setiap waktu, bila komponen sejenis dioperasikan secara bersama. Laju kegagalan disimbolkan dengan λ , untuk laju kegagalan fungsi eksponensial dinyatakan dengan: (Ansori, 2013:19)

$$f(t) = -\frac{d}{dt} R(t) \quad (2.3)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.4)$$

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \cdot \frac{d}{dt} R(t) \quad (2.5)$$

$$\lambda(t) dt = -\frac{dR(t)}{R(t)} \quad (2.6)$$

$$\int_0^t \lambda(t)' dt' = -\ln [R(t)] \quad (2.7)$$

$$R(t) = \exp \left[-\int_0^t \lambda(t)' dt' \right] \quad (2.8)$$

Untuk mengetahui nilai keandalan yang perlu dihitung adalah laju kegagalan, dengan terlebih dahulu mengetahui nilai MTTF (*Mean Time To Failure*), yaitu rata-rata waktu diantara kegagalan untuk sistem yang belum diperbaiki. MTTF untuk distribusi eksponensial dinyatakan dengan: (Ansori, 2013:20)

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.9)$$

Sehingga laju kegagalan (λ), didapat:

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} \quad (2.10)$$

Sedangkan untuk mencari nilai ketersediaan yang perlu dihitung adalah laju kegagalan dan laju ketersediaan. Laju kegagalan telah dijelaskan pada persamaan (2.12). Untuk menghitung laju ketersediaan, yang perlu diketahui adalah MTTR (*Mean Time To Repair*), yaitu rata-rata waktu untuk dilakukan perbaikan atau perawatan. MTTR untuk distribusi eksponensial dinyatakan dengan: (Ansori, 2013:23)

$$MTTR = \int_0^{\infty} R(t)dt = \frac{1}{\mu} \quad (2.11)$$

Sehinga laju perbaikan (μ), didapat:

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (2.12)$$

2.10 Proses Markov

Metoda Markov adalah suatu teknik analitik yang mampu memasukkan komponen waktu perbaikan kedalam proses evaluasi keandalan sistem. Terdapat dua jenis perhitungan pada markov, yaitu markov waktu diskrit dan markov waktu kontinu. Untuk proses markov kontinu memiliki beberapa indikator yaitu : (Richard 2009; 203)

$$\text{Laju Kegagalan} : \lambda = \frac{1}{MTTF} \quad (2.13)$$

$$\text{Laju Perpindahan} : \sigma = \frac{1}{MTTS} \quad (2.14)$$

$$\text{Laju Perbaikan} : \mu = \frac{1}{MTTR} \quad (2.15)$$

Rantai markov kontinu digunakan untuk menentukan prediksi dari masalah dalam waktu kontinu $\{X(t), t \geq 0\}$. Untuk penyelesaian markov di gunakan matriks, yang dinyatakan dengan :

$$\frac{dp(t)}{dt} = p(t).A \quad (2.16)$$

dimana

$$A = \begin{bmatrix} -\lambda_{1,1} & \lambda_{1,2} & \lambda_{1,3} & \dots \\ \lambda_{2,1} & -\lambda_{2,2} & \lambda_{2,3} & \dots \\ \lambda_{3,1} & \lambda_{3,2} & -\lambda_{3,3} & \dots \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

sehingga

$$\left[\frac{dp_1(t)}{dt} \quad \frac{dp_2(t)}{dt} \quad \frac{dp_3(t)}{dt} \quad \dots \right] = [p_1(t) \quad p_2(t) \quad p_3(t) \quad \dots] \cdot \begin{bmatrix} -\lambda_{1,1} & \lambda_{1,2} & \lambda_{1,3} & \dots \\ \lambda_{2,1} & -\lambda_{2,2} & \lambda_{2,3} & \dots \\ \lambda_{3,1} & \lambda_{3,2} & -\lambda_{3,3} & \dots \end{bmatrix}$$

$$\text{Nilai } \lambda_{ii} = \sum_{j=0}^{\infty} (\lambda_{i(j+1)}) \quad (2.18)$$

Dimana $i \neq j$

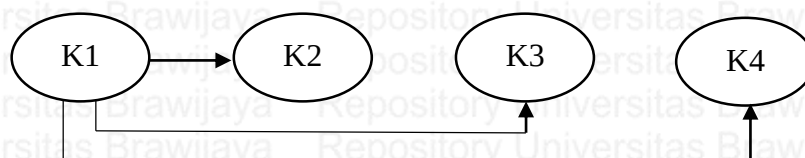
Nilai λ_{ij} = nilai laju kegagalan dari kondisi i menuju j

2.10.1 Kurva Keandalan dan Kurva Ketersediaan

Pemodelan markov untuk mendapatkan kurva keandalan menerapkan fungsi laju kegagalan dan kurva ketersediaan menerapkan fungsi laju kegagalan (λ) dan juga laju perbaikan (μ). Laju kegagalan merupakan laju perubahan gas hasil pengujian DGA dari kondisi baik ke buruk. Misal dari K1 ke K2. Untuk perhitungan laju kegagalan (λ) didapatkan dari perhitungan pada rumus 2.14. MTTF adalah Waktu perubahan kondisi

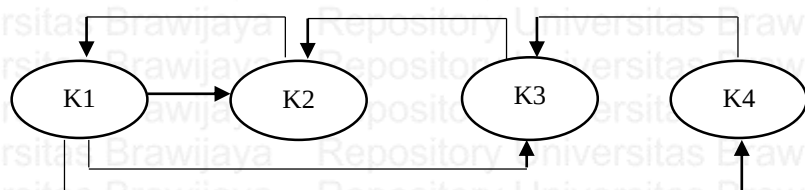
(hari)/banyaknya perubahan kondisi. Perhitungan laju perbaikan (μ) didapatkan dari perhitungan pada rumus 2.15. MTTR: Waktu perubahan kondisi (hari)/banyaknya perubahan kondisi.

Berikut ini akan ditampilkan contoh dari kurva keandalan dan kurva ketersediaan untuk perubahan kondisi dari K2-K1, K3-K2, K4-K3.



Gambar 2.3 Rantai Markov Kurva Keandalan

Sumber : (Gita, 2016: 31)



Gambar 2.4 Rantai Markov Kurva Ketersediaan

Sumber : (Gita, 2016: 31)

2.10.2 Matriks Transisi

Matriks transisi dapat disusun setelah semua nilai-nilai laju transisi diketahui. Nilai-nilai laju tersebut terdiri dari laju kegagalan dan laju perbaikan. Ukuran matriks intensitas transisi sama dengan jumlah keadaan yang ada. Dari urutan keadaan tersebut elemen-elemen *off-diagonal* matriks intensitas transisi dapat disusun dengan aturan, untuk transisi dari keadaan A (*urutan i*) ke keadaan B (*urutan j*), maka elemen matriks baris ke-*i* ke kolom-*j* berisi nilai laju transisi dari A ke B tersebut.

2.11 Peluang Kejadian *Steady-State*

Pada nilai waktu yang tak terhingga akan tercapai kondisi *steady-state* untuk setiap keadaan sedemikian hingga nilai peluang untuk tiap keadaan saat *steady-state* tidak bergantung kepada waktu, sehingga dari persamaan nilai diferensial $p(t) = 0$, sehingga dapat diturunkan:

$$\frac{dp(t)}{dt} = 0$$

$$0 = p^* \cdot A \quad (2.18)$$

Penyelesaian persamaan ini mendapatkan nilai p^* yang tidak bergantung waktu, yang kemudian disebut peluang *steady-state*. Jumlah total peluang seluruh keadaan tentu saja harus memenuhi persamaan:

$$\sum_n P_n(t) = 1 \quad (2.19)$$



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

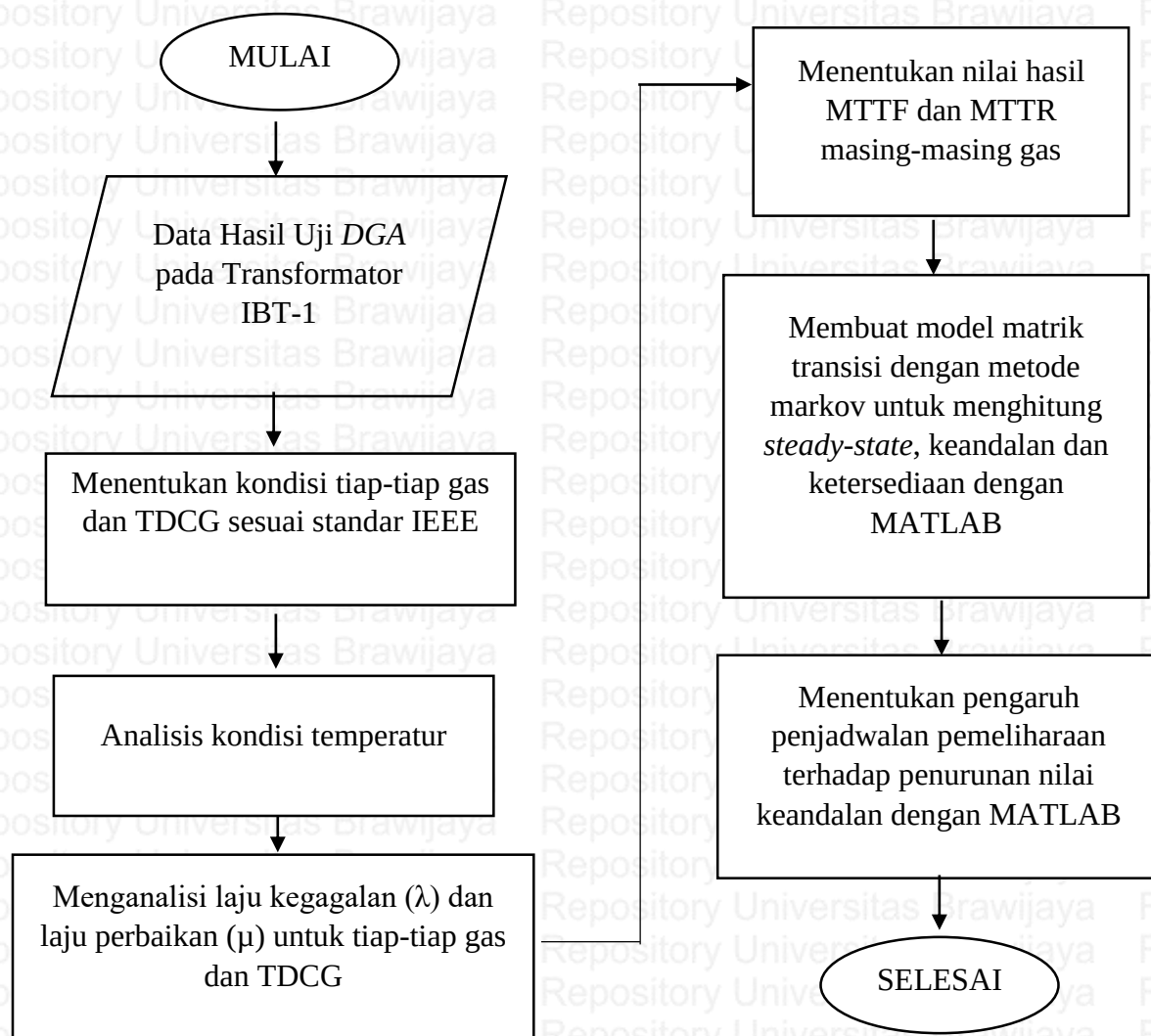
Objek yang dianalisis merupakan satu unit transformator distribusi pada Gardu Induk (GI) Kebon Agung yang berlokasi di Malang, Jawa Timur. Unit yang dianalisis merupakan transformator IBT 1 Fuji 150/70 kV. Transformator tersebut merupakan jenis transformator dengan pendingin minyak, dengan tipe sistem pendingin ONAN (*Oil Natural Air Natural*) dan ONAF (*Oil Natural Air Force*). Spesifikasi dari transformator tersebut adalah sebagai berikut:

- | | |
|--------------------|-------------|
| 1. No. Seri | : 11324 |
| 2. Merk | : Fuji |
| 3. Tahun Pembuatan | : 2009 |
| 4. Daya | : 50 MVA |
| 5. Ratio | : 150/70 KV |
| 6. Berat Minyak | : 20800 Kg |
| 7. Total Berat | : 115200 Kg |

Transformator ini menggunakan minyak isolator merk Total. Minyak merk ini adalah minyak isolator yang sering digunakan pada transformator pada umumnya. Minyak Total merupakan jenis minyak mineral nephthetic. Minyak ini menawarkan sifat dielektrik yang baik, stabilitas oksidasi yang baik dan menyediakan transfer panas yang efisien.

3.2 Diagram Alir

Pada awal pengerjaan akan mencari data hasil uji DGA. Setelah mendapatkan data yang hasil uji maka data yang didapatkan akan dicocokkan dengan kondisi-kondisi tiap-tiap gas sesuai standar IEEE (table 2.1). Maka akan didapatkan nomer-nomer pengelompokan. Lalu pada awal analisis akan dilakukan analisis temperatur menggunakan metode *roger ratio*. Pada nomer-nomer pengelompokan yang sudah didapatkan maka akan dilakukan analisis pemodelan trafo. Pertama akan dilakukan mencari nilai hasil MTTF dan MTTR masing-masing gas. Kedua akan membuat model matriks matrik transisi dengan metode markov untuk menghitung *steady-state*, keandalan dan ketersediaan dengan MATLAB. Langkah terakhir dalam flowchart ini adalah menentukan pengaruh penjadwalan pemeliharaan terhadap penurunan nilai keandalan dengan MATLAB. Berikut adalah langkah-langkah penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di PT.PLN (Persero) Area Pelaksanaan dan Pemeliharaan Gardu Induk Kebon Agung Kota Malang.

3.3 Jenis Data Penelitian

Sumber data merupakan pendukung untuk mengerjakan dan menentukan suatu pokok permasalahan dalam suatu laporan. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder merupakan data-data yang diperoleh dari data yang sudah ada, selanjutnya dilakukan proses analisa dan interpretasi dalam data-data tersebut sesuai dengan tujuan penelitian. Data sekunder dalam penelitian ini didapatkan dari data-data yang telah valid pada PT. PLN (Persero) Area Pelaksanaan dan Pemeliharaan Gardu Induk Kebon Agung Kota Malang.

3.4 Pengambilan Data

Data yang diperlukan langsung diambil dari survey lapangan, yaitu bertempat di GI Kebon Agung. Data yang diperoleh akan dijadikan sebagai acuan untuk mengetahui kondisi transformator dan kandungan minyak transformator. Studi literatur dan survey lapangan akan menghasilkan data sekunder yang akan menjadi acuan dan bahan dalam merencanakan dan mengimplementasikan sistem.

Data sekunder yang didapatkan meliputi data hasil pengujian minyak transformator dengan metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*) selama masa operasi transformator yang dianalisis.

3.5 Metode Analisis Data

Pada penelitian ini, metode yang digunakan untuk menganalisis data adalah metode markov. Pemodelan markov ini ditentukan terlebih dahulu dengan simbol untuk masing-masing kondisi yang terjadi pada hasil uji DGA minyak transformator, kondisi ini disesuaikan dengan tabel standart IEEE pada bab sebelumnya. Untuk simbol kondisi dibagi menjadi beberapa antara lain:

1. Kondisi 1 disimbolkan dengan K1
2. Kondisi 2 disimbolkan dengan K2
3. Kondisi 3 disimbolkan dengan K3
4. Kondisi 4 disimbolkan dengan K4

3.5.1 Analisis Temperatur Minyak Trafo

Pada analisis ini akan menghasilkan temperatur yang ada pada saat pengujian tes DGA. Hasil temperature ini didapatkan pada hasil senyawa yang ada pada hasil Tes DGA. Tabel untuk Temperatur Minyak ditunjukkan dalam Tabel Temperatur Minyak 3.1

Tabel 3.1 Tabel temperatur Minyak

Tanggal	Perbandingan Gas				Kondisi
	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₆ /CH ₄	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	

3.5.2 Pemodelan Markov

A. Pemodelan Markov untuk Kurva Keandalan

Pemodelan markov untuk kurva keandalan menggunakan data perubahan gas dari kondisi baik ke kondisi buruk. Data yang digunakan adalah data yang berasal dari APP Kota Malang khususnya transformator IBT-1 Kebon Malang. Dengan data masing-masing perubahan dikelompokkan dalam tabel dan digambarkan dalam diagram rantai markov. Laju yang digunakan untuk perubahan kondisi dari kondisi baik ke kondisi buruk disimbolkan dengan λ . Tabel untuk kurva keandalan ditunjukkan dalam tabel Data Laju Keandalan 3.2.

