

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Objek yang dianalisis merupakan satu unit transformator daya pada Gardu Induk (GI) Sengkaling yang berlokasi di Malang, Jawa Timur. Unit yang dianalisis merupakan transformator yang kandungan air terkoreksinya sudah melebihi batas aman yang dapat mengakibatkan transformator mengalami kegagalan. Transformator tersebut merupakan jenis transformator dengan pendingin minyak, dengan tipe sistem pendingin ONAN. Spesifikasi dari transformator tersebut adalah sebagai berikut :

1. No.Seri : A 95013 - 2
2. Pembuat : XIAN TRANSFORMER WORKS CHINA
3. Tahun Pembuatan : 1995
4. Tegangan nominal : 150/70 kV
5. Kapasitas : 30 MVA
6. Kapasitas Tangki : 16460 L
7. Berat : 60000 kg

Transformator ini menggunakan minyak isolator jenis Total. Minyak jenis 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 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di PT. PLN (Persero) Area Pelaksanaan dan Pemeliharaan Gardu Induk Sengkaling Kota Malang. Pelaksanaan penelitian di mulai tanggal 12 Juli 2013, pada tanggal tersebut minyak trafo belum mengalami filterisasi. Pada tanggal 20 September 2013 transformator Xian di filterisasi. Hasil dari data – data filterisasi, penulis dapatkan dari PT. PLN (Persero) P3JB pada tanggal 27 September 2013.

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 Sengkaling Kota Malang.

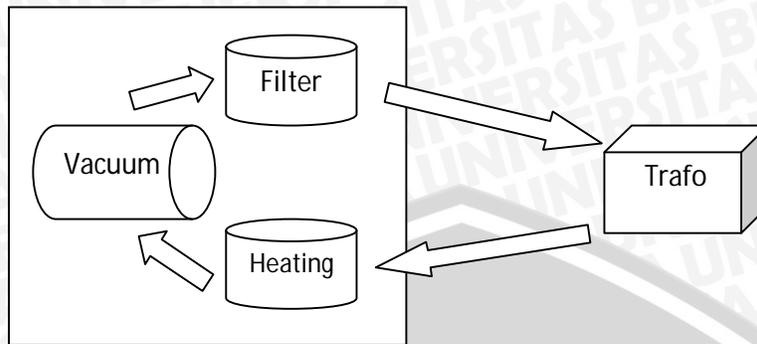
3.4 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan prosedur sistematis yang standart untuk memperoleh data yang diperlukan dalam penelitian. Cara pengumpulan data - data yang dilakukan peneliti, antara lain:

- a. Observasi yaitu dengan melakukan penelitian lang sung ke lapangan untuk melihat secara langsung proses filterisasi pada transformator kapasitas 30 MVA yang ada di PT. PLN (Persero) Area Pelaksanaan dan Pemeliharaan Gardu Induk Sengkaling Kota Malang.
- b. Wawancara yaitu dengan melakukan tanya jawab secara langsung dengan nara sumber yang memahami tentang proses filterisasi pada transformator kapasitas 30 MVA yang ada di PT. PLN (Persero) Area Pelaksanaan dan Pemeliharaan Gardu Induk Sengkaling Kota Malang.
- c. Dokumen yaitu dengan membaca buku – buku dan referensi tentang transformator yang di anggap dapat memberikan informasi yang dibutuhkan dalam penelitian ini.

3.5 Filterisasi Minyak Transformator

Filterisasi minyak transformator dilakukan dalam kondisi transformator tersebut sedang bekerja (*on line*), sehingga cara ini sangat efektif. Secara sederhana, prinsip kerja filterisasi ini yaitu mensirkulasikan minyak transformator yang akan dipurifikasi. Minyak disedot masuk ke dalam alat filterisasi untuk dimurnikan, kemudian dipompa kembali dimasukkan ke dalam transformator. Secara detail, proses filterisasi minyak transformator dapat dilihat pada diagram alir (Gambar 3.1) di bawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Filterisasi Minyak Trafo Secara detail

Sumber : Manual Book Product Trafo

Proses sirkulasi minyak transformator dilakukan secara berulang – ulang. Menurut standar PLN (*Manual BOOK Product Trafo*) untuk minyak lama dibutuhkan 4 – 6 sirkulasi sedangkan minyak baru membutuhkan 2 – 3 sirkulasi.

