



TUGAS AKHIR – TLI

SISTEM OTOMATISASI KONTROL *COOLING FAN* TRANSFORMATOR BERBASIS *OTI* DAN *WTI* PADA OPERASI *ONAN*, *ONAF1* DAN *ONAF2*

Oleh:

ACHMAD MAULIDIL HIKAM

NRP. 33112301031

Dosen Pembimbing:

Ibrahim Saiful Millah, S.T., M.Sc. Pembimbing I

Ir. Akhmad Arif Kurdianto, S. ST., M. T. Pembimbing II

PROGRAM STUDI DIII TEKNIK LISTRIK INDUSTRI

JURUSAN TEKNOLOGI ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI MADURA

SAMPANG

2026



TUGAS AKHIR – TLI

**SISTEM OTOMATISASI KONTROL *COOLING FAN*
TRANSFORMATOR BERBASIS *OTI* DAN *WTI* PADA
OPERASI *ONAN*, *ONAF1* DAN *ONAF2***

Oleh:

ACHMAD MAULIDIL HIKAM

NRP. 33112301031

Dosen Pembimbing:

Ibrahim Saiful Millah, S.T., M.Sc. Pembimbing I

Ir. Akhmad Arif Kurdianto, S. ST., M. T. Pembimbing II

**PROGRAM STUDI DIII TEKNIK LISTRIK INDUSTRI
JURUSAN TEKNOLOGI ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI MADURA
SAMPANG
2026**

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mahasiswa Politeknik Negeri Madura, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi:

Nama : Achmad Maulidil Hikam
NRP : 33112301031
Program Studi : D3 Teknik Listrik Industri
Jurusan : Teknologi Elektro

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir saya buat dengan judul Sistem Otomatisasi Kontrol *Cooling Fan* Transformator Berbasis *OTI* dan *WTI* Pada Operasi *ONAN*, *ONAF1*, dan *ONAF2*:

- Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan literatur hasil kuliah, survei lapangan, bimbingan dengan dosen pembimbing dan pembimbing penelitian, melalui tanya jawab maupun asistensi serta buku-buku jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada Tugas Akhir ini.
- Bukan merupakan duplikasi yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas/Perguruan Tinggi lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu digunakan referensi pendukung untuk melengkapi informasi dan sumber informasi dengan dicantumkan melalui referensi pendukung untuk melengkapi informasi dan sumber informasi dengan dicantumkan melalui referensi yang semestinya.

- Bukan merupakan karya tulis terjemahan dari Kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada Tugas Akhir ini.

Jika terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah saya nyatakan seperti apa yang di atas, maka Tugas Akhir saya ini dibatalkan.



Achmad Maulidil Hikam
NRP. 33112301031

LEMBAR PERSETUJUAN SIDANG TUGAS AKHIR

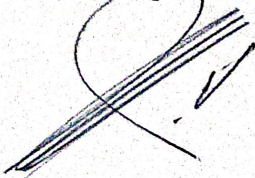
Judul Tugas Akhir : Sistem Otomatisasi Kontrol
Cooling Fan Transformator
Berbasis *OTI* dan *WTI* Pada
Operasi *ONAN*, *ONAF1*, dan
ONAF2

Penulis : Achmad Maulidil Hikam
NRP : 331123010131
Program Studi : D3 Teknik Listrik Industri
Jurusan : Teknologi Elektro

Tugas Akhir ini telah diperiksa dan disetujui untuk disidangkan.
Ditandatangani di Politeknik Negeri Madura,

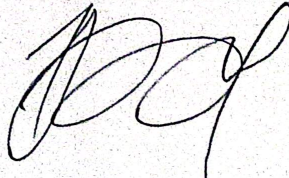
Menyetujui,

Ketua Jurusan
Teknologi Elektro



Mohammad Nur, S.Si., M.T.
NIP. 198605082019031007

Koordinator Program Studi
D-III Teknik Listrik Industri



Bayu Praharsena, S.ST., M.T.
NIP. 199405312019031009

LEMBAR PENGESAHAN

SISTEM OTOMATISASI KONTROL *COOLING FAN* TRANSFORMATOR BERBASIS *OTI* DAN *WTI* PADA OPERASI *ONAN*, *ONAF1*, DAN *ONAF2*

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik (A.Md.T.)

Pada
Jurusan Teknik Teknologi Elektro
Politeknik Negeri Madura

Oleh:
ACHMAD MAULIDIL HIKAM
NRP. 33112301031

Tugas Akhir ini telah disidangkan pada tanggal 22 Juni
2026 dan telah sesuai dengan ketentuan.

Disetujui Tim Penguji Tugas Akhir

1. Ibrahim Saiful Millah, S.T., M.Sc. (Pembimbing I)
2. Akhmad Arif Kurdianto, S.ST., M.T. (Pembimbing II)
3. Bayu Praharsena, S.ST., M.T. (Penguji I)
4. M. Sohibul Hajah, S.T., M.T. (Penguji II)
5. Moch. Nur Adiwana, M.T. (Penguji III)

Sampang
Juni 2026

SISTEM OTOMATISASI KONTROL *COOLING FAN* TRANSFORMATOR BERBASIS *OTI* DAN *WTI* PADA OPERASI *ONAN*, *ONAF1*, DAN *ONAF2*

Nama : Achmad Maulidil Hikam
NRP : 33112301031
Dosen : Ibrahim Saiful Millah, S.T.,
Pembimbing I M.Sc.
Dosen : Ir. Akhmad Arif Kurdianto,
Pembimbing II S.ST., M.T

ABSTRAK

Transformator daya merupakan peralatan penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik dan bekerja secara terus-menerus pada berbagai kondisi pembebanan. Selama beroperasi, transformator menghasilkan panas akibat rugi-rugi pada inti dan belitan sehingga diperlukan sistem pendinginan yang mampu menjaga temperatur tetap berada pada batas aman. Salah satu metode pendinginan yang umum digunakan adalah *ONAN (Oil Natural Air Natural)*, *ONAF1 (Oil Natural Air Forced tahap 1)*, dan *ONAF2 (Oil Natural Air Forced tahap 2)*. Tugas akhir ini membahas sistem otomatisasi kontrol *cooling fan* transformator berbasis *Oil Temperature Indicator (OTI)* dan *Winding Temperature Indicator (WTI)*. Sistem bekerja dengan mengaktifkan *cooling fan* secara bertahap berdasarkan temperatur transformator yang terukur. Pada kondisi normal, transformator beroperasi pada mode *ONAN*. Ketika temperatur *WTI* mencapai 80°C, sistem mengaktifkan *ONAF1*, sedangkan pada temperatur 85°C sistem mengaktifkan *ONAF2*. *Cooling fan* akan berhenti secara

otomatis ketika temperatur turun hingga 75°C sesuai logika kontrol yang diterapkan. Hasil pembahasan menunjukkan bahwa sistem kontrol otomatis mampu mengoperasikan cooling fan sesuai kondisi temperatur transformator, menjaga temperatur operasi tetap aman, meningkatkan keandalan sistem pendinginan, serta membantu memperpanjang umur pakai transformator.

Kata Kunci: Cooling Fan, OTI, ONAN, ONAF1, ONAF2, Otomatisasi, Transformator Daya, WTI.

***AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR
TRANSFORMER COOLING FANS BASED ON OTI
AND WTI IN THE OPERATION OF ONAN, ONAF1,
AND ONAF2***

Name : Achmad Maulidil Hikam
NRP : 33112301031
supervisor I : Ibrahim Saiful Millah, S.T.,
M.Sc.
supervisor II : Ir. Akhmad Arif Kurdianto,
S.ST., M.T

ABSTRACT

Power transformers are essential equipment in electrical power systems that transmit electrical energy and operate continuously under various load conditions. During operation, transformers generate heat due to losses in the core and windings, necessitating a cooling system capable of maintaining the temperature within safe limits. Common cooling methods include ONAN (Oil Natural Air Natural), ONAF1 (Oil Natural Air Forced Stage 1), and ONAF2 (Oil Natural Air Forced Stage 2). This final project discusses an automated control system for transformer cooling fans based on the Oil Temperature Indicator (OTI) and Winding Temperature Indicator (WTI). The system operates by activating the cooling fans in stages based on the measured transformer temperature.

Under normal conditions, the transformer operates in ONAN mode. When the WTI temperature reaches 80°C, the system activates ONAF1, while at 85°C, the system activates ONAF2. The cooling fans will automatically stop when the temperature drops to 75°C according to the applied control logic. The results of the study indicate that the automatic control system is capable of operating the cooling fans according to the transformer's temperature conditions, maintaining safe operating temperatures, improving the reliability of the cooling system, and helping to extend the transformer's service life.

Keywords: Power Transformer, Cooling Fan, OTI, WTI, ONAN, ONAF1, ONAF2, Automation.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan anugerah-Nya, telah memberi kekuatan, kemampuan, dan kesabaran kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Sistem Otomatisasi Kontrol Cooling Fan Transformator Berbasis OTI dan WTI Pada Operasi ONAN, ONAF1, dan ONAF2”** dapat diselesaikan dengan baik. Penyusunan Tugas Akhir ini dibuat untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan tugas akhir Program Studi D3 Teknik Listrik Industri, Politeknik Negeri Madura.

Pada kesempatan kali ini Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada pihak yang telah mendukung dan memberi semangat saat pembuatan Tugas Akhir. Yaitu ucapan terimakasih penulis tujukan kepada :

1. Ibu Laily Ulfiyah M.T. selaku Direktur Politeknik Negeri Madura.
2. M. Musta'in, S.T., MT., Wakil Direktur Bidang Akademik.
3. Bapak Mohammad Nur, S.Si., M.T. selaku ketua jurusan Teknologi Elektro, yang telah memberikan dukungan dan kebijakan untuk memudahkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Ibrahim Saiful Millah, S.T., M.Sc. selaku Sekretaris Jurusan Teknologi Elektro, yang telah

memberikan bantuan dan kemudahan administratif selama masa studi.

5. Bapak Bayu Praharsena, S.ST., M.T., selaku Koordinator Program Studi D3 Teknik Listrik Industri, atas dukungan dan koordinasinya yang memudahkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Bapak Ibrahim Saiful Millah, S.T., M.Sc selaku Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan, waktu, serta ilmu dengan sabar dan penuh dedikasi, selaku Dosen Wali, yang selalu memberikan dukungan untuk anak didiknya.
7. Ir. Akhmad Arif Kurdianto, S.ST., M.T selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan banyak masukan berharga, koreksi, dan motivasi sehingga terselesaikannya tugas akhir ini.
8. Para dosen dan tenaga kependidikan Politeknik Negeri Madura yang telah memberikan ilmu, pelayanan, dan bantuan selama penulis menempuh pendidikan di sini.
9. Ayahanda Alm. Sumhari dan Almh. Ibunda Siti Hamidah. Beliau Memang tidak sempat menemani penulis hingga kelulusan nanti, percayalah bahwa setiap kata dan kalimat dalam tugas akhir ini ditulis dengan semangat yang kalian wariskan.
10. Kakak sekaligus yang membesarkan penulis hingga saat ini Sohibul Hidayat dan Siti Nurul Laily, terima kasih tak terhingga karena telah membantu

membentuk hidup penulis dengan kepositifan dan semangat, pengorbanan tanpa batas, dan kesabaran tanpa akhir yang menjadi kekuatan terbesar penulis untuk sampai di titik ini.

11. Teman-teman seperjuangan dari Teknik Listrik Industri angkatan 12, khususnya kelas TLI 2023 B yang selalu memberikan kebahagiaan dan masukan berharga.
12. Kakak alumni Teknik Listrik Industri, dan semua pihak yang telah membantu dan memberikan semangat terkhusus untuk Kak Syaقيه, Kak Dafa, Kak Safin, Kak Didik, Kak Rajief, Kak Awan dan senior-senior lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu disini yang selalu menjadi motivasi dan memberikan arahan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam tugas akhir ini. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk tugas akhir ini.

Sampang, 17 Mei 2026

Achmad Maulidil Hikam
NRP. 33112301031

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN SIDANG TUGAS AKHIR.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Landasan Teori.....	6
2.1.1 Transformator Daya.....	6
2.1.2 Prinsip Kerja Transformator	7
2.2 Komponen Transformator yang Berkaitan dengan Sistem Pendinginan.....	8
2.2.1 Inti Transformator (Core)	8
2.2.2 Belitan Transformator (<i>Winding</i>	9
2.2.3 Minyak Transformator.....	10
2.2.4 Radiator Transformator	12

2.2.5	<i>Cooling Fan</i>	13
2.3	Sistem Pendinginan Transformator	14
2.3.1	Sistem Pendinginan <i>ONAN</i>	14
2.3.2	Sistem Pendinginan <i>ONAF</i>	16
2.3.3	Operasi <i>ONAF1</i> dan <i>ONAF2</i>	17
2.4	OTI (<i>Oil Temperature Indicator</i>) dan WTI (<i>Winding Temperature Indicator</i>)	18
2.4.1	OTI (<i>Oil Temperature Indicator</i>)	18
2.4.2	WTI (<i>Winding Temperature Indicator</i>)	20
2.5	HV dan LV Pada Transformator	22
2.5.1	HV (<i>High Voltage</i>)	22
2.5.2	LV (<i>Low Voltage</i>)	23
2.6	Hubungan Sistem Pendinginan dengan Sistem Kontrol	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		27
3.1	Proses Pengerjaan Produk Transformator Nomor Seri PX-091-P30G	27
3.1.1	Alur Pengerjaan Sistem Kontrol Fan	27
3.1.2	Diagram Blok Sistem Kontrol Fa	30
3.1.3	<i>Logic Function Accessories Signal</i>	33
3.2	<i>Material Control Fan</i>	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		45
4.1	Sistem Pendingin Transformator Daya (<i>ONAN</i> , <i>ONAF1</i> , dan <i>ONAF2</i>)	45
4.1.2	Gambar Drawing	48
4.1.3	Gambar Simulasi	Error! Bookmark not defined.
4.1.4	Operasi Manual (<i>Manual Operation</i>)	66
4.1.5	Operasi Mati (<i>Off Operation</i>)	75
4.1.6	Operasi Otomatis (<i>Auto Operation</i>)	76
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		88
5.1	Kesimpulan	88

5.2	Saran	88
DAFTAR PUSTAKA.....		90

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Tabel Material Control Fan	36
---	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Transformator daya	6
Gambar 2. 2 Potongan Transformator Daya	7
Gambar 2. 3 Inti Transformator (Core)	8
Gambar 2. 4 Belitan Transformator (Winding).....	9
Gambar 2. 5 Mineral Oil tipe Naphthenic	10
Gambar 2. 6 Radiator Transformator.....	12
Gambar 2. 7 Cooling Fan	13
Gambar 2. 8 ONAN (Oil Natural Air Natural)	14
Gambar 2. 9 ONAF (Oil Natural Air Forced).....	16
Gambar 2. 10 OTI (Oil Temperature Indicator)	18
Gambar 2. 11 WTI (Winding Temperature Indicator)	20
Gambar 2. 12 High Voltage	22
Gambar 2. 13 Low Voltage.....	23
Gambar 3. 1 Alur pengerjaan produk transformator daya	27
Gambar 3. 2 Sistem Kontrol Fan	30
Gambar 3. 3 Logic Function Control Fan.....	33
Gambar 4. 1 Legend	45
Gambar 4. 2 Supplay Power (DWG).....	48
Gambar 4. 3 Supply Power (Simulasi)	49
Gambar 4. 4 Acecoris (DWG)	51
Gambar 4. 5 Acecoris (Simulasi)	52
Gambar 4. 6 Operator Control Station (DWG)	54
Gambar 4. 7 Operator Control Station (Simulasi)	55
Gambar 4. 8 Control Fan (DWG).....	57
Gambar 4. 9 Control Fan (Simulasi)	58
Gambar 4. 10 Control Fan (DWG).....	60
Gambar 4. 11 Control Fan (Simulasi).....	61
Gambar 4. 12 Power Fan (DWG).....	63
Gambar 4. 13 Power Fan (Simulasi)	64
Gambar 4. 14 Koil kontaktor Fan 1-4 aktif	68
Gambar 4. 15 Koil Kontaktor Fan 5-6 belum aktif	68

Gambar 4. 16 Fan 1-4 mode ONAF1 aktif	69
Gambar 4. 17 Push Botton S6.2 ONAF2 aktif.....	70
Gambar 4. 18 Koil Kontaktor Fan 5-6 aktif.....	70
Gambar 4. 19 Koil Kontaktor Fan 1-4 aktif.....	70
Gambar 4. 20 Fan 1-4 mode ONAF1 aktif dan Fan 5-6 mode ONAF2 aktif.....	71
Gambar 4. 21 Push Botton S97 Control Room Aktif.....	72
Gambar 4. 22 Koil Kontaktor Fan 5-6 belum aktif.....	72
Gambar 4. 23 Koil kontaktor Fan 1-4 aktif.....	72
Gambar 4. 24 Koil kontaktor kipas 1-4 aktif	73
Gambar 4. 25 Push Botton S98 Control Room Aktif.....	73
Gambar 4. 26 Fan 1-4 mode ONAF1 aktif	73
Gambar 4. 27 Fan 1-4 mode ONAF1 aktif dan Fan 5-6 mode ONAF2 aktif.....	74
Gambar 4. 28 Koil kontaktor Fan 5-6 aktif.....	74
Gambar 4. 29 Temperatur WTI mencapai 80°C	78
Gambar 4. 30 Koil kontaktor Fan 1-4 aktif.....	79
Gambar 4. 31 Koil Kontaktor Fan 5-6 belum aktif.....	79
Gambar 4. 32 Fan 1-4 mode ONAF1 aktif	80
Gambar 4. 33 Temperature WTI turun mencapai 75°C	80
Gambar 4. 34 Koil kontaktor Fan 1-4 aktif.....	81
Gambar 4. 35 Temperature WTI mencapai 85°C.....	81
Gambar 4. 36 Koil kontaktor Fan 5-6 aktif.....	82
Gambar 4. 37 Fan 1-4 mode ONAF1 aktif dan Fan 5-6 mode ONAF2 aktif.....	82
Gambar 4. 38 Temperature WTI turun mencapai 75°C	83
Gambar 4. 39 Fan standby mengambil alih fan trip / Overload	85

DAFTAR SINGKATAN

OTI	<i>Oil Temperature Indicator</i>
WTI	<i>Winding Temperature Indicator</i>
ONAN	<i>Oil Natural Air Natural</i>
ONAF1	<i>Oil Natural Air Forced tahap 1</i>
ONAF2	<i>Oil Natural Air Forced tahap 2</i>
HV	<i>High Voltage</i>
LV	<i>Low Voltage</i>
SLD	<i>single line diagram</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Kegiatan	91
---------------------------------------	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan listrik di sektor industri terus meningkat seiring perkembangan teknologi, otomasi, dan penggunaan peralatan berdaya besar. Energi listrik menjadi komponen utama dalam menjaga kelangsungan operasi industri karena hampir semua peralatan produksi modern bergantung pada pasokan listrik yang andal dan kontinu. Dalam sistem tenaga industri, transformator daya memegang peran penting sebagai perangkat utama untuk menyalurkan dan menurunkan atau menaikkan tegangan sesuai kebutuhan. Transformator bekerja terus-menerus pada beban tinggi sehingga rentan mengalami kenaikan suhu akibat rugi-rugi pada inti (core losses) dan pada belitan (copper losses). Kenaikan temperatur yang melebihi batas standar dapat menurunkan kualitas isolasi, mempercepat penuaan, meningkatkan rugi daya, dan bahkan menyebabkan kerusakan pada transformator. Oleh karena itu diperlukan sistem pendinginan yang mampu menjaga suhu operasi agar tetap aman dan stabil sehingga keandalan transformator terjaga (Duanaputri & Insani, 2022).