Tabel 3.2 Tabel Kurva Keandalan

No	Jenis Gas	Perubahan Kondisi Gas	Waktu (Hari)
	Nama Gas		
	Total		
	Rata-rata		
	Laju Kegagalan (λ)		

3.5.2.2 Pemodelan Markov untuk Kurva Ketersediaan

Laju yang digunakan untuk perubahan kondisi dari kondisi baik ke kondisi buruk adalah laju kegagalan yang disimbolkan dengan λ . Sedangkan laju yang digunakan untuk perubahan kondisi dari buruk ke kondisi baik adalah laju perbaikan yang disimbolkan dengan μ . Data yang digunakan adalah data yang berasal dari APP Kota Malang khususnya transformator IBT-1 Kebon Malang Tabel untuk kurva ketersediaan ditunjukkan dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Tabel Kurva Ketersediaan

No	Jenis Gas	Perubahan Kondisi Gas	Waktu (Hari)
	(Nama Gas)		
	Total		
	Rata-rata		
	Laju Kegagalan (λ)		
	(Nama Gas)		
	Total		
	Rata-rata		
	Laju Perbaikan (μ)		

3.5.3 Perhitungan Nilai Keandalan dan Nilai Ketersediaan dengan MATLAB

Setelah mendapatkan nilai laju kegagalan untuk pemodelan kurva keandalan dan nilai laju kegagalan serta laju perbaikan untuk pemodelan kurva ketersediaan, maka nilai-



nilai tersebut dapat dimasukkan ke dalam listing program MATLAB untuk mendapatkan nilai keandalan dan nilai ketersediaan serta kurva keandalan dan kurva ketersediaan.

3.6 Pengambilan Kesimpulan

Pada tahapan ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan hasil perhitungan serta analisis. Dan juga dilakukan pemberian saran yang dimaksudkan untuk memberi pertimbangan atas pengembangan selanjutnya.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian Minyak Trafo

Data pengujian minyak transformator diambil berdasarkan hasil tes DGA dari APP Kota Malang. Data tersebut dapat dilihat pada lampiran 1. Pada penelitian ini transformator yang digunakan adalah transformator IBT-1 merk Fuji 50 MVA 150/70 kV di Sektor UPT Malang tepatnya di Gardu Induk Kebon Agung.

Hasil tes DGA tersebut juga dapat mengindikasikan bagaimana kondisi minyak trafo pada saat itu. Sehingga dapat mengetahui minyak trafo dalam keadaan baik atau dalam keadaan *overheat*. Dapat dilihat pada lampiran 1 terdapat indikasi gas H_2 , C_2H_2 , C_2H_4 , CH_4 , H_2 , C_2H_6 . Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa trafo mengalami gangguan *Thermal degradation*, *Arching* dan tegangan tembus.

Dari data yang diperoleh dapat diketahui bahwa pengambilan sample minyak trafo untuk tes DGA dilakukan setahun sekali. Namun ada kondisi-kondisi tertentu yang mengharuskan pengambilan sampel minyak dikarekankan adanya gangguan-gangguan. Dapat dilihat dari lampiran 1 bahwa dari tahun 2007 hingga 2016 terdapat 1 tanggal hasil dari pengujian tes DGA kecuali pada tanggal 2012. Hasil tes DGA tersebut mengindikasikan bahwa adanya gangguan sehingga dilakukan pengujian minyak selama 3 kali.

4.2 Analisis Temperatur

Setelah mendapatkan hasil uji tes gas DGA terlarut dalam minyak trafo maka dapat dilakukan analisis temperatur trafo. Dalam hal ini kita dapat mengetahui nilai temperatur berdasarkan kondisi yang ada dengan menggunakan metode roger ratio. Untuk menentukan *range* kode menggunakan tabel 2.3. Hasil kode tersebut dimasukan pada tabel 2.2. Dari data pada lampiran 1 kita dapat membuat perhitungan sesuai dengan kondisi gas pada pengujian gas. Dengan perhitungan sebagai berikut:

Tanggal 8/26/2008

Gas CH_4/H_2	239/55	= 4.34	(2)
Gas C_2H_6/CH_4	393/293	= 1.64	(1)
Gas C_2H_4/C_2H_6	5/393	= 0.013	(0)
Gas C_2H_2/C_2H_4	0/5	= 0	(0)

Dari hasil tabel perhitungan di atas, kualitas minyak transformator tidak cukup baik..

Hanya kandungan ethana (C_2H_6) dan kandungan ethylene (CH_4) pada minyak menunjukkan keadaan yang abnormal diatas kondisi normal(dapat dilihat pada tabel 2.1. Dengan memacu pada rasio roger maka akan menyebabkan *local overheating* ($150^{\circ}C-200^{\circ}C$). Perhitungan perbandingan gas untuk setiap tanggal pengujian juga dihitung dengan cara yang sama. Perhitungan tersebut dapat dilihat pada lampiran 1. Hasil dari perbandingan gas-gas tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1. Berikut ini adalah tabel 4.1 yang merupakan hasil perbandingan dari setiap gas pada setiap pengujian minyak trafo.

Tabel 4.1 Hasil Perbandingan Gas

Tanggal	Perbandingan Gas				Kondisi
	CH_4/H_2	C_2H_6/CH_4	C_2H_4/C_2H_6	C_2H_2/C_2H_4	
8/30/2007	0	0	0	0	Normal
8/26/2008	2	1	0	0	Over heating ($150^{\circ}C-200^{\circ}C$)
9/17/2009	0	0	0	1	Flash over tanpa diikuti daya
11/6/2010	2	1	0	0	Over heating ($150^{\circ}C-200^{\circ}C$)
10/5/2011	2	1	0	0	Over heating ($150^{\circ}C-200^{\circ}C$)
2/19/2012	0	1	0	0	Over heating ($200^{\circ}C-300^{\circ}C$)
9/26/2012	1	1	0	0	Over heating ringan ($>150^{\circ}C$)
12/19/2012	0	1	0	0	Over heating ($200^{\circ}C-300^{\circ}C$)
12/7/2013	1	1	0	0	Over heating ringan ($>150^{\circ}C$)
12/6/2014	0	1	0	0	Over heating ($200^{\circ}C-300^{\circ}C$)
2/7/2015	1	1	0	0	Over heating ringan ($>150^{\circ}C$)
8/5/2016	0	1	0	0	Over heating ($200^{\circ}C-300^{\circ}C$)

Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa pengujian pada gas DGA telah terjadi *over heating* ($150^{\circ}C-200^{\circ}C$) sebanyak 3 kali, *Flash over* tanpa diikuti daya sebanyak 1 kali, *over heating* ($200^{\circ}C-300^{\circ}C$) sebanyak 4 kali dan *over heating* ringan ($>150^{\circ}C$). Dan dapat dilihat bahwa setiap kali pengujian gas yang berada pada minyak trafo terjadi *over heating*. Sehingga diperlukan perubahan penjadwalan perawatan minyak transformator.

4.3 Pemodelan Markov untuk Analisis DGA dan TDCG

Pemodelan markov untuk analisis ini dibagi menjadi dua pemodelan, yaitu pemodelan markov untuk kurva keandalan dan kurva ketersediaan.

4.3.1 Pemodelan Markov Untuk Kurva Keandalan

Pada pemodelan markov untuk kurva keandalan kondisi gas dibagi dalam beberapa simbol antara lain:

1. Kondisi 1 disimbolkan K1

2. Kondisi 2 disimbolkan K2
3. Kondisi 3 disimbolkan K3
4. Kondisi 4 disimbolkan K4

Pemodelan markov untuk mendapatkan kurva keandalan menerapkan fungsi laju kegagalan. Laju kegagalan merupakan laju perubahan gas hasil pengujian DGA dari kondisi baik ke kondisi buruk. Misal dari K1 ke K2. Laju kegagalan disimbolkan dengan λ , untuk perhitungan laju kegagalan (λ) di dapatkan dari perhitungan MTTF (*mean time to failure*) pada persamaan (2.11), yaitu dengan :

$$\lambda = 1/\text{MTTF}, \text{ MTTF : Waktu Peubahan kondisi (hari)/ banyaknya perubahan kondisi}$$

$$\lambda_{H_2} = 1/\text{MTTF}, \text{ untuk perubahan kondisi 1 ke kondisi 2 (1-2)}$$

$$\text{MTTF} = (1634+801)/2 = 1217.5$$

$$\lambda_{H_2} = 1/1217.5$$

$$= 0.000821$$

cara ini juga diterapkan untuk melakukan perhitungan pada gas-gas lain. Setelah di dapatkan nilai λ , maka dapat disusun menjadi tabel sesuai dengan Tabel 4.2. Untuk mendapatkan MTTF (*Mean Time To Failure*) dapat dilihat ilustrasi pada Tabel 4.2 dengan menggunakan contoh gas H₂ dan bukan waktu sebenarnya.

Tabel 4.2 Perhitungan MTTF (*Mean Time To Failure*)

Gas	Waktu (hari)					
	1 Jan	10 Jan	21 Jan	1 Feb	7 Feb	15 Feb
H ₂	K1	K1	K3	K1	K2	K1
	MTTF = 20 hari; $\lambda=0,05$					
				MTTF = 14 hari ; $\lambda = 0,25$		

4.3.1.1 Pemodelan untuk Gas H₂ Trafo IBT-2

Dalam analisis ini, masa operasi transformator yang dianalisis yaitu selama 3263 hari terhitung mulai 08 Agustus 2007 sampai 07 Mei 2016. Selama masa operasi transformator terjadi perubahan kondisi gas, yaitu perubahan dari kondisi baik ke buruk maupun sebaliknya. Untuk pemodelan kurva keandalan pada metode markov, diperlukan pemodelan untuk setiap gas dari perubahan kondisi dari baik ke buruk. Perubahan kondisi dari baik ke buruk gas H₂ untuk mengetahui laju kegagalan selama masa operasi transformator ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Laju Kegagalan Kondisi Gas H₂

No	Jenis Gas	Perubahan Kondisi Gas	Waktu (Hari)
1	H ₂	1 ke 2	1634
		1 ke 2	801
	Total		2435
	Rata-rata		1217,5
	Laju Kegagalan (λ)		0,000821

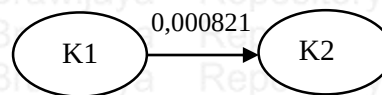
Tabel 4.3 menunjukkan laju kegagalan gas H₂, yaitu:

1. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 2

$$MTTF = 1217.5 \text{ hari}$$

$$\lambda = \frac{1}{1217.5} = 0,000821$$

Dan laju kegagalan kondisi 1 ke kondisi 2, dimodelkan menjadi sebuah diagram seperti Gambar 4.1.

Gambar 4.1 Diagram Model Markov Untuk Keandalan Gas H₂

Setelah didapatkan angka-angka transisi (perubahan) kondisi gas untuk maka dapat dibentuk sebuah matriks transisi. Dengan elemen-elemen diagonalnya adalah:

$$A_{11} = - (A_{12})$$

$$= - (\lambda_{12})$$

$$= - (0,000821)$$

$$A_{22} = - (A_{21})$$

$$= - (\mu_{21})$$

$$= - (0)$$

Dan matriks transisi yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} -0,000821 & 0,000821 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4.3.1.2 Pemodelan untuk Gas CH₄ Trafo IBT-2

Perubahan kondisi dari baik ke buruk gas CH₄ untuk mengetahui laju kegagalan selama masa operasi transformator ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data Laju Kegagalan Kondisi Gas CH₄

No	Jenis Gas	Perubahan Kondisi Gas	Waktu (Hari)
1	CH ₄	1 ke 2	362
		1 ke 2	415
	Total		777
	Rata-rata		388,5
	Laju Kegagalan (λ)		0,002574

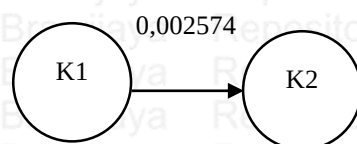
Tabel 4.4 menunjukkan laju kegagalan gas CH₄, yaitu:

1. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 2

$$MTTF = 388.5 \text{ hari}$$

$$\lambda = \frac{1}{388.5} = 0.002574$$

Dan laju kegagalan kondisi 1 ke kondisi 2 dimodelkan menjadi sebuah diagram seperti Gambar 4.2.

Gambar 4.2 Diagram Model Markov Untuk Keandalan Gas CH₄

Setelah didapatkan angka-angka transisi (perubahan) kondisi gas untuk maka dapat dibentuk sebuah matriks transisi. Dengan elemen-elemen diagonalnya adalah:

$$\begin{aligned}
 A_{11} &= -(A_{12}) \\
 &= -(\lambda_{12}) \\
 &= -0,002574
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{22} &= -(A_{21}) \\
 &= -(\lambda_{21}) \\
 &= -(0) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

Dan matriks transisi yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} -0,002574 & 0.002574 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4.3.1.3 Pemodelan untuk Gas CO Trafo IBT-2

Perubahan kondisi dari baik ke buruk gas CO untuk mengetahui laju kegagalan selama masa operasi transformator ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Table 4.5 Data Laju Kegagalan Kondisi Gas CO

No	Jenis Gas	Perubahan Kondisi Gas	Waktu (Hari)
1	CO	1 ke 2	1021
	Total		1021
	Rata-rata		1021
	Laju Kegagalan (λ)		0,000979
2	CO	1 ke 3	1498
	Total		1498
	Rata-rata		1498
	Laju Kegagalan (λ)		0,000668

Tabel 4.5 menunjukkan laju kegagalan gas CO, yaitu:

1. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 2

$$MTTF = 1021 \text{ hari}$$

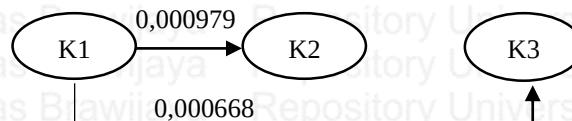
$$\lambda = \frac{1}{1021} = 0,000979$$

2. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 3

$$MTTF = 1498 \text{ hari}$$

$$\lambda = \frac{1}{1498} = 0.000668$$

Dan laju kegagalan kondisi 1 ke kondisi 2, kondisi 1 ke kondisi 3 dimodelkan menjadi sebuah diagram seperti Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Diagram Model Markov Untuk Keandalan Gas CO

Setelah didapatkan angka-angka transisi (perubahan) kondisi gas untuk maka dapat dibentuk sebuah matriks transisi. Dengan elemen-elemen diagonalnya adalah:

$$\begin{aligned}
 A_{11} &= -(A_{12} + A_{13}) \\
 &= -(\lambda_{12} + \lambda_{13}) \\
 &= -(0.000979 + 0.000668) \\
 &= -0,00165
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{22} &= -(A_{21} + A_{23}) \\
 &= -(\mu_{21} + \lambda_{23}) \\
 &= -(0 + 0) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

$$A_{33} = -(A_{31} + A_{32})$$



$$\begin{aligned}
 &= -(\mu_{31} + \mu_{32}) \\
 &= -(0 + 0 + 0) \\
 &= -0
 \end{aligned}$$

Dan matriks transisi yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} -0,00165 & 0,000979 & 0,000668 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4.3.1.4 Pemodelan untuk Gas CO₂ Trafo IBT-2