3.5.1 Spesifikasi Minyak Transformator Baru dan Minyak Transformator Pakai

Data – data yang sudah terkumpul saat filterisasi minyak trafo selanjutnya diolah melalui perhitungan dan analisis sehingga diperoleh hasil dari parameter – parameter yang terdapat pada karakteristik minyak trafo. Karakteristik minyak transformator yang digunakan umumnya terdiri atas minyak transformator baru dan minyak transformator pakai (sebelum filterisasi), dimana dapat diuraikan sebagai berikut:

- Minyak isolasi transformator baru adalah minyak isolasi transformator baru yang diterima dari pembelian, sehingga mempunyai standar karakteristik minyak isolasi baru. Spesifikasi dan metode pengetestan minyak isolasi baru menggunakan standar IEC 60296-2003. Pada saat pengangkutan minyak tidak boleh terkontaminasi oleh udara sebelum minyak dipompakan ke dalam tangki transformator perlu dilakukan pengujian karakteristik minyak. Apabila minyak tidak memenuhi standar maka selanjutnya dilakukan penyaringan dan pemurnian. Spesifikasi minyak isolasi transformator baru dan standar metode uji sifat minyak isolasi baru dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan 3.2.

Tabel 3.1 Spesifikasi Minyak Isolasi Baru

NO	Parameter Uji	Batasan
1	Viskositas pada 40 °C	Max. 12 cSt (centistokes)
2	Titik Tuang	Max. -40 °C
3	Kadar air	Max. 30 mg/kg
4	Tegangan tembus : Sebelum treatment	Min. 30 kV/2,5mm
	Tegangan tembus : Setelah treatment	Max. 70kV/2,5mm
5	Densitas pada 20 C	Max. 0,895 g/ml
6	Faktor kebocoran dielektrik	Mak. 0,0005
7	Keasaman	Max. 0,01mg KOH/kg
8	Tegangan antar muka	Min. 40 dyne/m
9	Korosif sulfur	Tidak korosif
10	Kadar sulfur	Tidak disyaratkan
11	Aditif anti oksidan	Tidak terdeteksi

Sumber: IEC 60296-2003

Tabel 3.2 Standard Metode Uji Sifat Minyak Isolasi Baru

NO	Sifat Minyak Isolasi Baru	Satuan	Tegangan Peralatan	Batas Klas I/ Klas II	Metode Uji	Tempat Uji
1	Tegangan Tembus	kV/2,5mm	70 kV	> 30	IEC 156	Ditempat
			170 kV	< 50	IEC 296	Lab
2	Massa Jenis	g/cm ³	All voltage	< 0,895	IEC 296	Lab
3	Titik Nyala	°C		>140 >100	IEC 296A	Lab
4	Faktor Kebocoran Dielektrik		All voltage	< 0,05	IEC 250	Lab
					474 & 74	
5	Angka Kenetralan	mgKOH/g	All voltage	< 0,03	IEC 296	Lab
6	Kadar Air	Mg/L	All voltage	< 30	IEC 296	Lab
7	Sedimen/Endapan	%	All voltage	< 0,8	IEC 296	Lab
8	Titik Tuang	°C	All voltage	< -30 < -40	IEC 296A	Lab
9	Korosi Belerang	mgKOH/g	All voltage	Tidak korosif	IEC 296	Lab
10	Tegangan Permukaan	Dyne/cm	All voltage	40	IEC 296	Lab

Sumber: SPLN 49-1 1982 mengacu IEC 422: 1989

- b. Minyak pakai adalah merupakan minyak isolasi dalam peralatan yang sedang bekerja, spesifikasi dan metode pengetesan minyak yang digunakan adalah standar IEC 422:1989. Spesifikasi minyak isolasi pakai dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Spesifikasi Minyak Isolasi Pakai