Sistem pendinginan yang umum dipakai pada transformator daya adalah ONAN (Oil Natural Air Natural) dan ONAF (Oil Natural Air Forced). Pada sistem ONAN, pendinginan terjadi secara alami melalui sirkulasi

minyak dan udara tanpa bantuan perangkat mekanis. Pada ONAF, proses pendinginan dibantu oleh kipas (*cooling fan*) untuk meningkatkan pelepasan panas melalui radiator. Aktivasi *cooling fan* dilakukan secara otomatis berdasarkan pembacaan suhu minyak dan suhu belitan yang terukur oleh OTI (*Oil Temperature Indicator*) dan WTI (*Winding Temperature Indicator*). Sistem kontrol beroperasi bertahap; kipas akan menyala sesuai kenaikan suhu pada mode ONAF1 maupun ONAF2. Pengaturan kerja kipas yang kurang optimal dapat menimbulkan hotspot pada transformator sehingga menurunkan efisiensi dan umur pakai. Oleh karena itu, otomatisasi kontrol *cooling fan* diperlukan untuk menjaga kestabilan suhu, meningkatkan kapasitas beban, dan menjaga kontinuitas penyaluran energi (Sutjipto et al., 2020).

Saat magang di PT. Bambang Djaja pada bagian drafter control, penulis mempelajari langsung rangkaian kontrol pada sistem transformator, khususnya sistem pendinginan. Penulis memahami cara pembacaan suhu oleh kontak OTI dan WTI, kerja relay kontrol, serta mekanisme aktivasi *cooling fan* secara bertahap sesuai kondisi suhu transformator. Sistem kontrol pendinginan ini penting untuk menjaga stabilitas suhu saat operasi ONAN, ONAF1, dan ONAF2. Selain itu, otomatisasi pendinginan dapat mengurangi risiko overheating dan meningkatkan keandalan operasi transformator di bawah beban tinggi.

Berdasarkan masalah dan pengamatan tersebut, tugas akhir ini berjudul “Sistem Otomatisasi Kontrol *Cooling Fan* Transformator Berbasis OTI dan WTI Pada Operasi ONAN, ONAF1, dan ONAF2” dengan tujuan memahami dan mengembangkan sistem kontrol pendinginan yang bekerja otomatis, efektif, dan sesuai kebutuhan operasional transformator daya.

1.2 Rumusan Masalah

Untuk memudahkan penyusunan tugas akhir maka penulis membuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara kerja sistem kontrol pendinginan transformator?
2. Mengapa sistem kontrol pendinginan sangat penting pada transformator daya?
3. Bagaimana rangkaian kontrol fan pendingin bekerja berdasarkan temperatur transformator?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan pada tugas akhir dengan judul “Sistem Otomatisasi Kontrol *Cooling Fan* Transformator Berbasis OTI dan WTI Pada Operasi ONAN, ONAF1, dan ONAF2” lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan penelitian, maka batasan masalah yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian difokuskan pada sistem otomatisasi pengendalian *cooling fan* transformator daya berdasarkan parameter suhu *Oil Temperature*

Indicator (OTI) dan Winding Temperature Indicator (WTI).

2. Sistem pendinginan yang dibahas hanya mencakup mode operasi:
 - ONAN (*Oil Natural Air Natural*)
 - ONAF1 (*Oil Natural Air Forced* tahap 1)
 - ONAF2 (*Oil Natural Air Forced* tahap 2)
3. Pengendalian *cooling fan* dilakukan secara otomatis berdasarkan nilai *setting* temperatur OTI dan WTI yang telah ditentukan.
4. Penelitian tidak membahas desain internal transformator secara detail, seperti perhitungan elektromagnetik inti, lilitan, maupun konstruksi mekanik transformator.
5. Sistem hanya berfokus pada logika kontrol cooling fan dan perpindahan mode pendinginan, tanpa membahas proteksi transformator secara menyeluruh seperti differential relay, Buchholz relay, maupun proteksi gangguan hubung singkat.

1.4 Tujuan

Berdasarkan latar belakang dari tugas akhir ini, maka tujuan pembuatan alat ini yaitu sebagai berikut :

1. Memahami metode pendinginan ONAN, ONAF1, dan ONAF2.
2. Memahami sistem kontrol pendinginan transformator.
3. Menjelaskan fungsi relay temperatur dan fan cooling pada transformator.

4. Mengetahui pentingnya sistem kontrol dalam menjaga keamanan dan performa transformator.
5. Menjelaskan pengalaman kerja magang pada bagian drafter control di PT Bambang Djaja.

1.5 Manfaat

Adapun beberapa manfaat yang didapatkan dari tugas akhir adalah :

1. Menambah pengetahuan dan pemahaman mengenai sistem pendinginan transformator daya berbasis OTI (*Oil Temperature Indicator*) dan WTI (*Winding Temperature Indicator*) pada operasi ONAN, ONAF1, dan ONAF2.
2. Membantu meningkatkan keandalan dan keamanan kerja transformator melalui sistem otomatisasi kontrol cooling fan sehingga temperatur transformator tetap berada pada batas operasi yang aman.
3. Menjadi referensi dan media pembelajaran dalam pengembangan sistem kontrol dan otomatisasi pendinginan transformator yang dapat diterapkan pada dunia industri maupun penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Transformator Daya



Gambar 2. 1 Transformator daya

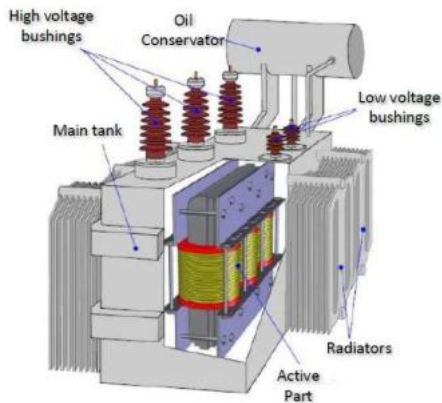
Transformator daya merupakan peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya melalui prinsip induksi elektromagnetik tanpa mengubah frekuensi. Transformator daya menjadi salah satu peralatan utama pada gardu induk karena berperan dalam proses transmisi dan distribusi tenaga listrik (Afriangga et al., 2023).

Pada pengoperasiannya, transformator bekerja secara terus-menerus sehingga dapat menimbulkan panas

akibat rugi-rugi daya pada inti dan belitan transformator. Peningkatan suhu tersebut dapat menyebabkan kerusakan isolasi apabila tidak dikendalikan dengan baik. Oleh karena itu, transformator memerlukan sistem pendinginan agar temperatur operasi tetap berada pada batas aman (Afriangga et al., 2023).

Selain dipengaruhi oleh pembebanan, kenaikan temperatur transformator juga dipengaruhi oleh temperatur lingkungan dan temperatur hotspot pada belitan transformator (Sutjipto et al., 2020).

2.1.2 Prinsip Kerja Transformator



Gambar 2. 2 Potongan Transformator Daya

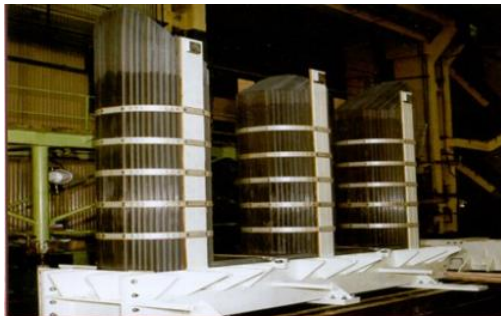
Transformator daya merupakan peralatan tenaga listrik yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya

sesuai kebutuhan sistem tenaga listrik. Dalam pengoperasiannya, transformator bekerja secara terus-menerus sehingga menimbulkan rugi-rugi daya pada inti dan belitan transformator. Rugi-rugi tersebut akan menghasilkan panas yang menyebabkan kenaikan temperatur pada transformator.

Ketika pembebanan transformator meningkat, arus pada belitan transformator juga meningkat sehingga rugi tembaga dan temperatur hotspot pada winding transformator menjadi lebih besar. (3.-aldo-afriangga.pdf) Oleh karena itu, transformator memerlukan sistem pendinginan agar temperatur operasi tetap berada pada batas aman dan tidak menyebabkan kerusakan isolasi transformator (Afriangga et al., 2023).

2.2 Komponen Transformator yang Berkaitan dengan Sistem Pendinginan

2.2.1 Inti Transformator (Core)



Gambar 2. 3 Inti Transformator (Core)

Inti transformator merupakan bagian yang berfungsi sebagai jalur fluks magnet dalam proses induksi elektromagnetik. Inti transformator umumnya terbuat dari laminasi baja silikon untuk mengurangi rugi-rugi inti. Pada saat transformator bekerja, inti transformator akan menghasilkan panas akibat rugi inti sehingga mempengaruhi temperatur transformator secara keseluruhan (Sutjipto et al., 2020).

2.2.2 Belitan Transformator (*Winding*)



Gambar 2. 4 Belitan Transformator (Winding)

Belitan transformator terdiri dari kumparan primer dan sekunder yang terbuat dari tembaga atau aluminium. Belitan berfungsi sebagai tempat terjadinya induksi elektromagnetik. Ketika arus beban meningkat maka rugi tembaga pada belitan juga meningkat sehingga menimbulkan panas pada winding transformator, Panas

pada belitan transformator inilah yang menyebabkan munculnya temperatur hotspot.

Rugi tembaga pada transformator dinyatakan dengan persamaan:

$$P_{cu} = I^2 R$$

Keterangan:

P_{cu} = Rugi tembaga

I = Arus beban

R = Tahanan belitan

2.2.3 Minyak Transformator



Gambar 2. 5 Mineral Oil tipe
Naphthenic

Minyak transformator merupakan bahan isolasi cair yang memiliki peranan sangat penting pada transformator daya. Minyak ini digunakan sebagai media pelindung sekaligus pendingin agar transformator dapat

bekerja dengan aman dan stabil saat beroperasi. Selain itu, minyak transformator juga membantu menjaga kualitas isolasi antar bagian bertegangan di dalam transformator sehingga tidak terjadi hubungan singkat atau kegagalan isolasi (Afriangga et al., 2023).

Fungsi utama minyak transformator yaitu sebagai berikut:

1. Sebagai media isolasi listrik

Minyak transformator berfungsi untuk mengisolasi atau memisahkan bagian-bagian yang memiliki tegangan listrik agar tidak terjadi percikan listrik (flashover) maupun hubung singkat antar komponen di dalam transformator. Dengan adanya minyak isolasi, arus listrik dapat tetap bekerja dengan aman meskipun transformator beroperasi pada tegangan tinggi.

2. Sebagai media pendingin transformator

Saat transformator bekerja, inti besi dan belitan (winding) akan menghasilkan panas akibat rugi-rugi daya. Panas tersebut harus dikurangi agar temperatur transformator tidak melebihi batas aman. Minyak transformator berfungsi menyerap panas dari inti dan winding, kemudian membawa panas tersebut menuju radiator untuk didinginkan. Setelah suhu minyak menurun, minyak akan kembali bersirkulasi ke dalam transformator untuk menyerap panas kembali. Proses sirkulasi ini berlangsung terus-menerus selama transformator beroperasi sehingga temperatur transformator tetap stabil dan kinerja transformator tetap terjaga.

2.2.4 Radiator Transformator



Gambar 2. 6 Radiator Transformator

Radiator merupakan komponen pendingin yang berfungsi melepaskan panas dari minyak transformator ke udara luar. Minyak panas dari dalam tangki utama akan mengalir menuju radiator untuk didinginkan sebelum kembali ke dalam tangki transformator. Pada sistem pendinginan ONAF, radiator dibantu oleh cooling fan agar proses pelepasan panas menjadi lebih cepat (Afriangga et al., 2023).

2.2.5 *Cooling Fan*

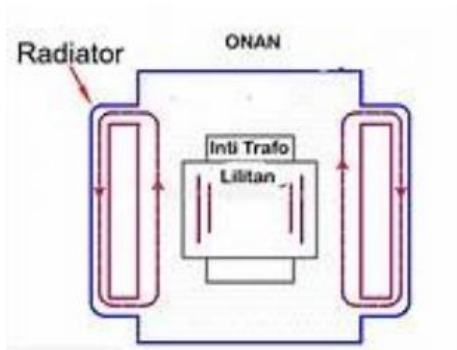


Gambar 2. 7 *Cooling Fan*

Cooling fan merupakan kipas pendingin yang digunakan untuk membantu proses pendinginan radiator transformator. *Cooling fan* bekerja dengan meniupkan udara ke radiator sehingga panas minyak dapat dibuang lebih cepat ke lingkungan. Pada sistem pendinginan ONAF, *cooling fan* digerakkan oleh motor listrik dan bekerja secara otomatis berdasarkan kenaikan temperatur transformator. Hal ini berkaitan langsung dengan sistem otomatisasi kontrol *cooling fan* pada penelitian yang dilakukan (Afriangga et al., 2023).

2.3 Sistem Pendinginan Transformator

2.3.1 Sistem Pendinginan *ONAN*



Gambar 2. 8 ONAN (Oil Natural Air Natural)

ONAN (Oil Natural Air Natural) merupakan salah satu metode pendinginan transformator yang menggunakan sirkulasi alami minyak transformator dan udara tanpa bantuan peralatan mekanis seperti cooling fan atau pompa minyak. Sistem pendinginan ini umumnya digunakan saat transformator bekerja pada kondisi beban normal dan temperatur transformator masih berada dalam batas operasi yang aman. Pada sistem ONAN, proses pendinginan terjadi karena adanya perpindahan panas secara alami dari bagian dalam transformator menuju udara luar melalui radiator. Panas yang dihasilkan oleh inti dan belitan transformator akan diserap oleh minyak

transformator, kemudian minyak tersebut bersirkulasi secara alami akibat perbedaan temperatur. Pada sistem ini:

- a. Minyak panas akan naik secara alami

Minyak yang berada di sekitar inti dan winding transformator akan menyerap panas sehingga temperaturnya meningkat. Karena suhu minyak menjadi lebih tinggi, massa jenis minyak berkurang sehingga minyak panas akan bergerak naik menuju bagian atas transformator dan mengalir ke radiator.

- b. Minyak dingin turun ke bawah

Setelah panas dilepaskan melalui radiator, temperatur minyak akan menurun sehingga massa jenis minyak meningkat. Minyak yang lebih dingin kemudian turun kembali ke bagian bawah transformator untuk menggantikan minyak panas yang naik sebelumnya.

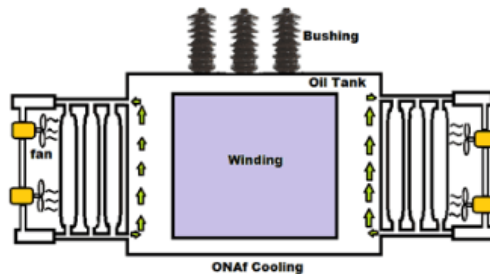
- c. Panas dibuang melalui radiator secara alami

Panas dari minyak transformator dilepaskan ke udara luar melalui permukaan radiator. Proses pelepasan panas ini terjadi secara alami melalui sirkulasi udara tanpa bantuan kipas pendingin. Udara di sekitar radiator akan menyerap panas dari permukaan radiator sehingga temperatur minyak dapat kembali menurun.