Perubahan kondisi dari baik ke buruk gas CO₂ untuk mengetahui laju kegagalan selama masa operasi transformator ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data Laju Kegagalan Kondisi Gas CO₂

No	Jenis Gas	Perubahan Kondisi Gas	Waktu (Hari)
1	CO ₂	1 ke 3	362
		1 ke 3	415
		1 ke 3	1049
	Total		2186
	Rata-rata		728.667
	Laju Kegagalan (λ)		0.001372

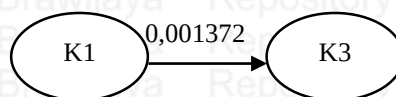
Tabel 4.6 menunjukkan laju kegagalan gas CO₂, yaitu:

1. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 3

$$MTTF = 728.667 \text{ hari}$$

$$\lambda = \frac{1}{728.667} = 0,001372$$

Dan laju kegagalan kondisi 1 ke kondisi 3 dimodelkan menjadi sebuah diagram seperti Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Diagram Model Markov Untuk Keandalan Gas CO₂

Setelah didapatkan angka-angka transisi (perubahan) kondisi gas untuk maka dapat dibentuk sebuah matriks transisi. Dengan elemen-elemen diagonalnya adalah:

$$\begin{aligned}
 A_{11} &= -(A_{12} + A_{13}) \\
 &= -(\lambda_{12} + \lambda_{13}) \\
 &= -(0 + 0,001372) \\
 &= -0,001372
 \end{aligned}$$



40

$$\begin{aligned} A_{22} &= -(A_{21} + A_{23}) \\ &= -(\lambda_{21} + \lambda_{23}) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{33} &= -(A_{31} + A_{32}) \\ &= -(\lambda_{31} + \lambda_{32}) \\ &= 0 \end{aligned}$$

Dan matriks transisi yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} -0,001372 & 0 & 0,001372 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4.3.1.5 Pemodelan untuk Gas C₂H₄ Trafo IBT-2

Perubahan kondisi dari baik ke buruk gas C₂H₄ untuk mengetahui laju kegagalan selama masa operasi transformator ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Data Laju Kegagalan Kondisi Gas C₂H₄

No	Jenis Gas	Perubahan Kondisi Gas	Waktu (Hari)
1	C ₂ H ₄	1 ke 2	1497
	Total		1497
	Rata-rata		1497
	Laju Kegagalan (λ)		0.000668
2	C ₂ H ₄	1 ke 3	657
	Total		657
	Rata-rata		657
	Laju Kegagalan (λ)		0.001522

Tabel 4.7 menunjukkan laju kegagalan gas C₂H₄, yaitu:

1. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 2

MTTF = 1497 hari

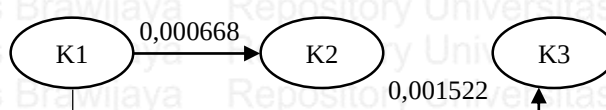
$$\lambda = \frac{1}{1497} = 0,000668$$

2. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 3

MTTF = 657 hari

$$\lambda = \frac{1}{657} = 0,001522$$

Dan laju kegagalan kondisi 1 ke kondisi 2 dan kondisi 1 ke kondisi 3 dimodelkan menjadi sebuah diagram seperti Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Diagram Model Markov Untuk Keandalan Gas C₂H₄

Setelah didapatkan angka-angka transisi (perubahan) kondisi gas untuk maka dapat dibentuk sebuah matriks transisi. Dengan elemen-elemen diagonalnya adalah:

$$\begin{aligned} A_{11} &= -(A_{12} + A_{13}) \\ &= -(\lambda_{12} + \lambda_{13}) \\ &= -(0,000668 + 0,001522) \\ &= -0,00219 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{22} &= -(A_{21} + A_{23}) \\ &= -(\mu_{21} + \lambda_{23}) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{33} &= -(A_{31} + A_{32}) \\ &= -(\lambda_{31} + \lambda_{32}) \\ &= 0 \end{aligned}$$

Dan matriks transisi yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} -0,00219 & 0,000668 & 0,001522 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4.3.1.6 Pemodelan untuk Gas C₂H₆ Trafo IBT-2

Perubahan kondisi dari baik ke buruk gas C₂H₆ untuk mengetahui laju kegagalan selama masa operasi transformator ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Data Laju Perubahan Kondisi Gas C₂H₆

No	Jenis Gas	Perubahan Kondisi Gas	Waktu (Hari)
1	C ₂ H ₆	1 ke 4	362
		1 ke 4	415
		1 ke 4	545
	Total		1322
	Rata-rata		440.667
	Laju Kegagalan (λ)		0.002269
2	C ₂ H ₆	2 ke 3	84
	Total		84
	Rata-rata		84
	Laju Kegagalan (λ)		0.011905
3	C ₂ H ₆	3 ke 4	364
	Total		364
	Rata-rata		364
	Laju Kegagalan (λ)		0,002747

Tabel 4.8 menunjukkan laju kegagalan gas C₂H₆, yaitu:

1. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 4



42

$$MTTF = 440.667 \text{ hari}$$

$$\lambda = \frac{1}{440.66} = 0,002269$$

2. Perubahan kondisi 2 ke kondisi 3

$$MTTF = 84 \text{ hari}$$

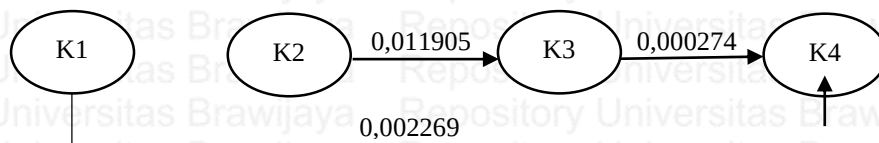
$$\lambda = \frac{1}{84} = 0,011905$$

3. Perubahan kondisi 3 ke kondisi 4

$$MTTF = 364 \text{ hari}$$

$$\lambda = \frac{1}{364} = 0,002747$$

Dan laju kegagalan kondisi 1 ke kondisi 4, kondisi 2 ke kondisi 3 dan kondisi 3 ke kondisi 4 dimodelkan menjadi sebuah diagram seperti Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Diagram Model Markov Untuk Keandalan Gas C2H6

Setelah didapatkan angka-angka transisi (perubahan) kondisi gas untuk maka dapat dibentuk sebuah matriks transisi. Dengan elemen-elemen diagonalnya adalah:

$$\begin{aligned} A_{11} &= -(A_{12} + A_{13} + A_{14}) \\ &= -(\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14}) \\ &= -(0 + 0 + 0,002269) \\ &= -0,002269 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{22} &= -(A_{21} + A_{23} + A_{24}) \\ &= -(\mu_{21} + \lambda_{23} + \lambda_{24}) \\ &= -(0 + 0,011905 + 0) \\ &= -0,011905 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{33} &= -(A_{31} + A_{32} + A_{34}) \\ &= -(\mu_{31} + \mu_{32} + \lambda_{34}) \\ &= -(0 + 0 + 0,002747) \\ &= -0,002747 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{44} &= -(A_{41} + A_{42} + A_{43}) \\ &= -(\mu_{41} + \mu_{42} + \lambda_{43}) \\ &= -0 \end{aligned}$$

Dan matriks transisi yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} -0,002269 & 0 & 0 & 0,002269 \\ 0 & -0,011905 & 0,011905 & 0 \\ 0 & 0 & -0,002747 & 0,002747 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4.3.1.7 Pemodelan untuk Gas C₂H₂ Trafo IBT-2

Perubahan kondisi dari baik ke buruk gas C₂H₂ untuk mengetahui laju kegagalan selama masa operasi transformator ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Data Laju Kegagalan Kondisi Gas C₂H₂

No	Jenis Gas	Perubahan Kondisi Gas	Waktu (Hari)
1	C ₂ H ₂	1 ke 2	749
	Total		749
	Rata-rata		749
	Laju Kegagalan (λ)		0.001335
2	C ₂ H ₂	1 ke 3	470
	Total		470
	Rata-rata		470
	Laju Kegagalan (λ)		0.002128
3	C ₂ H ₂	1 ke 4	437
	Total		437
	Rata-rata		437
	Laju Kegagalan (λ)		0.002288

Tabel

4.9 menunjukkan laju kegagalan gas C₂H₂, yaitu:

1. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 2

$$MTTF = 749 \text{ hari}$$

$$\lambda = \frac{1}{749} = 0,001335$$

2. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 3

$$MTTF = 470 \text{ hari}$$

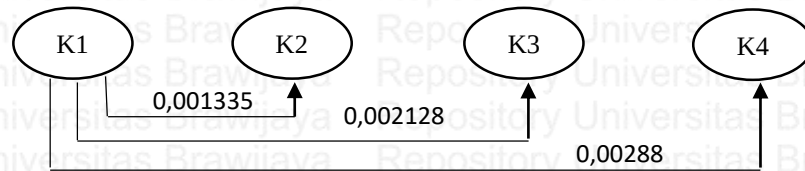
$$\lambda = \frac{1}{470} = 0,002128$$

3. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 4

$$MTTF = 437 \text{ hari}$$

$$\lambda = \frac{1}{437} = 0,002288$$

Dan laju perubahan kondisi 1 ke kondisi 2, kondisi 1 ke kondisi 3 dan kondisi 1 ke kondisi 4 dimodelkan menjadi sebuah diagram seperti Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Diagram Model Markov Untuk Keandalan Gas C₂H₂

Setelah didapatkan angka-angka transisi (perubahan) kondisi gas untuk maka dapat dibentuk sebuah matriks transisi. Dimana elemen diagonalnya adalah:

$$\begin{aligned}
 A_{11} &= -(A_{12} + A_{13} + A_{14}) \\
 &= -(\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14}) \\
 &= -(0,001335 + 0,002128 + 0,002288) \\
 &= -0,00575
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{22} &= -(A_{21} + A_{23} + A_{24}) \\
 &= -(\mu_{21} + \lambda_{23} + \lambda_{24}) \\
 &= -(0 + 0 + 0) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{33} &= -(A_{31} + A_{32} + A_{34}) \\
 &= -(\mu_{31} + \mu_{32} + \lambda_{34}) \\
 &= -(0 + 0 + 0) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{44} &= -(A_{41} + A_{42} + A_{43}) \\
 &= -(\mu_{41} + \mu_{42} + \lambda_{43}) \\
 &= -(0 + 0 + 0) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

Dan matriks transisi yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} -0,00575 & 0,001335 & 0,002128 & 0,002288 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4.3.1.8 Pemodelan untuk Gas TDCG

Perubahan kondisi dari baik ke buruk gas TDCG untuk mengetahui laju kegagalan selama masa operasi transformator ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Data Laju Kegagalan Kondisi TDCG

No	Jenis Gas	Perubahan Kondisi Gas	Waktu (Hari)
1	TDCG	1 ke 2	362
		1 ke 2	748
		1 ke 2	801
	Total		1911
	Rata-rata		637
	Laju Kegagalan (λ)		0.00157

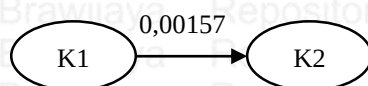
Tabel 4.10 menunjukkan laju perubahan gas TDCG, yaitu:

1. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 2

$$MTTF = 637 \text{ hari}$$

$$\lambda = \frac{1}{637} = 0,00157$$

Dan laju perubahan kondisi 1 ke kondisi 2 dimodelkan menjadi sebuah diagram seperti Gambar 4.8 berikut.



Gambar 4.8 Diagram Model Markov Untuk Keandalan TDCG

Setelah didapatkan angka-angka transisi (perubahan) kondisi gas untuk maka dapat dibentuk sebuah matriks transisi. Dimana elemen diagonalnya adalah:

$$\begin{aligned}
 A_{11} &= - (A_{12}) \\
 &= - (\lambda_{12}) \\
 &= - (0,00157) \\
 &= - 0,00157
 \end{aligned}$$

Dan matriks transisi yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} -0,00157 & 0,00157 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4.3.2 Pemodelan Markov Untuk Kurva Ketersediaan

Pada pemodelan markov untuk kurva keandalan kondisi gas bagi dalam beberapa simbol antara lain:

1. Kondisi 1 disimbolkan K1
2. Kondisi 2 disimbolkan K2
3. Kondisi 3 disimbolkan K3
4. Kondisi 4 disimbolkan K4

Pemodelan markov untuk mendapatkan kurva ketersediaan menerapkan fungsi laju kegagalan (λ) dan juga laju perbaikan (μ). Seperti dijelaskan sebelumnya laju kegagalan merupakan laju dimana terjadi perubahan kondisi dari kondisi baik ke kondisi buruk, sedangkan untuk laju perbaikan adalah sebaliknya yaitu perubahan kondisi dari kondisi buruk ke kondisi baik. Untuk cara perhitungan antara laju kegagalan (λ) di dapatkan dari perhitungan MTTF (*mean time to failure*) pada persamaan (2.11), yaitu dengan :

$$\lambda = 1/\text{MTTF}, \text{ MTTF : Waktu Peubahan kondisi (hari)/ banyaknya perubahan kondisi}$$

Sedangkan untuk perhitungan laju perbaikan (μ) di dapatkan dari perhitungan MTTR (*mean time to repair*) pada persamaan (2.15), yaitu dengan :

$$\mu = 1/\text{MTTR}, \text{ MTTR : Waktu Peubahan kondisi (hari)/ banyaknya perubahan kondisi}$$

$$\lambda_{H_2} = 1/((134+165)/2) = 0.00668 \text{ (untuk kondisi 1-2)}$$

$$\mu_{H_2} = 1/((108+92+144)/3) = 0.0087 \text{ (untuk kondisi 2-1)}$$

Untuk mendapatkan MTTF (*Mean Time To Failure*) dan MTTR (*Mean Time To Repair*) dapat dilihat ilustrasi pada Tabel 4.11 dengan menggunakan contoh gas CH₄ dan bukan waktu sebenarnya.

Table 4.11 Perhitungan MTTF (*Mean Time To Failure*) dan MTTR (*Mean Time To Repair*)

Gas	Waktu (hari)					
	1 Jan	10 Jan	21 Jan	1 Feb	7 Feb	15 Feb
CH ₄	K1	K1	K3	K1	K2	K1
	MTTF = 20 hari					
			MTTR = 11 hari; $\mu=0,091$			
			MTTF = 6 hari			
				MTTR =8 hari; $\mu=0,125$		

Tabel 4.10 menunjukkan perhitungan MTTF dan MTTR, dimana MTTF telah dijelaskan pada pembahasan subbab sebelumnya. Maka pada penjelasan subbab ini hanya menjelaskan menghitung MTTR.

4.3.2.1 Pemodelan untuk Gas H₂ Trafo IBT-2

Perubahan kondisi dari baik ke buruk gas H₂ untuk mengetahui laju kegagalan dan perubahan kondisi dari buruk ke baik untuk mengetahui laju perbaikan selama masa operasi transformator ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Data Laju Kegagalan dan Perbaikan Kondisi Gas H₂

No	Jenis Gas	Perubahan Kondisi Gas	Waktu (Hari)
1	H ₂	1 ke 2	1634
		1 ke 2	801
	Total		2435
	Rata-rata		1217,5
	Laju Kegagalan (λ)		0,000821
No	Jenis Gas	Perubahan Kondisi Gas	Waktu (Hari)
2	H ₂	2 ke 1	220
		2 ke 1	63
	Total		283
	Rata-rata		141,5
	Laju Perbaikan (μ)		0,007067

Tabel 4.12 menunjukkan laju kegagalan dan perbaikan gas H₂, yaitu:

1. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 2

$$MTTF = 1217,5 \text{ hari}$$

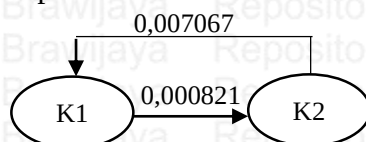
$$\lambda = \frac{1}{1217,5} = 0,000821$$

2. Perubahan dari kondisi 2 ke kondisi 1

$$MTTR = 141,5 \text{ hari}$$

$$\mu = \frac{1}{141,5} = 0,007067$$

Dan laju kegagalan dari kondisi 1 ke kondisi 2 dan laju perbaikan dari kondisi 2 ke kondisi 1 dimodelkan seperti pada Gambar 4.9.