NO	Sifat Minyak Isolasi Baru	Satuan	Tegangan Perlatan	Batas Klas I/Klas II	Metode Uji	Tempat Uji
1	Tegangan tembus	kV/2.5mm	70 kV	> 30	IEC 156	Ditempat
			170 kV	> 50		
2	Titik Nyala	C		Max. Turun 15	IEC 296A	Lab
3	Faktor Kebocoran Dielektrik		70 kV	< 0,2	IEC 296	Lab
			< 170 kV	< 0,1		
4	Angka Kenetralan	mgKOH/g	All voltage	0,5	IEC 296	Lab
5	Kadar Air	Mg/L		< 20	IEC 296	Lab
				< 30		
6	Sedimen/Endapan	%	All voltage	< 0,02	IEC 296	Lab
7	Tegangan permukaan	Dyne/cm	All voltage	15	IEC 296	Lab
8	Kandungan Gas		All voltage		IEC 577	Lab

Sumber: SPLN 49-1 1982 mengacu IEC 422: 1989

Warna minyak dengan standar ASTM D 1500 yang diperbolehkan adalah 3.5 dengan hasil uji laboratorium. Kadar air yang diperbolehkan menurut standar IEC 60422-2005 dengan transformator yang memiliki tegangan 150 kV adalah <20 ppm. Untuk dapat memenuhi standar pada minyak transformator perlu dilakukan pengujian sesuai dengan standar uji minyak transformator yang telah direkomendasikan.

3.6 Metode Analisis Data

Pada penelitian ini, metode yang digunakan untuk menganalisis data adalah metode *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG). TDCG adalah merupakan analisis berdasarkan jumlah gas terlarut yang mudah terbakar untuk menunjukkan kondisi operasi transformator. Gas – gas yang mudah terbakar menurut IEEE adalah *Carbon Monoxide* (CO), *Methane* (CH₄), *Ethane* (C₂H₆), *Ethylene* (C₂H₄), *Acetylene* (C₂H₂), dan *Hydrogen* (H₂). Data – data yang sudah terkumpul selanjutnya diolah melalui perhitungan dan analisis sehingga diperoleh hasil dari parameter – parameter yang terdapat pada karakteristik minyak trafo. Pada tabel 3.4 menunjukkan

konsentrasi gas untuk individual gas dan kondisi TDCG. Sedangkan untuk mengetahui kriteria level analisis berdasarkan jumlah gas terdeteksi dapat dilihat di tabel 3.5.

Tabel 3.4 Konsentrasi Gas Secara Individual dan TDCG

Status	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂	TDCG
Kondisi 1	<100	<120	<35	<50	<65	<350	<2500	<720
Kondisi 2	101 - 700	121 - 400	36 - 50	51- 100	66 - 100	351 - 570	2500 – 4000	721 - 1920
Kondisi 3	701 - 1800	401 - 1000	51 - 80	101 - 200	101 - 150	571 - 1400	4001 - 10000	1921 - 4630
Kondisi 4	>1800	>1000	>80	>200	>150	>1400	>10000	>4630

Sumber : IEEE standard

Tabel 3.5 Kriteria Level TDCG

Level	Keterangan TDCG
Kondisi 1	Pada level ini mengindikasikan bahwa operasi transformator memuaskan. Namun tetap diperlukan pemantauan kondisi gas – gas tersebut. Bila salah satu gas nilainya melebihi batasan level harus diinvestigasi dengan cepat.
Kondisi 2	Pada level ini menandakan komposisi gas sudah melebihi batas normal dan tingkat TDCG mulai tinggi ada kemungkinan timbul gejala – gejala kegagalan yang harus mulai di waspadai dan lakukan pencegahan agar gejala tidak berlanjut. Bila salah satu gas nilainya melebihi batasan level harus diinvestigasi.
Kondisi 3	Pada level ini mengindikasikan dekomposisi tingkat tinggi dari isolasi kertas dan atau minyak transformator. Sebuah atau berbagai kegagalan mungkin sudah terjadi. Lakukan investigasi lebih cermat untuk tiap <i>combustible gas</i> . Pada kondisi ini transformator sudah harus diwaspadai dan perlu perawatan lebih lanjut
Kondisi 4	Pada level ini mengindikasikan pemburukan yang sangat tinggi dan adanya dekomposisi / kerusakan pada isolator kertas dan atau minyak transformator sudah meluas. Melanjutkan operasi transformator data mengarah kerusakan transformator. Segera lakukan tindakan perbaikan.