Siklus sirkulasi minyak dan pelepasan panas tersebut berlangsung terus-menerus selama transformator

beroperasi sehingga temperatur transformator tetap stabil pada kondisi pembebanan normal.

2.3.2 Sistem Pendinginan *ONAF*



Gambar 2. 9 ONAF (Oil Natural Air Forced)

ONAF (Oil Natural Air Forced) merupakan sistem pendinginan transformator yang menggunakan sirkulasi minyak secara alami dan pendinginan udara secara paksa menggunakan kipas/fan. Prinsip kerja *ONAF* yaitu ketika suhu minyak transformator meningkat maka minyak panas akan naik menuju radiator. Pada radiator, *cooling fan* akan bekerja untuk mempercepat proses pendinginan minyak transformator. Pada transformator daya, sistem *ONAF* digunakan ketika pembebanan meningkat sehingga sistem pendinginan alami tidak lagi cukup untuk menjaga temperatur transformator (Afriangga et al., 2023).

2.3.3 Operasi *ONAF1* dan *ONAF2*

Pada sistem pendinginan transformator daya, operasi ini melewati beberapa tahap yaitu ONAN, *ONAF1* dan *ONAF2* (Afriangga et al., 2023).

1. ONAN (*Oil Natural Air Natural*)

Pada sistem ini sirkulasi minyak dan pendinginan udara berlangsung secara alami tanpa bantuan kipas.

2. *ONAF1 (Oil Natural Air Forced)*

Ketika suhu meningkat, fan pendingin grup pertama akan aktif sehingga radiator pendinginannya di tingkatan, cooling fan mulai aktif ketika temperatur transformator mencapai setting tertentu pada aksesoris atau sensor OTI (*Oil Temperature Indicator*) dan WTI (*Winding Temperature Indicator*).

3. *ONAF2 (Oil Natural Air Forced Stage 2)*

Jika temperatur semakin tinggi maka fan tahap kedua ikut aktif sehingga kapasitas pendinginan menjadi lebih besar, cooling fan mulai aktif ketika temperatur transformator mencapai setting tertentu pada aksesoris atau sensor OTI (*Oil Temperature Indicator*) dan WTI (*Winding Temperature Indicator*).

Menurut jurnal, cooling fan tahap pertama bekerja ketika temperatur mencapai 65°C dan tahap berikutnya bekerja pada temperatur sekitar 70–80°C. Ketika temperatur kembali turun hingga batas normal maka sistem kembali bekerja pada mode ONAN. Pembagian operasi *ONAN*, *ONAF1*, dan *ONAF2* inilah yang nantinya

digunakan pada sistem kontrol otomatis *cooling fan transformer* (Afriangga et al., 2023).

2.4 OTI (*Oil Temperature Indicator*) dan WTI (*Winding Temperature Indicator*)

2.4.1 OTI (*Oil Temperature Indicator*)



Gambar 2. 10 OTI (*Oil Temperature Indicator*)

OTI merupakan alat indikator temperatur minyak transformator yang digunakan untuk memonitor suhu minyak di dalam transformator. OTI terpasang pada bagian transformator yang terhubung dengan ruang minyak, sehingga dapat membaca perubahan temperatur minyak secara akurat dan real-time. Pada sistem pendinginan otomatis, OTI bekerja mendeteksi kenaikan temperatur minyak yang terjadi akibat peningkatan pembebanan transformator, sehingga perubahan kondisi termal di dalam transformator dapat terpantau dengan baik.

OTI digunakan sebagai input sistem kontrol pendinginan untuk:

a. Mengaktifkan *cooling fan*

Sinyal keluaran dari OTI dihubungkan ke rangkaian kontrol, misalnya relay atau sistem otomasi, yang akan memberikan perintah untuk menghidupkan cooling fan ketika temperatur minyak mencapai atau melewati setpoint tertentu. Dengan demikian, cooling fan akan bekerja otomatis berdasarkan nilai temperatur yang terukur, tanpa memerlukan pengoperasian manual. Hal ini membantu menjaga temperatur minyak tetap dalam batas aman saat transformator mengalami kenaikan beban.

b. Memberikan alarm

Selain untuk mengaktifkan kipas, OTI juga diintegrasikan dengan sistem alarm. Ketika temperatur minyak melampaui batas yang telah ditentukan (namun belum mencapai level trip), OTI akan memicu alarm sebagai peringatan kepada operator bahwa transformator mengalami kenaikan temperatur yang tidak normal. Alarm ini dapat berupa indikator lampu, bunyi sirene, atau sinyal ke panel kontrol, sehingga operator dapat melakukan pemeriksaan dan tindakan preventif sebelum terjadi gangguan yang lebih serius.

c. Proteksi temperatur berlebih

Pada kondisi temperatur minyak yang sudah melewati batas aman maksimum, OTI dapat berfungsi sebagai elemen proteksi dengan memberikan sinyal ke sistem proteksi untuk melakukan tindakan pengamanan, seperti memutuskan beban atau mematikan transformator. Dengan cara ini, OTI membantu mencegah kerusakan lebih lanjut pada transformator akibat overheating, melindungi sistem isolasi, dan menjaga keandalan operasi transformator secara keseluruhan.

2.4.2 WTI (*Winding Temperature Indicator*)



Gambar 2. 11 WTI (Winding Temperature Indicator)

WTI merupakan alat indikator temperatur winding atau belitan transformator. WTI dipasang dan dikonfigurasi sedemikian rupa sehingga mampu

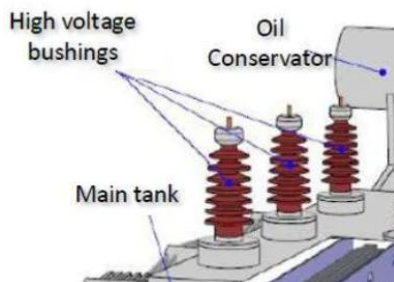
merepresentasikan temperatur pada titik terpanas (hotspot) di dalam belitan transformator. Dengan demikian, WTI memberikan informasi langsung mengenai kondisi termal belitan saat transformator beroperasi pada berbagai level pembebanan. WTI digunakan untuk memonitor temperatur hotspot pada winding transformator akibat kenaikan arus beban. Saat arus beban meningkat, rugi-rugi tembaga pada belitan (I^2R losses) juga meningkat sehingga menghasilkan panas yang lebih besar pada winding. Hal ini menyebabkan temperatur hotspot winding naik lebih cepat dibandingkan bagian lain. Melalui WTI, kenaikan temperatur tersebut dapat dipantau sehingga kondisi kerja belitan tetap dalam batas yang diizinkan sesuai standar.

Temperatur winding biasanya lebih tinggi dibanding temperatur minyak sehingga WTI sangat penting dalam sistem proteksi dan pendinginan transformator. Minyak hanya mencerminkan temperatur rata-rata di sekitar belitan, sedangkan belitan sendiri dapat memiliki temperatur yang lebih tinggi pada titik-titik tertentu. Oleh karena itu, WTI menjadi referensi utama untuk menentukan batas kerja termal transformator, mengatur setting proteksi termal, dan memastikan bahwa hotspot winding tidak melampaui batas yang dapat merusak isolasi dan mempercepat penuaan transformator. Pada penelitian ini, sinyal temperatur dari OTI dan WTI digunakan sebagai dasar pengontrolan otomatis cooling fan transformator pada operasi ONAN, ONAF1, dan

ONAF2. Nilai temperatur yang terbaca dari OTI dan WTI diumpankan ke rangkaian atau sistem kontrol sebagai input untuk menentukan kondisi operasi pendinginan. Pada mode ONAN, cooling fan belum diaktifkan dan pendinginan hanya mengandalkan sirkulasi alami minyak dan udara. Ketika temperatur mencapai setpoint tertentu sesuai pembacaan OTI/WTI, sistem akan beralih ke mode ONAF1 dengan mengaktifkan sebagian cooling fan. Jika temperatur terus meningkat dan melewati setpoint berikutnya, sistem masuk ke mode ONAF2 dengan mengaktifkan cooling fan secara penuh. Dengan skema ini, pengoperasian cooling fan menjadi otomatis, bertahap, dan berbasis langsung pada kondisi temperatur minyak dan winding yang terukur (Afriangga et al., 2023).

2.5 HV dan LV Pada Transformator

2.5.1 HV (*High Voltage*)

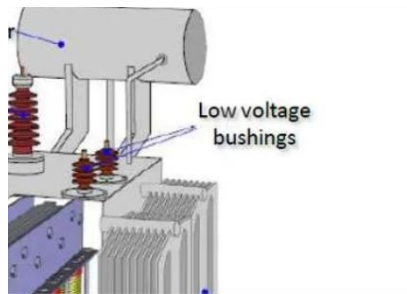


Gambar 2. 12 *High Voltage*

HV merupakan sisi tegangan tinggi pada transformator. HV berfungsi menerima atau menyalurkan

daya listrik pada level tegangan tinggi. Berdasarkan data transformator pada jurnal, sisi HV transformator memiliki tegangan sebesar 150 kV (Afriangga et al., 2023).

2.5.2 LV (*Low Voltage*)



Gambar 2. 13 *Low Voltage*

LV merupakan sisi tegangan rendah pada transformator yang berfungsi menyalurkan daya listrik hasil penurunan tegangan dari sisi HV. Pada jurnal transformator daya 30 MVA Gardu Induk Lahat, sisi LV transformator memiliki tegangan sebesar 20 kV (Afriangga et al., 2023).

2.6 Hubungan Sistem Pendinginan dengan Sistem Kontrol

Sistem pendinginan transformator memiliki hubungan langsung dengan sistem kontrol otomatis cooling fan. Sistem ini bekerja saling terintegrasi: bagian pendinginan (minyak, radiator, dan aliran udara) bertugas membuang panas, sementara sistem kontrol otomatis

bertugas mengatur kapan cooling fan harus menyala atau mati berdasarkan kondisi temperatur. Dengan demikian, kinerja pendinginan tidak hanya bergantung pada desain mekanis (radiator dan minyak), tetapi juga pada respon sistem kontrol terhadap perubahan suhu di dalam transformator. Ketika temperatur minyak dan winding meningkat akibat pembebanan, sensor OTI dan WTI akan mendeteksi kenaikan temperatur tersebut. OTI membaca temperatur minyak transformator, sedangkan WTI merepresentasikan temperatur hotspot pada belitan (winding). Keduanya menghasilkan sinyal keluaran (berupa sinyal kontak atau sinyal analog) yang menunjukkan nilai temperatur saat itu. Ketika temperatur melampaui nilai setpoint tertentu, sinyal dari OTI/WTI akan berubah dan digunakan sebagai masukan (input) ke rangkaian kontrol pendinginan. Selanjutnya sinyal dari OTI dan WTI digunakan untuk mengontrol kerja cooling fan secara bertahap pada mode:

- a. ONAN
- b. ONAF1
- c. ONAF2.

Pada mode ONAN, transformator hanya menggunakan pendinginan alami, yaitu sirkulasi minyak dan udara tanpa bantuan cooling fan. Pendinginan masih dianggap cukup karena temperatur minyak dan winding berada dalam batas normal, sehingga sinyal dari OTI dan WTI belum mencapai nilai setpoint untuk mengaktifkan fan. Ketika beban meningkat dan temperatur mulai

mendekati batas yang ditentukan, sistem kontrol akan mempersiapkan transisi ke mode pendinginan berikutnya.

Pada mode ONAF1, sebagian cooling fan diaktifkan berdasarkan sinyal dari OTI dan/atau WTI yang telah mencapai setpoint pertama. Fan yang menyala akan meningkatkan aliran udara di sekitar radiator sehingga proses pelepasan panas menjadi lebih cepat. Mode ini digunakan ketika pendinginan alami (ONAN) sudah tidak cukup untuk menahan kenaikan temperatur, namun kondisi beban dan temperatur masih dapat diatasi dengan jumlah fan yang terbatas. Pengaktifan fan secara bertahap seperti ini juga membantu menghemat energi dan mengurangi keausan peralatan.

Pada mode ONAF2, cooling fan diaktifkan lebih banyak atau seluruhnya ketika temperatur terus meningkat dan mencapai setpoint kedua yang lebih tinggi. Pada kondisi ini, transformator bekerja pada beban yang lebih tinggi atau dalam kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan, sehingga dibutuhkan kapasitas pendinginan maksimum. Sistem kontrol menggunakan sinyal dari OTI dan WTI untuk memastikan bahwa mode ONAF2 hanya aktif ketika benar-benar diperlukan, dan dapat kembali turun ke ONAF1 atau ONAN ketika temperatur sudah turun ke bawah batas histeresis yang ditentukan.

Dengan adanya sistem otomatisasi ini, temperatur transformator dapat dijaga agar tetap berada pada batas aman sehingga dapat mengurangi risiko overheating dan

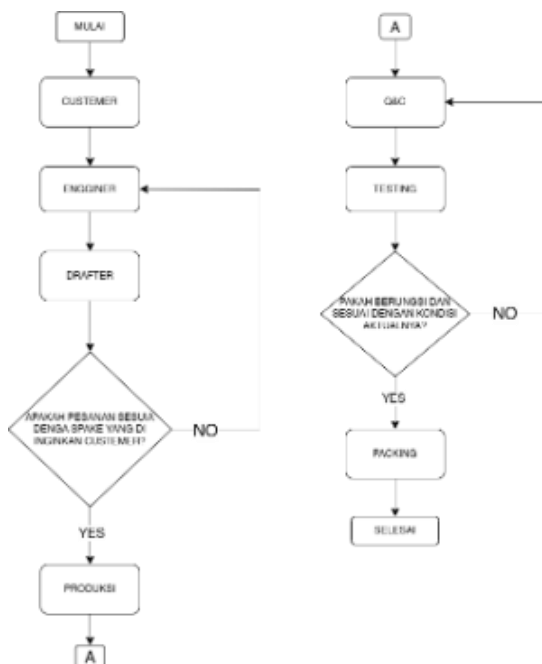
memperpanjang umur isolasi transformator. Kontrol otomatis memungkinkan respon yang cepat dan konsisten terhadap perubahan beban tanpa bergantung pada pengoperasian manual. Hal ini tidak hanya meningkatkan keandalan operasi transformator, tetapi juga mengoptimalkan kinerja sistem pendinginan sehingga transformator dapat beroperasi pada kapasitas yang lebih tinggi dengan tetap memperhatikan keamanan dan umur pakai peralatan (Ko & Ume, 2014).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada Bab III membahas mengenai perancangan kontrol fan dan sirkulasi oil Tugas Akhir.

3.1 Proses Pengerjaan Produk Transformator Nomor Seri PX-091-P30G

3.1.1 Alur Pengerjaan Sistem Kontrol Fan



Gambar 3. 1 Alur pengerjaan produk transformator daya

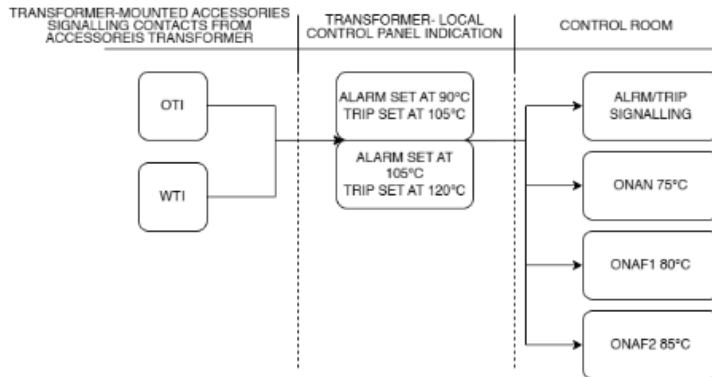
Pada gambar 3.1 merupakan alur pengerjaan sistem kontrol fan, diagram tersebut menunjukkan alur proses kerja dalam pembuatan panel atau produk teknik yang dimulai dari permintaan customer hingga produk selesai dan siap dikirim. Proses diawali pada tahap customer, dimana customer memberikan permintaan produk beserta spesifikasi, desain, kebutuhan teknis, ukuran, dan sparepart yang diinginkan. Informasi tersebut kemudian menjadi dasar dalam proses perancangan dan produksi. Selanjutnya, bagian engineer melakukan analisis terhadap kebutuhan customer dengan menentukan konsep sistem, spesifikasi teknis, pemilihan komponen, serta perencanaan kerja agar produk yang dibuat sesuai kebutuhan dan aman digunakan. Setelah itu, hasil perencanaan diteruskan ke bagian drafter untuk dibuatkan gambar teknik seperti wiring diagram, layout panel, desain mekanik, dan single line diagram (SLD) yang nantinya digunakan sebagai acuan proses produksi. Setelah gambar selesai dibuat, dilakukan proses pengecekan kesesuaian pesanan untuk memastikan apakah desain, komponen, ukuran, dan spesifikasi sudah sesuai dengan permintaan customer. Jika hasil pengecekan belum sesuai, maka proses akan kembali ke tahap sebelumnya untuk dilakukan revisi. Namun jika sudah sesuai, maka proses dilanjutkan ke tahap produksi.

Pada tahap produksi dilakukan proses pembuatan atau perakitan produk berdasarkan gambar dan spesifikasi yang telah disetujui, seperti pemasangan komponen,

wiring, fabrikasi mekanik, dan assembly sistem. Setelah proses produksi selesai, alur dilanjutkan ke tahap Quality Control (Q&C) untuk memeriksa kualitas hasil produksi, mulai dari kerapian pemasangan, kesesuaian wiring, hingga pemeriksaan fungsi sistem. Selanjutnya produk masuk ke tahap testing untuk memastikan seluruh sistem bekerja dengan baik sesuai kondisi aktual. Pada tahap ini dilakukan pengujian fungsi kontrol, pengecekan tegangan dan arus, serta memastikan tidak ada kesalahan wiring maupun gangguan sistem. Jika hasil testing menunjukkan produk belum berfungsi dengan baik, maka dilakukan perbaikan kembali. Namun jika hasil testing sesuai dan sistem bekerja normal, produk dinyatakan layak.