Gambar 4.9 Diagram Model Markov Untuk Ketersediaan Gas H₂

Setelah didapatkan angka-angka transisi (perubahan) kondisi gas untuk maka dapat dibentuk sebuah matriks transisi. Dengan elemen-elemen diagonalnya adalah:

$$A_{11} = - (A_{12})$$

$$= - (\lambda_{12})$$

$$= - (0,000821)$$

$$A_{22} = - (A_{21})$$

$$= - (\mu_{21})$$

$$= - (0,007067)$$

$$= - 0,007067$$



Dan matriks transisi yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} -0,000821 & 0,000821 \\ 0,007067 & -0,007067 \end{bmatrix}$$

4.3.2.2 Pemodelan untuk Gas CH₄ Trafo IBT 2

Perubahan kondisi dari baik ke buruk gas CH₄ untuk mengetahui laju kegagalan dan perubahan kondisi dari buruk ke baik untuk mengetahui laju perbaikan selama masa operasi transformator ditunjukkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Data Laju Kegagalan dan Perbaikan Kondisi Gas CH₄

No	Jenis Gas	Perubahan Kondisi Gas	Waktu (Hari)
1	CH ₄	1 ke 2	362
		1 ke 2	415
	Total		777
	Rata-rata		388,5
	Laju Kegagalan (λ)		0,002574
2	CH ₄	2 ke 1	387
		2 ke 1	343
	Total		730
	Rata-rata		365
	Laju Perbaikan (μ)		0,00274

Tabel 4.13 menunjukkan laju kegagalan dan perbaikan gas CH₄, yaitu:

1. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 2

$$MTTF = 388.5 \text{ hari}$$

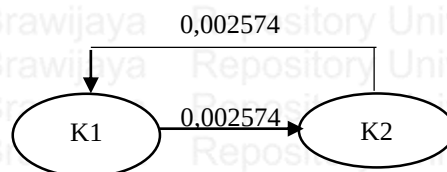
$$\lambda = \frac{1}{388.5} = 0.002574$$

2. Perubahan kondisi 2 ke kondisi 1

$$MTTR = 365 \text{ hari}$$

$$\mu = \frac{1}{204} = 0,00274$$

Dan laju kerusakan kondisi gas CH₄ dari kondisi 1 ke kondisi 2, kondisi 1 ke kondisi 3 dan kondisi 1 ke kondisi 4 serta laju perbaikan dari kondisi 2 ke kondisi 1, kondisi 3 ke kondisi 1 dan kondisi 4 ke kondisi 1 dimodelkan seperti pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Diagram Model Markov Untuk Ketersediaan Gas CH₄

Setelah didapatkan angka-angka transisi (perubahan) kondisi gas untuk maka dapat dibentuk sebuah matriks transisi. Dengan elemen-elemen diagonalnya adalah:

$$\begin{aligned}
 A_{11} &= - (A_{12}) \\
 &= - (\lambda_{12}) \\
 &= - (0,002574) \\
 A_{22} &= - (A_{21}) \\
 &= - (\mu_{21}) \\
 &= - (0,00274)
 \end{aligned}$$

Dan matriks transisi yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} -0,002574 & 0,002574 \\ 0,00274 & -0,00274 \end{bmatrix}$$

4.3.2.3 Pemodelan untuk Gas CO Trafo IBT-2

Perubahan kondisi dari baik ke buruk gas CO untuk mengetahui laju kegagalan dan perubahan kondisi dari buruk ke baik untuk mengetahui laju perbaikan selama masa operasi transformator ditunjukkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Data Laju Kegagalan dan Perbaikan Kondisi Gas CO

No	Jenis Gas	Perubahan Kondisi Gas	Waktu (Hari)
1	CO	1 ke 2	1021
	Total		1021
	Rata-rata		1021
	Laju Kegagalan (λ)		0,000979
2	CO	1 ke 3	1498
	Total		1498
	Rata-rata		1498
	Laju Kegagalan (λ)		0,000668
3	CO	2 ke 1	124
	Total		124
	Rata-rata		124
	Laju Perbaikan (μ)		0,008065
4	CO	3 ke 1	343
	Total		343
	Rata-rata		343
	Laju Perbaikan (μ)		0,002915

Tabel 4.14 menunjukkan laju perubahan gas CO, yaitu:

1. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 2

$$\text{MTTF} = 1021 \text{ hari}$$



$$\lambda = \frac{1}{1021} = 0,000979$$

2. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 3

$$MTTF = 1498 \text{ hari}$$

$$\lambda = \frac{1}{1498} = 0,000668$$

3. Perubahan kondisi 2 ke kondisi 1

$$MTTR = 124 \text{ hari}$$

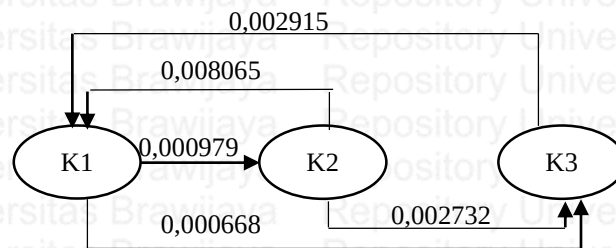
$$\mu = \frac{1}{123} = 0,008065$$

4. Perubahan kondisi 3 ke kondisi 1

$$MTTR = 343 \text{ hari}$$

$$\mu = \frac{1}{343} = 0,002915$$

Dan laju kerusakan kondisi gas CO dari kondisi 1 ke kondisi 2, kondisi 1 ke kondisi 3 dan laju perbaikan dari kondisi 2 ke kondisi 1, kondisi 3 ke kondisi 1 dimodelkan seperti pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Diagram Model Markov Untuk Ketersediaan Gas CO

Setelah didapatkan angka-angka transisi (perubahan) kondisi gas untuk maka dapat dibentuk sebuah matriks transisi. Dengan elemen-elemen diagonalnya adalah:

$$\begin{aligned} A_{11} &= -(A_{12} + A_{13}) \\ &= -(\lambda_{12} + \lambda_{13}) \\ &= -(0,000979 + 0,000668) \\ &= -0,00165 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{22} &= -(A_{21}) \\ &= -(\mu_{21}) \\ &= -(0,008065) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{33} &= -(A_{31}) \\ &= -(\mu_{31}) \\ &= -(0,002915) \end{aligned}$$

Dan matriks transisi yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} -0,00165 & 0,000979 & 0,000668 \\ 0,008065 & -0,008065 & 0 \\ 0,002915 & 0 & -0,002915 \end{bmatrix}$$

4.3.2.4 Pemodelan untuk Gas CO₂ Trafo IBT 2

Perubahan kondisi dari baik ke buruk gas CO₂ untuk mengetahui laju kegagalan dan perubahan kondisi dari buruk ke baik untuk mengetahui laju perbaikan selama masa operasi transformator ditunjukkan pada Tabel 4.15.

Table 4.15 Data Laju Kegagalan dan Perbaikan Kondisi Gas CO₂

No	Jenis Gas	Perubahan Kondisi Gas	Waktu (Hari)
1	CO ₂	1 ke 3	362
		1 ke 3	415
		1 ke 3	1049
	Total		2186
	Rata-rata		728.667
	Laju Kegagalan (λ)		0.001372
2	CO ₂	2 ke 1	230
	Total		230
	Rata-rata		230
	Laju Perbaikan (μ)		0.004348
3	CO ₂	3 ke 1	387
	Total		387
	Rata-rata		387
	Laju Perbaikan (μ)		0.002584
4	CO ₂	3 ke 2	333
	Total		333
	Rata-rata		333
	Laju Perbaikan (μ)		0.003003

Tabel 4.15 menunjukkan laju kegagalan dan perbaikan gas CO₂, yaitu:

1. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 3

$$MTTF = 728.667 \text{ hari}$$

$$\lambda = \frac{1}{728.667} = 0,001372$$

2. Perubahan kondisi 2 ke kondisi 1

$$MTTR = 230 \text{ hari}$$

$$\mu = \frac{1}{230} = 0,004348$$

3. Perubahan kondisi 3 ke kondisi 1



52

$$MTTF = 387 \text{ hari}$$

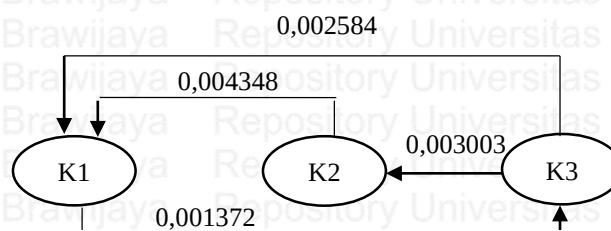
$$\lambda = \frac{1}{387} = 0,002584$$

4. Perubahan kondisi 3 ke kondisi 2

$$MTTR = 333 \text{ hari}$$

$$\mu = \frac{1}{333} = 0,003003$$

Dan laju kegagalan kondisi gas CO₂ dari kondisi 1 ke kondisi 3 dan laju perbaikan dari kondisi 3 ke kondisi 1, kondisi 3 ke kondisi 1, kondisi 3 ke kondisi 2 dimodelkan seperti pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Diagram Model Markov Untuk Ketersediaan Gas CO₂

Setelah didapatkan angka-angka transisi (perubahan) kondisi gas untuk maka dapat dibentuk sebuah matriks transisi. Dengan elemen-elemen diagonalnya adalah:

$$A_{11} = - (A_{13})$$

$$= - (\lambda_{13})$$

$$= - (0,001372)$$

$$A_{22} = - (A_{21})$$

$$= - (\mu_{21})$$

$$= - (0,004348)$$

$$A_{33} = - (A_{31} + A_{32})$$

$$= - (\mu_{31} + \mu_{32})$$

$$= - (0,002584 + 0,003003)$$

$$= - 0,00559$$

Dan matriks transisi yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} -0,001372 & 0,001372 & 0 \\ 0,004348 & -0,004348 & 0 \\ 0,002584 & 0,003003 & -0,00559 \end{bmatrix}$$

4.3.2.5 Pemodelan untuk Gas C₂H₄ Trafo IBT 2

Perubahan kondisi dari baik ke buruk gas C₂H₄ untuk mengetahui laju kegagalan dan perubahan kondisi dari buruk ke baik untuk mengetahui laju perbaikan selama masa operasi transformator ditunjukkan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Data Laju Kegagalan dan Perbaikan Kondisi Gas C₂H₄

No	Jenis Gas	Perubahan Kondisi Gas	Waktu (Hari)
1	C ₂ H ₄	1 ke 2	1497
	Total		1497
	Rata-rata		1497
	Laju Kegagalan (λ)		0.000668
2	C ₂ H ₄	1 ke 3	657
	Total		657
	Rata-rata		657
	Laju Kegagalan (λ)		0.001522
3	C ₂ H ₄	2 ke 1	137
	Total		137
	Rata-rata		137
	Laju Perbaikan (μ)		0.007299
4	C ₂ H ₄	3 ke 1	363
	Total		363
	Rata-rata		363
	Laju Perbaikan (μ)		0.002755

Tabel 4.16 menunjukkan laju kegagalan dan perbaikan gas C₂H₄, yaitu:

1. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 2

$$MTTF = 1497 \text{ hari}$$

$$\lambda = \frac{1}{1497} = 0,000668$$

2. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 3

$$MTTF = 657 \text{ hari}$$

$$\lambda = \frac{1}{657} = 0,001522$$

3. Perubahan kondisi 2 ke kondisi 1

$$MTTF = 137 \text{ hari}$$

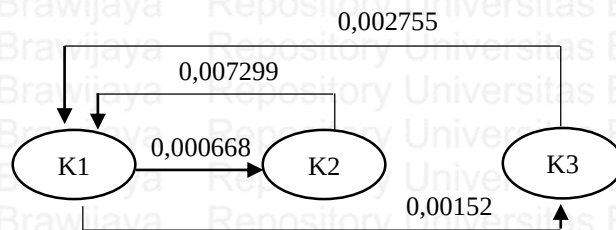
$$\lambda = \frac{1}{137} = 0,007299$$

4. Perubahan kondisi 3 ke kondisi 1

$$MTTR = 363 \text{ hari}$$

$$\mu = \frac{1}{363} = 0,002755$$

Dan laju kerusakan kondisi gas CO₂ dari kondisi 1 ke kondisi 2, kondisi 1 ke kondisi 3 dan laju perbaikan dari kondisi 2 ke kondisi 1, kondisi 3 ke kondisi 1 dimodelkan seperti pada Gambar 4.13 berikut.



Gambar 4.13 Diagram Model Markov Untuk Ketersediaan Gas C₂H₄

Setelah didapatkan angka-angka transisi (perubahan) kondisi gas untuk maka dapat dibentuk sebuah matriks transisi. Dimana elemen diagonalnya adalah:

$$\begin{aligned}
 A_{11} &= -(A_{12} + A_{13}) \\
 &= -(\lambda_{12} + \lambda_{13}) \\
 &= -(0,000668 + 0,001522) \\
 &= -0,00219 \\
 A_{22} &= -(A_{21}) \\
 &= -(\mu_{21}) \\
 &= -(0,007299) \\
 A_{33} &= -(A_{31}) \\
 &= -(\mu_{31}) \\
 &= -(0,002755)
 \end{aligned}$$

Dan matriks transisi yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} -0,00219 & 0,000668 & 0,001522 \\ 0,007299 & -0,007299 & 0 \\ 0,27548 & 0 & -0,002755 \end{bmatrix}$$

4.3.2.6 Pemodelan untuk Gas C₂H₆ Trafo IBT 2

Perubahan kondisi dari baik ke buruk gas C₂H₄ untuk mengetahui laju kegagalan dan perubahan kondisi dari buruk ke baik untuk mengetahui laju perbaikan selama masa operasi transformator ditunjukkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Data Laju Kegagalan dan Perbaikan Kondisi Gas C₂H₆

No	Jenis Gas	Perubahan Kondisi Gas	Waktu (Hari)
1	C ₂ H ₆	1 ke 4	362
		1 ke 4	415
		1 ke 4	545
	Total		1322
	Rata-rata		440.667
	Laju Kegagalan (λ)		0.002269
2	C ₂ H ₆	2 ke 3	84
	Total		84
	Rata-rata		84
	Laju Kegagalan (λ)		0.011905
3	C ₂ H ₆	3 ke 4	364
	Total		364
	Rata-rata		364
	Laju Kegagalan (λ)		0,002747
4	C ₂ H ₆	4 ke 1	387
		4 ke 1	64
	Total		450
	Rata-rata		225
	Laju Perbaikan (μ)		0.00444
5	C ₂ H ₆	4 ke 2	230
	Total		230
	Rata-rata		230
	Laju Perbaikan (μ)		0.004348

Tabel 4.17 menunjukkan laju kegagalan dan perbaikan gas C₂H₆, yaitu:

1. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 4

$$MTTF = 440.667 \text{ hari}$$

$$\lambda = \frac{1}{440.66} = 0,002269$$

2. Perubahan kondisi 2 ke kondisi 3

$$MTTF = 84 \text{ hari}$$

$$\lambda = \frac{1}{84} = 0,011905$$

3. Perubahan kondisi 3 ke kondisi 4

$$MTTF = 364 \text{ hari}$$

$$\lambda = \frac{1}{364} = 0,002747$$

4. Perubahan kondisi 4 ke kondisi 1

$$MTTR = 225 \text{ hari}$$

$$\mu = \frac{1}{225} = 0,00444$$



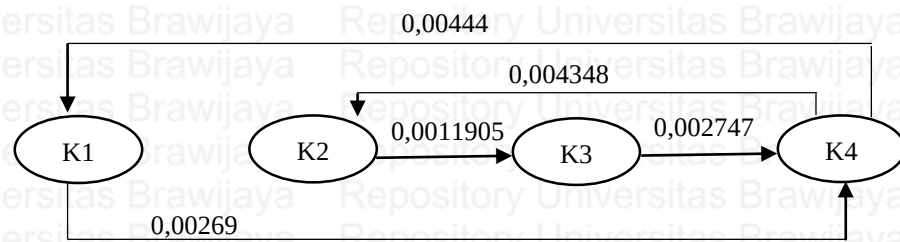
56

5. Perubahan kondisi 4 ke kondisi 2

MTTR = 230 hari

$$\mu = \frac{1}{230} = 0,004348$$

Dan laju kerusakan kondisi gas CO dari kondisi 1 ke kondisi 4, kondisi 2 ke kondisi 3, kondisi 3 ke kondisi 4 serta laju perbaikan dari kondisi 4 ke kondisi 1 dan kondisi 4 ke kondisi 2 dimodelkan seperti pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Diagram Model Markov Untuk Ketersediaan Gas C₂H₆