Sumber : IEEE Standard C57.104-1991

3.6.1 Perhitungan Perkiraan Sisa Umur Minyak Transformator

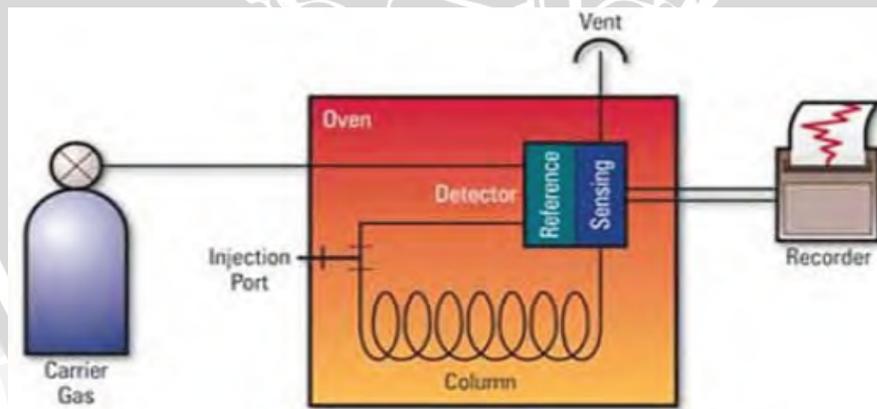
Pada penelitian Irwan Iryanto (2010: 4), menyatakan bahwa mengetahui sisa umur minyak suatu transformator dapat diketahui menggunakan persamaan grafik eksponensial. Dalam penelitian tersebut, data dari *historical trend* hasil uji sample dalam minyak transformator selama beberapa tahun terakhir diperlukan sebagai dasar untuk mengetahui hasil fungsi persamaan grafik eksponensial. Fungsi grafik eksponensial digunakan sebagai penghitungan perkiraan sisa umur minyak.

3.7 Metode Ekstrasi Gas

Terdapat dua metode DGA yang dapat digunakan pada metode ekstrasi gas yaitu GC (*gas chromatograph*) dan PAS (*photo-acoustic spectroscopy*)

1. Gas Chromatograph

Adalah sebuah teknik untuk memisahkan zat-zat tertentu dari sebuah senyawa gabungan, biasanya zat-zat tersebut dipisahkan berdasarkan tingkat penguapannya. Metode ini menggunakan beberapa komponen utama, yaitu tabung sempit (*columb*), oven/elemen pemanas, gas pembawa, dan detektor gas. Gas pembawa yang digunakan biasanya merupakan jenis gas yang lambat seperti nitrogen atau argon. Dapat dilihat pada gambar 3.2



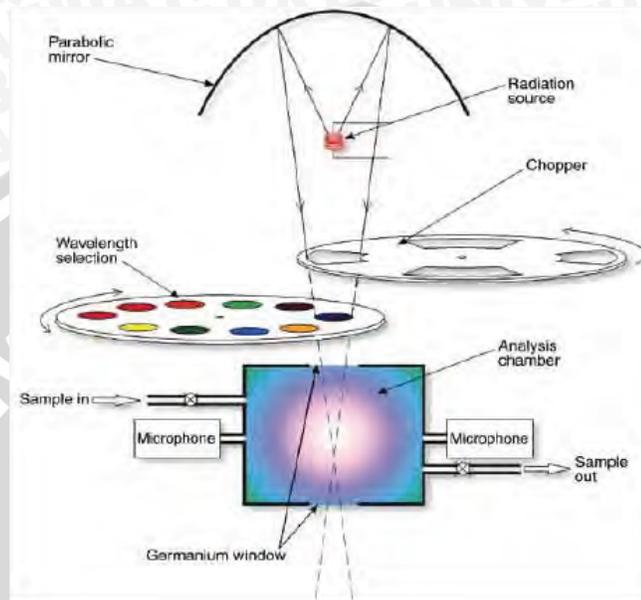
Gambar 3.2 Diagram Kerja *Gas Chromatograph*