Tahap berikutnya adalah packing, yaitu proses pengemasan produk agar aman selama penyimpanan dan pengiriman ke customer. Setelah proses packing selesai dilakukan, maka seluruh proses dinyatakan selesai dan produk siap digunakan oleh customer.

3.1.2 Diagram Blok Sistem Kontrol Fa



Gambar 3. 2 Sistem Kontrol Fan

Pada gambar 3.2 adalah diagram blok sistem, gambar tersebut menunjukkan logika kerja sistem monitoring temperatur pada transformator daya menggunakan OTI (*Oil Temperature Indicator*) dan WTI (*Winding Temperature Indicator*) yang terhubung dengan sistem alarm, trip, serta kontrol pendingin transformator.

a. OTI (*Oil Temperature Indicator*)

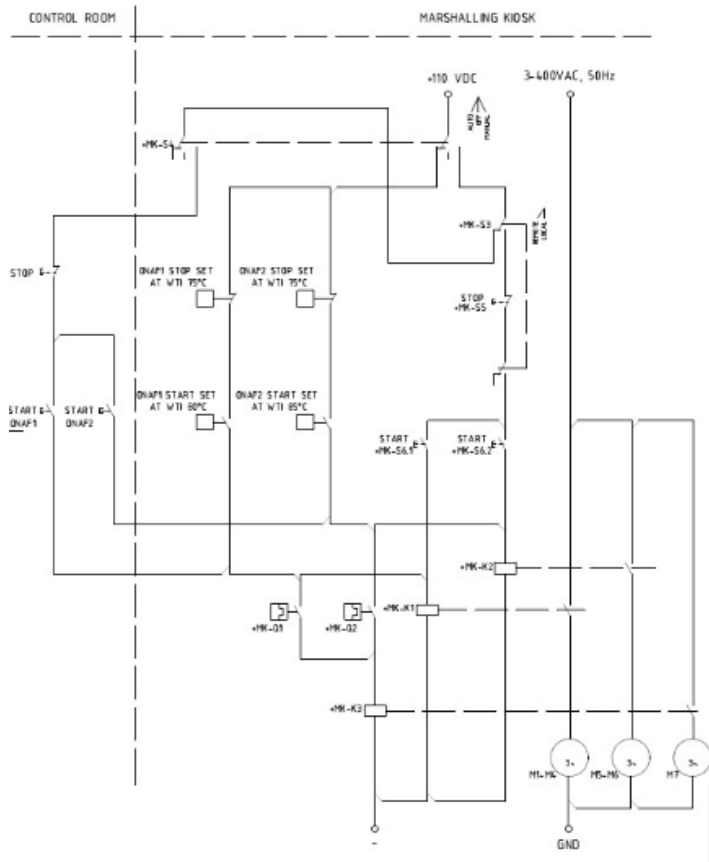
OTI digunakan untuk memonitor suhu minyak transformator. Ketika suhu minyak meningkat dan mencapai batas tertentu, sistem akan memberikan alarm pada 90°C dan trip pada 105°C. Artinya alarm berfungsi sebagai peringatan dini, sedangkan trip digunakan untuk melindungi transformator dari kerusakan akibat overheating.

- b. WTI (*Winding Temperature Indicator*)
WTI digunakan untuk memonitor suhu belitan (winding) transformator. WTI biasanya lebih penting karena temperatur winding lebih cepat meningkat dibanding temperatur minyak. Pengaturan sistem yaitu alarm pada 105°C dan trip pada 120°C.
- c. Alarm / *Trip Signalling*
Bagian ini berfungsi untuk memberikan sinyal alarm dan proteksi ke operator maupun sistem proteksi. Sinyal dapat berupa lampu indikator, buzzer, maupun perintah trip ke circuit breaker atau relay proteksi.
- d. Mode Pendinginan Transformator
Transformator menggunakan beberapa tahapan pendinginan otomatis berdasarkan temperatur operasi.
- ONAN – 75°C
ONAN (*Oil Natural Air Natural*) merupakan sistem pendinginan alami tanpa bantuan kipas. Pada suhu sekitar 75°C transformator masih bekerja pada pendinginan normal.
 - ONAF1 – 80°C
ONAF1 (*Oil Natural Air Forced* tahap 1) aktif ketika temperatur mencapai 80°C. Kipas pendingin tahap pertama mulai bekerja untuk membantu pendinginan radiator transformator.
 - ONAF2 – 85°C

ONAF2 aktif ketika temperatur mencapai 85°C . Pada tahap ini kipas tambahan bekerja sehingga kapasitas pendinginan meningkat lebih besar.

Diagram menunjukkan sistem otomatis monitoring, pendinginan, dan proteksi transformator berdasarkan temperatur minyak dan winding. Sistem ini bertujuan menjaga keamanan operasi, memperpanjang umur isolasi, serta mencegah kerusakan transformator akibat temperatur berlebih.

3.1.3 Logic Function Accessories Signal



Gambar 3. 3 Logic Function Control Fan

a. Operasi Lokal (*Local Operation*)

- Kondisi: Sakelar local/remote (s3) berada pada posisi local.

- fungsi: kontrol kipas pendingin sepenuhnya dikendalikan dari marshalling kiosk.
- b. Operasi jarak jauh (*remote operation*)
 - kondisi: sakelar local/remote (S3) berada pada posisi remote.
 - Fungsi: Kontrol kipas pendingin sepenuhnya dikendalikan dari ruang kontrol (*control room*).
- c. Operasi Manual (*Manual Operation*)
 - Kondisi: Sakelar Auto/Off/Manual (S4) pada posisi manual dan (S3) pada posisi lokal.
 - Fungsi:

Tekan tombol S6 (start) untuk menyalakan kipas pendingin 1–4.

Tekan tombol S6.1 (start) untuk menyalakan kipas pendingin 5–6.

Tekan tombol S5 (stop fan) untuk mematikan kipas.
- d. Operasi Mati (*Off Operation*)
 - Kondisi: Sakelar Auto/Off/Manual (S4) berada pada posisi off.
 - Fungsi: Semua kipas pendingin tidak dapat beroperasi.
- e. Operasi Otomatis (Auto Operation)
 - Kondisi: Sakelar Auto/Off/Manual (S4) pada posisi auto dan (S3) pada posisi lokal.
 - Fungsi: Operasi Start/Stop kipas pendingin diatur otomatis oleh WTI (*Winding Temperature Indicator*).

- Operasi ONAF1:
Kipas mulai menyala (*start*) saat suhu WTI mencapai 80°C.
Kipas berhenti (*stop*) saat suhu WTI turun ke 75°C.
- Operasi ONAF2:
Kipas mulai menyala (*start*) saat suhu WTI mencapai 85°C.
Kipas berhenti (*stop*) saat suhu WTI turun ke 75°C.

Sistem pendinginan ONAN, ONAF1, dan ONAF2 digunakan untuk menjaga temperatur transformator tetap stabil. Sistem kontrol pendinginan bekerja secara otomatis menggunakan relay temperatur seperti OTI dan WTI. Fan pendingin akan aktif secara bertahap sesuai kenaikan temperatur transformator dan sistem kontrol pendinginan sangat penting untuk menjaga keamanan, performa, dan umur transformator.

3.2 Material Control Fan

Tabel 3. 1 Tabel Material Control Fan

No	Deskripsi	Gambar
1	MCB iC60N 3P/32A, 6kA adalah sakelar pemutus tenaga miniatur (<i>Miniature Circuit Breaker</i>) 3 kutub (<i>triple pole</i>) berkapasitas 32 Ampere dengan kemampuan memutus arus hubung singkat (<i>breaking capacity</i>) hingga 6 kiloAmpere. Dalam sistem kontrol <i>fan</i> trafo, komponen ini berfungsi sebagai pengaman utama yang melindungi jaringan motor kipas pendingin 3-fase dari kerusakan akibat beban lebih (<i>overload</i>) dan korsleting (<i>short circuit</i>). Jika terjadi lonjakan arus abnormal pada motor kipas, MCB ini akan otomatis memutuskan (<i>trip</i>) aliran listrik secara instan untuk mencegah kerusakan isolasi kumparan trafo akibat panas berlebih dan menghindari risiko kebakaran.	

	ON-OFF Switch S1 4P 63A Padlock adalah sakelar manual tipe rotary cam switch 4 kutub (4 poles) dengan kapasitas arus hingga 63 Ampere yang dilengkapi fitur pengunci keamanan (padlockable). Dalam sistem kontrol fan (kipas pendingin) trafo, komponen ini berfungsi sebagai sakelar utama untuk memutus atau menghubungkan aliran listrik 3-fase beserta netralnya secara total ke seluruh rangkaian motor kipas. Fitur padlock-nya memastikan bahwa saat teknisi melakukan perawatan (maintenance), sakelar dapat dikunci di posisi OFF agar kipas tidak menyala secara tidak sengaja demi keselamatan kerja (Lockout/Tagout).	
	Local-Remote Switch S1 6P 20A adalah selector switch (saklar putar) 2 posisi dengan 6 kutub (6P) dan rating arus 20A yang memiliki 2 mode operasi: Local (lokal/anerator di panel	

	setempat) dan Remote (remote/operasikan dari jarak jauh melalui panel kontrol pusat) berfungsi dalam kontrol fan trafo sebagai saklar pemilih sumber kontrol operasi fan untuk menentukan apakah fan dikendalikan secara lokal (oleh operator di dekat panel trafo) atau secara remote (dari panel kontrol pusat/guard room), sehingga memberikan fleksibilitas pengendalian operasi fan trafo dari lokasi yang berbeda sesuai kebutuhan operasional dan keamanan, dengan memutar knob selector switch ke posisi Local atau Remote dan mengontrol 6 jalur kontak listrik untuk sistem 3-phase dengan kapasitas 20A.	
	Auto-Off-Man Switch S1 6P 20A adalah <i>selector switch</i> (saklar putar) 3 posisi dengan 6 kutub (6P) dan rating arus 20A yang memiliki 3 mode operasi: Auto (otomatis), Off (mati), dan Manual (manual) berfungsi dalam kontrol fan trafo sebagai	

	saklar pemilih mode operasi fan untuk mengatur fan bekerja secara otomatis (berdasarkan sensor/relay kontrol), dimatikan sepenuhnya, atau dijalankan manual (langsung oleh operator), sehingga memberikan fleksibilitas pengendalian operasi fan trafo dengan memutar <i>knob selector switch</i> ke posisi yang diinginkan dan mengontrol 6 jalur kontak listrik untuk sistem 3-phase dengan kapasitas 20A.	
	Push But T On Cont Act 1 NO adalah tombol tekan saklar dengan 1 kontak NO (<i>Normally Open</i>) yang berfungsi dalam kontrol fan trafo sebagai tombol <i>start</i> untuk menyalakan atau mengaktifkan fan karena kontak <i>no</i> saat ditekan akan menutup (<i>close</i>), sehingga menghubungkan/menyambung rangkaian listrik dan mengalirkan arus ke motor fan, dan ketika tombol dilepas kontak kembali terbuka (<i>open</i>) memutus rangkaian, sehingga operator dapat menekan tombol	

	ini untuk menjalankan operasi fan trafo secara aman dan terkendali.	
	Push But T On Red 1 NC adalah tombol tekan saklar berwarna merah dengan 1 kontak NC (<i>Normally Closed</i>) yang berfungsi dalam kontrol fan trafo sebagai tombol stop untuk mematikan atau menghentikan fan karena kontak NC saat ditekan akan membuka (<i>open</i>) sehingga memutus rangkaian listrik dan menghentikan aliran arus ke motor fan, dan warna merah biasanya identik dengan fungsi penghentian atau <i>emergency stop</i> untuk keselamatan, sehingga operator dapat menekan tombol ini untuk menghentikan operasi fan trafo secara aman saat diperlukan.	
	Pilot Lamp 22 mm 110V AC/DC Red Green adalah lampu indikator LED berukuran 22 mm dengan tegangan kerja 110V AC/DC yang dilengkapi dua warna (merah dan hijau) berfungsi	

	dalam kontrol fan sebagai indikator visual status operasional fan untuk memudahkan teknisi atau operator mengetahui kondisi fan tanpa pemeriksaan manual, dimana warna hijau menunjukkan fan sedang jalan (Run/aktif) dan warna merah menunjukkan fan berhenti (Stop/tidak aktif), sehingga memberikan umpan balik visual langsung tentang apakah motor fan atau rangkaian kontrol motor sedang aktif, mempermudah pemantauan status perangkat, dan mengidentifikasi kondisi normal atau abnormal pada sistem kontrol fan di panel listrik industri.	
	Mps 4-6.3aGv2me10 Schneider adalah <i>Motor Circuit Breaker</i> (MPCB) dari seri TeSys Deca Schneider Electric dengan 3 kutub (3-pole), rating arus termal 4-6.3A, tegangan hingga 690V, dan proteksi thermalkmagnetik yang	

	berfungsi dalam kontrol fan sebagai pemutus sirkuit motor untuk proteksi motor fan 3-phase terhadap hubung singkat (<i>short-circuit</i>) dan kelebihan beban (<i>overload</i>), sekaligus sebagai kontrol on/off motor fan dengan <i>push-button</i> (<i>rocker</i>), sehingga melindungi motor fan dari kerusakan akibat <i>overload</i> dan <i>short-circuit</i>, memastikan longevity dan performa fan, serta disekrupkan pada panel kontrol dengan kapasitas pemutusan 3KA690VAC dan proteksi magnetik pada 13xIn.	
	Contactora 12A, 110VDC, 3P 1NO+1NC adalah komponen listrik magnetik (<i>magnetic contactor</i>) dengan 3 kutub kontak utama berkapasitas 12 Ampere, koil dengan tegangan 110VDC, dan dilengkapi kontak bantu 1NO (<i>Normally Open</i>) + 1NC (<i>Normally Closed</i>) yang berfungsi sebagai saklar otomatis untuk menyambungkan atau	

	memutuskan arus listrik ke motor fan 3-phase, sehingga dalam kontrol fan contactor ini berperan sebagai magnetic starter yang mengontrol startup, running, dan <i>shutdown</i> kipas secara otomatis dengan memberikan tegangan pada koil magnetic untuk menarik kontak utama sehingga terhubung, sekaligus menyediakan kontak bantu NO/NC untuk sinyal kontrol dan interlock pada sistem panel kontrol listrik.	
	FN080-ZIL.GLA7P3 adalah kipas angin aksial industri ZIEHL-ABEGG dengan motor ECblue yang memiliki controller terintegrasi (<i>built-in</i>), sehingga kipas ini sepenuhnya dapat dikontrol (<i>fully controllable</i>) untuk mengatur kecepatan putaran secara 100% melalui variasi voltage 0-10V, mengontrol volume aliran udara sesuai kebutuhan, dan memiliki manajemen suhu aktif yang	

	terintegrasi untuk proteksi motor.	
--	------------------------------------	--

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sistem Pendingin Transformator Daya (ONAN, ONAF1, dan ONAF2)

4.1.1 Referensi Gambar DWG (*Drawing*) dan Simulasi

LEGEND

SYMBOL	MARK	DESCRIPTION
DC =		DIRECT CURRENT
AC ~		ALTERNATING CURRENT
		CONDUCTOR
		CONDUCTOR WITH SHIELDING
		CONNECTION PG CONDUCTOR
	X	TERMINAL
		BOUNDARY LINE
		OPERATED BY PUSHING
	K	CONTACTOR
	R	HEATER
	H	SIGNAL LAMP
	S	LIMIT SWITCH NORMALLY CLOSE
	CT	CURRENT TRANSFORMER
	F	MINI CIRCUIT BREAKER
	SPD	SURGE PROTECTOR DEVICE
	Q	THERMAL OVERLOAD RELAY

LEGEND

SYMBOL	MARK	DESCRIPTION
	VT	VOLTAGE TRANSFORMER
	M	1 PHASE MOTOR FAN
	A	AMPEREMETER
		SOCKET
	R	RESISTOR
	S	SELECTOR SWITCH
	F	NORMALLY OPEN CONTACT
	F	NORMALLY CLOSE CONTACT
	S	CHANGE OVER CONTACT
	K	RELAY COIL
	TR/SMPS	TRANSUDER / SWITCH MODE POWER SUPPLY
	B	THERMOSTATE
	M	3 PHASE MOTOR FAN
	PE	GROUNDING

Gambar 4. 1 Legend

Gambar tersebut menunjukkan legenda simbol kelistrikan dan sistem kontrol yang digunakan sebagai acuan dalam membaca diagram rangkaian listrik maupun diagram kontrol industri. Legenda ini berfungsi untuk menjelaskan arti dan fungsi setiap simbol yang terdapat pada gambar sehingga memudahkan teknisi, operator,

maupun perancang sistem dalam memahami hubungan antarperalatan yang digunakan. Simbol-simbol yang ditampilkan meliputi sumber listrik arus searah (DC) atau *Direct Current*, sumber listrik arus bolak-balik (AC) atau *Alternating Current*, penghantar listrik, penghantar berpelindung (*shielded conductor*), sambungan penghantar, terminal, serta garis batas yang digunakan untuk menunjukkan batas suatu peralatan atau panel.