Setelah didapatkan angka-angka transisi (perubahan) kondisi gas untuk maka dapat dibentuk sebuah matriks transisi. Dengan elemen-elemen diagonalnya adalah:

$$\begin{aligned} A_{11} &= - (A_{12} + A_{13} + A_{14}) \\ &= - (\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14}) \\ &= - (0 + 0 + 0,00346) \\ &= - 0,00346 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{22} &= - (A_{21} + A_{23} + A_{24}) \\ &= - (\mu_{21} + \lambda_{23} + \lambda_{24}) \\ &= - (0 + 0,0011905 + 0) \\ &= - 0,0011905 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{33} &= - (A_{31} + A_{32} + A_{34}) \\ &= - (\mu_{31} + \mu_{32} + \lambda_{34}) \\ &= - (0 + 0 + 0,002747) \\ &= - 0,002747 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{44} &= - (A_{41} + A_{42} + A_{43}) \\ &= - (\mu_{41} + \mu_{42} + \lambda_{43}) \\ &= - (0,00444 + 0 + 0,004348) \\ &= - 0,00879 \end{aligned}$$

Dan matriks transisi yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} -0,00227 & 0 & 0 & 0,00227 \\ 0 & -0,00119 & 0,00119 & 0 \\ 0 & 0 & -0,00275 & 0 \\ 0,00444 & 0,004348 & 0 & -0,00879 \end{bmatrix}$$

4.3.2.7 Pemodelan untuk Gas C₂H₂ Trafo IBT 2

Perubahan kondisi dari baik ke buruk gas C₂H₂ untuk mengetahui laju kegagalan dan perubahan kondisi dari buruk ke baik untuk mengetahui laju perbaikan selama masa operasi transformator ditunjukkan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Data Laju Kegagalan dan Perbaikan Kondisi Gas C₂H₂

No	Jenis Gas	Perubahan Kondisi Gas	Waktu (Hari)
1	C ₂ H ₂	1 ke 2	749
	Total		749
	Rata-rata		749
	Laju Kegagalan (λ)		0.001335
2	C ₂ H ₂	1 ke 3	470
	Total		470
	Rata-rata		470
	Laju Kegagalan (λ)		0.002128
3	C ₂ H ₂	1 ke 4	437
	Total		437
	Rata-rata		437
	Laju Kegagalan (λ)		0.002288
4	Laju Perbaikan (μ)	2 ke 1	415
	Total		415
	Rata-rata		415
	Laju Kegagalan (λ)		0.00241
5	C ₂ H ₂	3 ke 1	220
	Total		220
	Rata-rata		220
	Laju Perbaikan (μ)		0.004545
6	C ₂ H ₂	4 ke 1	364
	Total		364
	Rata-rata		364
	Laju Perbaikan (μ)		0.002747

Tabel 4.18 menunjukkan laju kegagalan dan perbaikan gas C₂H₂, yaitu:

1. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 2

$$MTTF = 749 \text{ hari}$$

$$\lambda = \frac{1}{749} = 0,001335$$

2. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 3

$$MTTF = 470 \text{ hari}$$

$$\lambda = \frac{1}{470} = 0,002128$$

3. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 4

$$MTTF = 437 \text{ hari}$$

$$\lambda = \frac{1}{437} = 0,002288$$

4. Perubahan kondisi 2 ke kondisi 1

$$MTTR = 415 \text{ hari}$$

$$\mu = \frac{1}{415} = 0,00241,$$

5. Perubahan kondisi 3 ke kondisi 1

$$MTTR = 220 \text{ hari}$$

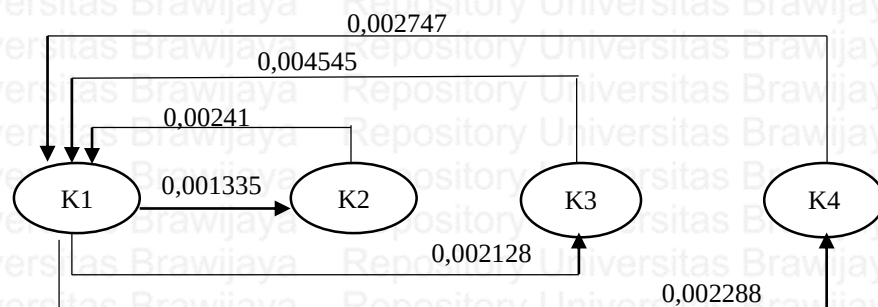
$$\mu = \frac{1}{220} = 0,004545$$

6. Perubahan kondisi 4 ke kondisi 1

$$MTTR = 364 \text{ hari}$$

$$\mu = \frac{1}{364} = 0,002747$$

Dan laju kerusakan kondisi gas C_2H_2 dari kondisi 1 ke kondisi 2, kondisi 1 ke kondisi 3, kondisi 1 ke kondisi 4 serta laju perbaikan dari kondisi 2 ke kondisi 1, kondisi 3 ke kondisi 1 dan kondisi 4 ke kondisi 1 dimodelkan seperti pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Diagram Model Markov Untuk Ketersediaan Gas C_2H_2

Setelah didapatkan angka-angka transisi (perubahan) kondisi gas untuk maka dapat dibentuk sebuah matriks transisi. Dengan elemen-elemen diagonalnya adalah:

$$\begin{aligned} A_{11} &= -(A_{12} + A_{13} + A_{14}) \\ &= -(\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14}) \\ &= -(0,001335 + 0,002128 + 0,002288) \\ &= -0,00575 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{22} &= -(A_{21} + A_{23} + A_{24}) \\ &= -(\mu_{21} + \lambda_{23} + \lambda_{24}) \\ &= -(0,00241 + 0 + 0) \end{aligned}$$

$$= -0,00241$$

$$A_{33} = -(A_{31} + A_{32} + A_{34})$$

$$= -(\mu_{31} + \mu_{32} + \lambda_{34})$$

$$= -(0,004545 + 0 + 0)$$

$$= -0,004545$$

$$A_{44} = -(A_{41} + A_{42} + A_{43})$$

$$= -(\mu_{41} + \mu_{42} + \lambda_{43})$$

$$= -(0,002747 + 0 + 0)$$

$$= -0,002747$$

Dan matriks transisi yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} -0,00575 & 0,001335 & 0,002128 & 0,002288 \\ 0,00241 & -0,00241 & 0 & 0 \\ 0,004545 & 0 & -0,004545 & 0 \\ 0,002747 & 0 & 0 & -0,00275 \end{bmatrix}$$

4.3.2.8 Pemodelan untuk Gas TDCG

Perubahan kondisi dari baik ke buruk gas TDCG untuk mengetahui laju kegagalan dan perubahan kondisi dari buruk ke baik untuk mengetahui laju perbaikan selama masa operasi transformator ditunjukkan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Data Laju Kegagalan dan Perbaikan Kondisi TDCG

No	Jenis Gas	Perubahan Kondisi Gas	Waktu (Hari)
1	TDCG	1 ke 2	362
		1 ke 2	748
		1 ke 2	801
	Total		1911
	Rata-rata		637
	Laju Kegagalan (λ)		0.00157
2	TDCG	2 ke 1	387
		2 ke 1	337
		2 ke 1	63
	Total		787
	Rata-rata		262,333
	Laju Perbaikan (μ)		0.003812

Tabel 4.19 menunjukkan laju kegagalan dan perbaikan gas TDCG, yaitu:

1. Perubahan kondisi 1 ke kondisi 2

$$MTTF = 637 \text{ hari}$$



60

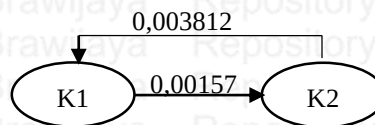
$$\lambda = \frac{1}{637} = 0,00157$$

2. Perubahan kondisi 2 ke kondisi 1

$$MTTR = 262,333 \text{ hari}$$

$$\mu = \frac{1}{262,333} = 0,003812$$

Dan laju kegagalan kondisi gas TDCG dari kondisi 1 ke kondisi 2 serta laju perbaikan dari kondisi 2 ke kondisi 1 dimodelkan seperti pada Gambar 4.15 berikut.



Gambar 4.16 Diagram Model Markov Untuk Ketersediaan Gas TDCG

Setelah didapatkan angka-angka transisi (perubahan) kondisi gas untuk maka dapat dibentuk sebuah matriks transisi. Dengan elemen-elemen diagonalnya adalah:

$$A_{11} = - (A_{12})$$

$$= - (\lambda_{12})$$

$$= - (0,00157)$$

$$A_{22} = - (A_{21})$$

$$= - (\mu_{21})$$

$$= - (0,003812)$$

Dan matriks transisi yang terbentuk adalah sebagai berikut:

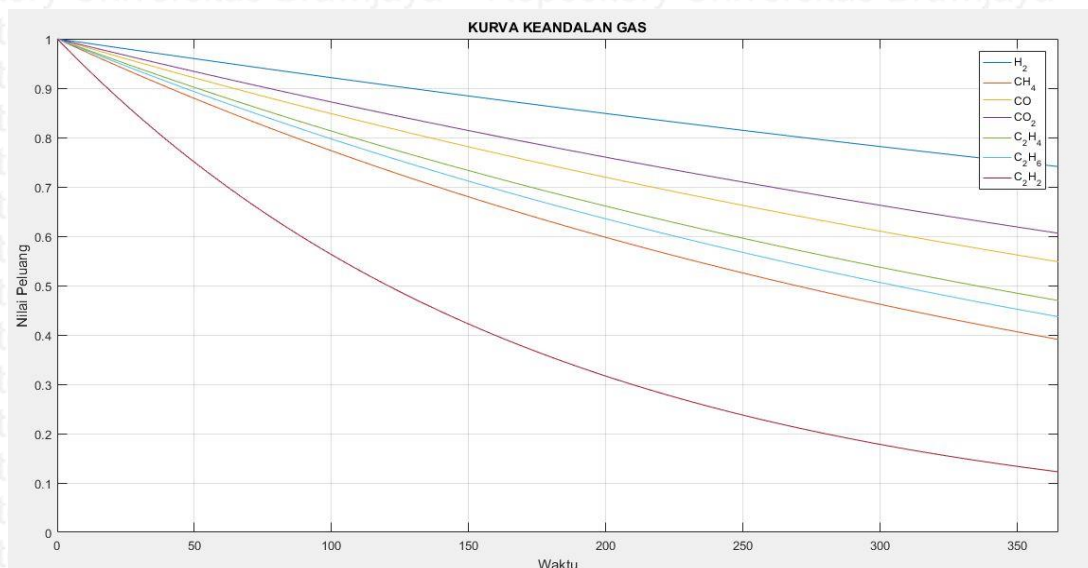
$$A = \begin{bmatrix} - 0,00157 & 0,00157 \\ 0,003812 & - 0,003812 \end{bmatrix}$$

4.4 Kurva Keandalan dan Ketersediaan Gas DGA

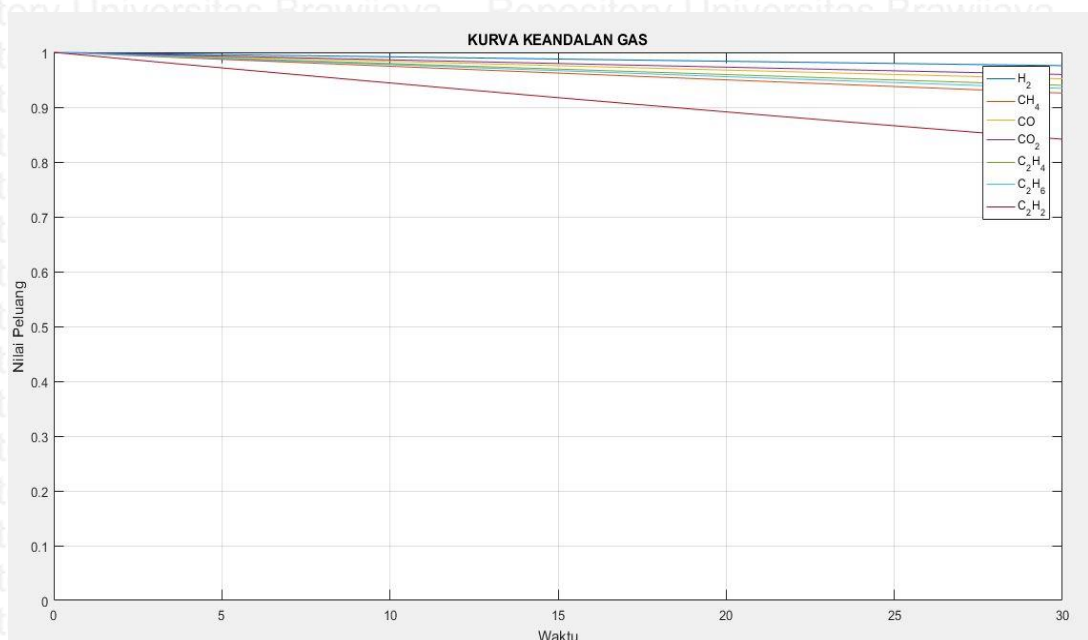
Pada kurva keandalan dan ketersediaan analisis gas DGA akan di tampilkan kondisi keandalan dan ketesediaan berdasarkan waktu pengambilan sampel minyak.