Sumber : Rahmad Hardityo , 2008 ; 22

2. *Photo-Acoustic Spectroscopy*

Proses pengukuran dengan metode PAS dimulai dengan sumber radiasi yang menciptakan radiasi gelombang elektromagnetik sinar infra merah. Radiasi tersebut dipantulkan pada cermin parabolic lalu menuju piringan pemotong yang berputar dengan kecepatan konstan

dan menghasilkan efek stoboskopik terhadap sumber cahaya. Radiasi ini diteruskan melalui filter optic, yaitu filter yang secara selektif dapat meneruskan sinar dengan karakteristik tertentu (biasanya panjang gelombang tertentu) dan memblokir sinar lain yang karakteristiknya tidak diinginkan. Dapat dilihat pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Ilustrasi Konsep Photo-Acoustic Spectroscopy

Sumber : Rahmad Hardityo, 2008 ; 24

3.8 Jenis Kegagalan Transformator Yang Dapat Dideteksi Dengan Uji DGA

Dari berbagai jenis kegagalan yang terjadi pada transformator dan terdeteksi melalui uji DGA, maka kegagalan pada transformator dapat digolongkan menjadi beberapa kelas :

1. PD (*partial discharges*)
2. D1 (*discharges of low energy*)
3. D2 (*discharges of high energy*)
4. T1 (*thermal fault, $T < 300^{\circ}\text{C}$*)
5. T2 (*thermal fault, $300 < T < 700^{\circ}\text{C}$*)
6. T3 (*thermal fault, $T > 700^{\circ}\text{C}$*)

3.9 Metode Interpretasi Data Uji DGA

Terdapat beberapa metode untuk melakukan interpretasi data dan analisis seperti yang tercantum pada IEEE std.C57 – 104.1991 dan IEC 60599, yaitu :

1. Standar IEEE
2. Roger's Ratio
3. Key Gas
4. Duval's Triangle

3.9.1 Standar IEEE

IEEE menetapkan standarisasi untuk melakukan analisis berdasarkan jumlah gas terlarut pada sampel minyak. Dapat dilihat pada table 3.6

Tabel 3.6 Batas Konsentrasi Gas Terlarut dalam Satuan ppm (Part Per Million)

Status	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂ ¹	TDCG
Condition 1	100	120	35	50	65	350	2,500	720
Condition 2	101-700	121-400	36-50	51-100	66-100	351-570	2,500-4,000	721-1,920
Condition 3	701-1,800	401-1,000	51-80	101-200	101-150	571-1,400	4,001-10,000	1,921-4,630
Condition 4	>1,800	>1,000	>80	>200	>150	>1,400	>10,000	>4,630

Sumber : Rahmad Hardityo (2008:26)

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 (CO₂) saja yang tidak termasuk kategori TDCG.

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 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 trafo pada kondisi ini sudah meluas.

3.9.2 Roger's Ratio

Magnitude ratio empat jenis *fault gas* digunakan untuk menciptakan empat digit kode. Kode-kode tersebut akan menunjukkan indikasi dari penyebab munculnya *fault gas*. Beberapa catatan mengenai interpretasi dari table *roger's ratio* :

1. Ada kecenderungan rasio C_2H_2/C_2H_4 naik dari 0.1 s.d > 3 dan rasio C_2H_4/C_2H_6 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 ratio roger.
3. Kondisi kegagalan ini terindikasi dari naiknya konsentrasi fault gas. CH_4/H_2 normalnya bernilai 1, namun nilai ini tergantung dari berbagai faktor seperti kondisi konservator, selimut N_2 , temperature 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 $700^\circ C$, sehingga timbul arching 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 3.7 di bawah ini.

Tabel 3.7 Analisis Dengan Menggunakan Metode Roger's Ratio

Kode Rasio Gas				Diagnosis
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	
0	0	0	0	Normal
5	0	0	0	<i>Partial Discharge</i>
1-2	0	0	0	<i>Over heating</i> ringan (>150°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>Arching</i> dengan diikuti daya
0	0	2	2	Adanya <i>sparking</i> yang kontinu
5	0	0	1-2	<i>Partial discharge</i> berkaitan dengan gas CO