Oleh karena itu, pembaca disarankan untuk memahami terlebih dahulu arti dan fungsi masing-masing simbol sebelum mempelajari diagram rangkaian pada bab-bab berikutnya. Penggunaan simbol yang konsisten bertujuan untuk memudahkan interpretasi rangkaian, mengurangi kesalahan pembacaan, serta memastikan kesesuaian antara desain, simulasi, dan implementasi sistem yang dibahas.

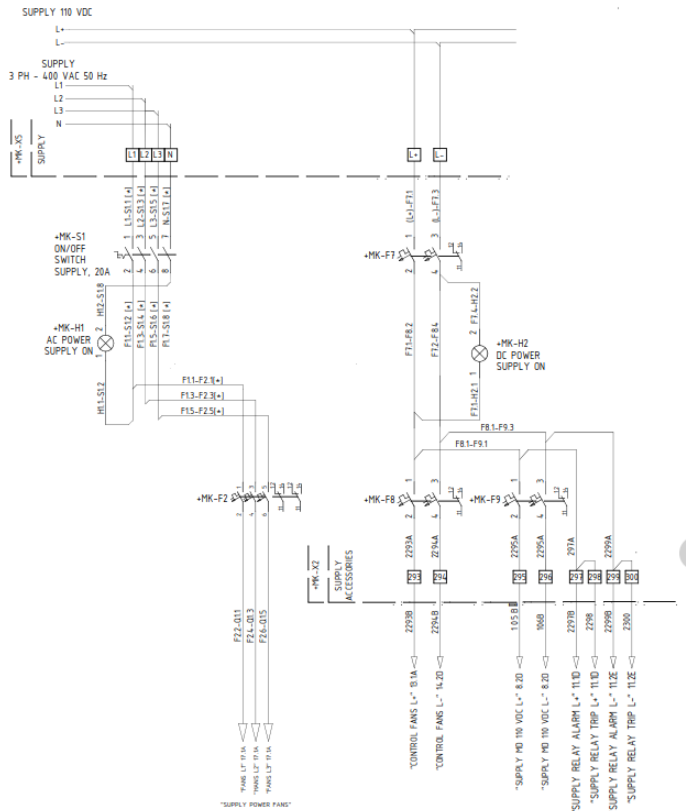
Legenda tersebut juga memuat berbagai komponen kontrol dan proteksi yang umum digunakan pada sistem kelistrikan industri. Komponen-komponen tersebut antara lain kontaktor (K) yang berfungsi sebagai sakelar elektromagnetik untuk mengendalikan beban listrik, elemen pemanas (*heater*) (R), lampu indikator (*signal lamp*) (H), sakelar pembatas (*limit switch*) (S), transformator arus atau *Current Transformer* (CT), *Mini Circuit Breaker* (MCB) sebagai pengaman terhadap arus lebih dan hubung singkat, *Surge Protection Device* (SPD) sebagai pelindung terhadap lonjakan tegangan, serta *Thermal Overload Relay* (Q) yang digunakan untuk melindungi motor dari kondisi beban lebih.

Pada bagian lainnya ditampilkan simbol-simbol peralatan pengukuran, pengendalian, dan penggerak. Simbol tersebut meliputi transformator tegangan atau

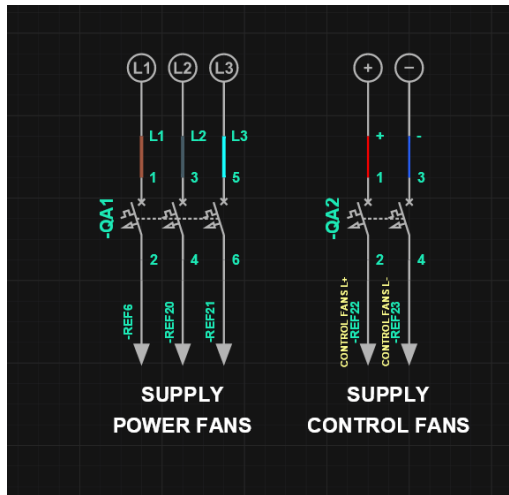
Voltage Transformer (VT), motor kipas satu fasa dan tiga fasa (M), amperemeter (A), soket, resistor (R), *selector switch* (S), kontak terbuka normal atau *Normally Open Contact* (NO), kontak tertutup normal atau *Normally Closed Contact* (NC), *change over contact*, kumparan relai atau *relay coil* (K), *transducer* atau *Switch Mode Power Supply* (SMPS), *thermostat* (B), serta sistem pentanahan (*grounding*) (PE).

Secara keseluruhan, legenda simbol ini berfungsi sebagai referensi standar dalam pembacaan diagram kelistrikan dan sistem kontrol. Dengan adanya legenda tersebut, proses perancangan, pengoperasian, analisis gangguan, serta pemeliharaan sistem kelistrikan dapat dilakukan dengan lebih mudah, akurat, dan sesuai dengan standar teknik yang berlaku.

4.1.2 Gambar Drawing



Gambar 4. 2 Supplay Power (DWG)



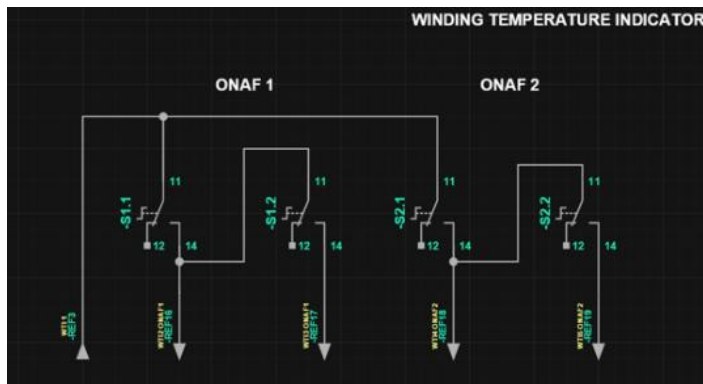
Gambar 4. 3 Supply Power (Simulasi)

Gambar tersebut merupakan diagram skematik kelistrikan (*electrical schematic*) yang menggambarkan sistem distribusi daya dalam suatu panel listrik. Pada bagian kiri ditunjukkan sumber utama berupa *supply* 110 VDC serta *supply* tiga fasa 400 VAC 50 Hz yang masuk ke sistem melalui terminal L1, L2, L3, dan N. Sumber daya tersebut selanjutnya melewati sakelar utama (*on/off switch*) sebagai pengendali awal sekaligus pengaman, serta dilengkapi lampu indikator yang menunjukkan bahwa *supply* AC dalam kondisi aktif.

Selanjutnya, energi listrik didistribusikan ke beberapa jalur melalui sekering (*fuse*) dan kontaktor, yang

berfungsi sebagai sistem proteksi tambahan sekaligus pengendali beban. Pada bagian kanan diagram terlihat adanya proses konversi dari arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC) yang menghasilkan tegangan 110 VDC. Proses ini juga dilengkapi indikator untuk menunjukkan bahwa *supply* DC telah aktif.

Selain itu, diagram memperlihatkan pembagian daya ke berbagai subsistem, seperti sistem kontrol, alarm, dan kebutuhan *supply* lainnya, yang masing-masing dilindungi oleh sekering tersendiri. Secara keseluruhan, gambar ini menjelaskan alur masuk, pengendalian, pengamanan, serta distribusi energi listrik ke berbagai bagian sistem secara terstruktur dan terproteksi.



Gambar 4. 5 Acecoris (Simulasi)

Gambar tersebut merupakan diagram rangkaian aksesoris *WTI* (*Winding Temperature Indicator*) yang digunakan untuk memantau suhu lilitan transformator serta mengendalikan sistem pendingin secara otomatis. Pada bagian atas diagram terlihat beberapa kontak pengatur suhu (*temperature contacts*) yang masing-masing memiliki setelan tertentu (misalnya 12 °C, 22 °C, 32 °C, dan seterusnya). Kontak-kontak ini akan bekerja secara bertahap בהתאם kenaikan suhu yang terdeteksi oleh *WTI*.

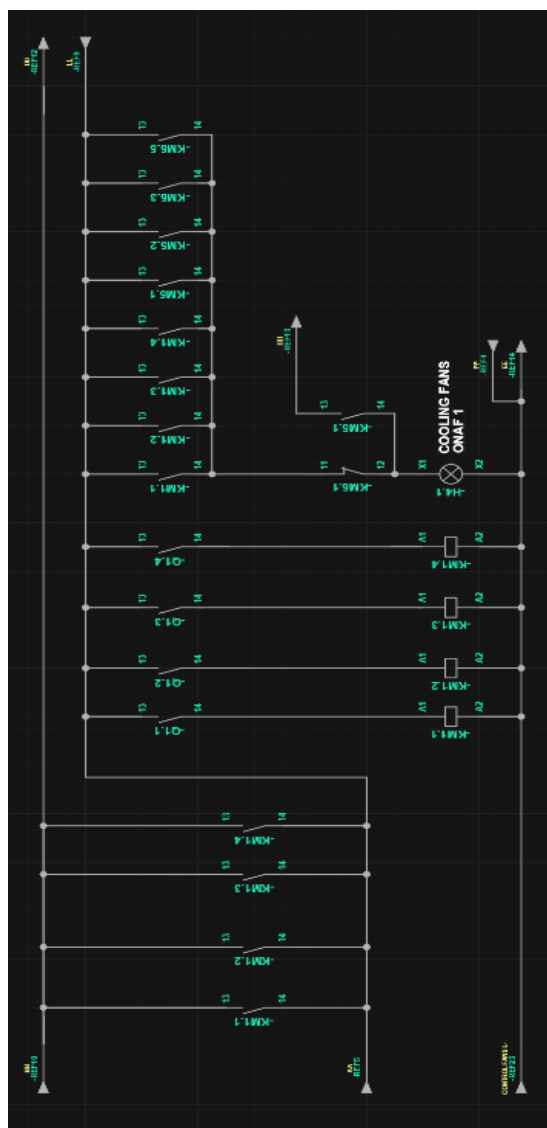
Setiap kenaikan suhu akan mengaktifkan kontak tertentu yang kemudian mengirimkan sinyal ke rangkaian di bawahnya. Rangkaian tersebut terhubung dengan sistem kontrol pendingin transformator, khususnya mode *ONAN* (*Oil Natural Air Natural*), *ONAF1* (*Oil Natural Air Forced tahap 1*), dan *ONAF2* (*Oil Natural Air Forced tahap 2*). Pada kondisi suhu normal, transformator beroperasi pada mode *ONAN* tanpa bantuan kipas. Ketika suhu

meningkat dan melewati batas pertama, sistem akan berpindah ke *ONAF1* dengan mengaktifkan sebagian kipas pendingin. Jika suhu terus meningkat hingga batas berikutnya, maka mode *ONAF2* akan aktif dengan menyalakan lebih banyak kipas untuk meningkatkan efektivitas pendinginan.

Selain itu, diagram juga menunjukkan adanya pengkabelan menuju terminal-terminal keluaran yang berfungsi sebagai jalur sinyal ke panel kontrol atau sistem proteksi lainnya. Dengan demikian, rangkaian ini tidak hanya berfungsi sebagai indikator suhu, tetapi juga sebagai bagian integral dari sistem otomatisasi pendinginan transformator yang menjaga kinerja dan keamanannya tetap optimal.

Gambar tersebut merupakan representasi dari diagram skematik rangkaian kontrol listrik (*electrical control schematic diagram*) yang digunakan dalam sistem pengendalian peralatan industri, khususnya untuk pengoperasian kipas (*fan control system*). Diagram ini termasuk dalam kategori diagram kontrol (*control circuit diagram*) yang menggambarkan hubungan logis dan elektrik antar komponen seperti *switch*, *relay*, *contactor*, *push button*, dan *pilot lamp*, tanpa menitikberatkan pada tata letak fisik melainkan pada prinsip kerja sistem.

Dalam konteks perancangan, rangkaian ini merupakan bagian dari suatu panel kontrol (*control panel*) yang berfungsi sebagai penghubung antara operator dan mesin, yang dalam implementasinya termasuk ke dalam konsep *Human Machine Interface (HMI)* konvensional. Sistem kontrol tersebut umumnya dirancang memiliki beberapa mode operasi, yaitu *manual* dan *automatic* berdasarkan cara pengoperasian, serta *local* dan *remote* berdasarkan lokasi pengendalian, yang memungkinkan fleksibilitas dalam penggunaan baik secara langsung di lapangan maupun dari lokasi terpusat seperti *control room*. Dengan demikian, diagram ini mencerminkan suatu sistem kontrol industri yang dirancang berdasarkan prinsip keandalan, keselamatan, dan kemudahan dalam pengoperasian serta pemeliharaan sesuai dengan kaidah standar dalam teknik elektro.

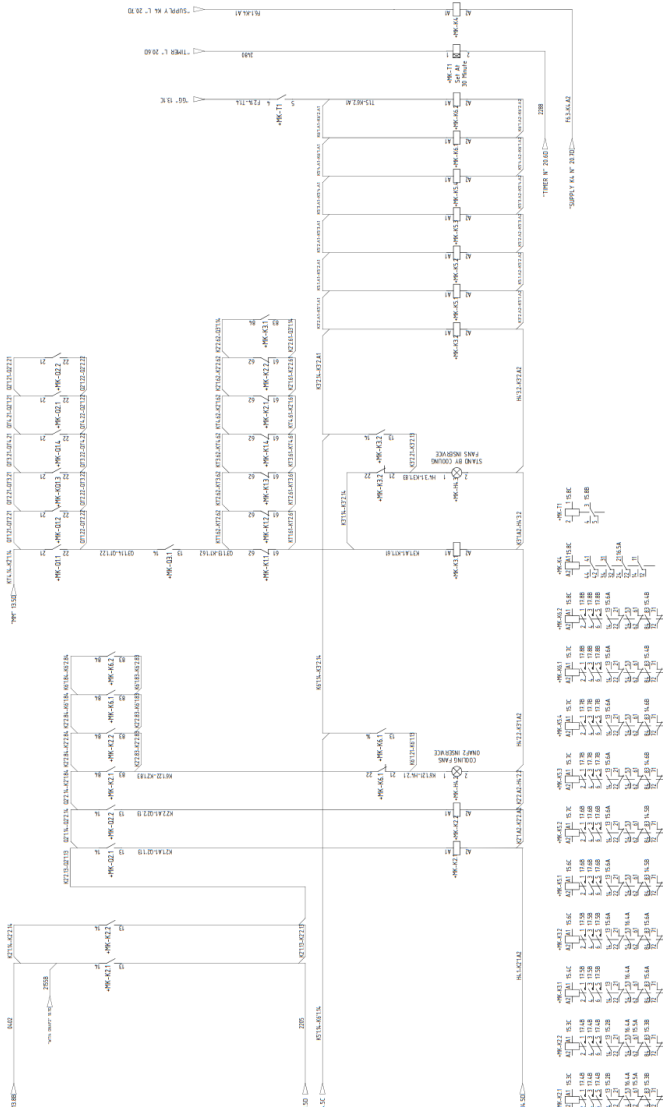


Gambar 4. 9 Control Fan (Simulasi)

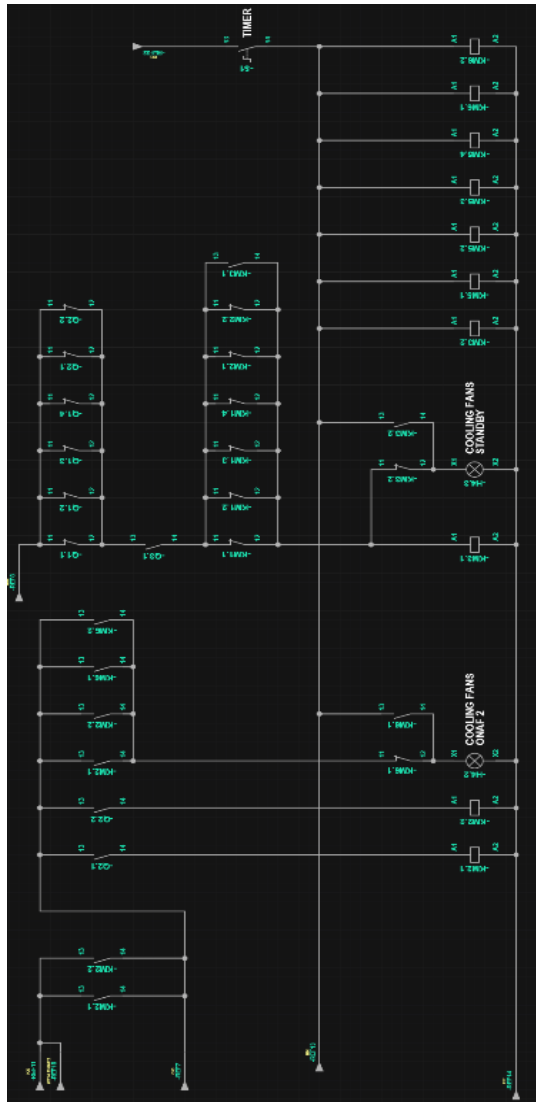
Gambar tersebut merupakan representasi dari diagram skematik rangkaian kontrol listrik (*electrical control schematic diagram*) yang digunakan dalam sistem pengoperasian kipas pendingin transformator tipe *Oil Natural Air Forced (ONAF)*, khususnya untuk unit *fan ONAF 1*.