4.4.1 Kurva Keandalan Gas DGA

Setelah di dapatkan nilai λ untuk setiap gas sesuai dengan perhotungan masing-masing gas, maka selanjutnya melakukan perhitungan dengan program matlab untuk mendapatkan nilai keandalan pada kurun waktu tertentu. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai keandalan untuk gas-gas Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Kurva Keandalan Gas Pada Minyak Tranformator 365 Hari



Gambar 4.18 Kurva Keandalan Gas Pada Minyak Tranformator 30 Hari

Dari hasil perhitungan di peroleh kurva keandalan seperti pada Gambar 4.15, terdapat tujuh macam warna garis yang menunjukkan tujuh jenis gas yang berbeda yang terkandung pada minyak transformator. Dari hasil perhitungan dengan program juga di dapatkan nilai keandalan untuk setiap indikator gas. Nilai keandalan yang dihasilkan berubah sesuai dengan lamanya waktu. Untuk mengetahui perubahan nilai keandalan diambil selisih perubahan waktu yang kemudian di transformasikan dalam satuan persen (%) sehingga terlihat berapa persen perubahan nilai keandalan untuk tiap-tiap gas. Dan ditetapkan waktu yang diambil adalah saat 30 hari dan 365 hari, hasil dapat dilihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Nilai Keandalan Untuk Setiap Kandungan Gas

Jenis Gas	Indikator Warna Garis	Nilai Keandalan Untuk Waktu Tertentu	
		30 Hari	365 hari
H_2		0,9781	0,9018
CH_4		0,9257	0,3908
CO		0,9558	0,7813
CO_2		0,9612	0,7506
C_2H_4		0,9445	0,7331
C_2H_6		0,9342	0,4443
C_2H_2		0,849	0,3832

Setelah di dapatkan nilai keandalan untuk 30 hari dan 365 hari, maka kita dapat menghitung penurunan nilai keandalan untuk setiap gas. Penurunan nilai keandalan dalam kurun waktu t dapat dihitung dengan menggunakan rumus laju keandalan $\mathcal{R}(t)$ sesuai dengan persamaan (2.4), untuk penurunan nilai keandalan gas H_2 dapat dihitung dengan :

$$\mathcal{R}_{H_2} = \frac{\text{Nilai keandalan (30hari)} - \text{Nilai keandalan (365)hari}}{\text{Nilai Keandalan (30hari)}} \times 100\% .$$

$$= \frac{0,9257 - 0,3908}{0,9257} \times 100\% = 57,783\%$$

Untuk gas-gas lain dapat dihitung nilai penurunan keandalannya dengan cara yang sama, hingga di dapatkan nilai penurunan keandalan pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Penurunan Nilai Keandalan Dari 30 Hari ke-365 Hari

Gas	Penurunan Nilai Keandalan (%)
H_2	7,801%
CH_4	57,783%
CO	18,257%
CO_2	21,910%
C_2H_4	22,382%
C_2H_6	52,441%
C_2H_2	54,865%

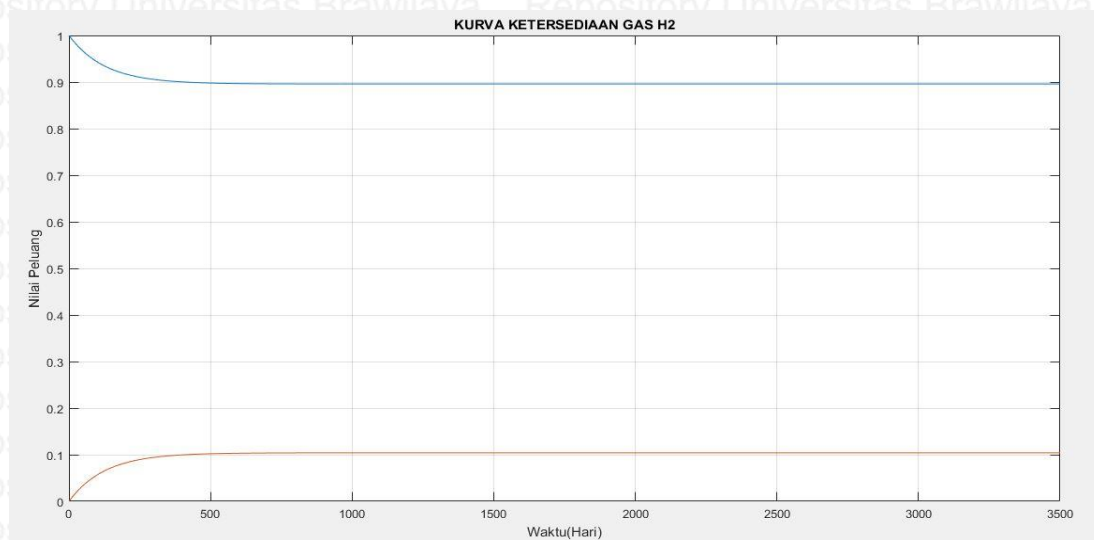
Maka dari adanya penurunan nilai keandalan ini dapat disimpulkan bahwa jika suatu gas dioperasikan terus-menerus tanpa adanya perawatan maka keandalan gas akan semakin menurun, tergantung dari lamanya waktu penggunaan.

4.4.2 Kurva Ketersediaan Gas DGA

Setelah diketahui nilai dari (λ) dan (μ) dan mendapatkan nilai matriks transisi sesuai dengan matriks markov. Untuk ukuran matriks trasisi bergantung pada kondisi yang terjadi pada masing-masing gas. Lalu dapat dibuat kurva ketersediaan. Kurva ketersediaan menggambarkan peluang kondisi dari semenjak transformator dioperasikan hingga waktu

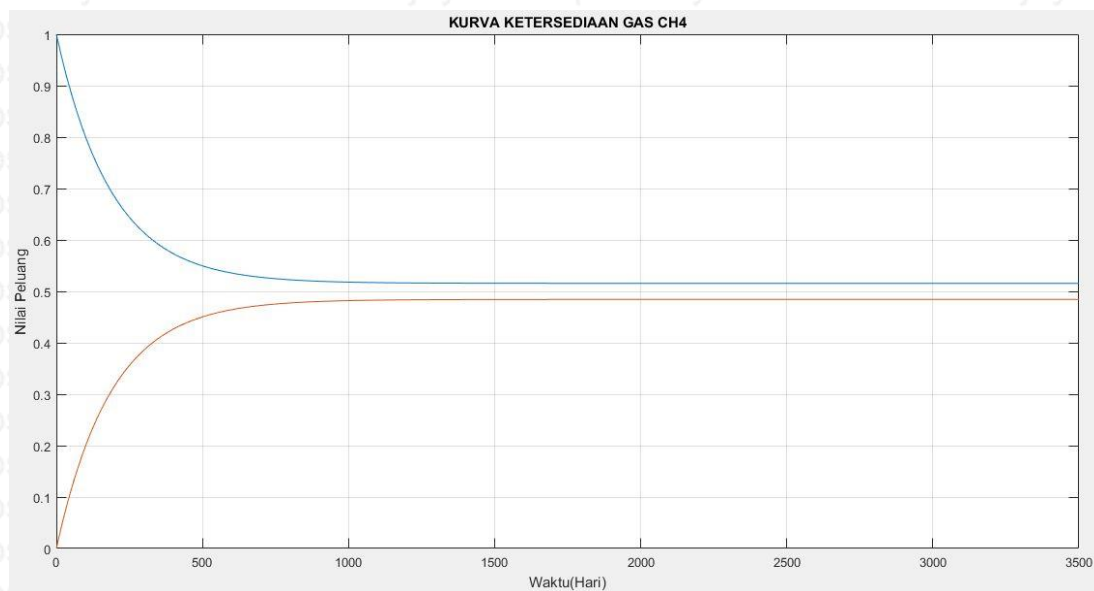
yang tidak berhingga. Perhitungan dilakukan dengan asumsi awal bahwa kondisi awal minyak transformator pada keadaan K1. Perhitungan nilai ketersediaan menggunakan *software* MATLAB yang terdapat pada lampiran. Hasil penggambaran menunjukkan kurva respon eksponensial.

Dari peluang *steady-state* gas H₂ dapat dibuat sebuah kurva ketersediaan seperti pada Gambar 4.19.



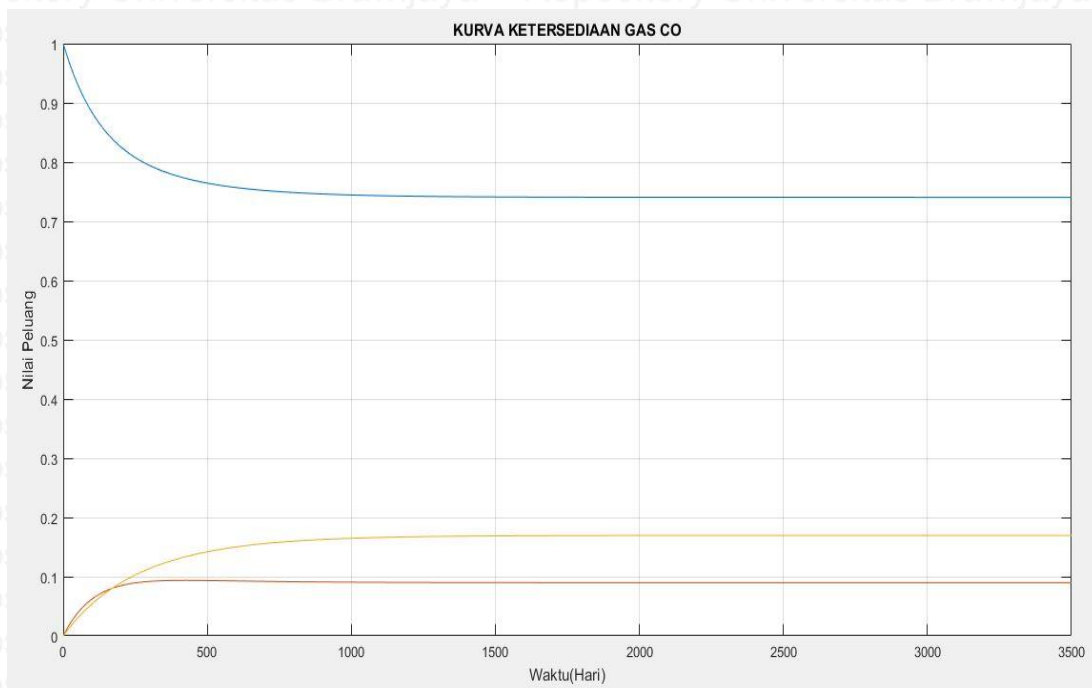
Gambar 4.19 Kurva Ketersediaan Gas H₂

Dari peluang *steady-state* gas CH₄ dapat dibuat sebuah kurva ketersediaan seperti pada Gambar 4.20.



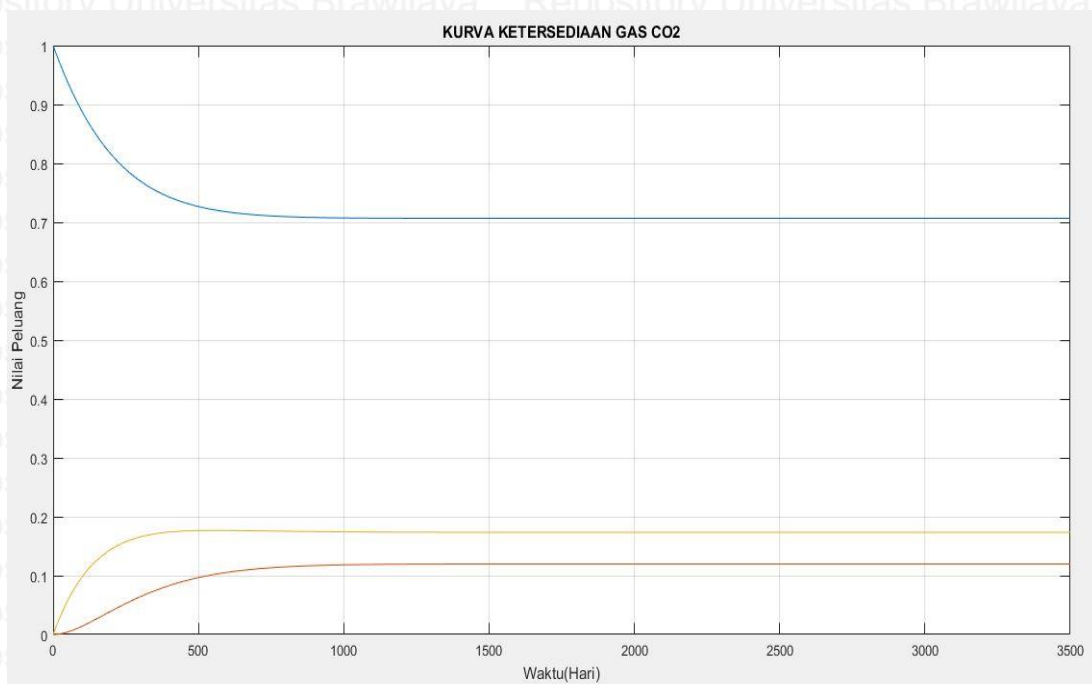
Gambar 4.20 Kurva Ketersediaan Gas CH₄

Dari peluang *steady-state* gas CO dapat dibuat sebuah kurva ketersediaan seperti pada Gambar 4.21.

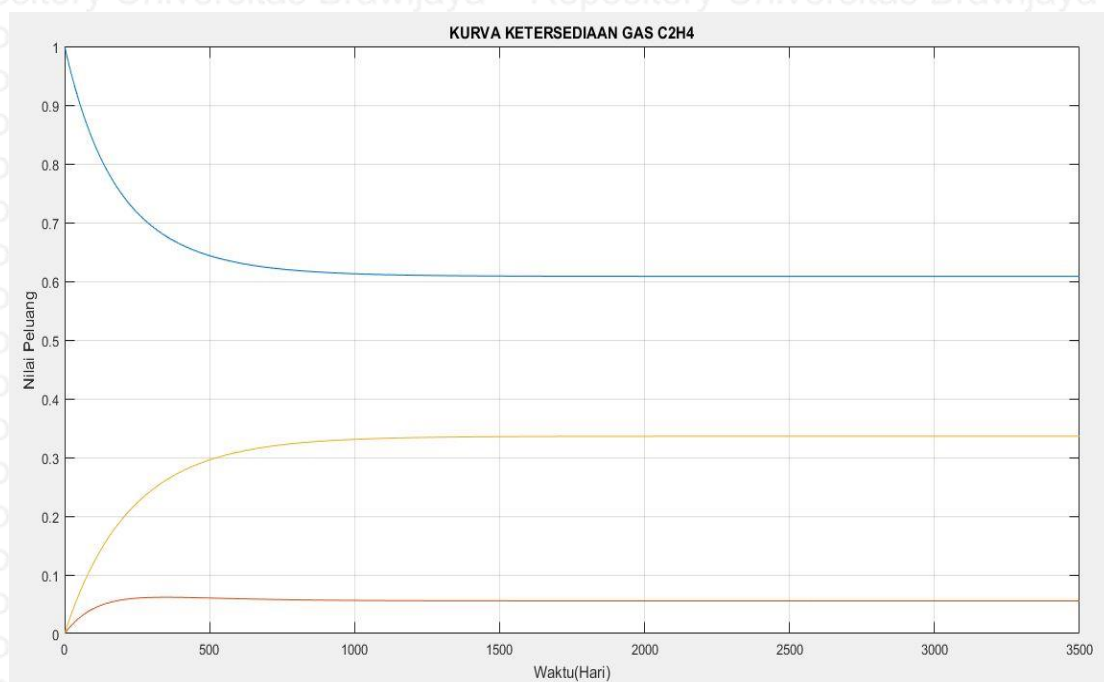


Gambar 4.21 Kurva Ketersediaan Gas CO

Dari peluang *steady-state* gas CO₂ dapat dibuat sebuah kurva ketersediaan seperti pada Gambar 4.22.

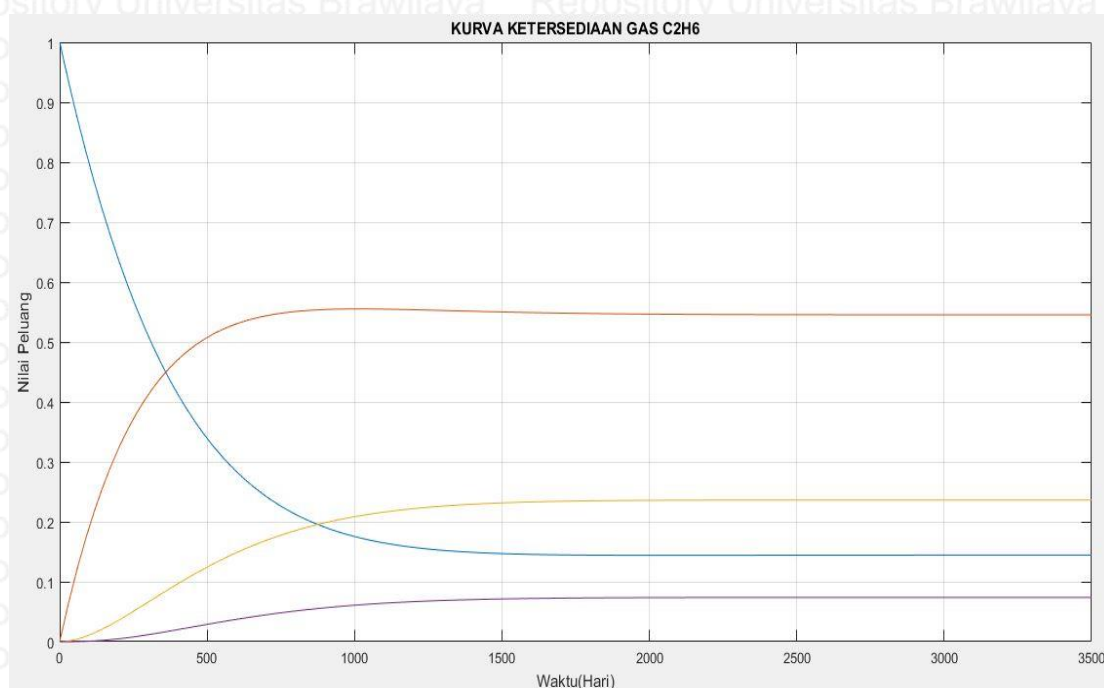
Gambar 4.22 Kurva Ketersediaan Gas CO₂

Dari peluang *steady-state* gas C₂H₄ dapat dibuat sebuah kurva ketersediaan seperti pada Gambar 4.23.