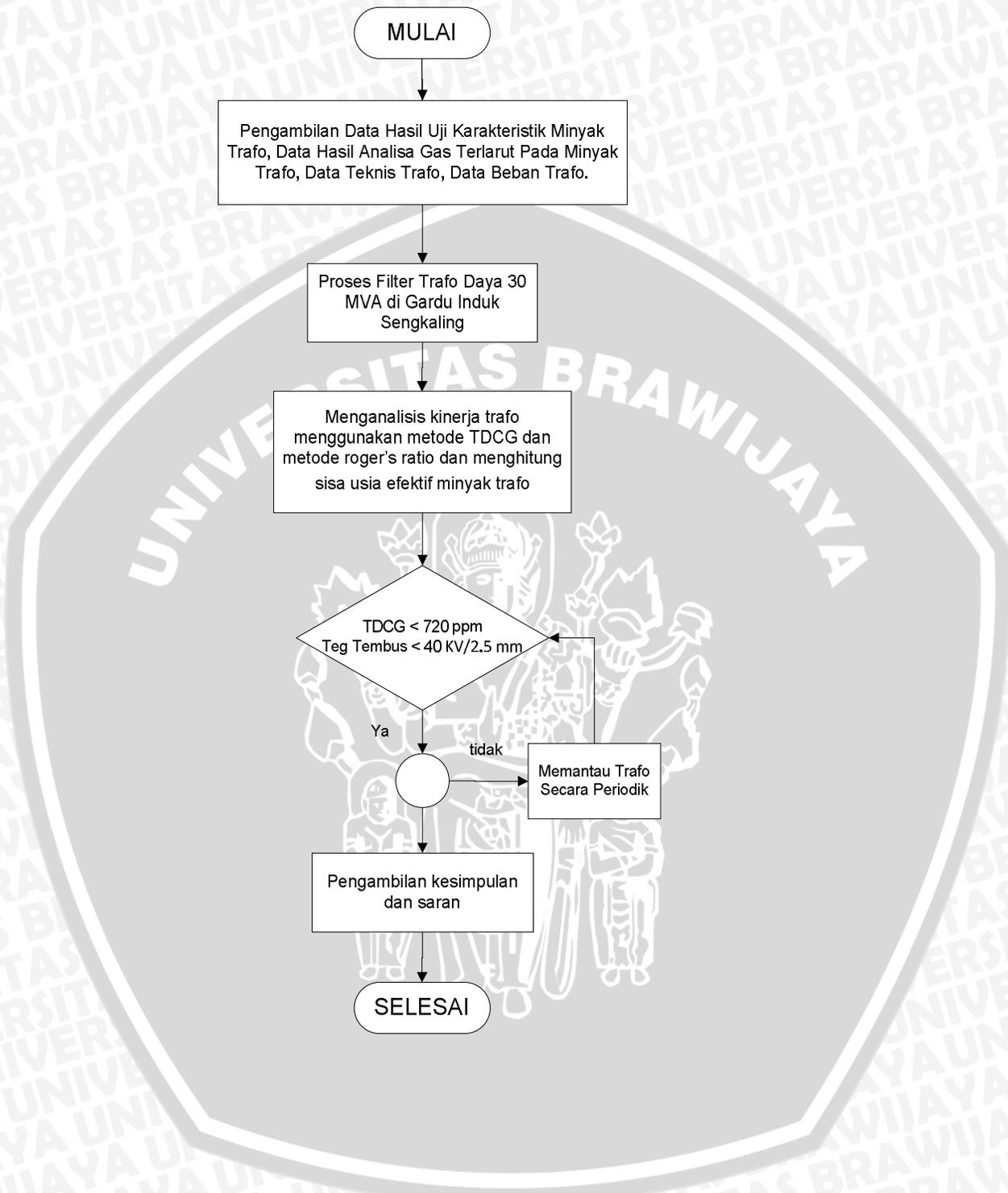
Sumber : Herliyana (2009:49)

Selain rasio pada table 2.3, seringkali digunakan rasio lain seperti rasio CO₂/CO. Rasio ini digunakan untuk mendeteksi keterlibatan isolasi kertas pada fenomena kegagalan. Normalnya rasio CO₂/CO 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°C. Jika rasio >10, mengindikasikan adanya kegagalan *thermal* pada isolasi kertas pada belitan.

4.0 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.

Berikut adalah diagram alirnya dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Diagram Alir Pengerjaan Skripsi

Sumber: Penulis