Diagram ini termasuk dalam kategori diagram kontrol (*control circuit diagram*) yang menggambarkan hubungan logis dan elektrik antar komponen seperti *relay*, *contactor*, serta kontak bantu (*auxiliary contact*) yang berperan dalam membentuk urutan kerja dan sistem interlock. Secara konseptual, rangkaian ini dirancang untuk memastikan bahwa pengoperasian kipas berlangsung secara terkoordinasi, aman, dan sesuai dengan kondisi operasi transformator, di mana aktivasi kipas dapat dipengaruhi oleh sinyal perintah maupun kondisi tertentu dalam sistem.

Selain itu, penggunaan elemen logika berbasis kontak menunjukkan penerapan prinsip keandalan dan proteksi dalam sistem kontrol industri, sehingga mencegah terjadinya kesalahan operasi (*misoperation*) serta mendukung kontinuitas kerja peralatan. Dengan demikian, diagram ini mencerminkan implementasi sistem kontrol berbasis elektromekanis yang terstruktur, yang umum digunakan dalam aplikasi pendinginan transformator tenaga untuk menjaga stabilitas suhu dan kinerja operasional.



Gambar 4. 10 Control Fan (DWG)

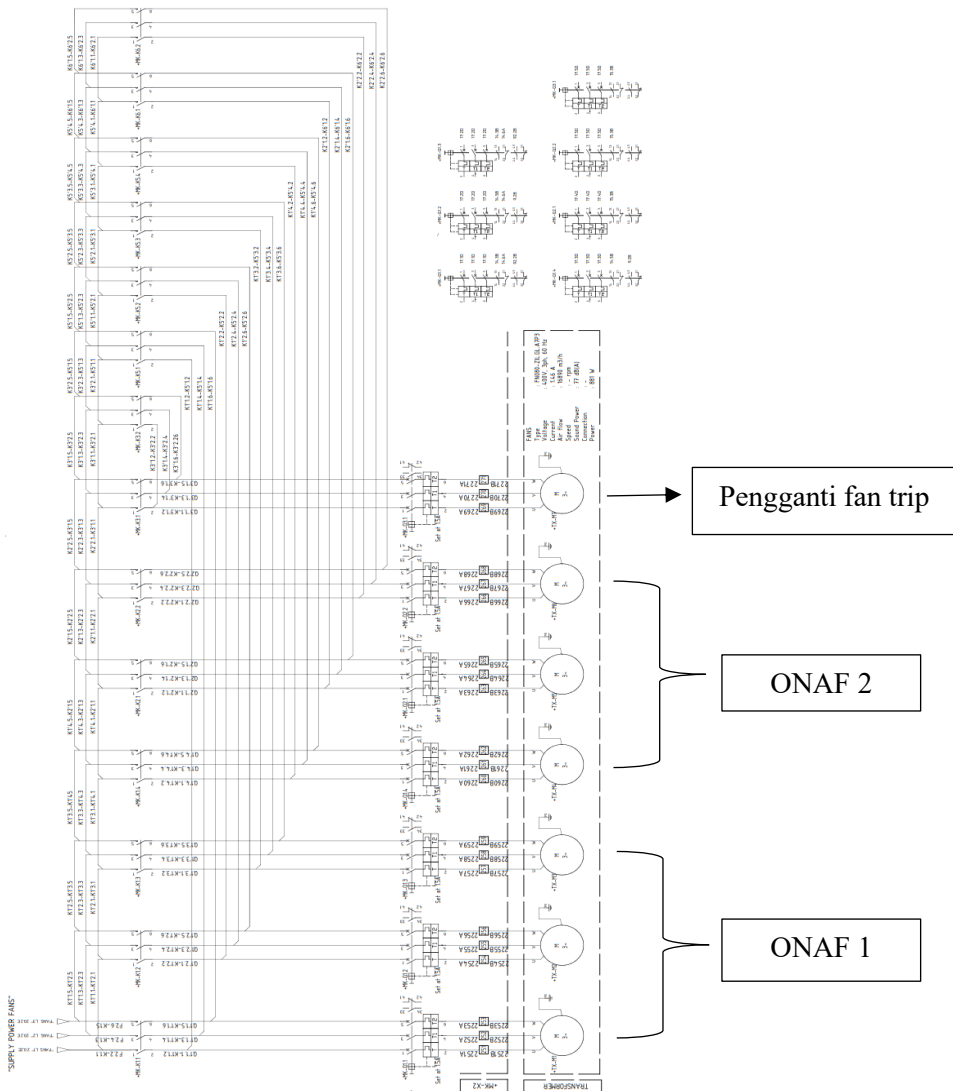


Gambar 4. 11 Control Fan (Simulasi)

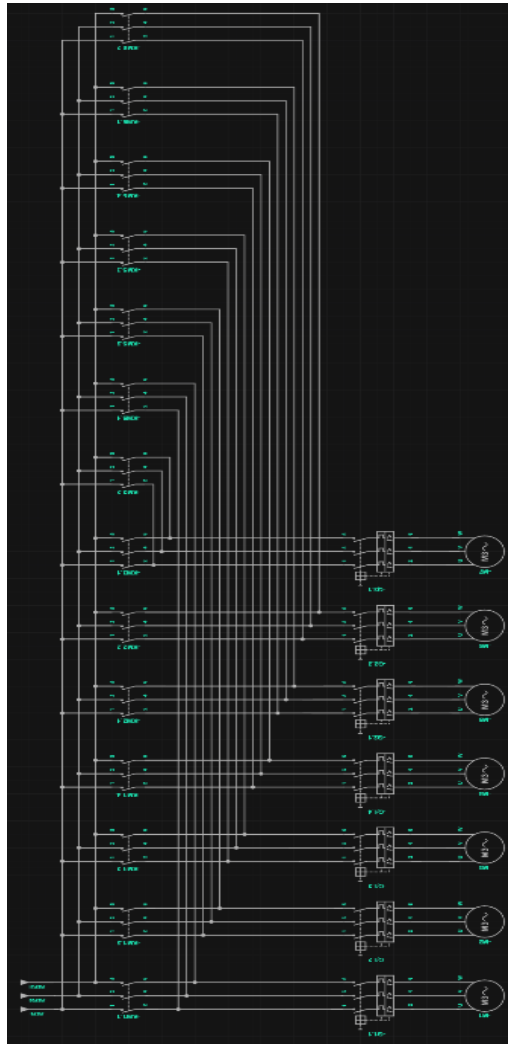
Gambar tersebut merupakan representasi dari diagram skematik rangkaian kontrol listrik (*electrical control schematic diagram*) yang digunakan dalam sistem pengoperasian kipas pendingin transformator tipe *Oil Natural Air Forced (ONAF)*, khususnya pada unit *fan ONAF 1*.

Diagram ini termasuk dalam kategori diagram kontrol (*control circuit diagram*) yang menggambarkan hubungan logis dan elektris antar komponen seperti *relay*, *contactor*, serta kontak bantu (*auxiliary contact*) dalam membentuk sistem kendali yang terintegrasi. Secara fungsional, rangkaian ini tidak hanya mengatur pengoperasian kipas utama, tetapi juga mengimplementasikan mekanisme pergantian otomatis (*automatic changeover*) terhadap kipas cadangan (*standby fan*) apabila terjadi gangguan seperti *trip* atau *overload* pada kipas yang sedang beroperasi, sehingga kontinuitas pendinginan tetap terjaga.

Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan pengendalian berbasis waktu menggunakan *timer*, yang mengatur siklus operasi kipas dalam interval tertentu, misalnya setiap 30 menit, guna mendukung pemerataan beban kerja dan meningkatkan umur operasional peralatan. Dengan demikian, diagram ini mencerminkan suatu sistem kontrol industri yang dirancang dengan mempertimbangkan aspek keandalan, proteksi, dan efisiensi operasional sesuai dengan prinsip-prinsip dalam teknik elektro tenaga.



Gambar 4. 12 Power Fan (DWG)



Gambar 4. 13 Power Fan (Simulasi)

Gambar tersebut merupakan representasi dari diagram skematik rangkaian kontrol listrik (*electrical control schematic diagram*) yang digunakan dalam sistem pengendalian kipas pendingin transformator tipe *Oil Natural Air Forced (ONAF)*, khususnya untuk unit *fan ONAF 2*. Diagram ini termasuk dalam kategori diagram kontrol (*control circuit diagram*) yang menggambarkan hubungan logis dan elektrik antar komponen seperti *relay*, *contactor*, *timer*, serta kontak bantu (*auxiliary contact*) dalam membentuk sistem kendali yang terintegrasi.

Secara konseptual, rangkaian ini dirancang tidak hanya untuk mengoperasikan kipas utama, tetapi juga dilengkapi dengan fungsi kipas cadangan (*standby fan*) yang akan aktif secara otomatis apabila terjadi gangguan seperti *trip* atau *overload* pada salah satu kipas utama, sehingga kontinuitas sistem pendinginan tetap terjaga. Selain itu, sistem ini mengimplementasikan mekanisme pengaturan waktu menggunakan *timer* dengan interval tertentu (misalnya 30 menit), yang berfungsi untuk mengatur pola operasi kipas secara bergantian atau berbasis durasi kerja guna meningkatkan efisiensi dan umur peralatan.

Dengan demikian, diagram ini mencerminkan suatu sistem kontrol industri yang mengedepankan aspek keandalan (*reliability*), kesinambungan operasi (*continuity*), serta proteksi peralatan, sesuai dengan prinsip-prinsip perancangan dalam teknik elektro tenaga.

4.1.3 Operasi Manual (Manual Operation)

Operasi manual merupakan mode pengendalian sistem pendingin transformator yang digunakan ketika sakelar Auto/Off/Manual (S4) berada pada posisi manual. Pada mode ini, sistem pendingin tidak lagi dikendalikan secara otomatis oleh sinyal temperatur yang berasal dari WTI (*Winding Temperature Indicator*) maupun OTI (*Oil Temperature Indicator*). Seluruh keputusan terkait pengoperasian kipas pendingin ditentukan langsung oleh operator berdasarkan kondisi operasi transformator, hasil pemantauan parameter operasi, maupun kebutuhan teknis tertentu di lapangan. Dengan demikian, aktivasi maupun penghentian kipas pendingin tidak dipengaruhi oleh nilai temperatur aktual yang terukur, melainkan sepenuhnya bergantung pada tindakan operator.

Mode manual umumnya digunakan pada saat kegiatan pemeliharaan (*maintenance*), pengujian fungsi peralatan (*functional test*), commissioning, maupun kegiatan *troubleshooting* terhadap sistem pendingin transformator. Selain itu, mode ini juga berfungsi sebagai alternatif pengoperasian ketika terjadi gangguan pada sistem kontrol otomatis sehingga sistem pendingin tetap dapat dioperasikan untuk menjaga temperatur transformator berada dalam batas aman. Pengoperasian manual memberikan fleksibilitas kepada operator untuk menentukan tingkat pendinginan yang dibutuhkan sesuai kondisi pembebanan transformator dan kondisi lingkungan sekitar.

Pada mode manual, tingkat pendinginan dapat dioperasikan secara bertahap melalui ONAF1 dan

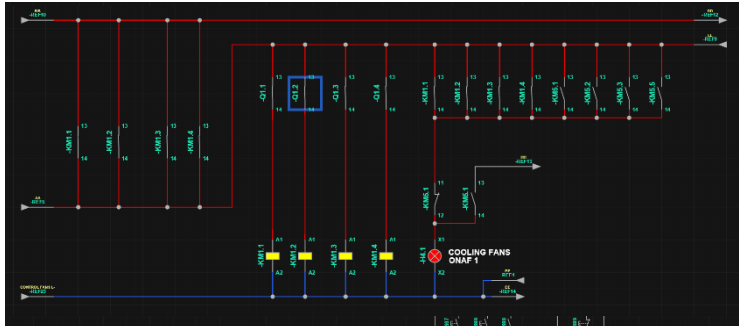
ONAF2. Pengoperasian secara bertahap tersebut bertujuan untuk menyesuaikan kapasitas pendinginan dengan besarnya panas yang dihasilkan oleh transformator. Semakin tinggi tingkat pendinginan yang diaktifkan, semakin besar kemampuan sistem pendingin dalam melepaskan panas dari radiator ke lingkungan sehingga temperatur minyak dan temperatur belitan dapat dikendalikan secara lebih efektif.

a. Mode Lokal

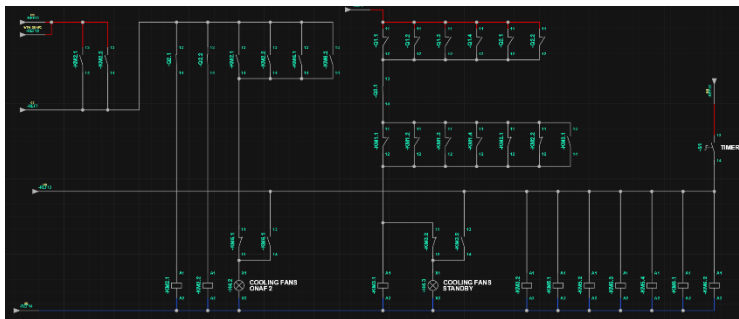
Mode Local aktif ketika sakelar Local/Remote (S3) berada pada posisi local dan sakelar Auto/Off/Manual (S4) berada pada posisi manual. Pada kondisi ini seluruh pengoperasian sistem pendingin dilakukan langsung dari Local Control Panel atau Marshalling Kiosk yang berada di area transformator. Seluruh perintah pengoperasian diberikan secara lokal sehingga operator harus berada di dekat transformator untuk melakukan pengendalian maupun pemantauan terhadap kondisi sistem pendingin.

Pada mode ini operator dapat mengamati secara langsung kondisi peralatan, indikator operasi, status kontaktor, kondisi kipas pendingin, serta parameter pendukung lainnya. Keuntungan utama mode local adalah kemudahan dalam melakukan pengujian dan verifikasi operasi peralatan karena seluruh respon sistem dapat diamati secara langsung di lapangan. Oleh karena itu, mode ini sering digunakan pada saat pemeliharaan berkala, pengujian pasca-

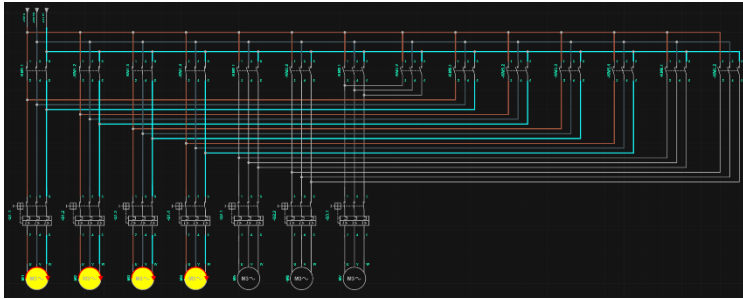
perbaikan, maupun saat pelaksanaan *commissioning* sebelum transformator dioperasikan secara normal.



Gambar 4. 14 Koil kontaktor Fan 1-4 aktif

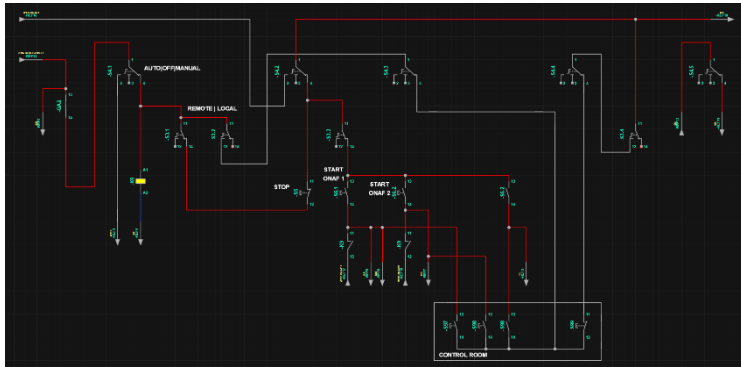


Gambar 4. 15 Koil Kontaktor Fan 5-6 belum aktif

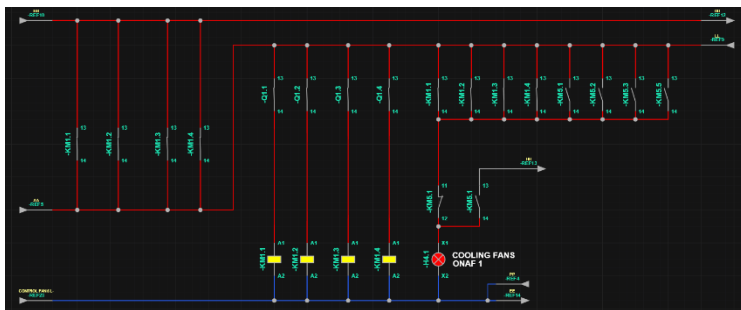


Gambar 4. 16 Fan 1-4 mode ONAF1 aktif

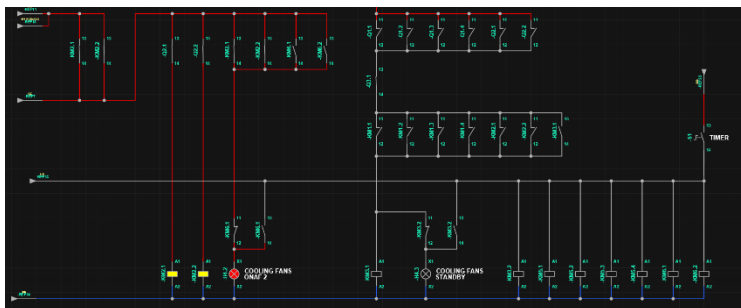
Untuk mengaktifkan tingkat pendinginan ONAF1, operator menekan tombol S6 (Start) sehingga kelompok kipas pendingin 1–4 mulai beroperasi. Pengoperasian kelompok kipas pertama ini meningkatkan laju perpindahan panas pada radiator transformator dan mengubah kondisi pendinginan dari ONAN (*Oil Natural Air Natural*) menjadi ONAF1 (*Oil Natural Air Forced Stage 1*). Dengan adanya bantuan aliran udara paksa dari kipas, proses pelepasan panas menjadi lebih efektif dibandingkan pendinginan alami.