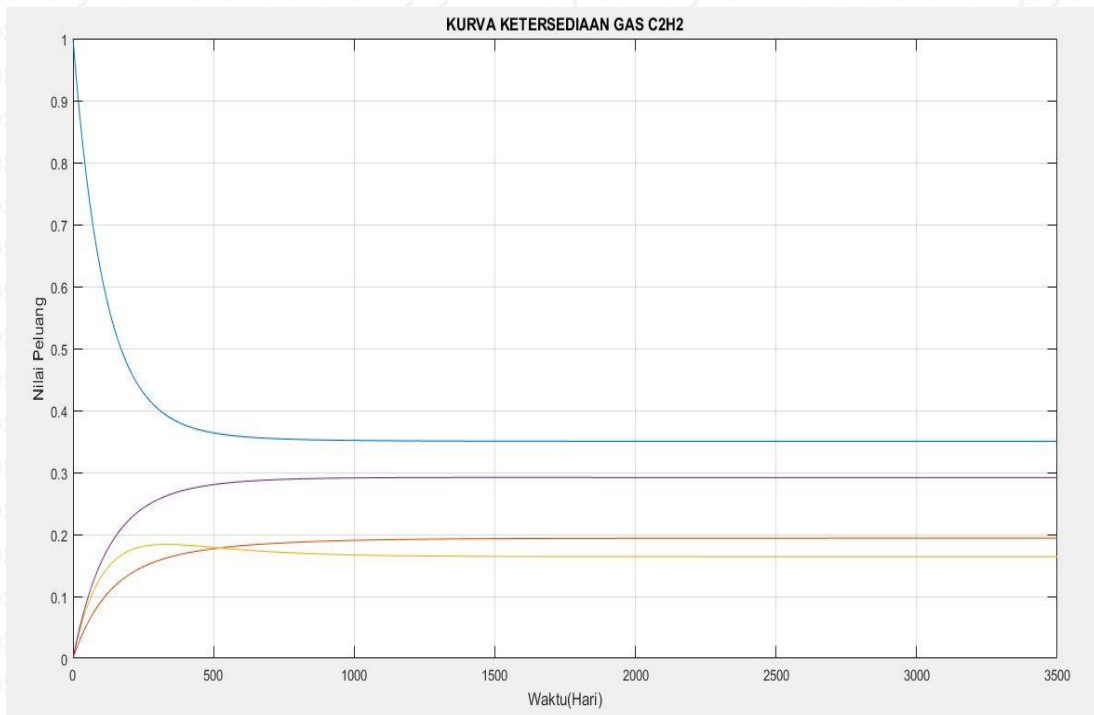
Gambar 4.23 Kurva Ketersediaan Gas C₂H₄

Dari peluang *steady-state* gas C₂H₆ dapat dibuat sebuah kurva ketersediaan seperti pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Kurva Ketersediaan Gas C₂H₆

Dari peluang *steady-state* gas C₂H₂ dapat dibuat sebuah kurva ketersediaan seperti pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25 Kurva Ketersediaan Gas C2H2

4.5 Peluang Steady-State

Dengan menggunakan *software* MATLAB R2016a, dibuat program dengan listing seperti pada dalam lampiran untuk mengetahui peluang masing-masing gas keadaan *steady-state*. Berikut ditunjukkan pada Tabel 4.22 peluang *steady-state* masing-masing gas.

Tabel 4.22 Peluang Steady-State Tiap Kondisi Gas

Jenis Gas	Nilai Steady State Setiap Kondisi Gas			
	K1	K2	K3	K4
H_2	0,8959	0,1041	0	0
CH_4	0,5156	0,4844	0	0
CO	0,7404	0,0899	0,1697	0
CO_2	0,7066	0,1198	0,1735	0
C_2H_4	0,6083	0,0557	0,336	0
C_2H_6	0,1445	0,5453	0,2363	0,0739
C_2H_2	0,3503	0,194	0,164	0,2917

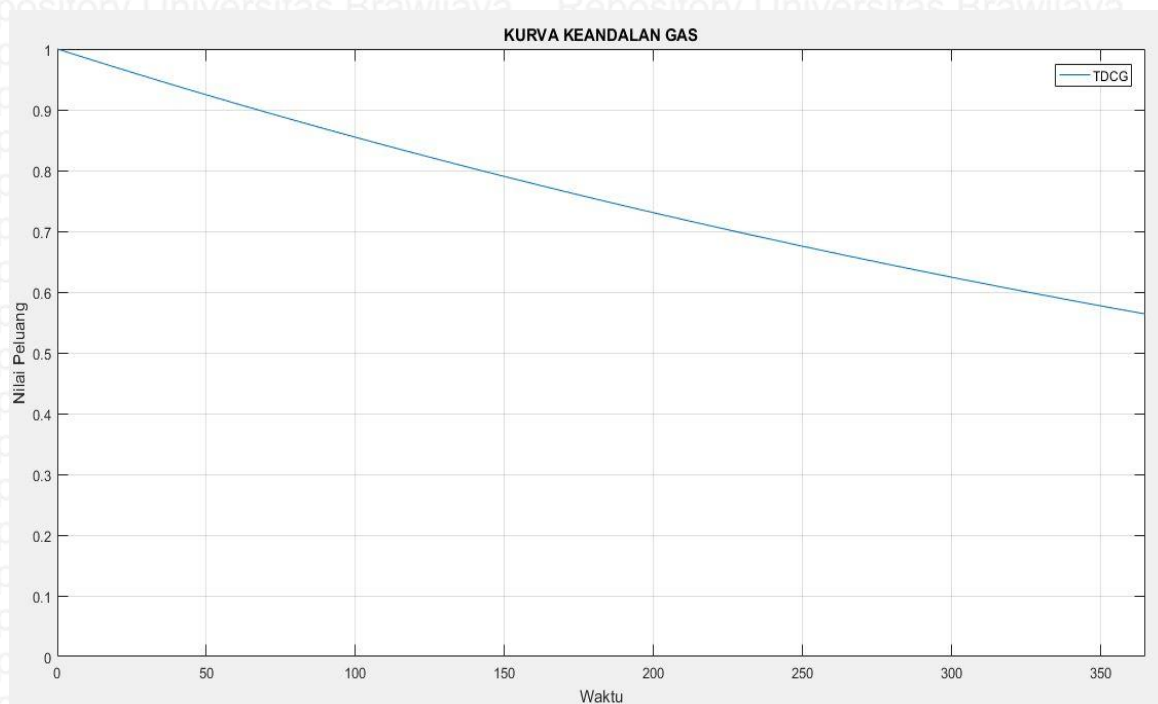
Dari Tabel 4.22 dapat dibuat grafik seperti Gambar 4.17. Dimana kita dapat melihat kondisi-kondisi gas, yang terdiri dari kondisi 1, kondisi 2, kondisi 3 dan kondisi 4 dalam masa operasi transformator pada masing-masing gas.

4.6 Kurva Keandalan dan Ketersediaan Analisis TDCG

Pada kurva keandalan dan ketersediaan analisis *TDCG* akan di tampilkan kondisi keandalan dan ketesediaan berdasarkan waktu pengambilan sampel minyak.

4.6.1 Kurva Keandalan TDCG

Dari pemodelan analisis keandalan gas TDCG berdasarkan nilai data TDCG dalam 1 tahun maka didapatkan grafik seperti pada gambar 4.26.



Gambar 4.26 Kurva Keandalan TDCG

Dari hasil perhitungan di peroleh kurva keandalan TDCG seperti pada Gambar 4.25. Dari hasil perhitungan dengan program juga di dapatkan nilai keandalan. Nilai keandalan yang dihasilkan berubah sesuai dengan lamanya waktu. Untuk nilai keandalan TDCG dalam kurun waktu 365 hari dapat dilihat pada Tabel 4.23.

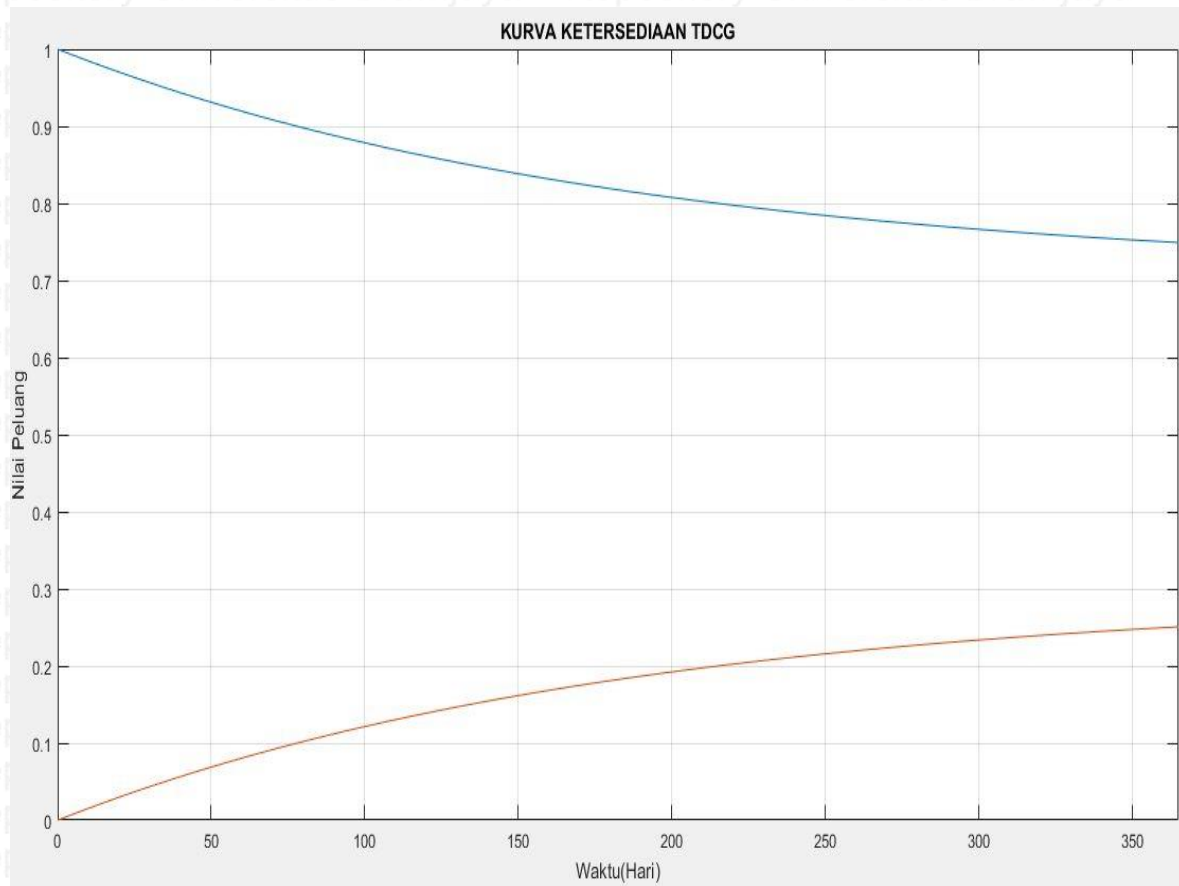
Tabel 4.23 Nilai Keandalan TDCG

Nama	Indikator Warna Garis	Nilai Keandalan Untuk (365 Hari)
TDCG		0.5638

Setelah di dapatkan nilai keandalan dari Tabel 4.21 dapat dilihat nilai keandalan untuk masing-masing fasa selama 365 hari. Dan trelihat memiliki nilai keandalan 0.5638.

4.6.2 Kurva ketersediaan TDCG

Dari pemodelan analisis ketersediaan gas TDCG berdasarkan nilai data TDCG dalam 1 tahun maka didapatkan grafik seperti pada gambar 4.27.



Gambar 4.27 Nilai Ketersediaan TDCG

Dari hasil simulasi di dapatkan nilai steady state untuk kurva ketersediaan TDCG.

Nilai *steady state* dari TDCG ditunjukkan pada Tabel 4.24

Tabel 4.24 Nilai Steady State TDCG

Nama	Nilai Steady State Setiap Kondisi Gas			
	K1	K2	K3	K4
<i>TDCG</i>	0.708	0.292	0	0

4.7 Pengaruh Penjadwalan Pemeliharaan

Dalam penelitian ini pengaruh perubahan penjadwalan pemeliharaan dapat dilihat dari hasil perhitungan nilai keandalan dan ketersediaan. Dengan kondisi bila terjadi perubahan standar percepatan dan penundaan waktu pemeliharaan. Untuk nilai standar pemeliharaan yang digunakan sebagai acuan adalah 365 hari atau 1 tahun. Dari hasil perhitungan markov dengan menggunakan program matlab di dapatkan nilai keandalan dan ketersediaan TDCG berdasarkan perubahan waktu. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Hasil Perhitungan Keandalan dan Ketersediaan TDCG

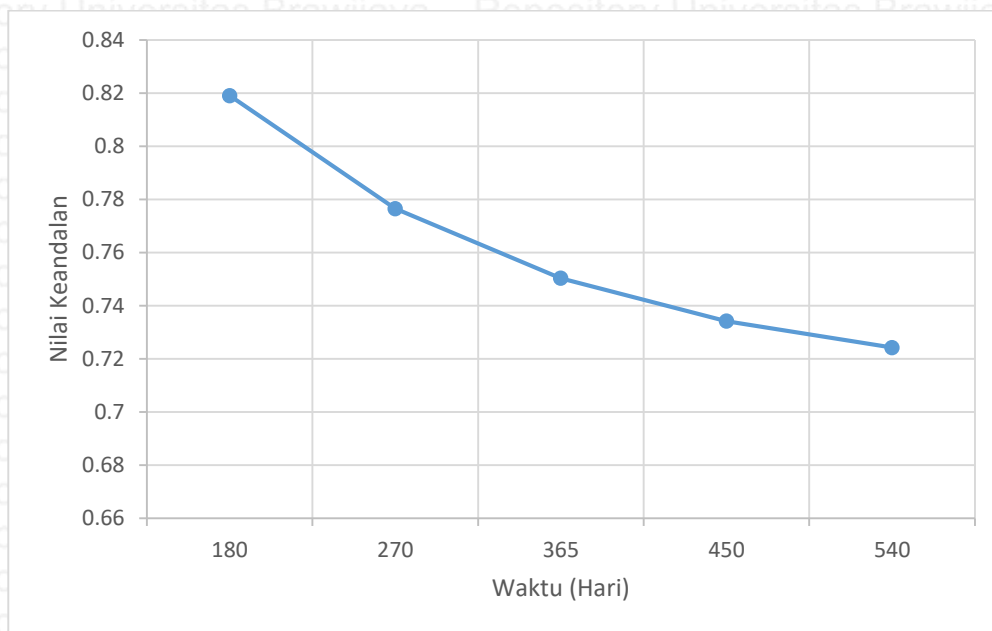
Waktu (Hari)	Nilai Keandalan	Nilai Ketersediaan
1	1	1
30	0.957	0.954
60	0.919	0.910
90	0.888	0.868
120	0.861	0.828
150	0.838	0.790
180	0.819	0.754
210	0.802	0.719
240	0.788	0.686
270	0.776	0.654
300	0.766	0.624
330	0.758	0.596
365	0.750	0.569
390	0.744	0.542
420	0.739	0.517
450	0.734	0.493
480	0.730	0.471
510	0.727	0.449
540	0.724	0.428

Jika dilihat dari hasil perhitungan pada Tabel 4.25 Terlihat bahwa nilai keandalan semakin lama semakin menurun bergantung dari lamanya waktu (hari). Terlihat ketika hari ke 1 nilai keandalan dan ketersediaanya masih tinggi yaitu bernilai 1. Sedangkan ketika 30 hari berikutnya nilainya semakin menurun hingga hari ke 540. Sesuai dengan standar pemeliharaan yang ditentukan di awal adalah 1 tahun atau 365 hari. Pengaruh perubahan jadwal pemeliharaan dapat dilihat pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26 Perubahan Nilai Keandalan dan Nilai Ketersediaan

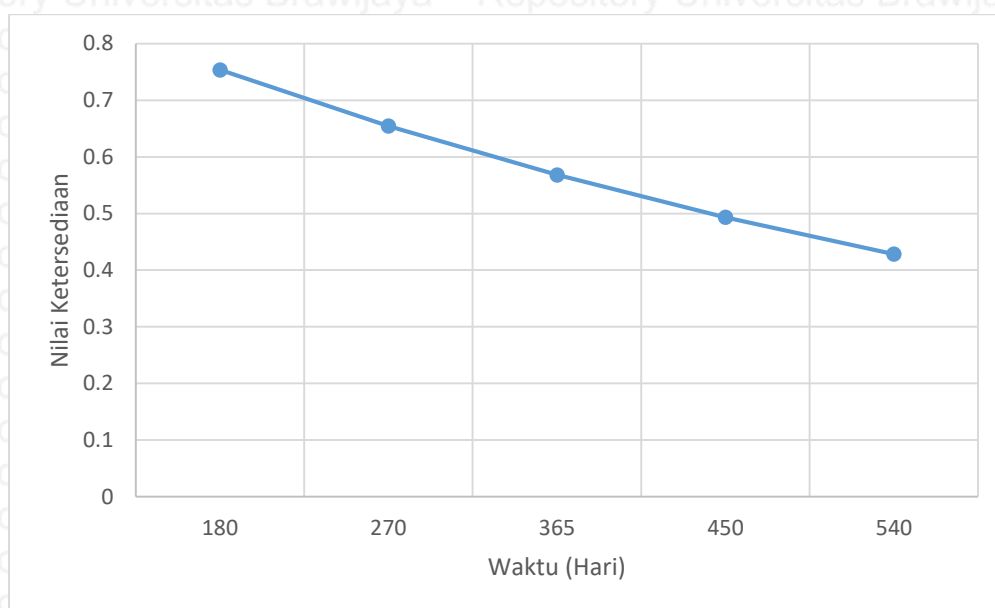
Waktu (Hari)	Nilai Keandalan	Nilai Ketersediaan
180	0.819	0.754
270	0.776	0.654
365	0.750	0.568
450	0.734	0.493
540	0.724	0.428

Dari Tabel 4.26 dapat dibuat grafik perubahan jadwal pemeliharaan dari segi keandalan dan ketersediaan. Grafik terdapat pada Gambar 4.28 dan gambar 4.29.



Gambar 4.28 Pengaruh Perubahan Pejadwalan Pemeliharaan Terhadap Nilai Keandalan

Dari gambar grafik keandalan terlihat bahwa terjadi penurunan yang signifikan, semakin lama penjadwalan pemeliharaan maka nilai keandalannya semakin menurun. Sebaliknya jika semakin cepat perawatan maka nilai keandalan juga semakin tinggi. Sedangkan untuk grafik pengaruh perubahan penjadwalan terhadap nilai ketersediaan ditunjukkan pada Gambar 4.29



Gambar 4.29 Pengaruh Perubahan Pejadwalan Pemeliharaan Terhadap Nilai Ketersediaan

Sama seperti halnya keandalan, semakin lama nilai ketersediaan dari TDCG semakin menurun. Sehingga untuk menjaga kualitas dari minyak transformator perlu dilakukan perawatan dengan kurun waktu yang cepat. Untuk menentukan kapan waktu yang tepat dilakukan perawatan maka dilakukan perhitungan untuk data pada Tabel 4.27 dengan menghitung penurunan nilai keandalan, yaitu dengan :

$$\text{Penurunan nilai keandalan, 180 hari ke 365 hari} = \frac{0,8191 - 0,7503}{0,8191} \times 100\% = 8,388\%$$

Sehingga didapatkan penurunan nilai keandalan dan ketersediaan dalam kurun waktu tertentu yaitu seperti pada Tabel 4.27

Tabel 4.27 Hasil Perhitungan Penurunan Nilai Keandalan dan Nilai Ketersediaan

Penurunan Nilai Keandalan (%)				Penurunan Nilai Ketersediaan (%)			
180 hari ke 365 hari	270 hari ke 365 hari	365 hari ke 450 hari	365 hari ke 540 hari	180 hari ke 365 hari	270 hari ke 365 hari	365 hari ke 450 hari	365 hari ke 540 hari
8,388%	3,490%	2,150%	1,354%	24,618%	13,177%	13,177%	13,177%

Dengan melihat hasil perhitungan dan hasil analisis keadaan minyak trafo, maka diperlukan penjadwalan minyak trafo yang lebih baik. Dari hasil analisis keadaan minyak trafo dapat dilihat bahwa jika dilakukan pengujian minyak 1 kali dalam setahun maka keadaan minyak trafo selalu dalam kondisi *overheat*. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penurunan nilai keandalan dan ketersediaan maka dapat dilihat bahwa penurunan nilai keandalan dan ketersediaan yang paling besar adalah saat hari 180 ke 365. Sehingga dapat

disimpulkan bahwa perawatan yang tepat bisa di lakukan saat hari ke 180 penggunaan transformator dalam kurun waktu satu tahun. Maka dalam satu tahun sebaiknya dilakukan perawatan terhadap transformator khususnya bagi minyak transformator sebanyak minimal 2x, yaitu setiap 6 bulan sekali.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa,

1. Pola pemakaian transformator yang di dasarkan dari data pengujian gas *DGA* dari tahun 2007-2016 tergolong tidak aman. Karena pada analisis temperatur minyak hampir setiap kondisi saat pengambilan sampel minyak untuk pengujian tergolong *over heating*. Oleh sebab itu diperlukan penjadwalan pemeliharaan minyak transformator.
2. Penentuan jadwal pemeliharaan di dapatkan waktu pemeliharaan yang tepat adalah pada hari ke-180 selama pemakaian transformator dalam kurun waktu 365 hari. Hal ini didasarkan pada penurunan nilai keandalan dan ketersediaan yang paling besar adalah terjadi pada hari ke-180 dengan penurunan nilai keandalan adalah 8,388%. Dan untuk penurunan nilai ketersediaan adalah 24,618%.
3. Dengan adanya penurunan nilai keandalan dan nilai ketersediaan maka diperlukan ada pemeliharaan yang didasarkan dari perhitungan penurunan nilai keandalan dan nilai ketersediaan dengan waktu yang paling tepat yaitu 180 hari dalam kurun waktu 1 tahun, sehingga dalam 1 tahun dibutuhkan minimal dua kali pemeliharaan.

5.2 Saran

Berdasarkan pada hasil penelitian yang telah dilakukan adalah pemeliharaan minyak pada trafo IBT-1 sebaiknya dilakukan sebanyak 2 kali dalam 1 tahun. Dan saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah, dapat dilakukan perhitungan Markov untuk indikator lain dari hasil pengujian minyak transformator antara lain, viskositas, kandungan air.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansori, Nachnul. & Mustajib, M. Imron. 2013. *Sistem Perawatan Terpadu*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Berger, Roger W. 2006. *The Certified Quality Engineer Handbook*. United State of America: ASQ.
- Birolini, Alessandro. 2006. *Reliability Engineering Theory and Process*. 5 th Edition. Leipzig: Springer.
- Efendi, Budi Lukman. 2011. *Analisi Gas Mudah Bakar Terlarut Pada Minyak Transformator Berdasarkan Faktor Pembebanan dan Beban Harmonik Dengan Metode Roger Ratio*. Jakarta: Universitas Indonesia
- Csanyi, Edvard. 2011. *What Standards To Use For Transformer Oil Testing?*. Electrical Engineering Portal.
- Harsono, Agung Ekosurya. 2012. *Analisis Pengaruh Pembebanan Transformator Terhadap Kandungan Gas Terlarut Minyak Isolasi*.
- IEEE Std C57.104-1991, *Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineer, Inc.
- IEEE. Duval, Michel and James Dukarm. 2005. *Improving the Reliability of Transformer Gas-in-Oil Diagnosis*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineer, Inc.
- Ihsani, M. Habibul. 2009. Analisis Kinerja Transformator Daya 150 kV di P3B Region Jawa Bali Berdasarkan Hasil Tes Analisis Gas Terlarut Menggunakan Metode Markov. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Meshkatoddini, Mohammad R. 2008. *Aging Study and Lifetime Estimation of Transformer Mineral Oil*. Iran. Shahid Abbaspour Power and Water University of Technology.
- Napitupulu, Jhon Cristian. 2012. Analisis Keandalan Transformator Daya Menggunakan Metode Distribusi Weibull. *Skripsi*. Tidak Dipublikasikan. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- PT PLN. 2003. *Panduan Pemeliharaan Trafo Tenaga*. Jakarta: PT PLN (Persero) P3B.
- PT PLN. 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Tranfo Arus (CT)*. Jakarta: PT PLN (Persero).
- Siagian, P. 1987. *Penelitian Operasional: Teori dan Praktek*. Jakarta: UI-Press.
- Simamora, Jonathan Fritz. 2011. Analisis Pengaruh Kenaikan Temperatur dan Umur Minyak Transformator Terhadap Degradasi Tegangan Tembus Minyak Transformator. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Jakarta: Universitas Indonesia.
- SPLN 17: 1979. *Pedoman Pembebanan Transformator Terendam Minyak*. PT PLN.
- Stefani. 2015. Analisis Predictive Maintenance Transformator Utama Unit I Di PLTA Sutami. *Skripsi*. Tidak Dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Sumanto. 1996. *Teori Transformator*. Yogyakarta: ANDI.

Widodo, Rendy Hari. 2014. Pengaruh Filterisasi Minyak Trafo Terhadap Kinerja Transformator Daya 30 MVA di Gardu Induk Sengkaling. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya

LAMPIRAN

Lampiran 1

Data Hasil Tes DGA Transformator *IBT-1* Kebon Agung



PT. PLN (PERSERO) P3B

REGION JAWA TIMUR DAN BALI

UNIT PELAYANAN TRANSMISI MALANG

HASIL ANALISA GAS TERLARUT DALAM MINYAK TRAF0 DENGAN " GAS CHROMATOGRAFI "

Konsentrasi Gas Terdeteksi ppm (v/v)													
GAS		Tanggal Pengujian											
		8/30/2007	8/26/2008	9/17/2009	11/6/2010	10/5/2011	2/19/2012	9/26/2012	12/19/2012	12/7/2013	12/6/2014	2/7/2015	8/5/2016
Hydrogen	(H ₂)	40	55	65	20	20	593	20	20	38.87	209.38	20.00	33.60
Nitrogen	(N ₂)	0	791,019	1,350,060	1,644,960	881,089	723,155	999,670	1,192,530	521,909.00	366,425.00	225,350.00	30,561.41
Methane	(CH ₄)	35	239	52	187	244	94	29	17	48.24	112.90	28.00	30.53
Carbon Monoxide	(CO)	0	300	202	151	733	244	0	0	0.00	458.45	0.00	110.28
Carbon Dioxide	(CO ₂)	0	7,200	653	4,513	3,833	2,659	780	1,320	829.24	580.96	168.00	4,948.86
Ethylene	(C ₂ H ₄)	10	5	20	15	55	50	12	25	170.00	9.48	25.50	4.06
Ethane	(C ₂ H ₆)	30	393	50	347	502	241	70	107	119.25	165.93	34.90	212.59
Acetylene	(C ₂ H ₂)	0	0	37	2	0	51	0	7	85.00	0.00	0.00	0.18
Total Dissolves Combustible Gases (TDCG)		40	991	274	707	1,504	1,142	131	151	207.07	956.13	89.00	391.24



Lampiran 2

Perhitungan Kondisi Minyak

Tanggal 8/30/2007

Gas CH ₄ /H ₂	35/40	= 0.875 (0)
Gas C ₂ H ₆ /CH ₄	30/35	= 0.86 (0)
Gas C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	10/30	= 0.33 (0)
Gas C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	0/10	= 0 (0)

Tanggal 8/26/2008

Gas CH ₄ /H ₂	239/55	= 4.34 (2)
Gas C ₂ H ₆ /CH ₄	393/293	= 1.64 (1)
Gas C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	5/393	= 0.013 (0)
Gas C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	0/5	= 0 (0)

Tanggal 9/17/2009

Gas CH ₄ /H ₂	187/65	= 0.8 (0)
Gas C ₂ H ₆ /CH ₄	50/187	= 0.96 (0)
Gas C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	20/50	= 0.4 (0)
Gas C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	37/20	= 1.85 (1)

Tanggal 11/6/2010

Gas CH ₄ /H ₂	187/20	= 9.35 (2)
Gas C ₂ H ₆ /CH ₄	347/187	= 1.86 (1)
Gas C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	15/347	= 0.04 (0)
Gas C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	2/15	= 0.13 (0)

Tanggal 10/5/2011

Gas CH ₄ /H ₂	244/20	= 12.2 (2)
Gas C ₂ H ₆ /CH ₄	502/244	= 2.06 (1)
Gas C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	55/502	= 0.11 (0)
Gas C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	0/5	= 0 (0)

Tanggal 2/19/2012

Gas CH ₄ /H ₂	94/593	= 4.34 (0)
Gas C ₂ H ₆ /CH ₄	241/94	= 1.64 (1)
Gas C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	50/241	= 0.013 (0)
Gas C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	0/50	= 0 (0)

Tanggal 9/26/2012

Gas CH ₄ /H ₂	999.7/20	= 1.45 (1)
Gas C ₂ H ₆ /CH ₄	70/999.7	= 2.41 (1)
Gas C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	12/70	= 0.17 (0)
Gas C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	0/12	= 0 (0)

Tanggal 12/19/2012

Gas CH ₄ /H ₂	17/20	= 0.85 (0)
Gas C ₂ H ₆ /CH ₄	107/17	= 6.27 (1)
Gas C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	25/107	= 0.23 (0)
Gas C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	7/25	= 0.28 (0)

Tanggal 12/7/2013

Gas CH ₄ /H ₂	521.9/38.87	= 1.244 (1)
Gas C ₂ H ₆ /CH ₄	119.25/521.9	= 2.47 (1)
Gas C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	170/119.25	= 1.43 (0)
Gas C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	85/170	= 0.5 (0)

Tanggal 12/6/2014

Gas CH ₄ /H ₂	112.9/209.38	= 0.54 (0)
Gas C ₂ H ₆ /CH ₄	165.9/112.9	= 1.47 (1)
Gas C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	170/165.9	= 0.05 (0)
Gas C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	40/170	= 0 (0)

Tanggal 2/7/2015

Gas CH ₄ /H ₂	112.9/20	= 1.4 (1)
Gas C ₂ H ₆ /CH ₄	165.93/112.9	= 1.25 (1)
Gas C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	25.5/165.93	= 0.73 (0)



Gas C₂H₂/C₂H₄ 0/25.5 = 0 (0)

Tanggal 8/5/2016

Gas CH₄/H₂ 30.53/33.6 = 0.91 (0)

Gas C₂H₆/CH₄ 212.59/30.53 = 6.96 (1)

Gas C₂H₄/C₂H₆ 4.06/212.59

= 0.019 (0)

Gas C₂H₂/C₂H₄ 0.18/0.46 = 0.05 (0)