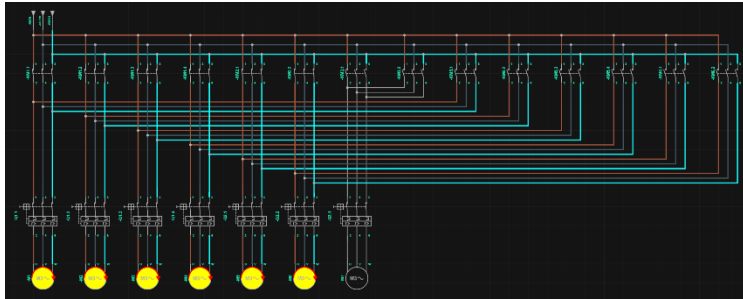
Gambar 4. 17 Push Botton S6.2 ONAF2 aktif



Gambar 4. 19 Koil Kontaktor Fan 1-4 aktif



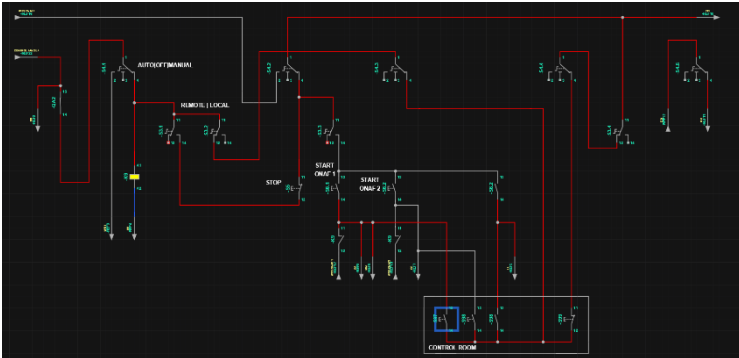
Gambar 4. 18 Koil Kontaktor Fan 5-6 aktif



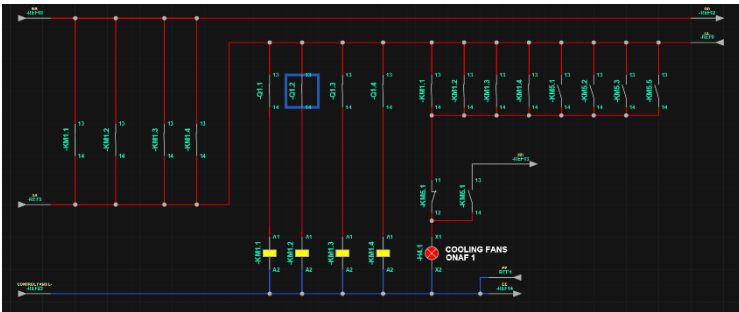
Gambar 4. 20 Fan 1-4 mode ONAF1 aktif dan Fan 5-6 mode ONAF2 aktif

Apabila diperlukan kapasitas pendinginan yang lebih tinggi, operator dapat mengaktifkan ONAF2 dengan menekan tombol S6.1 (*Start*) sehingga kelompok kipas pendingin 5–6 ikut beroperasi. Dengan beroperasinya seluruh kelompok kipas pendingin, kapasitas pelepasan panas meningkat secara signifikan sehingga transformator dapat mempertahankan temperatur operasi yang aman meskipun bekerja pada kondisi beban yang tinggi. Untuk menghentikan operasi sistem pendingin, operator dapat menekan tombol S5 (*Stop Fan*) sehingga seluruh kipas berhenti beroperasi dan transformator kembali mengandalkan pendinginan alami apabila tidak terdapat kipas yang aktif.

b. Mode Remote



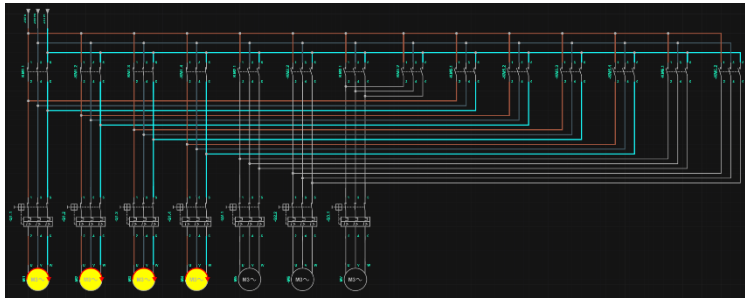
Gambar 4. 21 Push Botton S97 Control Room Aktif,



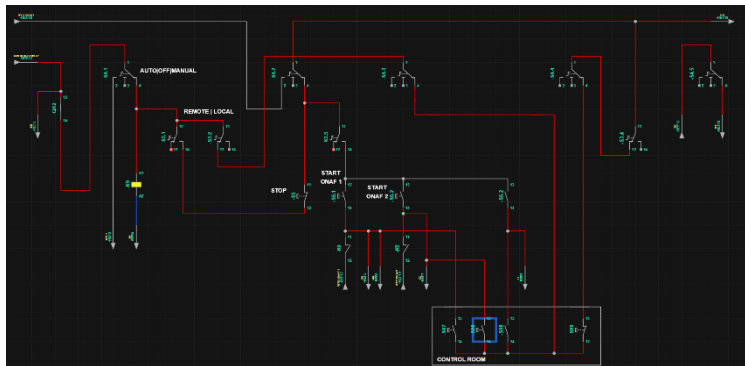
Gambar 4. 23 Koil kontaktor Fan 1-4 aktif



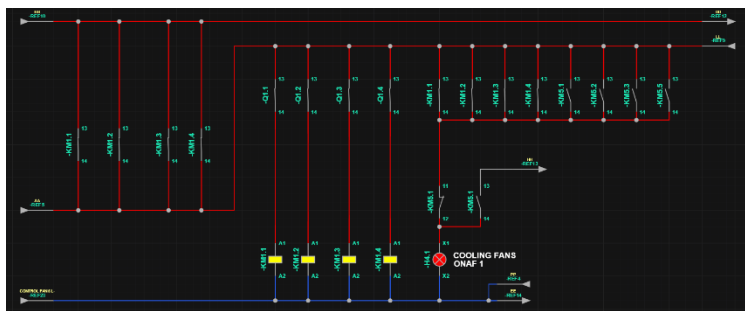
Gambar 4. 22 Koil Kontaktor Fan 5-6 belum aktif



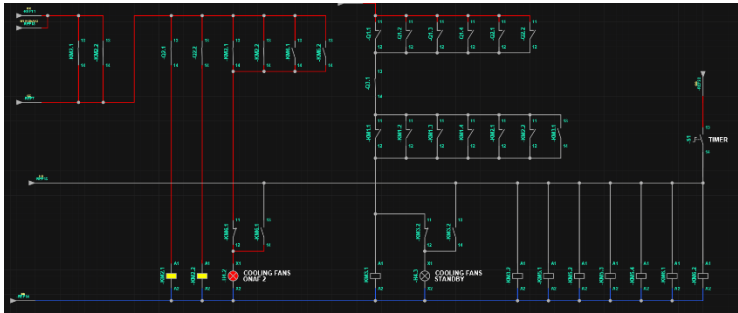
Gambar 4. 26 Fan 1-4 mode ONAF1 aktif



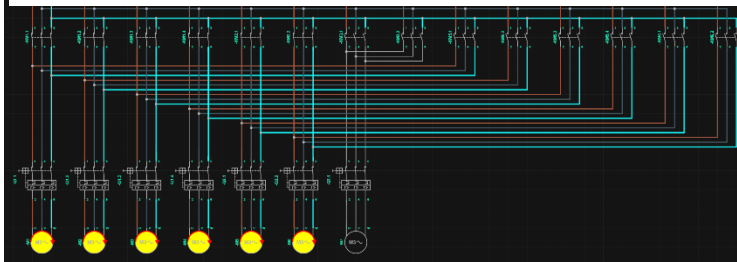
Gambar 4. 25 Push Button S98 Control Room Aktif



Gambar 4. 24 Koil kontaktor kipas 1-4 aktif



Gambar 4. 28 Koil kontaktor Fan 5-6 aktif



Gambar 4. 27 Fan 1-4 mode ONAF1 aktif dan Fan 5-6 mode ONAF2 aktif

Mode Remote aktif ketika sakelar local/remote (s3) berada pada posisi remote dan sakelar auto/off/manual (s4) berada pada posisi manual. Pada kondisi ini pengoperasian sistem pendingin dilakukan dari Control Room melalui sistem kendali jarak jauh seperti SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) atau sistem kontrol lainnya yang terhubung dengan panel kontrol transformator.

Prinsip kerja mode Remote pada dasarnya sama dengan mode Local, yaitu operator dapat mengaktifkan maupun menghentikan operasi ONAF1

dan ONAF2 sesuai kebutuhan. Perbedaanannya terletak pada sumber perintah pengoperasian yang berasal dari ruang kontrol, sehingga operator tidak perlu datang langsung ke lokasi transformator. Seluruh perintah dikirim melalui sistem kontrol dan diteruskan menuju panel kontrol untuk mengaktifkan kontaktor serta peralatan pendukung lainnya.

Penerapan mode Remote memberikan kemudahan dalam pengawasan dan pengendalian transformator secara terpusat. Mode ini sangat bermanfaat pada gardu induk atau instalasi industri yang memiliki banyak transformator karena memungkinkan operator melakukan pengoperasian dan pemantauan dari satu lokasi tanpa harus berpindah ke masing-masing peralatan. Selain meningkatkan efisiensi operasional, mode Remote juga membantu mempercepat respon operator terhadap perubahan kondisi operasi transformator.

4.1.4 Operasi Mati (*Off Operation*)

Operasi mati (*Off Operation*) terjadi ketika sakelar Auto/Off/Manual (S4) berada pada posisi off. Pada kondisi ini seluruh sistem pengendalian kipas pendingin dinonaktifkan sehingga tidak terdapat perintah yang dapat mengaktifkan kipas baik dari mode manual maupun mode otomatis. Semua jalur kontrol menuju sistem pendingin diblokir untuk mencegah terjadinya pengoperasian yang tidak diinginkan selama pekerjaan berlangsung.

Mode off umumnya digunakan pada saat kegiatan pemeliharaan, inspeksi, penggantian komponen, kalibrasi instrumen, maupun pekerjaan

perbaikan pada sistem pendingin transformator. Dengan menempatkan sakelar pada posisi off, keselamatan personel dan keamanan peralatan dapat lebih terjamin karena risiko pengaktifan kipas secara tiba-tiba dapat dihindari.

Pada kondisi ini transformator hanya mengandalkan mekanisme pendinginan alami (ONAN) tanpa bantuan kipas pendingin. Oleh karena itu, penggunaan mode off harus mempertimbangkan kondisi temperatur minyak, temperatur belitan, temperatur lingkungan, dan tingkat pembebanan transformator. Apabila transformator beroperasi pada beban tinggi dalam waktu yang lama, penggunaan mode off dapat menyebabkan kenaikan temperatur yang lebih cepat sehingga harus diawasi secara ketat oleh operator.

4.1.5 Operasi Otomatis (*Auto Operation*)

Operasi otomatis merupakan mode operasi normal sistem pendingin transformator yang digunakan ketika sakelar Auto/Off/Manual (S4) berada pada posisi Auto. Pada mode ini, seluruh proses pengendalian sistem pendingin dilakukan secara otomatis berdasarkan temperatur yang terdeteksi oleh WTI (*Winding Temperature Indicator*) dan didukung oleh informasi temperatur dari OTI (*Oil Temperature Indicator*). Operator tidak perlu memberikan perintah secara langsung karena seluruh keputusan pengoperasian kipas ditentukan oleh logika kontrol yang telah ditetapkan pada sistem.

Tujuan utama mode otomatis adalah menjaga temperatur minyak dan belitan transformator tetap berada dalam batas operasi yang aman. Dengan menjaga temperatur tetap terkendali, kualitas isolasi transformator dapat dipertahankan sehingga umur pakai peralatan menjadi lebih panjang. Selain itu, mode otomatis juga meningkatkan keandalan operasi karena sistem pendingin dapat merespon perubahan temperatur secara cepat tanpa bergantung pada tindakan operator.

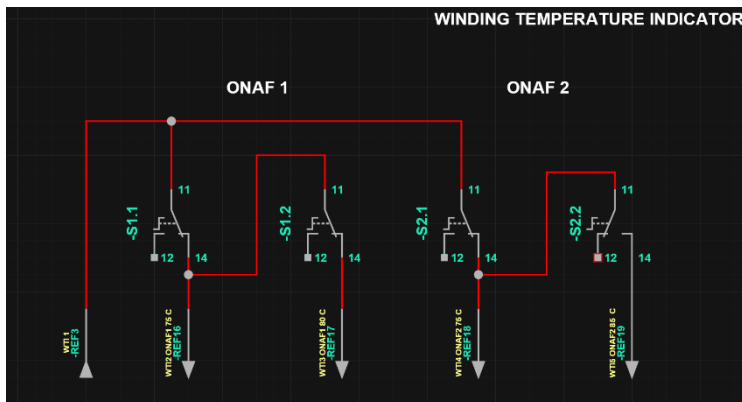
Pada mode auto, perpindahan tingkat pendinginan berlangsung secara bertahap mulai dari ONAN, kemudian ONAF1, hingga ONAF2. Konsep pengoperasian bertahap ini bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan energi dan memperpanjang umur peralatan pendingin karena kipas hanya dioperasikan ketika benar-benar diperlukan.

a. Operasi ONAN

Pada kondisi temperatur yang masih berada di bawah setelan aktivasi ONAF1, transformator beroperasi pada mode ONAN (*Oil Natural Air Natural*). Pada mode ini proses pendinginan berlangsung secara alami melalui sirkulasi minyak di dalam tangki transformator dan pelepasan panas ke udara sekitar tanpa bantuan kipas pendingin. Minyak yang menerima panas dari belitan akan bergerak ke bagian atas tangki akibat perbedaan massa jenis, kemudian melepaskan panas melalui radiator sebelum kembali bersirkulasi ke bagian bawah transformator.

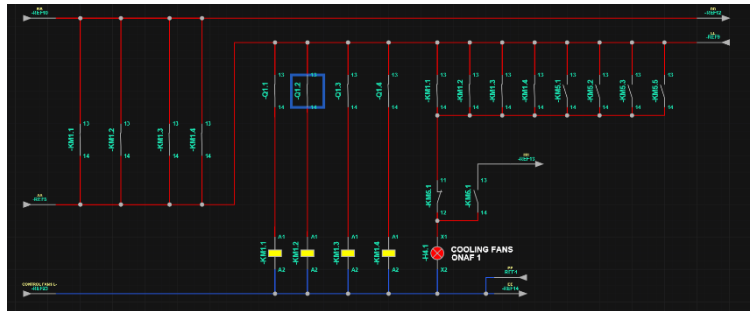
Mode ONAN merupakan kondisi operasi yang paling ekonomis karena tidak memerlukan konsumsi daya tambahan untuk mengoperasikan kipas pendingin. Selama temperatur transformator masih berada pada batas normal, sistem akan mempertahankan kondisi ONAN untuk menjaga efisiensi operasi.

b. Operasi ONAF 1

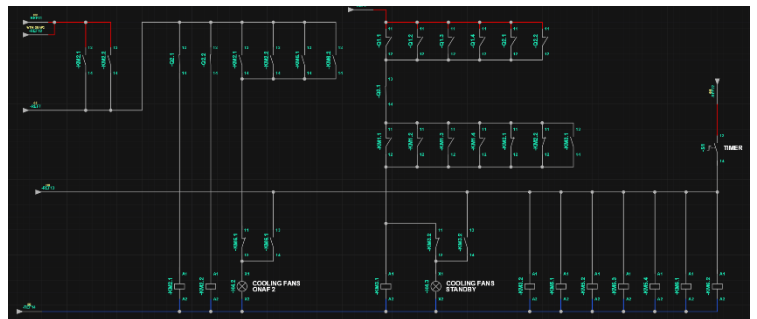


Gambar 4. 29 Temperatur WTI mencapai 80°C

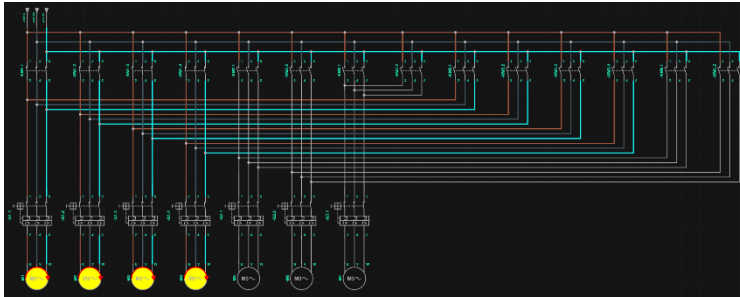
Ketika temperatur yang terukur oleh WTI mencapai 80°C, sistem kontrol akan mengaktifkan kelompok kipas pendingin pertama secara otomatis sehingga transformator berpindah dari mode ONAN ke ONAF1.



Gambar 4. 30 Koil kontaktor Fan 1-4 aktif



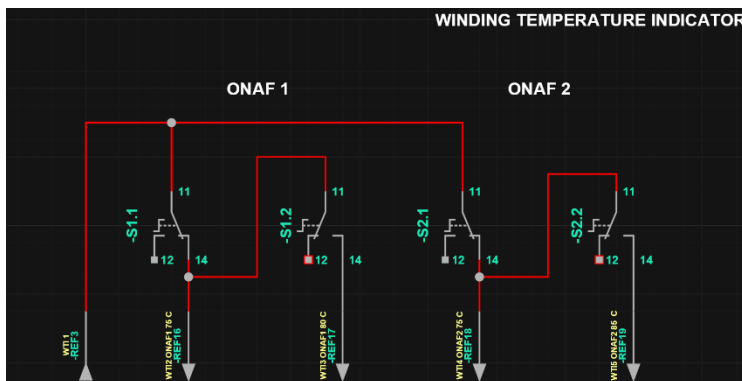
Gambar 4. 31 Koil Kontaktor Fan 5-6 belum aktif



Gambar 4. 32 Fan 1-4 mode ONAF1 aktif

Pada kondisi ini kipas pendingin 1–4 mulai beroperasi untuk meningkatkan aliran udara pada radiator transformator sehingga proses pelepasan panas berlangsung lebih cepat dan lebih efektif.

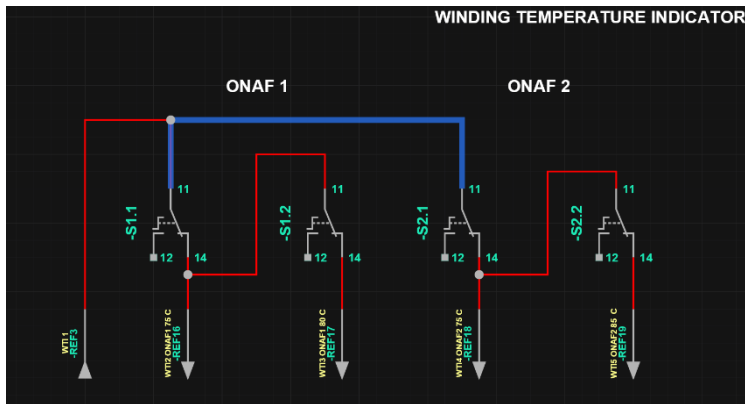
Pengoperasian ONAF1 bertujuan untuk mengendalikan kenaikan temperatur yang disebabkan oleh peningkatan pembebanan transformator. Dengan meningkatnya laju perpindahan panas, temperatur minyak dan temperatur belitan dapat dipertahankan pada rentang operasi yang aman.



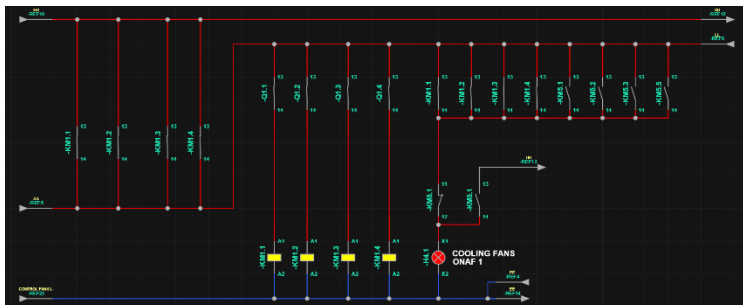
Gambar 4. 33 Temperature WTI turun mencapai 75°C

Kipas akan tetap beroperasi hingga temperatur turun mencapai 75°C, kemudian sistem akan menghentikan operasi kipas secara otomatis sebagai bagian dari logika hysteresis untuk mencegah frekuensi hidup-mati kipas yang terlalu sering.

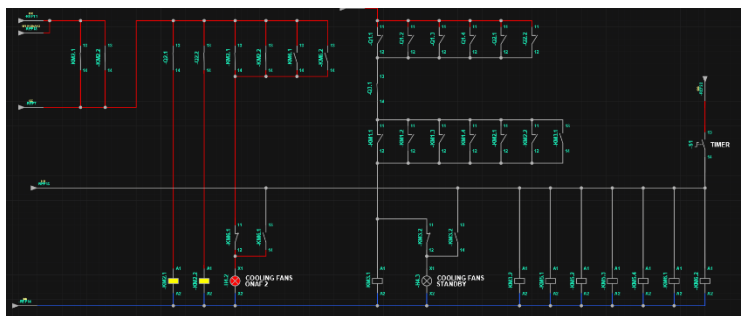
c. Operasi ONAF 2



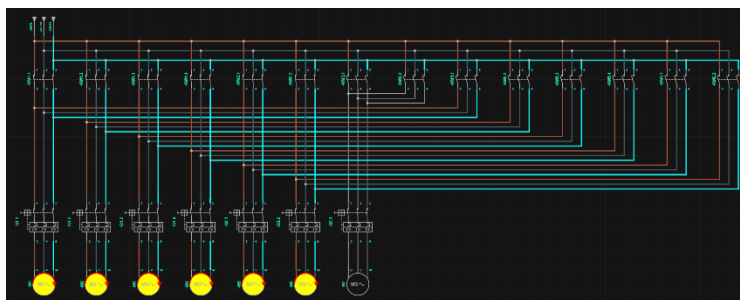
Gambar 4. 35 Temperature WTI mencapai 85°C



Gambar 4. 34 Koil kontaktor Fan 1-4 aktif



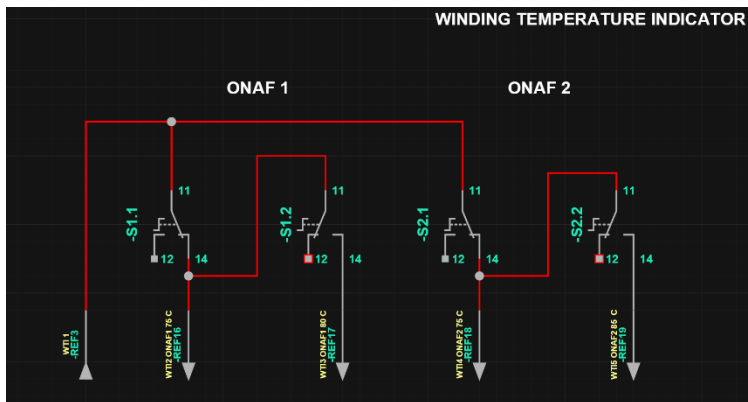
Gambar 4. 36 Koil kontaktor Fan 5-6 aktif



Gambar 4. 37 Fan 1-4 mode ONAF1 aktif dan Fan 5-6 mode ONAF2 aktif

Apabila temperatur transformator terus meningkat hingga mencapai 85°C , sistem kontrol akan mengaktifkan kelompok kipas pendingin kedua sehingga transformator memasuki mode ONAF2. Pada kondisi ini seluruh kelompok kipas pendingin beroperasi untuk menghasilkan kapasitas pendinginan maksimum. Aktivasi ONAF2 menunjukkan bahwa transformator sedang mengalami pembebanan yang lebih tinggi atau berada pada kondisi lingkungan yang menyebabkan temperatur meningkat lebih cepat.

Dengan seluruh kipas beroperasi, kemampuan radiator dalam membuang panas ke lingkungan meningkat secara signifikan. Hal ini membantu menjaga temperatur minyak dan temperatur belitan tetap berada dalam batas operasi yang aman sehingga risiko percepatan penuaan isolasi dapat dikurangi.



Gambar 4. 38 Temperature WTI turun mencapai 75°C

Kipas akan berhenti beroperasi secara otomatis ketika temperatur turun hingga mencapai 75°C sesuai dengan logika kontrol yang diterapkan pada sistem pendingin.

d. Alarm dan Trip Temperatur

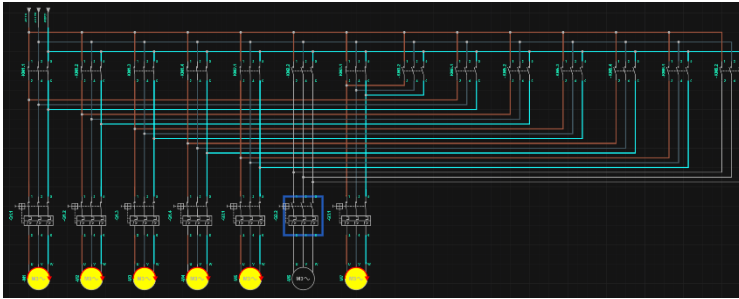
Selain digunakan sebagai dasar pengendalian sistem pendingin, sinyal temperatur yang berasal dari WTI dan OTI juga dimanfaatkan sebagai bagian dari sistem proteksi transformator. Temperatur yang terukur akan dibandingkan dengan nilai setelan alarm dan trip

yang telah ditentukan berdasarkan spesifikasi dan batas operasi transformator.

Ketika temperatur mencapai batas alarm set point, sistem akan memberikan peringatan kepada operator melalui indikator alarm pada panel lokal maupun ruang kontrol. Alarm ini berfungsi sebagai peringatan dini bahwa temperatur transformator telah mendekati batas operasi yang diizinkan sehingga operator dapat melakukan tindakan korektif apabila diperlukan.

Apabila temperatur terus meningkat hingga mencapai batas trip set point, sistem proteksi akan mengeluarkan perintah trip untuk memutus transformator dari sistem tenaga listrik. Tindakan ini bertujuan mencegah terjadinya kerusakan akibat kondisi overheating, seperti penurunan kualitas isolasi, kerusakan belitan, degradasi minyak isolasi, maupun kegagalan komponen internal lainnya. Dengan adanya fungsi alarm dan trip, sistem pendingin dan sistem proteksi bekerja secara terintegrasi untuk menjaga keandalan, keamanan, serta memperpanjang umur operasi transformator daya.

e. *Fan Standby* (Kipas Cadangan)



Gambar 4. 39 Fan standby mengambil alih fan trip / Overload

Fan standby merupakan kipas pendingin cadangan yang disediakan untuk menjaga keandalan sistem pendingin transformator apabila terjadi gangguan pada salah satu kipas utama yang sedang beroperasi. Keberadaan *fan standby* sangat penting karena sistem pendingin transformator harus tetap mampu membuang panas secara optimal meskipun terjadi kegagalan pada sebagian peralatan pendingin. Dalam kondisi operasi normal, *fan standby* berada dalam keadaan siaga (*standby*) dan tidak beroperasi. Kipas ini akan aktif secara otomatis apabila sistem mendeteksi bahwa salah satu kipas pada kelompok ONAF mengalami gangguan, seperti trip akibat MCB (*Miniature Circuit Breaker*) terbuka, overload yang menyebabkan *Thermal Overload Relay* (TOR) bekerja, kerusakan motor kipas, atau kehilangan suplai daya pada rangkaian kipas tersebut. Ketika gangguan terdeteksi, sistem kontrol akan memberikan perintah kepada kipas cadangan untuk menggantikan fungsi

kipas yang mengalami kegagalan, sehingga kapasitas pendinginan transformator tetap terjaga.

Penggunaan *fan standby* bertujuan untuk mempertahankan jumlah kipas yang beroperasi sesuai kebutuhan pendinginan yang sedang aktif. Sebagai contoh, apabila transformator sedang berada pada mode ONAF1 dan salah satu kipas utama mengalami trip akibat TOR atau MCB, maka *fan standby* akan otomatis mengambil alih tugas kipas tersebut. Demikian pula ketika transformator berada pada mode ONAF2, *fan standby* dapat menggantikan kipas yang mengalami gangguan sehingga kemampuan pelepasan panas radiator tidak berkurang secara signifikan.

Selain meningkatkan keandalan sistem pendingin, *fan standby* juga membantu mencegah kenaikan temperatur yang berlebihan akibat berkurangnya kapasitas pendinginan. Dengan tetap terjaganya jumlah kipas yang beroperasi, temperatur minyak dan temperatur belitan transformator dapat dipertahankan dalam batas operasi yang aman sampai tindakan perbaikan terhadap kipas yang mengalami gangguan dapat dilakukan oleh petugas pemeliharaan.

Meskipun *fan standby* dapat menggantikan fungsi kipas yang gagal beroperasi, kondisi gangguan tetap akan dicatat dan umumnya menghasilkan alarm pada sistem kontrol atau SCADA. Alarm tersebut berfungsi untuk memberikan informasi kepada operator bahwa terdapat kipas utama yang mengalami gangguan sehingga diperlukan pemeriksaan lebih lanjut terhadap MCB, TOR, kontaktor, motor kipas, maupun rangkaian kontrol yang terkait. Dengan demikian, *fan standby*

berfungsi sebagai sistem redundansi yang meningkatkan kontinuitas operasi dan keandalan pendinginan transformator daya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, simulasi, dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem otomatisasi kontrol cooling fan transformator daya menggunakan parameter temperatur dari *Oil Temperature Indicator* (OTI) dan *Winding Temperature Indicator* (WTI) telah berhasil bekerja dengan andal dan responsif. Logika pengendalian mampu memindahkan mode pendinginan secara bertahap mulai dari ONAN (saat suhu normal), beralih ke ONAF1 dengan mengaktifkan kipas grup pertama ketika suhu WTI mencapai 80°C, hingga masuk ke mode ONAF2 dengan mengoperasikan seluruh kipas secara penuh ketika suhu mencapai 85°C. Selain itu, sistem ini memiliki tingkat kontinuitas yang tinggi berkat adanya fungsi *fan standby* (kipas cadangan) yang dapat mengambil alih tugas secara otomatis apabila terjadi beban lebih (overload) atau gangguan trip pada salah satu kipas utama, serta didukung sistem proteksi alarm (pada suhu 105°C) dan trip (pada suhu 120°C untuk WTI) untuk mencegah terjadinya kerusakan fatal akibat *overheating* pada belitan dan isolasi minyak trafo.

5.2 Saran

- a. Penerapan Teknologi VSD/Inverter: Mengganti metode kendali kontaktor konvensional (ON-OFF) dengan teknologi Variable Speed Drive (VSD) atau Inverter

agar kecepatan putaran motor kipas dapat diatur secara fleksibel dan gradual mengikuti fluktuasi riil suhu OTI dan WTI, sehingga mampu mengoptimalkan konsumsi daya (efisiensi energi) serta mengurangi stres mekanis pada motor kipas.

- b. Integrasi Fitur Condition-Based Monitoring (CBM): Menambahkan fitur monitoring berbasis kondisi yang dilengkapi dengan sensor getaran (vibration sensor) dan sensor arus pada masing-masing motor kipas untuk mendeteksi gejala kerusakan dini (seperti keausan bearing atau ketidakseimbangan arus) sebelum terjadi kegagalan total (breakdown).
- c. Acuan Pemeliharaan Prediktif: Memanfaatkan data parameter termal, getaran, dan arus yang terekam secara otomatis sebagai landasan utama bagi manajemen gardu induk dalam menyusun jadwal pemeliharaan prediktif yang lebih akurat dan terencana di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriangga, A., Meriani, & Winarta, F. P. (2023). *SISTEM PENDINGIN MINYAK JENIS ONAF PADA TRANSFORMATOR DAYA 30 MVA GARDU INDUK LAHAT 150 KV I Aldo Afriangga , 2 Meriani , 3 Fadhel Putra Winarta.* 3(1).
- Dahlan, M., Wibowo, B., & Solekhan. (2022). Monitoring the Amount of Electricity Installation Using the Android Application. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer* , 11(2), 77–86.
- Duanaputri, R., & Insani, P. A. (2022). *Analisis peramalan kebutuhan energi listrik sektor industri di Jawa Timur dengan metode regresi linear.* 20(2), 50–60. <https://doi.org/10.33795/eltek.v20i2.352>
- Ko, M. E. S. S., & Ume, I. (2014). *MESSKO ® COMPACT SERIES WINDING TEMPERATURE ORDERING SPECIFICATIONS . MESSKO ® COMPACT SERIES WINDING TEMPERATURE TECHNICAL DATA .*
- Sutjipto, R., K, D. D., & Duanaputri, R. (2020). *Studi pengaruh pembebanan terhadap perubahan suhu dan perubahan rugi - rugi daya pada transformator.* 10(1), 62–71.
- Triyanto, J., Pradana, M. P., Permatasari, A. T., Rezika, N., & Daulay, N. K. (2023). Monitoring Multi Sensor Esp 32 Secara Realtime Berbasis Website. *Escaf*, 2(1), 1122–1128.

DOKUMENTASI



BIODATA PENULIS



Achmad Maulidil Hikam

Dilahirkan di Sampang, 25 April 2004.

Anak dari orang tua bernama Bapak Sumhari dan Ibu S. Hamidah, penulis merupakan anak ketiga dari dua bersaudara. Penulis tempat tinggal penulis di Dusun Dasok Desa Dasok

Kecamatan Torjun Kabupaten Sampang. Riwayat pendidikan penulis adalah lulusan SD-IT Nurul Hidayah tahun 2017, lulusan SMPN 1 SAMPANG pada tahun 2020 dan lulusan SMAN 1 SAMPANG jurusan IPA pada tahun 2023. Pada tahun 2022 penulis melanjutkan studi di perguruan tinggi di Politeknik Negeri Madura Jurusan Teknologi Elektro program studi DIII Teknik Listrik Industri. Selama kuliah di Politeknik Negeri Madura penulis juga aktif di UKM Elektro Robotik Team. Dalam menempuh pendidikan ini penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **“SISTEM OTOMATISASI KONTROL *COOLING FAN* TRANSFORMATOR BERBASIS *OTI* DAN *WTI* PADA OPERASI *ONAN*, *ONAF1* DAN *ONAF2*”**